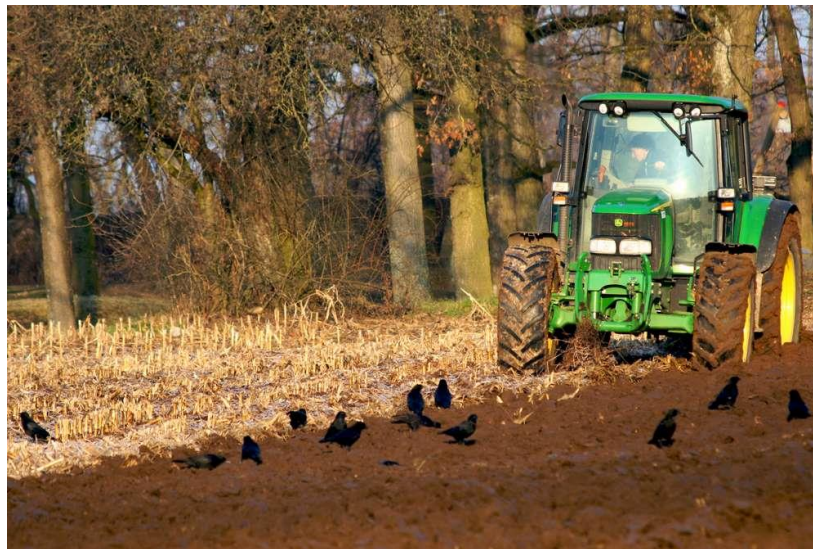


Indirekte Lachgasemissionen aus der Landwirtschaft



Zusammenhang von landwirtschaftlichen Stickstoff- und daraus entstehenden Lachgasemissionen

März 2017

Priska Stierli
AgroCleanTech Verein
c/o Schweizer Bauernverband
Belpstrasse 26
3007 Bern

Mit finanzieller Unterstützung von:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Landwirtschaft BLW
Staatssekretariat für Wirtschaft SECO



Thema	Zusammenhang von landwirtschaftlichen Stickstoff- und daraus entstehenden Lachgasemissionen
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> 1 Stickstoffemissionen aus der Landwirtschaft..... 3 2 Stickstoffformen und ihre Entstehung 3 3 Direkte und indirekte Lachgasemissionen 4 <ul style="list-style-type: none"> 3.1 Lachgasemissionen aus dem Hofdüngermanagement..... 5 3.2 Lachgasemissionen aus der Bodenbewirtschaftung..... 5 <ul style="list-style-type: none"> 3.2.1 Direkte Emissionen..... 5 3.2.2 Indirekte Emissionen..... 5 4 Wirtschaftliche Aspekte 6 5 Fazit 7 Anhang 9

Zusammenfassung Stickstoff ist ein wichtiges Produktionsmittel in der Landwirtschaft für die Steuerung von Ertragsmenge und Qualität der Produkte. Da Stickstoff in pflanzenverfügbarer Form mobil ist, kommt es zu Verlusten durch Verflüchtigung (Ammoniak) und Auswaschung (Nitrat). Es sind verschiedene Massnahmen bekannt, um Stickstoffverluste zu vermindern. Die Vermeidungskosten für N-Effizienz sind aber oft noch nicht bekannt und in der Regel hoch einzuschätzen. In diesem Bericht werden die Zusammenhänge von Stickstoff- und indirekten Lachgasemissionen aufgearbeitet, sowie wirtschaftliche Aspekte zu Stickstoffverlusten behandelt.

Die inhaltliche Verantwortung dieses Berichts übernimmt AgroCleanTech.

1 Stickstoffemissionen aus der Landwirtschaft

Gemäss Umweltzielen sollen die Treibhausgas(THG)-Emissionen der Schweizer Landwirtschaft bis 2050 um einen Drittel gesenkt werden (BAFU, 2016b). Eine wichtige Rolle dabei spielt der Stickstoff (N), der in Form von Lachgasemissionen etwa 30 % der landwirtschaftlichen THG-Emissionen ausmacht.

Stickstoff ist ein zentraler Bestandteil von Proteinen und damit wesentlich für die Nahrungsmittelproduktion (BAFU, 2014; Heldstab, Schäppi, Weber, & Sommerhalder, 2017). Reaktive Stickstoffverbindungen wie Ammoniak (NH_3), Nitrat (NO_3^-) und Lachgas (N_2O) entstehen neben der Verbrennung von fossilen Brenn- und Treibstoffen vor allem durch landwirtschaftliche Tätigkeiten wie der Bodenbewirtschaftung, dem Einsatz von Hof- und Mineraldüngern und in der Tierhaltung (BAFU, 2016a, 2017a). Diese Emissionen führen zu Klimaveränderungen, der Versauerung von Böden, der Eutrophierung von Gewässern und zu Nährstoffungleichgewichten in natürlichen Ökosystemen (BAFU, 2014).

Neben den direkten Emissionen kommt es durch Stickstoffverluste in Form von Ammoniak und Nitrat zu Anreicherungen in natürlichen Ökosystemen. Einerseits werden dadurch die natürlichen Gleichgewichte dieser Lebensräume gestört, andererseits kommt es durch die Anreicherung von Stickstoff wiederum zu Lachgasemissionen (sog. indirekte Lachgasemissionen) (BAFU, 2014; Heldstab, Leippert, Bedermann, Herren, & Schwank, 2013).

Im vorliegenden Bericht werden Zusammenhänge von direkten und indirekten Emissionen aufgezeigt und bestehende Massnahmen zur Reduktion von Ammoniak- und Lachgasemissionen aus der Landwirtschaft aufgeführt. Es werden zudem wirtschaftliche Aspekte einer gesteigerten N-Effizienz betrachtet.

2 Stickstoffformen und ihre Entstehung

Stickstoff ist in seiner elementaren Form (Luftstickstoff N_2) nicht pflanzenverfügbar. Mittels biologischer Fixierung durch Pflanzen wie Leguminosen oder technischer Fixierung mittels energieintensiven Verfahren kann Stickstoff als pflanzlicher Baustein genutzt werden. In pflanzenverfügbarer Form ist Stickstoff reaktiv und mobil, wodurch es zu Verlusten in Form von Ammoniak, Nitrat oder Lachgas kommt (BLW, 2017). Nachfolgend werden diese unterschiedlichen Stickstoffformen grob beschrieben.

Ammoniak Die aus landwirtschaftlicher Tätigkeit verursachten NH_3 -emissionen stammen zu 90% aus der Tierhaltung. Etwas mehr als die Hälfte davon entsteht beim Ausbringen von Gülle und Mist, ein Drittel im Stall und auf dem Laufhof und der Rest bei der Lagerung von Dünger (BAFU, 2017a; Looser, 2016). Wegen seiner hohen Mobilität, verflüchtigt sich Ammoniak schnell, gelangt in die Atmosphäre, kann bis zu wenigen 1000 m weit befördert und in anderen Umweltkompartimenten wieder abgelagert werden (Bühlmann et al., 2014).

Nitrat Nitrat entsteht bei mikrobiellem Abbau im Boden und bei der Verwendung von mineralischen Düngern und Hofdüngern. Pflanzen nehmen Nitrat auf und verwerten es für den Aufbau ihrer Biomasse. Bei der Denitrifikation von Nitrat aus Hof- und Mineraldüngern entstehen unter anaeroben Bedingungen Luftstickstoff (N_2), aber auch Stickoxide (NO_x) und Lachgas. Ein Teil des Nitrats kann aufgrund seiner hohen Mobilität ausgewaschen werden und in Gewässer, sowie ins Grund- und Trinkwasser gelangen. Angereichert in den aquatischen Ökosystemen kann der Stickstoff dort zu einer Überdüngung und dadurch wiederum zur Bildung von (indirekten) Lachgasemissionen führen (BAFU, 2014).

Lachgas Lachgas ist ein stark klimawirksames Treibhausgas und trägt zum Abbau der stratosphärischen Ozonschicht bei. Das Treibhauspotenzial von N_2O wird rund 300mal höher eingestuft als das von CO_2 (BAFU, 2015). Im Jahr 2015 fielen in der Schweiz laut nationalem Treibhausgasinventar rund 1.9 Mio. Tonnen CO_2eq Lachgas an (BAFU, 2017b). Etwa 80 % davon werden der Landwirtschaft zugeschrieben. Dabei setzen sich die Emissionsquellen laut dem Bundesamt für Umwelt (BAFU, 2017a) wie folgt zusammen:

- 50 % aus Bodenbewirtschaftung/N-Düngung
- 40 % indirekt via Stickstoff-Deposition
- 10 % bei der Lagerung von Hofdüngern (insbesondere Mist)

Lachgas entsteht vor allem bei Nitrifikations- und Denitrifikationsprozessen im Boden. Die Verfügbarkeit von Nitrat, Ammonium und leicht verwertbarer organischer Substanz sowie die Bodenbelüftung gehören zu den wichtigsten Steuergrössen, um Lachgasemissionen zu beeinflussen (Flessa, 2016).

3 Direkte und indirekte Lachgasemissionen

Gemäss dem nationalen Treibhausgasinventar kamen im Jahr 2015 etwa 1.9 Mio. Tonnen Lachgasemissionen aus der Schweizer Landwirtschaft (BAFU, 2017b). Diese werden in folgende Kategorien eingeteilt:

- Indirekte N_2O -Emissionen aus dem Hofdüngermanagement (ca. 250'000 Tonnen CO_2eq)
- Direkte & indirekte N_2O -Emissionen aus der Bodenbewirtschaftung (ca. 1 Mio. Tonnen CO_2eq bzw. 500'000 Tonnen CO_2eq)

3.1 Lachgasemissionen aus dem Hofdüngermanagement

Zur Berechnung der indirekten Emissionen aus dem Hofdüngermanagement werden die in Tabelle 1 aufgeführten Emissionsfaktoren verwendet.

Tabelle 1: Emissionsfaktoren zur Berechnung der N₂O-Emissionen aus der Hofdüngerbewirtschaftung. Blau: jährlich angepasste Parameter; Werte 2015. Tabelle aus dem nationalen Treibhausgasinventar Bericht 2017. (BAFU, 2017b)

Animal waste management system	Emission factor
	kg N ₂ O-N / kg N
Liquid/Slurry: with natural crust cover	0.005
Liquid/Slurry: without natural crust cover	0.000
Solid storage	0.005
Anaerobic digester	0.000
Cattle and swine deep bedding: no mixing	0.010
Poultry manure	0.001
Indirect emissions due to volatilisation	0.026

3.2 Lachgasemissionen aus der Bodenbewirtschaftung

3.2.1 Direkte Emissionen

Die direkten Emissionen aus der Bodenbewirtschaftung werden mit folgenden, in Tabelle 2 aufgeführten Faktoren berechnet:

Tabelle 2: Emissionsfaktoren zur Berechnung der direkten N₂O-Emissionen aus der Bodenbewirtschaftung. Blau: jährlich angepasste Parameter; Werte 2015. Tabelle aus dem nationalen Treibhausgasinventar Bericht 2017. (BAFU, 2017b)

Emission Source	Emission factor
EF ₁ Inorganic N fertilisers (kg N ₂ O-N/kg)	0.0100
EF ₁ Organic N fertilisers (kg N ₂ O-N/kg)	0.0100
EF ₁ Crop residue (kg N ₂ O-N/kg)	0.0100
EF ₁ Mineralisation/immobilisation soil organic matter (kg N ₂ O-N/kg)	0.0100
EF ₁ Other (domestic synthetic fertilisers) (kg N ₂ O-N/kg)	0.0100
EF ₂ Cultivation of organic soils (kg N ₂ O-N/ha)	8.0000
EF ₃ Urine and dung deposited by grazing animals (kg N ₂ O-N/kg)	0.0190

3.2.2 Indirekte Emissionen

Lachgas entsteht aber auch auf indirektem Weg. Über Stickstoffdeposition durch Verflüchtigung von Ammoniak, Auswaschung von Nitrat, sowie emittierten Stickoxiden (NO_x) kommt es zu Nährstoffeinträgen in (semi-)natürlichen Ökosystemen (Wälder, Moore und [semi-]natürliches Grasland). Im Mittelland kann die Deposition über 40 kg N/ha und Jahr betragen (Bühlmann et al., 2014).

Eine Anreicherung von Stickstoff in entsprechenden Ökosystemen führt zu Eutrophierung, Bodenversauerung und diese wiederum zu Emissionen (BAFU, 2014; Heldstab, Leippert, Bedermann, Herren, & Schwank, 2013). Ist in einem Ökosystem die N-Sättigung erreicht, kommt es unter anderem zu gasförmigen Emissionen von Lachgas, sowie zur Auswaschung in Form von Nitrat (Bühlmann et al., 2014).

Die indirekten Emissionen aus der Bodenbewirtschaftung setzen aus der atmosphärischen Deposition und der Stickstoffauswaschung und –abschwemmung zusammen. Dafür werden folgende Emissionsfaktoren gem. Tabelle 3 verwendet:

Tabelle 3: Emissionsfaktoren zur Berechnung der indirekten N₂O-Emissionen aus atmosphärischer Deposition und Stickstoffauswaschung und -abschwemmung. Blau: jährlich angepasste Parameter; Wert 2015. (BAFU, 2017b)

Deposition	0.026 kg N ₂ O-N/kg N
Auswaschung und Abschwemmung	0.0075 kg N ₂ O-N/kg N

4 Wirtschaftliche Aspekte

Die negativen Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit verursachen externe Kosten. Die Kosten, mit welchen aufgrund von Ammoniak- und Lachgasemissionen sowie Stickoxiden in der Schweiz zu rechnen ist, betragen gemäss dem Statusbericht der Umweltziele Landwirtschaft zwischen 512 bis 2637 Mio. CHF pro Jahr. 70 % dieser Kosten werden Emissionen aus der Landwirtschaft zugeschrieben (BAFU, 2016b).

Ein Beispiel für Vermeidungskosten für N-Effizienz-Massnahmen aus (Peter, Hartmann, Weber, Lehmann, & Hediger, 2009) führt für die Massnahme **Schleppschlauch Vermeidungskosten von CHF 1692.- pro Tonne CO₂eq an**. Verglichen mit einer Reduktion des Tierbestandes, die als Referenzszenario verwendet wird, mit Vermeidungskosten von CHF 543.-/Tonne CO₂eq fallen die Kosten für den Schleppschlauch deutlich höher aus. Grund dafür ist, dass mit dem Schleppschlauch hauptsächlich Ammoniakemissionen reduziert werden können, die Lachgasemissionen daraus aber nur 1% betragen (Peter et al., 2009), wobei mit dem aktuellen Emissionsfaktor für Lachgas aus verflüchtigtem Stickstoff (2.55 %) die Vermeidungskosten etwas tiefer ausfallen würden.

Im Jahr 2014 wurden **48'000 Tonnen N** emittiert (ca. 45 kg N pro ha LN der Schweiz) (BAFU, 2016b). Für einen durchschnittlichen Betrieb mit einer Fläche von 20 ha sind dies 900 kg Stickstoff pro Betrieb und Jahr. Ausgehend von einem Preis von CHF 40.-/100 kg Ammonsalpeter, welcher etwa 27% Stickstoff enthält (Landor, n.d.), ergibt dies einen Verlust von rund CHF 100.- pro Betrieb und Jahr. Hochgereicht auf 53'000 Landwirtschaftsbetriebe beträgt der **Verlust durch N-Emissionen rund CHF 5.3 Mio.** für die gesamte Schweiz.

5 Fazit

Die Schweizer Landwirtschaft verursacht jährlich Lachgasemissionen von etwa 1.9 Mio. Tonnen CO₂eq und ist damit Hauptverursacher der schweizerischen Lachgasemissionen. Der Stickstoffverlust der Landwirtschaft liegt bei rund **48'000 Tonnen N pro Jahr**, was einen jährlichen Verlust von rund CHF 5 Mio. pro Jahr bedeutet. Mit Vermeidungskosten im Bereich von über CHF 1500.- pro Tonne CO₂eq würden die Kosten für die Reduktion von 10 % der Lachgasemissionen etwa CHF 285 Mio. betragen und sind für N-Effizienz Massnahmen in der Regel hoch einzuschätzen.

Mit geeigneten Massnahmen (Liste im Anhang) können die Verluste vermindert werden. Es besteht jedoch noch Forschungsbedarf, um zu klären, wie hoch die Vermeidungskosten verschiedenster N-Effizienz-Massnahmen sind und ob es im Zuge der Digitalisierung günstigere Möglichkeiten gibt (z.B. mit Precision Farming), Stickstoffverluste zu geringeren Kosten einzusparen.

Literatur

- BAFU. (2014). Stickstoff - Segen und Problem. *Umwelt*, (2). Retrieved from <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/dossiers/magazin-umwelt-stickstoff.html>
- BAFU. (2015). Lachgas / Distickstoffoxid (N₂O). Retrieved February 21, 2017, from <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/chemikalien/schadstoffglossar-shift/lachgas---distickstoffoxid--n2o-.html>
- BAFU. (2016a). Stickstoffhaltige Luftschadstoffe beeinträchtigen auch die Biodiversität. Retrieved April 7, 2017, from <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/fachinformationen/luftqualitaet-in-der-schweiz/stickstoffhaltige-luftschadstoffe-beeintraechtigen-auch-die-biod.html>
- BAFU. (2016b). Umweltziele Landwirtschaft - Statusbericht 2016.
- BAFU. (2017a). Landwirtschaft als Luftschadstoffquelle. Retrieved February 23, 2017, from <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/fachinformationen/luftschadstoffquellen/landwirtschaft-als-luftschadstoffquelle.html>
- BAFU. (2017b). Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990-2015.
- BLW. (2017). Stickstoff in der Landwirtschaft. Retrieved April 10, 2017, from <https://www.agrarbericht.ch/de/umwelt/stickstoff/stickstoff-in-der-landwirtschaft>
- Bühlmann, T., Achermann, B., Liechti, S., B, R., Locher, R., Hiltbrunner, E., & Koerner, C. (2014). *Durch Stickstoffdeposition induzierte Emissionen von Stickoxiden und Lachgas aus (semi-) natürlichen Ökosystemen*.
- Flessa, H. (2016). Unbequeme Wahrheiten. *DLG-Mitteilungen*, (12).
- Heldstab, J., Leippert, F., Bedermann, R., Herren, M., & Schwank, O. (2013). *Stickstoffflüsse in der Schweiz 2020*.
- Heldstab, J., Schächli, B., Weber, F., & Sommerhalder, M. (2017). *Switzerland 's Informative Inventory Report 2012 (IIR)*.
- Landor. (n.d.). Ammonsalpeter. Retrieved April 10, 2017, from http://www.landor.ch/produkte/?no_cache=1
- Looser, F. (2016). *Stickstoffkreislauf in der Landwirtschaft*.
- Peter, S., Hartmann, M., Weber, M., Lehmann, B., & Hediger, W. (2009). „THG 2020“ – Möglichkeiten und Grenzen zur Vermeidung landwirtschaftlicher Treibhausgase in der Schweiz. *Schriftenreihe 2009/1*, 1(November 2014), 142. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/258375422_THG_2020_-_Moglichkeiten_und_Grenzen_zur_Vermeidung_landwirtschaftlicher_Treibhausgase_in_der_Schweiz

Anhang

Tabelle 4: Massnahmen zur Reduktion von Lachgas- und Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft (Quelle: Flessa, 2016)

Lachgas	Ammoniak
<ul style="list-style-type: none"> • Effizienter Stickstoffeinsatz (Planung): Mit einem angepassten N-Einsatz lassen sich nicht nur Nitratauswaschungen und Ammoniakausgang reduzieren, sondern auch Düngemittelkosten einsparen. Eine möglichst genaue Düngungsplanung, die den Bedarf der Kulturen und die Bodenverhältnisse berücksichtigt, kann Überschüsse stark reduzieren. • Ertragsangepasste N-Düngung und Vermeidung von Bilanzüberschüssen • Präzisionsdüngetechniken anwenden (mit Sensoren) • Angepasste Düngemenge und idealer Zeitpunkt der Ausbringung beachten, um Nitratauswaschungen zu vermeiden • Berücksichtigung des gesteigerten Düngewerts des Hofdüngers, wenn Verluste im Stall, Hofdüngerlager und bei der Ausbringung durch geeignete Massnahmen reduziert werden. • Stickstoffstabilisierte Mineraldünger (z. B. ENTEC) • CULTAN-Verfahren: Ammoniumdepots im Boden • Protein- und stickstoffoptimierte Fütterung (Minderung von N-Überschüssen im Stall) • Standortoptimierter Pflanzenbau (positive Fruchtfolgeeffekte nutzen, wie z.B. N-Fixierung durch Leguminosen) • Boden nur bei geeigneten Bedingungen befahren, um Verdichtungen zu vermeiden • Vermeidung von Ammoniakverlusten (rechte Spalte) 	<ul style="list-style-type: none"> • Güllelager abdecken • Ammoniakfilterung in geschlossenen Ställen (Biowä-scher/Biofilter) • Saubere und trockene Laufflächen im Stall • Berücksichtigung optimaler Ausbringbedingungen: an kühlen, windstillen Tagen mit hoher Luftfeuchtigkeit und auf saugfähige Böden • Hofdünger (Mist und Gülle) innerhalb einer Stunde nach Ausbringung einarbeiten • Ausbringung mit Schleppschlauch, Schleppschuh oder Injektions-Verfahren • Gülle verdünnen (Rindergülle 1:2, Schweinegülle 1:1) • Güllezusätze (Ansäuerung u.a.)