

# LUFTSCHADSTOFFEN AUF DER SPUR: GEHEIMCODES AUS DER CHEMIE – NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> ...

Die Schülerinnen und Schüler (SuS) erarbeiten in Partnerarbeit oder Kleingruppenarbeit (bis 4 Personen) an Stationen selbständig Wissen und Zusammenhänge zu unterschiedlichen Luftschadstoffen. Sie setzen sich mit Texten auseinander, führen Experimente durch, dokumentieren ihre Ergebnisse und testen ihr Wissen.

## ZIELE

- Die SuS kennen naturwissenschaftliche Grundlagen zu verschiedenen Luftschadstoffen.
- Sie informieren sich über die Quellen und die Entstehung von Luftschadstoffen im Zusammenhang mit unserer Mobilität („scientific literacy“).
- Sie verstehen chemische Sachverhalte, zum Beispiel Oxidation oder Säure-Basen-Reaktionen, die sie im Rahmen der Stationsarbeit anschaulich erlernen.
- Sie kennen Auswirkungen von Luftschadstoffen auf die menschliche Gesundheit und gewinnen Einblicke in die Wirkungszusammenhänge zwischen Luftschadstoffen, Mensch, Klima und Umwelt.
- Mit dem erworbenen Hintergrundwissen vollziehen sie den individuellen und politischen Handlungsdruck zur Reduktion von Luftschadstoffen besser nach.
- Sie steigern ihre Argumentations- und Urteilskompetenz durch die Entwicklung eigener Lösungsansätze zur Reduzierung der Luftschadstoffe in ihrer Gemeinde/Stadt.

## LEHRPLANANBINDUNG

**OS, Klassenstufe 8, Chemie, Lernbereich 1:** „Stoffe, die uns umgeben.“

**OS, Klassenstufe 8, Chemie, Lernbereich 3:** „Stoffe wandeln sich um.“

**GY, Klassenstufe 8, Chemie, Lernbereich 1:** „Luft – ein Stoffgemisch“

## ZEITBEDARF

4 UE (180 min.) oder zweimal 2 UE

- In der 1. Doppelstunde (2 UE, 90 min): Vorbereitung und Vermittlung des chemischen Grundlagenwissens zu den Luftschadstoffen, Durchführung eines Stickoxidnachweises als Lehrerversuch und Bearbeitung von zwei weiteren der vier Lernstationen.
- In der 2. Doppelstunde (2 UE, 90 min): Stationslernen an weiteren zwei Lernstationen und Nachbesprechung. Einzelne Stationen können weggelassen und dafür der Demonstrationsversuch zum Sauren Regen hinzugefügt werden bzw. der Langzeitversuch zum Sauren Regen besprochen werden.

## MATERIAL UND PRAKTISCHE VORBEREITUNG

- Computer mit Internetzugang für Station Ozon
- Anlage 1 „Geheimcodes aus der Chemie – Aufgabenstellung“ und Anlage 2 „Tabelle Luftschadstoffe im Überblick – Wissenstest“ für alle SuS ausdrucken  
Versuchsanleitungen für die Schüler und Schülerinnen inkl. benötigter Materialien, Fragen und Info-Texte zu den Luftschadstoffen für jede Station in Form von Kopien/Stationsbeschreibungen bereitlegen (s. Anlagen 3–6 □ 3) Smog, 4) Treibhausgase, 5) Kohlendioxid, 6) Ozon)
- Beschaffung und sicherer Umgang mit den angegebenen chemischen Fest-, Gas- und Flüssigstoffen und Erstellen notwendiger Gefährdungsbeurteilungen
- Vorab exaktes Abmessen und Proportionieren der Stoffmengen für die Versuche bzw. Bereitstellung von Feinwaagen, Messpipetten, Maßzylinder etc.
- Zusammenstellung der erforderlichen Versuchsmaterialien (Gefäßen, Klammern, Halterungen)
- Aufbau der Versuche vor Unterrichtsbeginn
- Anlagen 7 Demonstrationsversuch Stickoxid und Anlage 8 Demonstrationsversuch Saurer Regen 1 bzw. Anlage 9 Langzeitversuch Saurer Regen 2 für einen begleitenden Langzeitversuch
- Abbau aller Versuchsstationen nach dem Unterricht

## INHALTLICHE VORBEREITUNG

Die Materialien und Chemikalien für die Stationsarbeit sind so gewählt, dass das Stationslernen in einen voll ausgestatteten Chemie-Fachraum stattfinden sollte. Die

Stationen benötigen teils Alltagsmaterialien, teils Materialien aus dem chemischen Fachbedarf. Der Aufbau ist möglichst einfach gehalten, damit dafür wenig wertvolle Unterrichtszeit verloren geht. Für die Stationen, an denen mit Chemikalien gearbeitet wird, müssen die jeweils erforderlichen Sicherheitsbestimmungen eingehalten werden. Dies gilt natürlich ebenso für die Stationen, bei denen mit Feuer gearbeitet wird. Es steht der Lehrkraft dabei frei, einzelne Stationen als Lehrer- oder Demonstrationsversuch durchzuführen, so zum Beispiel als anschaulichen Einstieg in das Thema. Ferner können auch einzelne Stationen weggelassen oder andere hinzugefügt werden.

### **Erläuterung der Versuchsergebnisse/Lösungen**

- Station Smog:  
Hier wird mit dem Bügeleisen die Luft oberhalb des Glases erwärmt und eine Inversionswetterlage simuliert, bei der bodennah ausgestoßene Schadstoffe, u. a. auch Ruß und Rauch, nicht nach oben abziehen. Normalerweise steigt die am Boden erwärmte Luft aufgrund ihrer geringeren Dichte auf und durchmischt die vertikalen Luftschichten. Im Winter kann es vorkommen, dass durch die kurze Sonnenscheindauer die unteren Luftschichten tagsüber nur wenig erwärmt werden und eine niedrigere Temperatur haben als höher liegende Schichten. Diese relativ kälteren Luftmassen können nicht aufsteigen, da sie eine höhere Dichte besitzen und es findet keine Durchmischung der Luftschichten statt. Dies führt dazu, dass die Luft in Bodennähe, z.B. in Ballungsräumen, eine extrem hohe Schadstoffkonzentration enthält und der sogenannte Wintersmog entsteht.
- Station Treibhausgase:
  - An dieser Station lässt sich anschaulich zeigen, dass verschiedene Gase sich unterschiedlich stark durch Lichtenergie aufheizen. Die Schülerinnen und Schüler können hier üben, Daten zu erfassen und in Tabellenform und als Diagramm darzustellen, eventuell auch am PC. Das Ergebnis dieses Versuchs zeigt, dass Methan CH<sub>4</sub> (Hauptbestandteil im Erdgas) von den vier untersuchten Gasen am stärksten die Wärmestrahlung der Lampe absorbiert und damit das stärkste Treibhausgas ist. Etwas niedrigere Werte hat das Kohlendioxid CO<sub>2</sub>, gefolgt von der feuchten Luft. Die trockene Luft absorbiert

am wenigsten Wärmestrahlung. Die Kolben mit den Inhalten sollten im Stationenlernen vorbereitet sein.

- Gefahrenhinweise beim Umgang mit Methan:



- Wenn das Gas aus einem Druckbehälter schnell entspannt wird, dann kann es zu Kälteverbrennungen oder Unterkühlungen auf der Haut kommen. Methan ist nicht toxisch, in hohen Konzentrationen erzeugt es aber Sauerstoffmangel beim Atmen. Die Grenze zwischen der betäubenden und der erstickenden Wirkung liegt sehr nahe beieinander.

- Station Kohlendioxid:

- Sollte kein Kalkwasser vorhanden sein, kann man sich selbst eine Flüssigkeit zum Nachweis von CO<sub>2</sub> herstellen: Man löst schnellbindenden Fertigezement aus dem Baumarkt in Wasser und filtert diese Flüssigkeit. Heraus kommt „Zementwasser“, das sich bei der Reaktion mit CO<sub>2</sub> gut sichtbar eintrübt. Die Trübung entsteht dadurch, dass das im Kalkwasser gelöste Calciumhydroxid mit dem CO<sub>2</sub> zu unlöslichem Kalk (Niederschlag von Calciumcarbonat) reagiert, der die Flüssigkeit trübe macht. Die Reaktionsgleichung lautet:  

$$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$$
- Diese Reaktion läuft auch bei der Kalkwasserprobe zum Nachweis von Kohlenstoffdioxid in einem Probegas ab.

- Station Ozon:

- Diese Station erfordert einen PC mit Zugang zum Internet. Die vorgegebene Internet-Seite bietet umfangreiche Informationen zum Thema und bietet sich als Informationsquelle zur Beantwortung der Fragen an. Die Schülerinnen und Schüler können aber auch frei im Internet recherchieren und ihre Kompetenzen in der Informationsbeschaffung ausweiten. Die Fragen dienen in diesem Fall nur als Anregungen. Die Internet-Recherche kann auch auf die übrigen Luftschadstoffe ausgeweitet werden.
- Die Antworten auf die Fragen an dieser Station lauten:

*Wann und wo treten die höchsten Ozonwerte auf?*

- Überwiegend von Mai bis September, vereinzelt auch mal im April, denn für hohe Ozonkonzentrationen müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein: Die Vorläuferstoffe müssen vorhanden sein, eine intensive Sonneneinstrahlung und eine mehrere Tage andauernde stabile Schönwetterperiode, die zu einer Anreicherung von Ozon in den unteren Luftschichten führt.
- Im Verlauf eines Tages treten die höchsten Ozonwerte in den Nachmittagsstunden zwischen 14 und 17 Uhr auf.
- Die höchsten Ozonwerte treten am Stadtrand und in den angrenzenden ländlichen Gebieten auf, also entfernt von den Quellen der Vorläuferstoffe. Das klingt scheinbar paradox, liegt aber daran, dass Stickstoffmonoxid (NO), das in Autoabgasen enthalten ist, mit Ozon reagiert. Dabei wird Ozon abgebaut, so dass die Ozonbelastung in Innenstädten deutlich niedriger ist. Andererseits werden die Vorläuferstoffe mit dem Wind aus den Städten heraustransportiert und tragen so entfernt von deren eigentlichen Quellen zur Ozonbildung bei.

*Was sollte man bei erhöhten Ozonwerten in der Luft beachten?*

- Da hohe Ozonkonzentrationen üblicherweise bei hohen Temperaturen auftreten, kann als Faustregel gelten: Vernünftiges Verhalten im Hinblick auf hohe Temperaturen ist auch vernünftig im Hinblick auf Ozon. Längere körperliche Anstrengungen sollten möglichst nicht in die Mittags- und Nachmittagsstunden gelegt werden. Für sportliche Betätigungen, wie Jogging oder Radtouren, sind die Morgenstunden am besten. Da bei schönem Wetter durch verstärktes Lüften auch mehr Ozon in die Innenräume gelangen kann, sollte vorzugsweise in den Morgenstunden gelüftet werden.

*Wie kann man selbst dazu beitragen, die Ozonbelastung zu verringern?*

- Statt des eigenen Autos soweit möglich den ÖPNV oder das Fahrrad benutzen
- Grundsätzlich das eigene Auto weniger benutzen, Fahrgemeinschaften bilden, die Fahrgeschwindigkeit reduzieren
- Möglichst keine Motorräder ohne Abgaskatalysator und Verdunstungsstopp benutzen

- Bei Neukauf eines Autos auf die Abgaswerte achten
  - In Haushalt und Kleingewerbe sollten generell nur lösemittelfreie oder -arme Lacke verwendet werden
  - Bei Renovierungsarbeiten lösemittelfreie Abbeizmittel/Farben verwenden
  - Abgasintensive Maschinen und Geräte im Garten vermeiden
  - Strombedarf drosseln, um die Kraftwerksemissionen – zum Beispiel an NOx – mit zu senken
- Demonstrationsversuch Station Stickoxide:
    - Hier kann man Stickoxide als Verbrennungsprodukte nachweisen. Diese Station ist vom Materialaufwand, von der Vorbereitung und vom Zeitbedarf her anspruchsvoller. Der Versuch eignet sich daher besonders gut als Demonstrationsversuch. Der Nitrit-Test zeigt, dass die Abgase der durchgefärbten Kerze etwa doppelt so viele Stickoxide enthalten wie die der farblosen Kerze. Das stimmt auch mit der Beobachtung überein, dass die weiße Kerze viel weniger geruchsintensiv ist als die durchgefärbte.
    - Als einfacher Demonstrationsversuch eignet sich auch der Stickoxidnachweis in der Kerzenflamme als Azofarbstoff mit Hilfe des Saltzmann-Reagenzes   
<https://www.youtube.com/watch?v=vAcFVwoPJvo>
  - Demonstrationsversuch an Station Saurer Regen 1:
    - Hier können Fotos von angegriffenen Gebäuden oder Denkmälern anschaulich machen, welche Auswirkungen der „saure Regen“ hat. Es zeigt sich, dass der Regen als chemische Säure mit dem Kalk (Calciumcarbonat) des Baumaterials reagiert. Bei der Reaktion reagiert das Calciumcarbonat mit Schwefelsäure zu CO<sub>2</sub>, Wasser und Calciumsulfat (Gips). Das Material wird brüchig. Die Reaktionsgleichung dazu lautet:  
$$\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CaSO}_4$$
    - Gefahrenhinweis



Schwefelsäure kann Augen- und Hautverletzungen verursachen. Beim Arbeiten sind daher unbedingt eine Schutzbrille, geeignete Schutzhandschuhe und ein geschlossener Laborkittel zu tragen. Spritzer und Säurereste auf Labortischen sollten direkt nach der Arbeit entfernt werden. Schwefelsäure ist die häufigste Ursache für zerfressene Alltagskleidung. Wenn abweichend von der Empfehlung hier ein Schülerversuch angedacht ist, wird in der Sekundarstufe I empfohlen, nur mit der verdünnten, 10%igen Lösung zu arbeiten. Quelle: <https://www.seilnacht.com>

Lösungsblatt „Luftschadstoffe im Überblick“				
Schadstoff	Chemische Formel	Entstehung	Wirkungen auf Menschen	Wirkungen auf die Umwelt
Kohlenstoffdioxid	CO <sub>2</sub>	Verbrennungsvorgänge; Atmung	In hoher Konzentration: Kopfschmerzen, Schwindel, Bewusstlosigkeit, Tod durch CO <sub>2</sub> -Vergiftung	Hauptauslöser des Treibhauseffekts
Methan	CH <sub>4</sub>	Natürliches Erdgas; Stoffwechsel von Lebewesen		Starkes Treibhausgas; Anteil am Treibhauseffekt: 20 %
Ozon	O <sub>3</sub>	Aus Vorläuferstoffen unter Sonneneinstrahlung	Reizung der Atemwege; Husten, Kopfschmerzen	Wirkt schädlich auf Pflanzen
Schwefeldioxid	SO <sub>2</sub>	Verbrennung schwefelhaltiger fossiler Energieträger (Erdöl, Erdgas; Kohle); natürliche Quellen (Sümpfe, Vulkane)	Reizt die Schleimhäute; schädigt in hohen Konzentrationen Bronchien und Lunge: lebensgefährlich	Bildet mit Wasser und Sauerstoff in der Luft Schwefelsäure, die zum sauren Regen beiträgt
Stickoxide	NO <sub>x</sub>	Verbrennungsvorgänge, besonders im Verkehr	Reizen und schädigen die Atemwege	Bilden mit Wasser und Sauerstoff in der Luft Salpetersäure, die zum sauren Regen beiträgt; außerdem: Vorläuferstoffe des Ozons

## DURCHFÜHRUNG

### Unterrichtsverlauf

Das Stationenlernen als Form des Offenen Unterrichts ermöglicht es SuS weitgehend selbstständig und eigenverantwortlich das Unterrichtsthema Luftschadstoffe an mehreren im Chemie-Fachraum aufgebauten Pflicht-Stationen zu bearbeiten. Die Stationen sind als Lernzirkel aufgebaut, die im Wechselrhythmus von ca. 20 Minuten durchlaufen werden. Für die sichere Durchführung der Experimente vereinbaren Lehrer\*innen und SuS eine ruhige, konzentrierte Arbeitsatmosphäre.



1. Der Einstieg in die Unterrichtsreihe kann zum Beispiel über einen Demonstrationsversuch an einer Station (an der Station Stickoxide oder Saurer Regen 1, siehe unten) erfolgen.
2. Im Anschluss daran beginnt das selbstständige Stationenlernen, bei dem die SuS an den 4 verbleibenden Stationen selbstständig arbeiten und lernen. Die SuS können an den Stationen in Partner- oder Kleingruppenarbeit arbeiten.
3. Das selbstständige Stationenlernen sollte wie folgt ablaufen:
  - An jeder Station sollten die Schülerinnen und Schüler zuerst den jeweiligen Text zu den Luftschadstoffen in der Stationsbeschreibung (Kopiervorlagen Anlage 03 - 07) lesen und eventuelle Unklarheiten und Fragen untereinander und mit der Lehrkraft klären.
  - Danach lesen sie die Versuchsanleitung gründlich durch und folgen den Anweisungen.
  - Anschließend dokumentieren sie ihre Ergebnisse. Diese Dokumentation kann in Form eines „Forscherheftes“, im eigenen Heft oder auch auf von der Lehrkraft zu entwerfenden Arbeitsblättern geschehen.
  - Zum Abschluss soll jede Schülerin/jeder Schüler die Tabelle „Luftschadstoffe im Überblick“ (Anlage 2), ausfüllen und so ihr/sein Wissen testen. Alle dafür nötigen Informationen haben die Info-Texte an den Stationen geliefert.

**Tipp:** Es steht der Lehrkraft frei, einzelne Stationen als Lehrer- oder Demonstrationsversuch durchzuführen, bspw. als anschaulichen Einstieg in das Thema. Ferner können natürlich auch einzelne Stationen weggelassen oder andere hinzugefügt werden.

## KOMPETENZERWERB

### ERKENNEN

Die SuS können naturwissenschaftliche Zusammenhänge zu verschiedenen Luftschadstoffen, die in Verbindung mit unserer Mobilität stehen, erkennen und beschreiben. Sie können auf dieser Basis zugehörige Risiken, Gefahren und Unsicherheiten im Handlungsfeld Mobilität erkennen und in Grundzügen einordnen. Sie können chemische Sachverhalte wie Oxidation oder Säure-Basen-Reaktionen gezielt nutzen und einordnen.



## BEWERTEN

Die SuS können Wirkungszusammenhänge zwischen Luftschadstoffen, Mensch, Klima und Umwelt beurteilen und in ihrer Bedeutung einordnen.

Sie können auf der Basis dieses Hintergrundwissens den individuellen und politischen Handlungsdruck zur Reduktion von Luftschadstoffen nachvollziehen.

## HANDELN

Die SuS können Bereiche persönlicher Mitverantwortung erkennen und im Alltag selbst die Herausforderung annehmen, den Ausstoß von Luftschadstoffen bzw. deren Vorläufersubstanzen zu reduzieren bzw. ihre eigene Exposition zu vermindern.

## WEITERBEARBEITUNG

### Erweiterungsmöglichkeiten:

- begleitender Langzeitversuch zum Thema Saurer Regen (s. auch Anlage 9)
  - Die Auswirkungen des „sauren Regens“ können hier ebenfalls durch Bilder (zum Beispiel von kranken Bäumen) verdeutlicht werden. Auch ein Verweis auf den Waldzustandsbericht der Bundesregierung<sup>1</sup> kann hier eingebracht werden. Das Versuchsergebnis macht deutlich, wie groß die Wirkung des sauren Regens auf Pflanzen sein kann: Die mit Wasser gegossenen Samen keimen nach kurzer Zeit und die grünen Pflanzen beginnen zu wachsen. Die Samen, die mit der Salpetersäure gegossen werden, keimen ebenfalls, zeigen aber nach einigen Tagen Verfärbungen und gehen ein. Der pH-Wert der verwendeten Säure liegt bei 3. Dieser Wert entspricht einem „Spitzenwert“, wird also in der Realität selten erreicht. Die starke Säure zeigt aber eine eindrucksvolle Wirkung. Als eine Erweiterung dieses Versuchs ist auch denkbar, Kressesamen mit unterschiedlich konzentrierter Säure zu gießen, um die Auswirkung der Säurestärke auf die Pflanzen zu zeigen.
- Zusatzoption: Präsentation und Diskussion von Lösungen zur Vermeidung, Verringerung und Filterung von Luftschadstoffen

---

<sup>1</sup> Bericht: [https://www.bmel.de/DE/Wald-Fischerei/Waelder/\\_texte/Waldzustandserhebung.html](https://www.bmel.de/DE/Wald-Fischerei/Waelder/_texte/Waldzustandserhebung.html); Kurzeinschätzung von Robin Wood: <https://www.robinwood.de/pressemitteilungen/waldzustandsbericht-2018-schlechter-ging-es-dem-wald-noch-nie>

- Schülerinnen und Schüler überlegen, wie sie selbst einen Beitrag zur Reduzierung von Luftschadstoffen leisten können und welche Einsparpotenziale es in der eigenen Schule gibt.
- SuS recherchieren im Internet und erarbeiten Referate zu der Frage „Wie wirken Luftschadstoffe auf Pflanzen und Tiere?“. Infos dazu gibt es zum Beispiel unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-oekosysteme>

## HINTERGRUNDINFORMATIONEN FÜR LEHRKRÄFTE

Für die Einführung in das Thema und viele Anregungen für den eigenen Unterricht oder schulische Projekte empfiehlt sich das Kapitel „Mobilität – Grundlagen eines integrativen Lernbereiches“ in der Broschüre „Umweltfreundlich mobil-Lehrerheft“. Diese finden sie unter: <https://bne-sachsen.de/materialien/umweltfreundlich-mobil-lehrerheft>

## QUELLE

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.) (2012): Umweltfreundlich mobil, Materialien für Bildung und Information - Handreichung für Lehrkräfte, Berlin. aus: <https://www.umwelt-im-unterricht.de/medien/dateien/umweltfreundlich-mobil-lehrerheftsek/>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.) (2012): Umweltfreundlich mobil, Materialien für Bildung und Information - Schülerheft, Berlin. aus: <https://www.umwelt-im-unterricht.de/medien/dateien/umweltfreundlich-mobil-schuelerheftsek/>

"BMU Diese beiden Werke sind lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz.

Sie dürfen diesen Text unter anderem ohne besondere Genehmigung verwenden und bearbeiten, z.B. kürzen oder umformulieren, sowie weiterverbreiten und vervielfältigen. Dabei müssen [www.umwelt-im-unterricht.de](http://www.umwelt-im-unterricht.de) als Quelle genannt sowie die oben genannte Creative Commons-Lizenz verwendet werden. Details zu den Bedingungen finden Sie auf der Creative Commons-Website.

Open Educational Resources Logo Umwelt im Unterricht unterstützt die Erstellung von Bildungsmaterialien unter offenen Lizenzen im Sinne der UNESCO. "

Überarbeitet und ergänzt für die Anbindung an den sächsischen Lehrplan als Teil des sächsischen Umsetzungsprojektes zum Orientierungsrahmen für den Lernbereich globale Entwicklung.

*Dieses Unterrichtsbeispiel kann kopiert und frei verwendet oder weitergegeben werden.*

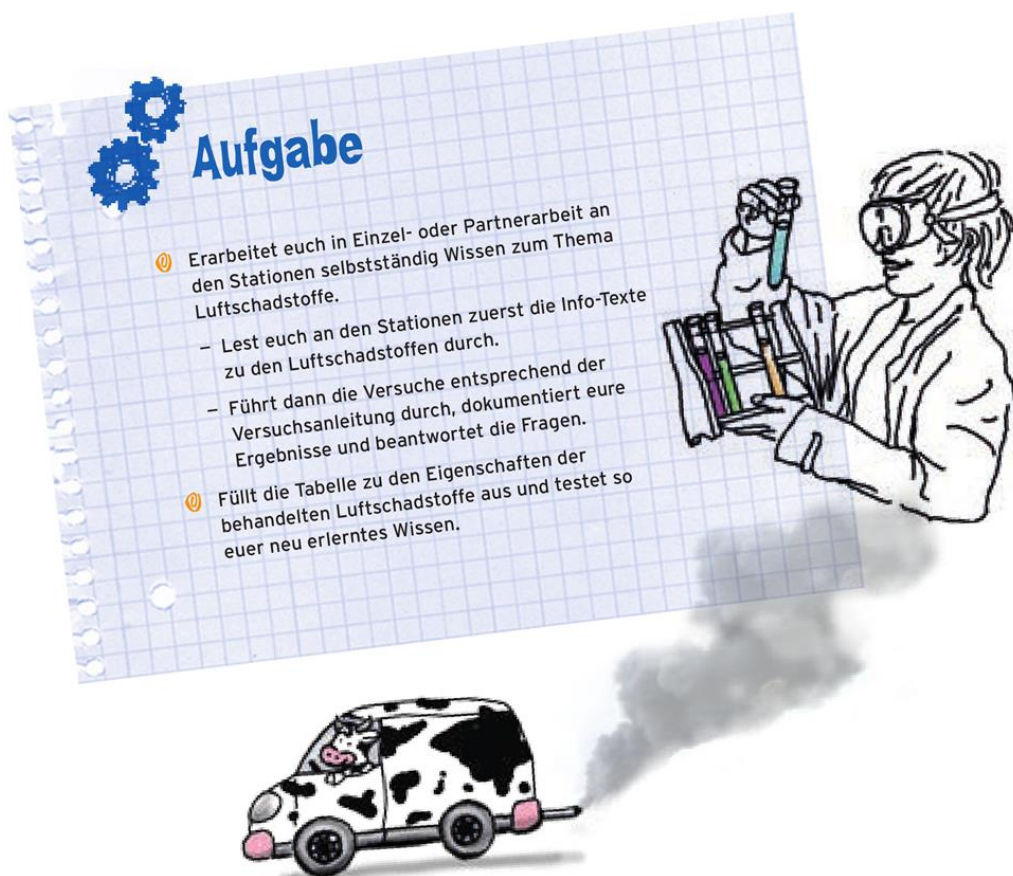
## ANLAGE 1: GEHEIMCODES AUS DER CHEMIE – AUFGABENSTELLUNG

### 3. Kapitel Lärm und Schadstoffen auf der Spur

# Geheimcodes aus der Chemie: NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> ...

Emma freut sich: Die Schulkantine bietet eine vegetarische Woche an.

Auf dem Infoplatz steht unter anderem, dass bei der Fleischproduktion mehr CO<sub>2</sub> erzeugt wird als bei der Produktion anderer Lebensmittel. „Schon klar“, spottet Lukas. „Kühe haben auch einen Auspuff. Aber kommt da nicht statt CO<sub>2</sub> Methan raus?“ Der Chemielehrer, der die Bemerkung zufällig mithört, lacht und sagt: „Gut, dass ich zu diesem Thema schon ein Stationenlernen vorbereitet habe. Das machen wir dann gleich mal in der nächsten Stunde.“



**Aufgabe**

- 🕒 Erarbeitet euch in Einzel- oder Partnerarbeit an den Stationen selbstständig Wissen zum Thema Luftschadstoffe.
  - Lest euch an den Stationen zuerst die Info-Texte zu den Luftschadstoffen durch.
  - Führt dann die Versuche entsprechend der Versuchsanleitung durch, dokumentiert eure Ergebnisse und beantwortet die Fragen.
- 🕒 Füllt die Tabelle zu den Eigenschaften der behandelten Luftschadstoffe aus und testet so euer neu erlerntes Wissen.

## ANLAGE 2: TABELLE LUFTSCHADSTOFFE IM ÜBERBLICK - WISSENSTEST

Luftschadstoffe im Überblick				
Schadstoff	Chemische Formel	Entstehung	Wirkungen auf Menschen	Wirkungen auf die Umwelt
Kohlenstoffdioxid				
Methan				
Ozon				
Schwefeldioxid				
Stickoxide				



| Ideen zum Weitermachen

## ANLAGE 3: STATION SMOG

### Station SMOG

<b>Ihr braucht</b>	2 große, hohe Gläser 1 Bügeleisen Räucherstäbchen Steichhölzer
<b>Versuchsanleitung</b>	Schaltet das Bügeleisen ein und stellt die Temperatur auf die höchste Stufe (Baumwolle). Brecht ein Räucherstäbchen in etwa 5 cm lange Stücke. Wenn das Bügeleisen aufgeheizt ist (Kontrolllampe geht aus), zündet ihr ein Stück des Räucherstäbchens an und werft es in eines der Gläser. Nehmt nun ein weiteres Stück Räucherstäbchen, zündet es an und werft es in das andere Glas. Haltet nun das Bügeleisen mit etwa 2 cm Abstand über eines der Gläser.
<b>Frage</b>	Beobachtet den Rauch. Was hat der Versuch mit Smog zu tun?

#### Info Wintersmog

Smog kommt aus dem Englischen von den Wörtern smoke (Rauch) und fog (Nebel) und ist eine spezielle Art der Luftverschmutzung, die durch die Verbrennungsabgase von Autos und der Industrie verursacht wird. Die Luftverschmutzung wird durch Ruß, Schwefeldioxid, Staub und Nebel gebildet.

**Smog entsteht häufig im Winter:** Durch eine Inversionswetterlage, bei der sich eine warme Luftschicht über die kalte Luftschicht auf der Erdoberfläche schiebt, gelangen die Abgase nicht mehr in höhere Schichten der Atmosphäre. Die Abgase reichern sich dadurch in Bodennähe an. Es entsteht eine Dunstglocke über Industriestädten und Großstädten.

**Smog ist gesundheitsschädlich.** Eine zu hohe Kohlenstoffmonoxidkonzentration führt zu Kopfschmerzen und Übelkeit. Belastend für das Herz-Kreislauf-System ist eine zu hohe Feinstaubkonzentration. Die Schleimhäute werden durch die Stickoxide gereizt und können im schlimmsten Fall zu chronischen Atemwegserkrankungen führen.



## ANLAGE 4: STATION TREIBHAUSGASE

### Station TREIBHAUSGASE

1 Rundkolben aus Glas  
1 Thermometer  
1 durchbohrter Stopfen, passend für Thermometer und Rundkolben  
1 Stativ  
1 Infrarotlampe  
1 Uhr  
verschiedene Gase: Methan (Erdgas), CO<sub>2</sub>, Luft  
Wasser

#### Ihr braucht

Montiert den Rundkolben auf dem Stativ und stellt die Infrarotlampe daneben. Füllt nun das Methan (Erdgas) in den Kolben und verschließt ihn mit dem Stopfen und dem Thermometer. Die Spitze des Thermometers sollte etwa in der Mitte des Kolbens sein. Schreibt die angezeigte Temperatur auf und schaltet die Lampe ein. Notiert in Zeitabständen von 30 Sekunden die Temperatur. Die Dauer des Versuchs soll fünf Minuten betragen. Wiederholt diesen Versuch mit den anderen Gasen (CO<sub>2</sub> und Luft). Als letztes Gas nehmt ihr feuchte Luft. Dazu gebt ihr etwas Wasser in den Kolben und schwenkt ihn. Die Luft im Kolben wird dadurch während des Versuchs feucht.

#### Versuchsanleitung

Übertragt eure Messergebnisse in eine Tabelle oder ein Diagramm und vergleicht die Daten der verschiedenen Gase miteinander. Welche Gase sind die stärkeren Treibhausgase?

#### Frage

Methan (chemische Summenformel: CH<sub>4</sub>) ist eine chemische Verbindung aus Kohlenstoff und Wasserstoff. Diese Verbindungen nennt man auch Kohlenwasserstoffe. Methan ist ein farb- und geruchloses, brennbares Gas. Es ist der Hauptbestandteil von natürlich vorkommendem Erdgas. Außerdem entsteht Methan beim Stoffwechsel von Lebewesen.

#### Info Methan

Die Methan-Konzentration in unserer Atmosphäre hat sich in den letzten 250 Jahren ungefähr verdoppelt, was hauptsächlich durch die Landwirtschaft verursacht wurde: Es werden immer mehr Tiere (besonders Rinder) gehalten, die bei der Verdauung sehr viel Methan produzieren. Auch beim Reisanbau entsteht Methan, das in die Atmosphäre entweicht. Dort wirkt das Gas als sehr starkes Treibhausgas und trägt zu etwa 20 Prozent zum Treibhauseffekt bei.

Bei jeder Verbrennung von organischen Stoffen entsteht Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), eine chemische Verbindung aus Kohlenstoff und Sauerstoff. Es ist ein farbloses und geruchloses Gas, das nicht brennbar ist. Auch bei der Atmung entsteht CO<sub>2</sub>. Kohlendioxid ist das wichtigste Treibhausgas und trägt zu 50 Prozent zum Treibhauseffekt bei. Die Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes von Industrie, Kraftwerken und Autos ist also sehr wichtig, um die Erderwärmung zu stoppen.

#### Info Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)

Zum Nachweis von Kohlendioxid benutzt man Kalkwasser. CO<sub>2</sub> kann in hohen Konzentrationen zu einer Kohlendioxid-Vergiftung führen, die sich zum Beispiel durch Kopfschmerzen und Schwindel äußert und auch zu Bewusstlosigkeit und Tod führen kann.



## ANLAGE 5: STATION KOHLENDIOXID (CO<sub>2</sub>)

### Reagenz

Kalkwasser

### Versuchsmaterialien

- 1 Teelicht
- 1 Reagenzglas mit Klammer und Stopfen
- 1 feuerfeste Unterlage
- 1 Spritzflasche mit Kalkwasser
- Schutzbrille
- Schutzhandschuhe
- Streichhölzer

### Versuchsanleitung

(1) Stellt das Teelicht auf die feuerfeste Unterlage und zündet es an. Haltet das Reagenzglas mit der Öffnung nach unten über die Flamme. Dreht nach kurzer Zeit das Reagenzglas mit der Öffnung nach oben. Gebt mit der Spritzflasche etwas Kalkwasser hinein. Verschließt das Reagenzglas mit dem Stopfen. Schüttelt das Reagenzglas. Beobachtet, was passiert.

### Fragen

Was entsteht bei der Verbrennung?

Quelle: <https://www.seilnacht.com>

### Kalkwasser/Calciumhydroxid-Lösung in Wasser (Ca(OH)<sub>2</sub>)



Kalkwasser ist eine alkalische, schwach ätzende Lösung. Beim Herstellen und Arbeiten mit Kalkwasser oder von anderen Mischungen mit Calciumhydroxid müssen Schutzbrille und Schutzhandschuhe getragen werden. Es wird empfohlen, das Ausatmen von Atemluft in Kalkwasser nicht als Schülerversuch durchführen zu lassen. Kalkwasser kann zu schweren Augenschädigungen führen.

## ANLAGE 6: STATION OZON

### Station OZON

Informiere dich auf der Internetseite des Umweltbundesamtes ([www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de) – Suchfunktion benutzen) über das Ozon und seine Eigenschaften. Beantworte dabei folgende Fragen:

#### Fragen

- ▶ Wann und wo treten die höchsten Ozonwerte auf?
- ▶ Was sollte man bei erhöhten Ozonwerten in der Luft beachten?
- ▶ Wie kann man selbst dazu beitragen, die Ozonbelastung zu verringern?

#### Info Ozon

Ozon ist eine besondere Form des Sauerstoffs. Normale Sauerstoff-Moleküle ( $O_2$ ) bestehen aus zwei Sauerstoff-Atomen. Beim Ozon ( $O_3$ ) sind drei Sauerstoff-Atome miteinander verbunden. Ozon ist ein unsichtbares Gas, das in hohen Konzentrationen einen stechenden, chlorähnlichen Geruch hat. Das Gas reizt die Atemwege und führt zu Husten und Kopfschmerzen. Auch Pflanzen werden durch erhöhte Ozon-Konzentrationen geschädigt. Für die Entstehung von Ozon in der Luft müssen einige Voraussetzungen erfüllt sein: Aus anderen Luftschadstoffen, den sogenannten Vorläuferstoffen des Ozons, wie Stickoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen bildet sich durch die energiereiche Strahlung der Sonne das Ozon.

## ANLAGE 7: DEMONSTRATIONSVERSUCH STATION STICKOXIDE

Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=vAcFVwoPJvo>

### Reagenzien

Sulfanilsäure (C<sub>6</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>3</sub>S)

Saltzmann-Reagenz N-(1Naphtyl)-ethylendiammoniumdichchlorid in Verdünnung 1:1000

Kaliumhydrogensulfat (KHSO<sub>4</sub>)

### Versuchsmaterialien

- Meßbecher (100 ml)
- 2 Schälchen (d = circa 5 cm)
- Glasbecher (d = circa 20 cm; Höhe circa 5–7 cm)
- Rührstab
- 3 Teelichter
- Schutzbrille
- Schutzhandschuhe
- Streichhölzer

### Versuchsanleitung

(8) Herstellung einer wässrigen Mischung (40 ml) aus Sulfanilsäure, Saltzmann-Reagenz und Kaliumhydrogensulfat in einem Messbecher. Gleichmäßige Verteilung der Mischung auf 2 kleine Schälchen. Eine der Schalen wird verschlossen (Deckel/Klebefolie). 3 Teelichter werden um die beiden nebeneinander stehenden Schälchen auf feuerfester Unterlage gestellt. Alle 3 Teelichter mit Streichhölzern anzünden.

Quelle: <https://www.seilnacht.com>



Aufgrund der stark toxischen Wirkung wird von Experimenten zur Herstellung des Gases an Schulen abgeraten. Für Experimente, bei denen die Gefahr besteht, dass geringe Mengen Stickstoffdioxid frei werden, ist ein Abzug notwendig. Gasflaschen mit Stickstoffdioxid an Schulen nicht aufbewahren!

## Sulfanilsäure



Führt zu gesundheitlichen Schäden, reizen Augen, Haut oder Atemwegsorgane. Führt in größeren Mengen zum Tode. Bei Hautreizungen oder Augenkontakt mit Wasser oder geeignetem Mittel spülen.

## N-(1-Naphthyl)ethylendiamin Dihydrochlorid



Verursacht Hautreizungen und schwere Augenreizungen im direkten Kontakt. Es kann die Atemwege reizen. Schutzhandschuhe/Augenschutz tragen. Hier nur in sehr starker Verdünnung verwendet, womit die Gefährdungen stark vermindert sind.

## Kaliumhydrogensulfat



Kaliumhydrogensulfat ist eine stark ätzende Substanz. Schutzbrille und Schutzhandschuhe sind notwendig. Das Erhitzen darf nur in einem Abzug erfolgen, da hierbei ätzendes Schwefeltrioxid frei wird, das an der Luft einen schwefelsäurehaltigen Nebel bildet.



Entsteht bei Verbrennungen nur  $\text{CO}_2$ ? Lassen sich noch andere Stoffe nachweisen? Wenn ja, welche sind das?

### Fragen

Stickoxide ist die Sammelbezeichnung für chemische Verbindungen von Stickstoff und Sauerstoff. Sie entstehen bei Verbrennungsvorgängen, vor allem in den Motoren von Autos und anderen Verkehrsmitteln. Ihre Summenformeln werden meist als  $\text{NO}_x$  zusammengefasst. Stickoxide reizen und schädigen die Atemorgane, wobei das Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) besonders gesundheitsgefährdend ist. Stickstoffmonoxid ( $\text{NO}$ ) ist ein farbloses, geruchloses Gas, während Stickstoffdioxid ein bräunliches, stechend chlorähnlich riechendes Gas ist. Stickoxide tragen zum sauren Regen bei, da sie mit der Feuchtigkeit der Luft in der Atmosphäre Salpetersäure bilden. Diese Säure schädigt Pflanzen und lässt die Böden sauer werden. Außerdem greift die Säure die Gebäudesubstanz an. Darüber hinaus sind Stickoxide klimawirksam, das heißt, sie tragen zur Erderwärmung bei. Stickoxide sind an der Bildung von Ozon beteiligt, das in höheren Konzentrationen die Atemwege reizt.

### Info Stickoxide

## ANLAGE 8: DEMONSTRATIONSVERSUCH STATION SAURER REGEN 1

### Kopiervorlage 07

#### Station SAURER REGEN 1

<b>Ihr braucht</b>	1 Becherglas einige Stückchen Kalkstein etwas verdünnte Schwefelsäure Schutzbrille
<b>Versuchsanleitung</b>	Gebt etwas verdünnte Schwefelsäure auf den Kalkstein.
<b>Fragen</b>	Beobachtet, was passiert. Wo könnte eine ähnliche Reaktion vorkommen? Was hat dieser Versuch mit Luftschadstoffen zu tun?

#### Info Schwefeldioxid

Schwefeldioxid (chemische Summenformel:  $\text{SO}_2$ ) ist eine chemische Verbindung aus Schwefel und Sauerstoff. Es ist ein farbloses Gas, das stechend riecht und giftig ist. Es reizt die Schleimhäute und ist in hohen Konzentrationen lebensgefährlich, da es Bronchien und Lungen schädigt. Schwefeldioxid entsteht bei der Verbrennung schwefelhaltiger fossiler Energieträger (Erdöl, Erdgas, Kohle). Es entweicht auch aus natürlichen Quellen wie Sümpfen oder Vulkanen. Schwefeldioxid trägt stark zum sauren Regen bei, da es zusammen mit dem Wasserdampf und dem Sauerstoff in der Luft Schwefelsäure bildet. Diese Säure führt dazu, dass das Regenwasser sauer wird und schädlich auf Pflanzen wirkt. Der saure Regen greift auch Gebäude und Skulpturen aus kalkhaltigem Material an. Der Ausstoß von Schwefeldioxid konnte in den vergangenen Jahrzehnten bereits stark verringert werden. Maßnahmen hierzu sind zum Beispiel die Nutzung schwefeldireier oder -armer Brennstoffe und die Rauchgasentschwefelung.

# ANLAGE 9: LANGZEITVERSUCH SAURER REGEN 2 ALS UNTERRICHTSERGÄNZUNG

KOPIERVORLAGEN

## Kopiervorlage 08

### Station SAURER REGEN 2

2 Glasschälchen  
2 Stücke Watte  
einige Kressesamen  
etwas Salpetersäure ( $c(\text{HNO}_3) = 0,001 \text{ mol/l}$ )  
etwas Wasser  
1 Reißzwecke

#### Ihr braucht

Legt je ein Stück Watte auf die beiden Glasschälchen. Danach streut ihr einige Kressesamen auf jedes Wattestück. Gießt nun einige Tropfen Salpetersäure auf das eine Wattestück und etwas Wasser auf das andere. Markiert die mit der Säure getränkte Watte mit der Reißzwecke und stellt beide Schälchen an einen hellen Ort.

#### Versuchsanleitung

Gießt nun jeden Tag die Kressesamen: Das Schälchen mit der Reißzwecke mit der Säure und das andere mit Wasser.

Schreibt täglich kurz auf, was ihr beobachtet.

#### Frage

Saurer Regen ist ein Endprodukt einfacher Verbrennungsvorgänge, wie sie beispielsweise in einem Automotor stattfinden. Unbelastetes Regenwasser hat einen pH-Wert um 5 und kommt allein durch den Kohlendioxidgehalt der Luft zustande. Sind in der Atmosphäre allerdings weitere Schadstoffe wie beispielsweise  $\text{SO}_2$  und  $\text{NO}_x$ , können diese mit dem Regenwasser zu Säuren reagieren, so sinkt der pH-Wert weiter ab. Die Schwefeloxide entstehen hauptsächlich bei der Verbrennung von Kohle und Erdölderivaten (Kohle enthält meist zwischen 0,5 und 2 Prozent Schwefel). Auch aus natürlichen Quellen gelangt beispielsweise Schwefeloxid durch Vulkanismus in die Atmosphäre. Schwefeldioxid bildet mit der Feuchtigkeit der Luft schwefelige Säure, welche zu Schwefelsäure oxidiert wird. Schwefeldioxid stellt eine ernste Belastung der Atmosphäre dar. Es ist ein Atemgift und schädigt die Vegetation. Die von uns Menschen erzeugten (anthropogenen) Stickstoffoxide stammen hauptsächlich aus den Verbrennungsgasen von Automotoren und anderen Verkehrsmitteln.

#### „Saurer Regen“