

Evaluation von Massnahmen zur Minderung der Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft mit Erfahrungen aus der dänischen Landwirtschaft

Anwendungen in den 3V-Projekten

Peter Maly, 2020

Glossar

N_{ges}	N_{tot} minus der kaum vermeidbaren Verluste im Stall und bei der Hofdüngerlagerung nach Suisse-Bilanz.
N_{org}	Stickstoffanteil im Hofdünger, der nach Suisse-Bilanz mit dem Ausnutzungsgrad errechnet wird (N_{ges} minus N_{verf}). Dieser Stickstoffanteil sollte auch die unvermeidbaren Ammoniakverluste enthalten. Es wird angenommen, dass der grössere Stickstoffanteil als organisch gebundener Stickstoff N_{org} vorliegt.
N_{tot}	Gesamt-Stickstoff (unabhängig von der Form).
N_{verf}	Stickstoff, der bei optimaler Wirtschaftsweise kurz- und mittelfristig für die Pflanzen verfügbar ist bzw. verfügbar wird.
TAN	<i>Englisch: Total Ammoniacal Nitrogen ($NH_3-N + NH_4-N$).</i> TAN ist dem löslichen Stickstoff gleichzusetzen, da der Nitratgehalt in Hofdüngern sehr niedrig ist.
kt N/a	Kilotonnen Stickstoff pro Jahr
UZL	Umweltziele Landwirtschaft UZL des Bundes von 2008

Impressum

Auftraggeberin:	Bundesamt für Umwelt BAFU, Sektion Landschaftsmanagement, Bern
Kurztitel:	3V Ammoniakminderung, Juli 2020
Verfasser:	Peter Maly, Winterthur
Titelbild:	Stickstoffumsatz pro Jahr einer dänischen Hochleistungskuh, ergänzt mit Prozentverteilung des Stickstoffflusses; entnommen der Präsentation, 13.9.2019, Martin N. Hansen, SEGES, Plant Innovation, Aarhus, Dänemark

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
1 Ausgangslage	3
1.1 Quellen des Stickstoffs	3
1.2 Eutrophierung durch Stickstoff-Emissionen	6
1.3 Umweltziel Ammoniak	8
1.4 Umweltziele Landwirtschaft UZL "Luft" und Pilotprojekt 3V	10
2 Stickstoff in Umwelt und Landwirtschaft	11
2.1 Stickstoffflüsse in der Schweizer Umwelt	11
2.2 Stickstoffflüsse in der Schweizer Landwirtschaft	12
2.3 Stickstoffbilanz N_{tot} der Schweizer Landwirtschaft und Ammoniak-Emissionen	14
2.4 Stickstoff-Deposition und Ammoniak-Immissionen	17
3 Stickstoff- und Ammoniak-Emissionen aus der Schweizer Landwirtschaft	19
3.1 Agrammon zur Berechnung der Ammoniak-Emissionen in der Landwirtschaft	19
3.1.1 Agrammonberechnungen zur Minderung der Ammoniak-Emissionen am Beispiel Kanton Schaffhausen 2010	20
3.2 Stickstoffmanagement nach Suisse-Bilanz	23
3.3 Detaillierte Analyse des Stickstoffflusses und der Ammoniak-Verluste für zwei Milchkuhbetriebe	24
3.3.1 Stickstofffluss und Ammoniak-Verluste für den Milchkuhbetrieb TG3	24
3.3.2 Stickstofffluss und Ammoniak-Verluste für den Milchkuhbetrieb GL5	26
3.3.3 Schlussfolgerung aus der kombinierten Berechnung Suisse-Bilanz und Agrammon für die zwei Beispiele der Betriebe TG3 und GL5	28
4 Massnahmen zur Minderung der Stickstoff- und Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft	30
4.1 Stickstoffverluste der Landwirtschaft	30
4.2 Stickstoff-Budget und -Bilanz der Landwirtschaft	30
4.3 Potentiale zur Stickstoff-Optimierung in der Schweizer Landwirtschaft	31
4.3.1 Fütterung und Haltung der Tiere im Stall	31
4.3.2 Stallbauten und Tierhaltung	32
4.3.3 Hofdüngerlager und Hofdüngerausbringung	34

4.3.4	Ackerbau	37
4.4	Massnahmen zur Stickstoff-Optimierung in der dänischen Landwirtschaft	37
5	Minderung der Ammoniak-Emissionen in der Schweizer Landwirtschaft am Beispiel von 3V-Betrieben	40
5.1	3V-Betriebe im Kanton Glarus	40
5.2	3V-Betriebe im Kanton Thurgau	42
5.3	Minderung der Ammoniak-Emissionen für 3V Betriebe	42
5.3.1	Generelle Empfehlungen für 3V-Betriebe	43
	Betriebsanalyse zum Stickstofffluss	43
	Stalloptimierung - Stallbauten	43
	Hofdüngerlager	43
	Hofdüngerausbringung	44
5.3.2	Empfehlungen für 3V-Betriebe zur sofortigen Umsetzung	44
6	ANHANG	49
6.1	Entwicklung der N-Bilanz und N-Effizienz für die Schweizer Landwirtschaft nach OSPAR-Methode	49
6.2	Detailanalyse Stickstoff- und TAN-Fluss	50
6.3	Einarbeitung von Mist	50
6.4	Critical Loads für Stickstoff und Critical Levels für Ammoniak	51
6.5	Zusammenstellung von Kenndaten zur dänischen und Schweizer Landwirtschaft	52
6.6	Checkliste für die Minderung der Ammoniak-Emissionen	54
	Angaben zum Betrieb	54

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schweizer Stickstoffinput (Nr, reaktiver Stickstoff) von 247 Kilotonnen Stickstoff pro Jahr (kt N/a), in das Subsystem Umwelt gemäss "European Nitrogen Assessment 2011, aus (Heldstab, Leippert, Biedermann, & Schwank, 2013)	4
Abbildung 2:	Entwicklung der Stickstoff-Emissionen NO_x und NH_3 von 1900 bis 2018 in der Schweiz in Kilotonnen Stickstoff pro Jahr (kt N/a) (BAFU - Bundesamt für Statistik, 2020)	5
Abbildung 3:	Emissionen der Stickstoffverbindungen 2018 NO_x (22.1 kt N/a), NH_3 (45.2 kt N/a) und N_2O (6.3 kt N/a) und Gesamtstickstoff (73.6 kt N/a) aufgeteilt nach den Sektoren Verkehr, Industrie/Gewerbe, Haushalte und Land-/Forstwirtschaft in der Schweiz in Kilotonnen Stickstoff pro Jahr (kt N/a) (BAFU - Bundesamt für Statistik, 2020).	5
Abbildung 4:	Überschreitung der Critical Loads für Stickstoff für das Jahr 2015: Auf bis violett markierten Flächen sind die Immissionen übermässig (BAFU, 2020).	6
Abbildung 5:	Jahresverlauf der Ammoniak-Immissionen als Mediane der Monatsmittel 2004-2018 für Ackerbau (PAY) und Gebiete mit intensiver Tierhaltung (WAU 13 und APS) (Thöni, Seidler, Meier, & Kosonen, 2019).	10
Abbildung 6:	Stickstoffflüsse für das Subsystem Umwelt Schweiz, Prognose-Zustand 2020, mit ca. 250 kt N/Jahr, vereinfacht zusammengefasst nach (Heldstab, Leippert, Biedermann, & Schwank, 2013)	12
Abbildung 7:	Stoffflusssystem Schweiz für Land- und Ernährungswirtschaft. Stickstoffflüsse in kt N/a; Farben siehe Legende in Abbildung. (Reutimann, Heldstab, & Leippert, 2013).	13
Abbildung 8:	Stickstoffbilanz der Schweizer Landwirtschaft, (Bundesrat, 2018).	14
Abbildung 9:	Brutto-Nährstoffbilanz für ausgewählte Länder in kg N/ha und Jahr bezeichnet als $\text{N}(\text{kg}/(\text{ha} \cdot \text{y}))$, nach Eurostat.	15
Abbildung 10:	Ammoniak-Emissionen für ausgewählte Länder in kg $\text{NH}_3\text{-N}/\text{ha}$ und Jahr bezeichnet als $\text{NH}_3\text{-N}(\text{kg}/(\text{ha} \cdot \text{y}))$ und Abschätzung der Schweizerischen Emissionen in den landwirtschaftlichen Flächen ohne Sömmerungsweiden.	16
Abbildung 11:	Stickstoff-Deposition für 2015, modelliert im Kilometer-Raster (Künzle & Albrecht-Sidler, 2019).	17
Abbildung 12:	Ammoniak-Konzentrationen für 2015, modelliert von Meteotest im Hektaren-Raster (Künzle & Albrecht-Sidler, 2019).	18

- Abbildung 13: Berechnung der Stickstoffflüsse TAN für die Schweizer Tierproduktion 2015 von insgesamt 73.1 kt TAN pro Jahr. Die gestrichelten Pfeile stehen für die Ammoniak-Emissionen. Eigene Ergänzungen LINKS: Die Prozentzahlen in GRÜN beziehen sich auf den Input von 73.1 kt TAN pro Jahr, RECHTS: Die Prozentzahlen in ROT beziehen sich auf den Input Weide 11.8 kt TAN pro Jahr, bzw. Input Hof 61.2 kt TAN pro Jahr (vgl. Text). (Kupper, Bonjour, Menzi, Bretscher, & Zaucker, 2018) 20
- Abbildung 14: Kanton Schaffhausen: Tierkategorien und Ammoniak-Emissionen der Landwirtschaft, berechnet mit Agrammon, Stand 2010, (Siegerist, T. & Maly, P., 2010)). 21
- Abbildung 15: Potentielle Minderungen der Ammoniak-Emissionen im Kanton Schaffhausen, berechnet mit Agrammon (Stand 2010). Alle Angaben in $NH_3-N(t/a)$; rechte Ordinate in $kg N/(Jahr \cdot GVE)$. 23
- Abbildung 16: Berechnung der Stickstoffflüsse für den Betrieb TG3 mit 55 Milchkühen und 3 Aufzuchtrindern mit Laufhof- und Weidehaltung. Die Prozente beziehen sich auf N_{tot} mit Ausnahme der kursiven Prozentangaben im gelben Kasten, die sich auf die Aufteilung von N_{verf} beziehen. Verwendet wurden die Daten aus der Suisse-Bilanz und Agrammon-Berechnung (grün markiert). Details: siehe Text. 25
- Abbildung 17: Agrammonberechnung der Ammoniakflüsse für den Betrieb TG3 mit 55 Milchkühen und 3 Aufzuchtrindern mit Laufhof- und Weidehaltung. Dargestellt ist der Fluss für den Gesamtstickstoff N_{tot} und Ammoniak TAN. "Verlust NH_3 " bezieht sich auf den Verlust pro Emissionsstufe. Details: siehe Text. 26
- Abbildung 18: Berechnung der Stickstoffflüsse für den Betrieb GL5 mit 56 Milchkühen und 25 Aufzuchtrindern und 15 Mastkälbern mit Laufhof- und Weidehaltung. Die Prozente beziehen sich auf N_{tot} mit Ausnahme der kursiven Prozentangaben im gelben Kasten, die sich auf die Aufteilung von N_{verf} beziehen. Verwendet wurden die Daten aus der Suisse-Bilanz und Agrammon-Berechnung (grün markiert). Details: siehe Text. 27
- Abbildung 19: Agrammonberechnung der Ammoniakflüsse für den Betrieb GL5 mit 56 Milchkühen und 25 Aufzuchtrindern und 15 Mastkälbern mit Laufhof- und Weidehaltung. Dargestellt ist der Fluss für den Gesamtstickstoff N_{tot} und Ammoniak TAN. "Verlust NH_3 " bezieht sich auf den Verlust pro Emissionsstufe. Details: siehe Text. 27
- Abbildung 20: 3V-Betriebe im Kanton Glarus mit durchschnittlicher GVE-Belegung. Blau sind Rinderbetriebe; GL7, grün ist ein Betrieb mit Schafen und Ziegen. 41
- Abbildung 21: Berechnung der Stickstoffflüsse für den gesamten Stickstoff N_{tot} und TAN für die Schweizer Tierproduktion 2015 von insgesamt 130 kt N_{tot} pro Jahr (links) und 73 kt TAN pro Jahr (rechts). Die Verluste TAN sind mit den Ammoniak-Emissionen gleichzusetzen. (Kupper, Bonjour, Menzi, Bretscher, & Zaucker, 2018) 50
- Abbildung 22: Verlust von Ammoniak nach Mistausbringung auf Ackerland. Die Einarbeitung innerhalb von 4 Stunden ergäbe eine Minderung der Ausbringemissionen von 70 % bei Rindermist bzw. 80 % bei Geflügelmist (Siegerist, T. & Maly, P., 2010). 50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	<i>Zusammenfassung der Ammoniak-Immissionsmessungen Schweiz aus:</i> (Thöni, Seitler, Meier, & Kosonen, 2019).	7
Tabelle 2:	<i>Die Umweltziele Landwirtschaft UZL von 2008 mit den Anpassungen von 2016 für den Bereich "Luft" im Überblick</i> (BAFU und BLW, 2016).	8
Tabelle 3:	<i>Bilanz 2016 zu den Umweltzielen Landwirtschaft von 2008 mit den Anpassungen von 2016</i> (BAFU und BLW, 2016).	9
Tabelle 4:	Massnahmen Fütterung und Laktation. Farbmarkierung BLAU: direkt umsetzbare Massnahmen, GRÜN: Massnahmen mit Aufwand und Investitionen, GELB: bauliche Massnahmen mit Investitionen, ROT: zu prüfende Massnahme.	32
Tabelle 5:	Massnahmen Stallbauten und Tierhaltung. Farbmarkierung BLAU: direkt umsetzbare Massnahmen, GRÜN: Massnahmen mit Aufwand und Investitionen, GELB: bauliche Massnahmen mit Investitionen, ROT: zu prüfende Massnahme.	33
Tabelle 6:	Hofdüngerlager. Farbmarkierung BLAU: direkt umsetzbare Massnahmen, GRÜN: Massnahmen mit Aufwand und Investitionen, GELB: bauliche Massnahmen mit Investitionen, ROT: zu prüfende Massnahme.	35
Tabelle 7:	Massnahmen Hofdüngerausbringung. Farbmarkierung BLAU: direkt umsetzbare Massnahmen, GRÜN: Massnahmen mit Aufwand und Investitionen, GELB: bauliche Massnahmen mit Investitionen, ROT: zu prüfende Massnahme.	36
Tabelle 8:	Empfehlung zur Ammoniakminderung nach RICHTLINIE (EU) 2016/2284 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 14. Dezember 2016, Seite 23	39
Tabelle 9:	Potentielle Minimierung der Ammoniak-Emissionen für den Betrieb GL5	42
Tabelle 10:	Massnahmen zur sofortigen Umsetzung für 3V-Betriebe aus Kapitel 4. Farbmarkierung BLAU: direkt umsetzbare Massnahmen, GRÜN: Massnahmen mit Aufwand und Investitionen.	45
Tabelle 11:	Agrarumweltindikatoren und -kennzahlen auf nationaler Ebene (Frei, 2020)	49
Tabelle 12:	Critical Loads für Stickstoff und Critical Levels für Ammoniak (BAFU, 2020)	51
Tabelle 13:	Vergleich Schweizer Landwirtschaftsbetriebe mit dänischen Betrieben.	52
Tabelle 14:	Checkliste für die Minderung der Ammoniak-Emissionen auf Landwirtschaftsbetrieben	54

Zusammenfassung

Die Umweltziele Landwirtschaft UZL im Bereich "Luft" sind bei weitem nicht erreicht. Die Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft sollen maximal 25 kt N/Jahr betragen; im Jahr 2017 lagen sie bei 42 kt N/Jahr. Die Reduktion der Ammoniak-Emissionen ist notwendig, um die starke Eutrophierung und damit die Schädigung von natürlichen Lebensräumen durch übermässigen Stickstoffeintrag zu verringern.

Im Rahmen des Pilotprojekts 3V vom BAFU sollen die Möglichkeiten zur Verminderung der landwirtschaftlichen Ammoniak-Emissionen für die teilnehmenden Betriebe evaluiert werden. In dieser Studie werden in den *Kapiteln 1 und 2* die Entwicklung der Stickstoffbelastung und die Stickstoffflüsse in der Schweiz zusammengefasst. Es zeigt sich, dass die Schweiz im Vergleich zu den meisten europäischen Ländern sehr hohe Ammoniak-Emissionen pro Landwirtschaftsfläche aufweist und der Stickstoffeintrag aus der Luft in weiten Teilen des Mittellandes, Tessins sowie in den Tälern des Wallis und Graubündens für naturnahe Gebiete deutlich zu hoch ist. Verursacher sind zum grössten Teil die tierintensiven Landwirtschaftsbetriebe.

Die Stickstoffbilanz der Schweizer Landwirtschaft weist für das Jahr 2017 einen Input von ca. 165 kt N/Jahr aus (*Kap.2.3*). Dieser setzt sich für die landwirtschaftlichen Böden zusammen aus der Luftdeposition (25 kt N/a), der Stickstofffixierung (35 kt N/a), der Futtermittelimporte (53 kt N/a) und dem importierten Mineraldünger (50 kt N/a). Die Stickstoffverluste in der Landwirtschaft bewirken einerseits die hohen Ammoniak-Emissionen und andererseits den hohen Nitrateintrag in die Gewässer. Gesamthaft gesehen ist die Schweiz ein "Nettoexporteur" mit 66 kt N/a ins Ausland.

Die Analysen der Ammoniak-Emissionen in der Landwirtschaft (*Kap. 3*) zeigen auf, in welchen Stufen der landwirtschaftlichen Stickstoffkette Ammoniak verloren geht. Die Modellierung mittels Agrammon (Kupper, Bonjour, Menzi, Bretscher, & Zaucker, 2018) ergab, dass von den gesamten tierischen Stickstoff-Ausscheidungen ca. 66 % in die landwirtschaftlichen Böden und Weiden gelangen. Von den TAN-Ausscheidungen, die als pflanzenverfügbar betrachtet werden, gelangen ca. 40 % in die landwirtschaftlichen Böden und Weiden. Vom verfügbaren TAN gehen ca. 60 % als Ammoniak-Emissionen verloren. Die grössten TAN-Verluste finden im Hof und Laufhof (24 %) statt und bei der Hofdüngerausbringung (28 %), während auf der Weide nur ca. 2 % vom TAN verloren geht.

In der landwirtschaftlichen Praxis dient die Suisse-Bilanz für den ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN). Sie soll für eine ausgeglichene Düngerbilanz sorgen und gewährleisten, dass die Nährstoffkreisläufe möglichst geschlossen sind. Dank des ÖLN mit Suisse-Bilanz konnte eine Reduktion des Stickstoff-Inputs in der Landwirtschaft erreicht werden, ohne dass es zu Ertragseinbussen kam. Allerdings berücksichtigt die Suisse-Bilanz Stickstoffverluste nur sehr pauschal. Da gut drei Viertel der Ammoniak-Emissionen in der Tierhaltung durch das Rindvieh anfallen, wurden die Stickstoffflüsse und Ammoniak-Emissionen für zwei Betriebe mit Milchkühen im Detail analysiert. Es zeigt sich, dass die Suisse-Bilanz keine zuverlässige Auskunft über die Stickstoffverluste als TAN liefert. Die Ammoniak-Verluste können nur durch Modellrechnungen mit Agrammon aufgezeigt werden. Die Kombination aus Suisse-Bilanz und Agrammon-Modellierung ergibt für die beiden Milchkuh-Betriebe, dass nur ca. ein Viertel des Stickstoffanfalls N_{tot} als pflanzenverfügbares N_{verf} in den Boden gelangt.

Für die Zusammenstellung von geeigneten Massnahmen zur Einschränkung der Ammoniak-Emissionen (*Kap. 4*) wurden neben den in der Schweiz bekannten Massnahmen auch Anwendungen im Ausland einbezogen. Insbesondere wurden die Massnahmen gegen Stickstoffverluste in Dänemark beachtet, da die dänische Landwirtschaft in den letzten 30 Jahren die sogenannte Nitrogen Use Efficiency (NUE) von 40 % auf 60 % steigern konnte. Dementsprechend konnten auch die dänischen Ammoniak-Emissionen und Nitratverluste gesenkt werden. Die wesentlichen Kennzahlen zur dänischen und Schweizer Landwirtschaft sind im *Anhang 6.5* zusammengestellt.

Empfehlungen von Massnahmen für die Umsetzung im 3V-Projekt:

Die Modellrechnungen mit Agrammon ergaben, dass für optimale Massnahmen die Betriebe differenziert analysiert werden müssten. Für eine einfache Betriebsanalyse wurde eine Checkliste (*Anhang 6.6*) erstellt.

Sofort umsetzbare Massnahmen auf den Betrieben sind (*Tabelle 10, Kap. 5.3.2*):

- ⇒ **Fütterung und Tierhaltung:** Weidehaltung, N und P optimierte Fütterung und hohe Anzahl Laktationen
- ⇒ **Stall und Laufhof:** Reinigung, Nutzung Laufhof und optimierte Strohmenge im Tiefstreustall
- ⇒ **Hofdüngerlager:** seltenes Aufrühren der Gülle bei Lagern ohne feste Abdeckung oder unter perforierten Böden. Mist: kleine Oberflächen oder Abdecken von Lagern
- ⇒ **Hofdüngerausbringung:** mindestens Schleppschaucheinsatz für Gülle, sofern topografisch möglich; Misteinarbeitung auf Ackerböden

Für langfristige Verbesserungen auf den Betrieben gelten generell (*Kap. 4.3*):

- ⇒ **Optimale Stallkonzepte:** Stallklima, Stallorganisation, geringe Verschmutzungsflächen, Trennung von Harn und Kot (z.B. planbefestigter Boden mit Quergefälle und Harnsammelrinne sowie Schieberentmischung mit Rinnenräumer), eventuelle Ansäuerung der Gülle
- ⇒ **Hofdüngerlager:** feste Abdeckung von Güllelagern
- ⇒ **Hofdüngerausbringung:** besser Schleppschuh- oder Injektoreinsatz für Gülle, sofern topografisch möglich; Misteinarbeitung auf Ackerböden

Vier Anregungen für eine langfristige Optimierung des Stickstoffs als Düngemittel:

- ⇒ Grosse überbetriebliche Güllelager, damit der Nährstoff für die Pflanzen nur zur optimalen Zeit ausgebracht wird.
- ⇒ Spezialisierte Unternehmen, welche technisch und sicherheitsmässig in der Lage sind die Gülleansäuerung umzusetzen (a: Stallbewirtschaftung $\text{pH} < 5.6$ oder b: Gülleausbringung $\text{pH} < 6.4$).
- ⇒ Überbetriebliche Zusammenarbeit mit regional spezialisierten Maschinenparks zur emissionsarmen Ausbringung des Hofdüngers mit modernster Technik (z.B. Maschinenring).
- ⇒ Generelle Effizienzsteigerung der Nährstoffverwertung, unterstützt mit Unterstützungsgeldern in der landwirtschaftlichen Praxis.

1 Ausgangslage

Die Biodiversität und Vielfalt der Schweizerischen Natur ist bedroht, zum Teil stark betroffen durch die menschlichen Aktivitäten. Dies betrifft auch den Zustand der Lebensräume in den Schweizerischen Landwirtschaftsgebieten. Dazu fasst das BAFU zusammen (BAFU, 2019):

Qualitativ wertvolle Naturflächen bedecken lediglich noch 2,2 bis 4 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche in der Talzone. In den Bergzonen III und IV sowie im Sömmerungsgebiet hat es noch deutlich mehr naturnahe Flächen, aber auch dort existieren artenarme Defiziträume.

Die vom Biodiversitätsmonitoring (BDM) nachgewiesene zunehmende Verbreitung von nährstoffliebenden Pflanzenarten weist auf eine anhaltende Eutrophierung von Wiesen und Weiden hin. Die Rote Liste zeigt, dass nicht nur 43% der Wiesen- und Weidetypen im Grünland, sondern auch 64% der Begleitvegetationstypen der Kulturen bedroht sind.

Mit Eutrophierung ist u.a. der übermässige Stickstoffeintrag in naturnahe Gebiete gemeint. Der Stickstoffeintrag wird, je nach Biotop, entsprechend der Critical Loads (kritische Eintrags- oder Depositionswerte) und Critical Levels (Ammoniakkonzentration) beurteilt. Die Schweiz hat sich verpflichtet, Immissionen oberhalb der Critical Loads nach Luftreinhalte-Verordnung als übermässige Immissionen zu beurteilen und zu begrenzen. Dies entspricht dem internationalen Göteborg-Abkommen¹.

1.1 Quellen des Stickstoffs

Mit der Einführung der Umweltgesetzgebung (Oktober 1983) konnten in der Schweiz die meisten Luftschadstoffe stark reduziert werden. Die Emissionen, die auch für die Landwirtschaft bedeutend sind, entwickelten sich folgendermassen²:

- Reduktion der Stickoxide (NO_x) um 50 %: von 144 kt (1990) zu 73 kt (2018), womit das Ziel von 50 % Reduktion erreicht wurde. Dies entspricht einer Reduktion des NO_x-Stickstoffs von 46 kt N/a auf 22 kt N/a.
- Reduktion von Ammoniak (NH₃) um 20 %: von 69 kt pro Jahr (1990) auf 55 kt pro Jahr (2018), wobei nur die Hälfte für das Ziel von 40 % Reduktion erreicht wurde. Dies entspricht einer Reduktion des NH₃-Stickstoffs von 57 kt N/a auf 45 kt N/a³.
- Aus dem Treibhausgasinventar lässt sich entnehmen, dass in diesem Zeitraum die Emissionen aus der Landwirtschaft für Lachgas (N₂O) um 17 % von 7.7 kt pro Jahr (1990) auf 6.4 kt pro Jahr (2018) und für Methan (CH₄) um 9 % von 179 kt pro Jahr (1990) auf 162 kt pro Jahr (2018) abgenommen haben.⁴

¹ Protokoll von Göteborg (1999): [UNECE: Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone CLRTAP](#)

² <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/inkuerze.html>

³ nach (Frei, 2020): 42 kt N/a

⁴ https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/fachinfo-daten/THG_Inventar_Daten.xlsx.download.xlsx/Entwicklung_THG_Emissionen_seit_1990.xlsx

Die gesamten Stickstoff-Inputs in die Schweizer Umwelt betragen knapp 250 kt N/a. Der grösste Anteil mit 57 % stammt aus der Landwirtschaft, gefolgt mit 21 % vom Import der Nahrungs- und Futtermittel, der biologischen Stickstofffixierung (16 %) und den technischen Abgasen Stickoxide (6 %) (*Abbildung 1*). Aus der Forst- und Landwirtschaft werden 48.5 kt N/a als Luftschadstoffe emittiert, wobei die Emissionen der Forstwirtschaft verhältnismässig tief sind. Somit stammen 66 % der Stickstoff-Emissionen von NO_x, NH₃ und N₂O aus der Landwirtschaft. Während die Stickoxid-Emissionen zwischen 1990 und 2010 dank verschiedener technischer Abgasvorschriften um rund 66 % abgenommen haben ist der Rückgang in den Ammoniak-Emissionen mit ca. 15 % bescheiden. Seit 2005 sind die Ammoniak-Emissionen nur wenig verringert worden. Die Entwicklung der Stickstoff-Emissionen in der Schweiz zwischen 1990 und 2018 ist in *Abbildung 2* dargestellt und die Emissionen nach Sektor für 2018 in *Abbildung 3*.

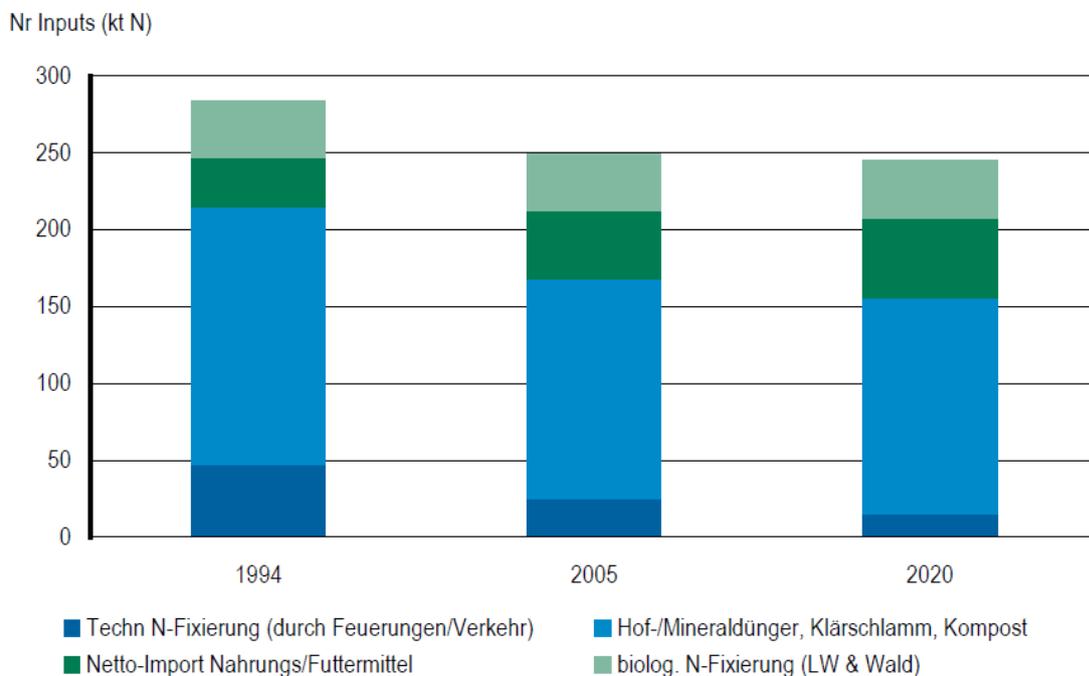


Abbildung 1: Schweizer Stickstoffinput (Nr, reaktiver Stickstoff) von 247 Kilotonnen Stickstoff pro Jahr (kt N/a), in das Subsystem Umwelt gemäss "European Nitrogen Assessment 2011, aus (Heldstab, Leippert, Biedermann, & Schwank, 2013)

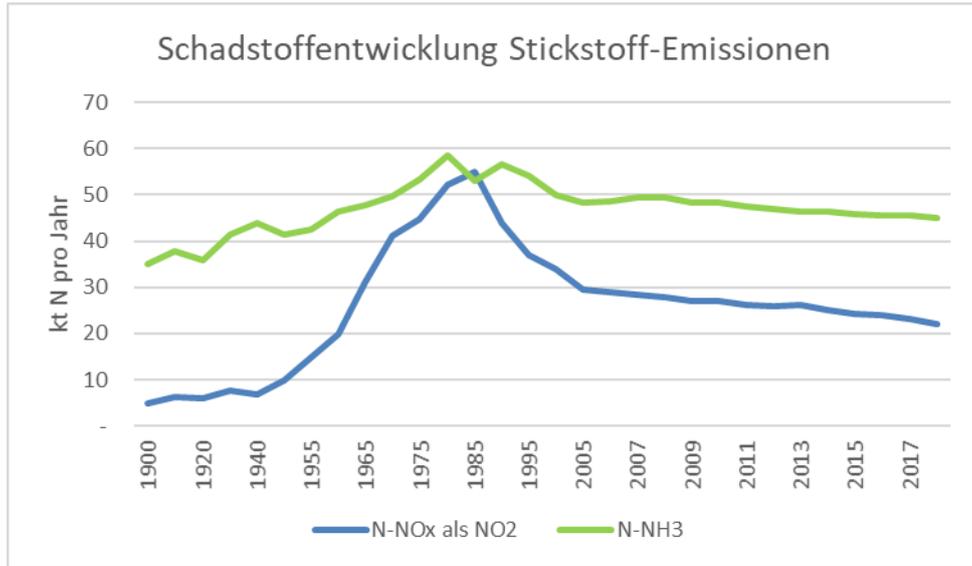


Abbildung 2: Entwicklung der Stickstoff-Emissionen NO_x und NH_3 von 1900 bis 2018 in der Schweiz in Kilotonnen Stickstoff pro Jahr (kt N/a) (BAFU - Bundesamt für Statistik, 2020)

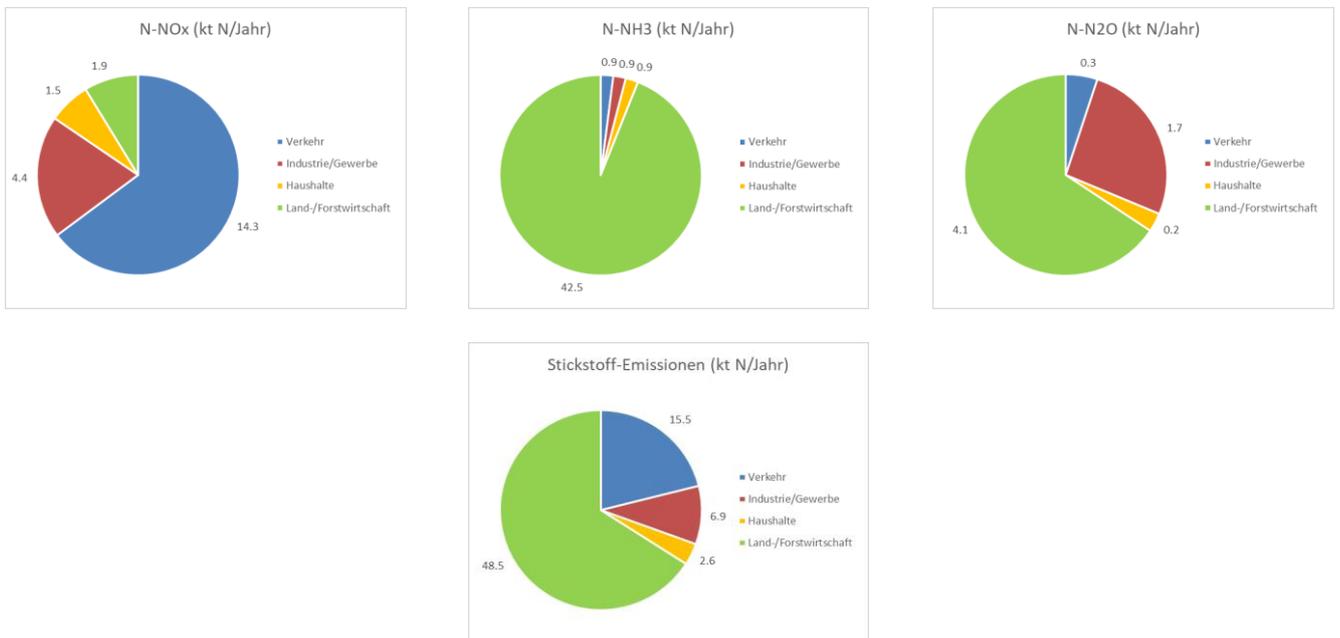


Abbildung 3: Emissionen der Stickstoffverbindungen 2018 NO_x (22.1 kt N/a), NH_3 (45.2 kt N/a) und N_2O (6.3 kt N/a) und Gesamtstickstoff (73.6 kt N/a) aufgeteilt nach den Sektoren Verkehr, Industrie/Gewerbe, Haushalte und Land-/Forstwirtschaft in der Schweiz in Kilotonnen Stickstoff pro Jahr (kt N/a) (BAFU - Bundesamt für Statistik, 2020).

1.2 Eutrophierung durch Stickstoff-Emissionen

Die Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft liefern den grössten Anteil an den Stickstoff-Immissionen, die zur übermässigen Belastung der naturnahen Flächen führen. Analysen zum Stickstoffeintrag in natürliche Lebensräume zeigen auf, dass auf etwa 70% der kartierten empfindlichen Ökosysteme die Critical Loads für Stickstoff überschritten sind (

Abbildung 4). Mit wenigen Ausnahmen trifft dies in allen Gebieten des Mittellandes, Juras und der Voralpen sowie im Tessin zu.

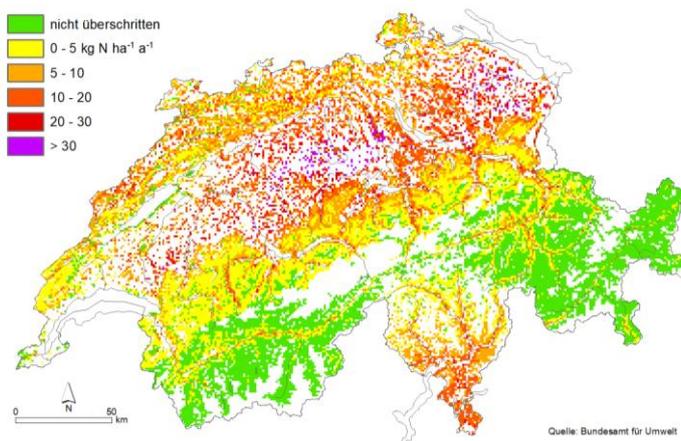


Abbildung 4: Überschreitung der Critical Loads für Stickstoff für das Jahr 2015: Auf bis violett markierten Flächen sind die Immissionen übermässig (BAFU, 2020).

Die Beurteilung der Übermässigkeit von Stickstoff-Einträgen und Ammoniak-Immissionen, im Sinne der Luftreinhalte-Verordnung (LRV), ist vom BAFU konkretisiert worden (BAFU, 2020). Daraus ist zu entnehmen, dass in allen höher belasteten Regionen der grösste Anteil des Stickstoffeintrages durch gasförmige Ammoniak-Emissionen erfolgt. Detaillierte Ergebnisse zu den Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz werden in Berichten durch die Forschungsstelle für Umweltbeobachtung (Thöni, Seitler, Meier, & Kosonen, 2019) veröffentlicht: Vom letzten Bericht für die Messserie 2000 bis 2018 findet sich das Fazit in

Tabelle 1.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Ammoniak-Immissionsmessungen Schweiz aus: (Thöni, Seitler, Meier, & Kosonen, 2019).

Fazit

- An den meisten der 13 Standorte, an denen seit 2000 ununterbrochen gemessen wurde, blieb die Ammoniakkonzentration ähnlich hoch. Eine Reduktion der Ammoniakkonzentrationen kann in diesem Zeitraum nicht beobachtet werden. (Abbildung Z 1).
- Die konstant hohen Ammoniakkonzentrationen zeigen, dass die umgesetzten Massnahmen zur Emissionsreduktion in der Landwirtschaft nicht ausreichen, um die Ammoniakimmissionen flächendeckend zu senken.
- Die hohen Konzentrationen im 2018 wurden durch die spezielle Witterung beeinflusst. Es war an vielen Orten das wärmste und oft auch das trockenste Jahr dieser Messreihe, was die Ausbreitung, die Deposition und auch die Emissionsmenge beeinflussen kann.
- Die Ammoniakbelastung ist am höchsten in Gebieten mit intensiver Tierproduktion ($6 - 12 \mu\text{g m}^{-3}$) und etwas geringer in Gebieten mit weniger intensiver Tierproduktion.
- In Gebieten, in denen mehrheitlich Ackerbau betrieben wird, sind die Ammoniak-Konzentrationen ($2 - 5 \mu\text{g m}^{-3}$) und die saisonalen Schwankungen meist kleiner als in Gebieten mit Tierproduktion.
- Die höchsten Konzentrationen werden in Perioden mit Gülleausbringung gemessen.
- Im Dezember und Januar sind die Werte im Jahresverlauf in der Regel am niedrigsten.
- Mehrere Messstandorte in der gleichen Geländekammer können unterschiedliche Ammoniak-Konzentrationen aufweisen, zeigen aber meistens parallele Verläufe der Jahreswerte.
- Die Konzentrationen des gasförmigen Ammoniaks tragen wesentlich zum Stickstoffeintrag in empfindliche Ökosysteme bei. Die kritischen Eintragsraten (Critical Loads) nach CLRTAP 2017 (Kapitel V) werden in der Schweiz bei den empfindlichen Ökosystemen grossräumig überschritten. Auch die in Bezug auf die Direktwirkungen von Ammoniak festgelegten kritischen Konzentrationen (Critical Levels) gemäss CLRTAP 2017 (Kapitel III) zum Schutz der Vegetation in naturnahen Ökosystemen werden in der Schweiz vielerorts überschritten.
- Der Vergleich der gemessenen mit den modellierten Konzentrationen, auf Emissionserhebungen basierenden Werten, zeigt eine gute Übereinstimmung der räumlichen Verteilung. Die modellierten Konzentrationen wurden im Mittel an die gemessenen Werte angepasst und erlauben daher keinen Rückschluss auf die absolute Stärke der Emissionen.

1.3 Umweltziel Ammoniak

Die Bundesämter für Umwelt (BAFU) und für Landwirtschaft (BLW) haben die Umweltziele Landwirtschaft UZL 2008 publiziert. Im Bericht des Bundesrates vom 9.12.2016, in Erfüllung des Postulats 13.4284 Bertschy, wurde an dem Ziel, die Ammoniak-Emissionen auf 25 kt N/a zu reduzieren festgehalten (Bundesrat, 2016). Im Statusbericht 2016 von BAFU und BLW (BAFU und BLW, 2016) wird aufgezeigt, dass die UZL im Bereich "Klima und Luft" bisher bei weitem nicht erreicht wurden (*Tabelle 2* und *Tabelle 3*). Der Handlungsbedarf in der Landwirtschaft ist ausgewiesen. Trotz der bisherigen Massnahmen sind die UZL "Luft" nicht erreicht.

Tabelle 2: Die Umweltziele Landwirtschaft UZL von 2008 mit den Anpassungen von 2016 für den Bereich "Luft" im Überblick (BAFU und BLW, 2016).

	Allgemeines Umweltziel	Umweltziel Landwirtschaft
Stickstoffhaltige Luftschadstoffe (Ammoniak, Stickoxide)	1. Vorsorgliche Begrenzung der Emissionen so weit, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist. 2. Keine übermässigen Immissionen, das heisst keine Überschreitung von Belastungsgrenzen wie Immissionsgrenzwerte, Critical Loads, Critical Levels und «Air Quality Guidelines». Verschärfte Emissionsbegrenzungen, falls trotz vorsorglicher Emissionsbegrenzung übermässige Immissionen verursacht werden.	Die Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft betragen maximal 25 000 t N/Jahr.
Dieseleruss	Reduktion der gesamten Dieselerussemissionen in der Schweiz auf 100 Tonnen pro Jahr.	Die Dieselerussemissionen der Landwirtschaft betragen maximal 20 Tonnen pro Jahr.
Wasser		
Nitrat	1. Maximal 25 mg Nitrat pro Liter in Gewässern, die der Trinkwassernutzung dienen oder dafür vorgesehen sind. 2. Reduktion der Stickstoffeinträge in die Gewässer um 50 % gegenüber 1985.	1. Maximal 25 mg Nitrat pro Liter in Gewässern, die der Trinkwassernutzung dienen oder dafür vorgesehen sind und deren Zuströmbereich hauptsächlich von der Landwirtschaft genutzt wird. 2. Reduktion der landwirtschaftsbedingten Stickstoffeinträge in die Gewässer um 50 % gegenüber 1985.

Tabelle 3: Bilanz 2016 zu den Umweltzielen Landwirtschaft von 2008 mit den Anpassungen von 2016 (BAFU und BLW, 2016).

Umweltziel Landwirtschaft	Stand Zielerreichung 2016	Entwicklung auf Grund von Trends und beschlossenen Massnahmen	
Klima und Luft			
Treibhausgasemissionen			
Reduktion der landwirtschaftlichen Kohlendioxid-, Methan- und Lachgasemissionen um mindestens ein Drittel bis 2050 gegenüber 1990 (entspricht einer Reduktion von rund 0,6 % pro Jahr unter einem linearen Absenkpfad).	<ul style="list-style-type: none"> Die landwirtschaftlichen Emissionen wurden v. a. in der Periode 1990 bis 2000 reduziert. Bis heute entspricht die Reduktion aber nicht dem Ausmass des im konkretisierten UZL vorgegebenen linearen Absenkpfares. Der langfristige Zielzustand ist noch nicht erreicht. 	<ul style="list-style-type: none"> Von Bedeutung wird sein, welche weitergehenden Massnahmen zur Umsetzung der Klimastrategie Landwirtschaft realisiert werden. Die Entwicklung des Rindviehbestandes wird einen wesentlichen Einfluss auf die Zielerreichung haben. Ob das UZL erreicht wird, kann erst zu einem späteren Zeitpunkt beurteilt werden. 	○
Stickstoffhaltige Luftschadstoffe			
Die Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft betragen maximal 25 000 t N/Jahr.	<ul style="list-style-type: none"> Die Emissionen von Ammoniak-Stickstoff betragen im Jahr 2014 rund 48 000 Tonnen Stickstoff. Das Ziel ist nicht erreicht. 	<ul style="list-style-type: none"> Mit einer Verbesserung des Vollzugs des Umweltrechts durch die Kantone können die Emissionen weiter gesenkt werden (u. a. Massnahmenpläne gemäss USG und LRV). Technische Massnahmen können mit dem Ressourcenprogramm und den Ressourceneffizienzbeiträgen der Agrarpolitik unterstützt werden. Ohne weitergehende Massnahmen wird das Ziel nicht erreicht. 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ ✗
Dieselruss			
Die Dieselrussmissionen der Landwirtschaft betragen maximal 20 Tonnen pro Jahr.	<ul style="list-style-type: none"> Die Landwirtschaft emittiert zurzeit rund 226 Tonnen Dieselruss pro Jahr. Das Ziel ist noch nicht erreicht. 	<ul style="list-style-type: none"> Die Übernahme der für 2019 erwarteten strengeren EU-Vorschriften wird voraussichtlich zur Zielerreichung um das Jahr 2040 herum führen. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ ✓
Wasser			
Nitrat			
1. Maximal 25 mg Nitrat pro Liter in Gewässern, die der Trinkwassernutzung dienen oder dafür vorgesehen sind und deren Zuströmbereich hauptsächlich von der Landwirtschaft genutzt wird.	<ul style="list-style-type: none"> 45 % der NAQUA-Messstellen mit Hauptbodennutzung Ackerbau bzw. 14 % der NAQUA-Messstellen mit Hauptbodennutzung Grasland überschreiten den Zielwert. Das Ziel ist nicht überall erreicht. 	<ul style="list-style-type: none"> Mit einer Verbesserung des Vollzugs des Gewässerschutzrechts durch die Kantone kann der Nitratreintrag weiter gesenkt werden. Durch verschiedene technische und organisatorische Massnahmen lassen sich die lokal oder regional zu hohen Stickstoffeinträge in die Gewässer senken. Ob das UZL erreicht wird, kann erst zu einem späteren Zeitpunkt beurteilt werden. 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ ○
2. Reduktion der landwirtschaftsbedingten Stickstoffeinträge in die Gewässer um 50 % gegenüber 1985.	<ul style="list-style-type: none"> Die bisherige Reduktion betrug gegenüber 1985 rund 25 %. Das Ziel ist nicht erreicht. 	<ul style="list-style-type: none"> Massnahmen zur Reduktion der Ammoniakemissionen bewirken auch eine Reduktion der Nitratreinträge in die Gewässer aus naturnahen Ökosystemen, die mit zu hohen Stickstoffeinträgen aus der Luft belastet sind. Ausgehend von den bestehenden Schätzungen/Modellierungen und den beschlossenen Massnahmen ist unsicher, ob die Stickstoffeinträge aus der Landwirtschaft noch weiter sinken werden. Das Umweltziel wird nicht erreicht. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ ➔ ✗

1.4 Umweltziele Landwirtschaft UZL "Luft" und Pilotprojekt 3V

Zum Erreichen der UZL "Luft" müssen die Ammoniak-Emissionen auf 25 kt N/a reduziert werden; dies entspricht fast einer Halbierung der heutigen Emissionen. Dieses Ziel lässt sich nur erreichen, wenn in der Landwirtschaft alle bekannten betriebliche Massnahmen umgesetzt und alle Techniken zur Ammoniakminderung eingesetzt werden. Die Ammoniak-Immissionsmessungen weisen Spitzenwerte im Frühling und Herbst auf (*Abbildung 5*). Während im Frühling die Düngung für die Pflanzen sinnvoll ist, deutet die hohe Belastung im Herbst auf die heutige Praxis hin, dass vielerorts im Herbst die Güllelager geleert werden, ohne damit eine nachhaltige Düngung der Pflanzen zu erreichen. Auch wenn alle Massnahmen umgesetzt würden, so ist es nicht auszuschliessen, dass der Tierbestand in der Schweiz reduziert werden muss, um das UZL "Luft" zu erreichen.

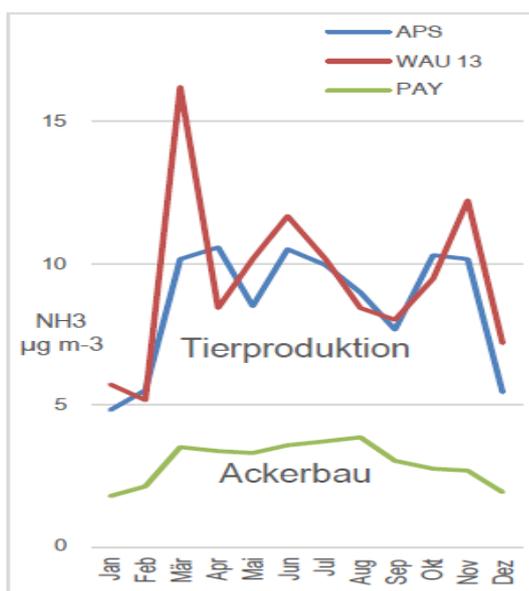


Abbildung 5: Jahresverlauf der Ammoniak-Immissionen als Mediane der Monatsmittel 2004-2018 für Ackerbau (PAY) und Gebiete mit intensiver Tierhaltung (WAU 13 und APS) (Thöni, Seitler, Meier, & Kosonen, 2019).

Das BAFU möchte mit dem Pilotprojekt 3V-Projekt an Landwirtschaftsbetrieben beispielhaft aufzeigen, mit welchen Massnahmen die Betriebe selbst einen Beitrag zur Erreichung der UZL leisten können.

In diesem Bericht wird aufgezeigt, in welchen Phasen Stickstoff-, bzw. Ammoniak-Verluste in der Landwirtschaft stattfinden, mit welchen Mitteln die Ammoniak-Verluste analysiert werden können und welche Massnahmen eingesetzt werden können, um die Verluste zu minimieren und gleichzeitig eine optimale Düngung zu erreichen.

2 Stickstoff in Umwelt und Landwirtschaft

2.1 Stickstoffflüsse in der Schweizer Umwelt

Der Bericht des BAFU "Stickstoffflüsse in der Schweiz 2020" (Heldstab, Leippert, Biedermann, & Schwank, 2013)⁵ gibt einen umfassenden Überblick zu den Stickstoffflüssen in der Schweiz. In der Zwischenzeit wurden diverse Modellierungen zu den Stickstoff-Emissionen in der Luft und für die Stickstoffverluste durch Auswaschung und Abschwemmung erstellt, z.B. (Hürdler, Prasuhn, & Spiess, 2015), die hier nicht berücksichtigt sind.

In das Subsystem Umwelt werden 250 kt N/a eingespeist, wobei über die Luft 167 kt N/a und über das Wasser 84 kt N/a in die Umwelt gelangen. Der Input in die Luft setzt sich zusammen aus landwirtschaftlicher Produktion 85 kt N/a, den menschlichen Tätigkeiten (anthropogener Herkunft) 46 kt N/a und Import (vom Ausland) von 35 kt N/a. In das Wasser gelangen aus Forst- und Landwirtschaft 41 kt N/a, aus menschlichen Tätigkeiten 28 kt N/a und als Import 15 kt N/a. In *Abbildung 6* sind die Inputs und Outputs für Stickstoff in die Umwelt zusammengefasst. Gesamthaft exportiert die Schweiz 116 kt N/a über die Luft und Gewässer, woraus sich ein Netto-Stickstoffüberschuss von insgesamt 66 kt N/a ergibt.

⁵ Abkürzungen für einzelne Stoffflüsse beziehen sich auf (Heldstab, Leippert, Biedermann, & Schwank, 2013)

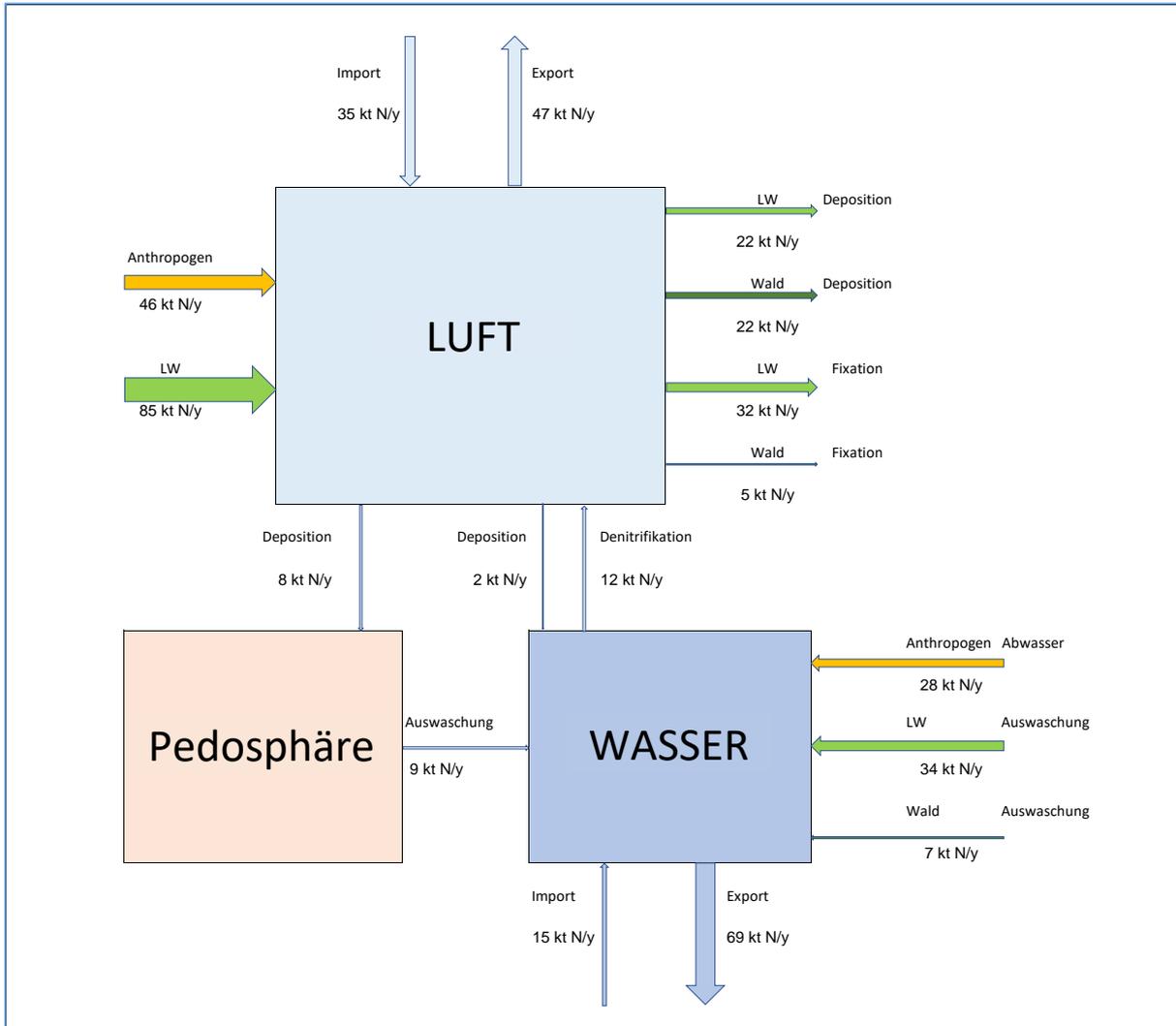


Abbildung 6: Stickstoffflüsse für das Subsystem Umwelt Schweiz, Prognose-Zustand 2020, mit ca. 250 kt N/Jahr, vereinfacht zusammengefasst nach (Heldstab, Leippert, Biedermann, & Schwank, 2013)⁶

2.2 Stickstoffflüsse in der Schweizer Landwirtschaft

Die Firma infras hat für das BLW die Stickstoffflüsse der Land- und Ernährungswirtschaft in der Schweiz bilanziert (Reutimann, Heldstab, & Leippert, 2013). Jeder Stofffluss wurde individuell berechnet, aus diesem Grund gehen die Bilanzen nicht exakt auf, allerdings sind die Unsicherheiten der Einzelschätzungen deutlich grösser als die Bilanzdifferenz. In *Abbildung 7* sind die Stickstoffflüsse zusammengefasst. Der Input für die Tierhaltung aus dem Futterimport beträgt 36 kt N/a, und in die Landwirtschaftsböden für den Pflanzenbau werden 103 kt N/a eingetragen. Zusammen mit dem Import an Nahrungsmitteln von 29 kt N/a ergibt sich ein totaler Input von 168 kt N/a. Von diesem Input entweichen als Emissionen in die Umwelt ca. 40 kt N/a als Ammoniak aus der

⁶ Der Input LW von 85 kt N/y in die LUFT setzt sich zusammen aus den Verlusten von der Tierhaltung mit 40 kt N/y, den Emissionen aus Landwirtschaftsböden & Pflanzenbau mit 38 kt N/y.

Tierhaltung⁷ und 72 kt N/a als Emissionen⁸ und Auswaschung⁹ aus Landwirtschaftsböden und Pflanzenbau. Der grösste Umsatz an stickstoffhaltigen Verbindungen erfolgt mit Futter und Dünger innerhalb der Landwirtschaft selbst mit ca. 100 kt N/a.

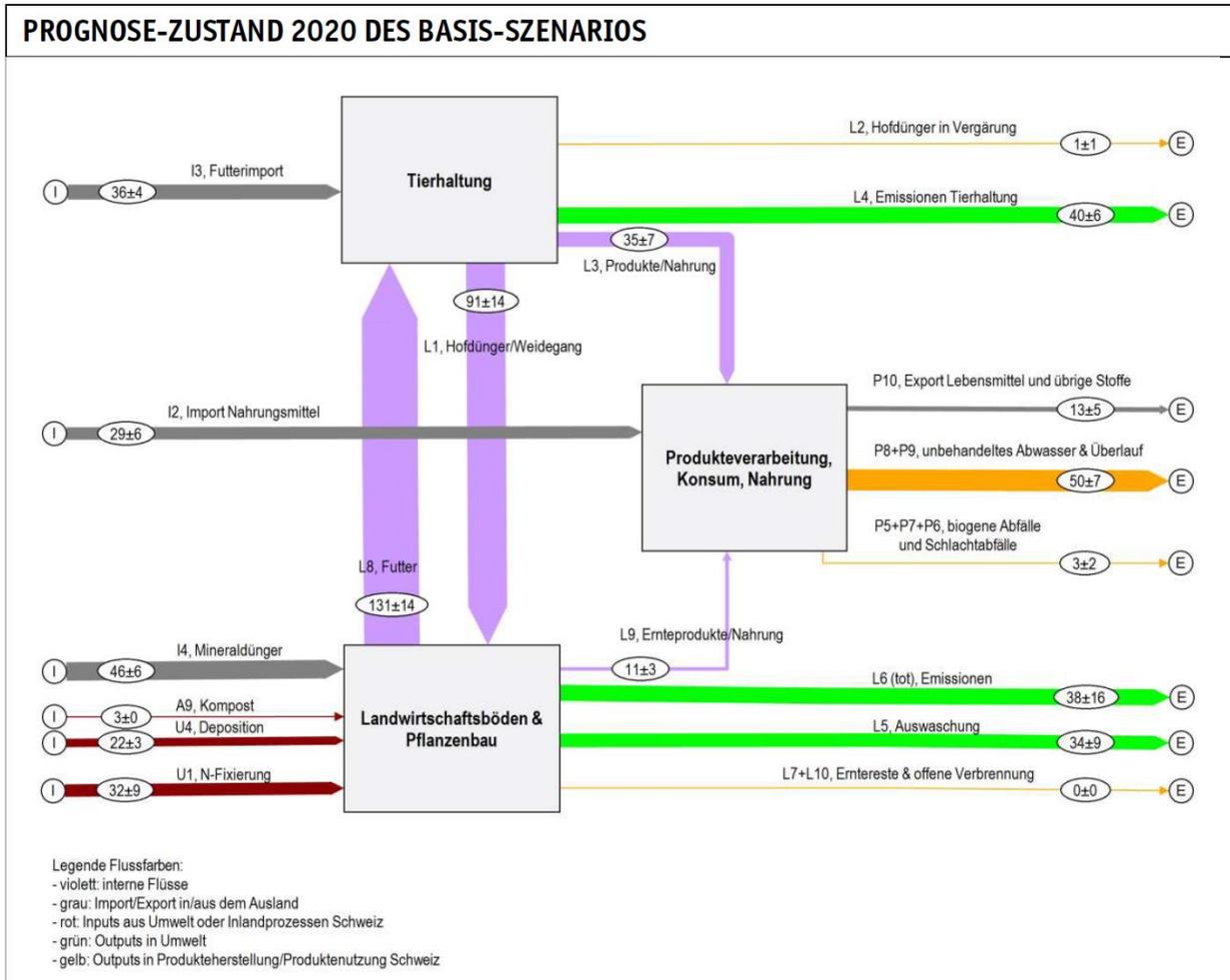


Abbildung 7: Stoffflusssystem Schweiz für Land- und Ernährungswirtschaft. Stickstoffflüsse in kt N/a; Farben siehe Legende in Abbildung. (Reutimann, Heldstab, & Leippert, 2013).

⁷ **Tierhaltung** → **Atmosphäre (Umwelt):** NH₃, NO_x und N₂O -Emissionen aus der Tierhaltung in die Atmosphäre (L4 in Abbildung 7).

⁸ **Landwirtschaftsböden (Acker, Weiden etc.) und Pflanzenanbau** → **Atmosphäre (Umwelt)** Emissionen von NO_x, N₂O und NH₃ aus Landwirtschaftsböden durch Weidegang und NO_x und N₂O Austrag durch Hofdünger (ohne NH₃-Emissionen, die bei der Tierhaltung L4 berücksichtigt sind), Mineraldünger, Kompost und Klärschlamm, aus Ernterückständen, N-fixierenden Pflanzen und organischen Böden sowie indirekte Emissionen. (L6 in Abbildung 7).

⁹ **Landwirtschaftsböden (Acker, Weiden etc.) und Pflanzenanbau** → **Hydrosphäre (Umwelt)** Nitrat-Auswaschung und -Abschwemmung aus Landwirtschaftsböden in Grund- und Oberflächengewässer, verursacht durch den über die landwirtschaftliche Praxis (Fruchtfolge, Bodenbearbeitung) mobilisierten Stickstoff sowie Einträge von Hofdünger, Mineraldünger, Kompost, etc. (L5 in Abbildung 7).

2.3 Stickstoffbilanz N_{tot} der Schweizer Landwirtschaft und Ammoniak-Emissionen

Im Bericht des Bundesrates "Umwelt Schweiz 2018" (Bundesrat, 2018) wird die Stickstoffbilanz der Schweizer Landwirtschaft zusammengefasst (Abbildung 8). Die Stickstoffbilanz der Schweizer Landwirtschaft weist für das Jahr 2017 einen N-Input von ca. 165 kt N_{tot} aus (Frei, 2020), vgl. Anhang 6.1. Der Stickstoffeintrag im Jahr 2017 (gerundet auf 1'000 t) setzt sich zusammen aus direkten Einträgen durch die Landwirtschaft von ca. 106 kt N_{tot} und ca. 59 kt N_{tot} aus atmosphärischer Deposition und Stickstofffixierung. Der Stickstoffgehalt in Produkten der Landwirtschaft (Output) betrug ca. 11 kt N_{tot} für pflanzliche Produkte und ca. 40 kt N_{tot} für tierische Produkte¹⁰ (inkl. Hofdünger). Daraus resultierte ein Schweizerischer Stickstoffüberschuss von 114 kt N_{tot} im Jahr 2017. Für die Stickstoff-Effizienz N_{tot} wird im Agrarbericht (Frei, 2020) mit ca. 30 % gerechnet. Vom landwirtschaftlichen Stickstoffüberschuss emittierte gut ein Drittel, ca. 40 kt N, als Ammoniak.

Stickstoffbilanz in der Landwirtschaft

Stickstoff (N) gelangt in Form von Dünger, Futter sowie durch pflanzliche Fixierung und atmosphärischen Eintrag in die Landwirtschaft. Ein Teil davon entweicht als Ammoniak (NH₃) oder als Lachgas (N₂O)

in die Luft, ein anderer Teil wird als Nitrat (NO₃) ins Grundwasser ausgewaschen. In den letzten zehn Jahren belief sich der Stickstoffüberschuss im Durchschnitt auf rund 110'000 Tonnen pro Jahr.

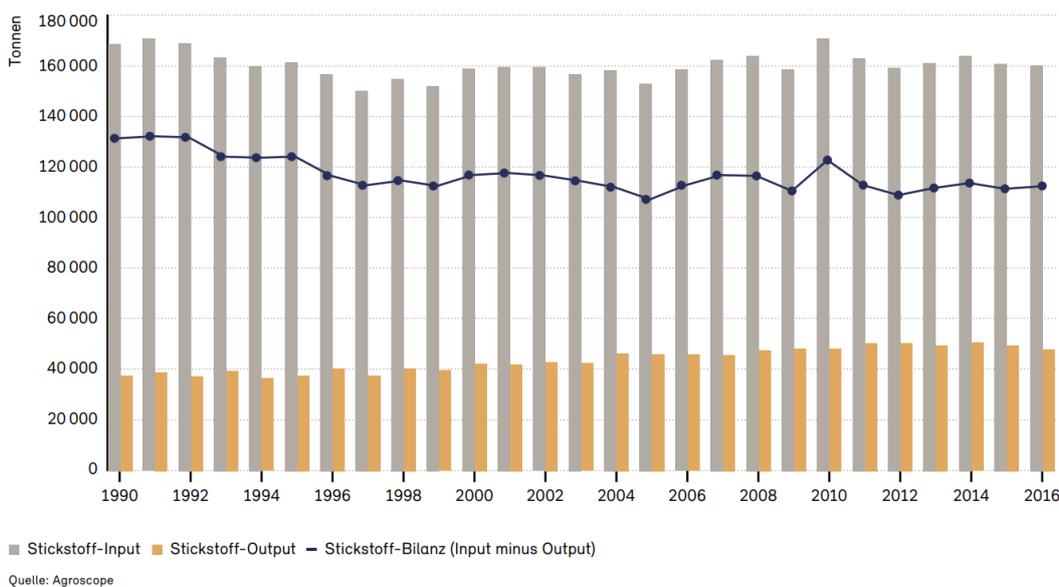


Abbildung 8: Stickstoffbilanz der Schweizer Landwirtschaft, (Bundesrat, 2018).

Aus den Statistiken der OECD und Eurostat (Statistische Amt der Europäischen Union)¹² ergeben sich für die Schweiz, im Vergleich zu anderen europäischen Ländern, durchwegs mittlere bis tiefe Emissionswerte pro Landwirtschaftsfläche. In der Brutto-Nährstoffbilanz, welche den Stickstoffüberschuss aus dem Input und Output

¹⁰ In dieser Publikation werden "Tierische Produkte (mit Hofdünger) 39'545 t N/a" aufgeführt. In Abbildung 7 werden für das Jahr 2020 unter Produkte / Nahrung (L3) 35'000 t N/a deklariert.

von Nährstoffen in landwirtschaftlichen Böden beziffert, wird für die Schweiz eine "gross nutrient balance" von 66 kg N/ha und Jahr (2017) ausgewiesen.

Auffallend ist, dass für die Berechnung der Brutto-Nährstoffbilanz pro Hektare die gesamte landwirtschaftliche Fläche verwendet wird¹¹. In der Schweiz machen die Sömmerungsweiden fast einen Drittel der Landwirtschaftsfläche aus, auf denen ca. 300'000 GVE (22 % der Schweizer GVE) während ca. 100 Tagen (Normalstoss) gehalten werden (Bundesamts für Landwirtschaft, 2019). Somit fallen nur 4 % des Stickstoffoutputs durch die Tierhaltung auf den Sömmerungsweiden an. Die Berechnung der Bilanz unter Ausschluss der Fläche Sömmerungsweiden ergibt einen realistischeren Wert für die Schweizerischen Stickstoffeinträge pro Landwirtschaftsfläche. In *Abbildung 9* zeigt sich, dass die Stickstoff-Bilanz für die Schweiz ohne Berücksichtigung der Sömmerungsweiden hoch ausfällt (2017: 96 kg N/ha und Jahr).

Ebenso fallen die insgesamt ca. 40 kt Stickstoff der Ammoniak-Emissionen fast ausschliesslich auf den Schweizerischen Landwirtschaftsflächen des Mittellandes und Hügelsgebiets an. Unter Berücksichtigung dieser Fläche ergeben sich für die Ammoniak-Emissionen mehr als 50 kg N/ha und Jahr. Dies ist deutlich höher als in fast allen europäischen Ländern, wie z.B. in Deutschland oder Dänemark (2017: 29kg N/ha und Jahr) (*Abbildung 10*). Allerdings ist anzumerken, dass in der Schweiz ein sehr hoher Anteil Wiesland bewirtschaftet wird (vgl. *Anhang 6.5*). Eine ausgewogene Stickstoff-Düngung von Wiesland mit Hofdünger, bei dem der Stickstoff-Gehalt in einer sehr grossen Bandbreite schwanken kann, ist schwierig zu bemessen.

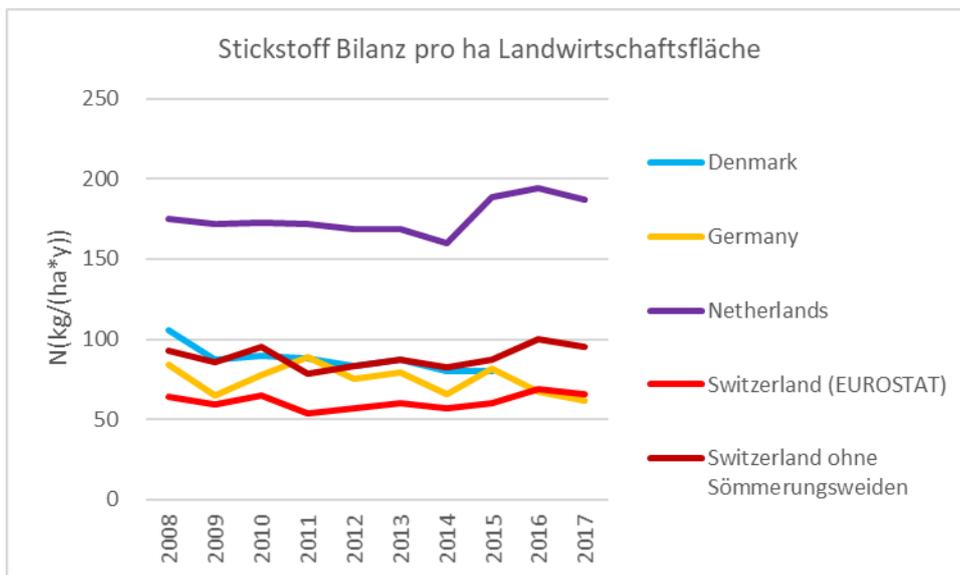


Abbildung 9: Brutto-Nährstoffbilanz für ausgewählte Länder in kg N/ha und Jahr bezeichnet als $N(\text{kg}/(\text{ha} \cdot \text{y}))$, nach Eurostat¹².

¹¹ OECD, 2018: 1'515'000 ha;
BfS, 2018: 1'044'976 ha landwirtschaftliche Nutzfläche ohne Sömmerungsweiden; inbegriffen ist die Nutzfläche, die Betrieben in der Schweiz zugeordnet werden, sich jedoch ausserhalb der Landesgrenze befinden.

¹² Die Stickstoffbilanz, auch Brutto-Nährstoffbilanz genannt, bezeichnet die Stickstoff-Überschüsse pro Landwirtschaftsfläche https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=aei_pr_gnb&lang=de

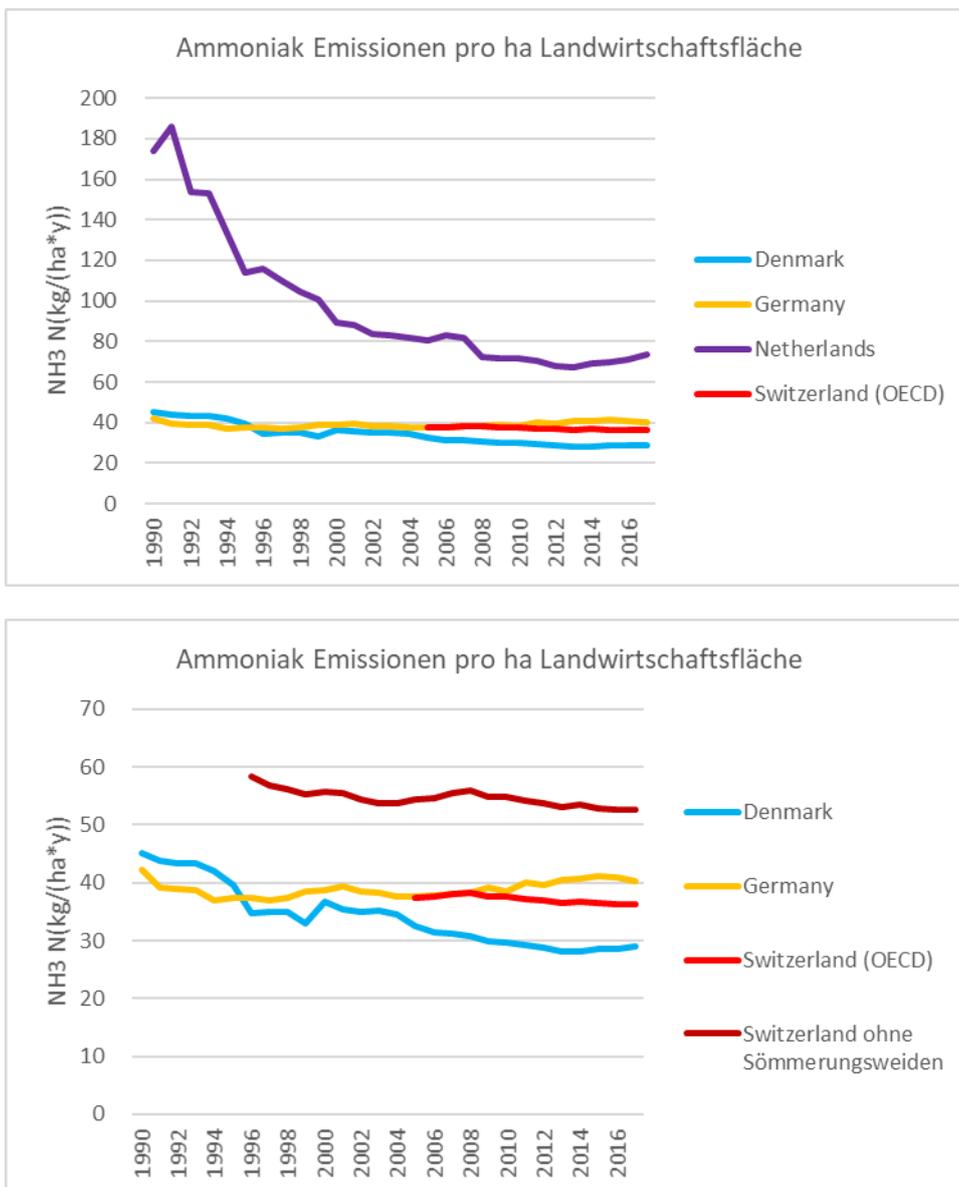


Abbildung 10: Ammoniak-Emissionen für ausgewählte Länder in kg NH₃-N/ha und Jahr bezeichnet als NH₃-N(kg/(ha*y)) und Abschätzung der Schweizerischen Emissionen in den landwirtschaftlichen Flächen ohne Sömmerungsweiden¹³.

¹³ Quellen:

- <https://stats.oecd.org/#>
- <https://www.bfs.admin.ch/bfsstatic/dam/assets/11667296/master>

2.4 Stickstoff-Deposition und Ammoniak-Immissionen

In *Kapitel 1.2* wurde dargelegt, dass für fast alle Wälder und naturnahen Gebiete im gesamten Schweizerischen Mittelland, im Tessin und in den Tälern des Wallis sowie Graubündens eine übermässige Eutrophierung, durch Überschreitung der Critical Loads für Stickstoff, festgestellt wird. Die Stickstoff-Depositionen pro Hektare von 15 bis über 40 kg N/a (*Abbildung 11*) liegen in den tierintensiven Gebieten des Mittellandes besonders hoch und bewirken zu einem grossen Teil die deutliche Überschreitung von Critical Loads für Wälder und naturnahe Gebiete (

Abbildung 4 und *Tabelle 12* im Anhang). Das gleiche gilt für die Immissionsbelastung mit Ammoniak (*Abbildung 12*).

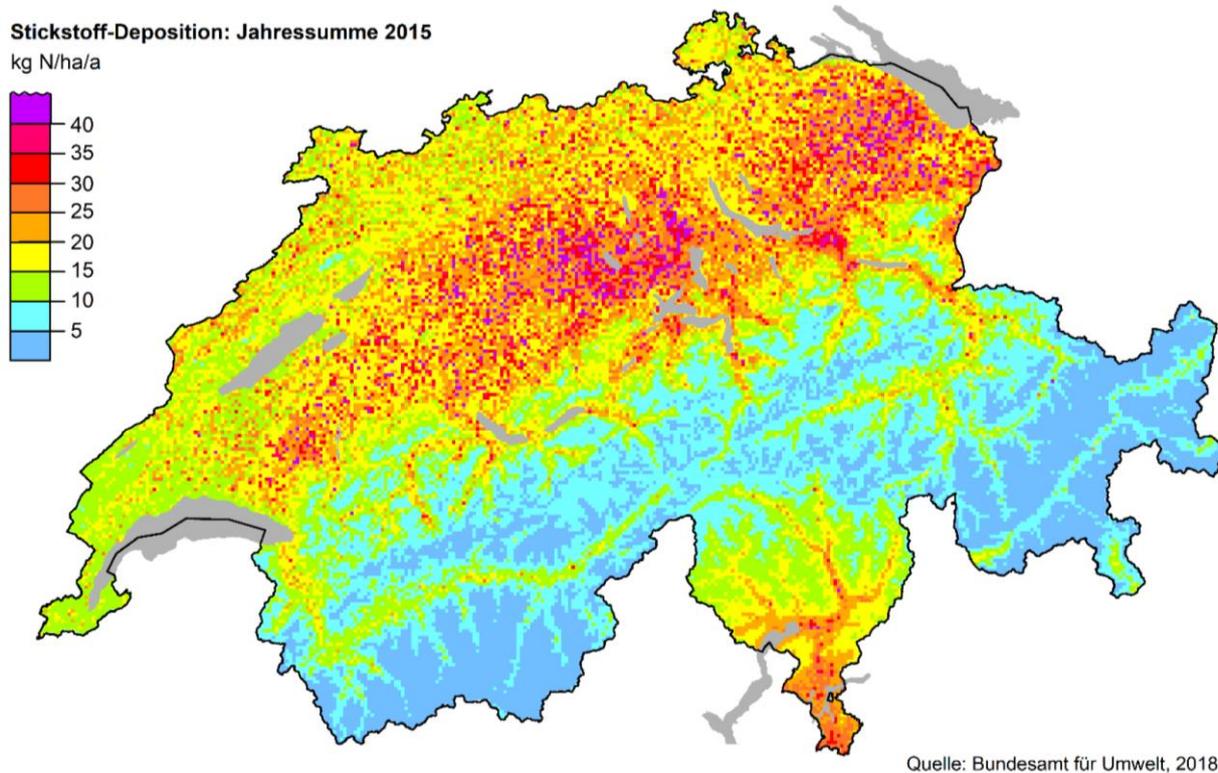
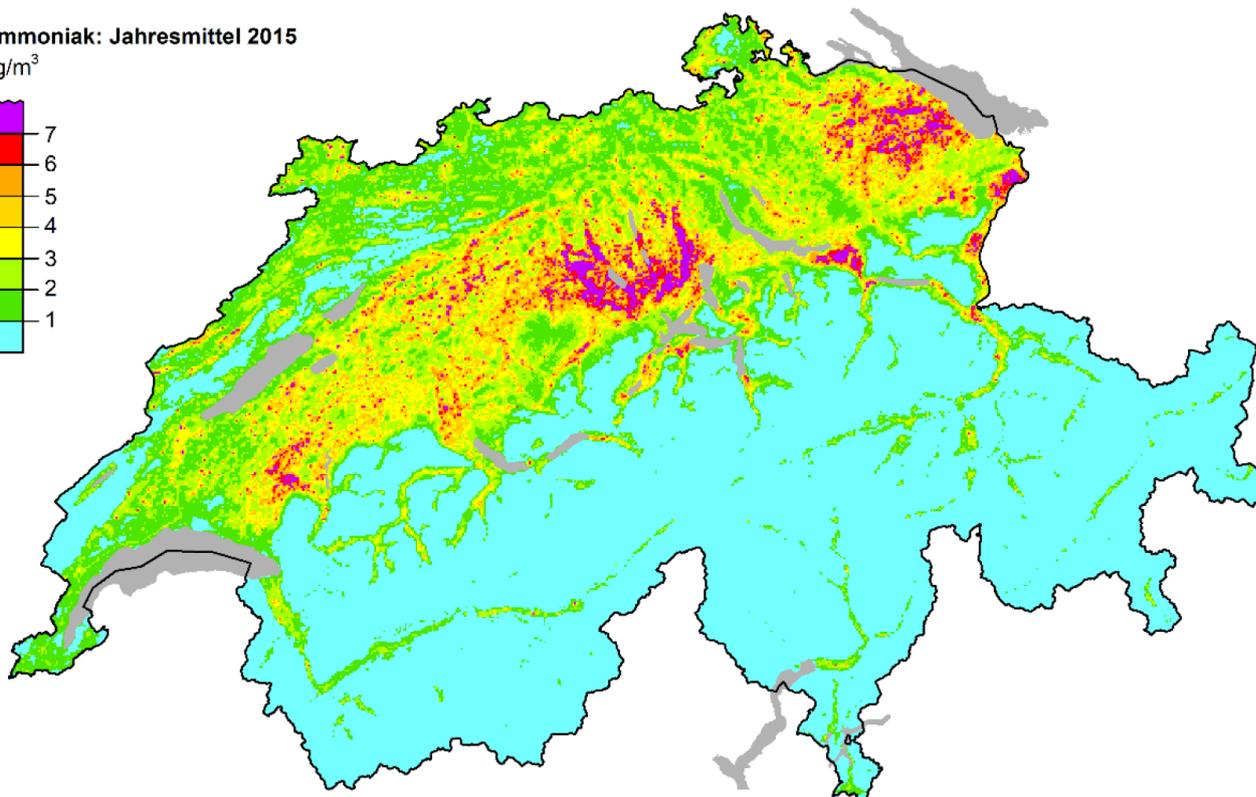
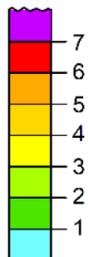


Abbildung 11: Stickstoff-Deposition für 2015, modelliert im Kilometer-Raster (Künzle & Albrecht-Sidler, 2019).

Ammoniak: Jahresmittel 2015

$\mu\text{g}/\text{m}^3$



Quelle: Bundesamt für Umwelt, 2018

Abbildung 12: Ammoniak-Konzentrationen für 2015, modelliert von Meteotest im Hektaren-Raster (Künzle & Albrecht-Sidler, 2019).

3 Stickstoff- und Ammoniak-Emissionen aus der Schweizer Landwirtschaft

Die landwirtschaftlichen Betriebe müssen im Zusammenhang mit dem Umgang von Düngemitteln die Gewässerschutz- und Umweltschutzgesetzgebung einhalten. Nach der Dünger-Verordnung, DüV, Artikel 3 Buchstabe b) darf durch den Gebrauch von Düngemitteln "... weder die Umwelt noch mittelbar der Mensch gefährdet werden" (Dettwiler, Clément, & Chassot, 2006). Diese Vorschrift ist eher qualitativer Art, jeder Betrieb kann seinen stickstoffhaltigen Hofdünger so auf seine Böden ausbringen, dass keine direkte Gefährdung entsteht. Erst wenn ein Betrieb Direktzahlungen bezieht untersteht er der Direktzahlungsverordnung, DZV; SR 910.13, die entsprechend Art. 13 eine ausgeglichene Düngerbilanz verlangt¹⁴. Nach Ziff. 2.1.7 darf die Nährstoffbilanz gesamtbetrieblich einen Fehlerbereich von höchstens + 10 Prozent des Bedarfs der Kulturen aufweisen. Wird dies nicht eingehalten, dann droht eine finanzielle Kürzung, weitere Konsequenzen sind nicht zu befürchten. Die Düngerbilanz wird mit einer "Suisse-Bilanz" erstellt¹⁵ (Kap. 3.2).

3.1 Agrammon zur Berechnung der Ammoniak-Emissionen in der Landwirtschaft

Für die Berechnung der Stickstoffverluste als Ammoniak in der Landwirtschaft steht das Modell Agrammon zur Verfügung (<http://www.agrammon.ch>). Im Auftrag des BAFU wurde die Entwicklung der Stickstoffflüsse bezüglich der Schweizer landwirtschaftlichen Ammoniak-Emissionen aus Tierproduktion und Pflanzenbau zwischen 1990 und 2015 modelliert (Kupper, Bonjour, Menzi, Bretscher, & Zaucker, 2018) (Abbildung 13). In diesem Zeitraum nahmen die gesamten landwirtschaftlichen Ammoniak-Emissionen um 17 %, von 52 auf 43 kt N/a, ab. Von den insgesamt 73.1 kt N TAN pro Jahr Ausscheidungen durch Nutztiere geht gut die Hälfte (39.6 kt N/a) als Ammoniak-Emissionen verloren. Während in den Ausscheidungen auf der Weide von 11.8 kt N/a TAN 86 % des Stickstoffs in den Boden gelangt, sind es auf dem Hof von 61.2 kt N/a TAN lediglich 30 % des Stickstoffs, der in den landwirtschaftlichen Boden eingebracht wird (Abbildung 13, rechts). Dabei gehen bereits 14.7 kt NH₃-N/a (24 %) im Stall verloren, während der Hofdüngerlagerung 6.9 kt NH₃-N/a (11 %) und von den verbleibenden 36.3 kt N/a TAN gehen wiederum 16.9 kt NH₃-N/a (25 %) bei der Hofdüngerausbringung verloren. Generell stammen drei Viertel der Ammoniak-Emissionen aus der Rindviehhaltung, wobei im Stall und bei der Düngerausbringung gut die Hälfte (52 %) des pflanzenverfügbaren Stickstoffs als Ammoniak aus dem Hofdünger verloren geht. Seit

¹⁴ **Art. 13** Ausgeglichene Düngerbilanz

- 1 Die Nährstoffkreisläufe sind möglichst zu schliessen. Anhand einer Nährstoffbilanz ist zu zeigen, dass kein überschüssiger Phosphor und Stickstoff ausgebracht werden. Die Anforderungen für die Erstellung der Nährstoffbilanz sind in Anhang 1 Ziffer 2.1 festgelegt.
- 2 Die zulässige Phosphor- und Stickstoffmenge bemisst sich nach dem Pflanzenbedarf und dem betrieblichen Bewirtschaftungspotenzial.
- 3 Zur Optimierung der Düngerverteilung auf die einzelnen Parzellen müssen auf allen Parzellen mindestens alle zehn Jahre Bodenuntersuchungen nach Anhang 1 Ziffer 2.2 durchgeführt werden.

¹⁵ https://agridea.abacuscity.ch/abauserimage/Agridea_2_Free/3309_2_D.pdf?xet=1595305224583

2015 haben sich die gesamten Emissionen der Landwirtschaft kaum verringert (2015: 46 kt NH₃-N/a, 2018: 45 kt NH₃-N/a) (Abbildung 2).

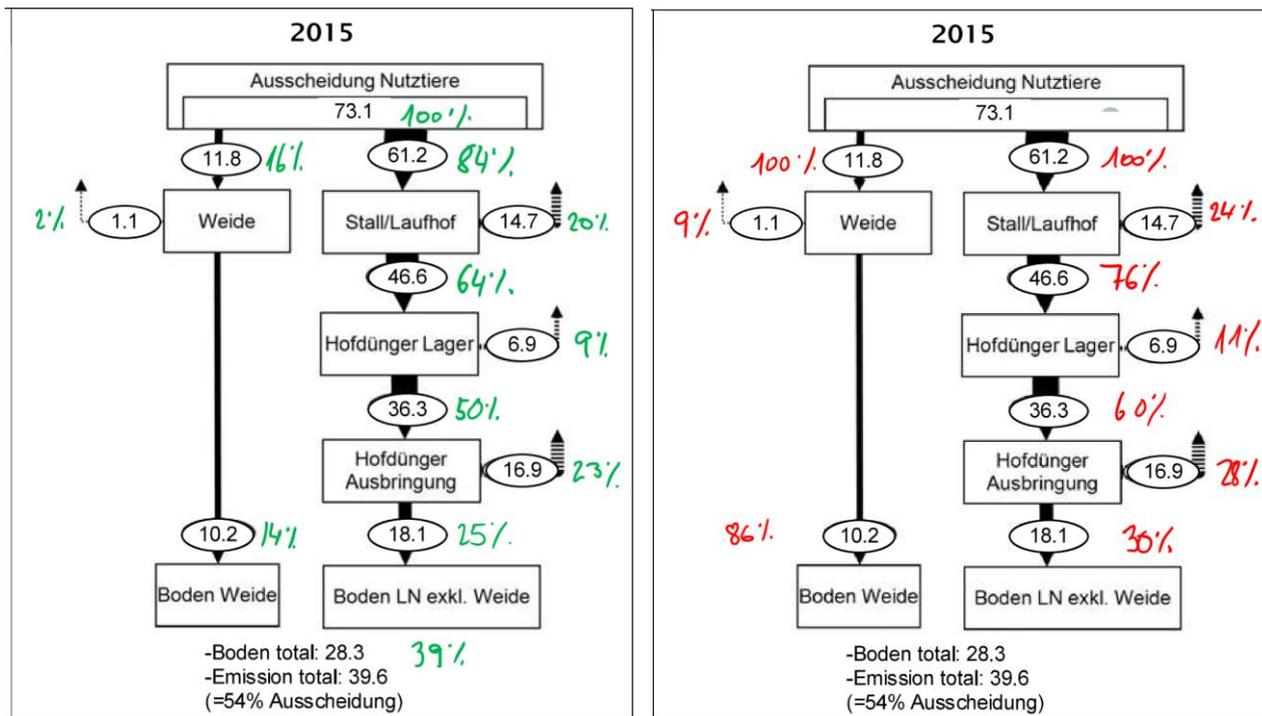


Abbildung 13: Berechnung der Stickstoffflüsse TAN für die Schweizer Tierproduktion 2015 von insgesamt 73.1 kt TAN pro Jahr. Die gestrichelten Pfeile stehen für die Ammoniak-Emissionen. Eigene Ergänzungen LINKS: Die Prozentzahlen in GRÜN beziehen sich auf den Input von 73.1 kt TAN pro Jahr, RECHTS: Die Prozentzahlen in ROT beziehen sich auf den Input Weide 11.8 kt TAN pro Jahr, bzw. Input Hof 61.2 kt TAN pro Jahr (vgl. Text). (Kupper, Bonjour, Menzi, Bretscher, & Zaucker, 2018)

3.1.1 Agrammonberechnungen zur Minderung der Ammoniak-Emissionen am Beispiel Kanton Schaffhausen 2010

Für den Kanton Schaffhausen wurden in der Studie "Minderung von Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft im Kanton Schaffhausen" (Siegerist, T. & Maly, P., 2010) detaillierte Agrammon-Modellrechnungen durchgeführt, um das Potential für Massnahmen zur Minderung der Ammoniak-Emissionen in der Landwirtschaft aufzuzeigen.

Ein Drittel der Ammoniak-Emissionen stammen von der Milchkuhhaltung und 40 % von der Rindviehhaltung, vom Rest stammen 20 % aus der Schweinehaltung und 6 % vom Geflügel. (Abbildung 14, Mitte). Die Verteilung der Ammoniak-Emissionen nach Emissionsstufe ist gut vergleichbar mit jener Berechnung für die ganze Schweiz (Kupper, Bonjour, Menzi, Bretscher, & Zaucker, 2018) *Abbildung 13*¹⁶.

¹⁶ Verteilung ohne landwirtschaftliche Nutzfläche im Kanton Schaffhausen (Abbildung 14): 2 % Weide, 37 % Stall, 14 % Hofdüngerlager, 47 % Hofdüngerausbringung, gegenüber Verteilung Schweiz 2015 (Abbildung 13): 3 %, 37 %, 17 %, 43 %.



Abbildung 4: Grossvieheinheiten (GVE) der wichtigsten Tierkategorien im Kanton Schaffhausen von 2007. Die NH₃-Emissionen stehen in direktem Zusammenhang mit der GVE der Tierkategorie.

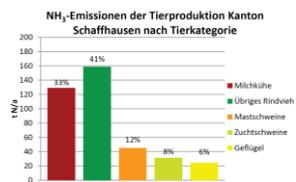


Abbildung 5: NH₃-Emissionen der Landwirtschaft des Kantons Schaffhausen, aufgeteilt auf die wichtigsten Tierkategorien. Die Prozentwerte beziehen sich auf die totalen Emissionen aus der Tierproduktion, welche 93% der gesamten Emissionen aus der Landwirtschaft ausmachen (Vgl. Abbildung 6)

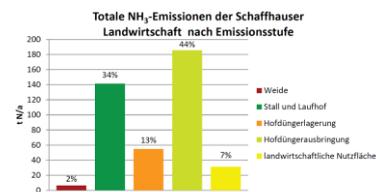


Abbildung 6: NH₃-Emissionen der Landwirtschaft im Kanton Schaffhausen in den Stufen Weide, Stall/Laufhof, Hofdüngerlagerung und -ausbringung und landwirtschaftliche Nutzfläche.

Abbildung 14: Kanton Schaffhausen: Tierkategorien und Ammoniak-Emissionen der Landwirtschaft, berechnet mit Agrammon, Stand 2010, (Siegerist, T. & Maly, P., 2010).

Es wurden diverse Minderungsmaßnahmen für exemplarische Beispiele von landwirtschaftlichen Betrieben berechnet. Für die Tierproduktion im Kanton Schaffhausen wurde eine Gesamtemission von 388 t NH₃-N pro Jahr für den Grundzustand (GZ) errechnet. Wären überhaupt keine Massnahmen getroffen worden, so wären 20 % mehr Ammoniak (80.8 t NH₃-N pro Jahr) emittiert worden¹⁷. Mit dem Szenario R "mögliche Minderung" wurde eine Reduktion der Ammoniak-Emissionen um 20 % errechnet. Das Szenario R beinhaltet, dass nur geringe Fütterung der Rinder im Laufhof stattfände, Schweine ausschliesslich stickstoffreduziertes Futter erhielten, 80 % der Gülle mit Schleppschlauch ausgebracht würde, Mist auf den Feldern innerhalb von 1h bis maximal 3 Tagen eingearbeitet würde und alle Legehennen mehr als einmal pro Woche mittels Kotband entmistet würden. Das Szenario "maximal mögliche Minderung" (V) enthält alle technisch möglichen Minderungsmaßnahmen zu 100 % umgesetzt; daraus folgt, dass theoretisch eine Halbierung der heutigen Ammoniak-Emissionen errechnet wurde.

Aus dem Agrammon-Projekt für den Kanton Schaffhausen 2010 ergaben sich die folgenden Schlussfolgerungen (Siegerist, T. & Maly, P., 2010):

Hofdüngerausbringung

- Schleppschlauch- und insbesondere Schleppschuhverteiler sind effektiv, wenn hauptsächlich Gülle produziert wird.
- Schleppschuh, Güllendruck oder Tiefeninjektion sind noch effektiver als ein Schleppschlauch.
- Bei Betrieben mit Schleppschlauchverteilern muss beachtet werden, dass schon im Grundzustand eine erhebliche Reduktion der maximal möglichen Gesamtemissionen vorliegt.
- Einarbeitung des Mists innerhalb weniger Stunden, vor allem an warmen Tagen.

¹⁷ Zustand ohne Minderungsmaßnahmen (KM), Annahmen, dass alle Tiere des Rindviehs ausschliesslich im Laufhof gefüttert werden, alles Geflügel mit Bodenhaltung gehalten wird, 100% der Gülle mittels Prallteller ausgebracht, und kein Mist eingearbeitet wird.

Hofdüngerlager

- Lageremissionen können vermieden werden, in dem die Lager abgedeckt werden.
- Für Güllelager ist eine feste Abdeckung die effektivste Variante, eine Schwimmfolie oder eine Blähton-Schwimmschicht ist ebenfalls sehr empfehlenswert.
- Die Abdeckung von Rindermist ist bei Betrieben mit viel Tiefstreu- oder Tretmist wirkungsvoll. Ansonsten ist diese Massnahme nicht sehr effektiv.
- Geflügelmist soll abgedeckt werden (grösserer Effekt als bei Rindermist). Als Abdeckung gilt ein geschlossener Behälter oder eine Folie.
- Mistlager könnten beschattet oder abgedeckt werden, um weniger Emissionen zu erzeugen.

Rindvieh

- Verschmutzte Flächen möglichst klein halten.
- Möglichst keine Fütterung im Laufhof, ausser wenn der Laufhof mehrmals pro Tag gereinigt wird.
- In Stallsystemen integrierte Laufhöfe mehrmals täglich reinigen.
- Bei Ställen mit Tiefstreu oder Tretmist: rasche Einarbeitung des Mists, weil die Lager- und Ausbringemissionen nur vom Mist ausgehen.
- Bei Ställen mit Vollgülleproduktion: Ausbringemissionen durch bodennahe Verteilsysteme wie Schleppschlauch- oder Schleppschuh-Verteiler reduzieren.

Schweine

- Der grösste Teil der Emissionen entsteht im Stall und im Auslauf.
- Es entsteht praktisch nur Gülle, somit sind bodennahe Gülleverteiler wirkungsvoll.
- Keine ungedeckten Güllelager, da sich keine natürliche Schwimmschicht bildet.
- Wäscher haben ein sehr hohes Reduktionspotential.
- Kaltställe oder Ställe mit Auslauf und Offenfront reduzieren die Emissionen.

Geflügel

- Wenn möglich Kotbandentmistung (mit Kotbandtrocknung) einsetzen.
- Häufige Kotbandentmistung (mehrmals pro Woche).
- Wäscher haben ein sehr hohes Reduktionspotential.
- Mist innerhalb weniger Stunden einarbeiten.

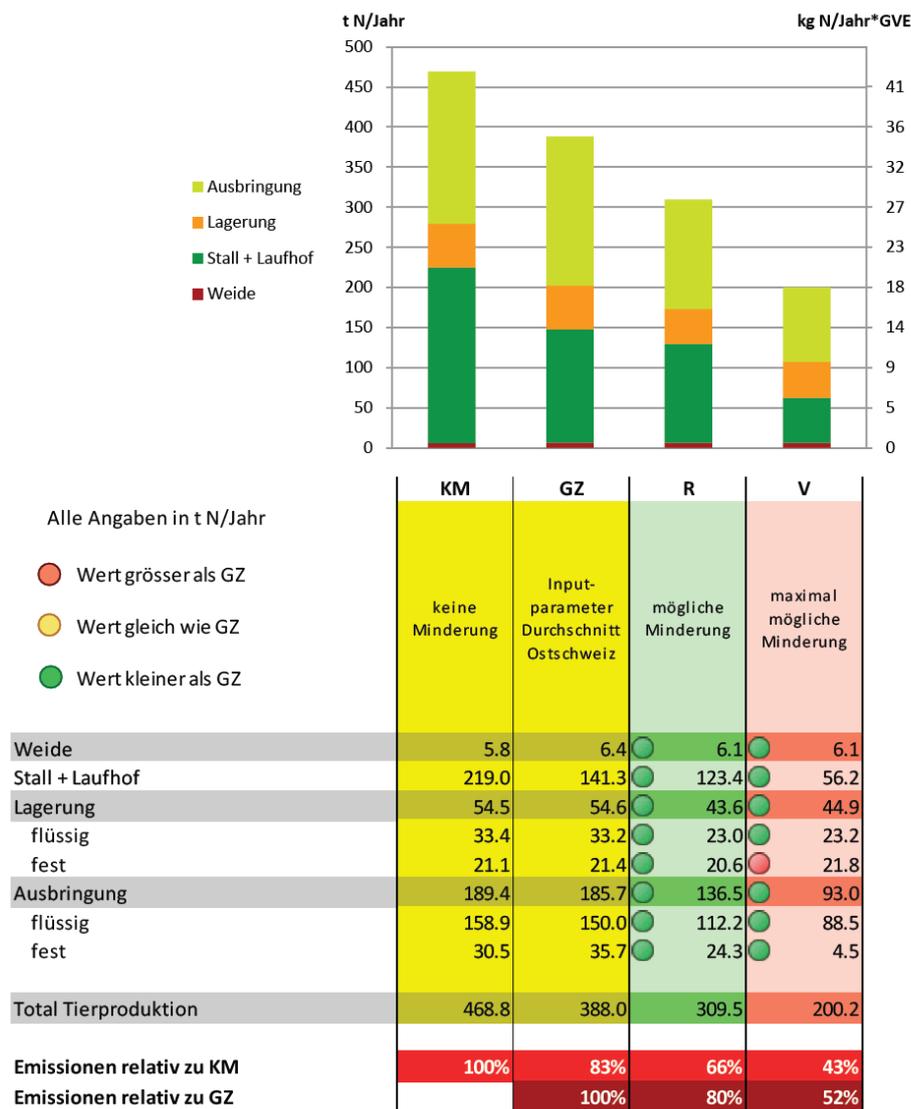


Abbildung 7: Minderungspotential der NH₃-Emissionen nach Emissionsstufen im Kanton Schaffhausen. KM entspricht den Emissionen, wenn keine mindernden Massnahmen umgesetzt würden, GZ ist der Zustand, welcher aufgrund der Umfragedaten von 2007 (Kupper, et al., 2010) momentan herrschen müsste. R ist das Potential, welches ungefähr möglich sein sollte, V ein Vergleich, was möglich wäre bei 100% Umsetzung der bekannten Massnahmen.

Abbildung 15: Potentielle Minderungen der Ammoniak-Emissionen im Kanton Schaffhausen, berechnet mit Agrommon (Stand 2010). Alle Angaben in NH₃-N(t/a); rechte Ordinate in kg N/(Jahr*GVE).

3.2 Stickstoffmanagement nach Suisse-Bilanz

Grundsätzlich sind Landwirtschaftsbetriebe, die Direktzahlungen beziehen, verpflichtet den Stickstoffumsatz mit einer Suisse-Bilanz zu belegen. Dazu gehören u.a. die „Jahressaldierung für Suisse-Bilanz“ aus HODUFLU, Rechnungen und/oder Lieferscheine von eingesetzten Mineral- und Kalkdüngern und Düngungsplan.

In der Suisse-Bilanz ist der gesamte Stickstoff-Anfall N_{ges} unter Berücksichtigung von "kaum vermeidbaren Verlusten" ausgewiesen¹⁸. Diese Verluste sind abhängig von der Art der Tierhaltung und liegt für Rauhfutterverzehrer bei 15 % bis hin für Geflügel bei 40 %. Im Fall der Rinderhaltung wird mit weiteren Stickstoffverlusten infolge Weide- und Laufhofhaltung gerechnet, zeitgewichtet mit 70 % auf der Weide und 50 % im Laufhof. Von dem verbleibenden gesamten Stickstoff-Anfall N_{ges} wird der pflanzenverfügbare Stickstoff (N_{verf}) grundsätzlich als 60 % des N_{ges} gerechnet. Ein Betrieb darf bis zu 110 % des erlaubten Nährstoffanfalls N_{verf} ausweisen, um Direktzahlungen zu beziehen.

Für zwei Milchkuhbetriebe wurden detaillierte Analysen der Stickstoffverluste aus Suisse-Bilanz und Agrammonmodellierung vorgenommen.

3.3 Detaillierte Analyse des Stickstoffflusses und der Ammoniak-Verluste für zwei Milchkuhbetriebe

3.3.1 Stickstofffluss und Ammoniak-Verluste für den Milchkuhbetrieb TG3

Der detaillierte Stickstofffluss für einen Milchkuhbetrieb (TG3) im Thurgau mit 55 Milchkühen (7'000 kg Milch pro Kuh und Jahr) und 3 Aufzuchtrindern mit Laufhof- und Weidehaltung ist in *Abbildung 16* dargestellt. Die Daten stammen aus der Suisse-Bilanz, ergänzt mit Berechnungen des Ammoniakverlustes nach Agrammon. Der Betrieb setzt nach Suisse-Bilanz nur 89 % der erlaubten Düngermenge ein. Der jährliche Nährstoffanfall beträgt nach Suisse-Bilanz 5'504 kg N_{ges} , dies entspricht einem Stickstoff-Input von 6'330 kg N_{tot} . Hinzu kommt die zugeführte Schweinegülle von 1'063 kg N_{ges} ; Mineraldünger wurde keiner eingesetzt. Dies ergibt insgesamt 7'659 kg N_{tot} . Als "übriger Dünger" werden in dieser Suisse-Bilanz 315 kg N_{verf} als pflanzenverfügbare Dünger hinzugezählt, da die Gülle zu 80 % mit Schleppschlauch ausgebracht wird. Dies soll den vermiedenen Verlust beim Gülleausbringen kompensieren, weshalb nach Suisse-Bilanz 3'832 kg N_{verf} zur Düngung angerechnet werden. Ohne diese Korrektur von 315 kg N_{verf} ergeben sich 3'517 kg N_{verf} für die Düngung und 2'344 kg N_{org} , 40 % vom gesamten N_{ges} . Als Verlust in der Suisse-Bilanz werden daraus 1'150 kgN errechnet.

Mit dem Programm Agrammon werden detaillierte Ergebnisse zu den Stickstoffflüssen und Ammoniakverlusten erhalten (*Abbildung 17*). Die Agrammon-Modellierung ergibt 1'426 kg TAN pro Jahr für den Betrieb TG3, die als Hofdünger in den Boden gelangen. Zusammen mit der Zufuhr von Hofdünger (Hoduflu) ergeben sich insgesamt 2'097 kg N_{verf} , die für Pflanzen im Boden verfügbar sind. Effektiv gelangen somit nur 27 % des gesamten Stickstoffeinsatzes von 7'659 kg N_{tot} als pflanzenverfügbar und 31 % (2'344 kgN) als N_{org} in den Boden.

Aus der Agrammonberechnung ergeben sich für den Landwirtschaftsbetrieb TG3 Ammoniakverluste von insgesamt 1'990 kgN (*Abbildung 17*: Hof 659 kgN, Weide 21 kgN, Lagerung 432 kgN¹⁹, Ausbringung 878 kgN). Dabei ist der Verlust für den zugeführten Hofdünger noch nicht berücksichtigt, da in der Modellierung Agrammon

¹⁸ Wegleitung zur Suisse-Bilanz: N_{ges} bezeichnet denjenigen Wert, der sich aus der Verminderung des ausgeschiedenen Stickstoffs um die im Stall und bei der Hofdüngerlagerung kaum vermeidbaren Verluste ergibt. N_{tot} bezeichnet den gesamthaften Stickstoff.

¹⁹ Die Agrammonberechnung zeigt auf, dass die perforierte Abdeckung des Güllelagers im Vergleich zu einer festen Abdeckung zu einem erhöhten Ammoniakverlust führt.

dieser Verlust dem Zulieferer belastet wird. Werden die Ammoniak-Emissionen bei der Ausbringung des zugeführten Hofdüngers dazugezählt, so ergibt sich ein Gesamtverlust für Ammoniak von 2'233 kgN.

Übersicht Suisse-Bilanz		Stickstoff		% Anteile	
		Nverf, kg/Jahr		Bedarf = 100%	
		Bedarf	gedüngt	Bedarf	gedüngt
Bedarf Grundfutterfläche	C1	4116		95%	
Bedarf Acker- und Spezialkulture	C2+C3	194		5%	
aus Tierhaltung	von A2		2879		67%
Zu- und Wegfuhr Hofdünger	A3		637		15%
Vergärungsprodukte	E		0		0%
übrige Dünger	D		315		7%
max. Fehlerbereich	FB	431		10%	
Summe ohne FB		4310		100%	
TOTAL mit FB		4741	3832	110%	89%
Gesamtbilanz		-478		-11%	
Differenz zur Limite		909 kg unter der Limite bzw		-21.1%	

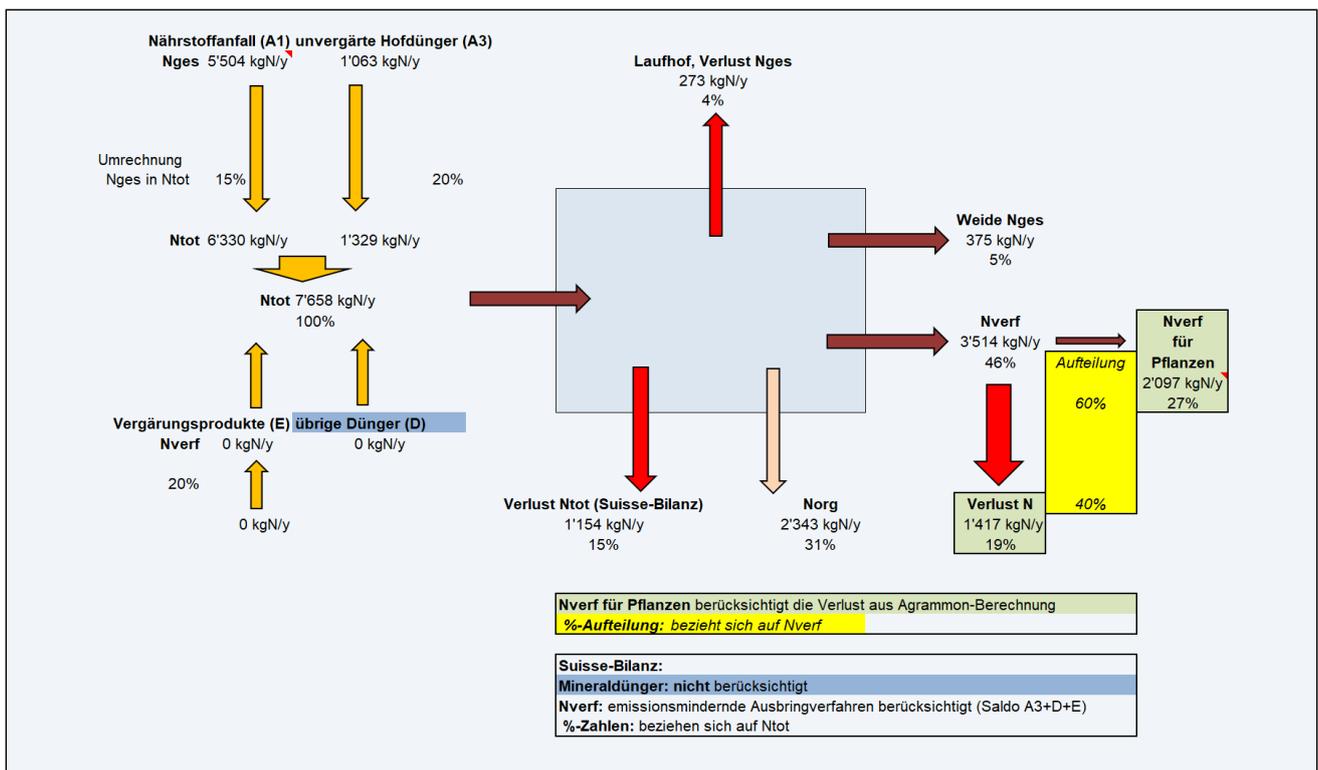


Abbildung 16: Berechnung der Stickstoffflüsse für den Betrieb TG3 mit 55 Milchkühen und 3 Aufzuchtrindern mit Lauffhof- und Weidehaltung. Die Prozente beziehen sich auf N_{tot} mit Ausnahme der kursiven Prozentangaben im gelben Kasten, die sich auf die Aufteilung von N_{verf} beziehen. Verwendet wurden die Daten aus der Suisse-Bilanz und Agrammon-Berechnung (grün markiert). Details: siehe Text.

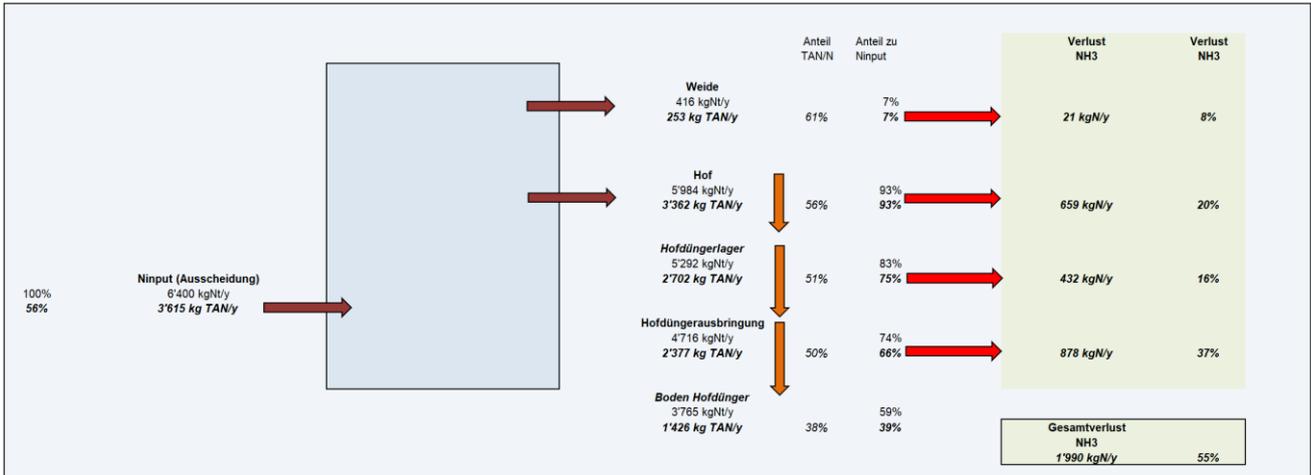


Abbildung 17: Agrammonberechnung der Ammoniakflüsse für den Betrieb TG3 mit 55 Milchkühen und 3 Aufzuchtrindern mit Laufhof- und Weidehaltung. Dargestellt ist der Fluss für den Gesamtstickstoff N_{tot} und Ammoniak TAN. "Verlust NH_3 " bezieht sich auf den Verlust pro Emissionsstufe. Details: siehe Text.

3.3.2 Stickstofffluss und Ammoniak-Verluste für den Milchkuhbetrieb GL5

Als zweites Beispiel ist der detaillierte Stickstofffluss für einen Milchkuhbetrieb (GL5) im Kanton Glarus mit 56 Milchkühen (7'000 kg Milch pro Kuh und Jahr) und 25 Aufzuchtrindern und 15 Mastkälbern mit Laufhof- und Weidehaltung in *Abbildung 18* dargestellt. Die Datenberechnung erfolgte analog zum Beispiel für den Betrieb TG3. Der Betrieb GL5 setzt nur 94 % der erlaubten Düngermenge nach Suisse-Bilanz ein.

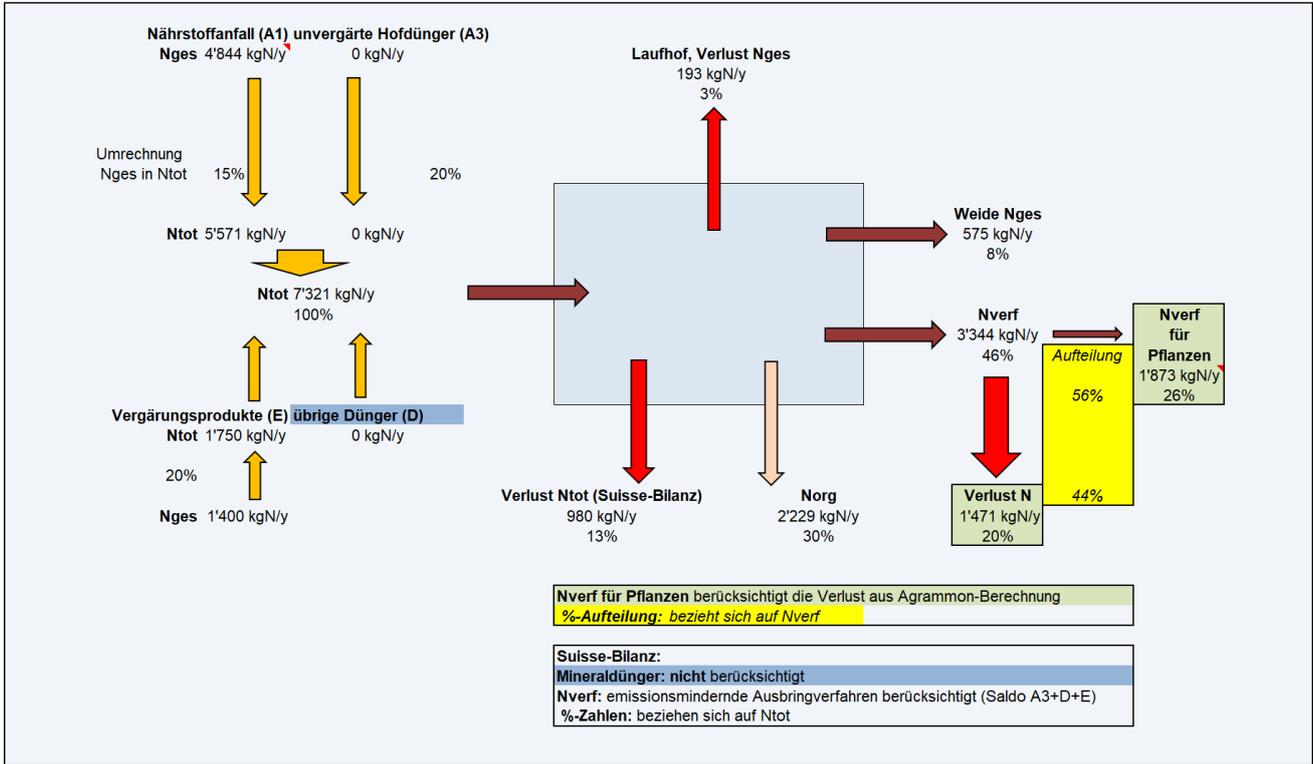


Abbildung 18: Berechnung der Stickstoffflüsse für den Betrieb GL5 mit 56 Milchkühen und 25 Aufzuchtrindern und 15 Mastkälbern mit Laufhof- und Weidehaltung. Die Prozenze beziehen sich auf N_{tot}; mit Ausnahme der kursiven Prozentangaben im gelben Kasten, die sich auf die Aufteilung von N_{nurf} beziehen. Verwendet wurden die Daten aus der Suisse-Bilanz und Agrammon-Berechnung (grün markiert). Details: siehe Text.

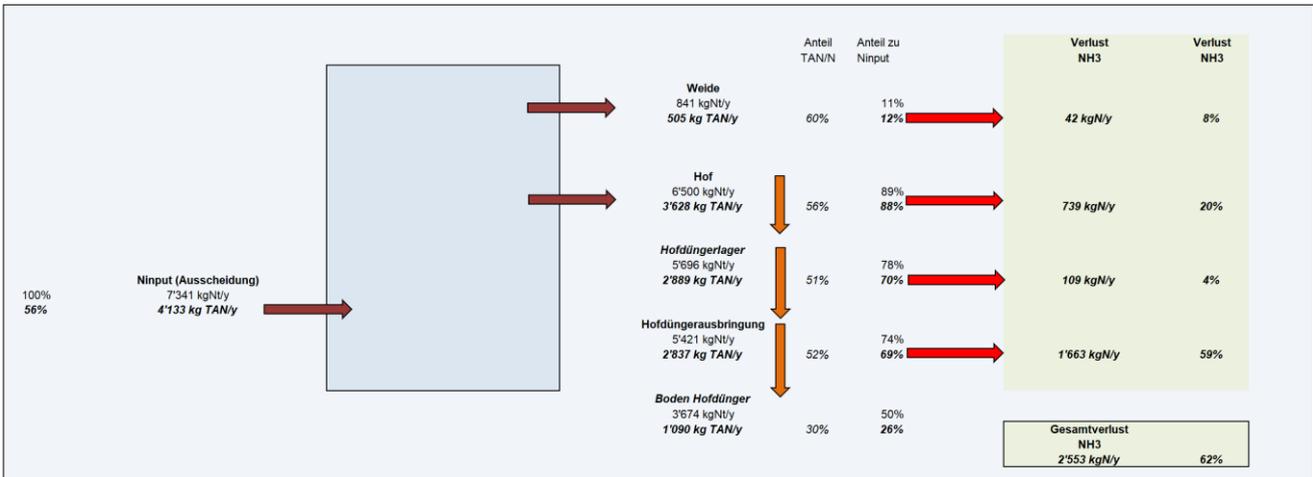


Abbildung 19: Agrammonberechnung der Ammoniakflüsse für den Betrieb GL5 mit 56 Milchkühen und 25 Aufzuchtrindern und 15 Mastkälbern mit Laufhof- und Weidehaltung. Dargestellt ist der Fluss für den Gesamtstickstoff N_{tot} und Ammoniak TAN. "Verlust NH₃" bezieht sich auf den Verlust pro Emissionsstufe. Details: siehe Text.

Der jährliche Nährstoffanfall beträgt nach Suisse-Bilanz 4'844 kg N_{ges} . Hinzu kommt die zugeführte Gärgülle von 1'400 kg N_{ges} und Mineraldünger von 413 kg N. Dies ergibt insgesamt 7'321 kg N_{tot} . Der Betrieb setzt bisher keinen Schleppschlauch ein. Nach Suisse-Bilanz werden 3'758 kg N_{verf} für die Düngung und 2'505 kg N_{org} berechnet. Als Verlust in der Suisse-Bilanz ergeben sich somit 703 kg N_{tot} .

Mit dem Programm Agrammon werden detaillierte Ergebnisse zu den Stickstoffflüssen und Ammoniakverlusten erhalten (*Abbildung 19*), wobei in der Berechnung die 413 kg N vom Mineraldünger nicht berücksichtigt wurden. Die Agrammon-Modellierung ergibt 1090 kg TAN pro Jahr für Betrieb GL5, die als Hofdünger in den Boden gelangen. Zusammen mit der Zufuhr von Gärgülle ergeben sich insgesamt 1'873 kg N_{verf} , die für Pflanzen im Boden verfügbar sind. Effektiv gelangen somit nur 26 % des gesamten Stickstoffeinsatzes von 7'321 kg N_{tot} als pflanzenverfügbar und 32 % (2'505 kgN) als N_{org} in den Boden.

Aus der Agrammonberechnung ergeben sich für den Landwirtschaftsbetrieb GL5 Ammoniakverluste von insgesamt 2'553 kgN (Hofverlust: 739 kgN, Weide 42 kgN, Lagerung 109 kgN, Ausbringung mit Prallteller 1'663 kgN²⁰). Dabei ist der Verlust für den zugeführten Hofdünger noch nicht berücksichtigt, da in der Modellierung Agrammon dieser Verlust dem Zulieferer belastet wird. Werden die Ammoniak-Emissionen bei der Ausbringung der zugeführten Gärgülle dazugezählt, so ergibt sich ein Gesamtverlust für Ammoniak von 2'975 kgN.

3.3.3 Schlussfolgerung aus der kombinierten Berechnung Suisse-Bilanz und Agrammon für die zwei Beispiele der Betriebe TG3 und GL5

Die Suisse-Bilanz gibt keine zuverlässige Auskunft über die Stickstoffeffizienz eines Betriebes. Aus der Suisse-Bilanz geht nicht hervor, wieviel Stickstoff als Ammoniak verloren geht. Nach Suisse-Bilanz werden im Fall TG3 als "gedüngt" 3'832 kg N_{verf} errechnet (unter Berücksichtigung von 80 % Schleppschlaucheinsatz²¹), hingegen gelangen nach der detaillierten Agrammon-Berechnung effektiv nur 2'097 kg N_{verf} in den Boden (*Abbildung 16*). Analog ergibt sich für den Betrieb GL5 nach Suisse-Bilanz "gedüngt" 3'758 kg N_{verf} und nach der detaillierten Agrammon-Berechnung gelangen effektiv 1'873 kg N_{verf} in den Boden (*Abbildung 18*). Werden die 413 kg N des Mineraldüngers hinzugezählt, so ergeben sich insgesamt 2'286 kg N_{verf} .

Die Stickstoffverluste für die Beispiele der Betriebe TG3 und GL5 stimmen in der Grössenordnung mit den gesamtschweizerischen Berechnungen überein (*Kapitel 3.1*).

Vom gesamten Stickstoffeinsatz N_{tot} gelangen nur ca. 60 % des Stickstoffes für die Pflanzen in den Boden, wenn N_{org} aus der Suisse-Bilanz als organischer Stickstoff dazugezählt wird (N_{verf} und N_{org}). N_{org} beinhaltet vorwiegend organisch gebundenen Stickstoff, der zum Teil als Langzeitdünger verfügbar sein wird. Aber auch ein Teil von N_{org} wird in die Umwelt entweichen, sowohl in die Gewässer und in die Atmosphäre. Bei einer effizienten Minderung der Verluste im Stall, während der Hofdüngerlagerung und bei der Düngerausbringung würde der Landwirtschaft deutlich mehr pflanzenverfügbarer Dünger zur Verfügung stehen. Würde zudem der Dünger nur

²⁰ Die Agrammonberechnung zeigt auf, dass bei der Gülleausbringung mit 80 % Schleppschlaucheinsatz der Verlust um 491 kg N/a reduziert werden könnte. Es stünden dann 2'364 kg N_{verf} dem Boden zur Verfügung.

²¹ Die Anrechnung von emissionsmindernden Massnahmen zu verfügbarem Stickstoff in der Suisse-Bilanz kann von Landwirten als eine kleinliche Bestrafung für den umweltgerechten Umgang mit Hofdünger empfunden werden und wirkt somit kontraproduktiv (Erfahrung des Autors).

dann ausgebracht, wenn die Pflanzen diesen auch nützen können, so ergäbe sich eine weitere Effizienzsteigerung.

Mit Hilfe des Modells Agrammon können Minderungsmaßnahmen auf landwirtschaftlichen Betrieben einzeln modelliert werden, um betriebliche Verbesserungen zu erreichen.

4 Massnahmen zur Minderung der Stickstoff- und Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft

Die hohen Stickstoffverluste in der Schweizer Landwirtschaft gilt es zu vermeiden, um die UZL "Luft" zu erreichen (Kap. 1.4) und um die Verfassung sowie Umweltschutz-Gesetzgebung einzuhalten. Im Folgenden werden Massnahmen zur Minderung der Ammoniak-Emissionen vorgestellt. Berücksichtigt werden auch Massnahmen, die im Ausland erprobt sind, insbesondere in Dänemark, die aber der Schweizerischen Einstellung zum Tierwohl nicht im Widerspruch stehen sollen.

4.1 Stickstoffverluste der Landwirtschaft

Die landwirtschaftliche Praxis verliert viel Stickstoff, der das labile natürliche Gleichgewicht der Biodiversität stört. Bei Massnahmen gegen die Ammoniak-Emissionen ist zu bedenken, dass in der gesamten Stickstoffkette von der tierischen Ausscheidung bis hin zur Pflanze Stickstoff verloren geht. Werden im Stall und in der Hofdüngerlagerung die Stickstoffverluste minimiert, so muss besonders darauf geachtet werden, dass der höhere Stickstoffgehalt der Gülle, dank verbessertem Stickstoffmanagement, mit verlustarmer Gülleausbringtechnik der Pflanze zugeführt wird.

Da gut drei Viertel der Stickstoffverluste in der Tierhaltung durch die Rindviehhaltung verursacht werden und im 3V-Projekt viele Milchkuhbetriebe beteiligt sind, werden insbesondere Massnahmen zur Vermeidung von Ammoniakverlusten in der Rindviehhaltung dargestellt.

Die Zusammenfassung wurde erstellt unter Berücksichtigung folgender Quellen:

- Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft "Baulicher Umweltschutz in der Landwirtschaft" (Bundesamt für Umwelt BAFU und Bundesamt für Landwirtschaft BLW, 2011)
- Leitfaden zur Vermeidung und Verringerung von Ammoniak-Emissionen aus landwirtschaftlichen Quellen (Vereinte Nationen, ECE/EB.AIR/120, 2014)
- Tavs Nyord - Aarhus University, Denmark, persönliche Informationen, 2019
- Martin N Hansen, Senior consultant, SEGES, Danish Agriculture & Food Council, Denmark, persönliche Informationen, 2019
- Einfluss der Gülleapplikationstechnik auf Ertrag und Stickstoffflüsse im Grasland (Huguenin-Elie, Nyfeler, Amman, Latsch, & Richner, 2018)

4.2 Stickstoff-Budget und -Bilanz der Landwirtschaft

In der dänischen Landwirtschaft muss jeder grössere Betrieb ein detailliertes jährliches Stickstoff-Budget einreichen und abschliessend eine Bilanz erstellen. Berücksichtigt werden die parzellenscharfen Bodeneigenschaften und die Art der Kulturen, für die obere Stickstoffgrenzen festgelegt werden. Die Einhaltung der Vorschriften wird mit Stickstoff-Bilanzen überprüft. Die Zufuhr von Dünger, auch mineralischer Dünger, muss belegt werden und einbezogen werden. Mineralischer Dünger kann nur von zertifizierten Firmen bezogen werden. Kleinere Betriebe, ohne Bilanzierung, müssen für den Einsatz von mineralischen Düngern eine Abgabe

bezahlen.

Die wesentlichen Punkte in der dänischen Landwirtschaft sind:

- Dänische Betriebe müssen ökonomisch produzieren, da die finanzielle Unterstützung durch den Staat minimal ist.
- Dänische Betriebe optimieren den Stickstoffeinsatz aus wirtschaftlichen Gründen. Wesentliche Minderungen der Stickstoffverluste ergeben sich aus optimierten Stallsystemen, N-/P-angepassten Futtermitteln, Düngerlagerung (Vorschrift für Lagerkapazität 9 Monate) und Düngemiteleinsetz (Ausbringung der Düngemittel mit modernster Technologie zu Zeiten der Pflanzenaufnahme).
- Die dänischen Betriebe haben klare Vorschriften einzuhalten, die kontrolliert werden. Dazu zählen die Buchführung (Budget, Bilanz), Art der Düngerausbringung, Zeitfenster für die Düngung.
- Optimierte Stickstoff-Bilanzen mit bedarfsgerechter parzellenscharfer Düngung.
- Betriebszulassung muss alle 8 Jahre erneuert werden. Dazu müssen die ökologischen Ziele erreicht worden sein (u.a. Stickstoff-Düngung).

Grundsätzlich gilt auch in der Schweizer Landwirtschaft die Optimierung der Stickstoffflüsse. Dies soll durch die Direktzahlungsverordnung mit der Suisse-Bilanz erreicht werden. Der grosse Stickstoffverlust in Form von Ammoniak aus dem pflanzenverfügbaren Stickstoff wird mit der Suisse-Bilanz unzureichend erfasst (*Kap. 3.3.3*).

4.3 Potentiale zur Stickstoff-Optimierung in der Schweizer Landwirtschaft

4.3.1 Fütterung und Haltung der Tiere im Stall

Sowohl in der Rinderhaltung, wie bei Schweinen ist die Optimierung der Proteinversorgung (Stickstoff, neben Phosphor) eine effektive Massnahme zur Vermeidung von hohen Stickstoff-Ausscheidungen und damit Verlusten in der anschliessenden Stickstoffkette.

Während N-/P-reduzierte Fütterungsverfahren bei Schweinen bereits zur guten Landwirtschaftspraxis gehören, so ist diese Optimierung bei Rindern nicht so einfach. Es bedarf einer Optimierung der Fütterung im Stall mit frischem Gras und weniger proteinhaltigem Futter (Maissilage, Heu geerntet im fortgeschrittenem Reifestadium, Stroh, etc.).

Weitere Reduktionsmassnahmen sind die Weidehaltung (vgl. Agrammonberechnung, *Abbildung 13*), und mit einer Erhöhung der Anzahl Laktationen pro Kuh kann die Ammoniak-Emission pro Einheit Milchproduktion im Laufe des Lebens des Tieres verringert werden. Weitere Aspekte in der Tierhaltung sind die Tiergesundheit, Wohlbefinden und genetische Voraussetzung der Tiere.

Tabelle 4: Massnahmen Fütterung und Laktation. Farbmarkierung BLAU: direkt umsetzbare Massnahmen, GRÜN: Massnahmen mit Aufwand und Investitionen, GELB: bauliche Massnahmen mit Investitionen, ROT: zu prüfende Massnahme.

Massnahme und Wirkung	Empfehlung / Anwendung Schweiz	Vorschrift Ausland / NH ₃ -Effekt
N- und P-optimierte Fütterung	Gute Landwirtschaftspraxis	NH ₃ -Minderung (Bracher, 2011)
Weidehaltung.	Für Rauhfuttertiere eine effektive Massnahme zur Ammoniak-Minderung in der Schweiz	Hohe NH ₃ -Minderung: 86 % des pflanzenverfügbaren Stickstoffs gelangen in den Boden.
Hohe Anzahl Laktationen		NH ₃ -Minderung (Bracher, 2011)

4.3.2 Stallbauten und Tierhaltung

Die Stallorganisation ist entscheidend für Stickstoffverluste. Die Berechnung für die Schweizerischen Nutztiere im Stall und Laufhof ergeben Verluste von 24 % des gesamten TAN (vgl. *Abbildung 13*). Im Anbindestall war eine effektive Ausmistung mit geringeren Verlusten einfacher möglich als im Freilaufstall. Umso wichtiger sind im Freilaufstall die Organisation von Fress-, Ruheplätzen und Bewegungsräumen: das Ziel ist eine möglichst geringe Verschmutzungsfläche mit kurzen Verkehrswegen, der Einbau von effektiven Entmistungsanlagen (z.B. automatische Kotschieber, Entmistungsroboter) sowie Trennung von Kot und Harn mittels 3 % Quergefälle sind effektive Massnahmen.

In Dänemark werden auf Grund der gesetzlich kontrollierten Stickstofflimitierung optimierte Stallkonzepte aus Eigeninteresse erstellt. Wirtschaftliche Betriebsoptimierungen finden unter diesen Rahmenbedingungen auch ohne detaillierte Vorschriften statt. Neben vielen negativen Aspekten in Bezug auf das Tierwohl setzen sich optimierte Stallkonzepte durch. Als Beispiel sei aus der Schweinezucht genannt der Einbau von Güllekühlung (unter perforiertem Boden), um die Nährstoffverluste durch Ammoniak-Emissionen zu verhindern. Die Abwärme wird dann für die Schweineaufzucht mittels Wärmetauscher verwendet.

Tabelle 5: Massnahmen Stallbauten und Tierhaltung. Farbmarkierung BLAU: direkt umsetzbare Massnahmen, GRÜN: Massnahmen mit Aufwand und Investitionen, GELB: bauliche Massnahmen mit Investitionen, ROT: zu prüfende Massnahme.

Massnahme	Empfehlung / Anwendung Schweiz	Vorschrift Ausland / NH ₃ -Effekt
Stallkonzept - Stallorganisation: Saubere Funktionsbereiche	<ul style="list-style-type: none"> trockene abgegrenzte Futter- und Ruheplätze mit kleinen Verschmutzungsflächen 3 % Quergefälle zur Ableitung von Urin kombiniert mit häufiger Entmistung, z.B. 12mal täglich (Schieber, Roboter²²) 	<i>Hohe NH₃-Minderung</i> Mit Rillenboden und 3 % Quergefälle 25% bis über 40% NH ₃ -Emissionsreduktion im Vergleich zu konventionellen Systemen(Vereinte Nationen, ECE/EB.AIR/120, 2014).
Stallkonzept - optimale Lüftung: Einströmen kühler Luft, geringe Luftgeschwindigkeit am Boden, Beschattung	<ul style="list-style-type: none"> Aussenklima, offene, verschliessbare Längsseiten Ganzjährige Licht- und Lüftungsöffnungen genügend trockene und leicht zu reinigende Laufflächen im Stall 	<i>Mittlere NH₃-Minderung</i> Dachisolierung und automatische Beschattung im Sommer sorgen für tiefere Stalltemperatur. Eine reduzierte Luftgeschwindigkeit im Stall ergibt eine Emissionsreduktion von 20% im Vergleich zu einem konventionellen System (Vereinte Nationen, ECE/EB.AIR/120, 2014).
Stallkonzept - Laufhof: Dimension	<ul style="list-style-type: none"> Angepasste Fläche für Tierbestand (so klein wie nötig) Schutz vor Sonneneinstrahlung und Hitze 	<i>Mittlere NH₃-Minderung, qualitative Bewertung</i>
Stallkonzept - Güllemaangement im Stall	<ul style="list-style-type: none"> Güllekanäle in gedeckte Güllelager optimieren keine flächige perforierte Böden 	Flächige perforierte Böden emittieren tendenziell mehr NH ₃ (keine NH₃-Minderung²³)
Geschlossener Stall: Abluftreinigung	<ul style="list-style-type: none"> Chemiewäscher (Cercl'Air-Empfehlung Nr. 21-D²⁴) 	<i>Hohe NH₃-Minderung</i> Rückgewinnung des emittierenden NH ₃ in der Regel >90 % In den Niederlanden eine generelle Vorschrift für geschlossene Ställe vorgeschrieben
Tiefstreustall	<ul style="list-style-type: none"> Optimierte Strohmenge 	Erhöhung der Strohmenge pro Tier kann die NH ₃ -Emissionen aus dem Gebäude und während der Dunglagerung reduzieren
Laufhof:	<ul style="list-style-type: none"> Nutzung nur wenn sinnvoll (nicht beides: Weide und Laufhof) Häufige Reinigung 	
Reinigung	<ul style="list-style-type: none"> Zugabe von Säure zum Spülwasser 	<i>Hohe NH₃-Minderung</i> Die Zugabe von Säure zum Spülwasser kann die NH ₃ -Emissionen erheblich reduzieren.

²² https://arenenberg.tg.ch/public/upload/assets/78129/LSS2017_COO.2103.100.3.pdf

²³ https://www.agroscope.admin.ch/dam/agroscope/de/dokumente/aktuell/Veranstaltungen/wbk-baufachtagung/2018/wbk18-04.pdf.download.pdf/12_WBK_2018_Sabine_Schrade_D.pdf

²⁴ https://cerclair.ch/assets/pdf/21D_2011-05-19_D_Abluftreinigung_bei_Tierhaltungsanlagen.pdf

4.3.3 Hofdüngerlager und Hofdüngerausbringung

Die Berechnung für Hofdüngerlager und Hofdüngerausbringung ergeben Verluste von 39 % des gesamten TAN der Nutztiere exklusive Weidehaltung (vgl. *Abbildung 13*). Im Hofdüngerlager können die Nährstoffverluste von Gülle und Mist durch das Abdecken der Lager effizient minimiert werden. Aus diesem Grund sind ab 2022 offene Güllelager nicht mehr zulässig und flüssiger Hofdünger muss grundsätzlich mit Schleppschlauch ausgebracht werden. Auch bei der Mistlagerung sind Abdeckungen mit Planen oder Fliesen gewinnbringend. Grosse Verluste an Ammoniak erfolgen bei der Düngerausbringung (28 %), an erster Stelle durch Güllen mit Prallteller.

Abgesehen vom Düngerverlust verursacht ein sauberer Stall, eine abgedeckte Düngerlagerung sowie der Verzicht auf Ausbringen mit Prallteller und sofortiges Einarbeiten von Mist geringere Geruchsbelästigungen.

Wie bei der emissionsmindernden Lagerung von Gülle ist es wichtig, dass auf die abgedeckte Lagerung von Festmist emissionsarme Ausbringungstechniken (d.h. sofortige Einarbeitung) folgen, da sonst ein erheblicher Teil der Stickstoffeinsparung zu diesem späteren Zeitpunkt wieder verloren geht.

Die Separierung von Gülle und Feststoffe bringt verschiedene Vorteile. Leider hat die Studie von (Kupper, 2015) keine Minderung der Ammoniak-Emissionen aufzeigen können. Für die Ausbringung von Dünngülle mit Schleppschlauch könnte die Separierung von Vorteil sein und eine Emissionsminderung bewirken. Wie die Mehremissionen von Ammoniak bei der Lagerung bzw. Kompostierung der Feststoffe eingedämmt werden könnten, wäre abzuklären. Die Schlussfolgerung dieser Studie war:

"Insgesamt dürfte die Gülleseparierung die gesamtschweizerische Menge von Ammoniak-Emissionen kaum beeinflussen. In verschiedenen europäischen Ländern wird die Gülleseparierung praktiziert, aber in der Schweiz seitens Behörden und Experten nicht als emissionsmindernde Massnahme betrachtet."

Tabelle 6: Hofdüngerlager. Farbmarkierung BLAU: direkt umsetzbare Massnahmen, GRÜN: Massnahmen mit Aufwand und Investitionen, GELB: bauliche Massnahmen mit Investitionen, ROT: zu prüfende Massnahme.

Massnahme	Empfehlung / Anwendung Schweiz	Vorschrift Ausland / NH ₃ -Effekt
Abdeckung Güllelager	Grundsätzliche Vorschrift ab 2022	Hohe NH ₃ -Minderung 12 % NH ₃ -Minderung am Beispiel GL5 ²⁵
Grösse Güllelager	<ul style="list-style-type: none"> Ausreichende Güllekapazität für das Ausbringen zum bestmöglichen Zeitpunkt für den Stickstoffbedarf der Pflanzen. 	<p>Höhere Pflanzenverfügbarkeit (NH₃-Minderung)</p> <p>Schweiz: Güllekapazität von mindestens 3 Monaten ist unzureichend, deshalb z.T. kantonale Vorschriften mit höherer Kapazität</p> <p>Siehe unten "Zeitpunkt der Düngerausbringung"</p> <p>Dänemark: vorgeschriebene Lagerkapazität: grundsätzlich 9 Monate, bei Weidevieh 7 Monate</p>
Güllelager: Ansäuerung und Rückspülung Kanäle	<ul style="list-style-type: none"> Bisher keine Anwendung Erstes Projekt im Kanton Luzern wurde gestartet (pers. Mitteilung von T. Kupper) 	Hohe NH ₃ -Minderung (Kupper, 2017) Dänemark: Praxis zur Einsparung Stickstoffverluste mit Gülleansäuerung auf pH 5.6
Güllelager: weitere Güllebehandlung.	<ul style="list-style-type: none"> Diverse Versuche 	https://www.bodenseekonferenz.org/bausteine.net/f/9231/M5-Guellezusaeetze-090829.pdf?fd=2
Gülleseparierung.		Insgesamt dürfte die Gülleseparierung die gesamtschweizerische Menge von Ammoniak-Emissionen kaum beeinflussen (Kupper, 2015).
Festmistlager	<ul style="list-style-type: none"> Feste Abdeckung mit Kunststoffolie oder -Vlies. Oberfläche des Mistlagers kleinhalten Dung trocken halten 	<p>Feste Abdeckung ist Praxis bei Bio- und Demeterbetrieben. Kunststoffolie ermöglicht die Reduktion der NH₃-Emissionen, ohne CH₄- oder N₂O-Emissionen wesentlich zu erhöhen.</p> <p>Erhöhte Strohmenge beim Mist erzeugt je nach Bedingungen Anstieg N₂O- und CH₄-Emissionen.</p> <p>Oberfläche des Mistlagers kleinhalten (z.B. durch den Bau von Wänden zur Erhöhung der Höhe).</p> <p>Dung so trocken wie möglich halten (besonders bei Geflügelmist)</p>

²⁵ Berechnungen nach Agrammon für das Beispiel GL5 mit 50 Milchkühen ohne Aufzucht und Mastkälber, im Vergleich zu nicht abgedeckter Gülle.

Tabelle 7: Massnahmen Hofdüngerausbringung. Farbmarkierung BLAU: direkt umsetzbare Massnahmen, GRÜN: Massnahmen mit Aufwand und Investitionen, GELB: bauliche Massnahmen mit Investitionen, ROT: zu prüfende Massnahme.

Massnahme	Empfehlung / Anwendung Schweiz	Vorschrift Ausland / NH ₃ -Effekt
Ausbringung mit verdünnter Gülle	<ul style="list-style-type: none"> Ausbringung von verdünnter Gülle mit Prallteller in unwegsamem Gebiet 	<p><i>Hohe NH₃-Minderung</i></p> <p><i>Eine Verdünnung 1:2 Teile Wasser ergäbe vergleichbare NH₃-Minderung wie Einsatz Schleppschauch für Betrieb GL5²⁶</i></p> <p>Gülleverdünnung verbessert die Aufnahme im Boden. Nachteil: mehr Transport.</p> <p>Kombination mit Schweinegülle begünstigt die Bodenaufnahme.</p>
Gülleausbringung muss grundsätzlich mit Schleppschauch erfolgen (ab 2022) oder besserer Ausbringtechnik (z.B. Schleppschuh, Gülleddrill oder Gülleinjektion) (Huguenin-Elie, Nyfeler, Amman, Latsch, & Richner, 2018)	<ul style="list-style-type: none"> Gülleausbringung mit Prallteller nur in unwegsamem Gebiet Im Ackerland Gülle einarbeiten 	<p><i>Hohe NH₃-Minderung</i></p> <p><i>Bei 70 % Schleppschauch: 32 % mehr TAN im Boden, ergibt 14 % Minderung NH₃-Emissionen für Betrieb GL5²⁶</i></p> <p><i>Bei 70 % Schleppschuh: 53 % mehr TAN im Boden, ergibt 23 % Minderung NH₃-Emissionen für Betrieb GL5</i></p> <p><i>Bei 70 % Gülleddrill: 74 % mehr TAN im Boden, ergibt 33 % Minderung NH₃-Emissionen für Betrieb GL5</i></p> <p><i>Bei 70 % Tiefeninjektion: 84% mehr TAN im Boden, ergibt 37 % Minderung NH₃-Emissionen für Betrieb GL5</i></p>
Gülleansäuerung während Schleppschauch-Ausbringung	<ul style="list-style-type: none"> Schleppschauch kombiniert mit Gülleansäuerung pH 6.4 Literaturstudie (Kupper, 2017) 	<p><i>Hohe NH₃-Minderung</i></p> <p>Ansäuerung reduziert die NH₃-Emission um 50% und mehr. Die Anwendung von Schwefelsäure muss in jeder Phase des Betriebsablaufs korrekt erfolgen, um jegliches Risiko für Arbeiter, Tiere und die Umwelt zu vermeiden.</p> <p>Dänemark: Die Ausbringung von Gülle mit automatisch dosierter Schwefelsäure wird erfolgreich angewandt. Es bestehen detaillierte Vorschriften zur Hofdüngerausbringung</p>
Gülleausbringung mit Gülleddrill oder Gülleinjektion		<p><i>Höhere NH₃-Minderung</i></p> <p>Injektionstechnik wenig geeignet auf steinigem oder verdichteten Böden</p> <p>Injektionstechnik mit offenem oder geschlossenem Schlitz je nach Bodenbeschaffenheit beachten.</p>

²⁶ Berechnungen nach Agrammon für das Beispiel GL5 mit 50 Milchkühen ohne Aufzucht und Mastkälber, im Vergleich zu Grundzustand ohne Massnahme.

Massnahme	Empfehlung / Anwendung Schweiz	Vorschrift Ausland / <i>NH₃-Effekt</i>
Mistausbringung	<ul style="list-style-type: none"> • Misteinarbeitung • Vor der Aussaat Mist innerhalb 4 Stunden einarbeiten (vgl. <i>Abbildung 22, Anhang</i>) 	<p><i>Hohe NH₃-Minderung</i> Einarbeiten reduziert die NH₃-Emissionen: sofortiges Einarbeiten mit Pflug: 90 %, nach 4 Stunden 45-65 %.</p> <p>Im Gegensatz zu Gülle haben Studien gezeigt, dass die Einarbeitung von Festmist mit dem Pflug, trotz langsamerer Arbeitsgeschwindigkeit effektiver ist als die Einarbeitung mit Scheiben oder Zinken.</p> <p>Dänemark: Vor der Aussaat muss Mist innerhalb 4 Stunden eingearbeitet sein.</p>
Zeitpunkt der Düngerausbringung	<ul style="list-style-type: none"> • Verbot auf gefrorenen Boden • Düngerausbringung auf die Vegetationszeit abstimmen • Witterung: kühle, windstille und feuchte Witterung vermindert die NH₃-Emissionen 	<p><i>Höhere Pflanzenverfügbarkeit (NH₃-Minderung)</i></p> <p>Dänemark: Ausbringzeiten sind gesetzlich begrenzt auf die Vegetationszeit.</p> <p>Für Winterkulturen: Festmist nur auf Acker von Ernte bis 20. Oktober ausbringen</p> <p>Gülleverbot im Winter: generell von Ernte bis 1. Februar (Ausnahmen für Futtergras, Winterraps und Saatgras bis max. 15.10.)</p> <p>Niederlande: kein Güllen ab 15.9. bis 15.2.</p>

4.3.4 Ackerbau

Im Ackerbau ist die Art der Düngerausbringung entscheidend, um den Nährstoff zur Pflanze zu bringen und Stickstoffverluste in Form von Ammoniak zu vermeiden. In Dänemark wird intensiver Ackerbau betrieben, deshalb gibt es dort Einschränkungen in der Düngerausbringung und Vorgaben für Winter-, bzw. Zwischenfrüchte. Beispielsweise ist das Ausbringen von flüssigem Hofdünger auf blanke Ackerböden nur mit Injektion erlaubt oder mit angesäuerter Gülle mittels Schleppschauch und anschliessender Einarbeitung des Düngers. Auch Mist muss eingearbeitet werden. Bei der Einarbeitung ist die Zeit nach dem Düngerausbringen sehr entscheidend (vgl. *Abbildung 22, Anhang*).

Massnahmen siehe *Kap. 4.3.3, Tabelle 7*.

4.4 Massnahmen zur Stickstoff-Optimierung in der dänischen Landwirtschaft

Die intensive dänische Landwirtschaft führte insbesondere zu einer starken Eutrophierung der Gewässer bis hin zu Nord- und Ostsee. Auf Grund der europäischen Nitratrichtlinie (91/676/EEC) zum Schutz vor Verunreinigung

des Grund- und des Oberflächenwassers durch Nitrate aus der Landwirtschaft wurden in Dänemark einschneidende Massnahmen zur Stickstoff-Optimierung durchgesetzt.

Die Umsetzung der [National Emissions Ceilings \(NEC\) Directive \(2016/2284/EU\)](#) Richtlinie²⁷ über nationale Emissionshöchstmengen verpflichtet die europäischen Mitgliedstaaten zu verstärkter Reduktion der Ammoniak-Emissionen. Die in der NEC beschriebenen wirkungsvolle Massnahmen sind in *Tabelle 8* zusammengestellt. Im Dokument des Ministry of Environment and Food of Denmark "Overview of the Danish regulation of nutrients in agriculture & the Danish Nitrates Action Programme" (2017) sind die aktuellen dänischen Vorschriften bezüglich Ammoniak- und Phosphor-Limitierungen zusammengefasst.

Die wesentlichen dänischen Massnahmen für die Minderung der Ammoniak-Emissionen sind:

- Die vorgeschriebenen Höchstmengen an Stickstoff für Landwirtschaftsflächen werden als Brutto-Stickstoff-Bedarf budgetiert und bilanziert. Verluste vom pflanzenverfügbaren Stickstoff auf dem Hof, im Lager und bei der Düngerausbringung gehen zu Lasten des Betriebs.
- Der Einsatz von Mineraldünger darf nur in der Menge erfolgen, die sich aus der Differenz zwischen Brutto-Stickstoff-Bedarf und zur Verfügung stehendem Hofdünger ergibt²⁸.
- Grundsätzliche Lagerkapazität für 9 Monate, damit der Dünger nur während des Bedarfes für die Pflanzen ausgebracht wird. Die zeitlichen Einschränkungen der Düngeausbringung nach der Ernte sind vorgeschrieben.
- Die Art der Düngerausbringung ist vorgeschrieben. Der Einsatz von Schleppschlauch ist mindestens gefordert, für Wiesland und blanken Ackerboden wird für Schleppschlauchausbringung zusätzlich die Ansäuerung der Gülle verlangt. In Dänemark wird die Gülle zu 35 % mit Schleppschlauch, 19 % angesäuert mit Schleppschlauch und 46 % mittels Injektion ausgebracht. Unter den dänischen Bedingungen der Gülleausbringung werden folgende Reduktionen der Ammoniak-Emissionen erreicht:
 - Schleppschlauch auf Wiesland 50 % Minderung im Vergleich zum Prallteller
 - Schleppschlauch auf Wiesland mit Gülleansäuerung weitere 40-50 % ergeben 70 % Minderung im Vergleich zum Prallteller
 - Gülleinjektion auf Wiesland ergibt 70 % Minderung und auf blankem Ackerland (Black Soil Injection) 90 % im Vergleich zum Prallteller
- Der Startdünger für Maissaat wird präzise unter dem Saatkorn ausgebracht (keine flächendeckende Düngung).

Die streng kontrollierten Nährstoffbudgets und der ökonomische Druck sorgen für den Einsatz modernster Methoden. Jeder Betrieb sorgt für eine optimale wirtschaftliche Leistung, so dass weder im Stall, noch im Lager oder bei der Düngung Nährstoffe verloren gehen.

²⁷ http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2016.344.01.0001.01.ENG&toc=OJ:L:2016:344:TOC

²⁸ Es wird einzig die " Stickstoffverwertung" des Düngers mit einem Faktor berücksichtigt. Für Milchkühe beträgt die Stickstoffverwertung 70 % (vgl. Suisse-Bilanz mit 60 %).

Tabelle 8: *Empfehlung zur Ammoniakminderung nach RICHTLINIE (EU) 2016/2284 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 14. Dezember 2016, Seite 23*

Die Mitgliedstaaten können die Ammoniakemissionen aus Wirtschaftsdünger durch folgende Maßnahmen reduzieren:

- a) Reduktion der Emissionen infolge der Ausbringung von Gülle und Festmist auf Acker- und Grünland durch Anwendung von Verfahren, mit denen sich die Ammoniakemissionen um mindestens 30 % im Vergleich zu dem im Ammoniak-Leitfaden genannten Referenzverfahren reduzieren lassen, wobei folgende Bedingungen gelten:
 - i) Ausbringung von Festmist und Gülle ausschließlich im Einklang mit dem vorhersehbaren Stickstoff- und Phosphorbedarf der gedüngten Kulturpflanzen oder Grünflächen, wobei auch dem vorhandenen Nährstoffgehalt des Bodens und den Nährstoffen aus anderen Düngemitteln Rechnung getragen wird;
 - ii) keine Ausbringung von Festmist und Gülle, wenn der zu düngende Boden wassergesättigt, überflutet, gefroren oder schneebedeckt ist;
 - iii) Ausbringung von Gülle auf Grünflächen mittels Schleppschlauch, Schleppschuh oder durch flache oder tiefe Injektion;
 - iv) Einarbeitung von Festmist oder Gülle, die auf Ackerland ausgebracht werden, innerhalb von vier Stunden nach dem Ausbringen;
- b) Reduktion von Emissionen aus außerhalb von Ställen gelagertem Wirtschaftsdünger nach folgendem Verfahren:
 - i) für nach dem 1. Januar 2022 angelegte Güllelager Verwendung emissionsarmer Lagersysteme oder -techniken, mit denen sich die Ammoniakemissionen nachweislich um mindestens 60 % im Vergleich zu dem im Ammoniak-Leitfaden genannten Referenzverfahren reduzieren lassen; für bereits bestehende Güllelager beträgt dieser Wert 40 %;
 - ii) Überdachung von Festmistlagern;
 - iii) Sicherstellung, dass die landwirtschaftlichen Betriebe über eine ausreichende Kapazität für die Lagerung von Wirtschaftsdünger verfügen, damit der Wirtschaftsdünger nur zu Zeiten ausgebracht wird, die für Pflanzenwachstum geeignet sind;
- c) Reduktion von Emissionen aus Ställen durch Verwendung von Systemen, mit denen sich die Ammoniakemissionen nachweislich um mindestens 20 % im Vergleich zu dem im Ammoniak-Leitfaden genannten Referenzverfahren reduzieren lassen;
- d) Reduktion von Emissionen aus Mist durch Strategien der eiweißreduzierten Fütterung, mit denen sich die Ammoniakemissionen nachweislich um mindestens 10 % im Vergleich zu dem im Ammoniak-Leitfaden genannten Referenzverfahren reduzieren lassen.

5 Minderung der Ammoniak-Emissionen in der Schweizer Landwirtschaft am Beispiel von 3V-Betrieben

Das UZL für Ammoniak verlangt eine drastische Minderung der Ammoniak-Emissionen im gesamten Prozess von der Tierhaltung bis zur Pflanzendüngung. Jede Emission, die im Stall eingespart wird, ergibt mehr Düngemittel, wobei in den nachgelagerten Prozessen der Stickstoff nicht verloren gehen darf. Dies verlangt grosse Sorgfalt im Hof und bei der Düngerlagerung und -ausbringung. Im Unterschied zu den dänischen Landwirtschaftsbetrieben sind Tierbestand und Landwirtschaftsfläche auf einem typischen Schweizer Betrieb etwa fünf bis zehnmal kleiner²⁹. Dies erschwert den wirtschaftlichen Einsatz von moderner Landwirtschaftstechnik. Hinzu kommen für viele Betriebe die topografischen Gegebenheiten. Die wesentlichen Kennzahlen zur dänischen und Schweizer Landwirtschaft sind im *Anhang 6.5* zusammengestellt.

Die beteiligten Landwirtschaftsbetriebe im 3V-Projekt sollen das Potential zur Minderung der Ammoniak-Emissionen erkennen und je nach Machbarkeit die Emissionen mindern. Ziel dieses Berichts ist, das Vorgehen aufzuzeigen.

5.1 3V-Betriebe im Kanton Glarus

Für den Kanton Glarus wurden von der Abteilung Landwirtschaft, Departement Volkswirtschaft und Inneres, 16 Glarner 3V-Betriebe gemeldet. Mit Ausnahme des Betriebes G7 handelt es sich um Milchwirtschaftsbetriebe (*Abbildung 20*). Gut die Hälfte der gesamten GVE betreffen Milchkühe, ein Drittel weibliche Tiere sowie andere Kühe und 8 % männliche Rinder. Die Schafe und Ziegen des Betrieb G7 liefern 7 % der gesamten GVE (37.7 GVE). Der Mittelwert pro Betrieb beträgt 30 GVE, der Median liegt bei 29 GVE. Die restlichen Tiere liefern nur einen geringen Beitrag und wurden nicht berücksichtigt.

Für den grössten Betrieb GL5 wurden der Stickstofffluss und die Ammoniak-Emissionen im Detail analysiert (*Kap. 3.3.2*). An diesem exemplarischen Beispiel zeigt sich, dass vom gesamten Stickstoffanfall durch die Tiere und dem zugeführten Dünger nur ein Viertel als pflanzenverfügbare Stickstoff in den Boden gelangt. Weitere 8 % werden auf der Weide als Dünger wirken und 30 % stehen vorwiegend als organischer Stickstoff zur Verfügung, der über die Zeit zum Teil auch als Dünger wirkt (*Abbildung 18*). Die Agrammonberechnung (*Abbildung 19*) zeigt auf, dass vom gesamten Ammonium (Ninput als TAN) insgesamt 2'553 kgN pro Jahr verloren gehen. Das sind 62 % vom Dünger, der als pflanzenverfügbare Dünger wirken könnte. Dieses Beispiel ist repräsentativ für einen gut geführten Betrieb, wo die Gülle mit Prallteller ausgebracht wird.

²⁹ Betriebsgrösse für dänischen Vollzeitfarmer: 400 ha Getreide, 250 Milchkühe oder > 1'000 Muttersauen. Der Staat finanziert "Investitionshilfen" und Grundunterstützung für Grasland: ca. CHF250 pro Hektare und Jahr.

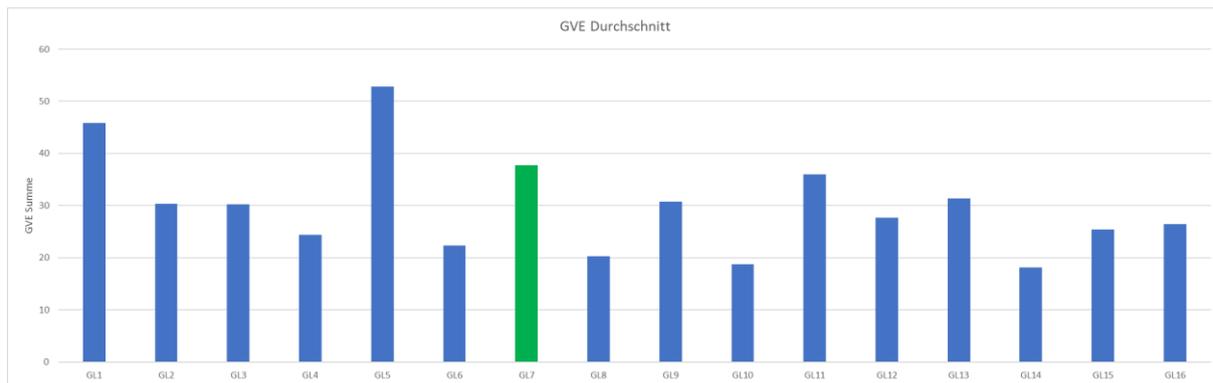


Abbildung 20: 3V-Betriebe im Kanton Glarus mit durchschnittlicher GVE-Belegung. Blau sind Rinderbetriebe; GL7, grün ist ein Betrieb mit Schafen und Ziegen.

Modellrechnungen mit Agrammon (ohne Berücksichtigung des zugelieferten Hofdüngers) zeigen auf, mit welchen Einsparungen gerechnet werden kann:

- Optimierter Stall mit erhöhtem Fressstand, Boden mit Quergefälle und Harnsammelrinne
Einsparung: 178 kg N/a
- Seltenes Aufrühren der Gülle in geschlossenem Lager
Einsparung: 20 kg N/a
- 80 % Schleppschlaucheinsatz
Einsparung: 390 kg N/a (zusammen mit der zugelieferten Gülle: 491 kg N/a)
- 80 % Schleppschuheinsatz
Einsparung: 650 kg N/a

Würden alle diese Massnahmen kombiniert mit Schleppschuh verwirklicht, so ergäbe sich nach Agrammonberechnung eine Reduktion der Ammoniak-Emissionen von 30 % (Tabelle 9).

Realistischerweise wäre für den bestehenden Betrieb GL5 eine Emissionsminderung von 491 kg N/a zu erwarten (unter Berücksichtigung des zugelieferten Hofdüngers), wenn auf 80 % der Fläche ein Schleppschlauch eingesetzt würde. Dies ergäbe eine Emissionsminderung von 17 %.

Tabelle 9: Potentielle Minimierung der Ammoniak-Emissionen für den Betrieb GL5

	Bestehender Betrieb kg N/Jahr	Optimierter Stall mit 80 % Schleppschuh kg N/Jahr	NH ₃ -Emissions- minderung kg N/Jahr	NH ₃ -Emissions- minderung
Weide NH₃-Emission	42	42.0	0	0%
Stall und Laufhof NH₃-Emission	739	561	178	24%
Hofdüngerlagerung NH₃-Emission	109	90	19	17%
Hofdüngerlagerung flüssig NH ₃ -Emission	89	69	20	22%
Hofdüngerlagerung fest NH ₃ -Emission	20	20	0	0%
Hofdüngerausbringung NH₃-Emission	1'663	1082	581	35%
Hofdüngerausbringung flüssig NH ₃ -Emission	1624	1044	580	36%
Hofdüngerausbringung fest NH ₃ -Emission	38	38	0	0%
Total Tierproduktion NH₃-Emission	2'553	1775	778	30%

5.2 3V-Betriebe im Kanton Thurgau

Trotz mehrfachem Nachfragen wurden nur vereinzelte Angaben für die Thurgauer Betriebe des 3V-Projektes erhalten. Als Beispiel wurden Modellrechnungen für den Betrieb TG3, für den alle notwendigen Daten verfügbar waren, durchgeführt (Kap. 3.3.1). Dieser Betrieb setzt bereits heute den Schleppschuh für 80 % der Fläche ein. Auf weitere Modellrechnungen wurde verzichtet, da für eine weitere Optimierung Änderungen der Stallbaute erforderlich wären.

5.3 Minderung der Ammoniak-Emissionen für 3V Betriebe

Das Projekt 3V möchte für landwirtschaftliche Betriebe aufzeigen, wie in der Schweizer Landwirtschaft die Umweltziele Landwirtschaft erreicht werden könnten. Die detaillierten Analysen zeigen, dass die Suisse-Bilanz keine zuverlässigen Rückschlüsse auf den Stickstoffverlust für Landwirtschaftsbetrieb zulässt. Die Suisse-Bilanz erfüllt den Anspruch für den Nachweis einer «ausgeglichene Stickstoffbilanz» nicht, da nach Agrammonmodellierung die erheblichen Ammoniakverluste entlang der Stickstoffkette von der Ausscheidung bis hin zur Pflanzendüngung nur sehr pauschal berücksichtigt werden (Abbildung 13). In der gesamten Schweizer Landwirtschaft geht gut die Hälfte des pflanzenverfügbaren Düngers als Ammoniak-Emissionen verloren (Kupper, Bonjour, Menzi, Bretscher, & Zaucker, 2018). Die Analysen zeigen, dass mit den in der Schweiz verfügbaren Techniken und in modernen Stallbauten unter Berücksichtigung des Tierwohles ungefähr 20 % der Emissionen einsparbar wären. Würden dann noch technische Massnahmen konsequent umgesetzt, so könnten potentiell noch einmal so viel Ammoniak-Emissionen eingespart werden. Dies betrifft insbesondere die Abluftreinigung von geschlossenen Ställen, die sofortige Einarbeitung von Mist auf Äckern, das Ausbringen von Gülle ausschliesslich zu Zeiten des Pflanzenbedarfs mit emissionsmindernden Massnahmen wie Gülleansäuerung, Schleppschuh oder Gülleinjektion. Mit all diesen Massnahmen könnte das UZL für Ammoniak annähernd erreicht werden, allerdings wäre für ein sicheres Erreichen des UZL Ammoniak ein moderater Abbau des Tierbestandes nötig. Der Fokus liegt auf der Rinderhaltung, da diese ungefähr drei Viertel der gesamten Ammoniak-Emissionen verursacht.

5.3.1 Generelle Empfehlungen für 3V-Betriebe

Grundsätzlich muss zwischen sofort umsetzbaren Massnahmen innerhalb des 3V-Projektes und langfristigen Verbesserungen zur Minderung der Ammoniak-Emissionen unterschieden werden. Zu den langfristigen Massnahmen gehören auch über einzelne Betriebe hinausgehende Möglichkeiten. Dazu vier Anregungen:

- ⇒ Grosse überbetriebliche Güllelager für genügende Kapazität, damit der Nährstoff für die Pflanzen nur noch zur optimalen Zeit ausgebracht wird.
- ⇒ Spezialisierte Unternehmen, welche technisch und sicherheitsmässig in der Lage sind, die Gülleansäuerung umzusetzen (a: Stallbewirtschaftung und/oder b: Gülleausbringung).
- ⇒ Überbetriebliche Zusammenarbeit mit regional spezialisierten Maschinenparks zur emissionsarmen Ausbringung des Hofdüngers.
- ⇒ Generelle Effizienzsteigerung der Nährstoffverwertung, unterstützt durch Zuschüsse / Unterstützungsgelder in der landwirtschaftlichen Praxis.

Betriebsanalyse zum Stickstofffluss

Grundsätzlich ist es von Vorteil für jeden Betrieb mit einem grösseren Tierbestand, eine vertiefte Analyse des Stickstoffflusses durchzuführen. Detaillierte Analysen, wie für die beiden Beispiele TG3 (Kap. 3.3.1) und GL5 (Kap. 3.3.2), sind aufwändig, allerdings steht nun das Auswertesystem zur Verfügung.

Empfehlung: 3V-Betriebe mit Rindern ab einer gewissen Anzahl GVE (z.B. grösser 30 GVE) sollten eine Stickstofffluss-Analyse durchführen, um spezifische Optimierungspotentiale zu quantifizieren. Auf Grund der bestehenden Erfahrung könnten für kleinere Betriebe vor Ort die wesentlichen Minderungspotentiale mittels einer Checkliste direkt vereinbart werden (Tabelle 14, Anhang).

Stalloptimierung - Stallbauten

Bestehende Ställe können nur bedingt verbessert werden. Dies betrifft insbesondere das natürliche Stallklima (Beschattung und Lüftung) sowie bei Freilaufställen die Organisation von Fress- und Ruheplätzen und die Stallreinigung. Bei Neubauten ist unbedingt die Vollzugshilfe von BAFU und BLW zu beachten (Bundesamt für Umwelt BAFU und Bundesamt für Landwirtschaft BLW, 2011).

Empfehlung: Für 3V-Betriebe mit bestehenden Freilaufställen und Laufhöfen kann durch optimale Raumaufteilung sowie Nutzung der Flächen und Organisation der Stallreinigung der Stickstoffverlust durch Ammoniak-Emissionen eingeschränkt werden. Verbesserungen könnten bei der Beratung vor Ort vereinbart werden.

Hofdüngerlager

Dass Hofdüngerlager gedeckt sind, sollte eine Selbstverständlichkeit sein. Bei nicht dicht abgeschlossenen Güllelagern (z.B. Lager unter perforierten Böden, Güllesilo mit Zelt oder Kunststoffabdeckung mit Lüftungsöffnungen) ist die Häufigkeit des Aufrührens der Gülle zu minimalisieren.

Häufig sind die Güllelager zu klein, um die Gülle nur dann auszutragen, wenn ein Nährstoffbedarf für die Pflanzen besteht. Generell sollte darauf geachtet werden, dass die Gülleausfuhr nur in den pflanzenaktiven Zeiten erfolgt. Bei Neubauten oder Erweiterungen sollte dringend darauf geachtet werden, dass die Güllelager eine erweiterte Lagerkapazität haben.

Empfehlung: Für 3V-Betriebe soll das Bewusstsein gefördert werden, dass ausreichende Lagergrößen vorhanden sein müssen, um den Stickstoff nur in der pflanzenaktiven Zeit ausbringen zu müssen.

Hofdüngerausbringung

Jede Gülle- oder Mistausbringung auf die Landwirtschaftsfläche ist mit Ammoniak-Emissionen verbunden. Werden keine technischen oder betrieblichen Massnahmen getroffen, so geht hier der meiste pflanzenverfügbare Dünger verloren. Die Vollzugshilfe von BAFU und BLW (Bundesamt für Umwelt BAFU und Bundesamt für Landwirtschaft BLW, 2012) beschreibt in *Kap. 3.7.1* den Stand der Technik zur Ausbringung von Hofdünger³⁰ und in *Kap. 3.7.2* die organisatorischen Massnahmen

Gülleausbringung mit Schleppschauch ist die Mindestanforderung auf entsprechend fahrbarem Gelände. Deutlich besser ist der Schleppschuh oder die Injektion. Noch weiter geht die dänische Landwirtschaft, wo die Ansäuerung der Gülle vor oder während des Ausbringens nochmals deutlich mehr Stickstoff in den Boden bringt und dadurch die Verluste minimiert werden (*Kap. 4.4*).

Empfehlung: Da die technische Ausrüstung für emissionsarme Gülleausbringung mit höheren Investitionen verbunden ist, könnte in den 3V-Betrieben das Bewusstsein und die Bereitschaft gefördert werden, dass Maschinenparks angestrebt werden (z.B. Maschinenring). Eine Alternative ist die Beauftragung von spezialisierten Lohnunternehmen.

Eine effektive Stickstoffmassnahme bei der Ausbringung von Mist auf Ackerböden ist die sofortige Einarbeitung in den Boden. Durch organisatorische Zusammenarbeit könnte der Nährstoff sofort nach der Mistausbringung im Boden gesichert werden. Ein positiver Effekt, insbesondere bei Geflügelmist, ist das Verhindern von Geruchsemissionen (*Anhang 6.2*).

5.3.2 Empfehlungen für 3V-Betriebe zur sofortigen Umsetzung

Aus *Kapitel 4* werden hier jene Massnahmen zusammengeführt, die grundsätzlich von 3V-Betrieben sofort umgesetzt werden könnten.

³⁰ Massnahmen, die als Stand der Technik gelten:

- > Bandförmige Ausbringung mit Schleppschauchverteiler
- > Bandförmige Ausbringung mit Schleppschuhverteiler
- > Schlitzdrillverfahren – offener Schlitz
- > Schlitzdrillverfahren – geschlossener Schlitz
- > Ausbringung von flüssigen Hofdüngern mit Breitverteiler sowie von Festmist auf Ackerflächen ohne Pflanzenbewuchs, wobei die Dünger innerhalb weniger Stunden einzuarbeiten sind.

Tabelle 10: Massnahmen zur sofortigen Umsetzung für 3V-Betriebe aus Kapitel 4. Farbmarkierung BLAU: direkt umsetzbare Massnahmen, GRÜN: Massnahmen mit Aufwand und Investitionen.

Massnahmen Fütterung - Tierhaltung	Empfehlung / Anwendung Schweiz	Vorschrift Ausland / NH ₃ -Effekt
N- und P-optimierte Fütterung	Gute Landwirtschaftspraxis	Hohe NH ₃ -Minderung
Weidehaltung	Für Rauhfuttertiere eine effektive Massnahme zur Ammoniak-Minderung in der Schweiz	Hohe NH ₃ -Minderung: 86 % des pflanzenverfügbaren Stickstoffs gelangen in den Boden.
Hohe Anzahl Laktationen		

Massnahme Stall - Laufhof	Empfehlung / Anwendung Schweiz	Vorschrift Ausland / NH ₃ -Effekt
Reinigung	<ul style="list-style-type: none"> • Flächen in Hof und Laufhof sauber halten 	
Laufhof:	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung nur wenn sinnvoll (nicht beides: Weide und Laufhof) • Häufige Reinigung 	
Tiefstreustall	<ul style="list-style-type: none"> • Optimierte Strohmenge 	Erhöhung der Strohmenge pro Tier kann die NH ₃ -Emissionen aus dem Gebäude und während der Dunglagerung reduzieren

Massnahme Hofdüngerlager	Empfehlung / Anwendung Schweiz	Vorschrift Ausland / NH ₃ -Effekt
Festmistlager	<ul style="list-style-type: none"> • Feste Abdeckung mit Kunststoffolie oder -Vlies. • Oberfläche des Mistlagers kleinhalten • Dung trocken halten 	<p>Feste Abdeckung ist Praxis bei Bio- und Demeterbetrieben. Kunststoffolie ermöglicht erheblich NH₃-Reduktion, ohne CH₄- oder N₂O-Emissionen wesentlich zu erhöhen.</p> <p>Erhöhte Strohmenge beim Mist erzeugt je nach Bedingungen Anstieg N₂O- und CH₄-Emissionen.</p> <p>Oberfläche des Mistlagers kleinhalten (z.B. durch den Bau von Wänden zur Erhöhung der Höhe).</p> <p>Dung so trocken wie möglich halten (besonders bei Geflügelmist)</p>

Massnahme Hofdüngerausbringung	Empfehlung / Anwendung Schweiz	Vorschrift Ausland / <i>NH₃-Effekt</i>
Ausbringung mit verdünnter Gülle	<ul style="list-style-type: none"> • Ausbringung von verdünnter Gülle mit Prallteller in unwegsamem Gebiet 	<p><i>Hohe NH₃-Minderung</i></p> <p>Gülleverdünnung verbessert die Aufnahme im Boden. Nachteil: mehr Transport.</p> <p>Kombination mit Schweinegülle begünstigt die Bodenaufnahme.</p>
Gülleausbringung muss grundsätzlich mit Schleppschauch erfolgen (ab 2022) oder besserer Ausbringtechnik (z.B. Schleppschuh, Gülleddrill oder Gülleinjektion)	<ul style="list-style-type: none"> • Gülleausbringung mit Prallteller nur in unwegsamem Gebiet • Im Ackerland Gülle einarbeiten 	<p><i>Hohe NH₃-Minderung</i></p> <p>Gülleverdünnung verbessert Aufnahme im Boden (dafür mehr Transport)</p> <p>Das Ausbringen von verdünnter Gülle ergibt geringere NH₃-Verluste. Kombination mit Schweinegülle ist günstig.</p> <p>Details siehe <i>Tabelle 7</i></p>
Mistausbringung	<ul style="list-style-type: none"> • Misteinarbeitung • Vor der Aussaat Mist innerhalb 4 Stunden einarbeiten (vgl. <i>Abbildung 22, Anhang</i>) 	<p><i>Hohe NH₃-Minderung</i></p> <p>Einarbeiten reduziert die NH₃-Emissionen: sofortiges Einarbeiten mit Pflug: 90 %, nach 4 Stunden 45-65 %.</p> <p>Studien zeigen, dass die Einarbeitung von Festmist mit dem Pflug effektiver ist als die Einarbeitung mit Scheiben oder Zinken.</p> <p>Dänemark: Vor der Aussaat muss Mist innerhalb 4 Stunden eingearbeitet sein.</p>
Zeitpunkt der Düngerausbringung	<ul style="list-style-type: none"> • Verbot auf gefrorenen Boden • Düngerausbringung auf die Vegetationszeit abstimmen • Witterung: kühle, windstille und feuchte Witterung vermindert die NH₃-Emissionen 	<p><i>Hohe NH₃-Minderung</i></p> <p>Dänemark: Ausbringzeiten sind gesetzlich begrenzt auf die Vegetationszeit.</p> <p>Für Winterkulturen: Festmist nur auf Acker von Ernte bis 20. Oktober ausbringen</p> <p>Gülleverbot im Winter: generell von Ernte bis 1. Februar (Ausnahmen für Futtergras, Winterraps und Saatgras bis max. 15.10.)</p> <p>Niederlande: kein Güllen ab 15.9. bis 15.2.</p>

Literaturverzeichnis

- BAFU - Bundesamt für Statistik. (2020). Umweltindikatoren, Luftschadstoffemissionen. Von <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/raum-umwelt/umweltindikatoren/alle-indikatoren/emissionen-und-abfaelle/luftschadstoffemissionen.html> abgerufen
- BAFU. (2019). *Bundesamt für Umwelt, Bern: Fachinformationen zu Lebensräume in der Schweiz*. Von <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/fachinformationen/zustand-der-biodiversitaet-in-der-schweiz/zustand-der-lebensraeume-in-der-schweiz.html> abgerufen
- BAFU. (2020). *Umwelt-Vollzug Nr. 2003: Übermässigkeit von Stickstoff-Einträgen und Ammoniak-Immissionen. Bewertung anhand von Critical Loads und Critical Levels insbesondere im Hinblick auf einen kantonalen Massnahmenplan Luftreinhaltung*. Bern: Bundesamt für Umwelt.
- BAFU und BLW. (2016). *Umweltziele Landwirtschaft. Statusbericht*.
- Bracher, A. (2011). *Möglichkeiten zur Reduktion von Ammoniakemissionen durch Fütterungsmassnahmen beim Rindvieh (Milchkuh)*. Liebefeld-Posieux: SHL, Agroscope. Von https://www.blw.admin.ch/dam/blw/de/dokumente/Instrumente/Ressourcen-%20und%20Gewaesserschutzprogramm/Ressourcenprogramm/Studie%20der%20SHL%20und%20ALP%20zu%20Ammoniakemissionsreduktion%20bei%20Rindfiehfueterung.pdf.download.pdf/K%C3%BChe_NH3-Schlussberi abgerufen
- Bundesamt für Umwelt BAFU. (2014). *Grundlagenpapier zur Stickstoffproblematik Luft, Boden, Wasser, Biodiversität und Klima*. Bern.
- Bundesamt für Umwelt BAFU und Bundesamt für Landwirtschaft BLW. (2011). *Baulicher Umweltschutz in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft. Stand 2012*. Bern.
- Bundesamt für Umwelt BAFU und Bundesamt für Landwirtschaft BLW. (2012). *Nährstoffe und Verwendung von Düngern in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft. Bundesamt für Umwelt*. Bern.
- Bundesamts für Landwirtschaft. (2019). *Agrarbericht des BLW*. Von <https://www.agrarbericht.ch/de/betrieb/strukturen/soemmerungsbetriebe> abgerufen
- Bundesrat. (2016). *Bericht des Bundesrates vom 9.12.2016 in Erfüllung des Postulats 13.4284 Bertschy*. Von <https://www.news.admin.ch/newsd/message/attachments/46591.pdf> abgerufen
- Bundesrat. (2018). *Umwelt Schweiz*. Bern. Von <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/dokumentation/umweltbericht/umweltbericht-2018.html> abgerufen
- Dettwiler, J., Clément, J.-P., & Chassot, G. (2006). *Düngung und Umwelt. Fachkommentare zum anwendbaren Bundesrecht. Umwelt-Wissen Nr. 0617*. Bundesamt für Umwelt. Bern.

- Frei, J. B. (2020). *Agrarbericht 2019, Agrarumweltindikatoren (AUI)*. Von <https://www.agrarbericht.ch/de/umwelt/agrarumweltmonitoring/agrarumweltindikatoren-aii> abgerufen
- Heldstab, J., Leippert, F., Biedermann, R., & Schwank, O. (2013). *Stickstoffflüsse in der Schweiz 2020. Stoffflussanalyse und Entwicklungen, Umwelt-Wissen Nr. 1309*. Bern: Bundesamt für Umwelt.
- Huguenin-Elie, O., Nyfeler, D., Amman, C., Latsch, A., & Richner, W. (2018). Einfluss der Gülleapplikationstechnik auf Ertrag und Stickstoffflüsse im Grasland. *Agrarforschung Schweiz* 9 (7–8): 236–247, 2018.
- Hürdler, J., Prasuhn, V., & Spiess, E. (2015). *Abschätzung diffuser Stickstoff- und Phosphoreinträge in die Gewässer der Schweiz MODIFFUS 3.0*. Agroscope, Zürich.
- Künzle, T., & Albrecht-Sidler, S. (2019). *Meteotest - Karten von Jahreswerten der Luftbelastung in der Schweiz: Datengrundlagen, Berechnungsverfahren und Resultate der Karten bis zum Jahr 2018*. Bern.
- Kupper, T. (2015). *Separierung von Gülle und ihr Einfluss auf Ammoniakemissionen*. Berner Hochschule. Von https://www.ammoniak.ch/files/Downloads/Bericht_HAFL_Separierung_Guelle_20150317.pdf abgerufen
- Kupper, T. (2017). *Beurteilung der Ansäuerung von Gülle als Massnahme zur Reduktion von Ammoniakemissionen in der Schweiz - Aktueller Stand*. Berner Fachhochschule Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, Bern. Von <https://www.agrammon.ch/assets/Downloads/Further-Information/Bericht-Ansaerung-Guelle-20170123v.pdf> abgerufen
- Kupper, T., Bonjour, C., Menzi, H., Bretscher, D., & Zaucker, F. (2018). *Ammoniakemissionen der schweizerischen Landwirtschaft 1990-2015*. Berner Fachhochschule, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften; Bonjour Engineering GmbH; Oetiker+Partner AG, Bern.
- Reutimann, J., Heldstab, J., & Leippert, F. I. (2013). *STICKSTOFF IN DER LAND- & ERNÄHRUNGSWIRTSCHAFT - STICKSTOFFFLÜSSE, VERLUSTE UND REDUKTIONSPOTENZIALE*. BUNDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT BLW.
- Siegerist, T. & Maly, P. (2010). *Minderung von Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft im Kanton Schaffhausen*. Schaffhausen.
- Thöni, L., Seidler, E., Meier, M., & Kosonen, Z. (2019). *Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz 2000 bis 2018, Messbericht*.
- Vereinte Nationen, ECE/EB.AIR/120. (2014). *Leitfaden zur Vermeidung und Verringerung von Ammoniakemissionen aus landwirtschaftlichen Quellen*.

6 ANHANG

6.1 Entwicklung der N-Bilanz und N-Effizienz für die Schweizer Landwirtschaft nach OSPAR-Methode

Tabelle 11: Agrarumweltindikatoren und -kennzahlen auf nationaler Ebene (Frei, 2020)

		Einheit	1990	2000	2010	2017
Stickstoff	Entwicklung von N-Bilanz und N-Effizienz¹					
	N-Bilanz	t	131'900	114'321	121'165	114'373
	Input gesamt	t	171'499	157'589	169'680	165'335
	Importierte Futtermittel	t	25849	32021	50116	52'651
	Mineraldünger (Landwirtschaft)	t	67609	53371	53816	50'060
	Recyclingdünger	t	6705	6502	2882	2'889
	Saatgutimport	t	322	205	248	319
	N-Fixierung	t	37819	36083	36178	34'913
	Atmosphärische Deposition	t	33195	29406	26439	24'503
	Output gesamt	t	39'599	43'268	48'515	50'962
	Pflanzliche Produkte	t	7229	9517	9664	11'417
	Tierische Produkte (mit Hofdünger)	t	32370	33752	38851	39'545
	N-Effizienz	%	23	27	29	31
	Entwicklung der Ammoniakemissionen²					
	Ammoniakemissionen gesamt	×10 ³ t NH ₃ -N	51.9	42.8	43.4	42.2
	Pflanzenbau	×10 ³ t NH ₃ -N	4.5	3.1	2.7	3.0
	Tierhaltung	×10 ³ t NH ₃ -N	47.4	39.8	40.7	39.1
	Nach Emissionsstufen:					
	Weide	×10 ³ t NH ₃ -N	27.2	19.4	17.8	16.7
	Stall/Laufhof	×10 ³ t NH ₃ -N	11.0	11.4	14.6	14.5
Lager Gülle/Mist	×10 ³ t NH ₃ -N	8.7	7.9	7.2	6.8	
Ausbringung Gülle/Mist	×10 ³ t NH ₃ -N	0.6	1.0	1.1	1.1	
Nach Tierart:						
Rinder	×10 ³ t NH ₃ -N	35.9	30.5	31.3	30.3	
Schweine	×10 ³ t NH ₃ -N	9.1	6.8	6.5	5.7	
Geflügel	×10 ³ t NH ₃ -N	1.4	1.2	1.5	1.7	
Andere	×10 ³ t NH ₃ -N	1.0	1.2	1.5	1.4	

6.2 Detailanalyse Stickstoff- und TAN-Fluss

Grafische Zusammenfassung der Stickstoff- und TAN-Flüsse nach (Kupper, Bonjour, Menzi, Bretscher, & Zaucker, 2018), Anhang 7.13 Ammoniakemissionen und N Flüsse pro Tierkategorie 2015.

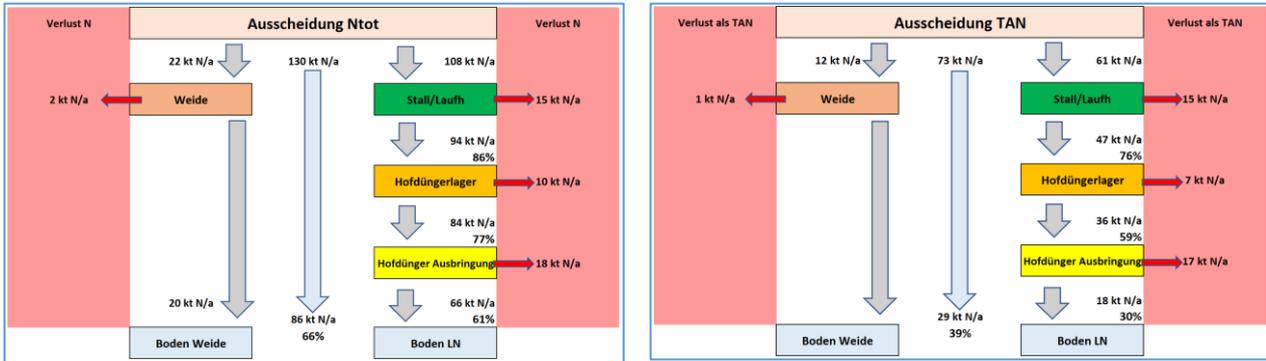


Abbildung 21: Berechnung der Stickstoffflüsse für den gesamten Stickstoff N_{tot} und TAN für die Schweizer Tierproduktion 2015 von insgesamt 130 kt N_{tot} pro Jahr (links) und 73 kt TAN pro Jahr (rechts). Die Verluste TAN sind mit den Ammoniak-Emissionen gleichzusetzen. (Kupper, Bonjour, Menzi, Bretscher, & Zaucker, 2018)

6.3 Einarbeitung von Mist

Eine günstige und effektive Minderung der Ammoniak-Emissionen bietet sich bei der Mistausbringung an: Wird der Mist auf blanken Äckern ausgebracht und sofort eingearbeitet, so können diese Ausbringemissionen um 90-95% gesenkt werden.

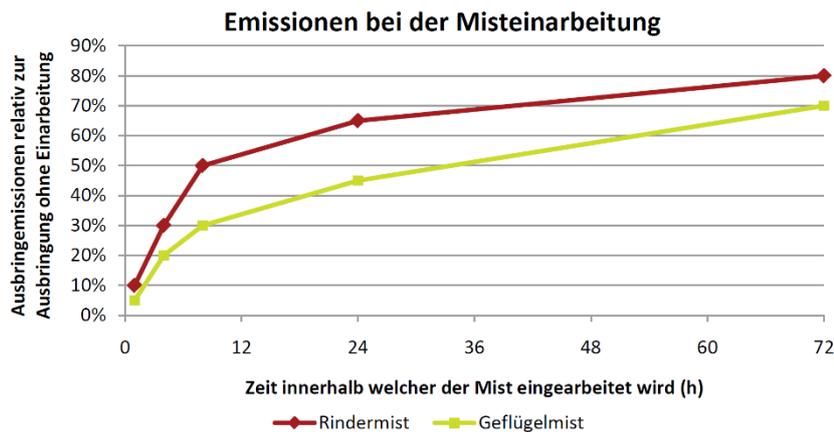


Abbildung 22: Verlust von Ammoniak nach Mistausbringung auf Ackerland. Die Einarbeitung innerhalb von 4 Stunden ergäbe eine Minderung der Ausbringemissionen von 70 % bei Rindermist bzw. 80 % bei Geflügelmist (Siegerist, T. & Maly, P., 2010).

6.4 Critical Loads für Stickstoff und Critical Levels für Ammoniak

Tabelle 12: Critical Loads für Stickstoff und Critical Levels für Ammoniak (BAFU, 2020)

Tabellen mit den empirischen Critical Loads für Stickstoffeinträge (CLN) und den Critical Levels für Ammoniak (CL_e NH₃), die für die Schweiz relevant sind.

Tabelle 2
Übersicht der für die Schweiz relevanten empirischen Critical Load-Bereiche gemäss BAFU 2016 und CLRTAP 2017

Ökosystem	Critical Load Bereich ^a in kg N ha ⁻¹ a ⁻¹	Wirkung bei Überschreitung
Nadelwald ^b	5-15 ^c	Veränderungen in Bodenprozessen; Nährstoffungleichgewichte, Veränderungen der Mykorrhiza- und Bodenvegetation
Laubwald ^b	10-20 ^c	Veränderungen in Bodenprozessen; Nährstoffungleichgewichte, Veränderungen der Mykorrhiza- und Bodenvegetation
Alpine Zwergstrauchheiden	5-15 ^c	Rückgang von Flechten, Moosen und Sträuchern
Trockenrasen auf sauren und neutralen Böden	10-15 ^c	Zunahme von Gräsern, Rückgang typischer Arten, Rückgang der Artenvielfalt
Artenreiche (Halb-) Trockenrasen auf Kalk	15-25 ^c	Zunahme von hohen Gräsern, Verminderte Biodiversität, erhöhte Mineralisation, Stickstoffauswaschung; Oberflächenversauerung
Pfeifengraswiesen	15-25 ^c	Zunahme von hohen Gräsern, Verminderte Biodiversität, Rückgang von Moosen
Bergheuwiesen	10-15 ^{cd}	Zunahme stickstoffliebender Grasarten, verminderte Biodiversität
Subalpines Grasland	5-10 ^c	Veränderte Artenzusammensetzung, erhöhte Pflanzenproduktion
Nährstoffarme Flachmoore	10-15 ^c	Vermehrt Seggen und Gefässpflanzen; negative Auswirkungen auf Moose
Nährstoffreiche Flachmoore	15-30 ^c	Zunahme von hohen Gräsern, Rückgang von Moosen
Hochmoore	5-10 ^c	Zunahme von Gefässpflanzen; Veränderungen des Wachstums und der Artenzusammensetzung von Moosen; erhöhte Stickstoffkonzentration in Torf und Torfwasser
Seichte, oligotrophe See- und Teichufer (Strandlingsgesellschaft)	3-10 ^c	Veränderte Artenzusammensetzung der Makrophyten; erhöhte Algen-Produktivität; Verschiebung der Nährstofflimitierung von N zu P
Alpine oligotrophe Seen	3-5 ^e	Verschiebung der Phytoplankton-Vergesellschaftung; Phytoplankton-Produktion erhöht

^a Die Bandbreite gibt an, in welchem Bereich sich der Critical Load befindet. Der genaue Wert hängt vom lokalen Ökosystem (Artenvorkommen) sowie von lokalen Standortfaktoren ab (Bodenfaktoren, Feuchtigkeit, Höhe über Meer). Spezifische für die Schweizweite Kartierung verwendete Werte sind in BAFU 2016 aufgelistet (Tabellen 2 und 3). Zur Beurteilung von Einzelstandorten sind Experten beizuziehen.

^b Die empirischen Critical Loads für Wälder werden für naturnahe, nicht bewirtschaftete Wälder verwendet. Für bewirtschaftete Wälder werden standortspezifische Critical Loads mittels einer Massenbilanz gerechnet, wie sie im Methodentandbuch der Konvention über weitraumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung vorgegeben ist (CLRTAP 2017, Kapitel V.3).

^c Bobbink 2011

^d Roth 2017. Diese Schweizer Studie hat gezeigt, dass der Critical Load Bereich kleiner ist als die Experteneinschätzung in Bobbink 2011. Dementsprechend wurde dieser angepasst.

^e De Wit 2010, ICP Waters Report 2010

Tabelle 3
Critical Levels für Ammoniak gemäss gemäss CLRTAP 2017

Vegetationstyp	Critical Level NH ₃ in µg m ⁻³	Zeitperiode
Flechten und Moose (inklusive Ökosysteme, in welchen diese zentraler Bestandteil sind)	1	Jahresmittelwert
Höhere Pflanzen (inklusive Heiden, Weiden und Waldbodenvegetation)	2-4	Jahresmittelwert

In der Regel wurde für die Schweizer Kartierung für jeden Ökosystemtyp der Mittelwert des angegebenen Bereichs der empirischen Critical Loads und der Critical Levels verwendet. Bei der Festlegung wurde jedoch auch die Sensitivität spezifischer Lebensräume berücksichtigt. Eine detaillierte Übersicht der verwendeten empirischen Critical Loads für die kartierten Ökosysteme ist in BAFU 2016, Tabellen 2 und 3 aufgeführt.

6.5 Zusammenstellung von Kenndaten zur dänischen und Schweizer Landwirtschaft

Tabelle 13: Vergleich Schweizer Landwirtschaftsbetriebe mit dänischen Betrieben.

Landwirtschaft	CH (BfS, 2016)	DK	Verhältnis in % (CH/DK)
Landwirtschaftsfläche (ha)	1'481'669	2'700'000	55%
davon Alpwirtschaft (ha)	513'860	-	-
Landwirtschaftsfläche (ha) CH ohne Alp	967'809	2'700'000	36%
davon Ackerbau (ha)	407'069	2'419'290	17%
davon Wiesen, Weiden (ha)	509'767	199'860	255%
Anzahl Farmer	50'852	42'600	119%
Betriebsgrösse (ha) CH ohne Alp	19	63	30%

Tierbestand (wichtigste)	CH (BfS, 2016)	DK	Verhältnis in % (CH/DK)
Milchkühe	690'146	570'000	121%
restliche Rinder	854'650	1'565'400	55%
Schweine	1'419'198	12'988'000	11%
Geflügel	11'535'491	17'897'884	64%

Finanzen	CH (BfS, 2016)	DK	Verhältnis(CH/DK)
Finanzen CHF	3'663'000'000	1'000'000'000	366%
Finanzen CHF pro ha Landwirtschaftsfläche	2'472	370	667%

Quellen:

- BfS <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/land-forstwirtschaft/landwirtschaft.html>
- <https://www.xn--dnemark-5wa.info/wirtschaft/landwirtschaft-viehzucht/>
- <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/land-forstwirtschaft/landwirtschaft.gnpdetail.2019-0443.html>
- <https://www.statbank.dk/SVIN>
- <https://www.dst.dk/en/Statistik/dokumentation/documentationofstatistics/milk-and-dairy-products>
- <https://www.dst.dk/en/Statistik/emner/erhvervslivets-sektorer/landbrug-gartneri-og-skovbrug/animalsk-produktion>
- https://www.efv.admin.ch/efv/de/home/finanzberichterstattung/bundeshaushalt_ueb/ausgaben.html
- https://ec.europa.eu/agriculture/sites/agriculture/files/rural-development-2014-2020/country-files/dk/factsheet_en.pdf³¹

³¹ 2014-2020 Rural Development Programme for Denmark:

The programme focuses 67% of the support on better management of natural resources and encouraging climate friendly farming practices, also with the objective of considerably increasing the organically farmed area. Around 2,400 investment projects (roughly 6% of all Danish farms) aim to improve the environmental performance of farms. Other schemes aim to boost innovation, provide training opportunities and create jobs in rural areas.

The five biggest RDP measures in budgetary terms are: o €475 million allocated for Measure 4: Productive and non-productive investments o €267 million allocated for Measure 11: Organic farming o €196 million allocated for Measure 10: Agri-Environment Climate o €82 million allocated for Measure 19: Leader/CLLD o €42 million allocated for Measure 8: Forestry

6.6 Checkliste für die Minderung der Ammoniak-Emissionen

Angaben zum Betrieb

Tabelle 14: Checkliste für die Minderung der Ammoniak-Emissionen auf Landwirtschaftsbetrieben

Fütterung, Tierhaltung	Erfüllt	Kommentar	Empfehlung / Anwendung Schweiz
N- und P-optimierte Fütterung	<input type="radio"/> JA <input type="radio"/> NEIN		Gute Landwirtschaftspraxis
Weidehaltung	<input type="radio"/> JA <input type="radio"/> NEIN		Für Rauhfuttermitteltiere eine effektive Massnahme zur Ammoniak-Minderung in der Schweiz
Hohe Anzahl Laktationen	<input type="radio"/> JA <input type="radio"/> NEIN		

Stallbauten, Tierhaltung	Erfüllt Kommentar	Empfehlung / Anwendung Schweiz
Stallkonzept - Stallorganisation: Saubere Funktionsbereiche	<input type="radio"/> JA <input type="radio"/> NEIN	<ul style="list-style-type: none"> • trockene abgegrenzte Futter- und Ruheplätze mit kleinen Verschmutzungsflächen • 3 % Quergefälle zur Ableitung von Urin kombiniert mit • häufiger Entmistung, z.B. 12mal täglich (Schieber, Roboter³²)
Stallkonzept - optimale Lüftung: Einströmen kühler Luft, geringe Luftgeschwindigkeit am Boden, Beschattung	<input type="radio"/> JA <input type="radio"/> NEIN	<ul style="list-style-type: none"> • Aussenklima, offene, verschliessbare Längsseiten • Ganzjährige Licht- und Lüftungsöffnungen • genügend trockene und leicht zu reinigende Laufflächen im Stall
Stallkonzept - Laufhof: Dimension	<input type="radio"/> JA <input type="radio"/> NEIN	<ul style="list-style-type: none"> • Angepasste Fläche für Tierbestand (so klein wie nötig) • Schutz vor Sonneneinstrahlung und Hitze
Stallkonzept - Güllemaangement im Stall	<input type="radio"/> JA <input type="radio"/> NEIN	<ul style="list-style-type: none"> • Güllekanäle in gedeckte Güllelager optimieren • keine flächig perforierte Böden
Geschlossener Stall: Abluftreinigung	<input type="radio"/> JA <input type="radio"/> NEIN	<ul style="list-style-type: none"> • Chemiewäscher (Cercl'Air-Empfehlung Nr. 21-D³³)

³² https://arenenberg.tg.ch/public/upload/assets/78129/LSS2017_COO.2103.100.3.pdf

³³ https://cerclair.ch/assets/pdf/21D_2011-05-19_D_Abluftreinigung_bei_Tierhaltungsanlagen.pdf

Stallbauten, Tierhaltung	Erfüllt Kommentar	Empfehlung / Anwendung Schweiz
Tiefstreu Stall	<input type="radio"/> JA <input type="radio"/> NEIN	<ul style="list-style-type: none"> • Optimierte Strohmenge
Laufhof:	<input type="radio"/> JA <input type="radio"/> NEIN	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung nur wenn sinnvoll (nicht beides: Weide und Laufhof) • Häufige Reinigung
Reinigung	<input type="radio"/> JA <input type="radio"/> NEIN	<ul style="list-style-type: none"> • Zugabe von Säure zum Spülwasser

Hofdüngerlager	Erfüllt	Kommentar	Empfehlung / Anwendung Schweiz
Abdeckung Güllelager	<input type="radio"/> JA <input type="radio"/> NEIN		<ul style="list-style-type: none"> Grundsätzliche Vorschrift ab 2022
Grösse Güllelager	<input type="radio"/> JA <input type="radio"/> NEIN		<ul style="list-style-type: none"> Ausreichende Güllekapazität für das Ausbringen zum bestmöglichen Zeitpunkt für den Stickstoffbedarf der Pflanzen.
Güllelager: Ansäuerung und Rückspülung Kanäle	<input type="radio"/> JA <input type="radio"/> NEIN		<ul style="list-style-type: none"> Bisher keine Anwendung Erstes Projekt im Kanton Luzern wurde gestartet (pers. Mitteilung von T. Kupper)
Güllelager: weitere Güllebehandlung.	<input type="radio"/> JA <input type="radio"/> NEIN		<ul style="list-style-type: none"> Diverse Versuche
Gülleseparierung.	<input type="radio"/> JA <input type="radio"/> NEIN		<ul style="list-style-type: none">
Festmistlager	<input type="radio"/> JA <input type="radio"/> NEIN		<ul style="list-style-type: none"> Feste Abdeckung mit Kunststoffolie oder -Vlies. Oberfläche des Mistlagers kleinhalten Dung trocken halten

Hofdüngerausbringung	Erfüllt Kommentar	Empfehlung / Anwendung Schweiz
Gülleausbringung muss grundsätzlich mit Schleppschlauch erfolgen (ab 2022) oder besserer Ausbringtechnik (z.B. Schleppschuh, Gölledrill oder Gölleinjektion)	<input type="radio"/> JA <input type="radio"/> NEIN	<ul style="list-style-type: none"> Gölleausbringung mit Prallteller nur in unwegsamem Gebiet Im Ackerland Gölle einarbeiten
Gölleensäuerung während Schleppschlauch-Ausbringung	<input type="radio"/> JA <input type="radio"/> NEIN	<ul style="list-style-type: none"> Schleppschlauch kombiniert mit Gölleensäuerung pH 6.4 Literaturstudie (Kupper, 2017)
Gölleausbringung mit Schleppschuh, Gölledrill oder Gölleinjektion	<input type="radio"/> Schleppschuh <input type="radio"/> Gölledrill <input type="radio"/> Gölleinjektion	<ul style="list-style-type: none">
Mistausbringung	<input type="radio"/> JA <input type="radio"/> NEIN	<ul style="list-style-type: none"> Misteinarbeitung Vor der Aussaat Mist innerhalb 4 Stunden einarbeiten (vgl. <i>Abbildung 22, Anhang</i>).
Zeitpunkt der Düngerausbringung	<input type="radio"/> JA <input type="radio"/> NEIN	<ul style="list-style-type: none"> Verbot auf gefrorenen Boden Düngerausbringung auf die Vegetationszeit abstimmen Witterung: kühle, windstille und feuchte Witterung vermindert die NH₃-Emissionen