

Stickoxide/Lachgas



© The Conversation 1.12.2021 (www.theconversation.com)

Dr. Hans Jürgen Wernicke

3.4.2023

Stickoxide, insbesondere das häufig als „nitrous oxide“ bezeichnete Lachgas (N_2O), stellen nach CO_2 und Methan das drittwichtigste (langlebige) Klimagas dar. Abb. 1 zeigt die prozentuale Aufteilung in Form von CO_2 -Äquivalenten ¹.

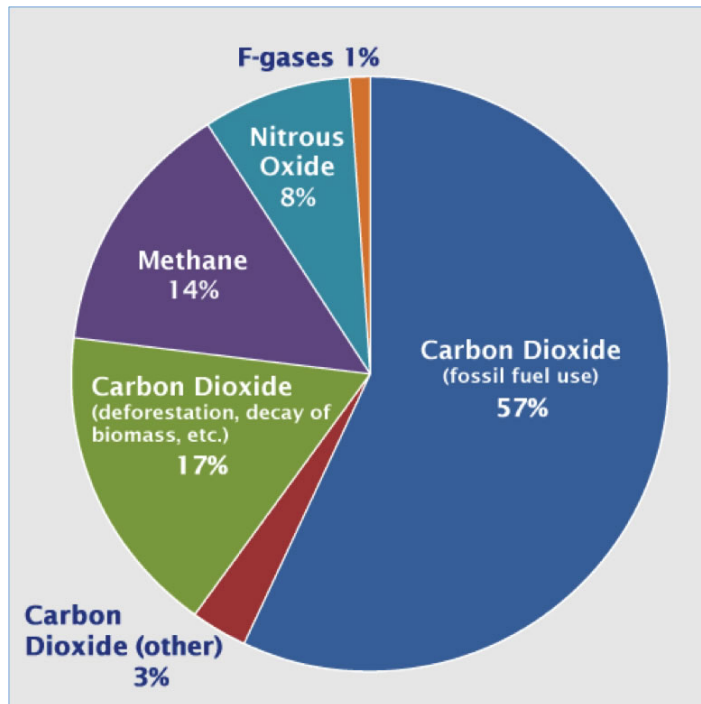


Abb.1 Prozentuale Verteilung wichtiger Klimagase ¹

Lachgas hat im Verhältnis zu CO_2 eine ca. 310-fache Klimawirkung, im Vergleich dazu Methan eine 21-fache Klimawirkung ²

Die Verweilzeit von Lachgas in der Atmosphäre beträgt ca. 120 Jahre (im Vergleich zu CO_2 : > 1000 Jahre, Methan: ca. zehn Jahre), akkumuliert also wie CO_2 in der Atmosphäre. Die Lachgaskonzentration in der Atmosphäre ist im Vergleich zur

¹ IPCC 2014

² Bezogen auf GWP 100

vorindustriellen Zeit exponentiell angestiegen auf derzeit ca. 335 ppb (Abb.2³ und Abb. 3⁴).

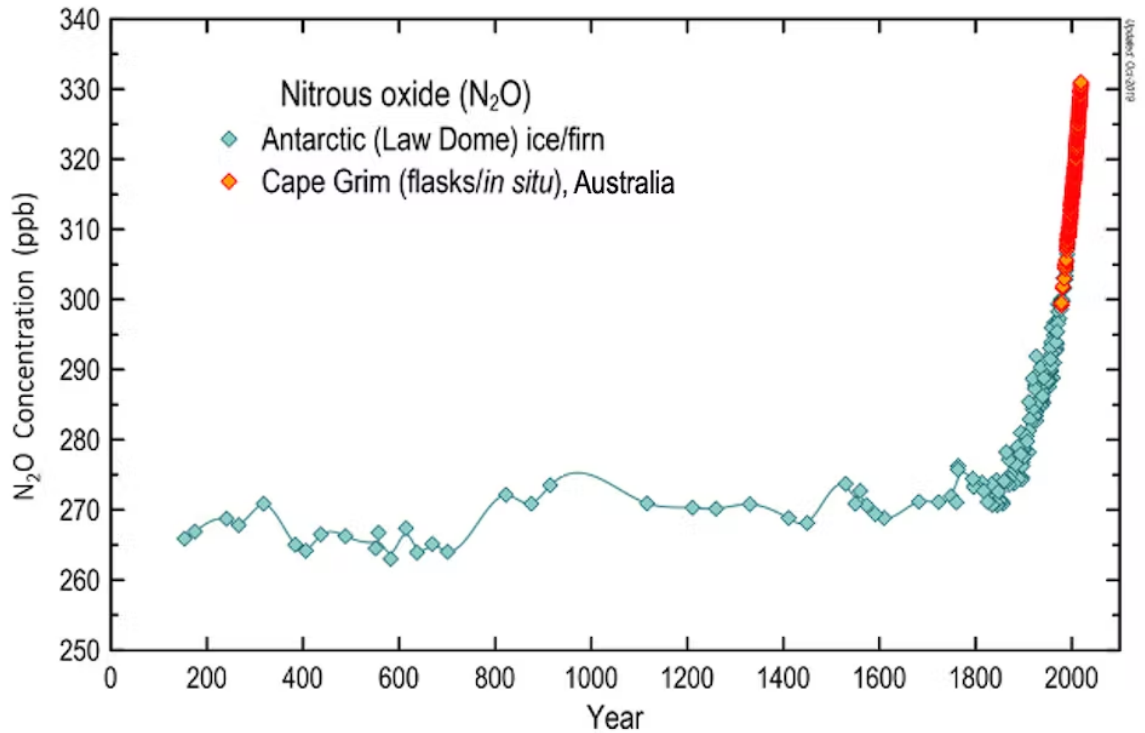


Abb. 2 Langzeit-Entwicklung der Lachgas-Konzentration in der Atmosphäre in ppb³

³ <https://www.csiro.au/en/research/environmental-impacts/emissions/Global-greenhouse-gas-budgets/Global-nitrous-oxide-budget>, "2000 years of atmospheric nitrous oxide concentrations. Observations taken from ice cores and atmosphere" BoM/CSIRO/AAD, accessed 3.4.2023

⁴ <https://www.umweltbundesamt.de/bild/lachgas-konzentration-in-der-atmosphaere-monats>, accessed 3.4.202

Lachgas-Konzentration in der Atmosphäre (Monatsmittelwerte)

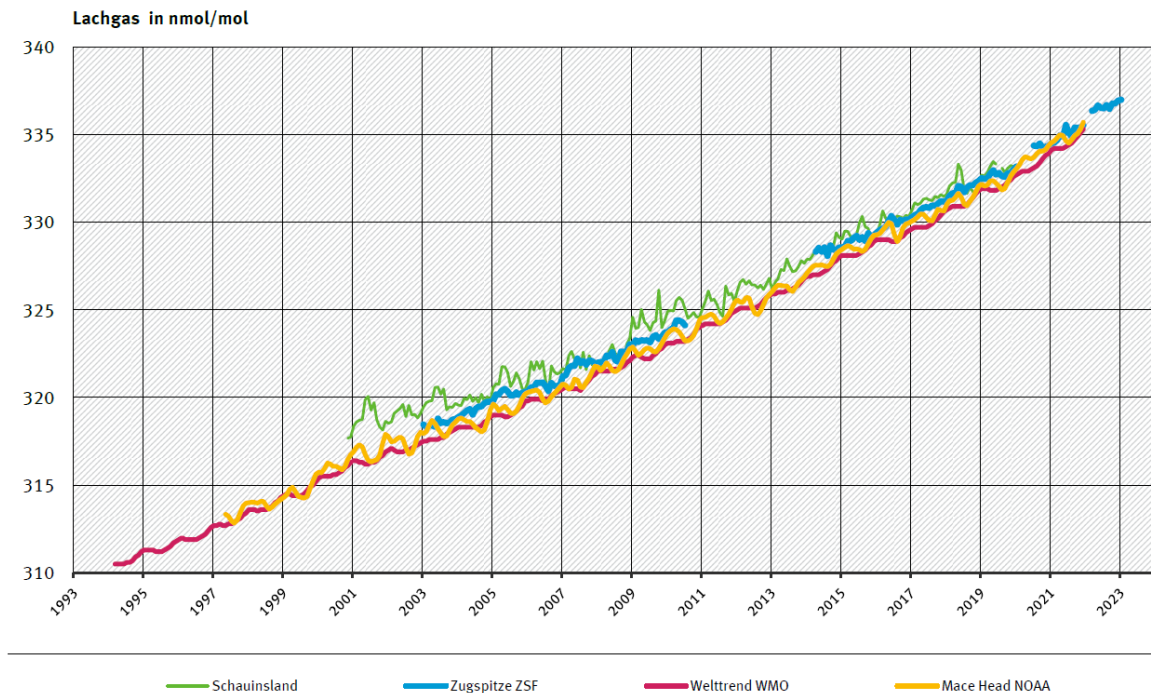


Abb.3 Entwicklung der Lachgas-Konzentration in der Atmosphäre 1993-2023 in ppb ⁴

Von den jährlich ca. 17 Mio Tonnen Lachgas-Emissionen ⁵ weltweit sind ca. 7,3 Mio Tonnen (ca. 43 %) anthropogener Natur, davon der überwiegende Teil aus der Landwirtschaft, durch zunehmenden Einsatz von anorganischem und organischem Stickstoffdünger

Geographisch sind im Zeitraum von 1980 bis 2016 die anthropogen verursachten Lachgas-Emissionen hauptsächlich in Ost- und Südostasien sowie Afrika entstanden (Abb.4 ⁶), ein Zeichen für die mit zunehmendem Düngereinsatz verbundene Intensivierung und Ausweitung der Landwirtschaft.

Nur in Europa sind abnehmende Lachgas-Emissionen zu verzeichnen, bedingt durch strengere Abgas-Grenzwerte sowohl in der Industrie als auch der Landwirtschaft.

⁵ Als Mio Tonnen Stickstoff

⁶ H. Tian et al, „A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks” Nature volume 586, pages248–256 (2020)

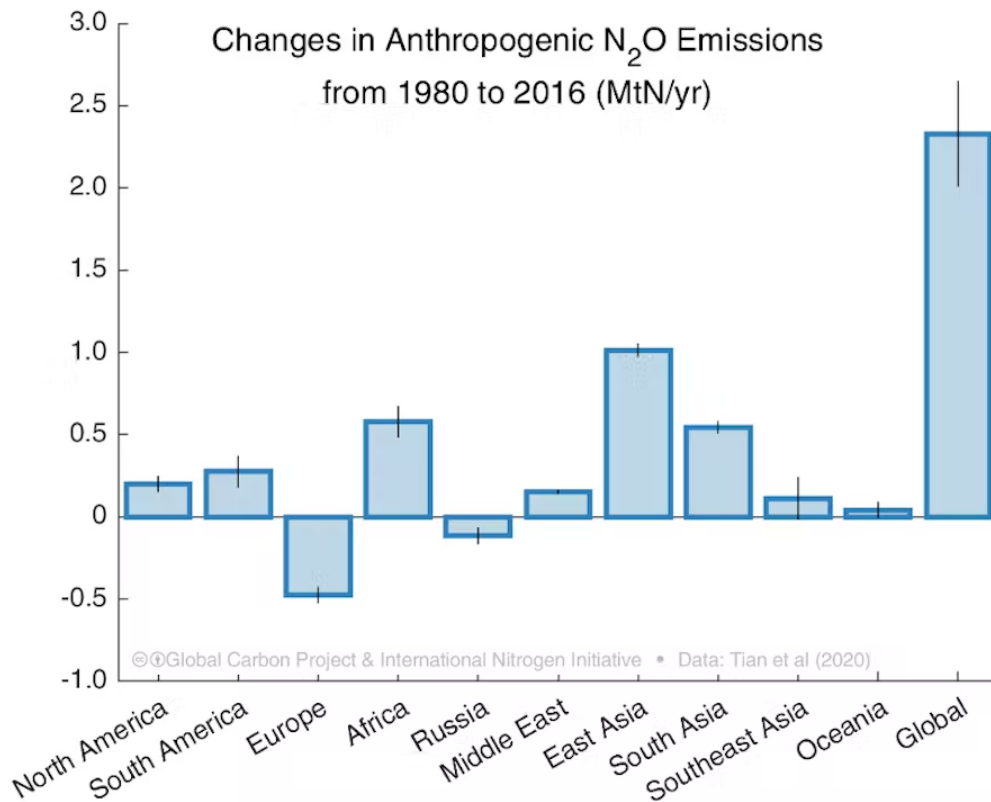
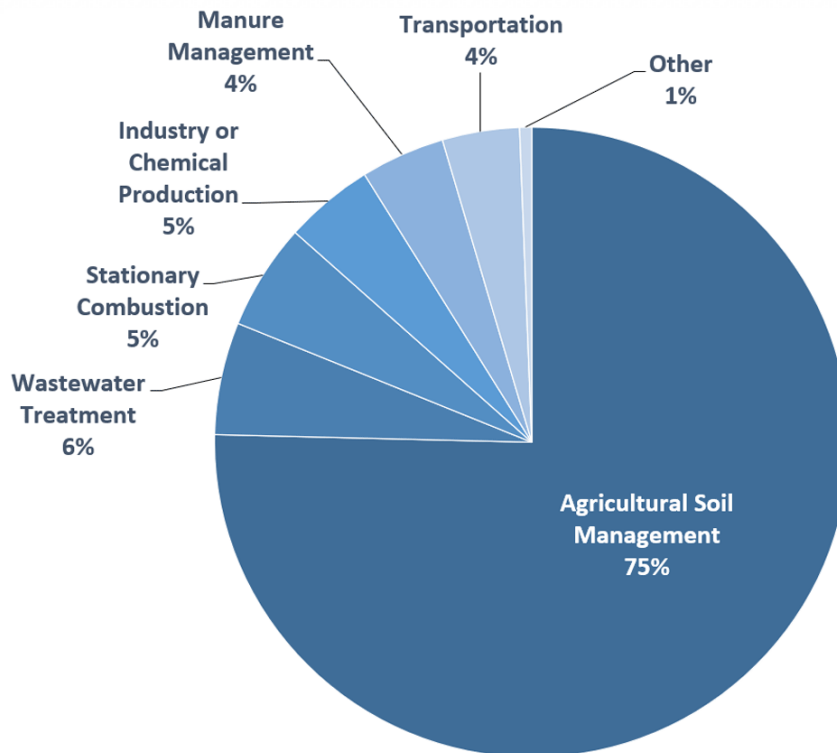


Abb. 4 Regionale Veränderungen anthropogener Lachgas-Emissionen 1980-2016 ⁶

Am Beispiel der USA zeigt Abb.5 die prozentuale Verteilung der Stickoxid-Emissionen im Jahr 2019, wobei die Emissionen der Landwirtschaft mit 75 % dominieren, im Vergleich zu anderen (anthropogenen) Quellen wie Abwasser- und Güllebehandlung, Verkehr, Chemie und stationäre Energieerzeugung ⁷.

⁷ EPA 2021, "Inventory of U.S. Greenhouse gas Emissions and Sinks 1990-2019"

2019 U.S. Nitrous Oxide Emissions, By Source



U.S. Environmental Protection Agency (2021). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2019

Abb. 5 Prozentuale Verteilung der Lachgas-Emissionen in den USA ⁷

Im Rahmen des Global Carbon Projects wurde für den Zeitraum 2007 – 2016 eine Bilanz für Lachgas aus anthropogenen und aus natürlichen Quellen erstellt, außerdem wurden die Senken in der Atmosphäre aufgezeigt (Abb. 6) ⁶. Dabei wird die Konzentration des Lachgases in Form von Stickstoff (N) dargestellt. Die Atmosphäre reichert sich danach infolge der langen Verweilzeit jährlich um 4,3 Mio Tonnen N an. Dies vergleicht sich mit der in Abb. 4 gezeigten jährlichen Zunahme von ca. 2,5 Mio Tonnen N über den längeren Zeitraum von 1980 bis 2016. Auch dies deutet auf eine gewisse Akkumulation von Stickoxiden bzw. Lachgas in der Atmosphäre infolge der langen Verweilzeiten hin.

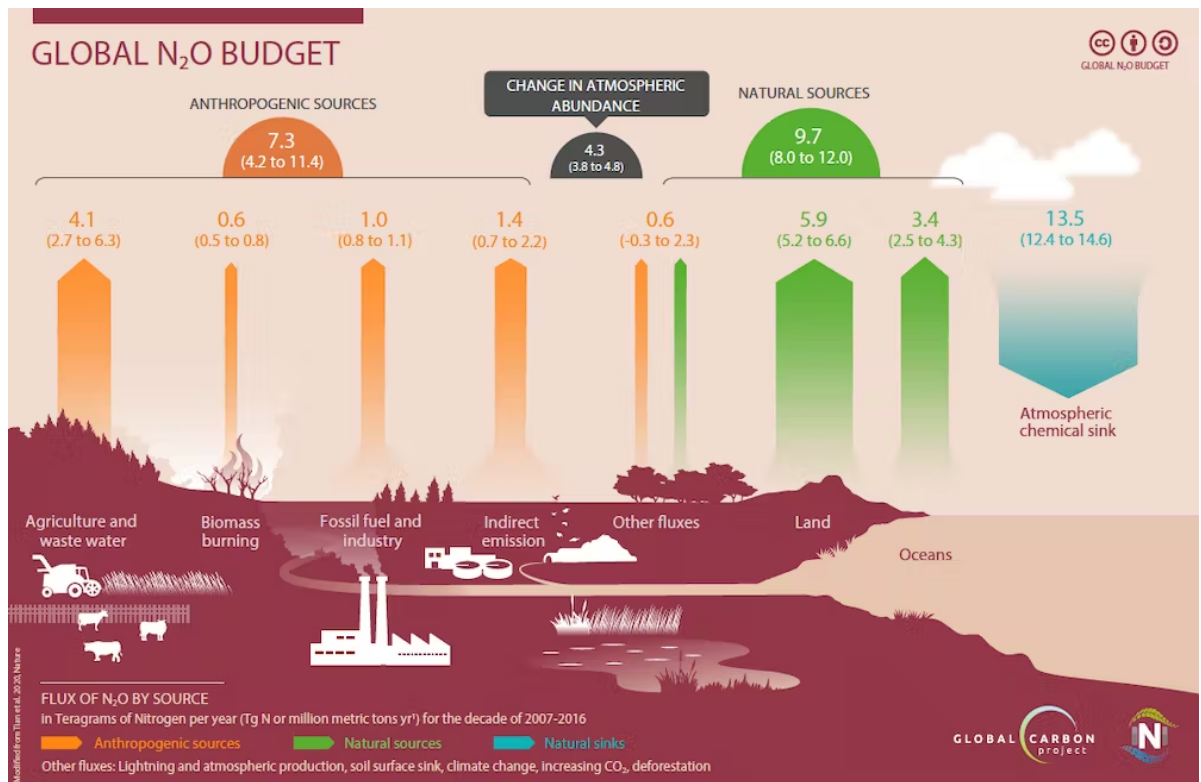


Abb. 6 Lachgas-Bilanz im Zeitraum 2007 – 2016 ⁶

Optionen zur Verminderung von Stickoxid-Emissionen

Landwirtschaft

Die Landwirtschaft ist die bei weitem dominierende und am schwierigsten zu begrenzende Quelle für Stickoxidemissionen. Lachgas entsteht beim Einsatz von anorganischem (Kunst-) Dünger und organischem Dünger (u.a. Gülle) durch einen Nitrifikations-/Denitrifikationszyklus, wie in Abb. 7 und 8 schematisch dargestellt. So nimmt die Maispflanze ca. 50 % des eingetragenen Stickstoffs auf, Mikroben im Boden weitere 25 %, während 25 % über Auswaschungsvorgänge und Denitrifikations- bzw. Nitrifikationsreaktionen neben Nitratanreicherung im Boden zu Stickoxidemissionen führen.

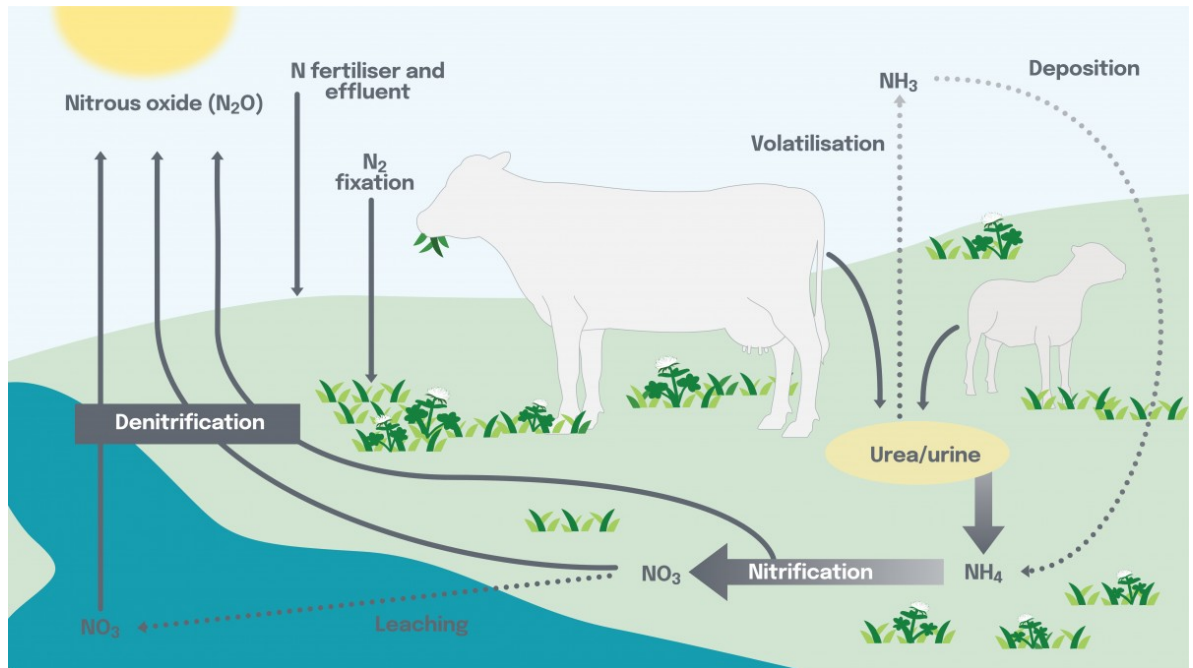


Abb.7 Lachgas-Bildung über Nitrifikation/Denitrifikation im Boden ⁸

Wichtige Gegenmaßnahmen sind der gezieltere und gleichzeitig sparsamere Einsatz von Kunstdünger sowie organischer Dünger und Gülle sowie vermehrter Anbau von stickstoff-fixierenden Pflanzen wie Klee, Ackerbohnen und Lupinen, auch in wechselnder Fruchtfolge mit anderen Pflanzen.

⁸ Abb.: "The science of nitrous oxide", NZ Agricultural Greenhouse gas Research Center , 1.12.2021

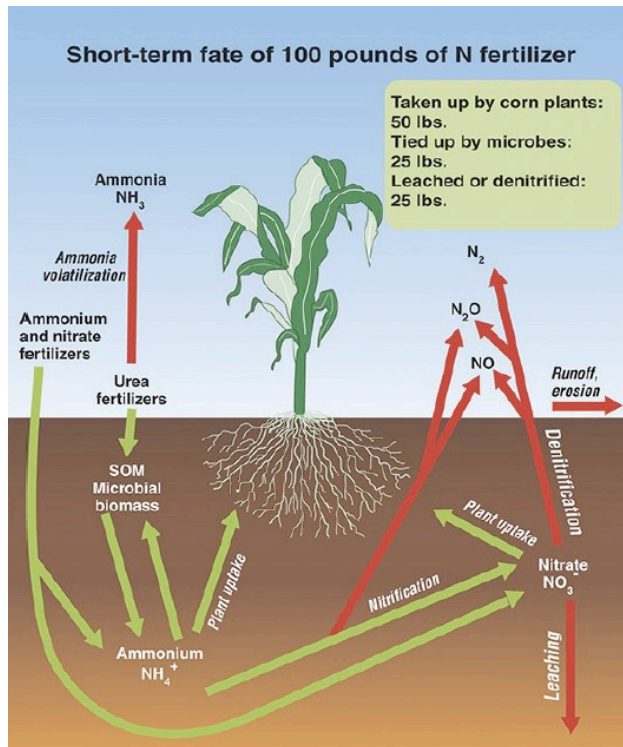


Abb. 8 Stickstoffverwertung am Beispiel Mais ⁹

Verbrennungsprozesse

Quelle von Stickoxidemissionen sind Feuerungsanlagen jeglicher Art und Motoren. Neben Effizienzmaßnahmen wie verbrennungstechnische Primärmaßnahmen werden zur Erreichung von Abgasgrenzwerten vor allem sekundäre Maßnahmen im Abgasstrom eingesetzt. Bei der selektiven katalytischen Stickoxidreduktion (SCR) reagieren die Stickoxide mit zudosiertem Ammoniak bzw. Harnstoff zu elementarem Stickstoff N_2 . Dies ist weitgehend Stand der Technik, wobei diese zur Erreichung schärferer Grenzwerte ständig weiterentwickelt wird.

⁹ N.Millar et al, "Management of Nitrogen fertilizer to Reduce Nitrous Oxide Emissions from Field Crops", ClimateChange and Agriculture Fact Sheets, Bulletin E3152, Univ. of Michigan, Nov. 2014

Ammoniak als Energieträger

Im Rahmen der verstärkten Nutzung von Ammoniak als kohlenstofffreier Energieträger, u.a. in Turbinen und Schiffsantrieben, erhält die Kontrolle der Stickoxidemissionen eine neue, starke Bedeutung. Auch hierbei kommen im Wesentlichen katalytische SCR-Verfahren zum Einsatz, die durch Umsetzung der Stickoxide mit zudosiertem Ammoniak das Abgas reinigen.

Industrie

Eine historisch große Quelle von Stickoxidemissionen war die Produktion u.a. von Salpetersäure und von Adipinsäure. Letztere ist ein Vorprodukt für Nylon und wird u.a. auch in der Lebensmittelindustrie als Säuerungsmittel und in Rauchgaswäschen zur Effizienzsteigerung bei der Schwefelabscheidung eingesetzt. Auch hier kommen die vorgenannten katalytischen Abgasreinigungsverfahren zum Einsatz. So war z.B. in Deutschland die Adipinsäureproduktion bis 1997 zu knapp einem Drittel für die Emission von Lachgas verantwortlich, 2017 dann nur noch zu ca. 3 %¹⁰.

Fazit:

Stickoxide, hier vor allem Lachgas, ist nach CO₂ und Methan das drittwichtigste langlebige Klimagas. Der anthropogene Anteil an den globalen Gesamt-Stickoxidemissionen beträgt über 40 %.

Hauptquelle der anthropogenen Emissionen sind der Einsatz von anorganischem und organischem Dünger in einer zur Sicherstellung der Ernährung wachsenden und zunehmend intensivierten Landwirtschaft. Geographisch steigen die Emissionen vor allem in

¹⁰ <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/stickstoffoxid-emissionen#entwicklung-seit-1990>, 30.3.2022

den Ländern mit dem höchsten Bevölkerungswachstum in Asien und Afrika.

Eine Begrenzung ist möglich, wenn die am Beispiel europäischer Länder erfolgreichen Methoden zum gezielten Einsatz von Dünger einschließlich der Verwertung und Kontrolle von Gülle und anderer Abwässer auch in anderen Regionen eingeführt werden. Einen zusätzlichen Beitrag kann der Anbau von stickstoffbindenden Pflanzen als Teil einer Dünger-einsparenden Fruchtfolge leisten.

Andere Emissionsquellen sind durch technische Maßnahmen wie selektive katalytische Reduktion mit Ammoniak (SCR) kontrollierbar.

Einen zunehmenden Stellenwert werden SCR-Verfahren bei dem prognostizierten breiten Einsatz von Ammoniak als Energieträger in Verbrennungsprozessen erlangen.