Umwelt Bundesamt

Für Mensch und Umwelt

Stand: 28. Februar 2024

Lachgas – das unterschätzte Treibhausgas

Anthropogene N_2O-Emissionen steigen – Infolge des Klimawandels wird zusätzliches Lachgas aus natürlichen Quellen freigesetzt

1 Klimarelevanz und Entstehung von Lachgas

1.1 Bedeutung als Treibhausgas

Obwohl die Konzentration von Lachgas (N_2O) tausendmal geringer ist, hat es eine dreihundertfache Klimawirkung im Vergleich zu CO_2. Die Verweildauer in der Atmosphäre beträgt mehr als 100 Jahre. Die atmosphärische Konzentration, die für die Klimawirkung relevant ist, betrug 2022 durchschnittlich 335,65 parts per billion (ppb, zu Deutsch „Teile pro Milliarde“) und steigt weiterhin um etwas mehr als ein ppb pro Jahr an. Der Anteil von N_2O an den globalen anthropogenen (d.h. vom Menschen verursachten) Gesamtemissionen von Treibhausgasen lag laut Weltklimarat (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen, IPCC) im Jahr 2019, umgerechnet in CO_2-Äquivalente, bei etwa fünf Prozent. Kurzum: Seine Bedeutung ist mehr als relevant und wird gemeinhin unterschätzt.

1.2 Rolle im natürlichen Stickstoffkreislauf der Erde

Stickstoff ist ein lebenswichtiges Element, zum Beispiel für das Pflanzenwachstum. Während die Erdatmosphäre zu 78 Prozent aus trägem, nicht-reaktivem Stickstoff besteht, kommt reaktiver Stickstoff im Wesentlichen in acht verschiedenen Formen vor. Ammoniak und Nitrat zum Beispiel reagieren mit ihrer Umwelt, wenn Sauerstoff und Bakterien vorhanden sind. Lachgas zählt zu den reaktiven Stickstoffen und ist darunter das einzige langlebige Gas, das den Treibhauseffekt der Erdatmosphäre unterstützt (Abbildung 1).

1.3 Anthropogene Quellen von Lachgas

Vom Menschen verursachte Einflüsse - z.B. künstlich hergestellter Dünger in der Landwirtschaft, die Herstellung von Säuren in der Industrie, fossile Brennstoffe, Abwässer aus Kläranlagen, oder die Verbrennung von Biomasse - führen dem natürlichen Kreislauf zusätzlich Stickstoff zu. Sie erhöhen somit direkt und indirekt die Lachgasemissionen in die Atmosphäre.

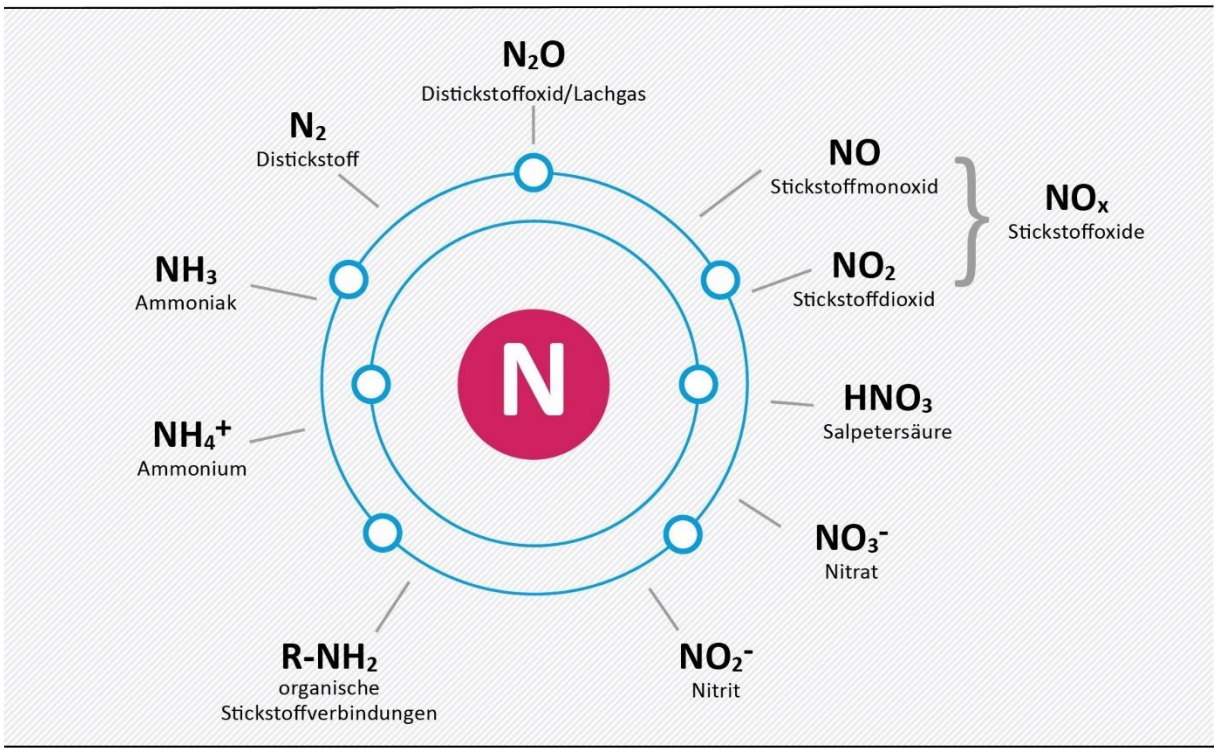
Das zusätzliche Lachgas verstärkt den Klimaeffekt anthropogener Treibhausgase und darüber hinaus auch die Zerstörung der Ozonschicht. Zudem werden natürliche Lachgasemissionen durch verschiedene Prozesse gestört und teilweise verstärkt. Dazu zählen der Klimawandel, der CO_2-Anstieg in der Atmosphäre und Landnutzungsänderungen wie zum Beispiel Entwaldung.

1.4 Messbarkeit von Lachgasemissionen

Der absolute Anteil von Lachgas in der Erdatmosphäre kann sehr genau gemessen werden. Die Quantifizierung von Lachgasemissionen ist dagegen komplex. Sogenannte Bottom-up-Schätzungen beruhen auf der empirischen Hochskalierung von Punktmessungen, Treibhausgasinventaren sowie dynamischen Modellsimulationen. Top-down-Schätzungen basieren auf atmosphärischen Messungen sowie auf sogenannten inversen Modellen, in die Annahmen über den Transport von Luftmassen einfließen. Da Top-down-Berechnungen nicht zwischen

anthropogenen und natürlichen Verursachern von Lachgasemissionen unterscheiden, dienen vor allem die Bottom-up-Daten zur Orientierung über anthropogene Emissionen.

Abbildung 1: Die wichtigsten Formen von Stickstoff in der Umwelt



Quelle: eigene Darstellung verändert nach Sutton et al. 2022, Susanne Schödel.

Gemäß internationalen Konventionen werden die Emissionen in Tonnen Stickstoff benannt, der in Lachgas enthalten ist („N_2O-N"). Eine Tonne N_2O-N entspricht 1,57 Tonnen Lachgas, und diese Menge wiederum etwa 416 Tonnen CO_2-Äquivalenten, der allgemeinen Bezugs- und Vergleichsgröße in den standardisierten Treibhausgasbilanzen.

Für die Bilanzierung der Lachgasemissionen wurde das aktuelle „Globale N_2O-Budget" des Global Carbon Project ausgewertet (Tian et al. 2023). Es führt alle verfügbaren Daten für anthropogene und natürliche Emissionen auf globaler sowie regionaler Ebene strukturiert zusammen.

2 Globales N_2O-Budget, regionale Trends

2.1 Trends anthropogener und natürlicher Lachgasemissionen

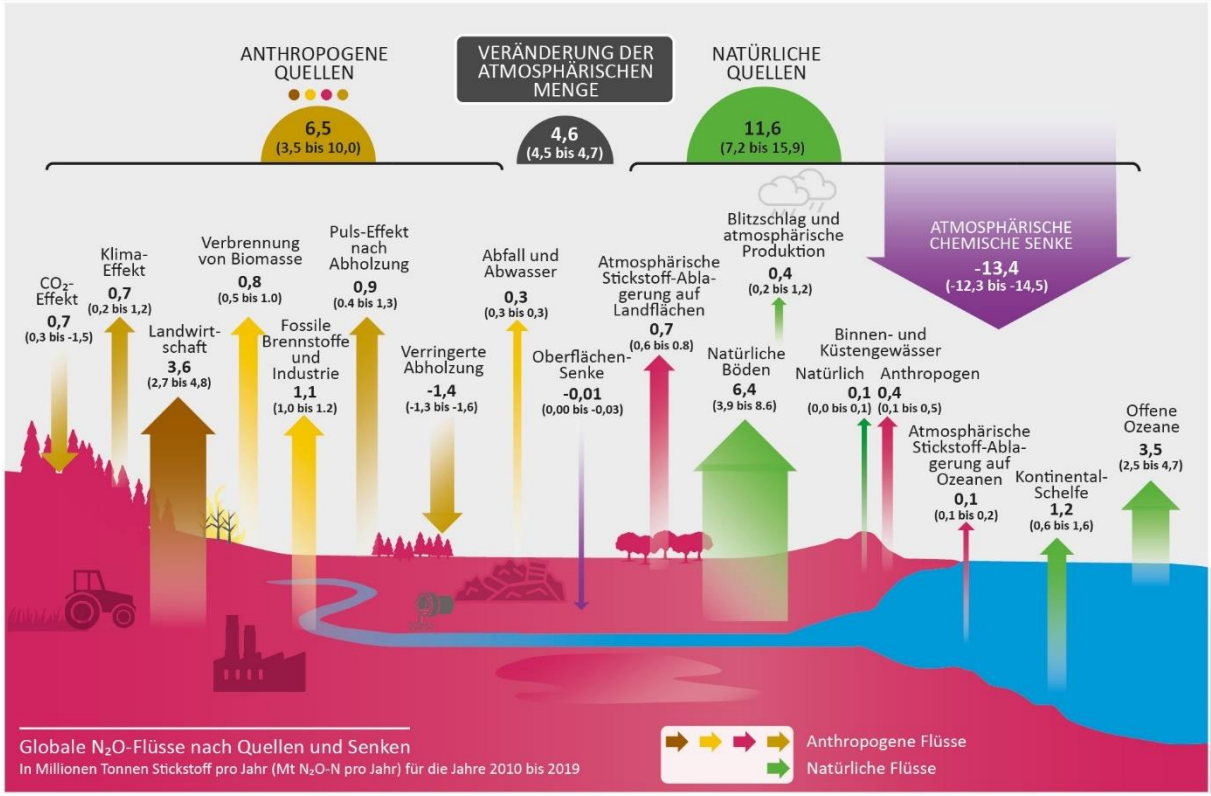
Die weltweiten N_2O-Emissionen beliefen sich nach dem Globalen N_2O-Budget für die Jahre 2010 bis 2019 auf durchschnittlich 18,2 Millionen Tonnen (Mt) N_2O-N pro Jahr (Bottom-up) beziehungsweise 17,4 Mt N_2O-N pro Jahr (Top-down). In der Bottom-up-Analyse liegt die Bandbreite der Datenquellen bei minimal 10,4 bis maximal 25,9 Mt, für die Top-down-Analyse bei 15,8 bis 19,2 Mt N_2O-N pro Jahr (Abbildung 2).

In den vier Jahrzehnten seit 1980 sind die von Menschen verursachten Emissionen um fast 35 Prozent auf 6,7 Mt N_2O-N im Jahr 2020 gestiegen. Hauptquellen sind künstliche und tierische Stickstoffdünger in der Landwirtschaft sowie in der industriellen Fischzucht. Sie führen zu direkten Emissionen am Ausbringungsort sowie indirekten Emissionen, wenn zum Beispiel überschüssiger Stickstoff über Wasserläufe ausgewaschen wird und sich später durch biogeochemische Prozesse in Lachgas verwandelt. Die Verwendung von Stickstoff in der Landwirt-

schaft macht fast 60 Prozent aller anthropogenen Lachgasemissionen aus. Dies ist der wesentliche Faktor in der zunehmenden atmosphärischen Belastung durch Lachgas: Sowohl die weiteren direkten anthropogenen Quellen aus Industrie, fossilen Brennstoffen, der Verbrennung von Biomasse und Abwässern als auch die natürlichen Lachgasflüsse haben sich von 1980 bis 2020 in Summe nur geringfügig verändert.

Abbildung 2: Globales N_2O-Budget 2010 bis 2019

N_2O-Flüsse nach Verursacher in Megatonnen (Mt) Stickstoff pro Jahr (N_2O-N). In Klammern Minimal- und Maximalwerte der jeweiligen Datenquellen.



Quelle: leicht angepasste und übersetzte Darstellung in Anlehnung an Tian et al. 2023, Susanne Schödel.

Der Anteil anthropogener Emissionen an den globalen Gesamtemissionen von Lachgas beträgt zum Ende des Untersuchungszeitraums geschätzt 36 Prozent, etwas weniger als zwei Drittel entstehen also auf natürliche Weise.

Als Senke fungiert vor allem die Stratosphäre, in der Folgeprodukte von Lachgas mit Ozon reagieren und beide dadurch abgebaut werden. Die Schätzungen durch verschiedene Modelle und Methoden sind seit Ende der 1990er-Jahre möglich und gehen davon aus, dass hier in den Jahren von 2000 bis 2019 jeweils zwischen 12,2 und 13,4 Mt N_2O-N abgebaut wurden.

Netto verbleibt also jährlich eine zunehmende Menge von Lachgas in der Atmosphäre. Für die Jahre von 1990 bis 1999 wird sie auf 3,6 Mt N_2O-N geschätzt, für das Folgejahrzehnt 2000 bis 2019 auf 4,6 Mt und für 2020 bereits auf 6,4 Mt N_2O-N. Diese überschüssige Menge verteilt sich in der Erdatmosphäre und erklärt auch den steigenden absoluten Anteil von N_2O.

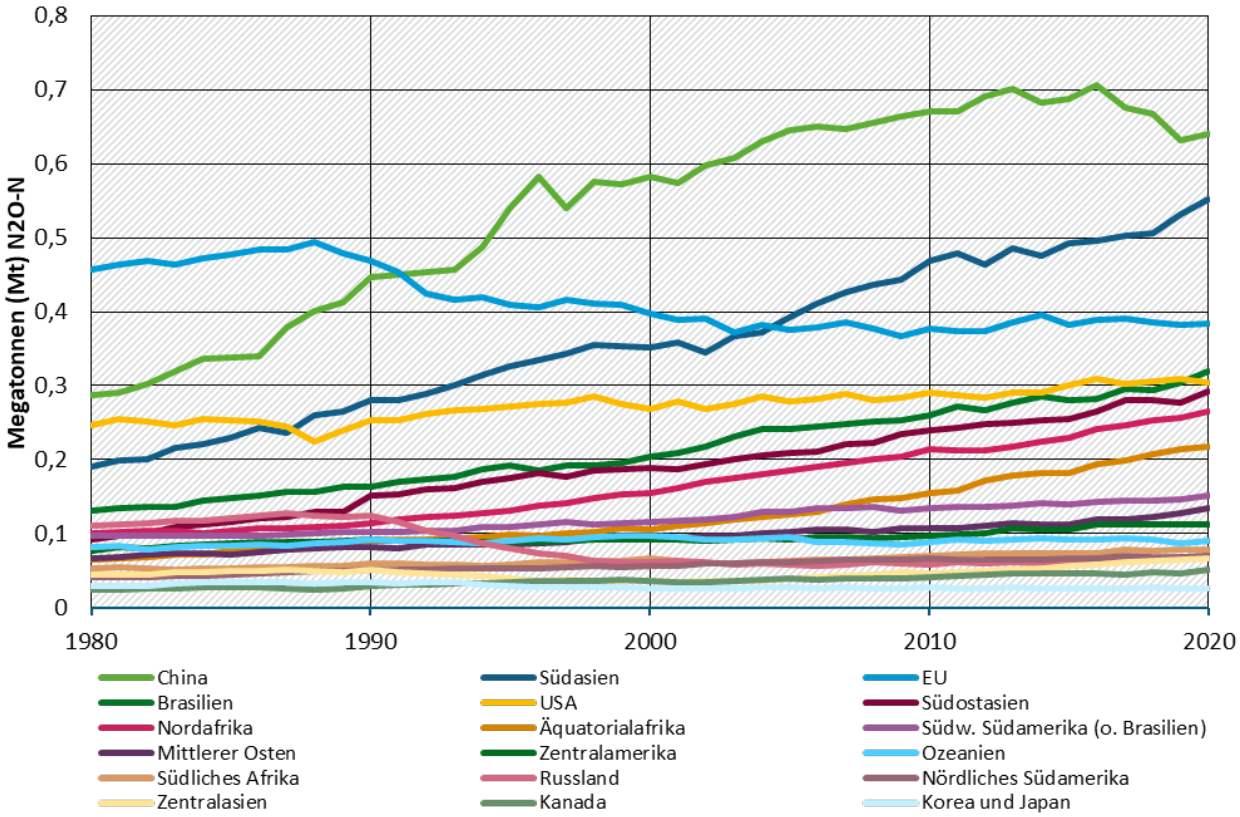
2.1.1 Direkte Emissionen aus der Landwirtschaft

Die zehn größten Emittenten aus der Landwirtschaft 2020 sind China mit über 0,6 Mt N_2O-N, gefolgt von Südasien, der EU, Brasilien, den USA, Südostasien, Nordafrika, Äquatorialafrika, dem südlichen Südamerika und dem Mittleren Osten. In der EU und in Russland sind die Emissionen aus der Landwirtschaft seit 1980 deutlich gesunken: auf jeweils weniger als 0,4 Mt und 0,1 Mt

N_2O-N pro Jahr. In der EU wird dies im Wesentlichen auf politische Maßnahmen zurück-geführt, die den Einsatz von Stickstoffdünger in der Landwirtschaft reduzieren, in Russland auf den Zusammenbruch des landwirtschaftlichen Genossenschaftssystems seit den 1990er-Jahren. Von 1980 bis 2020 haben sich die Lachgasemissionen aus der Landwirtschaft in Äquatorialafrika und Südostasien mehr als verdreifacht und in sechs Regionen mehr als verdoppelt: Südasien, Nordafrika, Brasilien, China, Kanada, Mittlerer Osten.

Abbildung 3: Direkte anthropogene Lachgasemissionen durch Verwendung von Stickstoff in der Landwirtschaft, nach Regionen von 1980 bis 2020

Direkte Bodenemissionen durch Düngemittel, Viehdung auf Weideland, Düngemittelmanagement, Aquakulturen



Quelle: eigene Auswertung auf Grundlage der Daten aus Tian et al. 2023, Susanne Schödel.

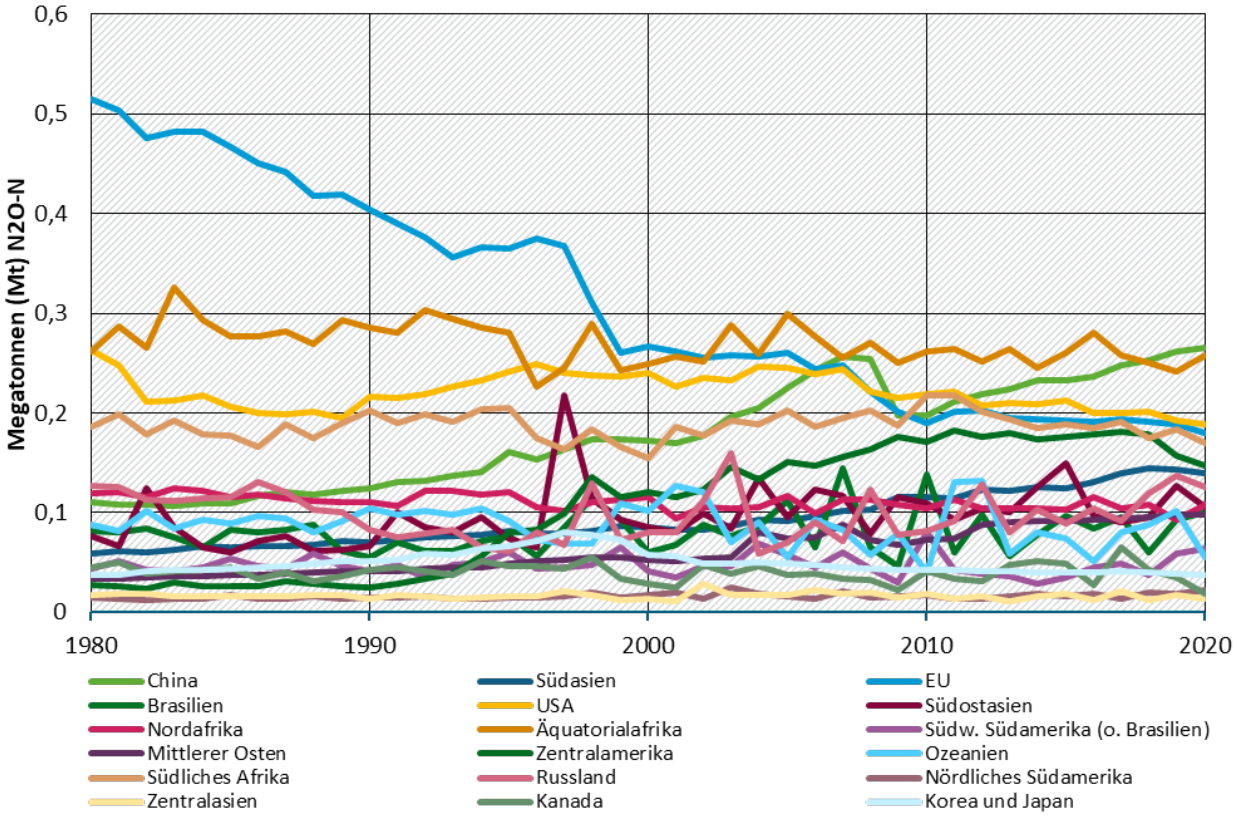
2.1.2 Weitere direkte anthropogene Lachgasemissionen

Der zweite analysierte Bereich direkter anthropogener Emissionen umfasst im Wesentlichen Emissionen durch fossile Brennstoffe, die im Straßenverkehr, bei der Wärmeerzeugung und in industriellen Prozessen verwendet werden. Eine weitere Quelle von Lachgas ist die Herstellung von Salpeter- und Adipinsäure. Diese Chemikalien sind stickstoffhaltige Zwischenprodukte zum Beispiel für Düngemittel, die Bearbeitung von Metallen und für Kunststoffe wie Nylon. Lachgas entsteht außerdem durch bakterielle Prozesse in Kläranlagen, sowie bei der Verbrennung von Biomasse. Dies umfasst Pflanzenreste auf abgeernteten Ackerflächen, Öfen und Kochplätze in Haushalten sowie natürliche Brände.

In der Summe sind die Emissionen aus diesem Bereich in der Zeit von 1980 bis 2020 nur um etwa fünf Prozent gestiegen, aber regional zeigen sich deutliche Unterschiede. Ihr Anteil an den anthropogenen Lachgasemissionen lag zuletzt bei etwa 30 Prozent. Zu den fünf größten Emittenten zählten hier im Jahr 2020 China sowie die Länder in der Äquatorregion Afrikas mit jeweils etwa 0,26 Mt N_2O-N sowie die USA, die EU und die Länder im südlichen Afrika mit jeweils

unter 0,2 Mt N_2O-N. In China und Südasien haben sich die Lachgasemissionen seit 1980 mehr als verdoppelt und in Zentralamerika sogar verfünffacht. In Südasien und Zentralamerika lag die jährliche Menge zuletzt bei knapp 0,15 Mt N_2O-N. Für den Mittleren Osten fällt auf, dass sich die Emissionen fast verdreifacht haben auf fast 0,1 Mt N_2O-N im Jahr 2020. Der deutliche Rückgang der Lachgasemissionen in der EU aus diesem Bereich ist vor allem auf den Industriesektor zurückzuführen: Die Hersteller von Salpeter- und Adipinsäure setzen technische Minderungsmaßnahmen im großen Maßstab ein, zudem unterliegen sie dem Emissionshandelssystem EU-ETS, das auch auf Lachgas angewendet wird.

Abbildung 4: Direkte anthropogene Lachgasemissionen ohne die Landwirtschaft, nach Regionen von 1980 bis 2020



Notiz: Die Spitze der Emissionen 1997 in Südostasien ist während einer El Niño-Phase durch großflächige Brände vor allem in Indonesien entstanden.

Quelle: eigene Auswertung auf Grundlage der Daten aus Tian et al. 2023, Susanne Schödel.

2.1.3 Indirekte Emissionen und gestörte Lachgas-Flüsse

Indirekte Emissionen entstehen, wenn zum Beispiel Stickstoff in Form von Dünger im Boden versickert und durch Fließgewässer in die Ozeane transportiert wird. 2020 beliefen sich diese Emissionen auf geschätzt 1,3 Mt N_2O-N. Die Menge ist seit 1980 um über 40 Prozent angestiegen.

Die Störung der natürlichen Lachgasflüsse unter anderem durch den Klimawandel und steigenden CO_2-Gehalt führt in Summe dazu, dass sich die Emissionsmengen reduzieren. Für 2020 wird diese Senke auf knapp -0,6 Mt N_2O-N geschätzt, allerdings sind die Datenquellen hier mit großen Unsicherheiten behaftet.

2.2 Rückkopplungsmechanismen im Klimawandel

Steigende Temperaturen im Klimawandel und die global zunehmende Verwendung von Stickstoffdüngern erhöhen die Lachgasemissionen aus Böden. Erhöhte CO_2-Konzentrationen

führen wiederum dazu, dass das Pflanzenwachstum gestärkt und damit mehr Stickstoff gebunden wird, der sich dann nicht mehr durch bakterielle Prozesse in Lachgas verwandeln kann. Die Wechselwirkungen sind vielfältig und die Auswirkungen können nicht eindeutig quantifiziert werden. Allerdings ist davon auszugehen, dass die bereits stattfindenden Veränderungen des Klimas zu weiteren N_2O-Emissionen führen werden, die nicht direkt anthropogenen Ursprungs sind, sondern aus indirekten oder natürlichen Quellen stammen.

3 Wichtige Ansätze zur Minderung von anthropogenen Lachgasemissionen

Ansatzpunkt für die Minderung von Lachgasemissionen sind vor allem die direkten anthropogenen Quellen aus der Landwirtschaft. Expert*innen regen an, den Stickstoffkreislauf zu schließen und Verluste beim Einsatz in Ackerbau und Viehzucht zu vermeiden. Ergänzend wird vorgeschlagen, systemische Veränderungen in Betracht zu ziehen, um die Stickstoffverluste zu reduzieren, zum Beispiel bei der Ernährung von Menschen und Tieren und beim Einsatz von Düngern. Konkrete Maßnahmen reichen von proteinärmerer Ernährung bei Milch- und Fleischrindern sowie Schweinen über die zielgenauere Anwendung von Düngern im Ackerbau bis hin zur Behandlung von Gülle und zu speziellen Maßnahmen der Landschaftspflege.

Bei der Biomasse können Emissionen verhindert werden, indem diese auf Ackerflächen nicht verbrannt, sondern verarbeitet werden. In Haushaltsöfen kann Biomasse durch andere Brennstoffe ersetzt werden. Natürliche Brände können durch kontrolliertes Abbrennen beeinflusst werden. Eine wirksame Reduzierung der Emissionen aus fossilen Brennstoffen und der Industrie ist durch technische Maßnahmen machbar. Deren Einführung kann durch gesetzliche Vorgaben, internationale Vereinbarungen und die Aufnahme von Lachgas in Emissionshandelssysteme, wie es in der EU bereits der Fall ist, forciert werden. Lachgasemissionen aus Abwässern sind vor allem durch bestimmte Behandlungsschritte in mehrstufigen Kläranlagen steuerbar.

4 Ausblick

Lachgas als Treibhausgas darf also nicht unterschätzt werden. Es ist absehbar, dass der absolute Anteil von Lachgas in der Atmosphäre und damit dessen Klimawirkung in den kommenden Jahrzehnten weiterhin ansteigen werden. Diese Entwicklung kann umgekehrt werden, indem die technischen und politischen Maßnahmen, die Lachgasemissionen reduzieren, konsequent verwirklicht werden. Dazu müssen sie Bestandteil von politischem Handeln zum Klimaschutz werden, das den Fokus bisher primär auf Kohlendioxid und Methan legt.

Sowohl für die verlässlichere Berechnung der Lachgasemissionen und deren erfolgreicher Reduzierung als auch zukünftiger Entwicklungen im Rahmen von Szenarien und Modellen ist es wichtig, über bessere und genauere Eingangsdaten zu verfügen. Dazu wäre es notwendig, mehr und dauerhaftere Messkampagnen unter sehr unterschiedlichen Rahmenbedingungen durchzuführen, um die Ursachen und Mengen von Lachgasemissionen noch besser zu verstehen.

5 Quellenverzeichnis

IPCC (2022): Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926

Sutton, MA; Howard, CM; Mason, KE; Brownlie, WJ; Cordovil, CM (Hrsg.) (2022): Nitrogen Opportunities for Agriculture, Food & Environment. UNECE Guidance Document on Integrated Sustainable Nitrogen Management. UK Centre for Ecology & Hydrology, Edinburgh, UK. Download unter: https://unece.org/environment-policy/publications/guidance-document-integrated-sustainable-nitrogen-management, Stand: 27.02.2024

Tian, H; Pan, N; Thompson, RL; Canadell, JG; Suntharalingam, P; Regnier, P; Davidson, EA; Prather, M; Ciais, P; Muntean, M; Pan, S; Winiwarter, W; Zaehle, S; Zhou, F; Jackson, RB; Bange, HW; Berthet, S; Bian, Z; Bianchi, D; … Zhu, Q (2023): Global Nitrous Oxide Budget 1980-2020. Earth System Science Data Discussions. Preprint. https://doi.org/10.5194/essd-2023-401. Stand: 27.02.2024

Tian, H; Pan, N; Thompson, RL; Canadell, JG; Suntharalingam, P; Regnier, P; Davidson, EA; Prather, M; Ciais, P; Muntean, M; Pan, S; Winiwarter, W; Zaehle, S; Zhou, F; Jackson, RB; Bange, HW; Berthet, S; Bian, Z; Bianchi, D; … Zhu, Q (2023a): Data supplement to Tian et al (2023): Global Nitrous Oxide Budget 1980-2020. Earth System Science Data Discussion, Preprint. https://doi.org/10.5194/essd-2023-401, in review (1.0) [dataset]. Global Carbon Project. https://doi.org/10.18160/RQ8P-2Z4R. Stand: 27.02.2024

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
buergerservice@uba.de
Internet:
www.umweltbundesamt.de
/umweltbundesamt.de
/umweltbundesamt

Stand: 02/2024

Autorenschaft, Institution

Susanne Schödel,
Susanne Schödel GmbH
Environment Data

Redaktion:
Fachgebiet V1.1 – Klimaschutz
Dr. Mathias Ulrich

Dieses Factsheets fasst die Ergebnisse und den Inhalt des Sachstandsberichtes aus dem Vorhaben „Metaanalyse - Weltweite Lachgas-(N_2O)-quellen, Bilanzierungen, Veränderungen, Berücksichtigung in IPCC-Szenarien“ (Projektnr. 180590) zusammen.