Methan (CH_4)

Die Methanemissionen aus der Landwirtschaft in der Schweiz hängen in erster Linie vom Rindviehbestand ab. Sie haben zwischen 1990 und 2000 um rund 9 % abgenommen und sind seither etwa konstant geblieben (BAFU, 2023b).

	CH_4
Lebensdauer in der Atmosphäre (IPCC, 2021)	**rund 12 Jahre**
GWP über einen Zeitraum von 100 Jahren (IPCC, 2021) – *Genauigkeit: nicht-fossiles Methan*	**27**
Anteil der Landwirtschaft an den Schweizer Emissionen (BAFU, 2023b)	**ca. 80 %**

Wichtigste landwirtschaftliche Quellen:

- Die enterische Fermentation. Sie trägt zu 62 % der gesamten landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen in der Schweiz bei (BAFU, 2023a) und zu 75 % der Methanemissionen aus der Landwirtschaft (BAFU, 2023b).
- Management von Ausscheidungen im Stall, bei der Lagerung und auf der Weide (überwiegend Gülle).

Methanogenese im Verdauungssystem, in Abwässern und Böden:

- Die Bildung von Methan wird als **Methanogenese** bezeichnet. Sie findet statt, wenn Biomasse unter **Ausschluss von Sauerstoff in einem mehrstufigen Um- und Abbauprozess** von Methan bildenden Mikroorganismen abgebaut wird.

Es gibt drei Quellen von landwirtschaftlichen Methan:

- **Methan, das bei der Verdauung von Wiederkäuern (enterische Fermentation) freigesetzt wird**: Die Emissionen entstehen beim anaeroben (sauerstofffreien) Abbau der aufgenommenen verdaulichen organischen Substanz. Die Menge des freigesetzten Methans hängt von der Art des Verdauungstraktes, dem Alter und Gewicht des Tieres sowie der Qualität und Menge des aufgenommenen Futters ab. Wiederkäuer (Rinder, Schafe, Ziegen) sind die Hauptverursacher von Methan, während Nichtwiederkäuer (Schweine, Pferde) nur moderate Mengen produzieren (IPCC, 2019).
- **Aus Dung freigesetztes Methan**: Je nach physikalischer Beschaffenheit ist Dung mehr oder weniger anaeroben Bedingungen ausgesetzt. Nicht belüftete Gülle oder stark verdichteter bzw. trockenmassearmer Mist wird wesentlich mehr CH_4 emittieren als regelmäßig belüftete Gülle oder ausgebrachter Mist (GESTIM+, 2020).
- **Methanemissionen aus Böden**: Je nach Wassergehalt und den daraus resultierenden anoxischen Bedingungen emittieren Böden mehr oder weniger Methan. Temporär überflutete Böden emittieren Methan in der Größenordnung von einigen g CH_4 /ha/Tag und Reisfelder in überfluteten Böden emittieren einige kg CH_4 /ha/Tag (Roger und Le Mer, 2003).

Hinweis: Die **kurze Lebensdauer** (rund 12 Jahre) von Methan in der Atmosphäre hat zwei Konsequenzen (Neu, 2022):

1. Wenn die Emissionen über einen langen Zeitraum konstant bleiben, bleibt auch die Klimawirkung nahezu konstant, d.h. die Menge an Methan, die abgebaut wird, ist nahezu gleich der Menge, die emittiert wird.
2. Die Reduktion der Methanemissionsrate ist **ein kurzfristig sehr wirksames Mittel** zur Erreichung der Klimaziele (Begrenzung der Erwärmung auf +1,5 °C gegenüber der vorindustriellen Referenzperiode 1850-1900).

Zusammenfassung: Methan (CH_4) ist ein starkes und kurzlebiges Treibhausgas. Es entsteht bei der Mineralisierung von organischem Material durch Methanbakterien unter Ausschluss von Sauerstoff (anaerob). Das in der Landwirtschaft freigesetzte Methan stammt hauptsächlich aus der enterischen Fermentation, aus Kot und aus überschwemmten oder überfluteten Böden (Reisfelder).

Lachgas (N_2O)

Die Emissionen von Lachgas (auch Distickstoffmonoxid genannt) hängen hauptsächlich von der Menge der eingesetzten Düngemittel ab, unabhängig davon, ob es sich um Hofdünger oder Kunstdünger handelt. Zwischen 1990 und 2000 sind die Emissionen zurückgegangen und seither etwa konstant geblieben (BAFU, 2023b).

	N_2O
Lebensdauer in der Atmosphäre (IPCC, 2021)	**ca. 109 Jahre**
GWP über einen Zeitraum von 100 Jahren (IPCC, 2021)	**273**
Anteil der Landwirtschaft an den Schweizer Emissionen (BAFU, 2023b)	**ca. 57 %**

Wichtigste landwirtschaftliche Quellen:

- Umgang mit Kot (überwiegend Mist) in Stall, Lager und auf der Weide;
- Organische und mineralische Düngung;
- Auslaugung von Stickstoff;
- Ammoniakrückstände (NH_3);
- Mineralisierung von Stickstoff im Boden (Einarbeitung von Pflanzenrückständen und Umbruch von Grasland).

Direkter und indirekter Entstehungsweg:

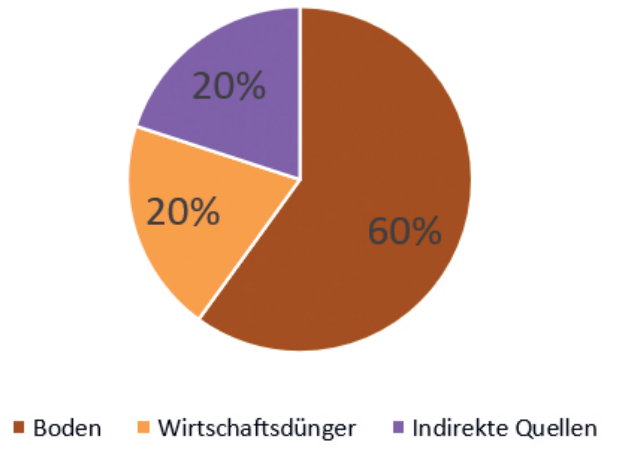
- N_2O-Emissionen aus anthropogenen Stickstoffeinträgen oder aus der Stickstoffmineralisierung treten auf durch (IPCC, 2019; BAFU, 2023b):

direkter Weg, d.h. direkt aus Böden oder Abwässern, in denen Stickstoff vorhanden ist;

indirekter Weg, ob sie:

- (i) infolge der **Verflüchtigung** von **Ammoniak** (NH_3) und **Stickoxiden** NO_x (darunter NO und NO_2; Hauptluftschadstoffe) aus Böden und Abwässern sowie aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe und Biomasse und der anschließenden **Wiederablagerung** dieser Gase und ihrer Produkte NH_4^+ und NO_3^- in Böden und Gewässern **(siehe Datenblatt „Zur Luftverschmutzung beitragende Gase“)** ;
- (ii) infolge von **Auslaugung** („Auswaschung“) und **Abschwemmung von Stickstoff,** hauptsächlich in Form von NO_3^-

Abbildung 1: Landwirtschaftlicher Ursprung der Schweizer N_2O-Emissionen



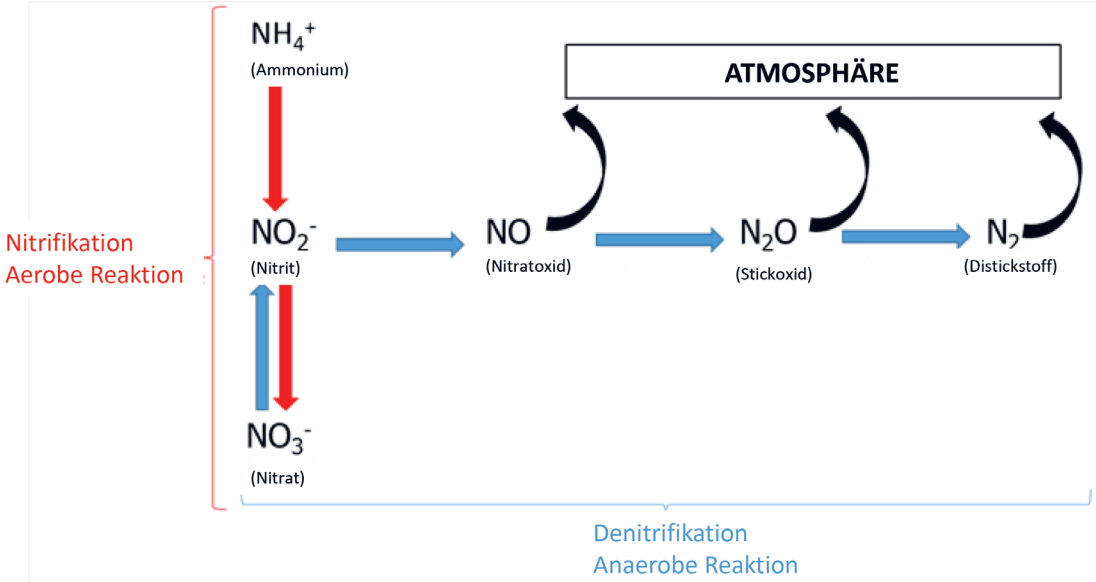
Nitrifikations- und Denitrifikationsreaktionen:

N_2O-Emissionen sind das Ergebnis der kombinierten Nitrifikation und Denitrifikation (siehe Abbildung unten) des vorhandenen Stickstoffs:

- Nitrifikation: mikrobielle **aerobe** (= Sauerstoffbedarf) Oxidation von Ammoniumstickstoff (NH_4^+, NH_3) zu Nitrat (NO_3^-). Zwei Schritte (vgl. rote Pfeile im Schema unten).
- Denitrifikation: **anaerobe** (= unter Sauerstoffmangel) mikrobielle Reduktion von Nitrat (NO_3^-) zu gasförmigem Stickstoff (N_2). Wichtiger Prozess zur Entfernung von Nitrat und Nitrit aus Ökosystemen mit Rückführung des Stickstoffs in die Atmosphäre. Vier Schritte (vgl. blaue Pfeile im nachfolgenden Schema).

- Die Nitrifikation ist für die Produktion von Nitrat und Nitrit notwendig, Moleküle, die für die Denitrifikationsreaktion essentiell sind.
- Es gibt zwei Mechanismen, die die Produktion von N_2O erklären (GES'TIM+, 2020):
  - **Die Hemmung der Nitrifikation** durch Sauerstoffmangel und/oder durch die Anreicherung von Nitrit NO_2^-.
  - **Die teilweise Hemmung der Denitrifikation** durch das Vorhandensein von gelöstem Sauerstoff, einen Mangel an assimilierbarem Kohlenstoff und/oder einen Mangel an assimilierbarem Kohlenstoff und/oder einem sauren pH-Wert: Die Denitrifikation ist unvollständig und endet mit dem Schritt der N_2O-Produktion.

Abbildung 2: Nitrifikations- und Denitrifikationsreaktionen und die Produktion von N_2O



Die schwarzen Pfeile symbolisieren die Freisetzung von Gasen in die Atmosphäre, die mit der Denitrifikation einhergeht.

Im Boden hängt die Denitrifikation hauptsächlich vom Feuchtigkeitsgehalt ab, der die Belüftung und den Grad der Anoxie bestimmt. Außerdem ist die Verfügbarkeit organischer Substrate von Bedeutung. Die höchsten N_2O-Emissionen aus dem Boden werden in der Regel entweder nach der Zufuhr von Stickstoff durch mineralische oder organische Düngung oder bei der Zersetzung von Pflanzenresten beobachtet, bei der mineralischer Stickstoff freigesetzt wird, wenn die Bodenfeuchte hoch ist und teilweise anaerobe Bedingungen entstehen (INRAE, 2013).

Zusammenfassung: Die Bildung von Lachgas (N_2O), einem starken Treibhausgas, erfordert **die Anwesenheit von Nitrit oder Nitrat** in einer **anaeroben Umgebung**. Außerdem müssen Bedingungen herrschen, die die Reduktion von N_2O zu N_2 verhindern, wie z.B. ein **niedriger pH-Wert** oder eine **begrenzte Feuchtigkeit** (Vorhandensein von gelöstem Sauerstoff, der die weitere Denitrifikation hemmt).

Quellen:

Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2023a, [online], *Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990-2021: National Inventory Document*. 581 Seiten. URL: https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/climate/state/data/climate-reporting/ghg-inventories/latest.html (abgerufen am 20.09.23)

Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2023b, [online], *Landwirtschaft als Luftschadstoffquelle,* URL: https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/fachinformationen/luftschadstoffquellen/landwirtschaft-als-luftschadstoffquelle.html (abgerufen am 23.10.2023)

GES'TIM+, 2020, [online], *Guide GES'TIM+ : la référence méthodologique pour l'évaluation de l'impact des activités agricoles sur l'effet de serre, la préservation des ressources énergétiques et la qualité de l'air.* Projekt von Arvalis in Partnerschaft mit Idele, Ctifl, Ifv, Itavi, Ifip und Terres Inovia. Mit finanzieller Beteiligung der ADEME. 560 Seiten. URL: https://www.arvalis.fr/recherche-innovation/nos-travaux-de-recherche/gestim/guide (abgerufen am 10.08.2023)

INRAE, 2013, [online], *Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre?* Action 1 - Reducing the use of synthetic mineral fertilizers, by better use of them and more valuing organic resources, to reduce the associated N_2 O emissions. S.71-132. 62 Seiten. URL: https://www.inrae.fr/actualites/quelle-contribution-lagriculture-francaise-reduction-emissions-gaz-effet-serre (abgerufen am 10.08.2023)

IPCC, 2019, [online], 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Chapter 10: Emissions from livestock and manure management.* 207 Seiten. URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html (abgerufen am 10.08.2023)

IPCC, 2021, [online], *IPCC 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 Seiten. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/ (abgerufen am 10.08.2023)

Neu U., 2022, [online], *Effet climatique et émissions d'équivalents CO2 des substances à courte durée de vie*. Swiss Academies Communications. Vol. 17, No. 5. 13 Seiten. URL: https://scnat.ch/fr/uuid/i/a5035a46-1de5-52b6-bccd-5d1686d04e9e-Effet_climatique_et_%C3%A9missions_d%E2%80%99%C3%A9quivalents_CO2_des_substances_%C3%A0_courte_dur%C3%A9e_de_vie (consulté le 10.08.2023)

Roger P., Le Mer J., 2003. *Böden: Quellen und Senken für Methan*. Etude et Gestion des Sols, Vol. 10, 4. S.331-345. 15 Seiten.