

Zbl Arbeitsmed
<https://doi.org/10.1007/s40664-024-00531-6>
Angenommen: 20. Februar 2024

© The Author(s) 2024



J. B. Wagner¹ · E. M. Wanke¹ · D. Ohlendorf¹ · F. Reuss¹ · F. Holzgreve¹ · G. M. Oremek²

¹ Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Umweltmedizin, Goethe-Universität Frankfurt, Frankfurt am Main, Deutschland

² Abt. Labordiagnostik, Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Umweltmedizin, Goethe-Universität Frankfurt, Frankfurt am Main, Deutschland

Lachgas – ein Narkotikum

Die Lachgasnutzung erfolgt im medizinischen Kontext hauptsächlich als Anästhetikum sowohl für die Einleitung wie auch zur Aufrechterhaltung einer Narkose bei Patient*innen im Erwachsenen- und Kindesalter. In der Kinderheilkunde, Gynäkologie, Notfallmedizin, Zahnmedizin und Urologie wird es bei *leichten* Schmerzen als Analgetikum angewandt [5, 13]. Lediglich 1% der Lachgasemissionen ist medizinischen Ursprungs.

Außerhalb der Medizin findet Lachgas vorrangig Anwendung als Treibgas in Sprühflaschen (z. B. zum Aufschäumen von Schlagsahne) und Stickstoffdüngern in der Landwirtschaft [4, 28]. Seine Herstellung erfolgt industriell/technisch durch Zersetzung von Ammoniumnitrat unter der Einwirkung von Hitze. Dabei entstehen Hydrogennitrat und Ammoniak, diese zerfallen wiederum in Lachgas und Wasser. In der Landwirtschaft werden Nitrat und Ammoniak als Düngemittel verwendet, die dann durch Abbauprozesse im Boden in Lachgas oder Methan zersetzt bzw. umgebaut werden. Im Jahre 2021 stammten 77% der Lachgasemissionen in Deutschland aus der Landwirtschaft. Grenzwerte für die Außenluft existieren bislang keine [2]. Aufgrund der bisher gemessenen Konzentrationen sind keine gesundheitlichen Auswirkungen bei in der Landwirtschaft beschäftigten Personen zu erwarten. Aufgrund der hohen Freisetzung sind effiziente Minderungsmaßnahmen daher dringend erforderlich, denn Lachgas trägt als potentes Treibhausgas zur globalen Erwärmung bei. Als Treibhausgas ist Lachgas etwa 300-mal so schädlich wie Kohlendioxid (CO₂; [14, 28]) im Hinblick auf seine Fähigkeit, Wärmestrahlung in der Atmosphäre zu

absorbieren und zurückzustrahlen. [14]. Die wichtigsten Quellen von Lachgasemissionen sind landwirtschaftliche Aktivitäten, wie Düngemittelverwendung, Biomasseverbrennung, industrielle Prozesse und Abwasserbehandlung. Um die Umweltauswirkungen von Lachgas zu reduzieren, sollten landwirtschaftliche Praktiken verbessert werden, um den Einsatz von Stickstoffdüngemitteln zu optimieren und Lachgasemissionen aus Böden zu reduzieren [8]. Auch sollten Technologien und Verfahren zur Verringerung von Lachgasemissionen in industriellen Prozessen und bei der Abwasserbehandlung gefördert werden. Im Rahmen der Forschung gilt es, effektive Methoden zur Minderung von Lachgasemissionen zu entwickeln [29]. Im medizinischen Bereich wird Lachgas vordergründig inhalativ aufgenommen. Die dermale Aufnahme kann vernachlässigt werden.

Lachgas kann hingegen auch als Droge verwendet werden, was aus der Mitteilung der Europäischen Beobachtungsstelle für Drogen (EMCDDA Bericht 2022) hervorgeht [6]. Es führt zu einem kurzen Rausch. Viele Konsumenten glauben, dass das Inhalieren von Lachgas gefahrlos ist, da es frei verkäuflich zu erwerben ist. Dies ist jedoch nicht der Fall, denn Lachgas kann die Nieren schädigen und Komplikationen bis zu Querschnittslähmung hervorrufen. Dies liegt daran, dass chronischer Konsum von Lachgas den Vitamin-B12-Stoffwechsel stören kann [3, 17, 19, 22, 24, 30]. Es kann zu einer Senkung der Aminosäure Methionin kommen, an deren Synthese Vitamin B12 beteiligt ist. Methionin spielt wiederum eine entscheidende Rolle bei der Bildung von Nervenbahnen [26, 27]. Können diese nicht mehr richtig gebildet werden, besteht die Gefahr, Neuropathien und Rückenmarksschädigungen zu entwickeln [15, 24]. Sollte

Tab. 1 Physikalische und chemische Daten von Lachgas nach CAS

Physikalische und chemische Daten von Lachgas	Farbloses Gas mit süßlichem Geruch	Molmasse: 44,012 g/mol AGW 100 ml/m ³ oder 180 mg/m ³ (TRGS 900) Dichte 1,9781 g/l (Gas, 0 °C, 1013 hPa) (Lachgas: Luft = 1,53) Schmelzpunkt: -90,8 °C Siedepunkt: -88,48 °C Wasserlöslichkeit Konzentration bei 20 °C 1,2 g/l
Piktogramme GHS 03 GHS 04 GHS 07 Gefahr	Gefahrenklassen + Kategorie Oxidierende Gase 1 Gase unter Druck, verdicht. Gas Spezifische Zielorgantoxizität einmalig 3	HP-Sätze (siehe Hinweis) H 270, 280, 336 P 220, 244, 280.3, 370 + 376, 410 + 403 Entsorgung besondere Hinweise
–	Deutsche Bezeichnung Synonyme (dt.)	Engl. Bezeichnung Synonyme (engl.)
CAS 10024-97-2	Lachgas Distickstoffoxid	Laughing gas Nitrous oxide

der Vitamin-B12-Mangel über einen längeren Zeitraum andauern, entsteht zusätzlich die Gefahr, eine perniziöse Anämie zu entwickeln [21, 25, 32]. Daher ist in den Niederlanden ab 2023 der Besitz und Verkauf von Lachgas verboten. Folglich ist der medizinische Gebrauch verschreibungspflichtig, was kontrovers der freien Verkäuflichkeit als Luftballonfüllung oder in Sahnekartuschen gegenübersteht.

Chemie des Lachgases

Lachgas, auch Distickstoffoxid (N_2O ; „nitrous oxide“), ist bei Raumtemperatur ein oxidierendes, schlecht wasserlösliches, farbloses Gas mit süßem Geruch aus der Gruppe der N-O-Verbindungen. Es ist mit seinen $1,98 \text{ kg/m}^3$ schwerer als Luft, wodurch es sich nicht gleichförmig im Raum verteilt, sondern am Boden konzentriert. Ab einer Temperatur von 300°C zerfällt N_2O in seine Bestandteile Stickstoff und Sauerstoff. Durch seinen Sauerstoffgehalt wirkt es brandfördernd, ist jedoch nicht selbst entzündlich [9, 24]. Im Jahr 1771 wurde es von Joseph Priestley zum ersten Mal hergestellt und dessen Synthese beschrieben. Seine betäubende und schmerzstillende Wirkung wurde vom Chemiker Humphry Davy um 1800 im Selbstversuch erforscht. 1844 verwendete Horace Wells Lachgas als Erster im Rahmen einer Zahnextraktion als Narkosemittel [9].

Die CAS-Nummer (Chemical Abstracts Service-Nummer) für Lachgas ist ein international gültiges Bezeichnungssystem für chemische Substanzen. Jedem bekannten chemischen Stoff sowie Biosequenzen, Legierungen und Polymeren ist eine spezifische CAS-Nummer zugeordnet [15, 23]. Die CAS für Lachgas lautet: CAS 10024-97-2-Lachgas (Distickstoffoxid; Formel: N_2O). In **Tab. 1** sind alle physikalischen und chemischen Daten von Lachgas nach CAS aufgeführt [7, 12, 16].

Auswirkungen von Lachgas auf den menschlichen Organismus

Die Auswirkungen der Exposition von Lachgas auf den menschlichen Organismus sind immer konzentrationsab-

Zbl Arbeitsmed <https://doi.org/10.1007/s40664-024-00531-6>
© The Author(s) 2024

J. B. Wagner · E. M. Wanke · D. Ohlendorf · F. Reuss · F. Holzgreve · G. M. Oremek

Lachgas – ein Narkotikum

Zusammenfassung

Lachgas ist ein oxidierendes, schlecht wasserlösliches, farbloses Gas mit süßem Geruch aus der Gruppe der N-O-Verbindungen und wird im medizinischen Kontext hauptsächlich als Anästhetikum bzw. als Analgetikum eingesetzt. Allerdings warnt die Europäische Beobachtungsstelle für Drogen (EMCDDA) vor dem privaten Konsum von Lachgas, da es gefährliche Folgen haben kann, wie z. B. Nervenschädigung, Lähmungen, neurologische Schäden, Polyneuropathie, Parästhesien, Rückenmarkdegeneration in Folge einer Störung des Vitamin-B12-Stoffwechsels. Daher sollte Lachgas nur für

medizinische und technische Zwecke (z. B. als Treibgas im Sahnespender) eingesetzt werden und nicht zum privaten *Spaß-Konsum*. So dürfen Ärztinnen und Ärzte das Gas als leichtes Betäubungsmittel einsetzen. Dieser Beitrag befasst sich mit der chemischen Zusammensetzung und den biologischen positiven und negativen Folgen von Lachgas und deren Betrachtung im arbeitsmedizinischen Setting.

Schlüsselwörter

Treibgas · Stoffwechsel · Konsum · Gesundheitsschädigung · Distickstoffmonoxid

Nitrous oxide—a narcotic

Abstract

Laughing gas is an oxidizing, poorly water-soluble, colorless gas with a sweet odor from the group of N-O compounds and is used in the medical context mainly as an anesthetic or analgesic; however, the European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (EMCDDA) warns against the private consumption of nitrous oxide as it can have dangerous consequences, such as nerve damage, paralysis, neurological damage, polyneuropathy, paresthesia and spinal cord degeneration as a result of a disturbance of vitamin B12 metabolism. Therefore, nitrous oxide should only be used for medical and

technical purposes (e.g., as propellant gas in cream dispensers) and not for private “fun consumption”. Thus, physicians are allowed to use the gas as a mild anesthetic. This article deals with the chemical composition and the biological positive and negative consequences of nitrous oxide and their consideration in the occupational health setting.

Keywords

Propellant gas · Metabolism · Consumption · Health damage · Nitrous oxide

hängig. Während chirurgischer Eingriffe wird Lachgas häufig als inhalatives Narkosemittel verwendet. In der Anästhesie wird es eingesetzt, um Analgesie und Sedierung zu erzielen. Physiologisch wirkt es auf das zentrale Nervensystem, indem es zu einer kompetitiven Hemmung des N-Methyl-D-Aspartat(NMDA)-Glutamatrezeptors kommt, was zu der erwünschten analgetischen und anxiolytischen Wirkung führt [31]. Jedoch kann die Exposition gegenüber Lachgas auch unerwünschte Nebenwirkungen, wie Schwindel, Kopfschmerzen, Übelkeit, Halluzinationen und in seltenen Fällen sogar Bewusstlosigkeit verursachen [18, 27].

Gefahren von Lachgas im arbeitsmedizinischen Kontext

Speziell im arbeitsmedizinischen Kontext besteht für bestimmte Berufsgruppen ein erhöhtes Risiko der Lachgasexposition. Dazu gehört solches medizinisches Personal, das regelmäßig mit Lachgas in Narkoseeinheiten oder Zahnarztpraxen arbeitet, wie Anästhesistinnen und Anästhesisten, Pflegepersonal im Krankenhaus oder zahnmedizinische Fachkräfte.

Eine langfristige Exposition gegenüber hohen Lachgaskonzentrationen kann zu einer Vielzahl von gesundheitlichen Problemen führen:

- Neurologische Störungen: Es wurde berichtet, dass eine chronische Lachgasexposition zu neurologischen Symptomen führen kann, wie beispielsweise peripherer Neuropathie, die mit Kribbeln und Taubheitsgefühlen in den Extremitäten einhergehen kann. Auch kognitive Beeinträchtigungen, Gedächtnisstörungen, Kopfschmerzen, Hals- und Augenprobleme (Trockenheit und Jucken) sowie Fatigue wurden beschrieben [15].
- Atemwegsprobleme: Lachgas kann zu Reizungen der Atemwege führen, was sich in Husten, Atemnot und Entzündungen der Lunge äußern kann. Bei empfindlichen Personen oder längerer Exposition können Atemwegserkrankungen, wie Bronchitis oder Asthma, verschlimmert werden [10].
- Fruchtbarkeitsstörungen: Eine chronische Exposition gegenüber Lachgas kann sich negativ auf die Fruchtbarkeit auswirken. (Im Tierversuch [Ratte] wurden ausgewachsene männliche oder weibliche Ratten täglich 6 h lang entweder während der gesamten Trächtigkeit [Weibchen] oder 9 Wochen lang [Männchen] N₂O-Spurenkonzentrationen [0 %, 0,1 %, 0,5 % oder 1,0 % in der Luft] ausgesetzt. Eine akute Toxizität konnte im Rattenmodell erst ab 50.000 ppm nachgewiesen werden; [2]).

Grenzwerte und Sicherheitsmaßnahmen

Um die Gesundheit der Arbeitnehmenden zu schützen, wurden in verschiedenen Ländern Grenzwerte für Lachgas am Arbeitsplatz festgelegt. Diese Grenzwerte dienen als Richtlinien für die maximale zulässige Konzentration von Lachgas in der Luft, der Arbeitnehmer ausgesetzt sein dürfen. Typische Richtwerte sind:

- Die American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) hat einen Grenzwert von 25 ppm für eine 8-Stunden-Arbeitsschicht und 50 ppm als Spitzenwert festgelegt [1].
- Die Occupational Safety and Health Administration (OSHA) hat für

Lachgas einen empfohlenen Grenzwert von 25 ppm als durchschnittliche Exposition über 8 h und einen Grenzwert von 50 ppm als Kurzzeitexposition von 15 min festgelegt [20].

- Grenzwerte in Deutschland: ein Arbeitsplatzgrenzwert von 180 mg/m³ bzw. 100 ppm als maximal zulässiger Schichtmittelwert für die 8-stündige Arbeitsschicht und 360 mg/m³ gemittelt über 15 min [2].

Arbeitgebende sind verpflichtet, geeignete Schutzmaßnahmen zu ergreifen, um die Lachgasexposition zu kontrollieren. Dazu gehören:

- Einrichtung und Wartung geeigneter Belüftungssysteme, um die Konzentration von Lachgas in der Arbeitsumgebung zu reduzieren,
- Verwendung persönlicher Schutzausrüstung, wie Atemschutzmasken, um die Einatmung von Lachgasdämpfen zu minimieren,
- regelmäßige Überwachung der Lachgasbelastung in der Arbeitsumgebung, um sicherzustellen, dass die Grenzwerte eingehalten werden [11].

Fazit für die Praxis

Im arbeitsmedizinischen Kontext birgt Lachgas potenzielle Gefahren für die Gesundheit der Arbeitnehmenden. Durch die Einhaltung von Grenzwerten und die Implementierung angemessener Präventionsmaßnahmen können die arbeitsbedingten Risiken minimiert werden. Eine umfassende Schulung der Arbeitnehmenden sowie regelmäßige Überwachung und medizinische Untersuchung sind von entscheidender Bedeutung, um die Auswirkungen der Lachgasexposition zu kontrollieren und die Arbeitsplatzsicherheit zu gewährleisten.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Dr. D. Ohlendorf, M.A.
 Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Umweltmedizin, Goethe-Universität Frankfurt
 Frankfurt am Main, Deutschland
 ohlendorf@med.uni-frankfurt.de

Funding. Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. J.B. Wagner, E.M. Wanke, D. Ohlendorf, F. Reuss, F. Holzgreve und G.M. Oremek geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autor/-innen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

1. American, Conference, Of, Governmental, Industrial et al (2021) 2021 TLVs and BEIs: Based on the documentation of the threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices. OH, Cincinnati
2. Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (2017) Lachgassedierung: Inhalative Exposition des Zahnarztpersonals. <https://www.bgw-online.de/resource/blob/22334/0af057b5ddeb90648a79837001b54d13/bgw55-82-001-lachgas-abschlussbericht-data.pdf>. Zugriffen: 30.07.2023
3. Chandyo RK, Ulak M, Kvestad I, Shrestha M, Ranjitkar S et al (2017) The effects of vitamin B12 supplementation in pregnancy and postpartum on growth and neurodevelopment in early childhood: Study Protocol for a Randomized Placebo Controlled Trial. *BMJ Open* 7:e16434. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-016434>
4. Charlesworth M, Swinton F (2017) Anaesthetic gases, climate change, and sustainable practice. *Lancet Planet Health* 1:e216–e217. [https://doi.org/10.1016/s2542-5196\(17\)30040-2](https://doi.org/10.1016/s2542-5196(17)30040-2)
5. Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Deutsche Gesellschaft für Gynäkologie und Geburtshilfe (2019) Einsatz von Lachgas zur Schmerztherapie unter der Geburt. Gemeinsame Stellungnahme der Deutschen Ge-

- sellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI), der Deutschen Gesellschaft für Gynäkologie und Geburtshilfe (DGGG). <https://www.dgai.de/aktuelles-2/219-stellungnahme-lachgas-anpassung/file.html>. Zugegriffen: 31. Juli 2023
6. Europäische Beobachtungsstelle für Drogen und Drogensucht (2022) Europäischer Drogenbericht 2022: Trends und Entwicklungen. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjE4cuMh-OEAXPhf0HHU3YB24QFnoECBIQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.emcdda.europa.eu%2Fsystem%2Ffiles%2Fpublications%2F14644%2F2022.2419_DE_02_wm.pdf&usq=A0vVaw3KcGNxRWZIHdGvH5oX-08&opi=89978449. Zugegriffen: 7. Aug. 2023
 7. Fluck J, Wintterle M (2006) Rechtsfragen des Sicherheitsdatenblattes. Lexxion, Der Juristische Verlag
 8. Food, And, Agriculture, Organization et al (2015) Mitigation of Greenhouse Gas Emissions in Agriculture. <https://www.fao.org/3/i4415e/i4415e.pdf>. Zugegriffen: 1. Aug. 2023
 9. Gillman MA (2019) Mini-Review: A Brief History of Nitrous Oxide (N₂O) Use in Neuropsychiatry. *Curr Drug Res Rev* 11:12–20. <https://doi.org/10.2174/1874473711666181008163107>
 10. Grineski SE, Staniswalis JG, Peng Y, Atkinson-Palombo C (2010) Children's asthma hospitalizations and relative risk due to nitrogen dioxide (NO₂): effect modification by race, ethnicity, and insurance status. *Environ Res* 110:178–188. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2009.10.012>
 11. Health and Safety Executive (2023) Controlling airborne contaminants at work: A guide to local exhaust ventilation (LEV). <https://www.somersetsolders.com/pub/media/pdfs/hsg258.pdf>. Zugegriffen: 5. Aug. 2023
 12. Henry OR, Benghuzzi H, Taylor HA Jr., Tucci M, Butler K et al (2012) Suppression of homocysteine levels by vitamin B12 and folates: age and gender dependency in the Jackson Heart Study. *Am J Med Sci* 344:110–115. <https://doi.org/10.1097/MAJ.0b013e31823782a5>
 13. Hötzel A (2019) Klinischer Stellenwert von total intravenöser Anästhesie (TIVA) und Inhalationsanästhesie. *Anästh Intensivmed* 60:174–189.
 14. Intergovernmental Panel on Climate Change (2021) IPCC Sixth Assessment Report. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Zugegriffen: 29. Juli 2023
 15. Janssen G (2021) Das Sicherheitsdatenblatt nach REACH und TRGS 220. Neue Pflichten 2021/2022. *ecomed Sicherheit*, Landsberg
 16. Lide DR (2010) Handbook of Chemistry and Physics. Taylor and Francis, Boca Raton
 17. Moore E, Mander A, Ames D, Carne R, Sanders K et al (2012) Cognitive impairment and vitamin B12: a review. *Int Psychogeriatr* 24:541–556. <https://doi.org/10.1017/s1041610211002511>
 18. Norbäck D, Hashim JH, Hashim Z, Ali F (2017) Volatile organic compounds (VOC), formaldehyde and nitrogen dioxide (NO₂) in schools in Johor Bahru, Malaysia: Associations with rhinitis, ocular, throat and dermal symptoms, headache and fatigue. *Sci Total Environ* 592:153–160. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.215>
 19. O'leary F, Samman S (2010) Vitamin B12 in health and disease. *Nutrients* 2:299–316. <https://doi.org/10.3390/nu2030299>
 20. Occupational, Safety, And, Health, Administration Nitrous Oxide. <https://www.osha.gov/chemicaldata/4>. Zugegriffen: 7. Aug. 2023
 21. Paul C, Brady DM (2017) Comparative Bioavailability and Utilization of Particular Forms of B(12) Supplements With Potential to Mitigate B(12)-related Genetic Polymorphisms. *Integr Med* 16:42–49
 22. Reynolds E (2006) Vitamin B12, folic acid, and the nervous system. *Lancet Neurol* 5:949–960. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(06\)70598-1](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(06)70598-1)
 23. Rühl R, Hamm G (2006) Sicherheitsdatenblätter – Eine Anleitung zum sicheren Umgang? Umweltwissenschaften Schadstoff-forschung 18:201–206. <https://doi.org/10.1065/uwsf2005.12.112>
 24. Sangle P, Sandhu O, Aftab Z, Anthony AT, Khan S (2020) Vitamin B12 Supplementation: Preventing Onset and Improving Prognosis of Depression. *Cureus* 12:e11169. <https://doi.org/10.7759/cureus.11169>
 25. Scherbaum N, Parnefjord R (2017) In: Scherbaum N, Parnefjord R (Hrsg) Das Drogentaschenbuch. Thieme, Stuttgart
 26. Shipton MJ, Thachil J (2015) Vitamin B12 deficiency—A 21st century perspective. *Clin Med* 15:145–150. <https://doi.org/10.7861/clinmedicine.15-2-145>
 27. Stewart RD, Paris PM, Stoy WA, Cannon G (1983) Patient-controlled inhalational analgesia in prehospital care: a study of side-effects and feasibility. *Crit Care Med* 11:851–855. <https://doi.org/10.1097/00003246-198311000-00002>
 28. Umwelt Bundesamt (2023) Lachgas und Methan. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/lachgas-methan>. Zugegriffen: 1. Juli 2023
 29. United, States, Environmental, Protection, Agency (2022) Global Mitigation of Non-CO₂ Greenhouse Gases: 2020–2030. <https://www.epa.gov/global-mitigation-non-co2-greenhouse-gases/global-mitigation-non-co2-ghgs-report-2010-2030>. Zugegriffen: 6. Aug. 2023
 30. Watanabe F, Bito T (2018) Vitamin B(12) sources and microbial interaction. *Exp Biol Med* 243:148–158. <https://doi.org/10.1177/1535370217746612>
 31. Zafirova Z, Sheehan C, Hosseinian L (2018) Update on nitrous oxide and its use in anesthesia practice. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* 32:113–123. <https://doi.org/10.1016/j.bpa.2018.06.003>
 32. Zhang Y, Hodgson NW, Trivedi MS, Abdolmaleky HM, Fournier M et al (2016) Decreased Brain Levels of Vitamin B12 in Aging, Autism and Schizophrenia. *PLoS ONE* 11:e146797. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146797>

Hinweis des Verlags. Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.