

## II.H.38

### Chemie bestimmt unser Leben

## Lachgas – das etwas andere Stickoxid

Ein Beitrag von Hubert Giar

Mit Illustrationen von Wolfgang Zettlmeier



Lachgas ist eine Stickstoff-Sauerstoffverbindung, die im Gegensatz zu den Stickstoffoxiden aus den Autoabgasen nicht als giftiger Gefahrstoff eingestuft ist. Vielmehr findet Lachgas Verwendung in der Medizin und als Lebensmittelzusatzstoff. Chemisch betrachtet ist diese Stickstoff-Sauerstoffverbindung dem Kohlenstoffdioxid sehr ähnlich, wirkt ebenfalls als Treibhausgas und ist damit klimarelevant. In immer größerem Umfang entsteht es als Folge der Massentierhaltung auf überdüngten Ackerflächen. Diese Stickstoffoxidproduktion aus der Landwirtschaft hat in Deutschland inzwischen einen Anteil von 15 % an den gesamten Stickstoffoxidemissionen.

#### KOMPETENZPROFIL

**Klassenstufe:** 11/12 (G8), 11–13 (G9)

**Dauer:** 8 Unterrichtsstunden

**Kompetenzen:** 1. Gesetzmäßigkeiten und Theorien fachspezifisch beschreiben, erarbeiten und anwenden; 2. Experimente nach Anleitungen durchführen, auswerten und beschreiben; 3. Sachverhalte in naturwissenschaftlichen Zusammenhängen bewerten; 4. Einsatz und Wirkung von Stoffen in der alltäglichen Anwendung beurteilen.

**Thematische Bereiche:** Redoxreaktionen, Gefahrstoffe, Gasgesetze, Reaktionsenthalpie, Aktivierungsenergie, Stickstoffkreislauf, Treibhauseffekt

## Hintergrundinformationen

Das Thema Lachgas eröffnet eine breite Behandlung der aktuellen Problematik um die Stickoxide. Die Facette anwendungsbezogener Einstiege umfasst die Emissionen von Verbrennungsmotoren und von überdüngten landwirtschaftlichen Flächen ebenso wie Katalysatortechnik, Motortuning sowie Bereiche aus der Lebensmittelaufbereitung und aus der Medizin. Weiterhin ermöglicht das Lachgas einen experimentellen Zugang zu den sonst giftigen Stickoxiden. Neben dem Lachgas werden bei den Versuchen noch weitere Gase mit Alltagsbezug eingesetzt.

Das Struktur-Eigenschafts-Konzept wird umgesetzt mit der Korrelation der Struktur und Eigenschaften der ausgewählten Gase und der Identifizierung von Gasen. Das Donator-Akzeptor-Konzept und das Stoff-Teilchenkonzept finden sich wieder bei den Redoxreaktionen und den Oxidationszahlen, das Energie-Konzept bei der Thematisierung der Energie in der Motortechnik. Vertreten sind die Themenbereiche Nichtmetalloxide und Säuren, chemische Bindungen, qualitative Bestimmungen, Synthese chemischer Produkte, Gasgesetze und Umweltchemie.

Nach der Betrachtung aller für die Atmosphäre relevanten Stickstoffoxide (**M 1**) werden die Emissionen von Verbrennungsmotoren betrachtet und insbesondere auch deren Reduzierung (**M 2**). Speziell mit dem Distickstoffmonoxid (Lachgas) beschäftigen sich die folgenden zwei Materialien, zunächst mit dem Schwerpunkt der Struktur (**M 3**) und dann mit dem Schwerpunkt der Eigenschaften (**M 4**). Die Alltagsanwendungen des Lachgases als Treibmittel und als Narkosemittel (**M 5**) schließen sich an, in **M 6** folgt dessen Gebrauch zum Motortuning. Die beiden letzten Arbeitsblätter betrachten die Umweltrelevanz des Lachgases, zunächst die Bildung auf überdüngten Feldern (**M 7**) und anschließend die Wirkung in der Atmosphäre (**M 8**).

## Hinweise zur Didaktik und Methodik

Die Stickoxide sind in den Lehrplänen aller Bundesländer enthalten. Sie treten bei dem Stickstoffdioxid-Distickstofftetraoxid-Gleichgewicht auf, bei der Synthese der Salpetersäure, den Redoxreaktionen der Salpetersäure, bei der Nitrierung von Aromaten und schließlich in der Umweltchemie. Von Stickstoff gibt es sehr viel mehr unterschiedliche Oxide als von den im Unterricht der gymnasialen Oberstufe ebenfalls relevanten Nichtmetallen Kohlenstoff und Schwefel. Weiterhin stehen diese Stickstoffoxide in einem inneren Zusammenhang, da sie oft wechselseitig durch Reaktionen von Vereinigung und Zerfall gebildet werden. Das macht eine intensive systematische Betrachtung im Unterricht notwendig und kann mit den hier vorgestellten Materialien umgesetzt werden. Das Distickstoffmonoxid fällt aus dieser Systematik etwas heraus, da es weder aus anderen Stickstoffoxiden entsteht noch in diese zerfällt. Es ist auch das einzige Stickstoffoxid, das nicht zu einer Säure umgesetzt werden kann und gibt auch damit Anlass zu weiteren Betrachtungen und Untersuchungen. Insbesondere die Vergleiche mit anderen Gasen aus dem Alltag können mit Schülerexperimenten mit einem relativ kleinen Gefährdungspotential durchgeführt werden, um dabei auch mit Größen wie Dichte, Stoffmenge und molare Masse sowie mit dem allgemeinen Gasgesetz zu arbeiten. Jedes Arbeitsblatt enthält fachspezifisches Material in Form von Texten, Tabellen, Grafiken und Skizzen oder Versuchsanleitungen. Es folgen immer Aufgaben mit Bezug zu den Materialien. In der Regel sind weitere Aufgaben mit weiterführenden Aspekten ergänzt. Für die Lösung der Aufgaben sind alle notwendigen Informationen und Daten zu Verfügung gestellt, wenn auch nicht immer kompakt für das einzelne Problem aufbereitet. Teilweise müssen auch Ergebnisse vorangegangener Aufgaben eingebracht werden. Damit ergeben sich einfache und komplexere Aufgaben und damit unterschiedliche Anforderungsprofile für ein differenziertes Lernangebot.

Das erste Arbeitsblatt **M 1** befasst sich mit dem angesprochenen Überblick und mit der Systematik der Stickstoffoxide. Ein erster Umweltaspekt folgt im Arbeitsblatt **M 2** mit der Betrachtung der Stickstoffoxidemissionen von Verbrennungsmotoren und der Katalysatortechnik zur Eindämmung dieser Emissionen. Die Struktur und die Eigenschaften des Distickstoffmonoxids sind im Vergleich mit weiteren Gasen in **M 3** und **M 4** thematisiert. Die angesprochene Sonderstellung bezüglich der Reaktion mit Wasser und der sich daraus ergebende Einsatz als Treibmittel greift das Arbeitsblatt **M 5** auf, den Einsatz zum Motortuning mit dem Aspekt der Metastabilität **M 6**. Das zweite Umweltthema, das Distickstoffmonoxid als Treibhausgas, wird schließlich im Arbeitsblatt **M 7** bezüglich der Bildung des Gases und in **M 8** bezüglich seiner Wirkung in der Atmosphäre behandelt.

Da die Arbeitsblätter **M 1**, **M 3** und **M 4** für die übergeordnete Thematik grundlegend sind, sollten sie immer behandelt werden. Die Beschäftigung mit den Anwendungen in **M 5** und **M 6** und die Umweltthemen in **M 2**, **M 7** und **M 8** kann je nach Interessensschwerpunkten und Zeitkontingenten erfolgen. Für eine Bearbeitung in verschiedenen Lerngruppen mit anschließenden Präsentationen sind diese fünf Arbeitsblätter besonders geeignet.

### Durchführung

In den Hinweisen sind die Wirkungen der giftigen Stickoxide auf den menschlichen Organismus etwas ausführlicher angesprochen. Weiterhin sind dort auch einige Ergänzungen und Alternativen zu den Experimenten angegeben. Zu jeder Aufgabe gibt es einen Lösungsvorschlag, inklusive der Reaktionsgleichungen und der ausführlichen Rechnungen. Zu den Versuchen sind auch immer tatsächlich ermittelte Ergebnisse angegeben, so dass es grundsätzlich möglich ist, die Arbeitsblätter ohne selbst gefundene Messergebnisse zu bearbeiten. Die Bearbeitung der Aufgaben in der vorgegebenen Reihenfolge wird empfohlen, da sich Aufgabenteile nicht selten auf vorher gefundene Lösungen beziehen.

### Hinweise zum fachübergreifenden Unterricht

Die Materialien können in fachübergreifenden und fächerverbindenden Projekten zur Verkehrswende und zum Klimawandel eingebracht werden.

### Literatur

- ▶ **Holleman, Arnold F., Wiberg, Nils:** *Anorganische Chemie: Grundlagen der Hauptgruppenelemente.* Verlag Walter de Gruyter, Berlin, New York 2016.  
Das Buch gilt als Standardwerk für die Anorganische Chemie und ist auch für Schulen als Nachschlagewerk zu empfehlen.
- ▶ **Zellner, Reinhard (Hrsg.):** *Chemie über den Wolken ... und darunter.* Wiley-VCH Verlag, Weinheim 2011.  
Neben weiteren Aufsätzen zu chemischen Vorgängen in der Atmosphäre enthält der Band die Beiträge „Lachgas- nicht immer zum Lachen“, „Katalysatoren- die Schadstoffkiller im Auto“ und „Kohlenwasserstoffe, Stickoxide und Ozon- dicke Luft“.
- ▶ **Robert Bosch GmbH (Hrsg.):** *Kraftfahrtechnisches Taschenbuch.* Verlag Springer Vieweg, Wiesbaden 2018.  
Das Buch gilt als Nachschlagewerk zu allen Fragestellungen der Kraftfahrzeugtechnik inklusive der physikalischen und chemischen Grundlagen.

## Auf einen Blick

Ab = Arbeitsblatt Sv = Schülerversuch

### 1./2. Stunde

**Thema:** Binäre Stickstoff-Sauerstoffverbindungen

**M 1** (Ab) Stickoxide in der Atmosphäre

**M 2** (Ab) Stickoxidemissionen

### 3./4. Stunde

**Thema:** Gemeinsamkeiten und Unterschiede

**M 3** (Ab) Struktur und Eigenschaften

**M 4** (Sv) Zündgemische

#### Dichtebestimmung und Zündfähigkeit

**Dauer:** Vorbereitung: 30 min Durchführung: 30 min

**Chemikalien:**

Ballon mit Helium

Ballon mit Sauerstoff 

Ballon mit Distickstoffmonoxid  

Ballon mit Kohlenstoffdioxid

Ballon mit Methan 

**Geräte:**

Spritzen (Luer-Lock 5 mL, 10 mL, 10mL mit Dreiwegehahn, 200 mL)

Analysenwaage

Stopfenkanone

### 5./6. Stunde

**Thema:** Gebrauchsgase

**M 5** (Sv) Treibgase

#### Löslichkeit von Gasen in Wasser

**Dauer:** Vorbereitung: 30 min Durchführung: 30 min

**Chemikalien:**

Ballon mit Helium

dest. Wasser

Ballon mit Distickstoffmonoxid  

Tashiro-Mischindikator-Lösung 

Ballon mit Kohlenstoffdioxid

Süße Sahne

**Geräte:**

Spritzen (Luer-Lock 20 mL, 2 x 50 mL mit Stopfen)

Messzylinder

Thermometer, Barometer

**M 6** (Ab)

Motor tuning

### 7./8. Stunde

**Thema:** Treibhausgase

**M 7** (Ab) Aus dem Boden ...

**M 8** (Ab) ... in die Luft



Die GBUs finden  
Sie auf der CD 72.



Die GBUs finden  
Sie auf der CD 72.

## Stickoxide in der Atmosphäre

M 1

Die beiden im Periodensystem benachbarten Elemente Stickstoff und Sauerstoff sind die Hauptbestandteile der Luft. Sie bilden eine Reihe binärer Moleküle. Diese werden mit dem Begriff Stickstoffoxide oder vereinfacht Stickoxide zusammengefasst. Die Verbindungen mit den Formeln NO, NO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> treten als Spurengase in der Atmosphäre auf und sind als umweltgefährdend eingestuft, N<sub>2</sub>O als klimarelevant.

### Regeln zur Namensgebung binärer Moleküle

An erster Stelle steht der „normale“ Name des Elements mit der kleineren Elektronegativität (hier Stickstoff), dann folgt der Anionen Name des zweiten Elements (hier Oxid). Für die Anzahl der Atome wird vor dem Namen ein **Präfix** ergänzt (mono, di-, tri-, tetra-, penta-). Mono wird insbesondere beim erstgenannten Element oft weggelassen. Für die Namensgebung von binären Ionenverbindungen wird an erster Stelle der Name des Kations genannt und an zweiter Stelle ebenfalls der Anionen Name. Anstelle eines Präfix wird hier allerdings hinter dem Namen des Kations in Klammern dessen Oxidationsstufe ergänzt: Kupfer(I)oxid für Cu<sub>2</sub>O und Kupfer(II)oxid für CuO.

### Stickstoffoxide

OxSt.	Formel	Name
	N <sub>2</sub> O	
	NO	
	N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
	NO <sub>2</sub>	
	N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	
	N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	

weitere (Spuren)-Gase in der Luft		
OxSt.	Formel	Name
	CO	
	O <sub>2</sub>	
	SO <sub>2</sub>	

### Aufgaben

- Ergänzen** Sie in der Tabelle die fehlenden Namen der binären Moleküle. **Ergänzen** Sie die Oxidationsstufen (OxSt.) von N, C und S in den ausgewählten Verbindungen. Beachten Sie, dass O in diesen Verbindungen die Oxidationsstufe –II hat und die Summe aller Oxidationsstufen immer Null ergibt.
  - Im Feinstaub der Luft kann auch das Schwermetall Blei nachgewiesen werden. Es liegt dort auch als PbO und als PbO<sub>2</sub> vor. **Geben** Sie die Namen dieser beiden Stoffe an.
- Distickstofftrioxid ist eine blaue Flüssigkeit und nur unter 3 °C stabil. Es zerfällt bei höheren Temperaturen in zwei weitere Stickstoffoxide. Distickstoffpentoxid liegt bei niedrigen Temperaturen in farblosen Kristallen vor. Bei Raumtemperatur zerfällt es in Stickstoffdioxid und Sauerstoff. **Formulieren** Sie die Reaktionsgleichungen zu beiden Zerfallsreaktionen. **Erläutern** Sie für jede Reaktion, was oxidiert wird und was reduziert wird.
- Stickoxide werden in einem großtechnischen Verfahren durch katalytische Oxidation von Ammoniak mit Sauerstoff hergestellt und weiter zu Salpetersäure umgesetzt (Verfahren nach Wilhelm Ostwald). Im ersten Schritt wird aus Ammoniak und Sauerstoff an einem Platin-Rhodium Katalysator bei etwa 900 °C Stickstoffmonoxid und Wasser gebildet. Bei Temperaturen unter 50 °C reagiert das Stickstoffmonoxid mit Sauerstoff im zweiten Schritt zu Stickstoffdioxid, das zu Distickstofftetraoxid dimerisiert. Im letzten Schritt entsteht aus Distickstofftetraoxid und Wasser die Salpetersäure (HNO<sub>3</sub>) und die Salpetrige Säure (HNO<sub>2</sub>). **Entwickeln** Sie zu der Synthese mit den Formeln der beteiligten Stoffe ein Reaktionsschema.

## Treibgase

M 5

Kohlenstoffdioxid ist in Wasser löslich. Das wird beim Öffnen einer Flasche mit Sprudelwasser deutlich, wenn das bei einem höheren Partialdruck gelöste Gas heftig austritt. Darüber hinaus reagiert das Kohlenstoffdioxid mit dem Wasser zu Kohlensäure. Hier soll experimentell überprüft werden, was für die Löslichkeit von Distickstoffmonoxid in Wasser gilt und ob hier eine analoge Reaktion mit Wasser nachgewiesen werden kann. Beide Gase werden in der Lebensmittelaufbereitung als Treibgase eingesetzt. Kohlenstoffdioxid wird bevorzugt bei der Herstellung von Sprudelwasser und in Zapfanlagen für Bier verwendet, Distickstoffmonoxid bei der Aufbereitung von Sprühsahne.

### Schülerversuche: Löslichkeit von Gasen in Wasser

Vorbereitung: 30 min Durchführung: 30 min



#### Chemikalien

- Ballon mit Kohlenstoffdioxid
- Ballon mit Distickstoffmonoxid  
- Ballon mit Helium  
(wie bei M4 zur Gasentnahme vorbereitet, beschriftet)
- abgekochtes dest. Wasser, aufbewahrt im geschlossenen Gefäß
- Tashiro-Mischindikator-Lösung 
- Süße Sahne (2 mL)

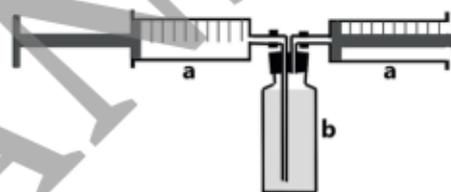
#### Geräte

- Spritzen (20 mL, 2 x 50 mL, Luer-Lock mit Stopfen)
- Waschflasche mit kleinen Verbindungsschläuchen (50 mL)
- Thermometer, Barometer

**Achtung:** Schutzbrille tragen, neutrale Lösungen in den Abfluss

#### Versuch A:

Der Versuch wird entsprechend der Skizze aufgebaut. Die Waschflasche ist mit dem abgekochten Wasser gefüllt. Dessen Volumen ( $V_w$ ) wird genau bestimmt. Einige Tropfen der Indikator-Lösung werden dem Wasser zugesetzt. Eine Spritze wird mit 50 mL ( $V_{G1}$ ) Kohlenstoffdioxid aus dem Ballon befüllt und sofort an die Waschflasche angeschlossen. Die zweite Spritze bleibt leer und wird auf der anderen Seite der Waschflasche angeschlossen.



Skizze: H. Gior

Skizze zum Versuch A mit zwei Luer-Lock-Spritzen (a) und einer Waschflasche mit kleinen Verbindungsschläuchen (b)

Das Gas wird langsam in kleinen Portionen vollständig in die Waschflasche und in die zweite Spritze gedrückt. Die Farben des Waschflascheninhalts ( $F_w$ ) vor und nach dem Einleiten des Gases werden protokolliert. Das Gasvolumen ( $V_{G2}$ ) in der zweiten Spritze wird abgelesen. Die Temperatur ( $\vartheta$ ) des Wassers soll etwa 20 °C betragen, sie wird genau bestimmt, ebenso der Luftdruck ( $p$ ).

Der Versuch wird erst mit Distickstoffmonoxid und dann mit Helium anstelle des Kohlenstoffdioxids wiederholt. Die Wassertemperatur soll bei den drei Teilversuchen gleich bleiben. Um Schwankungen im Luftdruck zu vermeiden, sollen die drei Teilversuche unmittelbar hintereinander durchgeführt werden.