

Lachgas, ein Treibhausgas und Luftschadstoff?

Was ist Lachgas und wie kommt es in die Atmosphäre?

Kann man Lachgas nachweisen?

Eine „lustige“ Geschichte mit dem Lachgas - lange nicht beachtet ist das Distickstoffmonoxid (N_2O) heute eines der bedeutendsten Treibhausgase und Luftschadstoffe.

Das Umweltbundesamt und diverse Zeitungsartikel bieten immer wieder Hintergrundwissen zu N_2O und seine Auswirkungen auf die Luftqualität. Die gesammelten Informationen bieten Anlass zur Diskussion und zu dem Versuch, N_2O im Alltagsprodukt nachzuweisen.



Ort

Klassenraum/Chemiesaal

Schulstufe

9. bis 13. Schulstufe

Gruppengröße

Klassengröße

Zeitdauer

1 Schulstunde

Lernziele

- Wechselwirkung zwischen Umwelt und dem wirtschaftenden Menschen erläutern
- Chemisches Hintergrundwissen zu N_2O erfahren und N_2O als Luftschadstoff identifizieren
- Einen physikalisch-chemischen Versuch beobachten und protokollieren
- Bereitschaft entwickeln für einen sorgsamen Umgang mit der knappen Ressource Luft

Sachinformation

Distickstoffmonoxid N_2O in der Atmosphäre

Distickstoffmonoxid N_2O (Lachgas), das als Spurengas in der Atmosphäre vorkommt, galt lange als ein Stickstoffoxid, von dem man annahm, dass es chemisch kaum reagiert, was aber ein Irrtum ist. N_2O ist stark treibhausaktiv. Das bedeutet, dass immer eine bestimmte Wechselwirkung zwischen den Atmosphären gasen und der elektromagnetischen Strahlung (vor allem Infrarotstrahlen) herrscht.

Das Molekül ist stäbchenförmig aufgebaut und isoelektronisch mit dem bekannteren Treibhausgas Kohlenstoffdioxid (CO_2). Isoelektrisch bedeutet, dass es die identische Elektronenzahl sowie Elektronenkonfiguration und Atomanzahl hat wie CO_2 . Die Moleküle liegen aber, anders als die von CO_2 , von vornherein als permanente Dipolmoleküle vor.

Ist ein Gasmolekül ein permanenter Dipol, so wie N_2O , kann die elektromagnetische Strahlung diesen wie eine Antenne benutzen. Bei CO_2 wird dieser Dipol erst durch Molekülschwingungen aktiviert. Distickstoffmonoxid ist dadurch um Größenordnungen stärker infrarotaktiv als CO_2 und ist folglich ein effektiveres Treibhausgas. Per Definition hat CO_2 ein Treibhauspotenzial von 1, Methan eines von 25 und Distickstoffmonoxid eines von 298. Das bedeutet, dass es 298-mal stärker als Treibhausgas wirkt als CO_2 . Außerdem verbleibt ausgestoßenes N_2O ca. 100 Jahre in der Atmosphäre, das ist länger als CO_2 dies tut.

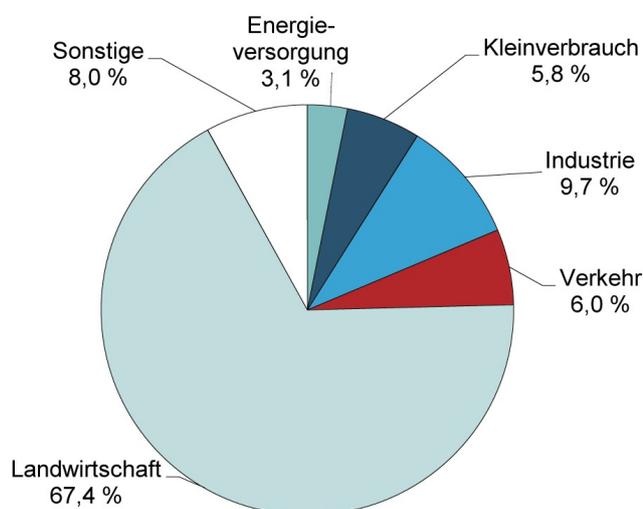


Abb. 1: Anteile der Verursacher-Sektoren von N_2O in Österreich im Jahr 2013. Quelle: Umweltbundesamt

Betrachtet man die N_2O -Emissionen weltweit, so nahmen diese im Jahr 2011 einen Anteil von 6,5 % an den globalen Treibhausgas-Emissionen ein.

Neben dem direkten Beitrag zum Treibhauseffekt in der Troposphäre (also der untersten Schicht der Atmosphäre) wirkt N_2O in der Stratosphäre (Schicht über der Troposphäre) auch indirekt. Durch eine Reihe von chemischen Reaktionen bewirkt ein N_2O -Anstieg nämlich auch eine Reduktion des Ozon-Gehaltes in der oberen Stratosphäre, was zu einer erhöhten Durchlässigkeit für UV-Strahlung bis zur Erdoberfläche führt. Das ist das berüchtigte Ozonloch, zum dem N_2O also auch beiträgt.

Entstehung von Distickstoffmonoxid

Distickstoffmonoxid entsteht bei natürlichen Vorgängen wie bei der bakteriellen Denitrifikation (Reduktion von NO_3^- zu N_2) oder Nitrifikation (Oxidation von NH_4^+ zu NO_3^-). Das ist Teil des natürlichen Stickstoffkreislaufes. Außerdem bildet es sich beim biologischen Abbau stickstoffhaltiger Verbindungen (zB Dünger in der Landwirtschaft und Viehhaltung).

Bei der anthropogen (also vom Menschen) verursachten Denitrifikation in Kläranlagen entsteht N_2O als Nebenprodukt. Es entsteht aber auch durch technische Prozesse wie bei der Verkokung (= Verfahren zur Kohleveredlung), in Abgaskatalysatoren beim Abbau von Stickstoffoxiden und in der chemischen Industrie (zB bei der Produktion von Adipinsäure = Grundbaustoff von vielen Kunststoffen).

In Österreich ist die Landwirtschaft die mit Abstand größte Quelle für Distickstoffmonoxid (siehe Abb. 1, 67,4 % im Jahr 2013). Ein großer Teil davon stammt von landwirtschaftlich genutzten Böden durch die Aufbringung von Stickstoffdüngern (Wirtschaftsdünger und mineralischer Dünger). Die anderen Verursacher halten sich ungefähr die Waage.

Positiv ist zu berichten, dass die gesamten Distickstoffmonoxid-Emissionen in Österreich seit 1990 stetig sinken. Ein bedeutender Anstieg der Lachgas-Emissionen um 143 % war in diesem Zeitraum hingegen nur im Bereich von Kläranlagen

zu verzeichnen. Hauptverantwortlich für diese Steigerung ist die Entfernung von Stickstoff aus Abwässern. Dieser Prozess ist aber notwendig, um die Wiedereinleit-Bedingungen in Gewässer zu erfüllen. Dieser Reinigungsschritt des Abwassers dient also dem Schutz der Gewässerökologie. Der hohe Anstieg der Lachgas-Emissionen wird dabei v. a. auf den wachsenden Anschlussgrad von Haushalten an kommunale Kläranlagen zurückgeführt (immer weniger Senkgruben) und vor allem auf die steigende Reinigungsleistung der Anlagen - also eigentlich durchwegs erfreuliche Entwicklungen. Hier bedingt also eine umweltschonende Maßnahme eine Verschlechterung in einem anderen Bereich, was ein Diskussionsthema in der „Didaktischen Umsetzung“ darstellen kann.

Distickstoffmonoxid im Alltag

Der Name Lachgas für Distickstoffmonoxid ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass beim Einatmen eine Euphorie entstehen kann oder dass sich durch Einatmen des Gases Zwerchfellkrämpfe einstellen können, die von Außenstehenden als Lachen interpretiert werden. Jedenfalls wurde es bereits ab dem 18./19. Jahrhundert von Zahnärzten für narkotisierende Zwecke verwendet.

Lachgas findet heute auch in alltäglichen Produkten Anwendung. Man verwendet es zB als süßlich riechendes Treibgas in Patronen für Sprühsahneflaschen.

Die leicht narkotisierende Wirkung des Gases ist übrigens Grund dafür, dass einige Personen dieses

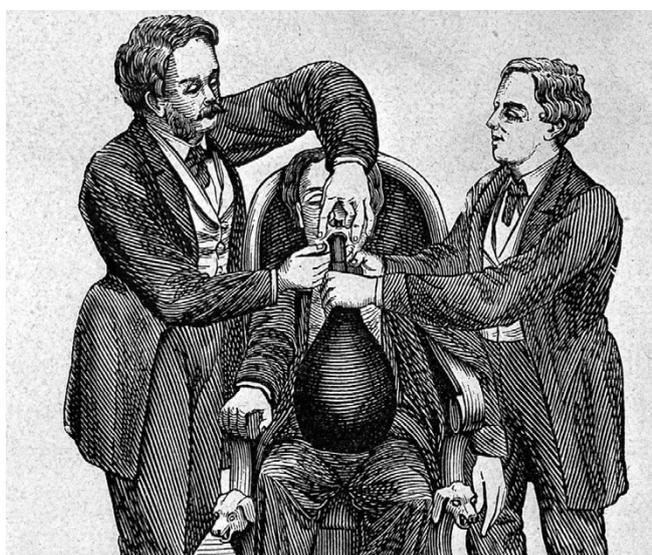


Abb. 2: Lachgas-Verabreichung an einen Patienten im Jahr 1863
Quelle: Wikimedia Commons

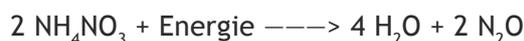
Gas, das sie aus den Sahneflaschen abzapfen, zum Sniffen verwenden (= Einatmen von euphorisierend wirkenden, aber meist gesundheitsschädlichen Gasen und Dämpfen).

N₂O kann auch in Gaskartuschen erworben werden, weil Distickstoffmonoxid leicht verflüssigbar ist. Sein Siedepunkt beträgt -88,5 °C, weshalb es in Gasflaschen abgefüllt werden kann.

Schließlich nutzt man Lachgas sogar noch zum Tunen von Benzinmotoren, wodurch die Leistung des Motors erheblich gesteigert wird, allerdings mit Überhitzungsgefahr! Dies ist eine Erfindung aus dem 2. Weltkrieg für hochfliegende Flugzeuge, denen in einer Flughöhe oberhalb von 10 km aufgrund der dünnen Luft der Sauerstoff für die Treibstoffverbrennung ausging.

Distickstoffmonoxid im Unterricht

Da N₂O in Patronen für Sprühsahneflaschen leicht erhältlich ist, kann dieses Gas problemlos für Experimente bezogen werden. Der Vollständigkeit halber sei hier aber auch noch die Herstellung von N₂O aus Ammoniumnitrat nach folgender Gleichung erwähnt:



Auch wenn im Internet zahlreiche Anleitungen zu finden sind, wie man N₂O herstellen kann, wird hier empfohlen, im schulischen Umfeld darauf zu verzichten. Von der Gewinnung von N₂O aus Ammo-



Abb. 3: N₂O als Gas in Patronen für Sprühsahneflaschen

niumnitrat in einem Reagenzglas über dem Brenner ist dringend abzuraten, denn dabei kann man die Temperatur nicht kontrollieren. Die Zersetzung ab 300 °C kann außer Kontrolle geraten, denn dann zerfällt Ammoniumnitrat explosionsartig!

Distickstoffmonoxid alleine ist wie Sauerstoff als Gas zwar selbst nicht brennbar, aber es hält Verbrennungen aufrecht, ist also ein brandfördernder Stoff und trägt deshalb das Gefahrensymbol für brandfördernd.



Glimmspanprobe - ein Nachweis für N_2O

Die Glimmspanprobe wird in der Chemie in der Regel für den Nachweis von Sauerstoff verwendet. Distickstoffoxid zeigt jedoch dieselbe Reaktion. Im Normalfall kann man eines der beiden Gase von vornherein ausschließen und den Nachweis des anderen als eindeutig ansehen.

Hält man einen glimmenden Holzspan in ein Gefäß mit N_2O , so flammt der Holzspan auf und brennt wieder. Distickstoffoxid wurde also durch seine brandfördernde Wirkung nachgewiesen.

Didaktische Umsetzung

Nachdem die SchülerInnen anhand eines Steckbriefes und ergänzender Ausführungen der Lehrperson mit Hintergrundwissen zu Lachgas versorgt wurden, wird eine Diskussion zum Thema „Lachgas als Luftverschmutzer“ angeregt. Dazu dienen zwei ausgewählte Artikel mit gefilterten Informationen. Nachdem sich die SchülerInnen so einen Überblick verschafft haben, wird zur Vertiefung noch ein einfacher Versuch durch die Lehrperson vorgezeigt, der am beigelegten Protokollblatt von den SchülerInnen dokumentiert werden kann.

Inhalte	Methoden
15 Minuten	
<p>Hinführung zum Thema</p> <p><i>Hintergrundwissen vermitteln</i></p> 	<p><u>Material</u> Beilage „Fachinformation - Steckbrief Lachgas“</p> <p>Den SchülerInnen wird der Lachgas-Steckbrief ausgehändigt und anhand dessen werden kurz die wichtigsten Eckdaten zu N₂O besprochen.</p>
25 Minuten	
<p>Diskussionsrunde</p> <p><i>Trends erkennen, Maßnahmen und Informationen konstruktiv hinterfragen</i></p> 	<p><u>Material</u> Beilage „Diskussions-Handout - Artikel 1 - FOCUS Online“ Beilage „Diskussions-Handout - Artikel 2 - Umweltbundesamt“</p> <p>Die Klasse wird in zwei Gruppen geteilt. Eine Gruppe erhält vorerst nur den Artikel 1, die zweite Gruppe nur den Artikel 2, mit dem Auftrag, die Artikel aufmerksam zu lesen. Mit dem unterschiedlichen Informationsstand soll eine Diskussion gestartet werden.</p> <p>Ein/e DiskussionsleiterIn startet die Diskussion mit einigen Fragen und hält die Diskussion am Laufen.</p> <p>Anregungsfragen für den/die DiskussionsleiterIn:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Weltweit ist von einem leichten Anstieg der Lachgasemissionen die Rede. Wie sieht es in Österreich aus? • Auf der einen Seite wird eingespart, auf der anderen Seite verursacht. Inwieweit sind derartige Maßnahmen sinnvoll? • Stimmt dich dieser Trend in Österreich positiv? <p>Nach Diskussionsende werden die gegengleichen Artikel ausgehändigt.</p>

Abschluss - Lachgasexperiment	10 Minuten
<p><i>Lachgas wird experimentell nachgewiesen.</i></p> 	<p><u>Material</u></p> <p>Glasyylinder oder Erlenmeyerkolben (Weithalsform), handelsüblicher Sahnespender inkl. Patronen, Feuerzeug, Glimmspan, Glas mit Wasser, Beilage „Protokollblatt - Lachgasnachweis mit Sprühsahnepatronen“</p> <p>Die Lehrperson führt den Versuch vor der gesamten Klasse vor. Die SchülerInnen protokollieren diesen mit Zeichnungen und einer Ergebnisbeschreibung.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Patrone (auf der Verpackung muss „N₂O“ stehen) wird auf den leeren Sahnespender geschraubt und das gesamte Gas aus der Flasche in den Glasyylinder entlassen. • Den Glimmspan anzünden und ein paar Sekunden brennen lassen, damit er danach gut glüht. • Glimmspan ausblasen und den glühenden/rauchenden (nicht brennenden) Glimmspan in den Zylinder halten. • Der Glimmspan entzündet sich hell durch das brandfördernde Lachgas. • Der Glimmspan in einem Wasserglas ablöschen. <p>Bei Einhalten des Versuchsablaufs kann der Nachweis relativ gefahrlos durchgeführt werden.</p>

Beilagen

- ▶ Fachinformation - Steckbrief Lachgas
- ▶ Diskussions-Handout - Artikel 1 - FOKUS Online
- ▶ Diskussions-Handout - Artikel 2 - Umweltbundesamt
- ▶ Protokollblatt - Lachgasnachweis mit Sprühsahnepatronen

Weiterführende Themen

- ▶ Luftschadstoffe
- ▶ Treibhausgase
- ▶ Treibhauseffekt und dessen Verursacher
- ▶ Österreich als Vorreiter bei Umwelt- und Klimaschutz?

Weiterführende Informationen

Praxismaterialien

- <http://www.ubz-stmk.at/materialien-service/downloads/gesundheit/>
Materialien zum Thema „Luftproblematik und Feinstaub in der Steiermark“ inkl. Unterrichtsmappe „Unser Lebensmittel Luft“
- <http://www.ubz-stmk.at/stundenbilder>
weitere Stundenbilder zu den Themen Feinstaub und CO₂

Literatur

- <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0543.pdf>
Emissionstrends 1990-2013. Ein Überblick über die Verursacher von Luftschadstoffen in Österreich (Datenstand 2015). Hrsg. Umweltbundesamt, Wien 2015



Noch Fragen zum Thema?

Mag. Michael Krobath, Mag. Denise Gaal
Projekte „KlimaFit“, „Unser Lebensmittel Luft“ und
„Schulatlas Steiermark“
Telefon: 0043-(0)316-835404-2
michael.krobath@ubz-stmk.at
denise.gaal@ubz-stmk.at



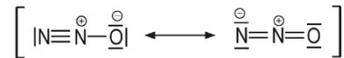
www.ubz-stmk.at

Steckbrief Lachgas

Name: Distickstoffmonoxid

Lewis-Darstellung:

Trivialname: Lachgas



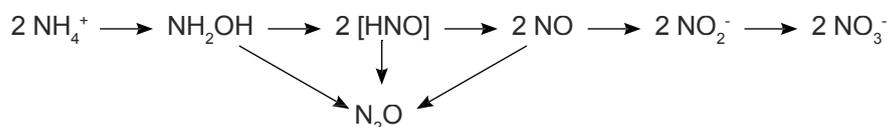
Chemische Formel: N₂O

Eigenschaften

- Siedepunkt -88,5 °C -> leicht verflüssigbares Gas
- Permanenter Dipol, daher direkt treibhausaktiv; 298-mal aktiver als CO₂, auch indirekt treibhausaktiv, weil es zur Reduktion von Ozon beiträgt
- brandförderndes Gas, reagiert mit Wasserstoff in einer Knallgasexplosion 

Entstehung und Vorkommen

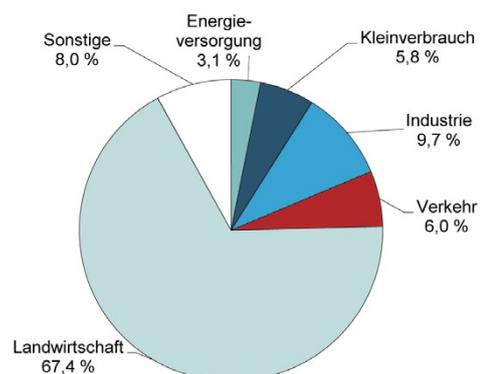
- Als Spurengas in der Atmosphäre vorhanden
- Teil des natürlichen Stickstoffkreislaufs. Entsteht bei der bakteriellen Denitrifikation (Reduktion von NO₃⁻ zu N₂) oder Nitrifikation (Oxidation von NH₄⁺ zu NO₃⁻).



- Anthropogene Quellen:
In den meisten Fällen entsteht N₂O aus Ammoniumnitrat oder als Nebenprodukt bei Verbrennungsreaktionen von stickstoffhaltigen Ausgangsmaterialien.

Beispiele:

- Dünger in der Landwirtschaft und Viehhaltung
- Denitrifikation in Kläranlagen
- technische Prozesse wie bei der Verkokung
- in Abgaskatalysatoren beim Abbau von Stickstoffoxiden
- in der chemischen Industrie: Lösemiteileinsatz und Produktion von Adipinsäure
- als Treibgas zB in Sprühsahnepatronen
- zum Tunen von Verbrennungskraftmotoren



Das Tortendiagramm zeigt die Anteile der Verursacher-Sektoren von N₂O in Österreich im Jahr 2013. *Quelle: Umweltbundesamt*

Artikel 1 - FOKUS Online

Lachgas gefährlicher als FCKW

Quelle: FOCUS Online



Lachgas stellt mittlerweile die größte Bedrohung für die Ozonschicht dar. Das Problem: Die Freisetzung von Lachgas ist schwer zu kontrollieren und es ist zugleich noch ein potentes Treibhausgas.

Hauptquellen für Lachgas sind die Landwirtschaft und industrielle Verbrennungsanlagen. Neben seinem ozonabbauenden Potenzial wirkt das Stickoxid auch als Treibhausgas, und das fast 300-mal stärker als Kohlendioxid. Das schreiben Akkihebbal Ravishankara und seine Kollegen vom staatlichen Earth System Research Laboratory in Boulder/Colorado im Fachjournal „Science“. Lachgas ist auf der Erdoberfläche stabil und reagiert kaum mit anderen Luftbestandteilen. In der Stratosphäre zwischen zehn und 50 Kilometer Höhe herrschen jedoch andere Bedingungen. Hier zersetzt sich das Lachgas zu reaktiven Chemikalien, welche ozonabbauende Kettenreaktionen in Gang setzen.

Dasselbe Problem ist aus den 80er-Jahren bekannt: In Spraydosen als Treibmittel verwendete Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKWs) waren lange der „Ozonkiller“ Nummer eins. Dies habe sich nun geändert, berichten die Forscher.

Durch Gegenmaßnahmen wie das Montreal-Protokoll von 1989 konnte die Emission von FCKWs effizient eingedämmt werden, und ihr Gefahrenpotenzial hat sich damit wesentlich verringert. Nicht so bei Lachgas. Es ist nicht so leicht lokalisierbar und damit kontrollierbar wie seine Vorgänger. Als wichtigste Quellen nennen die Forscher die industrielle Landwirtschaft mit ihrem hohen Düngereinsatz, Verbrennungs- oder Kläranlagen.

Die Industrie- und Entwicklungsländer müssten gemeinsam versuchen, den Ausstoß des Stickoxids einzudämmen. Ist es einmal in die Atmosphäre gelangt, richtet es jahrelang Schaden an. Weltweit nimmt der Ausstoß jedes Jahr um ein Viertelprozent zu. Lachgas verstärkt außerdem die weltweite Klimaproblematik. In der Luft schwebende Moleküle reflektieren Wärmerückstrahlung, die von der Erdoberfläche ausgeht. Ohne die Teilchen würde sie ins Weltall abgestrahlt, aber so wird sie wieder zur Erde zurückgeworfen. So wirkt Lachgas wie CO₂ als Treibhausgas und trägt zur Erwärmung der Atmosphäre bei.

Artikel 2 - Umweltbundesamt

Ausschnitte aus dem Klimaschutzbericht des Umweltbundesamtes 2014



Lachgas (N_2O) nahm 2011 einen Anteil von 6,5 % an den gesamten Treibhausgas-Emissionen ein. In Österreich sind die Lachgas-Emissionen seit 1990 um 15,8 % gesunken. Lachgas entsteht beim biologischen Abbau stickstoffhaltiger Verbindungen (zum Beispiel Dünger), in Abgaskatalysatoren beim Abbau von Stickstoffoxiden und in der chemischen Industrie.

In Österreich erfolgt die Behandlung kommunaler Abwässer vorwiegend in kommunalen Kläranlagen. Zum Schutz der Gewässer und aus hygienischen Gründen wurden in den letzten Jahren ländliche Gebiete verstärkt an Kläranlagen angeschlossen. Diese Entwicklung sowie die zunehmende Verstädterung haben dazu geführt, dass sich der Anschlussgrad der Bevölkerung an die öffentliche Kanalisation von 71 % (1991) auf ca. 94 % (2010) erhöht hat. Dadurch nahm gleichzeitig die Bedeutung von Senkgruben deutlich ab.

Die Lachgas-Emissionen aus Kläranlagen sind dadurch aber um 143 % angestiegen - von 353 Tonnen (1990) auf 859 Tonnen (2012). Neben dem wachsenden Anschlussgrad war hierfür vor allem die steigende Reinigungsleistung der kommunalen Kläranlagen (Stickstoffentfernung) verantwortlich. Lachgas entsteht in Kläranlagen als Nebenprodukt bei der Umwandlung von Ammonium über Nitrat in elementaren Stickstoff (Denitrifikation). Die Denitrifikation ist notwendig, um die von der Abwasseremissionsverordnung für kommunales Abwasser geforderten Einleitbedingungen für größere Anlagen in Gewässer zu erfüllen. Sie ist ein bedeutender Abwasserreinigungsschritt zum Schutz der Gewässerökologie, da über den Klärschlamm nur ein Teil des Stickstoffs (25-30 %) entzogen wird. Insgesamt stieg der durchschnittliche Stickstoffentfernungsgrad von 10 % im Jahr 1990 auf 80 % im Jahr 2010. Die Vorgaben für die Stickstoffentfernung aus dem Abwasser gemäß Abwasseremissionsverordnung sind bereits erfüllt. Die N_2O -Emissionen werden dadurch künftig nicht oder nur geringfügig in Abhängigkeit von der Bevölkerungsentwicklung weiter ansteigen.

Lachgasnachweis mit Sprühsahnepatronen

Beobachte und protokolliere den Versuch zum Nachweis von N_2O .

Welche Materialien werden für den Versuch benötigt?

Beschreibe und skizziere den Versuchsablauf!

Was passiert und was sagt der Versuch aus?

Kann mit dieser so genannten „Glimmspanprobe“ auch ein anderes brandförderndes Gas nachgewiesen werden?
