Pädagogisches Zentrum
Rheinland-Pfalz
Bad Kreuznach

PZ-Information 1/2001

Mathematik-Naturwissenschaften

Luft

Handreichung für das Wahlpflichtfach Mathematik-Naturwissenschaften der Realschule und für den fachübergreifenden projektorientierten Unterricht

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	**Didaktische und methodische Vorbemerkungen**	**1**
1.1	Allgemeine Zielsetzung des Unterrichts im Wahlpflichtfach Mathematik-Naturwissenschaften	1
1.2	Das Thema „Luft“ im Unterricht	2
1.2.1	Auszug aus dem Lehrplan des Wahlpflichtfachs Mathematik-Naturwissenschaften 7/8	2
1.2.2	Lehrplankoordination in den naturwissenschaftlichen Fächern	3
1.2.3	Mathematische Aspekte	4
1.2.4	Das Experiment im Unterricht	4
2	**Der Unterricht**	**6**
2.1	Vorbereitung	6
2.1.1	Vorsichtsmaßnahmen beim Umgang mit Chemikalien	6
2.1.2	Umgang mit Gasen	7
2.2	Wesentliche Bestandteile der Luft	9
2.2.1	Sauerstoff	10
2.2.2	Kohlenstoffdioxid	15
2.2.3	Stickstoff	18
2.2.4	Wasser	20
2.2.5	Staub	21
2.2.6	Mikroorganismen	23
2.3	Eigenschaften des Stoffgemisches Luft und seiner Bestandteile	25
2.3.1	Dichte von Luft	25
2.3.2	Absorption von Wärmestrahlung	30
2.3.3	Luftfeuchtigkeit	33
2.4	Die Herkunft gasförmiger Luftbestandteile	38
2.4.1	Kohlenstoffdioxid	38
2.4.2	Sauerstoff	45
2.4.3	Wasser	47

2.5 Anthropogene Einflüsse auf die Zusammensetzung der Luft 52
2.5.1 Luftverschmutzung durch Verbrennungsvorgänge 52
2.5.2 Auswirkungen der Luftverschmutzung auf das Leben 61

3 Literatur- und Internethinweise 66

1 Didaktische und methodische Vorbemerkungen

1.1 Allgemeine Zielsetzung des Unterrichts im Wahlpflichtfach Mathematik-Naturwissenschaften

„Der Unterricht im Fach Mathematik-Naturwissenschaften der Klassenstufen 7 und 8 soll vor allem an grundlegende mathematisch-naturwissenschaftliche Erkenntnis- und Darstellungsmethoden heranführen, mit deren Hilfe naturwissenschaftlich fassbare Phänomene erkannt, beschrieben, gedeutet, miteinander verknüpft und in einen gesellschaftlichen Zusammenhang gestellt werden können.“[1] (Lehrplan S. 5)

Die für das Wahlpflichtfach Mathematik-Naturwissenschaften vorgesehenen Themenbereiche werden durch die Erkenntnis- und Arbeitsmethoden aller Naturwissenschaften und der Mathematik erschlossen. Sie sind nicht einer naturwissenschaftlichen Disziplin zugeordnet, sondern bewusst interdisziplinär angelegt, wobei allerdings Schwerpunkte in das eine oder andere naturwissenschaftliche Fach gelegt werden. Der Mathematik kommt die Aufgabe zu, mit ihren Auswertungs- und Darstellungsmethoden die Grundlagen zu Theorie- und Modellbildungsprozessen zu schaffen. In einigen Themenbereichen kommen noch geografische Aspekte hinzu. Durch den interdisziplinären Ansatz sollen monokausale Denkmuster vermieden und ganzheitliche Lernprozesse gefördert werden.

Darüber hinaus werden naturwissenschaftliche Erkenntnisse und ihre Anwendungsmöglichkeiten auch unter gesellschaftlichen und ethischen Gesichtspunkten betrachtet und analysiert. So wird anhand konkreter Beispiele aufgezeigt, dass die Pluralität von Werten, Normen und Weltanschauungen unterschiedliche Interpretationen naturwissenschaftlicher Informationen (Daten) zulässt und somit zu unterschiedlichem sittlichen oder politischen Handeln führen kann.

Das Wahlpflichtfach Mathematik-Naturwissenschaften setzt sich somit auch das Ziel, Wahrnehmungs- und Handlungskompetenzen zu fördern, die auf die persönliche, berufliche und gesellschaftliche Lebensgestaltung wirken.

Das bedeutet, dass die Inhalte der im Lehrplan beschriebenen Themenbereiche unter den genannten Gesichtspunkten bearbeitet werden sollen und somit der Weg bereits ein wichtiger Teil des Ziels ist.

[1] Lehrplan Wahlpflichtfach Mathematik-Naturwissenschaften (Klassen 7 und 8) Realschule, Mainz 1999, S. 5

1.2 Das Thema „Luft“ im Unterricht

1.2.1 Auszug aus dem Lehrplan des Wahlpflichtfachs Mathematik-Naturwissenschaften 7/8

Luft ist das die Erdatmosphäre bildende Gemisch aus Dämpfen, Gasen, Staub und Organismen. Dieses Gemisch, die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften seiner Bestandteile und ihr Einfluss auf das Leben bilden den Schwerpunkt dieses Themenbereiches.

Sachkompetenz	**Methoden- und Sozialkompetenz**	**Hinweise**
Wesentliche Bestandteile der Luft		
Zusammensetzung der bodennahen Luft (gasförmige und feste Bestandteile, Organismen)	Feste und gasförmige Bestandteile qualitativ nachweisen bzw. quantitativ bestimmen	Bestimmung des Sauerstoffanteils
		Stickstoffgewinnung
		Qualitative Nachweise von Kohlenstoffdioxid und Wasser
		Qualitativer Nachweis von Staub und Schwebstoffen
	Organismen in der Luft qualitativ nachweisen	Exposition von sterilen Nährböden
Eigenschaften des Stoffgemisches Luft und seiner Bestandteile		
Dichte	Die Dichte der Luft quantitativ bestimmen	
	Abhängigkeit der Luftdichte vom Druck nachweisen	
	Abhängigkeit der Luftdichte von der Temperatur nachweisen und anwenden	Bau von Heißluftballons oder Weihnachtspyramiden
Absorption von Wärmestrahlung	Die unterschiedliche Wärmeabsorption von Luft und von Kohlenstoffdioxid quantitativ nachweisen	Treibhauseffekt
Luftfeuchtigkeit	Die relative Luftfeuchtigkeit messen und deren Abhängigkeit von ausgewählten Parametern untersuchen	Hygrometer, Sättigung, Temperatur, Druck
Die Herkunft gasförmiger Luftbestandteile		
Kohlenstoffdioxid	Kohlenstoffdioxid als Verbrennungs- und Gärungsprodukt qualitativ und quantitativ nachweisen	Versuche zur Untersuchung von Autoabgasen, Atemluft oder zur alkoholischen Gärung
Sauerstoff	Sauerstoffproduktion grüner Pflanzen in Abhängigkeit vom Licht bestimmen	Messreihen mit Elodea canadensis
Wasser	Verdunstungsraten von Oberflächengewässern abschätzen. Transpirationsraten von Pflanzen quantitativ bestimmen und auf größere Pflanzenbestände umrechnen	Langzeitmessungen ggf. mit Computerunterstützung
		Additum: Stickstoffkreislauf

Anthropogene Einflüsse auf die Zusammensetzung der Luft		
Luftverschmutzung durch Verbrennungsvorgänge	Konzentrationen und Konzentrationsveränderungen von Stickoxiden und Ozon in der bodennahen Luft nachweisen	Langzeitmessungen
Auswirkungen der Luftverschmutzung auf das Leben.	Auswirkungen von Motorabgasen auf das Wachstum von Pflanzen qualitativ nachweisen	Versuche mit Gartenkresse
	Auswirkungen von Schwefeldioxid auf die Keimung von Pflanzen quantitativ nachweisen	Saurer Regen

1.2.2 Lehrplankoordination in den naturwissenschaftlichen Fächern

Orientierungsstufe:

In der Orientierungsstufe wird das Kapitel „Experimente mit Luft“ im 6. Schuljahr mit einem Zeitrichtwert von 9 Stunden festgelegt. Es geht hier vor allem darum, dass die Schülerinnen und Schüler auf experimentellem Weg zu qualitativen und einigen quantitativen (Luftmasse, Atemvolumen) Aussagen kommen

- zu Eigenschaften der Luft („Luft ist ein Körper!“),
- zur Zusammensetzung der Luft und
- zur Rolle des Sauerstoffs beim Verbrennungsvorgang.

Dabei sollten sie auch folgende Arbeitsweisen und Nachweise durchführen können:

- Auffangen von Gasen mit pneumatischer Wanne,
- Glimmspanprobe (Sauerstoff),
- Kalkwasserprobe.

Zum Verbrennungsvorgang werden Untersuchungen an einer Kerzenflamme angeregt.

Unterricht in den Klassen 7-10

Chemie-Unterricht ab Klasse 8: Der Chemie-Unterricht setzt (nach dem Aussetzen dieses Faches in Klasse 7) in Klasse 8 wieder ein. Das bedeutet, dass bei der Behandlung des Themas „Luft“ in Klasse 7 einige chemische Nachweismethoden vorgezogen werden müssen. Bei Behandlung in Klasse 8 ist auf die Parallelität zu achten, und mit der Chemielehrerin bzw. dem Chemielehrer sind entsprechende Absprachen zu treffen (Thema: Oxidation). Stickstoff- und Schwefelverbindungen sind erst Thema des 9. Schuljahrs.

Biologie-Unterricht in den Klassen 7, 9 und 10: In Klasse 7 wird die Fotosynthese im Rahmen des Themas „Grüne Pflanzen sind Produzenten“ behandelt (Hinweise auf die experimentelle Untersuchung der Sauerstoffbehandlung). Da die Atmung erst im 9. Schuljahr Unterrichtsthema ist, kann bei der CO_2-Entstehung durch Atmung nur auf den Unterricht der Orientierungsstufe Bezug genommen werden.

Physik-Unterricht in den Klassen 7, 9 und 10: Da die Thematik „Luft“ im Lehrplan Physik nur hin und wieder am Rand angesprochen wird, kann auf eine Koordination mit der Fachlehrerin bzw. dem Fachlehrer verzichtet werden.

1.2.3 Mathematische Aspekte

Für die Thematik relevante Vorkenntnisse:

Die Mathematik hat im Unterricht des Wahlpflichtfachs dienende Funktion. Dort, wo es um Quantifizierung und funktionale Abhängigkeiten geht, müssen mathematische Kenntnisse und Fertigkeiten eingesetzt werden. Da das Thema Luft zu den schwierigeren Themen des Lehrplans gehört, empfiehlt es sich, es in der 8. Klassenstufe zu behandeln. Dadurch können auch mathematische Fähigkeiten, die in der 7. Klassenstufe erlernt worden sind, hier angewandt werden. Das sind unter anderem die für das Thema Luft relevanten Unterrichtsstoffe:

Prozentrechnung: Die Grundaufgaben der Prozentrechung werden im 7. Schuljahr eingeführt, die grafische Veranschaulichung (leider) erst im 8. Schuljahr. Letzteres bedeutet, dass mit der Fachlehrerin bzw. dem Fachlehrer für Mathematik Absprachen getroffen werden müssen (z. B. Kreisdarstellung der Zusammensetzung der Luft).

Zuordnungen zwischen Größenbereichen: In der Orientierungsstufe wurden die Grundkenntnisse zur Darstellung von Tabellen und Diagrammen vermittelt. Im 7. Schuljahr lernen die Kinder proportionale und antiproportionale Zuordnung von Größen und deren Darstellung im Koordinatensystem kennen.

Flächeninhalte und Rauminhalte: Im 7. Schuljahr gibt es keine Neueinführung, nachdem in der Orientierungsstufe der Flächeninhalt von Rechtecken und der Rauminhalt von rechteckigen geraden Prismen Unterrichtsstoff war. Volumenberechnungen von Quadern (z. B. als Grundlage für das Gewicht der Luft im Klassenraum) sind daher möglich. Erst im 8. Schuljahr wird die Flächen- und Körperberechnung erweitert auf Vielecke und gerade Prismen mit Vielecken als Grundfläche.

Beschreibende Statistik: Im 8. Schuljahr geht es um die Erhebung und Aufbereitung statistischer Daten, um statistische Kennwerte (Stichprobe, arithmetisches Mittel, Zentralwert) und um die Auswertung und Beurteilung statistischer Daten. Auch hier ist eine Absprache mit der Mathematiklehrerin bzw. dem Mathematiklehrer unumgänglich.

1.2.4 Das Experiment im Unterricht

„Die experimentelle Erschließung der jeweiligen Inhalte hat im Wahlpflichtfach Mathematik-Naturwissenschaften einen bedeutenden Stellenwert. Vorrang hat das Schülerexperiment.“[2]

Das („eigentliche“) naturwissenschaftliche Experiment

Im Lernprozess kann das Experiment an verschiedenen Stellen im Unterrichtsverlauf stehen:
(1) Einführungsexperiment: Es steht am Anfang, um einen Erkenntnisprozess zu initiieren. Es sollte Staunen hervorrufen und motivieren, die auf die dadurch aufgeworfene Frage eine Antwort zu finden. Es wird nach Vorgaben der Lehrkraft durchgeführt.

Beispiel: Die Schülerinnen und Schüler leiten das Gas von Brausetabletten in ein Glasgefäß. Dann legen sie einen aufgeblasenen Luftballon in das Glasgefäß. Frage: Warum sinkt der Luftballon nicht auf den Boden des Gefäßes?

---

[2] Lehrplan Wahlpflichtfach Mathematik-Naturwissenschaften (Klassen 7 und 8) Realschule, Mainz 1999, S. 8

(2) Das Experiment zur systematisch-empirischen Beantwortung einer Fragestellung: Es ist die schulgemäße Umsetzung des wissenschaftlichen Experiments. Die Lehrkraft gibt hier möglichst wenig vor. Die Hypothese steht am Anfang.

Dann folgt die Überlegung, ein Experiment zu planen, das die Hypothese bestätigt oder verwirft. Die fachgerechte Durchführung und die genaue Beobachtung zeigen ein Ergebnis, das die Hypothese bestätigt, verwirft oder neue Fragen aufwirft. Evtl. erfordert das Experiment das Suchen von Fehlerquellen und die Planung einer neuen (verbesserten) Versuchsanordnung. Das stets notwendige genaue Versuchsprotokoll verlangt gute (geistige) Disziplin.

Diese hohe Form des naturwissenschaftlichen Experiments wird in der Regel nicht alltägliche Praxis im Unterricht sein können, aber zur Verdeutlichung der naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweise sollte diese Form des Experiments mehrere Male innerhalb eines Schulhalbjahrs durchgeführt werden.

Gutes Durchhaltevermögen der Schülerinnen und Schüler wird bei der Durchführung von Versuchsreihen und bei der Fehlersuche benötigt. Es ist wichtig, hier genügend Zeit vorzusehen, und nicht um des schnelleren Fortschreitens willen den Schülerinnen und Schülern die Ergebnisse zu präsentieren. Der folgende Grundsatz sollte Leitlinie des Unterrichts sein: Nicht die Vermittlung naturwissenschaftlicher Kenntnisse steht im Unterricht an erster Stelle, sondern die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung.

(3) Bestätigungsexperiment: Im naturwissenschaftlichen Denken ist fest verhaftet, dass ein beschriebenes Experiment mit einem als eindeutig erkannten Ergebnis jederzeit exakt das gleiche Ergebnis zeigt, wenn es unter den gleichen Bedingungen wiederholt wird. Das bedeutet, dass es gute naturwissenschaftliche Praxis ist, Experimente im Sinne der Bestätigung erneut durchzuführen. Im Unterricht hat es natürlich auch eine didaktische Komponente: das Festigen und Sichern einer gewonnen Erkenntnis.

Weitere Formen des Experiments

(1) Modellexperiment: Außerhalb dieser Experimentarten, die durch ihre Stellung im Unterrichtsablauf gekennzeichnet sind, ist noch der Typ des Modellversuchs zu nennen. Modellversuche sind Annäherungen an die Realität und geben (komplexe) Wirklichkeit wieder. Die Modellversuche zum „Sauren Regen“ und zum Treibhauseffekt sind typische Beispiele.

(2) Instrumentelles Arbeiten: Bei einer Reihe von Schülerübungen, die oft mit dem Begriff „Experiment“ belegt werden, geht es mehr um das Anwenden von instrumentellen Arbeitsweisen. Dazu gehören der Umgang mit Messgeräten und vor allem die Bestimmung eines Stoffes durch chemische Nachweisreaktion (Sauerstoffnachweis mit einem glimmenden Span, Nachweis von Kohlenstoffdioxid durch Kalkwasser, Nachweis der Luftfeuchtigkeit durch Cobaltchlorid u. a.).

2 Der Unterricht

2.1 Vorbereitung

Da nicht nur Fachlehrerinnen und -lehrer für Chemie den Themenbereich „Luft“ unterrichten, werden hier zwei kleine Kapitel aufgenommen, die Lehrkräften der anderen naturwissenschaftlichen Disziplinen nützlich sein können.

2.1.1 Vorsichtsmaßnahmen beim Umgang mit Chemikalien

Sind die Schülerinnen und Schüler noch unerfahren im Durchführen von Versuchen, muss am Anfang des Unterrichts über einige wichtige Arbeitsgrundsätze gesprochen und auf die Vermeidung von Gefahren hingewiesen werden.

Allgemeine Regeln:

- Experimentiere nur nach den gegebenen oder mit der Lehrkraft abgesprochenen Anweisungen.
- Halte Geräte und Arbeitsflächen sauber. Reinige benutzte Geräte sofort, wenn sie nicht mehr gebraucht werden.
- Verschließe ein Vorratsgefäß sofort wieder, wenn die benötigte Menge Chemikalien entnommen worden ist.
- Gib grundsätzlich keine Chemikalien in das Vorratsgefäß zurück. Frage deine Lehrerin bzw. deinen Lehrer, was mit dem Überschuss gemacht werden soll.
- Beim Experimentieren ist Essen und Trinken grundsätzlich nicht erlaubt.
- Auf den Experimentiertisch gehören nur die benötigten Arbeitsmaterialien.
- Binde lange Haare hinten zusammen und trage keine langen Halsketten.
- Wasche dir nach dem Experimentieren mit Chemikalien gründlich die Hände.

Regeln beim Experimentieren:

- Vermeide durch kräftiges Rühren oder Schütteln oder durch Zugabe von Siedehilfen, z. B. Siedesteinchen, dass beim Sieden von Flüssigkeiten der Inhalt herausspritzt.
- Halte die Öffnung von Reagenzgläsern grundsätzlich nicht in die Richtung anderer Personen.
- Erhitze keine fest verschlossenen Gefäße.
- Um den Geruch einer Substanz festzustellen, fächle dir vorsichtig mit der flachen Hand etwas von der Luft über der Chemikalie in die Nase und nähere diese nur langsam der Öffnung des Gefäßes.
- Zum Ansaugen von Flüssigkeiten benutze stets eine Pipette; sauge nie Flüssigkeiten mit dem Mund an.
- Wende beim Zusammenbauen oder Trennen von Glasgeräten keine Gewalt an. Gummischläuche oder Stopfen lassen sich leichter auf Glasrohre aufziehen und später auch wieder trennen, wenn man etwas Glycerin als Gleitmittel aufträgt.

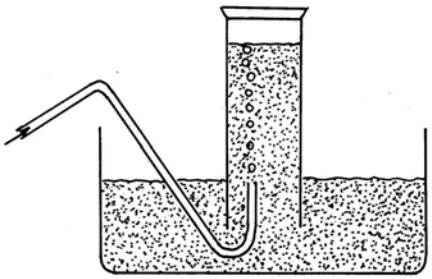
Wer unsicher ist, ob der eine oder andere chemische Stoff im Schüler- oder Lehrerversuch eingesetzt werden kann, bekommt eine sehr gute Hilfe im Internet unter der Adresse www.gefahrstoffdaten.de. Es ist die Online-Seite der „Soester Liste“, in der alphabetisch jeder Stoff in Bezug auf menschliche Gefährdung dargestellt ist. Sym-

bole vermitteln schnell das Gefährdungspotenzial und zeigen an, ob der gesuchte Stoff im Schülerversuch eingesetzt werden kann.

Merkblätter zum richtigen Verhalten beim Experimentieren können von der Internet-Seite http://www.chemieunterricht.de heruntergeladen werden.

2.1.2 Umgang mit Gasen

Abfüllen von Gasen mittels der pneumatischen Wanne:



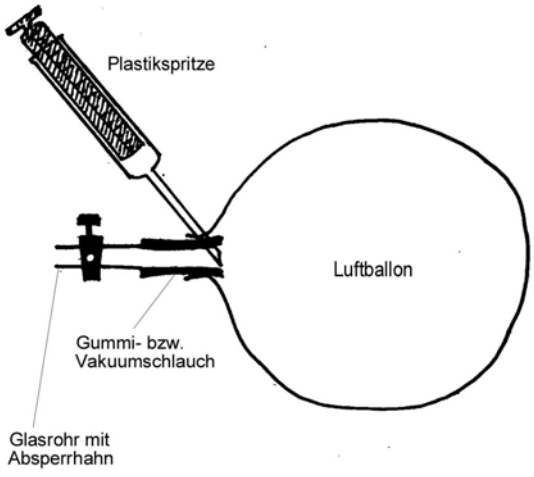
Das Auffanggefäß (Reagenzglas, Standzylinder etc.) randvoll mit Wasser füllen, die Öffnung mit einer Glasplatte oder der Hand verschließen, umdrehen und unter der Wasseroberfläche erst wieder öffnen. Evtl. dann an einem Stativ befestigen. Das einströmende Gas verdrängt die Flüssigkeit. Das Gas sammelt sich im umgestülpten Zylinder, ohne dass Luftzutritt stattfinden kann.

Problem: Die meisten Gase sind nicht sichtbar (farblos), sie mischen sich schnell, je nach Gasart sind sie schwerer oder leichter als Luft.

Beim Einsatz oder Abfüllen von Gasen das Schlauchsystem erst mit dem Gas „spülen“, um Luft etc. zu entfernen.

Vorratsbehälter (Gasdepot) bei kleineren Gasmengen

Für kleinere Gasmengen eignen sich Plastikspritzen mit Kanüle sehr gut. Sie sind preiswerter als Glaskolbenprober, und mittels Kanüle können Gase aus einem Gummischlauch entnommen werden bzw. in einen Gummischlauch oder durch einen Gummistopfen injiziert werden.

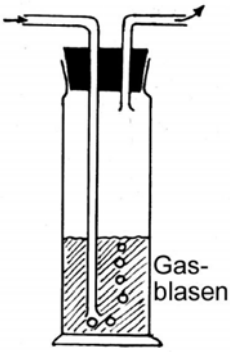


Die Einstichstelle bei Gummischläuchen schließt sich wieder von selbst nach dem Entfernen der Kanüle und ist wieder gasdicht. Auch durch einen Gummistopfen kann mit stabiler Kanüle und entsprechender Vorsicht Gas entnommen oder in ein Gefäß hineingebracht werden.

Wird das in eine Spritze „aufgezogene“ Gas nicht sofort weiterverwendet, kann man das Gas durch Einstechen in einen Gummistopfen in der Spritze leicht einsperren.

Blasenzähler:

Sichtbarmachen eines Gasstroms mit einem „Blasenzähler“: Leitet man einen Gasstrom durch eine Waschflasche mit Wasser, so wird das Gas als Blasen sichtbar.



Der Gasstrom kann sowohl durch Überdruck von der Einleitungsseite als auch durch Unterdruck (Saugen) von der Ausgangseite erzeugt werden. Zum Saugen verwendet man eine Wasserstrahlpumpe; im Notfall reicht auch ein von Hand betätigter Saugball.

Umgang mit Gasflaschen

Üblicherweise gehören zur Ausstattung von Chemie-Fachräumen Druckgasflaschen mit Sauerstoff (blau), Stickstoff (grün), Wasserstoff (rot) und Kohlenstoffdioxid (grau). Außer durch die farbliche Kennzeichnung ist der Inhalt durch Beschriftung kenntlich gemacht. Der Umgang mit Gasflaschen sollte den Lehrkräften vorbehalten sein.

Die Gasflaschen müssen gegen Umfallen gesichert sein. Am geeignetsten sind fahrbare Gestelle, die (mit einer Kette) an der Wand befestigt sind. Sauerstoffarmaturen dürfen wegen Explosionsgefahr nicht gefettet oder geölt werden.

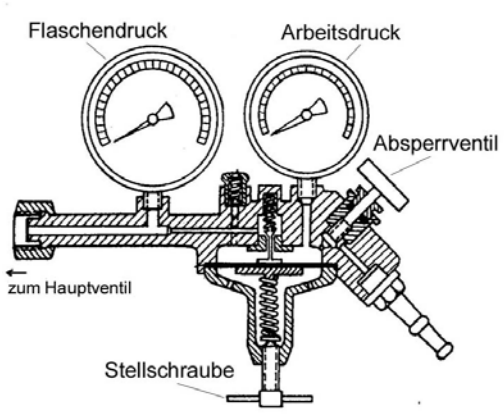
Bei der Bedienung sind folgende Schritte zu beachten:

Öffnen der Gasflasche:

- Kontrolle durchführen (beide Manometer auf Null, Stellschraube nach unten gedreht).
- Hauptventil an der Gasflasche öffnen (Anzeige des Drucks am linken Manometer).
- Stellschraube langsam hineindrehen und den gewünschten reduzierten Druck einstellen (rechtes Manometer).
- Absperrventil öffnen und damit die Gasentnahme regulieren.

Schließen der Gasflasche:

- Hauptventil an der Gasflasche schließen.
- Restgas ablassen und danach Absperrventil schließen.
- Stellschraube herausdrehen, bis sie locker ist.



2.2 Wesentliche Bestandteile der Luft

Die im Folgenden aufgeführten Bestandteile der Luft sind zwei Gruppen zuzuordnen: Die erste Gruppe umfasst die Bestandteile des reinen Gasgemisches Luft (Sauerstoff, Kohlenstoffdioxid und Stickstoff), die andere die fein verteilten anorganischen (Staub) und organischen (Mikroorganismen) Bestandteile. Der grundsätzliche Unterschied zwischen diesen beiden Gruppen muss für die Schülerinnen und Schüler deutlich werden.

Die Schülerinnen und Schüler sollten beauftragt werden, die wichtigsten Informationen zur Luftzusammensetzung selbst zu suchen (Tabelle im Chemiebuch u. a.). Folgende Begriffe müssen dann evtl. im Unterricht geklärt werden: Maßeinheiten Vol.% und ppm (evtl. ppm), Begriff „Spurengase“.

Zusammensetzung der unteren Erdatmosphäre (trockene Luft):

	Bestandteile	Konzentration
Hauptbestandteile	Stickstoff (N_2)	78,09 %
	Sauerstoff (O_2)	20,95 %
	Argon (Ar)	0,93 %
	Kohlenstoffdioxid (CO_2)	0,033 % (= 330 ppm)
(übrige) Edelgase	Neon (Ne)	18 ppm
	Helium (He)	5 ppm
	Krypton (Kr)	1 ppm
	Xenon (Xe)	0,09 ppm
Spurengase	Methan (CH_4)	1,5 ppm
	Kohlenstoffmonoxid (CO)	0,1 ppm
	Wasserstoff (H_2)	0,5 ppm
	Distickstoffoxid (N_2O)	0,25 ppm
Variable Bestandteile	Ozon (O_3)	0,02 – 0,2 ppm
	Schwefeldioxid (SO_2)	0,002 ppm
	Ammoniak (NH_3)	0,02 ppm
	Stickstoffdioxid (NO_2)	0,003 ppm
	Stickstoffmonoxid (NO)	0,003 ppm

Die Aussagen der Tabelle sollten dann in Diagrammen (Streifen-, Säulen- oder Kreisdiagramme) veranschaulicht werden, wobei auch entsprechende Computerprogramme (z. B. Excel) genutzt werden können.

2.2.1 Sauerstoff

Methodisch-didaktische Anmerkungen

Steckbrief:

- chemisches Zeichen: O (lat. Oxygenium)
- häufigstes Element auf der Erde
- Gehalt in der Luft 20,95 %
- kommt in der Luft als O_2–Moleküle vor
- bei Normaltemperatur gasförmig, farblos, geruchlos
- in Wasser schwach löslich (bei 20 °C, 31 cm^3/Liter)
- Dichte (spez. Gewicht oder Litergewicht) = 1,429 g/l bei 0 °C, 1,33 g/l bei 20 °C
- Siedetemperatur –183 °C, Schmelztemperatur –219 °C
- Technische Gewinnung durch Luftverflüssigung (starkes Abkühlen) und anschließende Destillation (Linde–Verfahren)
- sehr reaktionsfähiges Element, welches mit vielen anderen Stoffen gut reagiert (Oxidationen), z. B. Verbrennungen
- nicht brennbar, unterstützt die Verbrennung

Sauerstoff lässt sich in kleineren Mengen in der Schule durch Erhitzen von Kaliumpermanganat erzeugen. Günstig ist es freilich, wenn für die dargestellten Experimente auf die Sauerstoffflasche zurückgegriffen werden kann, weil es dann (im Normalfall) keine Versorgungsprobleme während des Experimentierens gibt, z. B. beim experimentellen Nachweis oder der Bestimmung der Dichte des Sauerstoffs.

Der Anteil des Sauerstoffs in der Luft kann auf verschiedene Weise bestimmt werden. Drei Varianten werden beschrieben, wobei der beliebte Versuch mit der schwimmenden Kerze unter einem Glaszylinder naturwissenschaftlich fragwürdig ist. Dieser eignet sich aber gut als Einstiegsexperiment, weil sich daran Fragen anschließen, die einen anderen Versuch fordern und damit naturwissenschaftliches Denken an einem relativ einfachen Beispiel verdeutlicht wird.

Der Versuch mit der Kerze kann aus mehreren Gründen keine genauen Ergebnisse liefern. Die Kerze erlischt nicht erst bei einem Sauerstoffgehalt von 0 %, sondern schon bei einem O_2–Gehalt von etwa 16 % (Pfeifer, P./Pfeifer, G.: Luft. Unterricht Chemie Bd. 6). Beim Verbrennen von Kerzenwachs entstehen Wasserdampf und Kohlenstoffdioxid, also gasförmige Stoffe. Wasserdampf kondensiert zwar, aber CO_2 bleibt gasförmig, also kann das Gasvolumen unter dem Glaszylinder theoretisch nicht auf 80 % zurückgehen. CO_2 wird z. T. in Wasser aufgenommen (gelöst), aber nicht 100%ig. Das Restgas unter dem Glaszylinder kann mit dem Kolbenprober-Versuch (s. u.) untersucht werden und zeigt noch einen deutlichen O_2-Gehalt.

Beim Versuch, bei dem das Restvolumen der Luft nach einem Verbrennungs- bzw. Oxidationsvorgang gemessen wird (V4), muss das Reaktionsrohr (Rohr mit relativ geringem Querschnitt und 20-30 cm Länge) gut mit Stahlwolle gefüllt sein, damit möglichst wenig „Totvolumen“ vorhanden ist, d. h. Luft, welche nicht in den beiden Messwerten der Kolbenprober enthalten ist. Es ist wichtig, nach dem Versuch das Gas abkühlen zu lassen wegen der starken Temperaturabhängigkeit von Gasvolumi-

na. Wenn zu wenig Kolbenprober für Schülerversuche zur Verfügung stehen, kann auf der einen Seite auch ein Luftballon als Ersatz dienen. Plastikspritzen können ebenfalls Kolbenprober aus Glas ersetzen.

Wenn das Thema „Luft“ in Klasse 8 behandelt wird, ist an dieser Stelle eine Absprache mit der Fachlehrerin bzw. dem Fachlehrer für Chemie notwendig, da Oxidation Thema des Chemie-Unterrichts in dieser Klasse ist und hier ähnliche Versuche durchgeführt werden.

Experimente

V1: Nachweis von Sauerstoff

Material:

Sauerstoffflasche, Holzspan, Glaszylinder; zusätzlich: Kerze, Stahlwolle, Sand

Durchführung:

a) Entzünde einen Holzspan (Holzspieße für Schaschlik etc. sind auch geeignet), blase nach dem Anbrennen die Flamme aus und halte den glimmenden Holzspan in ein mit Sauerstoff gefülltes Gefäß oder an ausströmenden Sauerstoff. Der glimmende Holzspan leuchtet zuerst auf und entflammt wieder.

b) Bringe eine brennende Kerze (oder anderes brennendes Material) in ein mit Sauerstoff gefülltes Gefäß. Die Verbrennung läuft deutlich besser bzw. heftiger ab (größere, hellere Flamme).

Hinweis:

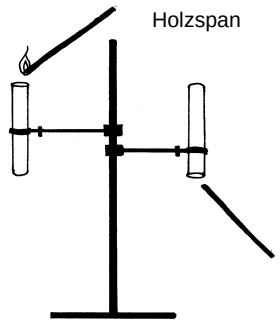
Bringt man glühende Stahlwolle in ein Gefäß mit Sauerstoff, so empfiehlt sich eine Sandschicht auf dem Gefäßboden, da die Verbrennung der Stahlwolle zum Abtropfen von flüssigem Eisen führen kann, wodurch das Glasgefäß beschädigt werden kann.

V2: Die Dichte von Sauerstoff im Vergleich zu Luft

Material:

Sauerstoffflasche, 2 Reagenzgläser; zusätzlich Glasgefäß, Seifenlösung, Trinkhalm

Durchführung:



a) 2 Reagenzgläser werden mit (mittels Pneumatischer Wanne) reinem Sauerstoff gefüllt. Das eine Reagenzglas wird mit der Öffnung nach oben, das andere mit der Öffnung nach unten in ein Stativ eingespannt. Nach kurzer Zeit wird die Glimmspanprobe durchgeführt. Sie gelingt nur bei dem Gefäß, dessen Öffnung nach oben weist. Daraus lässt sich folgern, dass Sauerstoff schwerer als Luft ist.

b) Mit Sauerstoff gefüllte Luftballons oder Seifenblasen sinken etwas schneller als solche mit Luft.

V3: Bestimmung des Sauerstoffgehalts in der Luft (Vorversuche)

Material:

2 Bechergläser versch. Größe, Kerze (z. B. Teelicht), Glaswanne, Glasglocke mit Stopfen

Durchführung:

a) Zwei brennende gleiche Kerzen (z. B. Teelichter) werden unter zwei verschieden große umgestülpte Bechergläser gestellt. Unter dem kleineren Becherglas erlischt die Kerze zuerst wegen der kleineren zur Verfügung stehenden Sauerstoffmenge bzw. wegen der entstehenden größeren CO_2-Konzentration. Die Kerze unter dem größeren Becherglas brennt deutlich länger.

Hinweis:

Statt der schwimmenden Kerze kann auch in Spiritus getränkte Watte in einem schwimmenden Porzellanschälchen angezündet werden. Eine weitere Alternative ist eine am Stopfen befestigte Halterung mit Kerze, die von oben durch die Öffnung eingebracht wird.

V4: Bestimmung des Sauerstoffgehalts der Luft (Variante 1)

Material:

2 Kolbenprober, 1 Reaktionsrohr (ab 20 cm Länge) bzw. ein Quarzrohr, 2 Stopfen, Glasröhrchen, Stahlwolle oder Kupferspäne, Schlauchverbindungen, 2 Stative mit Befestigungsmaterial, Brenner

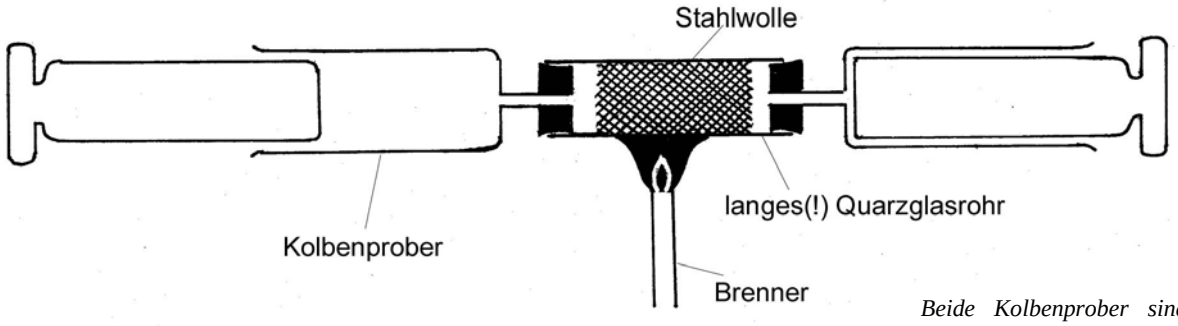
Durchführung:

Eine definierte Luftmenge (z. B. 100 ml) wird in einen Kolbenprober aufgenommen, der andere Kolbenprober ist ganz eingeschoben (oder beide Kolbenprober enthalten je 50 ml Luft). Nach Erhitzen der Stahlwolle oder der Cu-Späne beginnen diese aufzuglühen. Dann wird die Luft mehrmals langsam durch die Apparatur geschoben. Nach mehrmaligem Hin- und Herschieben nimmt das Gasvolumen nicht mehr ab; die Reaktion mit dem Sauerstoff der Luft ist beendet. Nach Abkühlen der Anlage bleiben noch etwa 80 % des ursprünglichen Luftvolumens als Restgas übrig.

Hinweise:

Zur Überprüfung, ob sich noch Sauerstoff im Restgas befindet, wird dieses langsam in eine offene Flamme geblasen. Es erstickt die Flamme. Ein Parallelversuch mit reinem Sauerstoff weist nach, dass es Sauerstoff ist, der mit der Stahlwolle reagiert.

Mit einer empfindlichen Waage kann die Gewichtszunahme der Stahlwolle nachgewiesen werden. Bei 100 ml Lufteinsatz werden etwa 20 ml „absorbiert“; das sind etwa 0,027 g.



Beide Kolbenprober sind an Stativen befestigt.

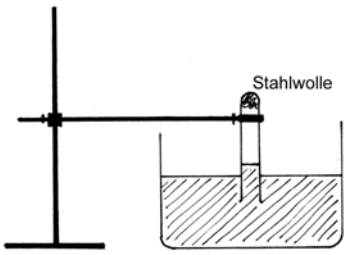
V5: Bestimmung des Sauerstoffgehaltes (Variante 2)

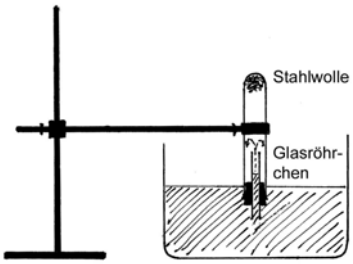
Material:

Reagenzglas, Reagenzglashalterung an Stativ, pneumatische Wanne (evtl. Becherglas...), Haushaltsessig, Stahlwolle, kleine Gummiringe oder wasserfeste Filzstifte

Durchführung:

In die pneumatische Wanne wird Wasser gefüllt. Ein kleines Bündel Stahlwolle (entsprechend der Reagenzglasgröße) wird in Essigsäure (Haushaltsessig) eingetaucht, gründlich benetzt und dann ausgedrückt. Anschließend muss die Stahlwolle sehr gründlich mit Wasser ausgewaschen werden. Danach wird rasch die Stahlwolle im Reagenzglas ganz nach unten gedrückt und das Reagenzglas umgekehrt ins Wasser gestellt und am Stativ befestigt. Der Wasserstand steigt ganz langsam an. An der Stahlwolle erkennt man bräunliche Flecken (Rost). Wenn der Wasserstand nicht mehr steigt, wird die Höhe des Wassers markiert und das Verhältnis zwischen Höhe der Wassersäule im Reagenzglas und der Höhe der ursprünglichen „Gassäule“ gemessen bzw. berechnet. Das Volumen der Wassersäule beträgt etwa 20 % der ursprünglichen Luftportion im Reagenzglas.





Hinweise:

- Da die Stahlwolle weder wie bei Variante 1 erhitzt noch mehrmals Luft durch die Stahlwolle hindurchgeschoben wird, verläuft die Oxidation langsamer (bei Unterrichtsplanung beachten!).
- Essig aktiviert die Stahlwolle für die Oxidation (Feuchtigkeit fördert das Rosten!), hat aber den Nachteil, dass Reste der Essigsäure mit der Stahlwolle unter Wasserstoffbildung reagieren. Der gebildete Wasserstoff gleicht zum Teil die Volumenabnahme wieder aus, so dass der gewünschte Effekt nicht so deutlich er-

kennbar ist. Unter Umständen ist es daher besser, ganz auf die Aktivierung mit Essigsäure zu verzichten.

- Das Restgas im Reagenzglas kann mit einem brennenden Span getestet werden; die Flamme erlischt (Stickstoff!). Dazu muss unter Wasser das Reagenzglas mit einem Stopfen verschlossen und dann aus der Wanne genommen werden.
- Setzt man an der Reagenzglasöffnung zum Versuchsbeginn einen Stopfen mit einem engen Glasröhrchen ein, so kann man einen schnelleren Anstieg des Wassers in diesem Röhrchen als in dem weiten Reagenzglas beobachten.
- Der Versuch kann nur annähernd 100%ige Genauigkeit liefern, da zum einen das Reagenzglas an seiner Öffnung etwas weiter ist und zum anderen die Stahlwolle locker im Reagenzglas sitzt und dadurch die Höhe der Luftsäule nicht exakt festzulegen ist.
- Die Höhe der Wassersäule kann auch mit einem kleinen Gummiring um das Reagenzglas markiert werden, so dass das weitere Ansteigen des Wassers gut zu erkennen ist.

V6: Bestimmung des Sauerstoffgehaltes (Variante 3)

Material:

Kolbenprober mit Hahn, Pyrogallol, verdünnte Natronlauge oder Kalilauge

Durchführung:

Man stellt frische Pyrogallol-Lösung her, indem man ca. 1 g Pyrogallol in ca. 25 ml Wasser löst.

In einen Kolbenprober(100 ml) saugt man zuerst 50 ml Luft, danach 10-15 ml Pyrogallol-Lösung, dann ca. 5 ml Natronlauge ein.

Bei geschlossenem Hahn wird der Kolbenprober mehrmals geschüttelt, bis keine Volumenabnahme mehr erfolgt. Danach wird vorsichtig bei senkrecht gehaltenem Kolbenprober die Flüssigkeit herausgelassen. Das verbleibende Gasvolumen im Kolbenprober beträgt etwa 80 % des ursprünglich eingesetzten Luftvolumens.

Hinweise:

- Pyrogallol (Trioxibenzol) ist leicht oxydierbar und ist dadurch ein Absorptionsmittel für Sauerstoff, also für die quantitative Bestimmung gut geeignet.
- Der apparative Aufwand einer üblichen Gasanalyse (Verfahren mit Sperrflüssigkeit und Niveauausgleichsgefäßen) ist für die Schule zu hoch. Die oben beschriebene Methode ist eine stark vereinfachte Form.
- Der Versuch ist wegen des Einsatzes von Lauge als Schülerversuch bedingt geeignet.
- Den eigentlichen Absorptionsvorgang können die Schülerinnen und Schüler mit den vorhandenen Kenntnissen in Chemie noch nicht verstehen.
- In der Literatur wird häufig als Absorptionslösung 25%ige Pyrogallol-Lösung und 60%ige Kalilauge, im Verhältnis 1: 4 gemischt, vorgeschlagen.

2.2.2 Kohlenstoffdioxid

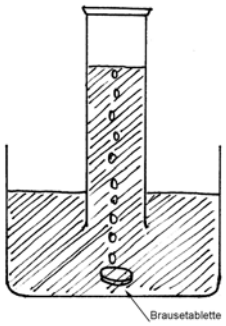
Methodisch-didaktische Anmerkungen

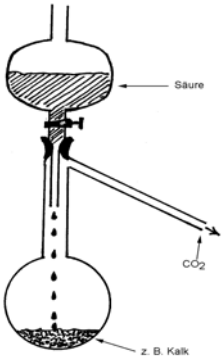
Steckbrief:

- chem. Zeichen (Formel) CO_2, also ein Oxid des Kohlenstoffs
- zu etwa 0,03 % in der Luft enthalten
- Molekülmasse 44 u
- farbloses, geruchloses Gas
- Dichte bei 0 °C = 1,9768 g/l, d. h. etwa 1,5 mal so schwer wie Luft
- Siedetemperatur = -79 °C
- kommt auch in fester Form als Trockeneis in den Handel
- erstickt die Flamme, ist selbst nicht brennbar
- löst sich in Wasser und reagiert mit Wasser zu Kohlensäure

Bei jedem Verbrennungsvorgang von kohlenstoffhaltigen Stoffen verbindet sich Kohlenstoff mit dem Luftsauerstoff zu CO_2.

Um die Eigenschaften des Kohlenstoffdioxids näher zu untersuchen, braucht man größere Mengen dieses Gases. Wenn keine entsprechende Druck-Stahlflasche zur Verfügung steht, kann CO_2 auch mit einfachen Mitteln selbst hergestellt werden. Beim Schütteln und Erwärmen von Mineralwasser lässt sich CO_2 austreiben und mittels pneumatischer Wanne in reiner Form auffangen. Gibt man Wasser auf Brausetabletten oder Brausepulver, so entsteht ebenfalls CO_2 in ausreichender Menge.[3] Die dabei ablaufende chemische Reaktion kann man auch in „reiner Form“ durchführen, wenn man Säure auf Karbonate (z. B. Kalk, Natron, Soda) gibt.





Quantitative Bestimmungen von CO_2 in Luft sind heute Alltag bei der Überprüfung von Abgasen bei Feuerungsanlagen bzw. Verbrennungsmotoren. Früher benutzten z. B. auch die Schornsteinfeger bei der Abgasuntersuchung der Heizungsanlagen die Absorptionsmethode: Definierte Gasmengen wurden durch Lauge als Absorptionsflüssigkeit geleitet und aus der Abnahme des Gasvolumens der CO_2-Gehalt bestimmt (vgl. Sauerstoffbestimmung mit Pyrogallol - Variante 3). Bei „normaler“ Luft ist diese Methode wegen des sehr niedrigen CO_2-Gehalts schlecht durchzuführen (man müsste große Luftmengen einsetzen!).

[3] In diesem Zusammenhang ist die Bestimmung der CO_2 -Menge, die eine Brausetablette oder eine Flasche Mineralwasser enthält, für Schülerinnen und Schüler immer eine spannende Aufgabe!

Bei Abgasen von Verbrennungsanlagen bzw. ausgeatmeter Luft ist die CO_2-Konzentration deutlich höher und daher einfacher und genauer zu bestimmen.

Heute wird i. d. R. auf elektronische Messmethoden mit geeigneten CO_2-Sensoren zurückgegriffen. Auch der Lehrmittelhandel bietet Handmessgeräte mit Sensoren zur Gasanalyse an; sie sind allerdings sehr teuer. Zur „nasschemischen" Bestimmung des CO_2-Gehaltes kann man das Gasgemisch (z. B. Atemluft, Verbrennungsabgase) durch verdünnte Lauge (z. B. NaOH) leiten, wobei das CO_2 von der Lauge absorbiert wird. Die überschüssige Lauge kann dann mit verdünnter Säure und geeigneten Indikatoren (z. B. Phenolphtalein) zurücktitriert werden. Für diese quantitativen Methoden fehlen bei den Schülerinnen und Schülern der 7. bzw. 8. Klassenstufe noch die fachlichen Voraussetzungen. Eine einfache Form des Absorptionsverfahrens zeigt Experiment V9.

Dass Kohlenstoffdioxid schwerer ist als Luft, lässt sich methodisch sehr gut nutzen, indem man an den Anfang ein oder zwei „verblüffende" Experimente setzt, die von der Lehrerin bzw. dem Lehrer durchgeführt werden, z. B.:

Zwei Aquarien stehen auf dem Tisch, scheinbar beide leer. Die Lehrkraft lässt zwei Luftballons aufblasen, zuknoten und dann in die Aquarien legen. Die Schülerinnen und Schüler sehen: Ein Luftballon sinkt auf den Boden, der andere schwebt im Aquarium.

Auf dem Tisch steht eine Balkenwaage. Auf jeder Schale steht ein gleich schwerer Erlenmeyer-Kolben. Die Waage ist im Gleichgewicht. Ein bereit stehender „leerer" (mit CO_2 gefüllter) Zylinder wird in einen Kolben ausgeschüttet. [*Anregungen aus: Melenk, Hartmut/Runge, Udo: Verblüffende physikalische Experimente, Aulis-Verlag, Köln 1991(2)]*

Wenn die Schülerinnen und Schüler erkannt haben, wie diese seltsamen Beobachtungen zu deuten sind, sollten sie sich Varianten überlegen und durchführen (einige Beispiele siehe unten).

Experimente

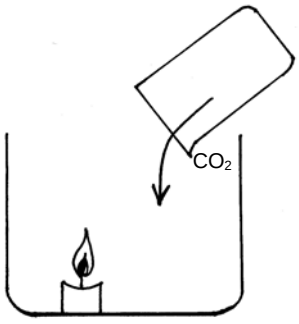
V7: Dichte von Kohlenstoffdioxid (im Vergleich zur Luft)

Material:

Zwei Glasgefäße, Kerze, CO_2; zusätzlich: Seifenlösung, Trinkhalm, Luftballon

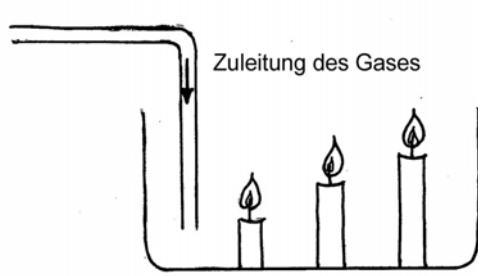
Durchführung:

Man füllt ein Becherglas bzw. einen Erlenmeyerkolben oder einen Standzylinder mit Kohlenstoffdioxid aus der Stahlflasche. Durch langsames Umkippen (als wenn es eine Flüssigkeit wäre) füllt man das CO_2 in ein anderes Gefäß um, auf dessen Boden eine brennende Kerze steht, die rasch erlischt. Kohlenstoffdioxid ist also deutlich schwerer als Luft. (Dichte von CO_2 = 1,9 g/l, Dichte von Luft 1,29 g/l)



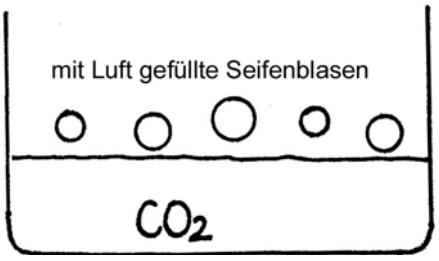
Kerzentreppe

Beim Einleiten von Kohlenstoffdioxid erlöschen die Kerzen nacheinander, die kleinste zuerst. CO_2 ist also deutlich schwerer als Luft.



Seifenblasen auf CO_2

In eine Wanne wird zu einem Teil CO_2 eingeleitet. Mit Luft gefüllte Seifenblasen werden in die Wanne geblasen. Aufgeblasene Luftballons erfüllen den selben Zweck wie Seifenblasen.

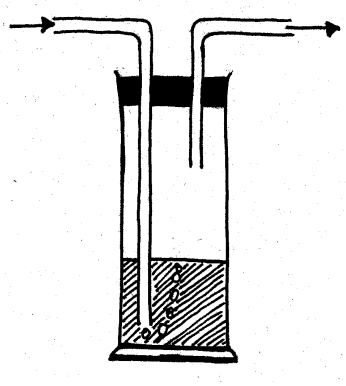


V8: Qualitativer Nachweis von Kohlenstoffdioxid

Material:

Kalkwasser (oder Barytwasser), Gaswaschflasche, Schlauch

Durchführung:



Herstellung von Kalkwasser: CaO (Branntkalk = Calciumoxid) wird in Wasser gelöst und die weiße Suspension abfiltriert. Das klare Filtrat ist Calciumlauge, auch Kalkwasser genannt. Statt Calciumoxid kann auch Calciumhydroxid $Ca(OH)_2$ in Wasser aufgelöst werden. Kalkwasser kann mehrere Wochen lang in verschlossener Flasche aufgehoben werden. Statt Kalkwasser (Calciumlauge) kann auch Barytwasser (Barium-Lauge) verwendet werden.

Leitet man CO_2 durch Kalkwasser, so entsteht rasch eine milchige Trübung durch entstehenden unlöslichen Kalk, die durch Zugabe von Salzsäure wieder beseitigt werden kann.

Beim Durchleiten von Sauerstoff oder Stickstoff entsteht keine Trübung. Will man CO_2 durch Kalkwasser durchsaugen, empfiehlt sich eine Gaswaschflasche.

Schwenkt man etwas Kalkwasser in einem mit CO_2-befüllten offenen Becherglas, so ist ebenfalls rasch die weiße Trübung zu erkennen.

Hinweise:

- Lässt man ein offenes Gefäß mit Kalkwasser längere Zeit stehen, so entsteht auf der Oberfläche der Flüssigkeit eine dünne Schicht (Haut) aus Kalk, welche nur von dem in der Luft enthaltenen Kohlenstoffdioxid stammen kann.
- Saugt man mit einer Wasserstrahlpumpe normale Luft durch eine Waschflasche mit Kalkwasser, so kann man nach einiger Zeit eine Trübung erkennen. Das lässt den Schluss zu, dass der CO_2-Gehalt von Luft nicht sehr hoch sein kann.

V9: Nachweis der Absorption von CO_2 durch Laugen (Quantitative Bestimmung von CO_2)

Material:

Kolbenprober mit Hahn, verdünnte Lauge (z. B. 1n NaOH)

Durchführung:

In einen Kolbenprober wird ein bestimmtes Volumen CO_2 eingesaugt, danach etwas Lauge. Nach dem Schließen des Hahns wird der Kolbenprober eine Zeit lang geschüttelt. Die Lauge absorbiert das gasförmige CO_2 (Reaktion zu Carbonat), sodass die Gasportion immer kleiner wird und zuletzt ganz verschwunden ist.

Hinweis:

Füllt man den Kolbenprober nicht mit reinem CO_2, sondern mit einem Gasgemisch, das nennenswerte Mengen von CO_2 enthält (Autoabgase, Atemluft u. a., siehe Kapitel 2.3), so kann man aus der Volumenreduktion die CO_2-Anteile im Gasgemisch bestimmen.

2.2.3 Stickstoff

Methodisch-didaktische Anmerkungen

Steckbrief:

- chem. Zeichen N (lat. Nitrogenium)
- rel Atommasse 14 u
- kommt in der Luft als N_2–Moleküle vor mit einem Anteil der Luft von 78,09 %
- bei Normal-Temperatur farbloses, geruchloses Gas
- Dichte 1,2505 g/l bei 0 °C
- Siedetemperatur = - 196 °C, Schmelztemperatur. = - 210 °C
- technische Gewinnung nach dem Linde-Verfahren (s. Sauerstoff)
- nicht brennbar, unterhält keine Verbrennung (erstickt die Flamme)
- sehr reaktionsträges Gas, das bei Normaltemperaturen kaum Verbindungen eingeht
- Verwendung in der Kältetechnik

Dem Stickstoff kann man sich im Unterricht nur in begrenztem Umfang nähern, d. h. seine Eigenschaften bestimmen, da er sehr reaktionsträge ist. Diese Reaktionsträgheit bedingt auch das Fehlen von einfachen Nachweismitteln.

Daher können die Eigenschaften des Stickstoffs nur durch Vergleich mit den anderen Gasen, die das Gemisch Luft enthalten, ermittelt werden:

- Vergleich mit Sauerstoff durch Einbringen eines glühenden Spans
- Vergleich mit Kohlenstoffdioxid durch Einleiten in Kalkwasser

- Vergleich der Dichte von Stickstoff und CO_2 durch Einleiten in ein größeres Gefäß mit einer brennenden Kerze: Beim Einleiten von CO_2 erlischt die Kerze rasch, da CO_2 sich wegen seiner großen Dichte im Gefäß von unten her ansammelt, Stickstoff dagegen ist etwas leichter als Luft, steigt also nach oben und erstickt die Kerzenflamme nicht.

Eine Herstellung von reinem Stickstoff mit schulischen Mitteln ist kaum möglich. Daher ist die Entnahme aus der Stickstoffflasche notwendig. Das bei Versuchen zum Sauerstoffnachweis durch Absorption bzw. Oxidation (s. Versuche zu 2.1.1 u. 2.1.2) übriggebliebene Restgas kann in erster Näherung als reiner Stickstoff betrachtet werden.

Experimente

V10: Stickstoff erstickt die Flamme

Material:

Stickstoffflasche, Stativ, 2 Reagenzgläser, Holzspan

Durchführung:

Der Aufbau des Versuchs entspricht V2. Jetzt sind die beiden Reagenzgläser mit Stickstoff gefüllt. In beide Gläser wird je ein brennender Holzspan eingeführt. - Die Flamme erlischt rasch im Glas mit der nach unten gerichteten Öffnung (Stickstoff ist etwas leichter als Luft).

2.2.4 Wasser

Methodisch-didaktische Anmerkungen

Der Gehalt der Luft an Wasserdampf (gasförmiges Wasser) ist nicht konstant. Er schwankt sehr stark je nach Wetterlage, Temperatur und Ort. Auch im Haus ist je nach Raum und Temperatur verschieden viel Wasser in der Luft enthalten (Beispiele: trockene Luft in beheizten Räumen, hohe Feuchtigkeitswerte in der Küche und im Badezimmer).

Um den Wasserdampfgehalt der Luft herabzusetzen werden z. B. beim Versand von empfindlichen technischen Geräten Absorptionsmittel (z. B. Silicagel) eingesetzt.

Den Wasserdampfgehalt der Luft kann man mit einem Hygrometer messen. Dieses gibt die relative Luftfeuchtigkeit an, d. h., wie viel Prozent der maximal möglichen Wasserdampfmenge in der Luft vorhanden ist (siehe Kapitel 2.2).

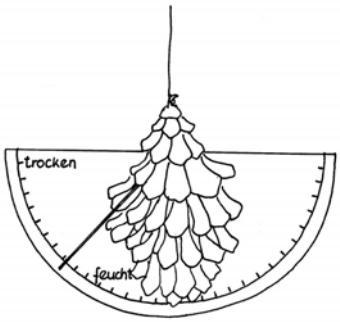
Es gibt verschiedene Möglichkeiten, Wasser nachzuweisen:

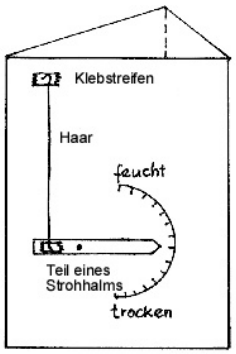
- Nachweis mit Kupfersulfat: Kupfersulfat ist ein blaues Salz. Es enthält in seinem Kristallgitter außer den Kupfersulfatteilchen auch Wassermoleküle. Seine chem. Formel ist $CuSO_4 \cdot 5\ H_2O$. Beim Erhitzen wird dieses „Kristallwasser“ entfernt (ausgetrieben), wodurch sich auch die Farbe des Salzes in Richtung weiß verändert. Wenn zu dem weißen wasserfreien Salz Wasser zugegeben wird, entsteht wieder die intensiv blaue Färbung. Deshalb kann weißes Kupfersulfat zum Nachweis von Wasser verwendet werden.
- Nachweis mit Kobaltchlorid: Kobaltchlorid ist ein rotes Salz. Im Kristallgitter sind neben den Kobaltchloridteilchen auch Wassermoleküle enthalten. Die chem. Formel ist $CoCl_2 \cdot 6\ H_2O$. Beim Erhitzen dieses Salzes wird das „Kristallwasser“ mehr oder weniger vollständig ausgetrieben und das Salz verändert dabei seine Farbe in mehreren Stufen von rot nach blass-blau. Bei Wasserzugabe nimmt es wieder die rote Färbung an. „Getrocknetes“ (entwässertes) Kobaltchlorid kann also auch als Wassernachweismittel verwendet werden. Je nach Feuchtigkeitsgehalt zeigt Kobaltchlorid also eine ganze Reihe verschiedener Farben. Es reagiert auch auf den Feuchtigkeitsgehalt der Luft und wird daher als Anzeiger für „Schönwetter“ bzw. „Schlechtwetter“ verwendet („Wetter – Figuren“).

Herstellung von Kobaltchloridpapier: Mit einer gesättigten Lösung von Kobaltchlorid in Wasser wird ein Streifen aus weißem Filterpapier getränkt. Dieser wird vorsichtig über einer Heizplatte (z. B. mit einem Brenner erhitzte Ceranplatte) oder mit dem Fön getrocknet. Das Papier ist im trockenen Zustand blass blau gefärbt.

- Nachweis mit einem Gemisch von Calciumoxid und Phenolphthalein: Calciumoxid (CaO, gebrannter Kalk) verbindet sich mit Wasser zu Calciumlauge (auch Kalkwasser genannt). Laugen kann man mit bestimmten Pflanzenfarbstoffen nachweisen, z. B. färbt sich der Indikator Phenolphthalein in Lauge kräftig rot. Mischt man trockenes Calciumoxid mit Phenolphthalein-Pulver, so erhält man ein Gemisch, welches empfindlich auf anwesendes Wasser reagiert. Bei Anwesenheit von Wasser entsteht sofort die Lauge und damit die Rotfärbung.

Anregungen für häusliche Bastelarbeiten: Kleben eines Zeigers (Stück von einem Strohhalm) an eine Schuppe eines Kiefernzapfens, Bau eines einfachen Haarhygrometers.





Experiment

V11: Nachweis von Wasserdampf in der Luft

Material:

Nachweischemikalien für Wasser: Kupfersulfat, Kobaltchlorid, Calciumoxid/Phenolphthalein, mehrere Uhrgläschen

Durchführung:

a) Man gibt auf ein Uhrgläschen etwas Nachweismittel und danach einen Tropfen Wasser. Es ergeben sich folgende Farbveränderungen:

Kupfersulfat	weiß →	blau
Kobaltchlorid	blau →	rosa
Calciumoxid/Phenolphthalein	weiß →	rot

b) Man gibt von den Nachweismitteln etwas auf die frische Schnittfläche einer Kartoffel oder Zwiebel. Alle 3 Stoffe zeigen deutlich das Vorhandensein von Wasser an.

c) Man bläst vorsichtig seinen Atem mehrmals auf Proben der Nachweismittel.

d) Man stellt die Nachweismittel längere Zeit mit einem Uhrglas o. ä. im Freien (regengeschützt) auf und vergleicht mit Proben, die längere Zeit im Schulsaal standen.

e) Selbst hergestellte Streifen Kobaltchlorid-Papier befestigt man für längere Zeit im Chemiesaal bzw. an regengeschützter Stelle im Freien und beobachtet die Farbänderungen über längere Zeit.

2.2.5 Staub

Methodisch-didaktische Anmerkungen

Dass sich Staub in der Luft befindet, ist eine Alltagserfahrung. Staub sammelt sich mit der Zeit auf waagrechten Flächen von Möbelstücken an (und wird in einem ordentlichen Haushalt per Staubtuch entfernt). Ein heller Lichtstreifen in einem relativ dunklen Raum lässt „tanzende“ Staubteilchen erkennen. Diese Beobachtung lässt sich in einem verdunkelbaren Raum mit einem Diaprojektor nachvollziehen.

Unter Staub versteht man feste Teilchen, die in der Luft schweben mit einem Durchmesser von 0,0001 mm bis 0,1 mm. Je nach Größe unterteilt man in Grobstaub, Feinstaub und Kolloidstaub. Feinstaub mit einer Größe von 0,1–100 μm rechnet man zu den Aerosolen.

Staub hat nicht nur eine Bedeutung im Sinne von „Sauberkeit“, sondern spielt auch eine Rolle bei Umweltbelastungen. So ist z. B. Smog an das Vorhandensein von Staubteilchen gekoppelt, Feinstäube sind Trägersubstanzen von giftigen Stoffen, Blütenpollen rufen Heuschnupfen hervor, Hausstaub führt bei vielen Menschen zu allergischen Reaktionen bis hin zu Asthma.

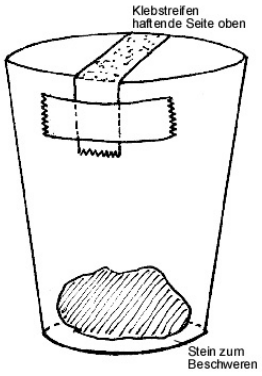
Emissionen von Staub in Deutschland in 1000t:

	1990	**1991**	**1992**	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**
Schüttgutumschlag	281	260	200	198	193	193	193
Industrieprozesse	431	151	130	115	113	111	110
Übriger Verkehr	28	25	22	22	21	20	20
Straßenverkehr	41	44	44	43	43	42	39
Haushalte	134	107	79	77	62	62	63
Kleinverbraucher	185	84	57	43	30	25	30
Industriefeuerungen	447	186	102	72	42	40	37
Kraft- und Fernheizwerke	477	317	203	118	33	28	26
Gesamt	**2.024**	**1.174**	**837**	**688**	**537**	**521**	**518**

(Quelle: Umweltbundesamt - Stand: Februar 1998)

Es erscheint sinnvoll, den Schülern und Schülerinnen anhand von Tabellen die Größenordnung und die Verursacher von Staubemissionen zu zeigen. Diese Daten können im Unterricht zu Diagrammen grafisch aufgearbeitet werden. Interessant ist auch die Tatsache, dass durch technische Prozesse heute die Staub-Emissionen stark reduziert werden konnten. Hat z. B. früher ein Kohlekraftwerk einen Staubausstoß von 1,5 t/h, so ist dieser durch Rauchreinigungsanlagen heute auf etwa 0,1 t/h reduziert worden.

Im Unterricht geht es vor allem um den Vergleich von Staubeinträgen aus der Luft an verschiedenen Orten (bzw. auch in verschiedenen Jahreszeiten). Daher müssen an diesen Orten einfache „Staubfanggeräte“ aufgestellt werden. Damit die Werte vergleichbar sind, ist auf gleiche Messdauer (1-8 Tage) zu achten. Als Staubfanggerät eignet sich eine waagrechte klebrige, durchsichtige Fläche.



Am einfachsten ist es, auf einem Gegenstand (kleines Brettchen, Joghurtbecher, Marmeladenglas,...) einen Tesafilmstreifen mit Hilfe zweier weiterer Klebestreifen so zu befestigen, dass die Klebefläche nach oben weist. Nach der vereinbarten Messdauer kann dieser Streifen abgenommen und auf einen Objektträger zur Auswertung aufgeklebt werden (um Luftblasen zu vermeiden, fest anpressen!). Somit wird das Ergebnis fixiert und kann mit der Lupe bzw. mit dem Mikroskop betrachtet werden. Mit Tesafilmstreifen lassen sich auch gut „Staubabdrücke“ von z. B. Blattoberseiten bei Pflanzen anfertigen und auswerten. Dieses

Verfahren hat den Nachteil, dass die beim Aufkleben evtl. entstehenden Luftbläschen beim Betrachten störend sein können. Eine (aufwändigere) Alternative stellen kleine, mit Glyzeringelatine bestrichene Glasplättchen (z. B. Objektträger) dar (s. u.).

Bei der Auswertung kann über rein qualitative Aussagen zu Art und Form der gefundenen Staubteilchen auch quantitativ gearbeitet werden. Dazu kann z. B. die Staubdichte in Teilchen pro mm^2 ermittelt werden und diese Werte der untersuchten Orte mit der Umgebung und untereinander in Beziehung gesetzt werden.

Zur Ermittlung der Teilchendichte ist eine „Bezugsflächengröße“ nötig. Bei der Auswertung unter dem Mikroskop kann der Bilddurchmesser bzw. die sichtbare Bildfläche durch Unterlegen eines Geodreieckes bei gleicher Vergrößerung abgeschätzt werden. Man kann auch Millimeterfolie als Unterlage für den Tesafilmstreifen verwenden und hat damit direkt mm^2-Felder. Mit einem feinen wasserfesten Filzstift lässt sich auch auf dem Objektträger eine Bezugsfläche aufzeichnen, ebenso mit einem Glasschreiber (Metallstift zum Glasritzen).

Experiment

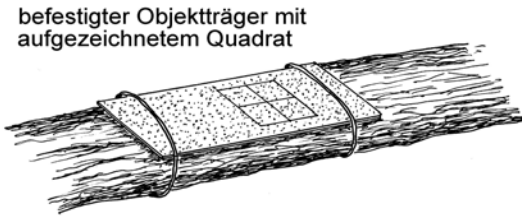
V12: Nachweis von Staub in der Luft

Material:

Mehrere Objektträger, Spatel, Gasbrenner, Mikroskop, Glyzeringelatine

Durchführung:

Zunächst werden in die Mitte der benutzten Objektträger jeweils Quadrate von 1 cm Seitenlänge mit dünnem, wasserfestem Faserschreiber gezeichnet. Die auf einen Objektträger aufgebrachte kleine Menge von Glyzeringelatine wird bei kleiner Flamme so erhitzt, dass sie zu fließen beginnt. Mit der schmalen Kante eines zweiten Objektträgers wird nun die Glyzeringelatine gleichmäßig verteilt. Die so vorbereiteten Objektträger werden in Petrischalen luftdicht verschlossen und an den Einsatzort gebracht.



Hier werden sie mit Hilfe von Draht oder Gummiringen so befestigt, dass ihre Oberfläche waagerecht liegt.

Am nächsten Tag werden die Objektträger wieder eingeholt und das Ergebnis unter dem Mikroskop untersucht. Neben der Anzahl der Staubpartikel in dem gezeichneten Quadrat kann auf auffällige Größen und Formen geachtet werden. (Auflicht und Durchlicht bei verschiedenen Vergrößerungen einsetzen!)

2.2.6 Mikroorganismen

Methodisch-didaktische Anmerkungen

Ebenfalls zu den Alltagerfahrungen gehört, dass sich Mikroorganismen in der Luft befinden. Mit dem bloßen Auge und einfachen Mikroskopen nicht sichtbar, machen sie durch ihre Auswirkungen aufmerksam. So sind z. B. Viren und Bakterien für Krankheiten des menschlichen Organismus und Pilzsporen für das Verderben von Speisen verantwortlich.

Auch hier geht es nicht um eine vertiefte Untersuchung im mikrobiologischen Bereich, sondern um das Kennenlernen von Möglichkeiten, Mikroorganismen in der Luft nachzuweisen. Dazu gilt es, einfache Nährböden anzusetzen und diese unterschiedlichen Einflussnahmen auszusetzen. Um keine pathogenen Keime (Krankheitserreger) zu züchten[4], deren Entsorgung später Probleme aufwirft, dürfen die Kulturen nur bei Zimmertemperatur bebrütet werden.

Da keine speziellen Mikroorganismen herangezüchtet werden sollen, wird mit einem Standard-Nährboden gearbeitet. Dieser kann entweder als Fertigprodukt bezogen werden (z. B. Standard I-Nähragar von Merck) oder selbst hergestellt werden:

In einem Erlenmeyer-Kolben werden zu 100 ml destilliertem Wasser 2 g Agar, 0,3 g LIEBIGs Fleischextrakt und 0,5 g Pepton gegeben, verrührt und vorsichtig erhitzt. Sobald die Lösung kocht, nur noch mit kleiner Flamme erhitzen und so lange rühren, bis sich alle Bestandteile vermischt haben. Der Kolben wird mit Aluminiumfolie verschlossen, in einen Dampfkochtopf, dessen Boden ca. 5 cm hoch mit Wasser bedeckt ist, gestellt und bei geschlossenem Deckel (auf der zweiten Stufe verriegelt) 20 Minuten lang sterilisiert.

Wenn die Flüssigkeit auf ca. 60 °C abgekühlt ist (man kann das Glasgefäß gerade noch in den Händen halten!), werden sterile Petrischalen bei schräg gestelltem Deckel maximal bis zur Hälfte gefüllt und sofort wieder geschlossen. Wenn die Nährböden erstarrt sind, werden sie mit dem Deckel nach unten aufbewahrt (damit kein Kondenswasser auf den Nährboden gelangt). Die Nähragarplatten können etwa vier Wochen lang bis zum Gebrauch im Kühlschrank gelagert werden.

Experiment

V13: Nachweis von Mikroorganismen in der Luft

Material:

Petrischalen mit Nähragarplatten, wasserfester Stift, Tageslichtprojektor

Durchführung:

Die Böden der Petrischalen werden beschriftet, z. B.: „Klassenraum 10 sec“, „Klassenraum 1 Minute“, „Klassenraum 5 Minuten“, „Flur 1 Minute“, „Schulhof 1 Minute“ usw. An den beschriebenen Stellen und für den festgelegten Zeitraum wird die Petrischale umgedreht und der Deckel entfernt. Nach Schließen des Deckels werden die Petrischalen bei Zimmertemperatur aufbewahrt. Nach einem bis drei Tagen werden die Petrischalen kontrolliert. Mit dem Tageslichtprojektor können die durchscheinenden Nährböden gut an der Wand vergrößert werden.

Hinweis:

Bei den Kreisbildstellen gibt es ein interaktives, vom FWU herausgegebenes Programm „Computerexperimente mit Bakterien“ auf Diskette (Schullizenz DM 140,-). Damit können die grundlegenden Arbeitsmethoden mit Mikroorganismen virtuell erprobt werden.

[4] Beim Überbrüten im Brutschrank bei Temperaturen in der Nähe der menschlichen Körpertemperatur dürfen die Petrischalen nicht mehr geöffnet und müssen nach Beobachtung fachgerecht entsorgt werden (Sterilisation 30 Minuten lang bei 120 °C).

2.3 Eigenschaften des Stoffgemisches Luft und seiner Bestandteile

2.3.1 Dichte von Luft

Methodisch-didaktische Anmerkungen

Neben der Molmasse der Teilchen in einem Gas bzw. Gasgemisch wird die Dichte noch von Druck, Temperatur und Volumen bestimmt. Deshalb sind bei Dichteangaben stets Temperatur und Druck angegeben (Normbedingungen: 0 °C, 1013 hPa bzw. 1013 mbar).

Druck (p), Temperatur (T) und Volumen (V) von Gasen stehen in einem direkten mathematischen Zusammenhang (allgemeine Gasgleichung):

$$\frac{p \cdot V}{T} = const$$

Daraus ergeben sich entsprechende Proportionalitäten bzw. Antiproportionaliäten:

- Bei konstanter Temperatur (isotherm) sind Druck und Volumen antiproportional: $p \sim 1/V$
- Bei konstantem Volumen (z. B. geschlossenes Gefäß) sind Druck und Temperatur proportional: $p \sim T$
- Bei konstantem Druck (offenes Gefäß) sind Volumen und Temperatur proportional: $V \sim T$

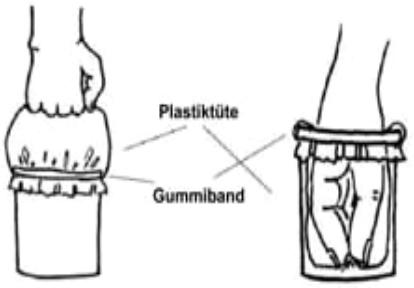
Da die Dichte (ρ) der Quotient aus Masse und Volumen ist, ist die Dichte ebenfalls von der Temperatur bzw. vom Druck abhängig: $\rho \sim P$ und $\rho \sim 1/T$.

Wenn Luft oder ein anderes Gas bzw. Gasgemisch in einem offenen System erwärmt wird, dehnt es sich aus, d. h., die Dichte wird geringer (Anwendungsbeispiel: Heißluftballon). Wird in einem geschlossenen System erhitzt, ist eine Ausdehnung nicht möglich, d. h., der Druck erhöht sich und die Dichte bleibt konstant.

Wird ein Gas zusammengepresst (z. B. Luftpumpe mit zugehaltenem Ventil), so nimmt das Volumen ab und die Dichte entsprechend zu.

Die Dichte der Luft beträgt bei 0 °C 1,293 g/l, bei 20 °C 1,19g/l (jeweils bei Normaldruck). Die Umrechnung der Dichtewerte auf verschiedene Temperaturangaben ergibt sich aus dem Ausdehnungsverhalten von Gasen: Gase dehnen sich bei Erwärmung um 1 °C bzw. um 1 K um 1/273 ihres Volumens bei 273 K bzw. 0 °C aus. Somit ändert sich auch die Dichte bei einer Temperaturänderung von 1 °C um jeweils 1/273 ihres Wertes.

Im Sachunterricht der Grundschule und im Physik-Chemie-Unterricht der Orientierungsstufe haben sich die Schülerinnen und Schüler mit der Luft als Körper beschäftigt. Sie haben erfahren, dass Luft einen Widerstand bildet (z. B. beim Laufen mit einem senkrecht gehaltenen Regenschirm), dass Luft ein Körper ist (z. B. beim Versuch ein Gefäß mit Wasser zu füllen, aus dem die Luft nicht entweichen kann) und dass Luft einen Druck ausübt (z. B. bei einem Fahrzeugreifen).



Zur Wiederholung bzw. zum Nachweis, dass Luft ein Körper ist und dass Luft einen enormen Druck ausübt, lassen sich einfache Freihandversuche durchführen, z. B. mit einem Weckglas, einer Plastiktüte und einem festen Gummiring. Die Plastiktüte wird über

den Rand des Glases gestülpt und mit dem Gummiring fest verschlossen. Im ersten Fall kann die Tüte nicht in das Glas hineingedrückt werden, im zweiten Fall kann man sie nicht aus dem Glas herausziehen.

Das Thema „Dichte der Luft“ wird laut Lehrplan Klasse 6 Physik/Chemie schon in der Orientierungsstufe behandelt. Auf einen Versuch zur Bestimmung der Dichte der Luft mit Hilfe eines Fußballs wird hingewiesen.

Dass sich Gase bei Erwärmung ausdehnen, ist den Schülerinnen und Schülern nicht nur aus dem Unterricht der Klasse 6, sondern auch von alltäglichen Beobachtungen her bekannt. Ein Nachweis dieses Phänomens ist also nicht unbedingt nötig. Es erscheint trotzdem sinnvoll, in diesem Zusammenhang einige Phänomene des Alltags im MN-Unterricht aufzugreifen. So hängen viele Wetter-Gegebenheiten mit dem Aufsteigen warmer Luft zusammen (z. B. Thermik bei Segelflug, Land- und Seewinde u. a.).

Bei der Thematisierung des Themas „Dichte der Luft“ sollte auch die Konsequenz aus der Tatsache, dass Luft ein Gewicht hat und wir am Boden eines „Luftmeeres“ leben, angesprochen werden. Einfache Versuche zur Demonstration des Luftdrucks sind u. a.:

- Saughaken an glatten Flächen,
- vakuumverpackte Lebensmittel,
- das Größerwerden eines Luftballons oder eines Mohrenkopfes unter einer Vakuumglocke,
- die Schwierigkeit, den Kolben aus einer an der Spitze verschlossenen Spritze herauszuziehen.

Experimente

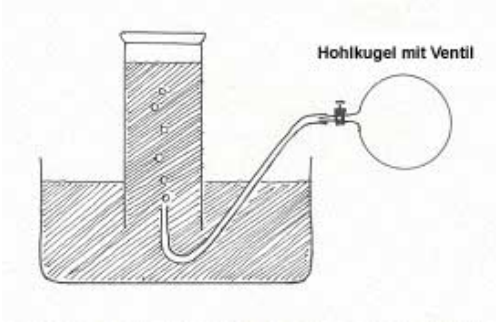
V14: Quantitative Bestimmung der Dichte der Luft

Material:

Hohlkugel mit Ventil (Fußball), Luftpumpe, Waage, pneumatische Wanne, Messzylinder

Durchführung:

Mit einer Luftpumpe wird so lange Luft in die Hohlkugel gepumpt, bis man einen deutlichen Widerstand spürt. Die vollgepumpte Kugel wird dann gewogen. Mittels pneumatischer Wanne lässt man eine definierte Menge Luft (z. B. 0,5 l) durch Betätigen des Ventils in einen Messzylinder ausströmen. Die teilweise entleerte Kugel wird wiederum gewogen und aus der Gewichtsdifferenz und dem ausgeströmten Volumen die Dichte in g/l berechnet.



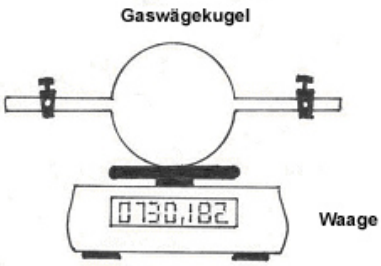
Hinweis: Sinnvoll ist es, mit den gefundenen Dichtewerten Rechnungen durchzuführen, z. B. das Gewicht der Luft im Klassenraum oder Chemiesaal etc. ausrechnen zu lassen.

V15: Quantitative Bestimmung der Dichte der Luft (Variante)

Material:

Rundkolben mit einem oder zwei Hähnen („Gaswägekugel“), genaue Waage (2 – 3 Nachkommastellen), Vakuumpumpe

Durchführung:



Die Glaskugel wird bei offenen Hähnen gewogen. Danach wird ein Hahn geschlossen und mittels Vakuumpumpe die Luft teilweise aus dem Kolben abgesaugt. Der zweite Hahn wird jetzt ebenfalls geschlossen und die Glaskugel nochmals gewogen. Die Gewichtsdifferenz entspricht dem Gewicht der abgesaugten Luft. Unter Wasser wird danach ein Hahn geöffnet, und man misst das Volumen des einfließenden Wassers (entweder direkt oder indirekt durch späteres Ablaufen lassen in einen Messzylinder). Aus der Gewichtsdifferenz und dem einfließenden Wasservolumen kann die Dichte berechnet werden.

Hinweise:

Steht eine Waage mit drei Nachkommastellen (Milligrammbereich) zur Verfügung, so sind zwei einfachere Versuche zur Dichtebestimmung möglich:

a) Eine Plastikspritze wird zuerst leer und dann mit Luft gefüllt gewogen.

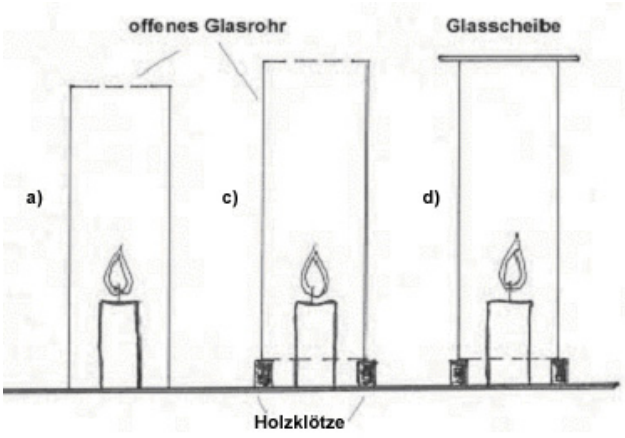
b) Aus einem Rundkolben (mit mindestens einem Hahn) wird teilweise die Luft abgesaugt. Nach Schließen des Hahns wird die Kugel gewogen. Dann werden mittels Kolbenprober oder Plastikspritze z. B. 100 ml Luft in die Kugel gebracht und es wird erneut gewogen.

V16: Kaminwirkung

Material:

Kerze, offenes Glasrohr, Glasplatte, 2 Holzklötze

Durchführung:



a) Eine Kerze wird angesteckt und dann ein Glasrohr darüber gestülpt, das am Boden gut abschließt. Die Zeit bis zum Verlöschen wird gemessen.

b) Versuch a wird mit folgender Änderung wiederholt: Auf die Glasröhre wird ein Glasdeckel gesetzt.

c) Versuch a wird mit folgender Änderung wiederholt: Die offene Glasröhre wird auf zwei Holzklötze gesetzt, sodass die Unterseite offen ist.

d) Versuch c wird wiederholt. Dabei wird die Glasröhre mit einer Glasscheibe abgedeckt.

Hinweise:

Die Kerzenflamme ist immer nach oben gerichtet, da die heißen Gase spezifisch leichter sind und aufsteigen; von unten strömt dauernd frische Luft nach (vgl. Kamin bei Haushalten). Deshalb ist bei Verbrennungen für die Zufuhr von Sauerstoff von selbst gesorgt, und die Verbrennung ist dadurch regelbar (vgl. Luftklappe am Ofen). Auch das Prinzip der sich drehenden Weihnachtspyramide basiert auf dem Aufsteigen der heißen Verbrennungsgase.

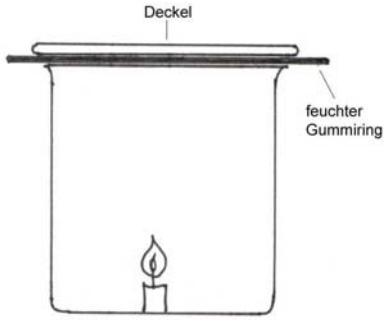
Sitzt das Glasrohr fest auf der Unterlage auf, kann die Kerze nur kurz brennen, da keine frische Luft von unten nachströmen kann. Der Effekt ist wie bei einem übergestülpten Glaszylinder bzw. Becherglas.

Setzt man das Glasrohr auf zwei Klötzchen oder hebt es etwas von der Unterlage hoch, dann brennt die Kerze ganz normal weiter. Über der oberen Öffnung des Glasrohres spürt man deutlich den heißen Luftstrom nach oben. Deckt man das Glasrohr oben mit einer Glasplatte o. ä. ab, so erlischt die Flamme, obwohl an der Unterseite offen ist.

V17: Ausdehnung der Luft bei Erwärmung

Material:

Einmachglas mit Gummiring und Deckel, Kerze



Durchführung:

In einem Einmachglas wird eine Kerze oder ein mit Spiritus getränkter Wattebausch entzündet. Ein befeuchteter Gummiring und der passende Deckel verschließen dann das Glas. Nach dem Erlöschen der Flamme kühlt sich die Restluft im Innern ab, und es entsteht ein Unterdruck. Der äußere Luftdruck presst den Deckel so fest auf das Glas, dass es dicht verschlossen ist.

Hinweise:

Es ist keineswegs der verbrauchte Sauerstoff, sondern die Ausdehnung der heißen Verbrennungsgase, die den späteren Unterdruck erzeugen. – In der Küchenpraxis können z. B. so Marmeladengläser fest verschlossen werden: Auf die Oberfläche der Marmelade wird etwas Alkohol geschüttet und angezündet.

V18: Temperaturverteilung im geheizten Raum

Material:

(Elektrisches) Thermometer

Durchführung:

Mit einem Thermometer (ein schnell reagierendes elektrisches Thermometer ist am besten geeignet!) nimmt man ein vertikales Temperaturprofil eines beheizten Raumes auf.

Hinweis:

Die Werte können in einer einfachen räumlichen Zeichnung eingetragen werden. Durch diese Veranschaulichung erkennt man deutlich, dass mit zunehmender Höhe im Raum höhere Temperaturen gemessen werden. Warme Luft ist also leichter als kalte Luft bzw. kältere Luft.

V19: Luftströmung

Material: Kerze

Durchführung:

Öffnet man in einem (stark) beheizten Raum die Tür einen Spalt breit und hält eine brennende Kerze o. ä. an diesen Türspalt, so zeigt die Kerzenflamme in Bodennähe nach innen (Ursache: einströmende kalte Luft z. B. vom Flur), im oberen Bereich des Türspaltes hingegen nach außen (Ursache: ausströmende warme Luft). Der Versuch gelingt umso besser, je größer die Temperaturunterschiede der beiden Räume sind. Beim Öffnen eines Schiebefensters in einem geheizten Raum ist der gleiche Effekt zu beobachten.

Hinweis:

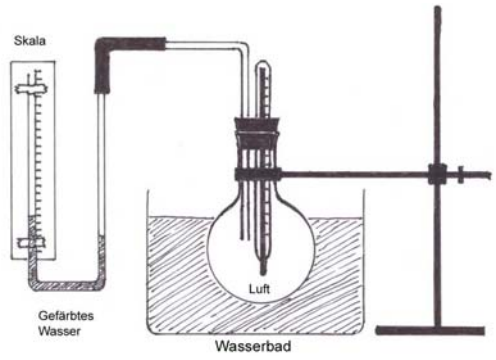
Bei stark beheizten Räumen kann mit einer Kerzenflamme oder leichten Papierchen die Luftströmung im Raum gezeigt werden. Über dem Heizkörper steigt heiße Luft auf und von unten strömt kältere Luft nach (Luftzirkulation).

V20: Zusammenhang von Druck (bzw. Volumen) und Temperatur

Material:

Wanne, Stativmaterial, Rundkolben, (doppelt durchbohrter) Stopfen, Thermometer, gewinkelte Glasröhrchen, Schlauchverbindungen, Skala

Durchführung:



Ein mit Luft gefüllter Rundkolben wird am Stativ befestigt und in eine Wanne mit Wasser gesetzt. Durch die Öffnung des Stopfens werden ein Thermometer und ein Glasröhrchen geführt. Letzteres wird über eine Schlauchverbindung mit einem u-förmigen Glasröhrchen verbunden. Dieses ist mit gefärbtem Wasser gefüllt. An einem Schenkel dieses Röhrchens wird eine Mess-Skala befestigt (Pappestreifen mit gleichmäßiger Unterteilung). Die Temperatur des Wassers in der Wanne wird schrittweise z. B. durch Hinzufügen heißen Wassers erhöht. Temperatur und Niveauänderung der Wassersäule werden gemessen, in einer Wertetabelle festgehalten und im Diagramm veranschaulicht.

Hinweise:

Der Zusammenhang von Druck und Temperatur ist den Lernenden in der Regel von Alltagsphänomenen bekannt (z. B. Erhöhung des Reifendrucks von Fahrzeugen bei sommerlichen Temperaturen, Gefahr beim Erhitzen von Gaspatronen bzw. Spraydosen). Die obige Versuchsanordnung mit dem U-Rohr-Manometer kann auch als Gas-Thermometer genutzt werden.

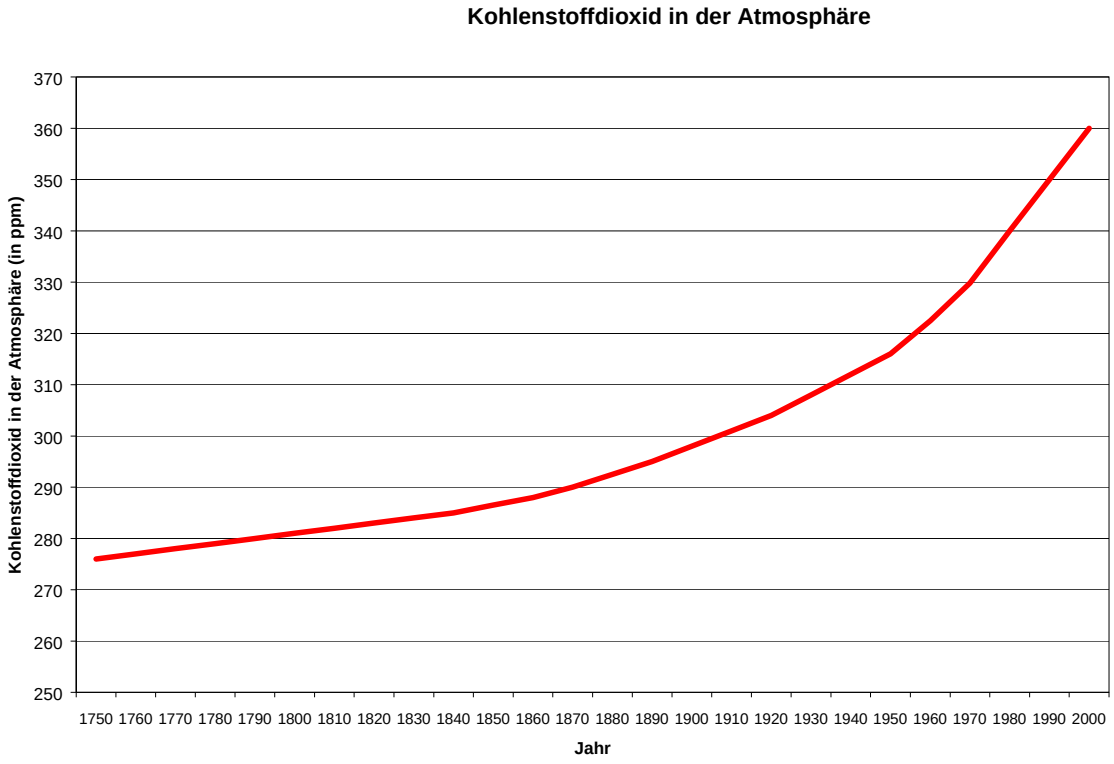
2.3.2 Absorption von Wärmestrahlung

Methodisch-didaktische Anregungen

Die Strahlung der Sonne umfasst ein großes Spektrum. Es reicht von den kurzwelligen, energiereichen, unsichtbaren UV-Strahlen (ab 0,2 μm) über die Lichtstrahlen (0,4 bis 0,7 μm) hin zu den Infrarot- oder Wärmestrahlen (bis 4 μm). Etwa ein Drittel der Strahlung wird direkt in den Weltraum zurückgestreut; zwei Drittel werden in der Atmosphäre und in der Erdoberfläche in Wärme umgesetzt und dann zurückgestrahlt (Wellenbereich 4 bis 100 μm). Den Beimengungen verschiedener Gase in der Atmosphäre verdanken wir, dass die mittlere Temperatur auf der Erdoberfläche +15 °C beträgt (natürlicher Treibhauseffekt). Ohne diese Treibhausgase (Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid, Ozon, Distickstoffoxid, Methan) würde die mittlere Temperatur bei –19 °C liegen.

Während z. B. eine Glasscheibe für sichtbares Licht kein Hindernis darstellt, können Infrarotstrahlen sie hingegen nur teilweise durchdringen. Der Treibhauseffekt wird dadurch verursacht, dass das sichtbare Licht durch die Glasscheibe zum Boden gelangt, die entstehende Wärmestrahlung des Bodens aber im Glashaus „gefangen“ bleibt und die Raumtemperatur erhöht.

Global gesehen, spielt das CO_2 eine große Rolle bei der seit Mitte des letzten Jahrhunderts festgestellten stetigen Erhöhung des Jahresmittelwerts der Temperatur. Seit etwa 50 Jahren werden auf einer Mess-Station auf Hawaii regelmäßig die Werte der CO_2-Konzentration in der Atmosphäre gemessen. Mit Hilfe von Bohrungen im ewigen Eis der Polargebiete können Rückschlüsse auf die Werte weiter zurückliegender Jahrzehnte gezogen werden. So ist eine stetige Zunahme von 280 ppm (1750) auf über 350 ppm (2000) CO_2-Gehalt in der Atmosphäre zu verzeichnen. Die Entwicklung in den letzten 250 Jahren stellt sich in etwa so dar:



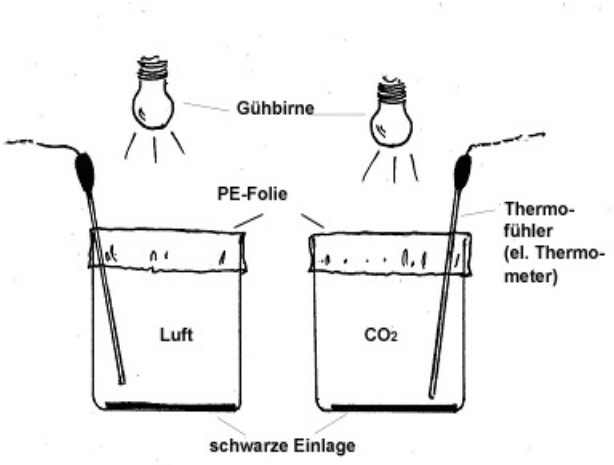
Das vor allem durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehende CO_2 wirkt in doppelter Weise an der steigenden Erwärmung der Erdatmosphäre mit. Einerseits wirkt das CO_2 gemeinsam mit den sog. Treibhausgasen in den höheren Schichten als „Glasplatte“, die die Wärmestrahlen zurückhält, andererseits wird ein Luftgemisch um so stärker erwärmt, je höher der Anteil des CO_2-Gases ist, da CO_2 Wärmestrahlung stärker absorbiert als das normale Gasgemisch Luft.

Die Anreicherung des Kohlenstoffdioxids in der Atmosphäre wird von vielen Fachleuten als eine der größten gesellschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit beurteilt. Es gibt eine Reihe von Szenarien, in denen mögliche Folgen eines weiteren Anstiegs der CO_2-Konzentration beschrieben werden. Am häufigsten wird prognostiziert, dass die Polkappen abschmelzen, die Wasserhöhe der Ozeane zunehmen und riesige Landflächen überschwemmt werden würden. Die politischen Folgen seien unabsehbar, da sich große Bevölkerungsgruppen auf den Weg machen würden, um neue Lebensräume zu finden. Politiker fast aller Länder haben sich daher in der Konferenz von Rio 1992 und den Nachfolgekonferenzen (Kyoto, Den Haag) verpflichtet, den CO_2-Ausstoß deutlich zu reduzieren.

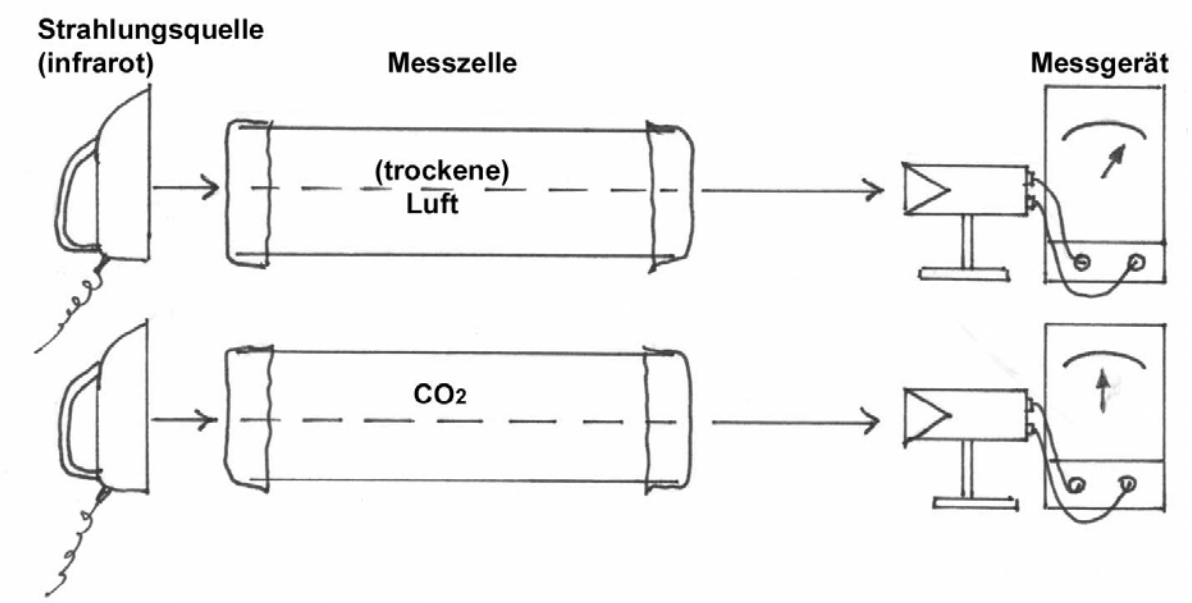
Um den Treibhauseffekt durch CO_2 im Schulexperiment nachzuweisen, gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

Variante I: Ein geschlossenes System (Modellatmosphäre) wird mit einer künstlichen Lichtquelle bestrahlt. Die Absorption des sichtbaren Lichtes am Boden des Gefäßes wird durch eine geschwärzte Einlage (berußte Metallplatte o. ä.) bewirkt. Die durch die Erwärmung der Bodenplatte abgestrahlten Wärmestrahlen (Infrarotstrahlen) werden vom Gas in dem Gefäß teilweise absorbiert. Dadurch sollte diese Modellatmosphäre sich etwas aufheizen. Um Konvektionseffekte auszuschließen, wird nach oben hin das Gefäß mit einer lichtdurchlässigen PE-Folie abgedeckt. Ziel ist es, durch Parallelversuche mit Luft und mit CO_2 in vergleichbaren Gefäßen verschiedene Temperaturerhöhungen zu erfassen, da CO_2 im Infrarot(IR)-Bereich stärker absorbiert als die anderen Luftbestandteile (N_2,O_2 usw.).

Nebenstehende Versuchsanordnung findet man in ähnlicher Form in sehr vielen Veröffentlichungen, vor allem auch in Schulbüchern. Aber auch bei Einhaltung gleicher Versuchsbedingungen führen sie nicht zu befriedigenden Ergebnissen. Die Temperaturunterschiede sind so gering (< l°C), dass sie nicht eindeutig dem Treibhauseffekt zuzuordnen sind. Daher sind solche Versuche nicht empfehlenswert.



Variante 2: Dabei wird nicht die Temperaturerhöhung durch CO_2 oder andere Treibhausgase, sondern die Absorption (d. h. die Abnahme der Intensität von IR-Strahlen) bei Durchgang durch eine mit Luft bzw. mit CO_2 gefüllte „Messzelle“ nachgewiesen.



Aus der Abnahme der Strahlungsintensität kann leicht auf eine Zunahme der Temperatur im Glas geschlossen werden (Energieerhaltungssatz). Als Strahlungsquelle für langwellige IR-Strahlen werden z. B. Gefäße mit warmem Wasser, Bügeleisen, Lötkolben, eine entleuchtete Brennerflamme u. a. empfohlen. Als Strahlungsmessgerät wird meist eine Thermosäule mit einer passenden Verstärkerschaltung verwendet. Als Messzelle werden meistens längere gasgefüllte Rohre aus Kunststoff oder Aluminium, die vorne und hinten mit einer PE-Folie verschlossen sind, vorgeschlagen.

Da in der Regel in der Realschule keine Thermosäule zur Verfügung steht, entfällt auch Variante 2. Somit wird die experimentelle Untersuchung des eigentlichen Treibhauseffekts durch CO_2 in der Klassenstufe 7/8 der Realschule nur in Ausnahmefällen möglich sein. Einige hinführende Versuche können aber durchgeführt werden.

Experimente

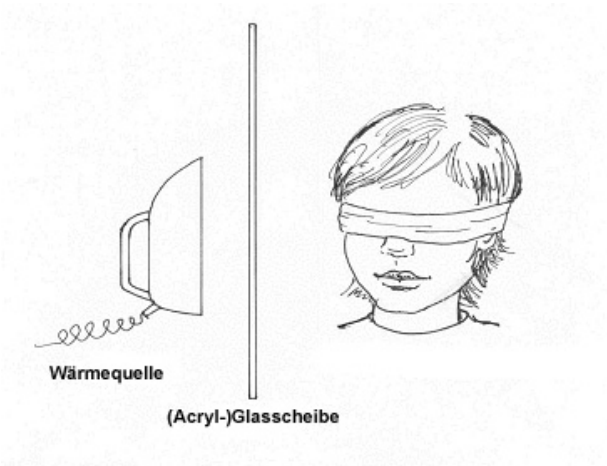
V21: Abschirmung von Wärmestrahlung

Material:

Wärmequelle (z. B. Bügeleisen), (Acryl-) Glasscheibe

Durchführung:

Die Strahlung der Wärmequelle wird von einer Versuchsperson (mit verbundenen Augen) mit der Wange wahrgenommen. Dann wird zwischen Quelle und Wange eine (Acryl-)Glasscheibe geschoben. Die Wärmeempfindung wird deutlich geringer. Führt man einen analogen Versuch mit Lichtstrahlen durch, stellt man keine Veränderung fest.



V22: Nachweis der Wärmeabsorption (Treibhauseffekt)

Material:

Größeres, geschlossenes Glasgefäß (z. B. abgedecktes Aquarium, großes Einmachglas), zwei Thermometer

Durchführung:

Ein Thermometer wird gut sichtbar im Glasgefäß untergebracht, das andere wird daneben gelegt (auf gleichen Untergrund achten!). Die Versuchsanordnung wird in die Sonne gestellt. Die Entwicklung der Temperatur wird in regelmäßigen Abständen (30 – 60 Sekunden) protokolliert und in einem Achsenkreuz auf mm-Papier grafisch dargestellt.

Hinweise:

Bei arbeitsteiligem Gruppenunterricht kann dieser Versuch in verschiedener Weise variiert werden: Helle und dunkle Pappunterlage, verschiedene Größe der Glasgefäße, direkte Sonneneinstrahlung und diffuses Licht.

2.3.3 Luftfeuchtigkeit

Methodisch-didaktische Anmerkungen

Der Gehalt der Luft an Wasser ist verhältnismäßig gering und nicht konstant. Trotzdem gehört es zu den wichtigsten Bestandteilen. Wasser kommt in der Luft in allen drei Aggregatzuständen, fest, flüssig, gasförmig vor; für die unterrichtliche Betrachtung spielen aber vor allem die gasförmige und flüssige Form die Hauptrolle.

Der Gehalt der Luft an unsichtbarem Wasserdampf schwankt sehr stark je nach Wetterlage, Temperatur und Ort. Sichtbares Wasser in der Luft sind z. B. Wolken oder Nebel, bei denen es sich um winzige in der Luft schwebende Wassertröpfchen handelt. Auch im Haus ist der Wasserdampfgehalt je nach Raum und Temperatur verschieden hoch (z. B. trockene Luft in geheizten Räumen und hohe Luftfeuchtigkeit in Küche und Badezimmer); mit Luftbefeuchtern an Heizkörpern erhöht man gezielt den Wasserdampfgehalt in Wohnräumen.

Der Wasserdampfgehalt kann einen bestimmten Wert nicht überschreiten, der sehr stark von der Temperatur abhängt (s. Tabelle und Diagramm unten). Diesen Wert nennt man Sättigungsfeuchte. Auf ihn beziehen sich die Prozent-Angaben der relativen Luftfeuchtigkeit, wie sie von Hygrometern gemessen werden.

Wird dieser Wert der Sättigungsfeuchte z. B. durch Abkühlung der Luft erreicht bzw. überschritten, so kondensiert überschüssiger Wasserdampf in Form von sichtbaren Wassertropfen (Beschlagen von Scheiben, Fliesen und Brillengläsern; Taubildung; Nebelbildung). Bei atmosphärischen Vorgängen spielt dieser Vorgang eine sehr große Rolle: Aufsteigende feuchte Luft kühlt sich ab und erreicht dadurch irgendwann den Taupunkt, sodass durch die beginnende Kondensation sich Wolken bilden bzw. Niederschläge entstehen.

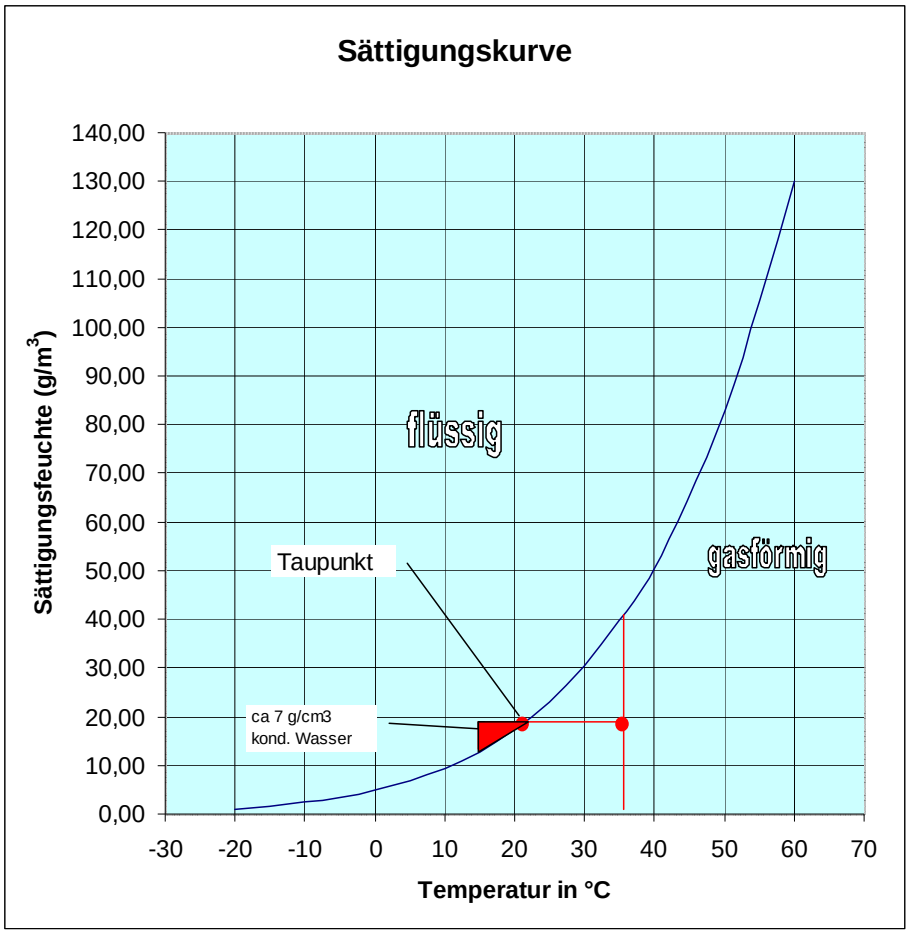
Man nennt das Wertepaar für Sättigungsfeuchte und Temperatur, bei der die Kondensation eintritt, den Taupunkt. Die entsprechende Kurve bzw. das entsprechende Diagramm nennt man auch Taupunkt-Kurve.

Rechenbeispiel:

Annahme: Bei 35 °C wird eine relative Luftfeuchtigkeit von 50 % gemessen. Berechnung: 50 % von 39,6 g/m^3 (=Sättigungsfeuchte bei 35 °C) sind etwa 19,8 g Wasserdampf pro m^3.

Bei Abkühlung auf 22 °C ist laut Diagramm bzw. Tabelle die Sättigungsfeuchte, also der Taupunkt erreicht. Kühlt sich diese Luft auf z. B. 15 °C ab, so ist bei dieser Temperatur die Sättigungsfeuchte 12,8 g/m^3, sodass etwa 7 g/m^3 (19,8/m^3 - 12,8 g/m^3) Wasserdampf kondensieren.

Temperatur (°C)	Sättigungsfeuchte (g/m3)
-20	1,00
-15	1,60
-10	2,36
-5	3,30
0	4,85
5	6,80
10	9,20
15	12,80
20	17,30
25	23,10
30	30,40
35	39,60
40	50,20
50	83,00
60	130,00



Die Werte der Tabelle werden den Schülerinnen und Schülern vorgegeben. Diese sollen das Diagramm dann selbst entwickeln: passende Einteilung und Beschriftung der Achsen, Übertragung der Werte, Diskussion des Kurvenverlaufs. An einigen Beispielen sollten Berechnungen durchgeführt werden (Grundlagen der Prozentrechnung müssen beherrscht werden!), z. B.:

- Berechnung des absoluten Wasserdampfgehaltes bei verschiedenen Temperaturen,
- Ermittlung der Taupunkttemperatur für gemessene Werte von Raumtemperatur und relativer Luftfeuchte.

Messgeräte der Luftfeuchte:

Es gibt eine Vielzahl verschieden funktionierender Messgeräte für die Luftfeuchtigkeit, die insbesondere bei der Wettermesstechnik, Überwachung von Funktionsräumen, Lüftungskanälen usw. verwendet werden. Neben elektrischen Hygrometern, de-

ren Funktionsweise für den MN-Unterricht keine besondere Bedeutung hat, gibt es aber Messgeräte, deren Arbeitsweise sich gut als Unterrichtsgegenstand verwenden lässt und die Modellversuche erlauben wie z. B. zum Haarhygrometer und Psychrometer.

Haarhygrometer basieren auf den hygroskopischen Eigenschaften von Haaren oder synthetischen Fasern, die sich mit zunehmender Feuchte ausdehnen. Diese Längenänderung wird mit Hilfe einer empfindlichen Mechanik auf einen Zeiger übertragen. Synthetische Fasern verwendet man vor allem bei Innenräumen, menschliche oder tierische Haare beim Einsatz im Freien, weil der nächtliche Temperaturabfall bzw. Feuchtigkeitsanstieg gut für die Erhaltung der Haarelastizität ist. Beim Einsatz in Räumen muss ab und zu eine Regeneration durch Einbringen in wasserdampfgesättigter Luft erfolgen.

Psychrometer ermitteln die relative Luftfeuchte anhand der Temperaturdifferenz zwischen trockenen und befeuchteten Thermometern. An einem befeuchteten Thermometer wird ein konstanter Luftstrom vorbeigeführt, der für die Verdunstung des Wassers sorgt und damit für eine Abkühlung (Verdunstungskälte). Die Verdunstungsrate ist aber von der jeweiligen Luftfeuchte abhängig, sodass der Abkühlungseffekt in direkter Abhängigkeit zu der relativen Luftfeuchte steht. Fertige Messsysteme dieser Art haben oft einen integrierten Ventilator zur Erzeugung eines konstanten Luftstromes.

Das Grundprinzip des Psychrometers lässt sich in der Schule einfach darstellen und mit vielen Beispielen aus dem Alltag (z. B. Kältegefühl bei nasser Haut) belegen. Die einzige Schwierigkeit dürfte die Einhaltung standardisierter Bedingungen für den Luftstrom und für die Befeuchtung am Thermometer sein und damit die Genauigkeit der Feuchtemessung.

Zur Auswertung existieren Tabellen, um aus der Temperaturdifferenz zwischen trockenem und feuchtem Thermometer den Wert der relativen Luftfeuchte abzulesen. Diese Tabellen basieren auf einem Luftstrom von 2-3 m/s.

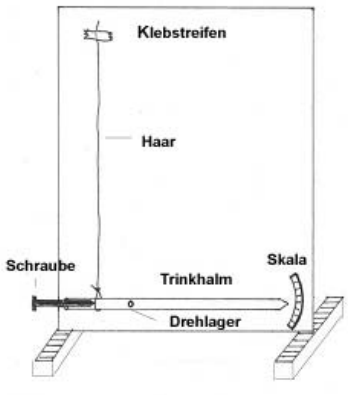
V23: Bau eines Haarhygrometers

Material:

Holzplatte, Holzleiste, Trinkhalm, Schraube, Nagel, Tesafilm, langes Haar

Durchführung:

Die Holzplatte wird mit zwei kurzen Leisten verbunden, sodass sie senkrecht steht. Die Anzeigevorrichtung besteht aus einem Trinkhalm, der mit einem dünnen Nagel leicht drehbar so befestigt ist, dass er einen kurzen und einen langen Hebelarm besitzt. Das Haar wird oben am Brett und unten am kurzen Hebelarm des Zeigers mit Tesafilm befestigt. Der kurze Arm wird mit Hilfe einer Schraube o. ä. beschwert, damit eine Gegenkraft zur Zugkraft des Haares vorhanden ist. Am Ende des langen Hebelarms wird eine Skala als Kreisbogen eingezeichnet. Die Längenverhältnisse der Hebelarme bestimmen das Ausmaß des Zeigerausschlags bei sich ändernder Luftfeuchtigkeit.



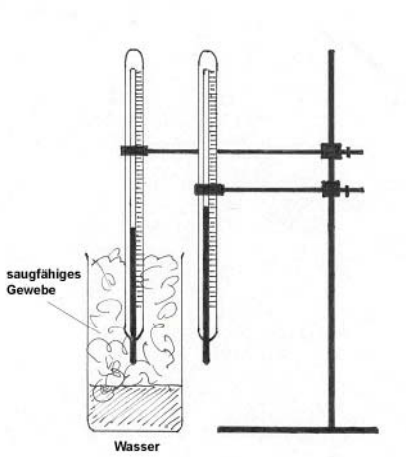
V24: Modell: Funktionsweise eines Psychrometers

Material:

Saugfähiges Gewebe (z. B. Musselin, Watte), Becherglas, 2 Thermometer, Stativmaterial, eventuell Ventilator

Durchführung:

Das saugfähige Gewebe wird in ein mit Wasser gefülltes Glas gegeben und ein Ende um den Thermometerkolben gewickelt bzw. mit einem kleinen Gummiring fixiert (wie ein feuchter Strumpf, der über das Thermometer gezogen ist). Das Thermometer wird an einem Stativ senkrecht befestigt, daneben ein unbefeuchtetes Vergleichsthermometer. Nach einiger Zeit stellt sich eine gleichmäßige Verdunstung des Wassers am Thermometerkolben ein und damit eine konstante Temperaturdifferenz zwischen dem feuchten und dem trockenen Thermometer, welche von der Luftfeuchtigkeit des Raumes abhängt. Die Anlage sollte immer im Schatten stehen, d. h. gegen Strahlungseinflüsse geschützt sein.



Beim Einsatz im Freien muss ggf. eine Abdeckung gegen Niederschläge vorhanden sein.

Hinweis:

Mit Hilfe des folgenden Auszugs aus einer Auswertungstabelle *(s. Michael Allaby: Spannendes Wissen über Klima und Wetter, Christian Verlag, München 2000*) können die Schülerinnen und Schüler die gefundenen Messwerte in entsprechende Prozentwerte der relativen Luftfeuchtigkeit umrechnen (bzw. interpolieren).

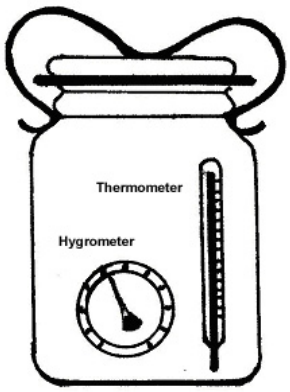
Aktuelle Temperatur	**Feuchtkolbendepression bei**				
	1 °C	2 °C	3 °C	4 °C	5 °C
-10 °C	69 %	39 %	10 %		
-5 °C	77 %	54 %	32 %	11 %	
0 °C	82 %	65 %	47 %	31 %	15 %
5 °C	86 %	71 %	58 %	45 %	32 %
10 °C	88 %	76 %	65 %	54 %	44 %
15 °C	90 %	80 %	70 %	61 %	52 %
20 °C	91 %	82 %	74 %	66 %	58 %
25 °C	92 %	84 %	77 %	70 %	63 %
30 °C	93 %	86 %	79 %	73 %	67 %
35 °C	93 %	87 %	81 %	75 %	69 %

V25: Veränderung der relativen Luftfeuchtigkeit bei gleichbleibendem absoluten Wasserdampfgehalt

Material:

Verschließbares Glasgefäß (z. B. Einmachglas mit Gummiring und Klammer oder großes Glas mit dicht schließendem Schraub-Deckel), Thermometer, Hygrometer

Durchführung:



In das Glasgefäß werden ein Thermometer und ein Hygrometer so eingebracht, dass man die Skalen gut ablesen kann. Man verschließt das Glas sorgfältig, damit kein Luft- bzw. Wasserdampfaustausch mit der Umgebung stattfinden kann. Dann misst man Temperatur und relative Luftfeuchte an verschiedenen Standorten bzw. bei verschiedenen Temperaturen, z. B.
a) im Klassenraum,
b) auf dem Heizkörper oder in der Sonne,
c) im Eiswasser oder im Kühlschrank.

Obwohl sich wegen des verschlossenen Glases der absolute Wasserdampfgehalt nicht ändern kann, ändern sich die Messwerte des Hygrometers. Bei niedriger Temperatur ist die relative Luftfeuchtigkeit größer, bei höherer Temperatur niedriger (vgl. Tabelle bzw. Taupunktdiagramm oben).

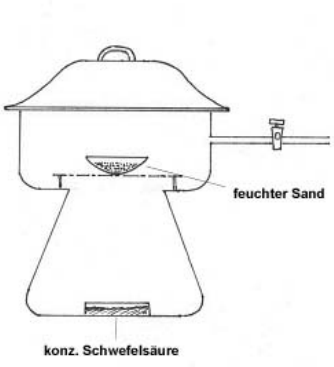
Es empfiehlt sich, den Thermometerkolben nicht mit direktem Kontakt zum Boden des Glases aufzustellen, da dann die gemessene Temperatur mehr der Glas-Temperatur als der Lufttemperatur im Glasgefäß entspricht.

V26: Trocknungsmittel

Material:
Luftdicht verschließbares Glasgefäß (z. B. Einmachglas), Porzellanschale, Trocknungsmittel (Silicagel, Calciumchlorid, Calciumoxid, Magnesium- und Natriumsulfat u. a.), Hygrometer

Durchführung:
In ähnlicher Weise wie im vorher beschriebenen Versuch werden ein kleines Gefäß mit Trocknungsmittel und ein Hygrometer in das Glas gebracht. Dieses wird fest verschlossen. Nach einiger Zeit beobachtet man den Rückgang der Luftfeuchtigkeit am Zeiger des Hygrometers.

Hinweise:



In Parallelversuchen mit gleichen Ausgangbedingungen lässt sich die Wirksamkeit verschiedener Trocknungsmittel vergleichen. Den besten Trockeneffekt liefert konzentrierte Schwefelsäure, deren Einsatz aber wegen ihrer Gefährlichkeit problematisch ist (daher nur Lehrerversuch!).
a) Durch Erhitzen (z. B. im Trockenschrank) kann man feste Trocknungsmittel wie z. B. Silicagel und Calciumchlorid von aufgenommenem Wasser wieder „befreien".
b) Die in chemischen Labors häufig benutzte Methode, Gase zu trocknen, ist das Durchleiten durch konzentrierte Schwefelsäure in einer Waschflasche.
c) Um feuchte Stoffe zu trocknen, verwendet man im Chemielabor z. B. einen speziellen Gasbehälter, den Exsikkator (Lehrerversuch!): In den Exsikkator wird konzentrierte Schwefelsäure gegeben und auf die löchrige Abdeckung ein Schälchen mit feuchtem Sand gestellt. Im verschlossenen Gefäß trocknet die Probe rasch; das Wasser wird von der sehr hygroskopischen Schwefelsäure aufgenommen.

2.4 Die Herkunft gasförmiger Luftbestandteile

2.4.1 Kohlenstoffdioxid

Methodisch-didaktische Anmerkungen

CO_2 gelangt auf der einen Seite durch natürliche und vom Menschen verursachte Prozesse ständig in die Luft und wird auf der anderen Seite durch biologische bzw. chemisch-physikalische Vorgänge ständig der Luft entzogen.

Auf natürlichem Weg gelangt CO_2 durch Atmung, Gärung, Verbrennungsprozesse und durch Zersetzung organischer Bestandteile in die Luft. Die Menschen reichern die Luft mit CO_2 vor allem durch die Verbrennung kohlenstoffhaltiger Stoffe (Öfen, Kraftwerke, Müllverbrennung, Motoren, Waldbrände,...) an.

Durch die Fotosynthese wird CO_2 aus der Luft ständig „verbraucht". Grüne Pflanzen bauen aus CO_2 und Wasser Traubenzucker und Sauerstoff auf; als Energiequelle dient das Sonnenlicht.

- **Atmung:**

Im Körper von Mensch und Tier werden kohlenstoffhaltige Nahrungsmittel abgebaut bzw. umgewandelt und unter Sauerstoffverbrauch oxidiert. Das Ziel dieser „stillen Verbrennung" in den Zellen ist die freiwerdende Reaktionsenergie. Entstehendes Kohlenstoffdioxid und Wasser sind dabei „Abfallprodukte". Das „giftige" CO_2 wird aus dem Körper über die Atemwege entfernt. Vom Blut wird es in die Lunge transportiert und in den Lungenbläschen an die Atemluft abgegeben.

Traubenzucker + Sauerstoff → Kohlenstoffdioxid + Wasser + Energie

$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O + E$

Der Anteil des Kohlenstoffdioxids in der ausgeatmeten Luft schwankt, da er von der Art des Ein- und Ausatmens abhängig ist, z. B. von der Verweildauer der Luft in der Lunge. In der Regel liegt er zwischen 3 % und 5 %.

Der qualitative Nachweis von CO_2 in der Luft ist mit Hilfe von Kalkwasser einfach zu bewerkstelligen. Die quantitative Bestimmung ist mit Hilfe der Absorption in Laugen im Schülerexperiment möglich.

- **Verbrennung:**

Bei allen Verbrennungen kohlenstoffhaltiger Stoffe (Holz, Kohle, Öl u. a.) entsteht Kohlenstoffdioxid, wobei – wie bei der Atmung – die frei werdende Energie Ziel dieser chemischen Reaktionen ist. Falls man in diesem Zusammenhang einen (chemischen) Schwerpunkt setzen möchte, bietet sich eine ganze Palette von Versuchen bzw. Reaktionen an. Insbesondere an dieser Stelle ist dann eine Absprache mit der Chemielehrerin oder dem Chemielehrer notwendig, da auch im Chemie-Pflichtunterricht Verbrennungen bzw. Oxidationen behandelt werden. Will man über den qualitativen Nachweis von CO_2 hinausgehen und die chemischen Reaktionen genauer untersuchen, so bieten sich zuerst die Verbrennung von Holzkohle („reiner" Kohlenstoff) und die Untersuchung der Gasbrennerflamme an, bevor man die schwierigeren Reaktionen von Benzin oder der Kerzenflamme untersucht. Reaktionsgleichungen für die genannten Verbrennungsvorgänge können erstellt und mit dem Teilchenmodell verständlich gemacht werden (Molekülmodelle der Brennstoffe umbauen zu den Molekülen der Verbrennungsprodukte).

Ein besonderes Augenmerk verlangt wegen der Umweltdiskussion der Verbrennungsvorgang in Motoren. Benzin und Dieselöl sind C-H-Verbindungen, die im Motor

(fast) vollständig zu CO_2 und H_2O verbrennen und dabei Wärmeenergie freisetzen. Die Verbrennung von Heptan hat z. B. folgende Reaktionsgleichung:

$$C_7H_{16} + 11\ O_2 \rightarrow 7\ CO_2 + 8\ H_2O + \text{Energie}$$

Zahlen zur Verbrennung von Benzin in Motoren sollen den Schülerinnen und Schülern die Dimension der Stoffumsätze verdeutlichen:

Annahme: Bei einer Fahrt über etwa 100 km verbraucht ein PKW etwa 10 Liter Benzin. Dazu benötigt er etwa 17500 Liter Sauerstoff und gibt durch den Auspuff etwa 11000 Liter Kohlendioxid ab. – Im November 1998 wurden pro Tag 111.582 m^3 Benzin und 100.600 m^3 Dieselöl für Motoren in Deutschland verbraucht. Daraus lassen sich leicht der Sauerstoffbedarf bzw. die Gesamt-CO_2-Emission durch Motoren errechnen bzw. abschätzen. Die Sauerstoffbildung eines Baumes kann diesen Zahlen gegenübergestellt werden.

- **Gärung:**

Während bei der Atmung die Umwandlungsprozesse unter Mithilfe von Sauerstoff geschehen (aerob), vollziehen sich die Gärungsprozesse ohne Sauerstoff (anaerob). Bei der alkoholischen Gärung entsteht durch die Stoffwechseltätigkeit von Hefe aus Zucker neben Alkohol Kohlenstoffdioxid:

Glucose → Ethanol + Kohlenstoffdioxid

$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\ C_2H_5OH + 2\ CO_2$

(Hefen sind allerdings auch in der Lage, Glucose zu CO_2 und Wasser abzubauen. Das kann aber nur unter Mitwirkung von Sauerstoff geschehen.)

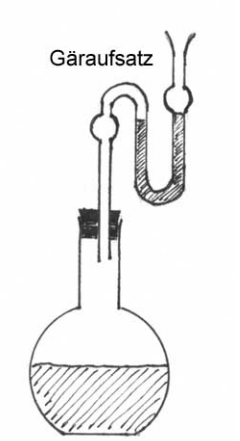
Gäransätze sind sehr einfach durchzuführen. Wenn keine quantitativen Auswertungen beabsichtigt sind, können Mengenverhältnisse, Temperatur etc. in weiten Grenzen variieren. Glasgefäße eignen sich am besten, weil die Gärung von außen sichtbar ist. Die praktische Durchführung einer Gärung ist stets motivierend für die Schülerinnen und Schüler, da ein alkoholhaltiges Getränk das Ergebnis des Versuches ist. Je nach Region hat sie auch eine mehr oder weniger große wirtschaftliche Bedeutung (Wein, Bier, Sekt).

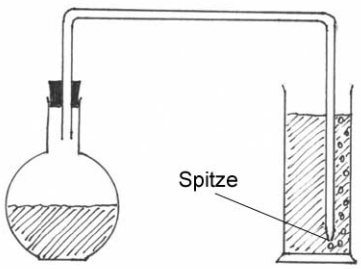
Gärung ist wie die Atmung ein „stoffabbauender" Prozess, bei dem Energie frei wird. Enzyme der Hefe-Pilze ermöglichen den Abbau bzw. Umbau von Zucker zu Ethanol und CO_2. Je nach Hefeart gibt es ein Temperaturoptimum. Für qualitative Versuche spielt sie aber keine große Rolle, wenn man im Bereich von Raumtemperatur bleibt.

Hefepilze sind unter dem Mikroskop sichtbar (400-fache Vergrößerung nötig!); eine kleine Probe aus dem Gärbehälter oder eine Suspension von etwas Backhefe oder Trockenhefe in Wasser reichen für die mikroskopische Untersuchung aus.

Nach vollendeter Gärung kann durch Destillation der Alkohol aus der Lösung entfernt bzw. angereichert werden (vgl. Trennverfahren im Chemieunterricht Kl. 8). Eine quantitative Alkoholbestimmung durch Destillation und anschließende Dichtemessung ist gut möglich.

Grundprinzip: Man gibt zu einer Zuckerlösung etwas Bäckerhefe oder Trockenhefe und verschließt das Gefäß mit einem Gärrohr. Die Gärung setzt danach relativ rasch ein und dauert je nach Temperatur einige Tage bis einige Wochen lang. Das Gärröhrchen soll Luftzutritt verhindern (anaerober Prozess), aber CO_2 entweichen lassen. Füllt man als Sperrflüssigkeit Kalkwasser ein, erkennt man bald die milchige Trübung durch CO_2 (s. Skizzen). Das entstehende CO_2 kann auch mittels pneumatischer Wanne aufgefangen werden (z. B. zur Mengenbestimmung).





Mit dieser Versuchsanordnung ist die Gärintensität über die Zahl der Gasblasen pro Zeiteinheit quantitativ erfassbar.

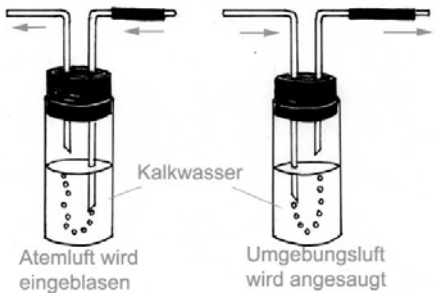
Als Zuckerlösung eignet sich z. B. etwa 10-20 g Zucker pro 100 ml Wasser. In warmem Wasser löst sich Zucker gut, und die Gärung beginnt rasch. Verwendet man reine Zuckerlösung (keine Obstsäfte), so sollte man Nährsalze für die Hefe zugeben; z. B. reichen einige Tropfen Maggi-Würze.

Experimente

V27: Entstehung von Kohlenstoffdioxid bei der Atmung des Menschen

Material:

Zwei Gaswaschflaschen, Schlauchverbindungen, Glasröhrchen, Kalk- oder Barytwasser



Durchführung:

Die Luft beim Einatmen wird durch Kalkwasser in einer Gaswaschflasche geleitet und zeigt keine Trübung durch Kalkbildung bzw. erst bei sehr langer Versuchsdauer. Die Luft beim Ausatmen wird ebenfalls durch Kalkwasser in einer zweiten Gaswaschflasche geleitet und zeigt schon nach kurzer Zeit (2 bis 3 Atemzüge) eine deutliche Trübung.

Die ausgeatmete Luft enthält viel mehr CO_2 als die eingeatmete Luft. Normale Luft enthält etwa 0,03 % CO_2, Atemluft etwa 4 %. Normale Luft enthält etwa 21 % Sauerstoff, Atemluft etwa 17 %, d. h., etwa ein Fünftel des eingeatmeten Sauerstoffs wird im Körper umgesetzt.

Hinweise:

1. Dieser Versuch wird häufig so beschrieben, dass zwei Gaswaschflaschen mit einem T-Rohr verbunden werden, an dessen mittlerem Ausgang der Atemschlauch befestigt ist. Die Versuchsperson atmet ein und aus. Beim Einatmen wird die Luft durch das Kalkwasser der einen Waschflasche durchgesogen, beim Ausatmen durch das Kalkwasser der anderen Waschflasche durchgeblasen. Bei dieser Methode sollte

darauf geachtet werden, dass das Rohr nicht zu tief in der Waschflasche steckt und vorsichtig (nicht stoßweise!) geatmet wird. Ein zeitliches Nacheinander der Vorgänge des Einatmens und Ausatmens und der Einsatz von zwei getrennten Waschflaschen ist in der Regel einsichtiger und sicherer.

2. Interessant für Schülerinnen und Schüler (und eine Ergänzung zu den vorgegebenen Themen des Lehrplans) ist die Bestimmung des menschlichen Atemvolumens. Es bieten sich verschiedene Möglichkeiten an:

- Bestimmung des Volumens mit Hilfe eines Spirometers (häufig in Biologiesammlungen zu finden);
- Durchpusten durch Gaszähler (ältere, gebrauchte Zähler werden von Gasversorgungsunternehmen an Schulen abgegeben);
- Volumenmessung mit Hilfe einer pneumatischen Wanne (Voraussetzung ist ein entsprechend großes Messgefäß - mehrere Liter! - und eine große Auffangwanne für das verdrängte Wasser).

3. Auf den historischen Selbstversuch von Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) sei an dieser Stelle hingewiesen. In moderner Variante benutzt man z. B. eine Plastiktüte. Diese wird über Nase und Mund fest an das Gesicht gedrückt und die Luft in der Tüte eingeatmet und immer wieder in die Tüte ausgeatmet. Mit jedem Atemzug wird der Sauerstoffgehalt geringer, und in gleichem Maße nimmt der CO_2-Gehalt zu, sodass das Atmen immer schwerer fällt. Nach etwa 20 Atemzügen wird die Atemnot so groß, dass man die Tüte wegnehmen muss. In dieser CO_2-reichen und O_2-armen Luft erstickt eine Kerzenflamme rasch. Quantitative Bestimmungen von O_2 und CO_2 können in diesem Zusammenhang ebenfalls durchgeführt werden (vgl. Versuche V4 und V29).

4. Die Anreicherung von CO_2 in einem Klassenraum fordert zu Berechnungen heraus: Wie verändert sich der CO_2-Anteil und der O_2-Anteil in der Luft in einem bestimmten Zeitraum, wenn man davon ausgeht, dass kein Luftaustausch stattfindet? Die Zahlengrundlagen können von den Schülerinnen und Schülern selbst festgestellt werden: Länge, Breite und Höhe des Raums, Anzahl der Personen, durchschnittliches Volumen eines Atemzugs, durchschnittliche Atemfrequenz (im Ruhezustand etwa 16 Atemzüge pro Minute zu je ½ Liter).

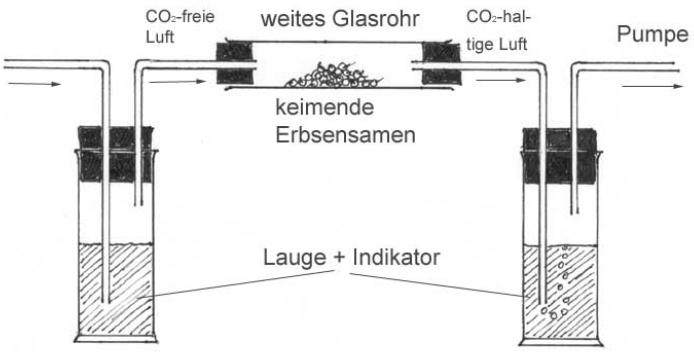
V28: Entstehung von Kohlenstoffdioxid bei der Atmung von Tieren und Pflanzen

Material:

Zwei Gaswaschflaschen, Schlauchverbindungen, weites Glasrohr, Glasröhrchen, Wasserstrahlpumpe, Kalk- oder Barytwasser

Durchführung:

In ein weites Glasrohr werden keimende Erbsen gebracht. Auf beiden Seiten sind Gaswaschflaschen (mit Kalk- oder Barytwasser) mit dem Rohr verbunden. Nun wird mit Hilfe der Wasserstrahlpumpe Luft durchgesaugt. – Während sich das Kalkwasser in der vorgeschalteten Gaswaschflasche kaum verändert, ist in der nachgeschalteten Flasche bald eine Trübung bemerkbar.



Hinweise:

1. Steht keine Wasserstrahlpumpe zur Verfügung, kann die Luft auch mit einem Gummibalg stetig durch die Glasröhre und Waschflaschen gedrückt bzw. gesaugt werden.

2. In ähnlicher Weise kann man den Versuch mit lebenden Tieren durchführen. In der Literatur wird er oftmals mit einer Maus beschrieben. Mit wirbellosen Tieren, etwa Larven von Insekten, kann er ebenfalls durchgeführt werden. In der PZ-Information 5/92 „Lebende Tiere im Unterricht, Teil I" wird ein entsprechender Versuch mit Fliegenmaden dargestellt (S. 85 – 86 und S. 92 – 93).

V29: Quantitative Bestimmung des CO_2-Gehaltes der Atemluft

Material:

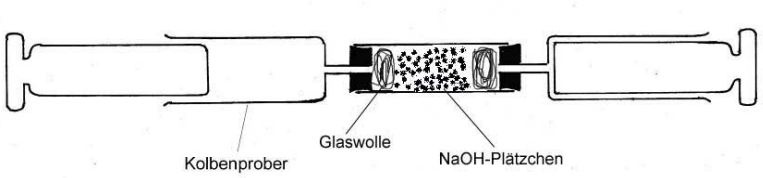
Kolbenprober, Kalkwasser, ergänzend: weiterer Kolbenprober, Glasrohr, Glaswolle, Stopfen, festes Natriumhydroxid

Durchführung:

Variante 1: Man saugt 100 ml ausgeatmete Luft mit deutlichem CO_2-Gehalt (mehrmals gleiche Luft in Plastiktüte ein- und ausatmen!) in einen Kolbenprober. Danach saugt man etwas Kalkwasser zusätzlich in den Kolbenprober, schüttelt mehrfach und drückt die Lauge nach einiger Zeit vorsichtig wieder heraus. Die Volumenverringerung entspricht dem CO_2-Gehalt des Gases in Prozent. Achtung: Den Kolbenprober danach gut säubern und innen trocknen, damit er leichtgängig bleibt!

Variante 2: (Versuchsaufbau ähnlich der Sauerstoffbestimmung in V4.) In einem Glasröhrchen befindet sich zwischen zwei Glaswollepfropfen perl- oder plätzchenförmiges NaOH. Auf beiden Seiten werden Kolbenprober angebracht.

In einen Kolbenprober werden 100 ml der Atemluft eingesaugt und an die Apparatur angeschlossen. Das Gas wird nun mehrere Male durch das Glasrohr geschoben, bis keine Volumenabnahme mehr erfolgt. Die Volumenabnahme entspricht dem CO_2-Gehalt.



Hinweise:

CO_2 wird beim Kontakt mit Laugen unter Bildung von Karbonaten absorbiert. Bei Calciumlauge (Kalkwasser) entsteht z. B. ein unlösliches Karbonat, das sich als milchige Trübung manifestiert. Bei der Reaktion von CO_2 mit Lauge nimmt das Gasvolumen ab bzw. das Gewicht der Lauge zu. Diese beiden Veränderungen erlauben die mengenmäßige Bestimmung des CO_2-Gehaltes von Gasgemischen (nicht nur der ausgeatmeten Luft!).

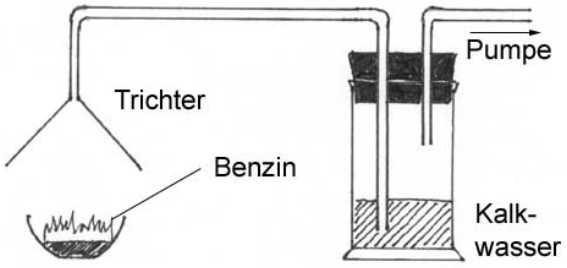
V30: Verbrennung organischer Stoffe

Material:

Trichter, Gaswaschflasche, Glasröhrchen, Schlauchverbindungen, Kalkwasser, Holzkohle, Gasbrenner, Kerze, Porzellanschale mit Benzin, Wasserstrahlpumpe

Durchführung:

Man bringt nacheinander Holzkohle, eine Gasbrennerflamme (z. B. Methan, Propan oder Butan), eine brennende Kerze und brennendes Benzin unter den Trichter und saugt mittels Wasserstrahlpumpe oder Gummi-Handpumpe die Abgase der Flamme durch Kalkwasser, das sich rasch milchig trübt.



Hinweise:

Mit weniger Aufwand lassen sich ebenfalls gute Ergebnisse erzielen:

1. Ein Becherglas wird mit Kalkwasser ausgespült und jeweils über die Flamme gehalten. Das aufsteigende CO_2 bewirkt die milchige Trübung der an der Glaswandung noch haftenden Kalkwassertropfen. (Am kalten Glas erkennt man außerdem die Bildung von Kondenswasser.)

2. Aus der äußeren Flammenzone kann man mittels Spritze und Kanüle etwas Gas aufziehen und dieses direkt in eine kleine Probe Kalkwasser drücken.

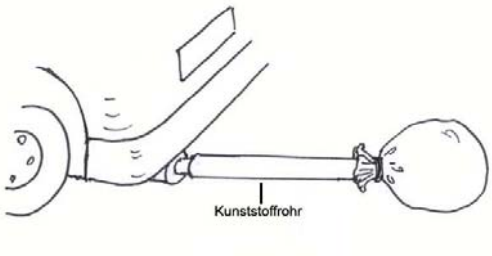
V31: Untersuchung von Motorabgasen

Material:

Kunststoffrohr, große Plastiktüte, Gummiring (Weckglas), Kalkwasser, Glasröhrchen, Gaswaschflasche, Wasserstrahlpumpe

Durchführung:

Eine große Plastiktüte wird mit einem Gummiring fest am Ende eines Kunststoffrohrs befestigt, das wiederum über das Auspuffrohr eines PKW oder Mofas geschoben wird. Dann wird die Tüte mit Abgas gefüllt und verschlossen. Mit Hilfe einer Wasserstrahlpumpe wird nun das Gasgemisch der Tüte durch Kalkwasser in einer Gaswaschflasche geleitet. Dabei entsteht rasch die Trübung des Kalkwasser durch das CO_2.



Hinweise:

Wenn man, wie in den „methodisch-didaktischen Anmerkungen“ beschrieben, auf eine mengenmäßige Betrachtung der Reaktionsumsätze bei Verbrennungsmotoren eingehen will, erscheint es sinnvoll, nicht nur Abgase aufzufangen, sondern sie auch mengenmäßig zu erfassen. Schließt man einen Gaszähler am Auspuff[5] von einem Moped oder einem Auto an, kann die Abgasmenge pro Minute gemessen werden. Diese wird etwa in der Größenordnung von 1500 Litern pro Minute liegen. Auch hier kann der CO_2-Gehalt in beschriebener Form quantitativ bestimmt werden.

V32: Kohlenstoffdioxid entsteht bei der Gärung

Material:

Glaswanne, Standkolben, Stopfen, Glas- und Schlauchverbindungen, Becherglas, Kalkwasser, Bäckerhefe, Zucker (Glucose oder Saccharose)

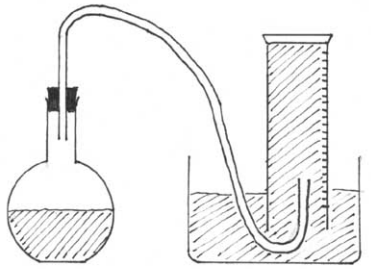
Durchführung:

In ca. 100 ml Wasser wird ein erbsengroßes Stück Bäckerhefe (ersatzweise einige Gramm Trockenhefe) verrührt und dazu etwa 10 g Zucker gegeben. Die Flüssigkeit wird in einen Kolben gegeben, der mit durchbohrtem Stopfen versehen ist, und an einem warmen Ort aufstellt oder bis etwa 30 °C erhitzt (Wasserbad). Das bei der Gärung entstehende Gas wird in ein Becherglas mit Kalkwasser geleitet.

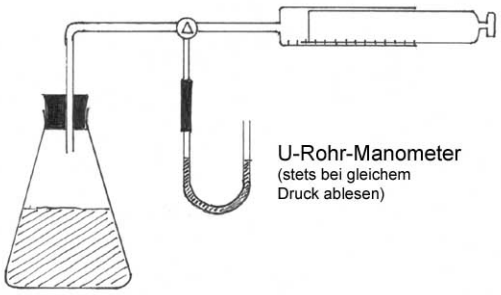
[5] Wenn der Anschluss des Gaszählers mittels Schlauch geschieht, ist die Temperatur des Auspuffs zu beachten. Am besten führt man die Messung bei frisch gestartetem Motor durch, wenn der Auspuff noch kalt ist. Sonst besteht Verbrennungsgefahr, bzw. es ergeben sich Probleme mit dem verwendeten Gummi- oder Kunststoffschlauch.

Hinweis:

Quantitative Messungen (Abhängigkeit von der Temperatur oder der Zuckerkonzentration) können mit Hilfe einer pneumatischen Wanne oder mit einem Kolbenprober vorgenommen werden (s. Skizzen).



Pneumatische Wanne



2.4.2 Sauerstoff

Methodisch-didaktische Anmerkungen

In der Uratmosphäre spielte freier Sauerstoff keine Rolle. Mit der Entwicklung der Pflanzen nahm der Sauerstoffanteil in der Luft immer mehr zu, da durch den Prozess der Fotosynthese Sauerstoff an die Umgebung abgegeben wurde. Die Zunahme des Sauerstoffs ermöglichte die Entwicklung tierischer Organismen.

Der heutige Anteil von ca. 20 % Sauerstoff in der Luft wurde etwa vor 2 Millionen Jahren erreicht. Er ist seitdem weitgehend konstant geblieben, da in einem gigantischen Kohlenstoff-Sauerstoff-Kreislauf, in den neben Biosphäre und Atmosphäre auch Hydrosphäre und Litosphäre eingebunden sind, menschliche Einflüsse keine merkliche Rolle spielen können. (Im Gegensatz dazu können geringe Veränderungen des CO_2-Gehalts dramatische Folgen haben, s. Treibhauseffekt!)

Die Zusammensetzung der Luft bzw. die Grundlagen von Fotosynthese und Atmung wurden erst im 18. Jahrhundert entdeckt. Die für die damalige Zeit bahnbrechenden experimentellen Ergebnisse des Briten Joseph Priestley (1733 - 1804) und des Schweden Carl Wilhelm Scheele gaben die ersten Hinweise auf die verschiedenen Gase in der Luft. U. a. wurde deutlich, dass nur etwa ein Fünftel der Luft „gute Luft“, d. h. für die Atmung tauglich war.

Die einzige natürliche Sauerstoffquelle sind Pflanzenzellen, die Chlorophyll enthalten. Mit Hilfe von Lichtenergie, in der Regel Sonnenenergie, sind die Chlorophyllkörner in der Lage, den Prozess der Bildung von Traubenzucker und Sauerstoff aus CO_2 und Wasser in Gang zu setzen.

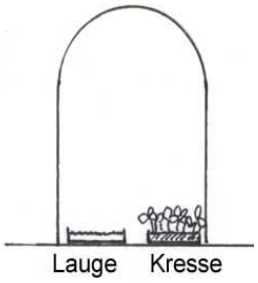
Kohlenstoffdioxid + Wasser + Energie → Traubenzucker + Sauerstoff

$$6\ CO_2 + 6\ H_2O + E \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$$

Um experimentell nachzuweisen, dass grüne Pflanzen Sauerstoff erzeugen, ist es naheliegend, mit Wasserpflanzen zu arbeiten, damit der entstehende Sauerstoff aufgefangen werden kann. Wasserpest (Elodea canadensis) hat sich für entsprechende Versuche sehr gut bewährt. Sprosse dieser Pflanze sind in der Regel im Aquarienhandel erhältlich.

Der (im Reagenzglas) aufgefangene Sauerstoff wird mit Hilfe der Glimmspanprobe nachgewiesen. Eine weitere Nachweismöglichkeit besteht im Einsatz von Indigocarmin: Sprosse der Wasserpest, in Indigocarminlösung eingebracht, färben das gelbe Reagenz nach Austreten von Sauerstoff blau (ALOYSIUS WILD, S. 220-223).

Die Intensität der Sauerstofferzeugung ist abhängig von der Intensität des Lichts (s. Versuch 34) und der CO_2-Konzentration in der Umgebung. In einem einfachen Versuch kann die Rolle des CO_2 für das pflanzliche Leben gezeigt werden: Von zwei offenen Petrischalen mit auf Filterpapier aufgezogenen Pflänzchen der Gartenkresse wird eine unter eine Glasglocke zu einem Schälchen mit Lauge gestellt (die CO_2 bindet), die andere bleibt zum Vergleich an der Luft stehen. Der Mangel an CO_2 zeigt deutliche Wachstumsstörungen („Hungerkultur“).



Experimente

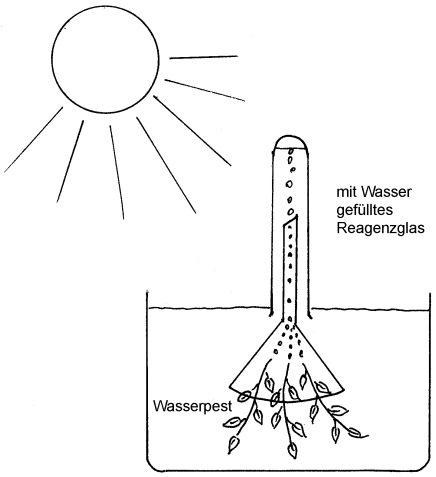
V33: Grüne Pflanzen erzeugen Sauerstoff

Material:

Glaswanne, Trichter, Reagenzglas, Sprossstücke der Wasserpest (Elodea canadensis)

Durchführung:

Mehrere Sprosse der Wasserpest, deren Enden frische Schnittstellen haben, werden als lockeres Knäuel frei in das Wasser gelegt. Ein möglichst großer Trichter wird so über das Pflanzenmaterial gesetzt, dass zumindest alle Schnittstellen der Sprosse sich in der Trichteröffnung befinden. Über das Trichterende wird ein mit Wasser gefülltes Reagenzglas gestülpt. Bei heller(!) Bestrahlung entstehen an den Bruchstellen der Sprosse feine Bläschen, die das Wasser aus dem Reagenzglas herausdrücken. Ist das Reagenzglas (nach einigen sonnenreichen Tagen) zu einem guten Teil mit Gas gefüllt, zeigt die Glimmspanprobe Sauerstoff an.



Hinweis:

1. Soll genügend Sauerstoff entstehen, damit ein Nachweis mit dem glühenden Span möglich ist, muss genügend Pflanzenmaterial, das frisch angeschnitten ist (schräg!), zur Verfügung stehen und die Lichtintensität hoch sein (z. B. Standort in der Sonne an einem Sommertag).

2. Wenn man mit Sauerstoff gesättigtes Wasser einsetzt (vorher längere Zeit mit einer Aquarienpumpe Luft einleiten!), löst sich der durch Fotosynthese entstehende Sauerstoff zu Beginn nicht mehr im Wasser, sondern wird schneller als Blasen sichtbar.

3. Wenn ein Trichter mit Hahn zur Verfügung steht, ist der Sauerstoffnachweis mit glimmendem Span besonders einfach.

V34: Abhängigkeit der Sauerstoffproduktion von der Lichtintensität

Material:

Reagenzglas, Spross von Elodea canadensis, regulierbare Lichtquelle

Durchführung:

Ein Spross von Elodea wird so in das mit Wasser gefüllte Reagenzglas eingeführt, dass die frische, schräge Schnittstelle nach oben weist. Eine über einen Schiebewiderstand regulierbare Lampe wird in einer Entfernung von ca. 50 cm im dunklen Raum fixiert. Die Lichtintensität wird jeweils verändert. Bei jeder Stufe wird, wenn sich die Blasenentwicklung an die neue Situation angepasst hat, die Anzahl der Blasen pro Minute gezählt.

Hinweise:

1. Um die Intensität der Sauerstoffbildung zu verstärken, sollte das verwendete Wasser mit Sauerstoff (s. Versuch 33) und mit CO_2 (z. B. etwas $KHCO_3$ oder Sprudelwasser zugeben) angereichert werden.

2. Statt einer regulierbaren Lichtquelle kann man auch eine konstant helle Lampe verwenden und die Entfernung zum Reaktionsgefäß verändern. Um die Wärmewirkung bei geringerer Entfernung auszuschalten, wird zwischen Lampe und Versuchsanordnung eine (Plexi-)Glas- scheibe oder eine mit Wasser gefüllte Küvette gestellt.

3. Mit einer grafischen Darstellung kann die Abhängigkeit der Sauerstoffproduktion von der Lichtintensität im Achsenkreuz dargestellt werden: Die unabhängige Variable (Lichtintensität) wird durch den elektrischen Widerstand bzw. die Entfernung der Lichtquelle dargestellt, die abhängige Variable (Sauerstofferzeugung) durch die Anzahl der Bläschen pro definierter Zeiteinheit.

V35: Abhängigkeit der Sauerstoffproduktion von der CO_2-Konzentration

Material:

3 Reagenzgläser, 3 gleich große Sprosse von Elodea canadensis

Durchführung:

Drei Reagenzgläser werden mit drei verschiedenen „Wassersorten“ gefüllt: Normales Leitungswasser, abgekochtes (und abgekühltes) Wasser, mit CO_2 versetztes Wasser („Selterswasser“) oder mit einer geringen Menge Kaliumbikarbonat versetztes Leitungswasser. Die Anzahl der Blasen pro Minute (bei gleichen Lichtverhältnissen) wird gezählt.

2.4.3 Wasser

Methodisch-didaktische Anmerkungen

Der Wassergehalt der Luft wird durch verschiedene Faktoren erzeugt:

- Verdunstung von der Oberfläche der Gewässer
- Wasserdampfabgabe über die Spaltöffnungen der Pflanzen

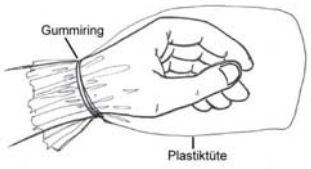
- Wasserbildung bei Verbrennungs- und Atemvorgängen[6]

Unter Verdunstungsrate versteht man die pro Zeiteinheit verdunstende Wassermenge. Bei offenen Gewässern hängt diese Rate weitgehend von drei Faktoren ab: Wassertemperatur, Windstärke und relative Luftfeuchtigkeit. Als Anhaltspunkt für Schätzungen der Verdunstungsrate offener Gewässer gelten die folgenden Werte:

Wassertemperatur 10 °C Windgeschwindigkeit 2 m/s relative Luftfeuchtigkeit 50 %	⟶ Verdunstungsrate 3 mm/Tag bzw. 3 Liter/m^2 u. Tag

Die Wasserdampfabgabe über die Spaltöffnungen der Blätter kennen die Schülerinnen und Schüler in der Regel aus dem Biologieunterricht. Gleiches gilt für die Wasserdampfabgabe über die Haut bei tierischen Organismen zur Regulierung des Temperaturhaushalts.

Letzteres lässt sich einfach mit einer (durchsichtigen) Plastiktüte und einem Gummiring zeigen: Die Plastiktüte wird über die Hand gestreift und mit dem Gummiring am Handgelenk befestigt. Nach ca. 5 Minuten sind feine Wassertröpfchen an der Innenseite der Tüte zu beobachten. Diese werden besonders deutlich, wenn man den warmen Klassenraum verlässt und einen kühleren Ort aufsucht.



Die Verdunstungsrate durch Transpiration lässt sich mit Hilfe eines selbst gebauten Potometers quantitativ bestimmen. Bei der Auswahl der Pflanzensprosse ist darauf zu achten, dass Pflanzen ausgewählt werden, die Blätter haben, über die gut verdunstet wird (große Blattfläche, „zarte“ Oberfläche ohne Härchen oder wachsartige Beschichtungen).

Durch die im Folgenden dargestellten Versuche lassen sich Schätzungen zu Vorgängen in größeren Dimensionen anstellen. Beispiele:

- Bestimmung der Verdunstungsrate eines Teiches in Schulnähe (mathematisches Problem der näherungsweisen Berechnung einer unregelmäßigen Fläche!) oder von Seen mit bekannter Fläche (z. B. Bodensee mit ca. 550 km^2 Fläche).
- Bestimmung der Verdunstungsrate eines Baumes: Die Größe der gesamten Blattfläche eines Baumes kann von den Schülerinnen und Schülern nicht bestimmt werden. Aber es ist sinnvoll, angegebene Zahlen auf ihre Plausibilität hin zu überprüfen. Die „Schutzgemeinschaft Deutscher Wald“ gibt für eine ca. 250 Jahre alte Buche mit einer Höhe von 30–45 m die Blattzahl mit 200.000, die Blattfläche mit 1.200 m^2 und die Verdunstung von bis zu 400 Litern Wasser am Tag (in der Vegetationszeit) an.

[6] Die Untersuchung der Wasserbildung bei Verbrennungsvorgängen wird im Lehrplan nicht explizit aufgeführt. Da es häufig übersehen wird, dass Wasser bei der Verbrennung entsteht, ist es sinnvoll, in einem kleinen Exkurs darauf hinzuweisen. Daher ist ein Experiment zu dieser Themenstellung aufgenommen worden (Versuch 41).

Experimente

V36: Abhängigkeit der Verdunstungsrate einer offenen Wasserfläche von der Temperatur

Material:

Ca. drei gleich große Behälter, Wasser, Thermometer, evtl. Waage

Durchführung:

Die Behälter werden gleich hoch mit Wasser gefüllt und offen 24 Stunden lang an Orten mit verschiedener Temperatur aufgestellt, z. B. im Keller, im Heizraum und bei Zimmertemperatur. Die Temperatur wird jeweils gemessen, evtl. auch das Gewicht der gefüllten Behälter. Nach der festgelegten Zeit wird der Niveauunterschied bzw. die Gewichtsveränderung bestimmt. 1 mm Höhendifferenz bedeutet 1 Liter/m^2.

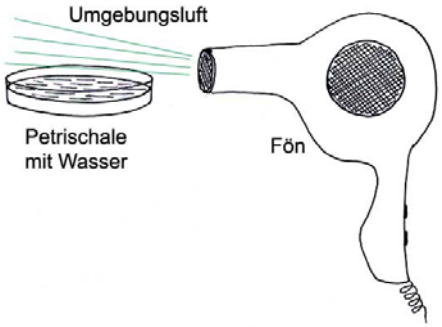
Hinweis:
Durch ein Balkendiagramm können die Verdunstungsraten bei verschiedenen Temperaturen dargestellt werden.

V37: Modellversuch zur Abhängigkeit der Verdunstungsrate von der Windstärke

Material:

2 Petrischalen, Stativmaterial, Fön, Waage

Durchführung:



Die beiden Petrischalen werden einige mm mit Wasser gefüllt und so abgewogen, dass sie das gleiche Gewicht haben. Bei (gleicher) Zimmertemperatur steht eine Schale in einer ruhigen Ecke; über die andere streicht ca. 15 Minuten lang der kalte(!) Luftstrom eines Föns. Mit Hilfe von Stativen sind Petrischale und Fön so anzuordnen, dass die Luft flach über die Schale streift. Nach der Versuchszeit wird das Gewicht der beiden Schalen gemessen.

Hinweis:
Stehen zwei gleichartige Föne mit zwei unterschiedlichen Geschwindigkeiten zur Verfügung, können halbquantitative Messungen durchgeführt werden.

V38: Abhängigkeit der Verdunstungsrate von der Luftfeuchtigkeit

Material:
2 gleich große Schalen, großes geschlossenes Glasgefäß (z. B. Aquarium mit Glasscheibe), Messzylinder

Durchführung:
Die beiden Schalen werden mit gleicher Wassermenge gefüllt (z. B. 100 ml). Eine Schale wird in das große Glasgefäß gestellt, auf dessen Boden sich einige mm hoch

Wasser befindet. Die zweite Schale steht offen daneben. Nach einem oder mehreren Tagen die Wassermenge der Schalen mit dem Messzylinder überprüfen.

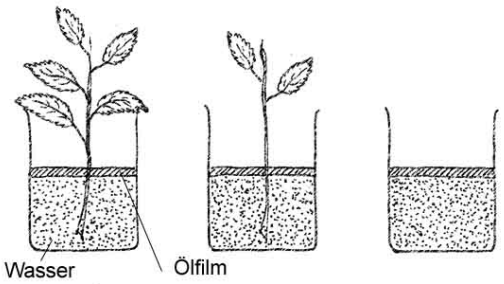
V39: Transpiration von Pflanzen

Material:

Mehrere gleich große Messzylinder, mehrere etwa gleich große belaubte Sprosse von krautigen Pflanzen, Speiseöl

Durchführung:

Mehrere Sprosse der gleichen Pflanze mit verschiedener Anzahl von Blättern werden jeweils in einen mit Wasser gefüllten Zylinder gestellt (gleiches Niveau, z. B. 100 ml). Auf die Wasseroberfläche wird als Verdunstungsschutz eine dünne Schicht von flüssigem Paraffinöl gegeben. Ein Zylinder ohne Pflanze dient der Kontrolle.



Die Zylinder werden an einen relativ warmen Ort (geheizter Raum, Sommersonne) gestellt. Nach festgelegten Intervallen (1 bis 3 Tage) wird die Wasserhöhe notiert.

Hinweise:

1. Soll der Versuch halbquantitativ ausgewertet werden, müssen die Blätter der Sprosse in etwa gleiche Größe haben und in gut vergleichbaren Zahlenverhältnissen zueinander stehen (z. B.: 1, 2, 4, und 8 Blätter).

2. Alternative zum Abschluss mit einem Ölfilm: Sprossachse gut passend durch einen Gummistopfen stecken und diesen fest auf ein passendes schmales Glasgefäß setzen.

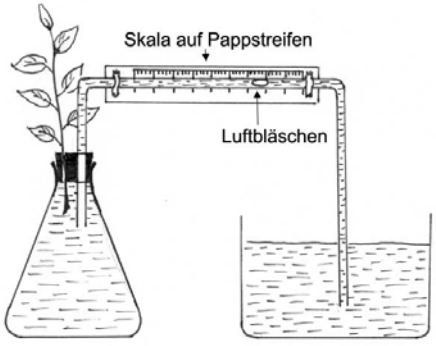
V40: Quantitative Bestimmung der Transpirationsgröße mit Hilfe eines Potometers

Material:

weithalsiger Glaskolben, doppelt durchbohrter Stopfen, u-förmig gebogenes Kapillarröhrchen, Becherglas, Streifen aus Pappe, Vaseline, Spross mit Blättern (s. o.)

Durchführung:

In die eine Öffnung des Stopfens wird das Glasröhrchen eingeführt, durch die andere Öffnung vorsichtig der frisch schräg abgeschnittene Pflanzenstiel durchgeschoben und mit Vaseline gut abgedichtet. Der Stopfen wird dann fest auf den mit Wasser gefüllten Glaskolben gesetzt. Das andere Ende des gefüllten Kapillarröhrchens befindet sich im ebenfalls mit Wasser gefüllten Becherglas. Am waagerechten Teil des Röhrchens wird eine Skala aus heller Pappe angebracht (darüber schieben oder Tesafilm benutzen).



Am Anfang des Vorgangs wird die Kapillarröhre kurze Zeit aus dem Becherglas genommen, damit sich eine Luftblase im Röhrchen bilden kann. Nun wird das Wandern der Luftblase beobachtet.

Hinweise:

1. Halbquantitative Untersuchungen: Weg-Zeit-Protokollierung bei gleicher Pflanze unter verschiedenen Bedingungen.
2. Beispiel für eine quantitative Untersuchung: Messung der Verdunstungsrate für eine bestimmte Blattflächengröße. Dazu muss der Querschnitt der Röhre bestimmt werden. Das Volumen des verdunsteten Wassers in einer bestimmten Zeit ergibt sich aus dem Produkt von Querschnittsfläche und zurückgelegter Wegstrecke.

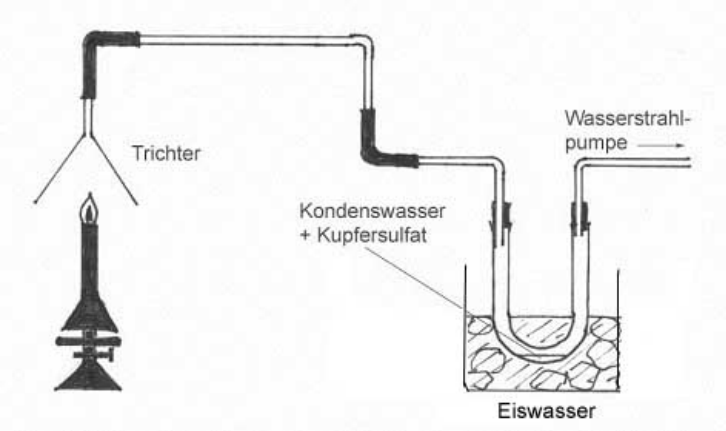
V41: Wasserbildung bei Verbrennungsvorgängen

Material:

Gasbrenner, Trichter, Becherglas, U-Rohr, Glasröhrchen, Schlauchverbindungen, Stopfen, Stativmaterial, Wasserstrahlpumpe, Eis, Nachweisreagenz für Wasser (z. B. $CuSO_4$)

Durchführung:

Die Abgase einer Brennerflamme werden von einem Trichter aufgefangen und mit Hilfe der Wasserstrahlpumpe durch ein U-Rohr geleitet, in dem sich Kupfersulfat befindet. Zur Kondensation des entstehenden Wasserdampfs steht das Rohr in einer Wanne mit Eiswasser.



Hinweis:

Einfache Variante des Versuchs: Wenn kaltes Glas oder ein Metallspiegel über die Flamme (Abgasstrom) gehalten wird, beschlägt der betreffende Gegenstand.

2.5 Anthropogene Einflüsse auf die Zusammensetzung der Luft

2.5.1 Luftverschmutzung durch Verbrennungsvorgänge

Methodisch-didaktische Anmerkungen

Die normale Zusammensetzung des Gasgemisches Luft in der Atmosphäre wird in der Realität mehr oder weniger verändert - kurzfristig und lokal, aber auch langfristig und global. Die Ursachen sind natürlichen und seit dem Beginn der Industrialisierung immer stärker auch anthropogenen Ursprungs. Folgende Schätzungen hat der Fonds der chemischen Industrie im Jahr 1989 veröffentlicht (in Millionen Tonnen/Jahr):

	Weltweite Emission	natürliche Quellen	anthropogene Quellen
Kohlenstoffdioxid	700.000 – 1.000.000	Atmung, biol. Abbau: 370.000 – 520.000 Meer: 300.000 – 450.000	Verbrennung fossiler Brennstoffe, Brandrodung: 20.000 – 30.000
Schwefelverbindungen (gerechnet als SO_2)	290 – 500	Oxidation von S-Verbindungen aus Ozeanen, Sümpfen usw.: 80 – 200 Vulkane: 10 – 20	Verbrennung von Kohle und Erdöl: 160 – 240
Stickstoffoxide (ohne N_2O, gerechnet als NO_2)	70 – 320	Blitze: 7 – 70 Atmosph. Oxidation von Ammoniak: 3 – 30	Verbrennung fossiler Brennstoffe: 40 – 80 Verbrennung von Biomasse: 10 – 80

Diese Einflüsse haben Veränderungen der Lebensbedingungen für Pflanzen, Tiere und Menschen zur Folge. Man darf sich von diesen Zahlen aber nicht täuschen lassen. Das globale Gleichgewicht kann durch vergleichsweise geringe Veränderungen (s. Kohlenstoffdioxid) in Schieflage geraten.

Die anthropogenen Quellen der Luftschadstoffe sind vor allem die Verbrennungsvorgänge in den Bereichen Industrie, Kraftwerke, Verkehr und Privathaushalte.

Bestandsaufnahme der Emissionen in Deutschland für das Jahr 1995:

Verursacher	Kohlenstoffdioxid		Stickstoffoxide		Schwefeldioxid	
	in 1000 t	%	in 1000 t	%	in 1000 t	%
Industrie-prozesse	27.000	2,9	15	0,7	84	4,2
übriger Ver-kehr	18.000	2,0	219	11,1	11	0,6
Straßenver-kehr	165.000	18,2	1024	52,1	69	3,5
Haushalte	129.000	14,3	95	4,8	143	7,2
Klein-verbraucher	59.000	6,5	44	2,2	77	3,9
Industrie-feuerungen	158.000	17,5	244	12,4	342	17,2
Kraft- und Fernheiz-werke	349.000	38,6	326	16,6	1.267	63,5

(Quelle: Umweltbundesamt, 2001)

Gesetzliche Auflagen zur Luftreinhaltung haben dazu geführt, dass Techniken entwickelt wurden, die erheblich zur Luftreinhaltung beitragen, z. B. Abgasreinigungsanlagen in Kraftwerken und Fabriken sowie Katalysatoren in Autos.

Entwicklung der Emissionen einiger Gase in Deutschland von 1990 bis 1999 in 1000 t:

Jahr	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
CO_2	1.014.000	976.000	928.000	918.000	904.000	904.000	925.000	894.000	888.000	859.000
NO_x	2.706	2.493	2.303	2.189	2.038	1.967	1.877	1.781	1.709	1.637
SO_2	5.321	3.996	3.307	2.945	2.473	1.994	1.405	1.127	899	831

(Quelle: Umweltbundesamt, 2001)

Damit sind die Probleme aber keineswegs gelöst. Global bedrohlich sind heute die Zunahme des CO_2 in der Atmosphäre und der Abbau des Ozon-Schutzschildes in der Stratosphäre.

Die Schlagwörter vom Ozonloch, dem Treibhauseffekt oder dem Sauren Regen beruhen oftmals auf wenig Wissen. Wegen ihrer Komplexität sind die Vorgänge in der Klassenstufe 7/8 auf einem vereinfachten Niveau zu vermitteln. Daher werden bewusst nur wenige Aspekte der anthropogenen Beeinflussung der Luft im Unterricht thematisiert:

Beim Thema „Luftverschmutzung durch Verbrennungsvorgänge“ stehen die Stickoxide (NO_x) und das (bodennahe) Ozon im Mittelpunkt der Betrachtung, beim Thema „Auswirkungen der Luftverschmutzung auf das Leben“ das Motorabgasgemisch mit seinen Wirkungen auf den menschlichen Organismus und das Schwefeldioxid (SO_2) mit seinen Auswirkungen vor allem auf Pflanzen. Während in den 80er-Jahren des letzten Jahrhunderts vor allem das Schwefeldioxid als äußerst bedrohlich eingestuft worden war (Waldsterben), ist es heute um diesen Stoff relativ ruhig geworden. Die deutliche Verringerung des SO_2-Gehaltes in der Luft ist vor allem auf schwefelarme Heiz- und Treibstoffe und auf verbesserte Abgasreinigungstechniken zurückzuführen.

Zunehmender „Energiehunger“ und eine rasant steigende Weltbevölkerungszahl relativieren weltweit die Erfolge der verbesserten Techniken und Einsparpotentiale.

Seit etwa 1990 ist weltweit ein anderes Gas als Problem erkannt und dessen Zunahme in der Atmosphäre vielfältig beschrieben worden: das CO_2. Die experimentelle Betrachtung dieses Gases ist in Kapitel 2.3 ausführlich beschrieben worden. Bei der Anordnung der Stoffabfolge können die entsprechenden Abschnitte auch in diesem Kapitel ihren Platz finden.

Stickstoffoxide (NO_x)

Stickstoffoxide (NO, NO_2, N_2O_3, N_2O_4, N_2O_5) entstehen hauptsächlich bei Verbrennungsvorgängen in Kraftwerken und Motoren durch Oxidation von Stickstoff, der sowohl dem Brennstoff als auch der Luft entstammt. Bei der Verbrennung entsteht zunächst Stickstoffoxid, das rasch mit dem atmosphärischen Sauerstoff zu NO_2 reagiert. Auf natürliche Weise entsteht NO_2 durch Blitze, bei deren hohen Temperaturen sich Luftstickstoff und Sauerstoff miteinander verbinden.

Stickstoffmonoxid (NO) ist ein farbloses, erst in höheren Konzentrationen stechend riechendes Gas. Stickstoffdioxid (NO_2) ist ein bräunliches, stechend riechendes Gas.

Während NO in der Luft nie in so hoher Konzentration vorhanden ist, dass es Menschen, Tiere und Pflanzen gefährden könnte, reizt NO_2 bei geringeren Konzentrationen die oberen Atemwege und die Bindehäute der Augen, und bei höheren Konzentrationen kann es zu schweren Lungenerkrankungen (z. B. Asthma) kommen. Auf Pflanzen wirkt NO_2 mit einer Bleichung und vorzeitigen Alterung der Blätter.

Stickstoffoxide tragen in der Atmosphäre zur Bildung von Ozon und damit auch zur Bildung des fotochemischen Smogs („Sommersmog“) bei.

Bis Ende der 70er Jahre nahmen wegen des steigenden Fahrzeugaufkommens und Energieverbrauchs die Stickstoffoxid-Emissionen stetig zu. Seit Mitte der 80er Jahre ist ein Rückgang auf Grund der Einführung technischer Maßnahmen zur Emissionsminderung von Kraftfahrzeugen und Feuerungsanlagen zu verzeichnen. Besonders deutlich wird die Minderung bei den Kraftfahrzeugen: Durch den Dreiwegekatalysator wird der Stickstoffoxid-Anteil der Abgase um über 90 % gesenkt. Insgesamt lagen 1994 die Emissionen um etwa 14 % niedriger als 1970, trotz höheren Energieverbrauchs und höherer Fahrleistung.

Ozon

Ozon ist ein leicht stechend riechendes Gas, dessen Molekül aus drei Sauerstoffatomen besteht (chem. Formel O_3). Es ist schwerer als Luft (2,15 g/l).

Die Bildung von Ozon beruht u. a. auf der durch intensive Sonnenbestrahlung hervorgerufenen Abspaltung eines Sauerstoffatoms vom NO_2-Molekül:

$$NO_2 \xrightarrow{\text{ultraviolette Strahlung}} NO + O$$

Dieses Sauerstoffatom verbindet sich mit dem molekularen Sauerstoff zu Ozon:

$$O_2 + O \longrightarrow O_3$$

In den unteren Schichten der Atmosphäre kommt sog. „bodennahes Ozon“ als Spurengas in natürlicher Weise vor, wird darüber hinaus besonders in den Sommermonaten mit starker Sonneneinstrahlung als Luftschadstoff aus Stickstoffoxiden und anderen Vorläufersubstanzen (Kohlenwasserstoffe, Kohlenmonoxid) gebildet.

In Büroräumen ist oftmals eine überdurchschnittliche Ozonkonzentration festzustellen, die durch Kopierer und Laserdrucker verursacht wird.

Aufgrund seiner starken Oxidationswirkung kann Ozon als Desinfektionsmittel (Trinkwasser, Schwimmbäder) verwendet werden. In hohen Konzentrationen (ab 120 Mikrogramm/m^3) kann es gesundheitsschädigend wirken (Lungenerkrankungen, Atembeschwerden, Schleimhautreizungen, Übelkeit, Schwächung des Immunsystems). Daher wurden Grenzwerte festgelegt. Diese sind auch die Grundlage für die „Sommersmog-Verordnung“: Ab 180 Mikrogramm/m^3 muss die Bevölkerung gewarnt werden, ab 240 Mikrogramm/m^3 werden Verbote für den Kraftfahrzeugverkehr ausgesprochen.

In der Stratosphäre (20-50 km über der Erdoberfläche) reichert sich Ozon an, sodass man von einer Ozonschicht spricht. Diese Schicht absorbiert einen Teil der ultravioletten Strahlung der Sonne. Ohne diese Schutzschicht würde die energiereiche ultraviolette Strahlung in einer solchen Intensität auf die Erdoberfläche treffen, dass organisches Leben kaum möglich wäre. Aber auch schon eine Verdünnung dieser Schicht hat deutliche Auswirkungen auf Pflanze, Tier und Mensch (z. B. Erhöhung des Hautkrebsrisikos).

Anmerkungen zur Durchführung von Experimenten

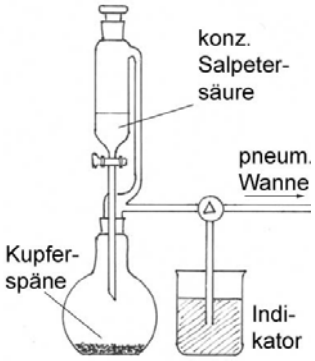
Auch zu diesem Lehrplankapitel ist eine Reihe von Schulversuchen möglich. Wegen der nicht unproblematischen Chemikalien muss hin und wieder auf Schülerversuche verzichtet werden. Statt dessen sind Demonstrationsversuche (der Lehrkraft) und andere schülergemäße Arbeitsverfahren einzuplanen (Literatur- und Internetrecherche, Befragung von Fachleuten, Einholen und Interpretieren von Messwerten usw.). Der Einsatz relativ teurer Messgeräte (z. B. Gasspürgeräte[7] und elektronische Mess-Systeme) wird hier nicht vorausgesetzt.

Stickstoffoxide sind nur für Lehrerexperimente zugelassen, Ozon in nur sehr geringer Konzentration für Schülerexperimente.

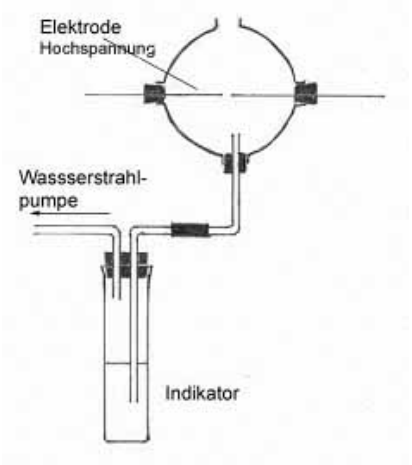
Stickstoffoxide

- **Herstellung:**

Herstellung von Stickstoffoxiden durch die Lehrkraft: Konzentrierte Salpetersäure wird zu Kupferspänen gegeben (Abzug!) und am Anfang vorsichtig erhitzt. Es entsteht zunächst Stickstoffoxid (NO), das bei Anwesenheit von Sauerstoff weiter zu NO_2 reagiert. Die entstehenden Gase werden mit Hilfe der pneumatischen Wanne oder mit dem Kolbenprober aufgefangen. – Ein anderes Verfahren, Stickstoffdioxid herzustellen, ist das Erhitzen von Bleinitrat.



Die oben bereits genannte Reaktion von Stickstoff und Sauerstoff bei Gewittern lässt sich durch einen Modellversuch nachahmen:



Ein Rundkolben mit mindestens drei Ausgängen ist mit Luft (oder mit einer Mischung von gleichen Volumen Sauerstoff und Stickstoff) gefüllt und mit zwei Elektroden versehen. Die Spitzen der beiden Elektroden liegen nur wenige Millimeter auseinander. Eine Spannung von mehreren tausend Volt wird angelegt (Hochspannungstransformator aus der Physiksammlung!). Es entstehen ein Lichtbogen und nach kurzer Zeit braune Dämpfe von Stickstoffdioxid. Über den dritten Ausgang kann das Gas abgesaugt und durch eine Waschflasche mit einer Säure-Indikatorlösung geleitet werden. NO_2 löst sich in Wasser und bildet Salpetrige Säure und Salpetersäure.

[7] Mit einem Gasspürgerät (z. B. der Firma Draeger) lässt sich durch wechselnden Einsatz von spezifischen Teströhrchen der Anteil verschiedener Bestandteile der Luft bestimmen. Eine Anschaffung ist nur dann sinnvoll, wenn dieses Gerät kontinuierlich eingesetzt wird (z. B. von Umwelt-Arbeitsgemeinschaften).

- **Nachweismethoden:**

Stickstoffdioxid und Nitrit können mit dem Saltzmannschen Reagenz nachgewiesen werden. Für dieses Nachweisreagenz gibt es verschiedene Ansatzvorschriften, z. B.: Zu ca. 80 ml destilliertem Wasser werden 0,5 g Sulfanilsäure, 0,01 g 1-Naphthylamin und 5 ml Eisessig gegeben und nach vollständigem Auflösen mit Wasser auf 100 ml aufgefüllt. Die fertige Lösung wird in eine braune Flasche abgefüllt (Lichtschutz!) und hält so einige Wochen lang. Wenn man Filterpapier mit dieser Lösung tränkt und in Streifen schneidet, verfügt man über leicht handhabbare Nachweismittel, die sich in entsprechender Weise ebenfalls einige Zeit lang aufheben lassen und vor dem Einsatz befeuchtet werden.

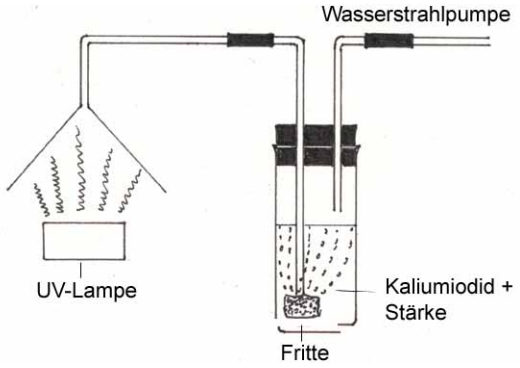
Eine sehr einfache Methode des Nachweises von NO_x sind angefeuchtete Nitrat-Nitrit-Teststäbchen, die auch in anderen Zusammenhängen in der Schule Verwendung finden (z. B. Nitratnachweis in Gemüse und im Trinkwasser).

Ozon

- **Herstellung:**

Ozon kann in der Schule durch Elektrolyse von Schwefelsäure hergestellt werden (s. V40). An der Anode entsteht ein Gemisch von Sauerstoff und einigen Prozentanteilen Ozon. Für kleinere Versuche (V41 – V42) werden jeweils 10-20 ml Gasgemisch gebraucht. Da dieses nicht beständig ist, kann es nicht auf Vorrat angelegt werden. Schlauchverbindungen sollten aus Silikon sein, da Gummi von Ozon angegriffen wird.

Wer über eine UV-Lampe verfügt, kann die unmittelbare Wirkung von UV-Strahlung zeigen. Nach Einschalten der UV-Lampe wird die Luft langsam durch die Lösung gezogen. Nach ca. einer halben Stunde sollte eine deutliche Blaufärbung der Lösung festzustellen sein.



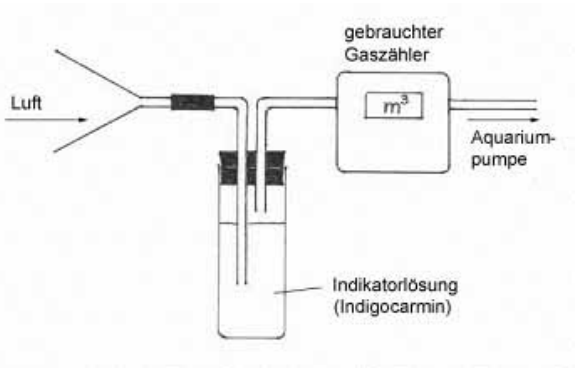
- **Nachweismethoden:**

Wegen seiner bleichenden und oxidierenden Wirkung kann Ozon mit verschiedenen Stoffen (z. B. Kaliumiodid-Stärke, Indigocarmin) nachgewiesen werden. Der Nachweis durch eine Kaliumiodid-Stärke-Lösung ist in der Schule gut durchführbar. Kaliumiodid-Stärke-Papier kann man selbst herstellen (s. V41). Käufliches Papier ist häufig in Chemiesammlungen vorhanden. Im trockenen Zustand färbt es sich bei ozonhaltiger Luft schwach bräunlich, beim angefeuchteten Papier erscheint die deutlichere blau-violette Färbung.

Im Lehrmittelhandel werden Ozonteststreifen angeboten. Das sind Kunststoffstreifen, auf die Kaliumiodid-Stärke-Papierchen geklebt sind. Nach 10 Minuten an der Luft wird die Farbveränderung (von weiß zu braun) mit einer Farbskala verglichen, die in vier Messbereiche eingeteilt ist.

- **Quantitative Bestimmung:**

Neben den qualitativen und halbquantitativen Bestimmungen sind in der Schule auch quantitative Messungen des Ozongehalts möglich: Luft wird so lange durch eine Indikatorlösung geleitet, bis diese entfärbt ist. Die Indikatorlösung wird nach Vorschrift aus Indigocarmin und dest. Wasser hergestellt, die Luftmenge mit Hilfe eines gebrauchten Gaszählers gemessen. Die relativ einfache Berechnung der Ozonkonzentration ist dann möglich (s. PZ-Information 26/00).



- **Weitere Hinweise:**

Vergleichende Messungen an verschiedenen Orten (verkehrsreiche Straße, Park u. a.) und Tageszeiten bringen nur in den Sommermonaten deutlich sichtbare Unterschiede.

Langzeitmessungen von Ozon mit Hilfe eigens aufgezogener Tabakpflanzen (ca. ein halbes Jahr Vorlaufzeit!) sind möglich, bedürfen aber einer sorgfältigen und andauernden Pflege und Beobachtung.

Experimente:

V42: Nachweis von Stickstoffoxiden in einer Kerzenflamme

Material:

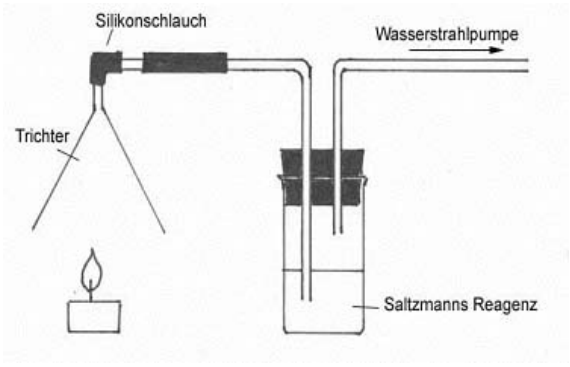
Kolbenprober mit Absperrhahn, 2 Waschflaschen, 1 Trichter (Durchmesser ca. 12 cm), Stativmaterial, (Silikon)schlauch, Wasserstrahlpumpe, Bechergläser, Kerze (Benzin, Heizöl), Saltzmanns Reagenz (Herstellung s. o.)

Durchführung:

a) (Vorversuch 1) Stickstoffoxide - die durch die Reaktion von Kupfer und Salpetersäure, beim Erhitzen von $Pb(NO_3)_2$ oder bei Erzeugung eines Lichtbogens entstehen - werden in Saltzmanns Reagenz eingeleitet. Farbreaktion!

b) (Vorversuch 2) In einem Kolbenprober werden 10 ml Saltzmann-Reagenz angesaugt und das Restvolumen mit Luft gefüllt. Der Kolbenprober wird intensiv geschüttelt. Farbreaktion?

c) Der Trichter wird so am Stativ befestigt, dass sich die Öffnung einige cm über der Kerzenflamme befindet. Das Trichterende wird mit dem Schlauch an die Gaswaschflasche angeschlossen, diese mit der anderen Öffnung an der Wasserstrahlpumpe. Die Waschflasche ist mit dem Saltzmannschen Reagenz gefüllt. Die Abgase der Kerze werden langsam durch die Waschflasche gezogen. Nach einiger Zeit ist die charakteristische Rotfärbung der Lösung zu erkennen.



Hinweis:

Abgase farbiger Kerzen haben einen höheren Stickstoff(di)oxidanteil, weil die hier verwendeten Farben oft gebundenen Stickstoff enthalten.

V43: Nachweis von Stickstoffdioxid in Motorabgasen

Material:

Plastikbeutel mit Motorabgas (kalter Motor!), Kolbenprober mit Absperrhahn, Reagenzglas (Petrischale), (Natrium)-Nitrit, Saltzmann-Reagenz

Durchführung:

In einem Kolbenprober werden 10 ml Saltzmann-Reagenz angesaugt, danach aus der Plastiktüte mit Abgas aufgefüllt. Der Kolbenprober wird dann etwa eine Minute lang geschüttelt. Farbreaktion?

Hinweise:

1. Die Untersuchung und der Vergleich von Abgasen verschiedener Motorfahrzeuge (Benzinmotor mit Katalysator, Dieselmotor, Zweitaktmotor eines Mofas) bringt interessante Ergebnisse: So ist der Ausstoß von Stickoxiden des Mofas deutlich höher als der eines PKW mit geregeltem Katalysator. Bei Letzterem machen entsprechende Untersuchungen bei kaltem und warmem Motor deutlich, dass die Wirkungen des Katalysators nur bei warmgelaufenem Motor erfolgen.

2. Stickoxide im Abgas lassen sich auch durch Nitrat-Nitrit-Teststäbchen nachweisen. Diese werden so geknickt, dass sich die Testfelder (mit dest. Wasser angefeuchtet) im Auspuffrohr befinden, während das freie Ende außen mit Klebstreifen befestigt werden kann. Der Motor sollte jeweils etwa eine Minute lang laufen.

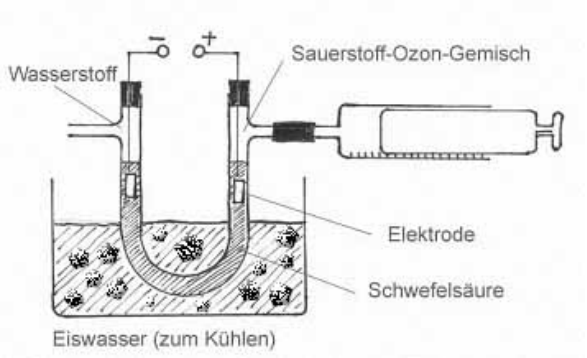
V44: Herstellung von Ozon

Material:

U-Rohr mit 2 Abgängen (oder Hofmannscher Zersetzungsapparat), Platinelektroden, Transformator, Silikonschläuche, Kolbenprober, Glaswanne, Stativmaterial, Eiswasser, Schwefelsäure (ca. 20 %)

Durchführung:

Das U-Rohr wird mit Schwefelsäure beschickt. Der Vorgang wird bei 10–15 Volt im Abzug durchgeführt. An der Anode bildet sich ein Sauerstoff-Ozon-Gemisch, an der Kathode Wasserstoff. Das Anodengas wird mit einem Kolbenprober entnommen.



Hinweise:

a) Wegen des Umgangs mit Schwefelsäure ist dies ein Versuch, der von der Lehrkraft durchgeführt wird. Das ozonhaltige Gasgemisch kann mit Hilfe von Kolbenprobern den Schülergruppen zur Verfügung gestellt werden.

b) Das U-Rohr hat gegenüber dem Zersetzungsapparat nach Hofmann einige Vorteile: Es ist wenig Säure nötig, diese ist leicht einzufüllen und später leicht zu entleeren, und die Kühlung ist einfacher. Da die Öffnungen nach oben weisen, kann auch die Säure bei undichten Verschlüssen nicht auslaufen. – Es gibt aber auch Nachteile: Es ist kein Ausgleichgefäß vorhanden, so dass man immer kontrollieren und das Anodengas laufend mit dem Kolbenprober herausziehen muss (Säure fließt sonst aus dem offenen Ausgang am Minuspol aus!).

c) Durch Kühlung der Schwefelsäure wird eine höhere Ausbeute an Ozon erreicht, da Ozon bei höheren Temperaturen schneller zerfällt.

V45: Qualitativer Nachweis von Ozon mit Hilfe von Kaliumiodid und Stärke

Material:

Ozonhaltiges Anodengas im Kolbenprober, Becherglas, 2 Waschflaschen mit Silikonschlauch, Kaliumiodid-Lösung (1 %), Stärkelösung (5 %); zusätzlich Petrischalen, Rundfilter

Durchführung:

a) In 100 ml dest. Wasser werden 5 g lösliche Stärke aufgekocht. Kaliumiodid- und Stärkelösung werden im Verhältnis 5:1 gemischt. Zwei Waschflaschen werden mit dieser Mischung beschickt. Durch eine Waschflasche wird Anodengas geleitet, durch die andere zur Kontrolle reiner Sauerstoff. Die Lösung wird durch Ozon blau bis dunkelblau gefärbt.

b) Mit Kaliumiodid-Stärke-Lösung getränktes Filterpapier wird in Petrischalen getrocknet und dann an verschiedenen Orten ca. 10 bis 15 Minuten (je nach erwarteten Werten evtl. auch länger) der Außenluft ausgesetzt. Das Filterpapier nimmt je nach Ozongehalt einen mehr oder weniger starken Braunton(!) - bei feuchtem Papier entsprechend einen Blauton(!) - an.

V46: Schädigende Wirkungen des Ozons

Material:

Ozon, Kolbenprober, verschließbares Glas, a) Luftballon, b) mit Indigo gefärbter Stoff, c) grüne Blätter einer Pflanze (z. B. Geranie)

Durchführung:

a) Das Anodengasgemisch wird mit dem Kolbenprober aus ca. 10 cm Entfernung auf eine Stelle des prall gefüllten Luftballons geleitet. Die begaste Stelle wird weiß und spröde; schließlich platzt der Ballon (notfalls durch Reiben an der weißen Stelle etwas nachhelfen!).
b) Das Gasgemisch wird auf ein Stück Jeans-Stoff geleitet. An der begasten Stelle wird der Stoff heller.

c) Frische grüne Blätter werden in ein Glas gelegt. In das Glas wird ozonhaltiges Luftgemisch geleitet und dieses fest verschlossen. Die Blätter bleichen aus. Ein Kontrollversuch mit ozonfreier Luft verdeutlicht den Effekt.

Hinweis:

zu c) Abwandlung: Kressepflänzchen in Petrischalen werden in luftdicht abgeschlossene Glasbehälter gebracht.

2.5.2 Auswirkungen der Luftverschmutzung auf das Leben

Methodisch-didaktische Anmerkungen

Hohe Konzentrationen von Gasen, die bei Verbrennungsvorgängen gebildet werden, wirken schädigend auf Organismen. So können sie beim Menschen Reizhusten, Asthma und andere Luftwegerkrankungen verursachen, im Boden durch den Eintrag von Säuren Bodenfauna und –flora schädigen und schließlich Bäume bis hin zum Absterben schädigen.

- **Schwefeldioxid (SO_2)**

Neben den bereits genannten Stoffen (Ozon und Stickstoffoxide) ist noch das Schwefeldioxid zu nennen, obwohl es heute nicht mehr so im Blickpunkt steht wie in den Achtziger-Jahren des letzten Jahrhunderts (Stichworte „Saurer Regen“, „Waldsterben“).

Das sich in der Luft befindliche SO_2 entsteht hauptsächlich durch die Verbrennung von schwefelhaltiger Kohle (1 - 4 % Anteil) und Erdölprodukten (Diesel-Kraftstoff, Heizöl). Seit den 80er-Jahren nimmt die SO_2-Konzentration in der Luft ständig ab. Ursache hierfür sind die Verminderung der Schwefelgehalte in den Brennstoffen (rückläufiger Einsatz von schwerem Heizöl, Verminderung des Schwefelgehaltes in leichtem Heizöl, Ersatz fester Brennstoffe durch flüssige und gasförmige Energieträger) und die Entwicklung von Abgasentschwefelungsanlagen an Großfeuerungsanlagen. 1994 lagen z. B. in den „alten“ Bundesländern die Emissionen um 76 % unter dem Niveau des Jahres 1970.

SO_2 ist ein farbloses, stechend riechendes Gas, das beim Menschen Hustenreiz und Tränenfluss auslöst und schon in geringster Konzentration (0,2 ppm) Pflanzenschä-

den hervorruft. Problematisch für die Wälder ist das Gas allerdings dadurch, dass es sich mit der Luftfeuchtigkeit zu schwefliger Säure (H_2SO_3) verbindet. Ergänzt durch Anteile von salpetriger Säure (entsprechend aus NO_2 entstanden), weist der herabfallende Regen einen pH-Wert auf, der deutlich im sauren Bereich liegt. Der in den Boden einsickernde Regen schädigt Bäume vor allem im Feinwurzelbereich. Eine Neutralisierung des Waldbodens durch großflächige Kalkungen hat mitgeholfen, dass die stetige Zunahme der Waldschädigungen eingedämmt werden konnte.

Anmerkungen zum experimentellen Arbeiten

Schwefeldioxid lässt sich im Schülerversuch durch Verbrennung von Schwefelpulver in einem Verbrennungslöffel oder Porzellanschälchen leicht herstellen. Noch einfacher ist die Verwendung von Schwefelspänen, die die Winzer benutzen: ein Stück abtrennen, dann mit der Pinzette in die offene Flamme halten. Ansonsten wird SO_2 durch Zugabe von Säuren zu Natriumsulfit oder Natriumhydrogensulfit erzeugt.

Auch der Nachweis von Schwefeldioxid ist mit einfachen Mitteln möglich. SO_2 bzw. das zu untersuchende Gasgemisch wird mit Hilfe einer Wasserstrahlpumpe durch eine Gaswaschflasche mit Indikatorlösung geleitet. Als Indikator eignen sich:

- Wasser und Universalindikator → Rotfärbung (Säure!)
- Fuchsinlösung → Entfärbung
- blaue Tinte (aus einer Füllerpatrone 1 – 2 Tropfen mit 100 ml Wasser mischen) → Entfärbung
- Iod-Kaliumiodid-Stärke-Lösung → Entfärbung

Die quantitative Bestimmung von SO_2 kann mit der zuletzt genannten Lösung in ähnlicher Weise wie die NO_2-Bestimmung durchgeführt werden (s. Vorbemerkungen zu 2.4.1).

Für Schnelltestverfahren lassen sich auf einfachem Weg selbst Teststreifen herstellen. Die Streifen werden aus Filterpapier zugeschnitten und in Iod-Kaliumiodid-Stärke-Lösung getränkt. Diese blau gefärbten Streifen werden in das zu untersuchende Gas(gemisch) gehalten. Eine Bleichung deutet auf SO_2 hin.

Experimente

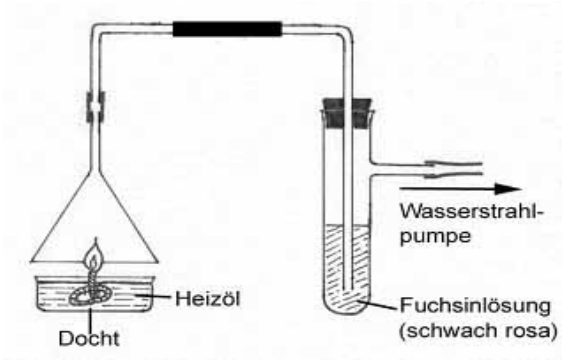
V47: Nachweis von Schwefeldioxid beim Verbrennen von Heizöl

Material:

Porzellantiegel, Docht, Stativmaterial, gewinkelte Glasröhrchen, Reagenzglas mit Ausgang (bzw. Gaswaschflasche), Wasserstrahlpumpe, Heizöl, Fuchsinlösung

Durchführung:

Heizöl wird mit Hilfe eines Dochtes verbrannt. Die entstehenden Gase werden durch einen Trichter aufgefangen und mit Hilfe einer Wasserstrahlpumpe durch Glaswolle und dann durch eine Fuchsinlösung geleitet. Die Indikatorlösung wird entfärbt.



Hinweis:

Zum Vergleich können auch Benzin, Rohöl und Kohle verbrannt werden.

Benzin ist entschwefelt, zeigt daher keine Reaktion, ebenso wie Erdgas. Rohöl und Kohle enthalten relativ geringe Schwefelanteile.

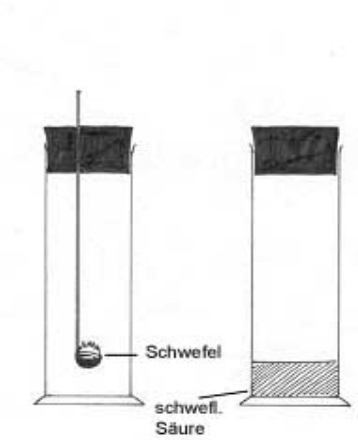
V48: Modellversuch: Saurer Regen und Neutralisation durch Kalkung

Material:

Stehkolben oder Standzylinder, Verbrennungslöffel, Stopfen, Schwefel, Kalk (Calciumcarbonat) oder Calciumhydroxid-Suspension, Universalindikator

Durchführung:

a) Man präpariert einen Stopfen, indem man ein dünnes Loch bohrt, durch das man den Stiel eines Verbrennungslöffels schieben kann. Dann gibt man in den Löffel eine sehr geringe Menge Schwefel (oder ein Stückchen eines Schwefelspans), entzündet diesen und führt den Löffel sofort in einen Stehkolben ein. Nach Beendigung der Reaktion entfernt man den Löffel, verschließt nach Zugabe von destilliertem Wasser wieder und schüttelt um. Dann wird die entstandene Lösung mit Hilfe von Universalindikatorpapier geprüft.



b) Dann wird eine Löffelspitze $CaCO_3$ verrührt und wieder mit dem Indikatorpapier überprüft.

Hinweis:

Den Versuch bei offenen Fenstern durchführen!

V49: Wirkung von Motorabgasen auf das Wachstum von Gartenkresse

Material:

Kressesamen, mindestens 2 Petrischalen und 2 durchsichtige Plastiktüten, Filterpapier, Nähgarn

Durchführung:

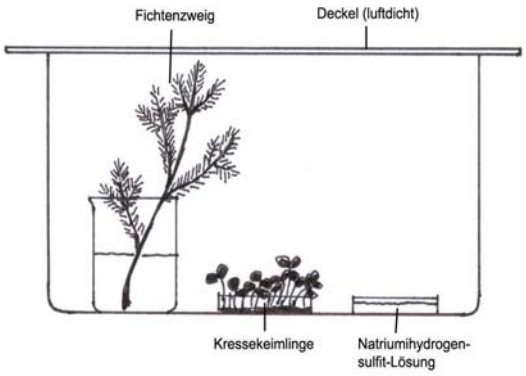
Man kleidet die Petrischalen mit gut angefeuchtetem Filterpapier aus und legt je 20 Kressesamen darauf. Nach ca. 24 Stunden stellt man die Schalen in je eine Plastiktüte, bindet eine davon fest zu (Luftatmosphäre als Kontrollversuch). - Die in Motorabgasen enthaltenen Stoffe verursachen deutliche Wachstumsstörungen.

V50: Schädliche Wirkung von Schwefeldioxid auf Fichtenzweige und auf das Wachstum von Keimlingen

Materialien:

Zwei gleichaltrige Fichtenzweige, Kressesamen, 2 luftdicht verschließbare Glaswannen, 3 größere Petrischalen, 2 kleine Bechergläser, 60 ml 1%ige Natriumhydrogensulfitlösung, pH-Indikatorpapier, Leitungswasser

Durchführung:



In die Glaswannen stellt man je ein Becherglas mit Wasser und einem Fichtenzweig. Man kleidet 2 Petrischalen mit Filterpapier aus, feuchtet dieses gut an, legt pro Schale ca. 20 Kressesamen darauf und platziert die Gefäße neben die Zweige. In einen der Glasbehälter stellt man eine mit Natriumhydrogensulfitlösung gefüllte Petrischale, in den anderen (Kontrollversuch) eine, die nur Wasser enthält. Beide Gefäße werden luftdicht verschlossen und einige Tage an einem hellen, nicht zu warmen Ort beobachtet.

Nach diesem Zeitraum prüft man das Wasser, in das die Zweige eingetaucht sind, auf Säure.

Hinweise:

1. Falls man keine geeigneten Deckel für große Wannen hat, können diese auch umgekehrt auf eine Unterlage gestellt und abgedichtet werden. Statt großer Glaswannen können auch Exsikkatoren oder größere Gläser mit Schraubdeckel bzw. Gummiabdichtungen (Einmachgläser) verwendet werden.

2. Für Vergleichsversuche mit verschiedenen SO_2-Konzentrationen stellt man verschiedene Verdünnungen der Natriumhydrogensulfitlösung her. Im Gasraum über der Flüssigkeit ergeben sich etwa folgende Konzentrationen:

0,1 %-ige	$NaHSO_3$-Lösung	→	50	ppm SO_2	=	140.000	$\mu g/m^3$ SO_2
1 %-ige	$NaHSO_3$-Lösung	→	500	ppm SO_2	=	1.400.000	$\mu g/m^3$ SO_2
5 %-ige	$NaHSO_3$-Lösung	→	2500	ppm SO_2	=	7.000.000	$\mu g/m^3$ SO_2

3. Bei der Interpretation der Ergebnisse dieser (Modell-)Versuche muss unbedingt darauf hingewiesen werden, dass in der Realität die SO_2-Konzentrationen in der Luft deutlich geringer sind.

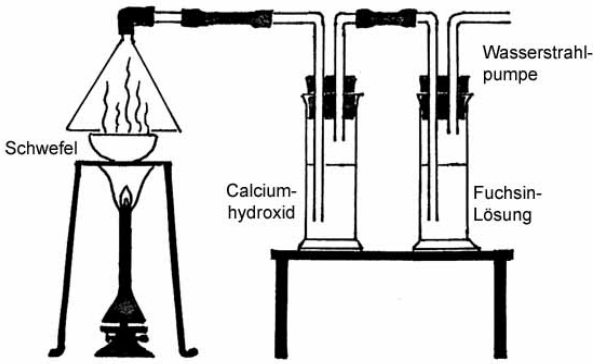
V51: Modellversuch zur Abgasentschwefelung

Material:

Brenner, Abdampfschale, Trichter, 2 Gaswaschflaschen, Wasserstrahlpumpe, Glas- und Schlauchverbindungen; Schwefel, Fuchsin-Lösung, $Ca(OH)_2$

Durchführung:

a) In einer Abdampfschale wird Schwefel unter einem Trichter entzündet. Das entstehende Gas (SO_2) wird mit Hilfe der Wasserstrahlpumpe durch eine angeschlossene, mit Fuchsin gefüllte Gaswaschflasche geleitet. Entfärbung!



b) Nun werden zwei Gaswaschflaschen hintereinander mit dem Trichter verbunden. Die erste Flasche wird mit einer Calciumhydroxid-Suspension (CaO + Wasser) gefüllt, die andere mit Fuchsin-Lösung.

In der ersten Flasche reagiert SO_2 zunächst zu löslichem $CaSO_3$, dann mit dem Sauerstoff der Luft zu schwerlöslichem $CaSO_4$ (Gips). Die Fuchsin-Lösung in der zweiten Flasche zeigt keine (bzw. eine stark zeitverzögerte) Reaktion.

Hinweise:

1. Um die Oxidation zum schwer löslichen Gips ($CaSO_4$) besser zu demonstrieren, gibt man der Aufschlämmung etwas Wasserstoffperoxid (H_2O_2) zu.

2. Abgase können auch dadurch entschwefelt werden, dass sie über Aktivkohle geleitet werden.

3 Literatur- und Internethinweise

Literatur:

ALLABY, Michael: Spannendes Wissen über Klima und Wetter, Christian Verlag, München 2000

BAYRHUBER, Horst/LUCIUS, Eckhard R. (Hg.): Handbuch der praktischen Mikrobiologie und Biotechnik, Band 1, Mikrobiologische Grundlagen Biotechnik der Nahrungs- und Genussmittelproduktion, Metzler Schulbuchverlag, Hannover, 1992

DRUTJONS, Peter: Der Treibhauseffekt, aus: Unterricht Biologie, Zeitschrift für alle Schulstufen, Heft 162, Februar 1991, Gefährdung der Biosphäre, Fachzeitschriften bei Friedrich in Velbert in Zusammenarbeit mit Klett, S. 39

FABIAN, P: Kohlenstoffdioxid und andere Treibhausgase: Luftverschmutzung und ihre Klimawirksamkeit, aus: Praxis der Naturwissenschaften Chemie, Heft 2/45, März 1996, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1996, S. 2

HAUPT, Peter (Hg.): Praktikum Experimentelle Schulchemie Sek. I, Verlag Didaktisches Zentrum Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg 2000

HÄUSLER, Karl; RAMPF, Heribert; REICHELT, Roland: Experimente für den Chemieunterricht mit einer Einführung in die Labortechnik, Oldenburg Verlag GmbH, München, 1991

HAUSCHILD, Günter, HARTMANN, Annett: Luft, Arbeitsheft für den fachübergreifenden Lernbereich „Naturwissenschaften“, 1. Auflage, Paetec Verlag für Bildung und Technik mbH, Berlin, 1995

HOVERATH, Helmut: Versuche zum Treibhauseffekt, Absorption von Wärmestrahlung durch Glas und durch verschiedene Gase, aus: MNU, Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, Heft 1, Januar 1997, Dümmler Verlag, Bonn, S. 29

HUHN, Bernd: 1. Physikalische Experimente zum Treibhauseffekt, 2. Der Kohlenstoffkreislauf der Erde, Darstellungen für den Unterricht in der Sekundarstufe I, BLK-Modellversuch Energienutzung und Klima, Hg.: Landesinstitut Schleswig-Holstein für Praxis und Theorie der Schule (IPTS), Kronshagen, 1995

HUHN, Bernd: Experimente zum Treibhauseffekt, aus: Praxis der Naturwissenschaften Physik, Heft 6/43, 1. September 1994, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, S. 26

Lehrplan Wahlpflichtfach Mathematik-Naturwissenschaften (Klassen 7 und 8) Realschule, Mainz, 1999, S. 8

MELENK, Hartmut und Runge, Udo: Verblüffende physikalische Experimente, 2. Auflage, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1991

PFEIFER, Peter/PFEIFER, Gustav: Unterricht Chemie, Band 6: Luft, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1995

PZ-Information 2/94: Umweltrelevante Versuche für den Chemieunterricht in der Sekundarstufe I (vergriffen)

PZ-Information 26/00: Umwelterziehung Sekundarstufe I und II, Chemische Untersuchungsmethoden, Materialien zur Umweltanalytik für einen schulart- und fächerübergreifenden Unterricht

Physik für Realschulen, Natur und Technik, 1. Auflage, Cornelsen Verlag, Berlin, 1996

RAUM, Bernd; SCHMIDT, Gerd-Dietrich (Hg.): Luft, Natur – Mensch – Technik, Lehrbuch für den Lernbereich Naturwissenschaften, 1. Auflage, Paetec Verlag für Bildung und Technik mbH, Berlin, 2000

REICH, Hans: Praxis Schriftenreihe, Biologie, Band 14, Pflanzenphysiologische Schulversuche, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1974

SINGER, Erich; SCHWALD, Dieter: Ökologie – Themenheft II, Untersuchung von Erde und Luft, Lehrmittelverlag Prof. Dr. Maey, Bonn, 1983

WILD, Aloysius: Pflanzenphysiologische Versuche in der Schule, Biologische Arbeitsbücher Quelle & Meyer Verlag, Wiebelsheim, 1999

ZEIER, Ernst: Physikalische Freihandversuche – Kleine Experimente, Unterrichtshilfen Naturwissenschaften Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1986

Internetadressen:

Arbeitsgruppe Didaktik der Chemie II ("DC2") um Prof. Dr. R. Blume, Fakultät für Chemie der Universität Bielefeld: Lehrmaterialien
http://www.chemieunterricht.de/
(eine umfangreiche Sammlung von Experimenten)

Demuth, Reinhard: Chemie und Umweltbelastung
http://www.chemievorlesung.uni-kiel.de/1992_umweltbelastung/

Fakultät für Chemie, DC2, Universität Bielefeld: Unfallgefahr als Thema im Unterricht
http://www.chemieunterricht.de/

Geuther, Annette: Dicke Luft und saurer Regen
http://www.uni-giessen.de/~ge1016/publikation/geuther/luft/luft1.html

Haupt, Peter (Universität Oldenburg, Fachdidaktik Chemie); Möllencamp, Hartwig (Albert-Einstein-Gymnasium, Schwalbach):
http://www.chemieexperimente.de

Morgenstern, Klaus/Blume, Bernd: Experimente und Modellversuche zum Thema „Klima und Klimaproblematik“
http://www.igfsek2.de/klima/vers1.htm

Parchmann, Ilka u. a: Behandlung des Themas Ozon im Chemieunterricht mit Hilfe anschaulicher Experimente, in PlusLucis, Heft 1/97
http://pluslucis.univie.ac.at/PlusLucis/971/ozon.pdf

Stachelscheid, Karin/Kummer, Thomas: Versuche zur Atmosphärenproblematik
http://www.uni-essen.de/chemiedidaktik/DigitVero/Atmo/Versuche.html

Umweltbundesamt: Aktuelle Daten und Fakten zur Luftbelastung (Datenbank mit Suchfunktion)
www.umweltbundesamt.de

Wedekind, Frank: Die Online-Seite zur "Soester-Liste" www.gefahrstoffdaten.de

http://www.greenpeace4kids.de/fun/experimente/

http://www.wdr.de/tv/wissen-macht-ah/archiv/experiment/

http://www.bmu.de/kinder/kreativ/experimente/experimente.htm

http://lbs.hh.schule.de/welcome.phtml?unten=/klima/infothek.htm

http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/faecher/physik/experimente.html