

Chemie-Labothek

# STICKSTOFF- KREISLAUF

BLOCK 2

Welche Auswirkungen haben Stickoxide auf die Umwelt?

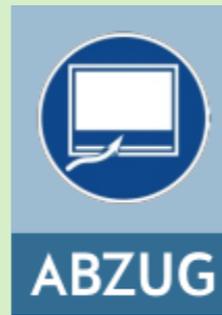


## BLOCK 1

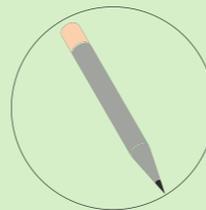
# ANLEITUNG & HINWEISE

Im folgenden Abschnitt finden Sie die Anleitungen zu den Versuchen. Versuchsdurchführungen sind mit einem V gekennzeichnet (z. B. V 2.1). Anschließend sind einzelne Auswertungsfragen/-aufgaben angefügt (z. B. A 1.2).

Zwischendurch werden Sie diverse Symbole und Piktogramme erkennen.



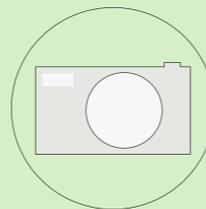
Dieses Symbol weist Sie darauf hin, die beschriebenen Arbeiten im Abzug durchzuführen.



Stellen, an denen Sie etwas ausfüllen oder ergänzen sollen, sind mit diesem Symbol markiert.



Mit einem Klick auf dieses Symbol werden Sie auf eine Quelle im Internet geleitet, die Ihnen zusätzliche Informationen bietet.



Dieses Symbol signalisiert, dass Sie an dieser Stelle mithilfe der Kamera Aufnahmen tätigen sollen.

# Auswirkung von Stickoxiden auf die belebte Natur

## Arbeitsmaterialien

2 Schnappdeckelgläser mit Septum (ca. 30 mL),  
Spritze (ca. 30 mL), 2-Wege-Hahn für Spritze, 3-  
Wege-Hahn, Kanüle (lang), Verschlussstopfen,  
Spritze (ca. 1 mL)

## Chemikalien

Stickoxid-Gas, Grönlilie

## Versuchsskizze



Quelle: Richard Kremer, 2022

V 1.1

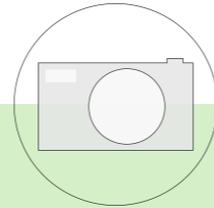


ABZUG

Schneiden Sie ein Blatt der Grünlilie in mehrere kleinere Stücke. Die Schnappdeckelgläser werden mit der gleichen Menge an Grünlilienstücken gefüllt und anschließend mit den vorbereiteten Schnappdeckeln verschlossen. Ziehen Sie ca. 30 mL Luft mit der Spritze aus dem verschlossenen Gefäß, um einen Unterdruck zu erzeugen. Mit der bereitgestellten Spritze wird ein Stickstoffoxid/Luft-Gemisch in das Schnappdeckelglas geleitet. Das zweite Schnappdeckelglas dient als Vergleich.

## Beobachtung

- A 1.1 Nachdem der Versuch wie oben beschrieben aufgebaut und das Stickstoffdioxidgas/ Luft-Gemisch hinzugeführt wurde, halten Sie hier das Aussehen der Grünlilie in beiden Gefäßen „zu Beginn“ fest.

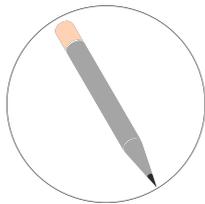


*Ergänzen Sie hier Fotos von Ihrem  
Ergebnis („zu Beginn“)*

## Auswertung

In dem Versuch werden Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ) in das Schnappdeckelgläschen eingeleitet. Der Versuch simuliert den Einfluss von Stickstoffoxiden auf die belebte Natur. Der Anteil an Stickoxiden in der Atmosphäre wird durch anthropogene Einflüsse beeinflusst.

- A 1.2. Sichten Sie die Materialien. Begründen Sie ob und welchen Einfluss die Einführung von Abgasnormen Euro 1 - 6 auf den anthropogenen Stickstoffoxidausstoß hat. Halten Sie dies mit wenigen Sätzen oder Stichpunkten fest.



---

---

---

---

- A 1.3. Notieren Sie sich aus den gesichteten Materialien die Begriffe, die Ihnen wichtig erscheinen.



---

---

# SCR\*-Verfahren: Abgasnachbehandlung mit AdBlue®

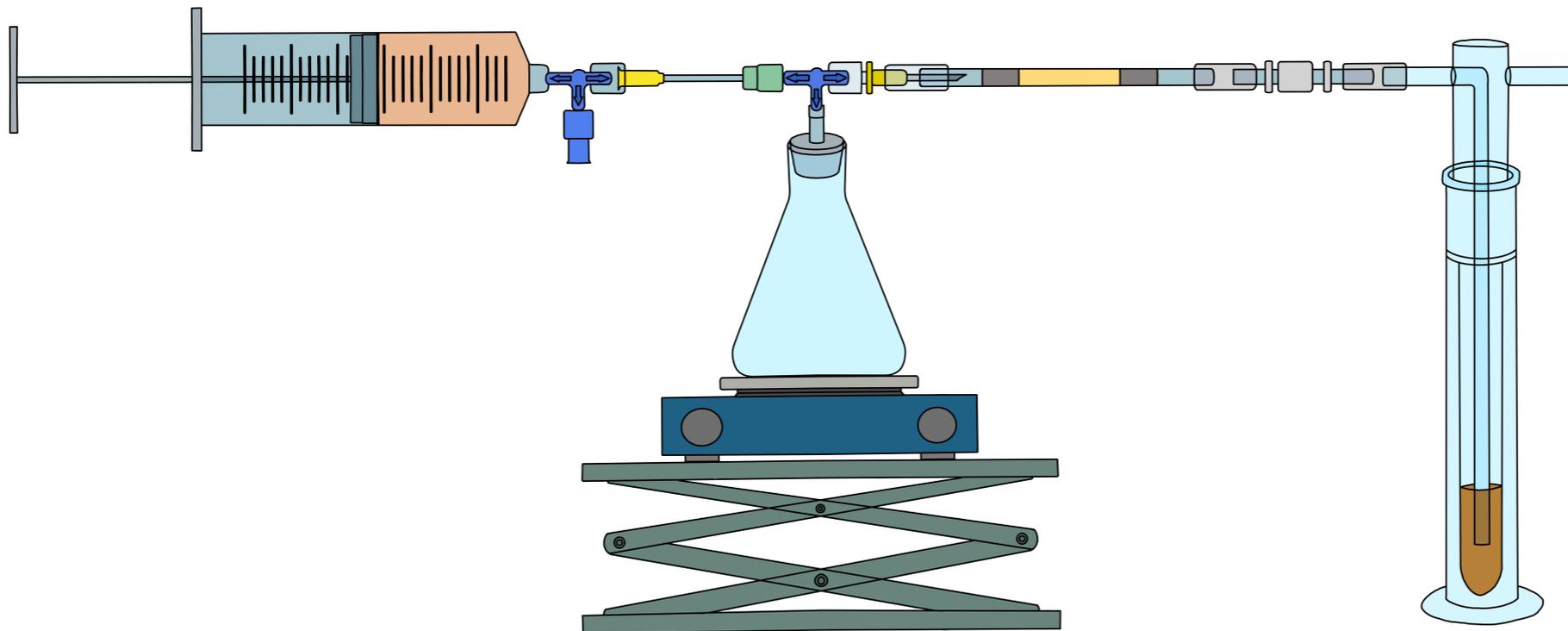
## Arbeitsmaterialien

Glasrohr mit Katalysator, Gaswaschflasche, Septum, Erlenmeyerkolben mit Schliff, Spritze, lange Kanüle, 3-Wege-Hahn, Schlauchverbinder, Laborhebebühne, pH-Papier, Magnetheizrührer, Waage, Schlauchmaterial, Stativmaterial, Heißluftgebläse, 5 Reagenzgläser

## Chemikalien

Gesättigte Harnstoff-Lösung, Saltzmann-Reagenz, Stickoxid-Gas, Druckluft

## Vollständiger Versuchsaufbau zur Behandlung von Reagenzglas 5



Versuchsaufbau mit Harnstoff

\* **S**elective **c**atalytic **r**eduction - selektive katalytische Reduktion



**Sicherheitshinweise:**

Tragen Sie während der Versuche eine Schutzbrille sowie Sicherheitshandschuhe!

Seien Sie vorsichtig im Umgang mit der heißen Versuchsanordnung sowie im Umgang mit den spitzen Nadeln!



Aufbau



ABZUG

Das Saltzman-Reagenz wurde durch Mischen von 0,5 g Sulfanilsäure, 0,005 g N-(1-Naphthyl)-ethyldiaminhydrochlorid, 5 mL Eisessig und 100 mL Wasser vorbereitet. Sichern Sie die Apparatur mit Stativmaterial.

Geben Sie ca. 100 mL Harnstoff-Lösung in den Erlenmeyerkolben und drehen Sie die Laborhebebühne hoch.

Mit dem Heißluftföhn wird der Katalysator auf ca. 500 °C vorgeheizt (Stufe II).

Geben sie in 5 Reagenzgläser jeweils ca. 4 mL der vorbereiteten Saltzman-Reagenz-Lösung. Beschriften Sie die Reagenzgläser mit den Zahlen 1-5. Ein Reagenzglas verschließen Sie als Referenz (Probe 1) und stellen es zu Seite.

## Versuchsdurchführung - SCR-Verfahren: Abgasnachbehandlung mit AdBlue®

V 2.1

Leiten Sie in Reagenzglas Nummer 2, 50 mL Umgebungsluft ein, die Sie in eine Spritze vor dem Abzug einziehen.



ABZUG

**Achtung !!!** Ab jetzt muss der Wechsel der Reagenzgläser und das Arbeiten im Abzug durch die betreuende Person stattfinden !!! Das Drücken der Spritze kann durch Sie erfolgen.

V 2.2

Unter dem Abzug werden durch die betreuende Person 50 mL eines Stickstoffdioxid/Luft-Gemisches in Reagenzglas 3 eingeleitet.



ABZUG

Nach dem Austausch von Reagenzglas 3 durch Reagenzglas 4 wird die Katalysatoreinheit der Apparatur mit der Gaswaschflasche verbunden. Drücken Sie ca. 50 mL eines Stickstoffdioxid/Luft-Gemisches über den heißen Katalysator.

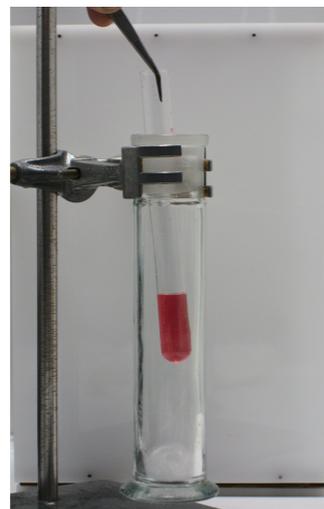


Bild 1



Bild 2



Bild 3



Bild 4

V 2.3



ABZUG

Von der betreuenden Person wird die Gaswaschflasche von der Apparatur getrennt und das Einleitungsrohr kräftig mit VE-Wasser gespült (Bild 5 und 6) und abgetrocknet. Durch die Apparatur selbst wird mehrmals Umgebungsluft von vor dem Abzug geleitet um diese zu spülen. Geben Sie nun Reagenzglas 5 in die Waschflasche.



Bild 5

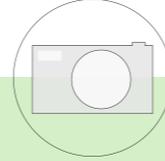


Bild 6

Der mit Harnstoff befüllte Erlenmeyerkolben wird auf die Heizplatte gestellt und kräftig erhitzt. Verbinden Sie den Erlenmeyerkolben mit der Katalysatoreinheit (siehe Skizze). Halten Sie ein angefeuchtetes pH-Papier an die Öffnung des Katalysator-Rohres. Wenn Sie eine Verfärbung wahrnehmen, schließen Sie die Waschflasche an. Leiten Sie ca. 50 mL eines Stickstoffdioxidgas/Luft-Gemisches durch die Apparatur.

## Beobachtung

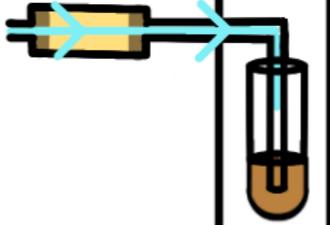
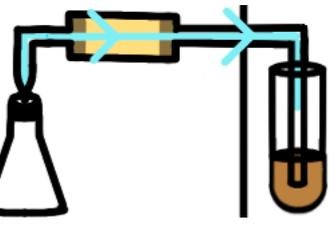
A 2.1 Fotografieren Sie die verschiedenen Proben mit dem Saltzmann-Reagenz.



Ergänzen Sie hier Fotos von Ihrem Ergebnis

A 2.2 Übertragen Sie ihre Beobachtungen in die Tabelle und ergänzen Sie die Versuchsparameter.



| Probennummer                | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |
|-----------------------------|---|---|---|---|---|
| Versuchsaufbau              |  |  |  |  |  |
| Gasgemisch                  | /   | Luft  | Luft + NO <sub>x</sub>  | Luft + NO <sub>x</sub>  | Luft + NO <sub>x</sub>  |
| Katalysator?                | Nein  | Nein  | Nein  | Ja  | Ja  |
| Harnstoff                   | Nein  | Nein  | Nein  | Nein  | Ja  |
| Farbe des Saltzmann-Reagenz |   |   |   |   |   |

SCR ist eine Abkürzung und steht für *selektiv katalytische Reduktion*. Das Verfahren wird zur Verminderung von Stickoxiden-Emissionen bei Dieselfahrzeugen eingesetzt.

Die Abgasnachbehandlung erfolgt in vier Schritten.

1. Zuerst wird mithilfe eines Oxidationskatalysators Stickstoffmonoxid (NO) zu Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) und unverbrannten Kohlenwasserstoffen (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>) zu Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) und Wasser (H<sub>2</sub>O) oxidiert.
2. Anschließend erfolgt die Hydrolyse von Harnstoff (CH<sub>4</sub>N<sub>2</sub>O) zu Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) und Ammoniak (NH<sub>3</sub>).
3. Die Stickoxide (vorw. NO<sub>2</sub> und NO) werden dann mithilfe des Ammoniaks an dem SCR Katalysator zu Stickstoff (N<sub>2</sub>) und Wasser reduziert.
4. Zum Schluss wird mittels eines weiteren Oxidationskatalysators überschüssiges Ammoniak mit Sauerstoff zu Stickstoff und Wasser oxidiert.

A 2.3

Erklären Sie die Funktion des Saltzmann-Reagenzes mit den Beobachtungen von den Proben 1 - 3.



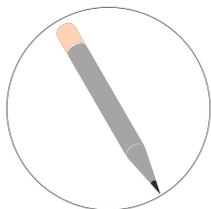
---

---

---

A 2.4

Begründen Sie die Verwendung des pH-Papiers in V 2.3.



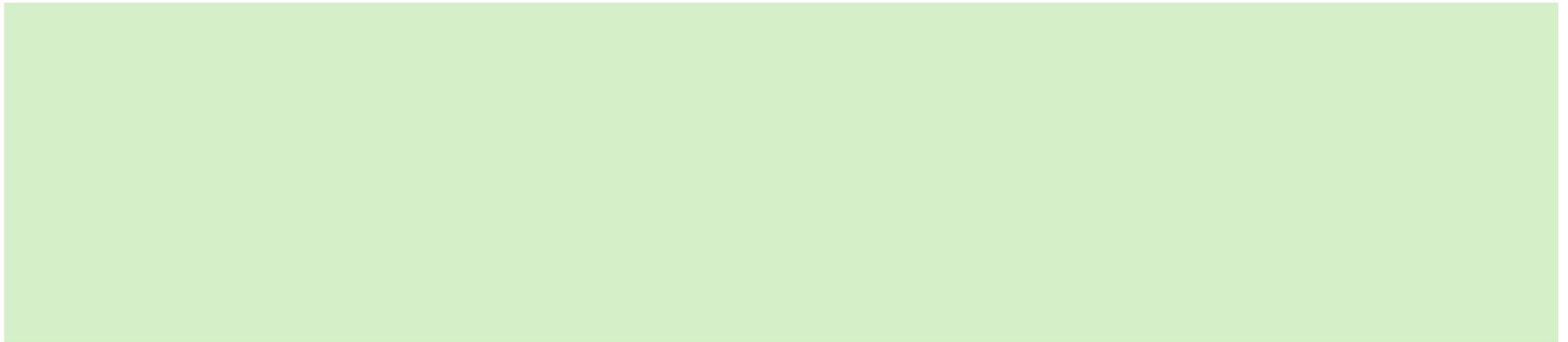
---

---

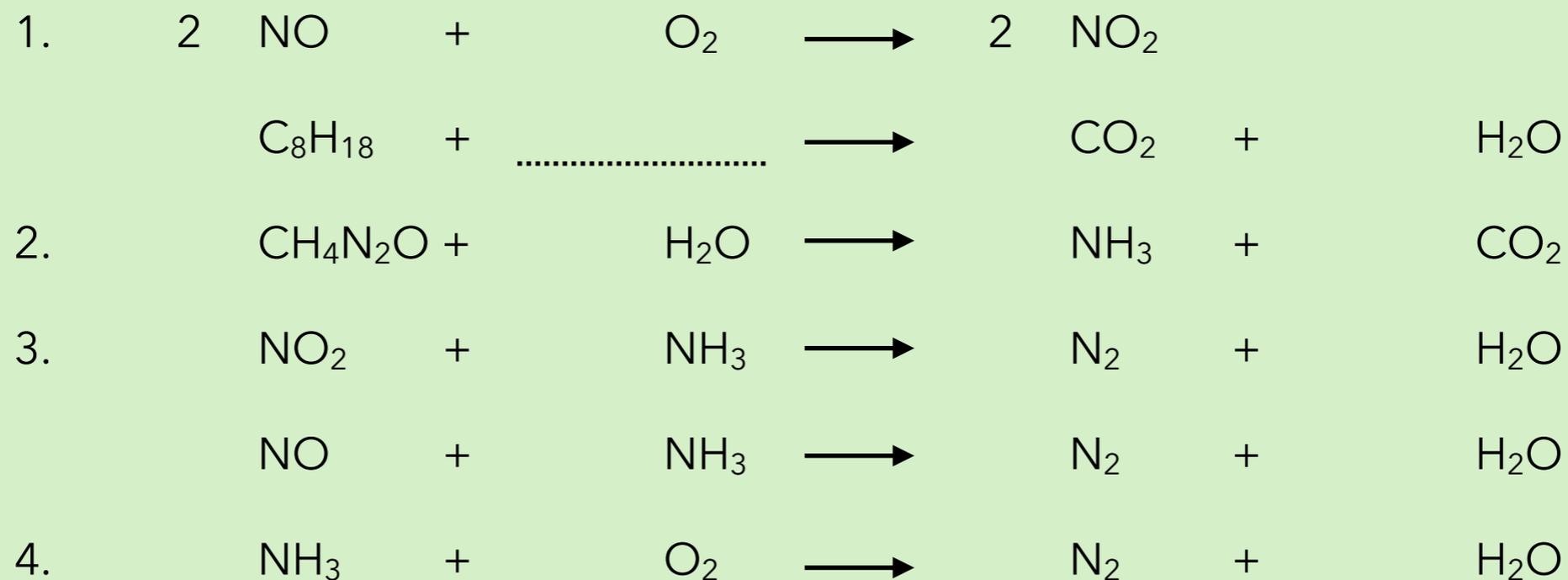
A 2.5



I. Skizzieren Sie schematisch das im Infotext beschriebene SCR-Verfahren.



II. Formulieren Sie die entsprechenden Reaktionsgleichungen der einzelnen Schritte im SCR-Verfahren.



A 2.6

Markieren Sie in den Unteraufgaben I. und II. von A 2.5 den in V 2.3 modellierten Teil des SCR-Verfahrens.

A 2.8 Der Versuch ist ein Modell für die Abgasnachbehandlung mit AdBlue® bei Dieselmotoren. AdBlue® ist ein Hilfsstoff bestehend aus Harnstoff, Wasser und weiteren Zusätzen. Je nach Motorkonfiguration und Fahrverhalten werden 3% - 5% des Kraftstoffverbrauchs zusätzlich als AdBlue® benötigt.



Recherchieren Sie die Herstellung von Harnstoff und nennen Sie die Grundstoffe, aus denen Harnstoff gewonnen wird. Nutzen Sie hierfür die angegebenen Quellen.

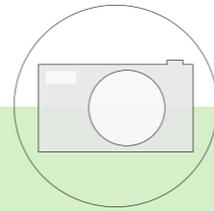
<https://de.wikipedia.org/wiki/Harnstoff>

[https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d4726-2/\\*/\\*Harnstoffsynthese.html?op=Wiki.getwiki](https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d4726-2/*/*Harnstoffsynthese.html?op=Wiki.getwiki)

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/cite.201400064> (Nur über Uni-Netzwerk erreichbar, Englisch)

Diskutieren Sie, ob die Verwendung von Harnstoff in Dieselmotoren im Hinblick auf die Reduzierung von Treibhausgasen sinnvoll ist.

A 1.4      Machen Sie erneut ein Foto von der Grünlilie. Halten Sie hier das Aussehen der Grünlilie „nachher“ fest.



*Ergänzen Sie hier Fotos von Ihrem Ergebnis („nachher“)*

A 1.5      Vergleichen Sie die Grünlilie vor und nach der Behandlung mit Stickstoffdioxid stichpunktartig. Nutzen Sie hierfür auch Ihr Foto auf Seite 5.



---

---

---

DER TAGESSPIEGEL



Ungesunde Umwelt

23.08.2022, 16:20 Uhr



Video von Quarks:  
„Stickoxide: Mediziner warnen vor Gesundheitsschäden“

## Wie verdreckte Luft in Berlin mit mehr Herzinfarkten einhergeht

War die Luft stärker verschmutzt, erlitten mehr Berliner einen Herzinfarkt, zeigt eine neue Untersuchung. Stickoxide und Feinstaub stehen unter Verdacht. VON SINAN REÇBER

 Deutsche Umwelthilfe

Pressemitteilung

## Deutsche Umwelthilfe kritisiert nach neuen alarmierenden Abgasmessungen: Bundesverkehrsministerium duldet weiterhin rechtswidrige Stickoxid-Grenzwertüberschreitungen

Dienstag, 31.05.2022

## „Bei der Luftqualität muss man weltweit zusammenarbeiten“

06.12.2021 Kilian Kirchgeßner

Annette Peters von Helmholtz Munich war als Expertin an den Richtlinien beteiligt, mit denen die Weltgesundheitsorganisation (WHO) die Luftschadstoffe begrenzen will. Ein Interview über globale Zusammenhänge, Gesundheit - und den Ostwind.

## Mehr Todesfälle und Asthma durch Stadtluft 1,8 Millionen zusätzliche Tote durch Feinstaub und Stickoxide in Städten weltweit

Quelle: The Lancet, George Washington University

6. Januar 2022  
- Nadja Podbregar

A 1.6 Schauen Sie sich das Video von Quarks auf der vorherigen Seite an und notieren Sie wichtige Begriffe und Zusammenhänge.

Diskutieren Sie untereinander folgende Aufgaben:

- I. Nennen Sie begründet Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität.
- II. Begründen Sie die Verantwortlichkeit für Kontrolle und Einhaltung der Grenzwerte sowie deren Festlegung.



A large green rectangular area containing eight horizontal black lines, intended for students to write their answers to the tasks.

A 3.1

Formulieren Sie zu Ihrem Themenblock ausgehend von Ihren Experimenten adressierte Probleme und mögliche Lösungsansätze in Stichpunkten.



A large light green rectangular area with three horizontal black lines, intended for writing notes or answers.

A 3.2

Notieren Sie Stichpunkte zu den Themen Ökologie, Ökonomie & Politik, die Ihnen zu den Inhalten dieses Blocks einfallen.



|          |          |                             |
|----------|----------|-----------------------------|
|          |          | <i>Stickoxid Grenzwerte</i> |
|          |          |                             |
|          |          |                             |
| Ökologie | Ökonomie | Politik                     |

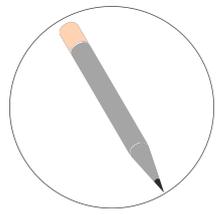
Three vertical colored boxes (green, cyan, pink) with horizontal lines, used for taking notes on Ecology, Economics, and Politics. The pink box contains the text 'Stickoxid Grenzwerte'.

## SOCME - System Oriented Concept Map Extension

**Aufgabe** Erstellen Sie in Ihrer Gruppe ausgehend von Ihren Vorarbeiten eine SOCME. Nutzen Sie dazu die Vorlage auf der nächsten Seite und bringen Sie Ihre Erkenntnisse aus den Aufgaben 3.2 und 3.3 ein.

### Was ist eine SOCME?

SOCME ist ein Akronym für **S**ystem **O**riented **C**oncept **M**ap **E**xtension und dient dazu komplexe Sachverhalte mit Querbeziehungen grafisch darzustellen. Concept Maps sind selbst Erweiterungen von Mind Maps, die zusätzlich gerichtete und beschriftete Pfeile haben. Entlang dieser Pfeile lassen sich Sätze bilden, die den Zusammenhang erläutern. Bei SOCMEs sind die Unterbegriffe zusätzlich noch sortiert und durch farbliche Unterlegung gruppiert. So können - wie hier - verschiedene Perspektiven auf ein Thema übersichtlich dargestellt werden.



Ökologische Dimension

Ökonomische Dimension

Politische Dimension

Reduktion der Luftschadstoffe

einhalten ermöglicht

Grenzwerte

Mit Gesetzgebung zur Festlegung von ...

Stickoxide

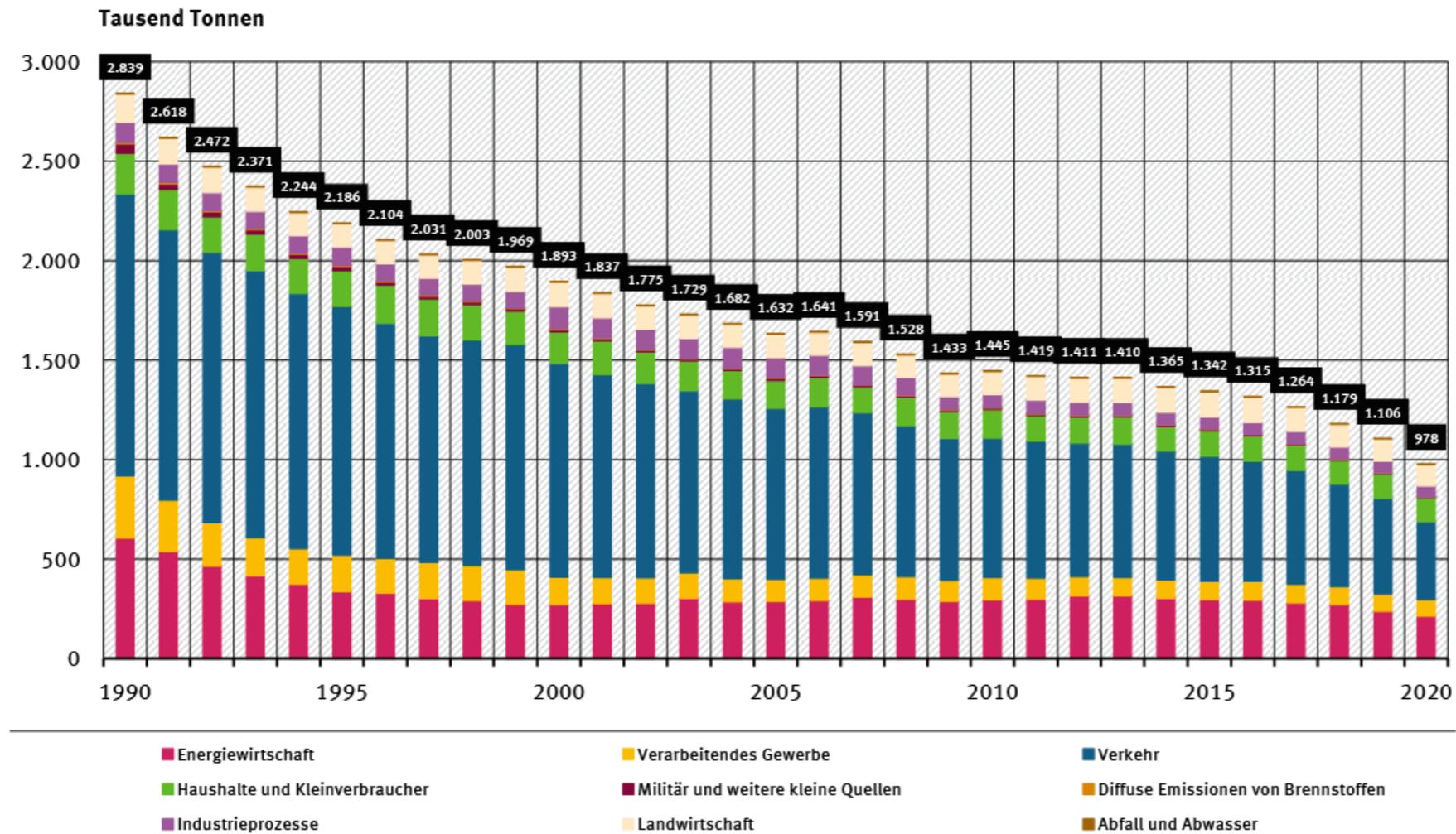
Kulturelle Dimension

Soziale Dimension

Das Umweltbundesamt hält die Entwicklung des Stickstoffoxidausstoßes, unterteilt in die verschiedenen Quellkategorien jährlich in einem Diagramm fest (Abb. 1). Die Stickstoffoxid-Emissionen (NO<sub>x</sub>) werden dabei in Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) umgerechnet und angegeben. Dafür gibt es zwei Gründe:

- I. Dieselfahrzeuge stoßen vermehrt NO<sub>2</sub> aus
- II. in der Atmosphäre erfolgt eine natürliche Umwandlung von NO zu NO<sub>2</sub>.

**Stickstoffoxid (NO<sub>x</sub>, gerechnet als NO<sub>2</sub>) -Emissionen nach Quellkategorien**



Verkehr: ohne land- und forstwirtschaftlichen Verkehr  
 Haushalte und Kleinverbraucher: mit Militär und weiteren kleinen Quellen (u.a. land- und forstwirtschaftlichem Verkehr)

Quelle: Umweltbundesamt, Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen seit 1990, Emissionsentwicklung 1990 bis 2020 (Stand 02/2022)

Abbildung 1: „Stickstoffoxid (NO<sub>x</sub> gerechnet als NO<sub>2</sub>) -Emissionen nach Quellkategorien“ vom Umweltbundesamt

Abgasnormen (z. B. Euro-Normen) legen die Grenzwerte für den Ausstoß von Luftschadstoffen für Kraftfahrzeuge fest. In der EU gelten Grenzwerte für Kohlenstoffmonoxid (CO), Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>), Kohlenwasserstoffe (HC), die Partikelmasse (PM) und die Partikelanzahl (PN). Die Grenzwerte unterscheiden sich dabei sowohl nach der Art des Motors (Benzin- oder Dieselmotor) als auch nach Kraftfahrzeugtyp (PKW, LKW, Motorräder oder Mopeds). Die Grenzwerte unterliegen einer zunehmenden Verschärfung, die nächste Euro-Norm (Euro 7) soll 2025 eingeführt werden.

Die Schadstoffwerte werden bei der Typprüfung im Fahrzyklus gemessen. Der Fahrzeughersteller muss die Einhaltung der Grenzwerte für eine festgelegte Zeitspanne und Kilometerleistung garantieren.

|                                       | Euro 1     | Euro 2     | Euro 3     | Euro 4     | Euro 5                 | Euro 6                 |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------------------|------------------------|
| <b>Typprüfung</b>                     | 01.01.1992 | 01.01.1996 | 01.01.2000 | 01.01.2005 | 01.09.2009             | 01.09.2014             |
| <b>Serienprüfung</b>                  | 31.12.1992 | 01.01.1997 | 01.01.2001 | 01.01.2006 | 01.01.2011             | 01.01.2015             |
| <b>Schadstoffe in g/km<br/>BENZIN</b> |            |            |            |            |                        |                        |
| <b>CO</b>                             | 2,72       | 2,2        | 2,3        | 1          | 1                      | 1                      |
| <b>HC + NO<sub>x</sub></b>            | 0,97       | 0,5        | -          | -          | -                      | -                      |
| <b>NO<sub>x</sub></b>                 | -          | -          | 0,15       | 0,08       | 0,06                   | 0,06                   |
| <b>Partikelmasse</b>                  | -          | -          | -          | -          | 0,0045                 | 0,0045                 |
| <b>Partikelanzahl</b>                 | -          | -          | -          | -          | 6,0 x 10 <sup>11</sup> | 6,0 x 10 <sup>11</sup> |
| <b>Schadstoffe in g/km<br/>DIESEL</b> |            |            |            |            |                        |                        |
| <b>CO</b>                             | 2,72       | 1          | 0,64       | 0,5        | 0,5                    | 0,5                    |
| <b>HC + NO<sub>x</sub></b>            | 0,97       | 0,7        | 0,56       | 0,3        | 0,23                   | 0,17                   |
| <b>NO<sub>x</sub></b>                 | -          | -          | 0,5        | 0,25       | 0,18                   | 0,08                   |
| <b>Partikelmasse</b>                  | 0,14       | 0,08       | 0,05       | 0,025      | 0,0045                 | 0,0045                 |
| <b>Partikelanzahl</b>                 | -          | -          | -          | -          | 6,0 x 10 <sup>11</sup> | 6,0 x 10 <sup>11</sup> |

Quelle: Umweltbundesamt, [www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emmissionsstandards/pkw-leichte-nutzfahrzeuge](http://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emmissionsstandards/pkw-leichte-nutzfahrzeuge) (Stand August 2016), modifiziert durch Richard Kremer