Eidgenössische
Technische Hochschule
Zürich
Institut für Verhaltenswissenschaft
Geographisches Institut

»Na endlich, die Regierung unternimmt was gegen den sauren Regen!«

Luftverschmutzung

Ein Leitprogramm für den Geographieunterricht

(Schülerheft)

Herausgegeben von S. Reinfried und J. Roth

ETH-Leitprogramm Luftverschmutzung

Version Juli 1995

Schulbereich, Stufe
Gymnasium, 11. - 13. Schuljahr

Fachliche Vorkenntnisse
Symbole der chemischen Elemente, chemische Formeln, chemische Gleichungen, pH-Wert, Säure-Basen-Reaktionen

Bearbeitungsdauer
ca. 9 Lektionen

Autoren

Stefan Casanova
Andres Fischer
Christoph Marty
Christian Maurer
Martin Rohmann
Sylvia Zesiger

Textverarbeitung und Layout

Thomas Stucki, Marc Wüest

Titelbild

H. Haitzinger: Globetrottel 1991, Bruckmann München.

Bezugsquelle
Dr. Sibylle Reinfried
Flühgasse 33
8008 Zürich
Telefon 01 - 382 27 87
Telefax 01 - 383 17 02

Die *ETH-Leitprogramme* sind ein Gemeinschaftsprojekt von Karl Frey und Angela Frey-Eiling (Initiatoren), Walter Caprez (Chemie), Hanspeter Dreyer (Physik), Werner Hartmann (Informatik), Urs Kirchgraber (Mathematik), Hansmartin Ryser (Biologie), Sibylle Reinfried und Jörg Roth (Geographie), zusammen mit den Autorinnen und Autoren.

Dieses Projekt wurde durch die ETH Zürich finanziell unterstützt.

Diese Vorlage darf für den Gebrauch im Unterricht nach Belieben kopiert werden. Nicht erlaubt ist die kommerzielle Verbreitung.

Inhaltsverzeichnis

Grundlagen 7
1.1. Aufbau der Erdatmosphäre 8
1.2. Der Treibhauseffekt 11
1.3. Vom Stoff zum Schadstoff 14
1.4. Zusammenfassung 17
Einige primäre Schadstoffe 19
2.1. Primärschadstoffe und ihre Quellen 20
2.1.1. Kohlendioxid (CO2) und Kohlenmonoxid (CO) 20
2.1.2. Stickoxide (NOx) 22
2.1.3. Schwefeldioxid (SO2) 24
2.1.4. Organische Verbindungen: VOC, FCKW, Methan 25
2.2. Die Auswirkungen der Primärschadstoffe 27
2.2.1 Kohlendioxid (CO2) und Kohlenmonoxid (CO) 27
2.2.2. Stickoxide (NOx) 27
2.2.4 Organische Verbindungen: VOC, FCKW, Methan 29
2.3. Übersicht und Zusammenfassung 30
Sekundäre Schadstoffe 32
3.1. Saurer Nebel / Regen 32
3.1.1. Entstehung 32
3.1.2. Transport und Deposition 34
3.1.3. Folgen und Auswirkungen des sauren Regens 35
3.2. Smog 38
3.2.1. Wintersmog 38
3.2.2. Troposphärisches Ozon - Sommersmog 38
3.2.3. Stratosphärisches Ozon und das Ozonloch 41
3.3. Zusammenfassung 43
Kapitel 4 46
Quantitative Aspekte der Luftverschmutzung 46
4.1. Globale Luftverschmutzung - Die Treibhausproblematik 47
4.1.1. Charakteristika und Trends der klimawirksamen Spurengase 47
4.2. Lokal-regionale Luftverschmutzung - Die Lage in der Schweiz 53
4.2.1. Schadstoff-Emissionen 53
4.2.2. Immissionssituation 55
Kapitel 5 59

Massnahmen gegen die Luftverschmutzung 59
5.1.2. Das Umweltschutzgesetz 61
5.1.3. Die Luftreinhalteverordnung 64
5.2. Massnahmen 65
5.3. Was kann ich gegen die Luftverschmutzung tun? 68

Schlusswort 73

Lösungen 74
Kapitel 1. 74
Kapitel 2. 76
Kapitel 3. 78
Kapitel 4. 80
Kapitel 5. 83

Einführung

Treibhauseffekt, Ozonloch, Waldsterben, Smogalarm u.s.w.

Schlagwörter, die Du sicher schon mehrmals gehört oder gelesen hast! Alle diese Begriffe haben einen gemeinsamen Nenner - die zunehmende Luftverschmutzung. Und genau das ist das Thema dieses Leitprogramms, das vor Dir liegt.

Wir tun es 26'000 Mal am Tag - Einatmen. "Wir atmen unsere eigene Abluft!" Luft ist überlebenswichtig. Nicht nur zum Atmen; Luft ist auch ein Schutzschild gegen schädliche Strahlen aus dem All und sorgt für angenehme Temperaturen auf der Erde. Die Zukunft von Mensch und Umwelt hängt davon ab, wie wir mit ihr umgehen. Doch seit einigen Jahren bedrohen Smog, verstärkter Treibhauseffekt und ”Ozonloch” die Lebensgrundlage "Luft".

Die Luft geht uns alle an, schliesslich sind wir darauf angewiesen wie die Fische auf das Wasser. Zunehmende Allergien, asthmatische Krankheiten bei Kindern, tränende Augen im Sommer, zerbröckelnde Kunstdenkmäler u.s.w. zeigen, dass es um die Qualität unserer Luft nicht zum besten steht.

Seit dem Beginn der Industrialisierung anfangs des letzten Jahrhunderts, verändern wir die Zusammensetzung unserer Luft. Da die Luftverschmutzung in Wechselbeziehung zum Klima steht, und wir nur eine einzige Atmosphäre zur Verfügung haben, spricht man schon längst von einem globalen Problem.

Gründe genug, um sich mit dem weitläufigen Thema Luftverschmutzung auseinanderzusetzen. Nach dem Durcharbeiten dieses Leitprogrammes kennst Du die wichtigste Schadstoffe. Du kannst die oben erwähnten Schlagwörter und die damit verbundenen Vorgänge einem Laien erklären.

Vom ersten Kapitel "Aufbau der Erdatmosphäre" bis zum Schluss "Massnahmen gegen die Luftverschmutzung" wirst Du schrittweise ins Thema eingeführt und mit klaren Anweisungen durch den Stoff begleitet. Die Arbeitsgeschwindigkeit kannst Du dabei selber bestimmen, da Du ja bei der Bearbeitung des Leitprogrammes Dein eigener Chef bist. Am Ende jedes Kapitels findest Du Testfragen, mit denen Du Deinen Wissensstand überprüfen kannst. Die Lösungen zu den Testfragen befinden sich am Schluss des Leitprogrammes.

Zur besseren Unterscheidung der einzelnen Abschnitte haben wir Symbole mit folgenden Bedeutungen eingeführt:

Übersicht:
In diesem Abschnitt wird der Inhalt des Kapitels geschildert.

Lernstoff:
Hier stehen die Kernaussagen: Das heisst: Aufmerksam durchlesen!

Übungsaufgabe:
Sie gibt Dir die Möglichkeit mit dem Stoff zu arbeiten, zu üben.

Lernkontrolle:
Mit der Lernkontrolle überprüfst Du, wie gut Du den Stoff verstanden hast. Falls Du die Aufgaben problemlos lösen kannst, sitzt das entsprechende Kapitel und Du kannst Dich beim Lehrer zum Kapiteltest melden.

Lösungen:
Sie dienen Dir zur selbständigen Kontrolle Deiner Lösungen zu Übungs- und Lernkontrollen. Du findest diese direkt anschliessend an eine Aufgabe oder (i.R.) am Schluss des Leitprogrammes.

Hilfsmittel:
Für die Lösung einer Aufgabe brauchst du zusätzliche Hilfsmittel.

Mediothek:
In der Mediothek stehen Arbeitsmittel für Dich bereit.

Kapitel 1.

Grundlagen

Wie schon in der Einführung erläutert, ist die Luft lebenswichtig für Mensch, Tier und Pflanzen. Mit jedem Atemzug erleben wir dies: Ohne Luft kein Leben.
Als hauchdünner Schleier umgibt die **Atmosphäre** unsere Erde. Dünn und verletzlich wie eine Tomatenschale sorgt sie dafür, dass die Erde nicht wie andere Planeten zur Kältewüste wird. Um die Erdkugel hat sich im Laufe von Jahrmillionen eine etwa hundert Kilometer dicke Lufthülle gebildet. Diese Lufthülle wird mehr und mehr durch die Luftverschmutzung beeinträchtigt. Dieses Kapitel soll Dir die Grundlagen liefern, um die Zusammenhänge und die Zustände in der Atmosphäre zu verstehen.

Der Ablauf dieses **Kapitels** sieht folgendermassen aus :

1) Zuerst wird die **Zusammensetzung der Luft** erklärt. In einem weiteren Schritt wird der **Aufbau der Erdatmosphäre** beschrieben.

2) Der **Treibhauseffekt** hat einen grossen Einfluss auf das Klima. Änderungen des Treibhausklimas können massive Folgen haben. Dies wird im zweiten Teil des Kapitels erläutert.

3) Einige **Begriffe,** die zum Verständnis der Luftbelastung wichtig sind, werden erklärt.

Soweit die Übersicht. Bei der Bearbeitung dieses Kapitels solltest Du immer folgende **Lernziele** vor Augen haben:

- ✗ Du kennst und verstehst die Zusammensetzung und den Aufbau der Erdatmosphäre.
- ✗ Du weisst, wie der Treibhauseffekt der Atmosphäre entsteht.
- ✗ Du kennst die Bedeutung einiger wichtiger Begriffe im Zusammenhang mit der Luftverschmutzung.

1.1. Aufbau der Erdatmosphäre

Was ist Luft? Luft ist ein farbloses, geruchfreies **Gasgemisch**, das sich aus folgenden Hauptbestandteilen zusammensetzt:

- 78% Stickstoff (N_2)
- 21% Sauerstoff (O_2)
- 0.9% Argon (Ar)
- 0.03% Kohlendioxid (CO_2)

Dazu kommt der Gehalt an Wasserdampf (gasförmiges H_2O). Er schwankt zwischen 0% und 4%. Ferner enthält die Luft die sogenannten **Spurengase,** zum Beispiel: Neon, Helium, Krypton, Xenon und Wasserstoff. Sie kommen in nur sehr kleinen Anteilen vor.
Der wichtigste Bestandteil der Luft ist der Sauerstoff (O_2). Sauerstoff braucht es bei jeder Verbrennung. Beim Einatmen wird durch die Lunge Sauerstoff aufgenommen und durch das Blut in die Zellen unseres Körpers geleitet, wo er zur Verbrennung von Nährstoffen (z.B. Zucker) verbraucht wird. Ohne Sauerstoff wäre Leben auf der Erde nicht möglich.

In der Experimentierecke wartet schon der erste Versuch auf Dich (Experiment 1).
Stelle die brennende Kerze zwischen die Holzklötzchen. Stülpe den Glaszylinder so über die Kerze, dass der Glasrand auf den Holzklötzchen aufliegt und Luft von unten her ins Glas fliessen kann. Was passiert?
Entferne die Holzklötzchen unter dem Glasrand, so dass keine Frischluft mehr ins Glas gelangen kann. Beobachte!

Schreibe hier Deine Überlegungen nieder:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Betrachten wir nun die gesamte Lufthülle, die sogenannte Atmosphäre. Sie wird in folgende Schichten eingeteilt :

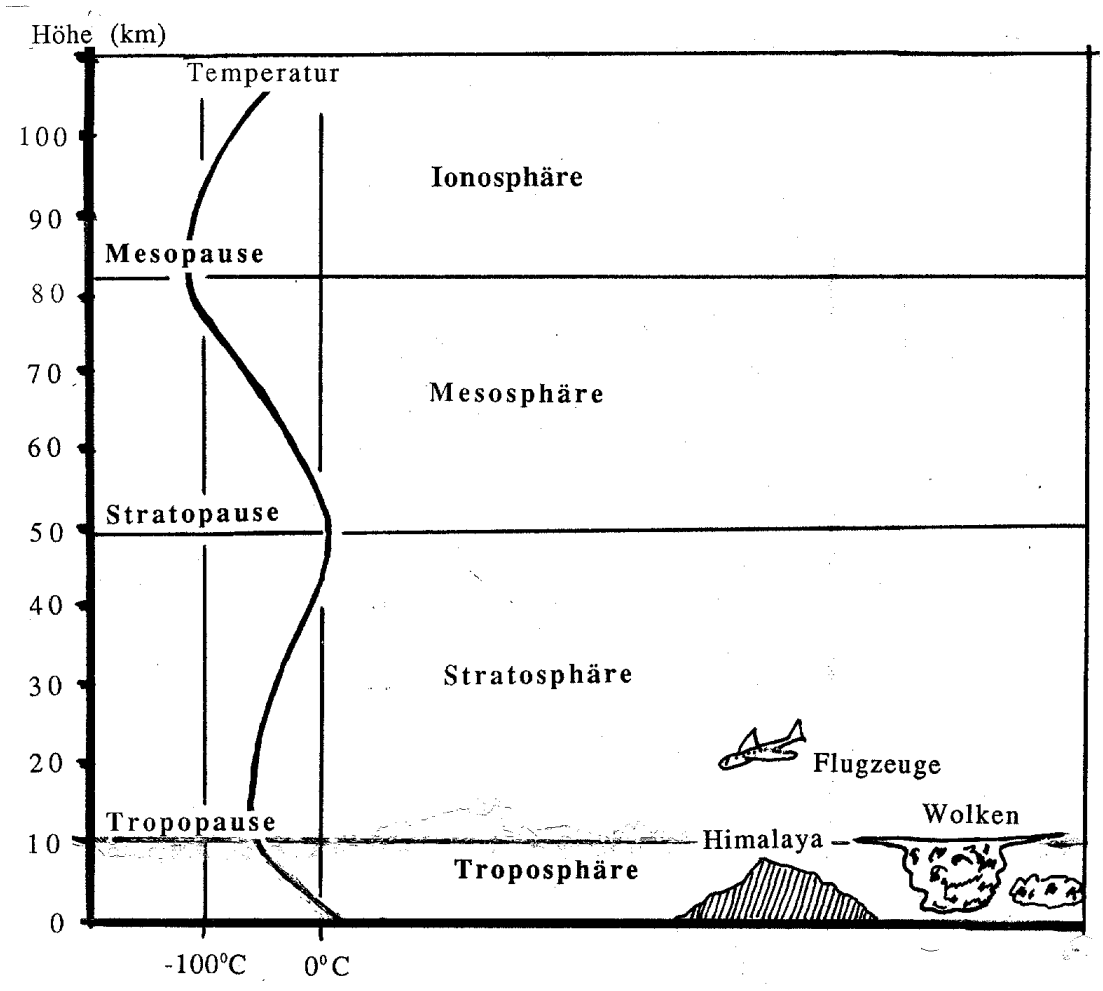


Abb.1-1: Der Aufbau der Atmosphäre (nach Häckel 1985, 40).

Die **Tropopause** in rund 10 km Höhe grenzt die **Troposphäre** von der **Stratosphäre** ab. In ca. 50 km Höhe befindet sich die **Stratopause** und bildet die Grenze zwischen der Stratosphäre und der **Mesosphäre**. Die **Mesopause** schliesslich befindet sich in ca. 80 km Höhe und bildet den Übergang von der Mesosphäre zur **Thermosphäre**.

Wie Du in der Abbildung gut sehen kannst, nimmt die Temperatur nicht einfach beständig mit der Höhe ab. In der Troposphäre nimmt die Temperatur etwa um 6°C pro 1000 m Höhe ab. In dieser Schicht spielt sich das Wettergeschehen ab, weshalb sie auch als **Wetterschicht** bezeichnet wird. Die riesigen Quellwolken von Gewittern reichen bis zur Tropopause, der oberen Begrenzung der Troposphäre, hinauf.

Bis hinauf zur Stratopause, der oberen Begrenzung der Stratosphäre, steigt die Temperatur an und fällt dann in der Mesosphäre erneut. Die Erwärmung der Luft innerhalb der Stratosphäre ist auf den Einfluss der **Ozonschicht** zurückzuführen: Das Ozon hat die Eigenschaft, die gefährliche, krebserregende **Ultraviolettstrahlung**, kurz UV- Strahlung, auszufiltern. Die Ozonschicht bildet deshalb einen lebenswichtigen Schutzschild um die Erde. Durch die Absorption der UV-Strahlung in der Ozonschicht wird diese zum Teil in Wärme umgewandelt. Daher erfolgt im oberen Bereich der Stratosphäre ein Temperaturanstieg.

Auch die Abnahme des **Luftdruckes** verläuft mit zunehmender Höhe nicht linear. Auf Meereshöhe herrscht ein Normaldruck von rund 1000 hPa (Hektopascal), in 5 km Höhe noch die Hälfte, nämlich 500 hPa, und in 10 km Höhe, bei der Tropopause noch etwa 250 hPa. Diese Luftdruckabnahme ist **exponentiell**.

(1.1.) An einem heissen Sommertag misst man in Zürich (450 m ü.M) +30°C. Du hast Glück und gewinnst eine Ballonfahrt. Sie wird eine Gipfelhöhe von rund 4000 m ü.M. erreichen. Wieso rät Dir der Ballonführer, einen warmen Pullover mitzunehmen? Welche Temperatur musst Du dort oben erwarten? **:** .....°C

Kontrolliere Deine Lösung mit dem Schlüssel am Schluss des Leitprogrammes.

Soweit zum Aufbau der Erdatmosphäre. Im nächsten Abschnitt wird die Funktion und Wirkung des Treibhauseffektes erklärt.

1.2. Der Treibhauseffekt

Leben kann nur unter bestimmten Temperaturbedingungen existieren. Die dünne Atmosphäre der Erde verhindert, dass unser Planet zur Kältewüste, wie etwa der Mars, oder zu einer Hitzehölle, wie die Venus wird. Erst der Treibhauseffekt ermöglicht das Leben auf der Erde.
Die Sonne ist der Motor vieler Vorgänge auf der Erde, wie z.B. des Wasserkreislaufs oder des Wetters. Sie liefert auch die, für das Leben notwendige Energie. Doch Du weisst, dass die Sonne rund 150 Millionen Kilometer entfernt ist. Die Menge der Sonnenenergie, welche die Obergrenze der Atmosphäre unseres Planeten erreicht, beträgt permanent **1.4 kWh pro m^2**. Diesen Wert nennt man **Solarkonstante**. Wie wird nun die Energie über eine solch grosse Distanz transportiert ?
Das Sonnenlicht setzt sich aus elektromagnetischer Strahlung verschiedener Wellenlängen zusammen. Es wird grob zwischen **langwelliger und kurzwelliger Strahlung** unterschieden.
Die Wellenlängen der kurzwelligen Strahlung messen weniger als 4 µm (1 µm = $^1/_{1000}$ mm), jene der langwelligen Strahlung über 4 µm. Das sichtbare Licht besteht aus Strahlung der Wellenlängen zwischen 0.4 bis 0.8 µm. Den Bereich darunter (< 0.4 µm) nennt man **Ultraviolettstrahlung**, denjenigen darüber (> 0.8 µm) Wärme- oder **Infrarotstrahlung**.
Beim Energietransport von der Sonne zur Erde spielt ausschliesslich die kurzwellige Strahlung eine wichtige Rolle.
Was geschieht mit der Strahlung, nachdem sie in die Lufthülle eingetaucht ist? Bevor Du weiter liest, untersuche die nachfolgende Zeichnung. Sie zeigt dir den Weg der Strahlung durch die Lufthülle.

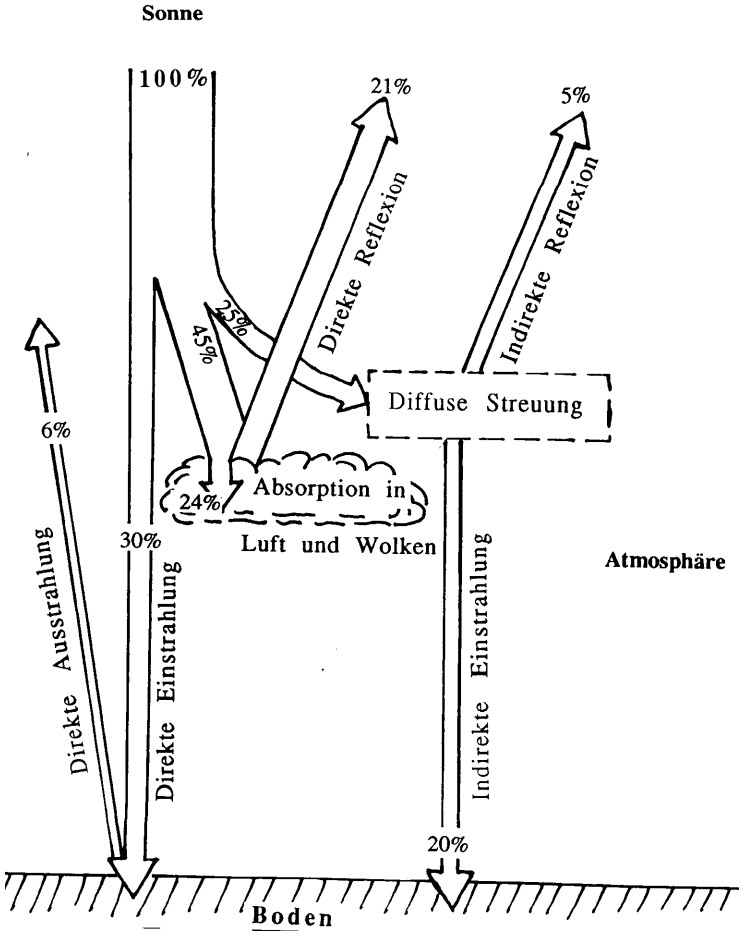


Abb.1-2: Strahlungsverhältnisse in der Atmosphäre (Seydlitz 1982, 56).

Von den **100%** der, von der Sonne ankommenden, kurzwelligen Strahlung werden **21%** an den Wolken zurück in den Weltraum reflektiert. **30%** gelangen direkt bis zum Boden, wobei **6%** wieder in den Weltraum zurückgeworfen werden. **25%** der einfallenden, kurzwelligen Strahlung werden an den Luft- und Wassermolekülen in der Atmosphäre gestreut. Dabei entsteht sogenanntes diffuses Licht. **20%** erreichen so die Erdoberfläche als indirekte Einstrahlung; **5%** werden als indirekte Reflexion in den Weltraum abgestrahlt. **24%** werden in Luft und Wolken absorbiert und in Wärme umgewandelt.

Die kurzwellige Strahlung, die der Erdoberfläche verbleibt (44%), wird von dieser absorbiert und in Wärme umgesetzt, d.h., die Erdoberfläche erwärmt sich und gibt dabei langwellige Strahlung ab. Diese bleibt teilweise in der Atmosphäre gefangen, weil sich Luft gegenüber dieser Strahlung ähnlich auswirkt, wie das Glas eines Treibhauses: In einem Treibhaus durchdringt die von der Sonne kommende kurzwellige Strahlung die Glasscheibe, wird dann vom Treibhausboden absorbiert und in Wärme umgewandelt. Der Boden sendet in der Folge langwellige (Infrarot- oder Wärme-) Strahlung aus. Diese wird vom Glas des Treibhausdaches nicht nach aussen durchgelassen, sondern reflektiert, das heisst im Treibhaus zurückgehalten.

Da der Boden weiterhin durch Absorption von kurzwelliger Strahlung Wärme produziert, abstrahlt und diese abermals im Treibhaus gefangen bleibt, erwärmt sich das Innere des Treibhauses laufend.
Die Luft der Atmosphäre lässt - wie Treibhausglas - die kurzwelligen Sonnenstrahlen passieren. Die von der Erdoberfläche kommende Infrarotstrahlung wird teilweise durchgelassen und in den Weltraum abgestrahlt. Der Rest wird aber durch Absorption und Reflexion in der Atmosphäre zurückgehalten. Eine Erhöhung der Lufttemperatur in der Atmosphäre ist die Folge. Diese zusätzliche Erwärmung wird als Treibhauseffekt bezeichnet. Abbildung 1-3 veranschaulicht diese Vorgänge.

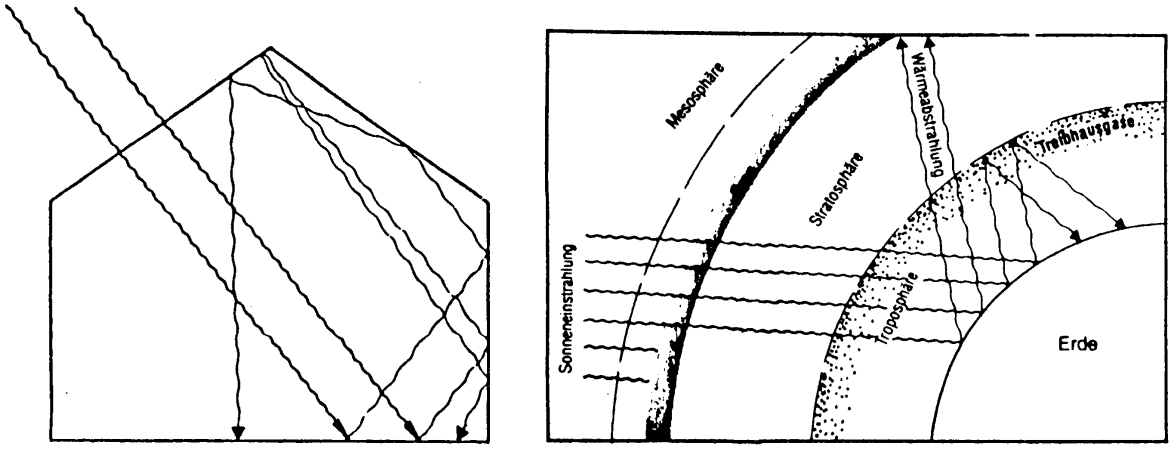


Abb.1-3: Treibhauseffekt (Geiger 1989, 18).

Die durchschnittliche Lufttemperatur der Erde beträgt heute +15°C. Ohne Treibhauseffekt wäre sie rund 30°C tiefer.
Um Dir das Prinzip des Treibhauses verständlicher zu machen, steht in der Experimentierecke ein weiterer Versuch bereit (Experiment 2).

Zwei 100 Watt Spot-Lampen sind neben zwei Thermometern angebracht. Schalte die Lampen an. Stülpe über das erste Thermometer ein Becherglas. Halte den Temperaturverlauf der beiden Thermometer nach den gegebenen Zeitabständen in der untenstehende Tabelle fest.

Zeit	**Thermometer ohne Glas**	**Thermometer mit Glas**
0 Sek.		
60 Sek.		
120 Sek.		
180 Sek.		
240 Sek.		
300 Sek.		
360 Sek.		

Was stellst Du fest? Beschreibe Deine Beobachtungen in zwei, drei Sätzen.

_____

_____

_____

_____

_____

Die einzelnen Gase, aus denen die Luft zusammengesetzt ist, halten unterschiedlich stark die langwellige Strahlung zurück. Man nennt sie deshalb **Treibhausgase,** wie zum Beispiel das Kohlendioxid, Lachgas und Methan. Einen ebenfalls sehr grossen Einfluss auf den Strahlungshaushalt hat der Wassergehalt der Luft, einerseits in Form von Nebel und Wolken, besonders aber als Wasserdampf, d.h. als unsichtbares, gasförmiges H_2O. Auf dieses Thema kommen wir in einem späteren Kapitel nochmals zu sprechen.

1.3. Vom Stoff zum Schadstoff

Wir beginnen mit zwei Definitionen:

Schadstoff: Unter Luftschadstoffen verstehen wir Stoffe, die in der Luft in Konzentrationen vorhanden sind, die den Menschen und / oder seine Umgebung direkt und indirekt beeinträchtigen oder schädigen.

Konzentration: Die Konzentration ist ein Mass für die Menge eines Stoffes in einer Massen-, Volumen- und / oder Zeiteinheit.

Dazu braucht man meistens:

- **Masseneinheiten** wie Tonnen (t), Kilogramm (kg), Gramm (g), Milligramm (mg), Mikrogramm (µg)
- **Volumeneinheiten** wie Kubikmeter (m^3), Kubikdezimeter (dm^3), Kubikzentimeter (cm^3), Liter (l)
- **Zeiteinheiten** wie Jahr (a), Tag (d), Stunde (h), Minute (min), Sekunden (s)

Hier folgen noch einige nützliche **Umrechnungsbeziehungen** :

$1\ m^3 = 1000\ dm^3 = 1'000'000\ cm^3 = 1x10^6\ cm^3 = 1x10^9\ mm^3$

$1\ l = 1\ dm^3 = \frac{1}{1000}\ m^3 = 1x10^{-3}\ m^3$

$1\ t = 1000\ kg = 1'000'000\ g = 1x10^6\ g = 1x10^9\ mg = 1x10^{12}\ \mu g$

1 a = 365 d = 8760 h = 525'600 min = 31'536'000 s

Umrechnungstabellen sind in jeder guten **Formelsammlung** vorhanden. Siehe Dir dazu Deine eigene Formelsammlung genau an. Wenn Du sie nicht dabei hast, benutze jene aus der Mediothek.
Luftschadstoffe werden von einer Quelle, z.B. einem Benzinmotor, erzeugt und an die Luft abgegeben. Sie breiten sich aus oder werden von Luftströmungen verteilt. In ihrer Umgebung aber auch in grossen Distanzen vom Entstehungsort können sie ihre schädliche Wirkung entfalten. In diesem Zusammenhang lernst Du nun vier wichtige Begriffe kennen.

Emission: Die Emission ist der Übertritt von Schadstoffen aus einer Quelle in die offene Atmosphäre. Zum Beispiel produziert ein Automotor Schadstoffe, die über den Auspuff an die Umgebung abgegeben werden. Die Abgase werden in die Luft **emittiert**.

Transmission: Unter Transmission versteht man die Ausbreitung, den Transport und die allfällige chemische Umwandlung der emittierten Stoffe in der Atmosphäre. In unserem Beispiel werden die Schadstoffe vom Motor emittiert und durch den Wind von der Strasse weggetragen. Dabei findet eine Verdünnung statt. Einzelne Komponenten können durch chemische Reaktionen mit Luftbestandteilen, mit anderen Schadstoffen oder mit Sonnenlicht verändert werden. Geprägt wird die Transmission primär durch meteorologische Bedingungen wie Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Sonnenstrahlungsintensität und Niederschlag.

Deposition: Die durch die Transmission bewegten Schadstoffe, werden mit der Zeit wieder auf der Erdoberfläche abgelagert. Sie werden **deponiert**.

Immission: Immission ist das Einwirken von Schadstoffen auf Mensch und Umwelt (Tiere, Pflanzen, Gewässer, Böden, die Atmosphäre sowie Bauten oder andere von Menschen geschaffene Objekte).

(1.2.) Trage die vier Begriffe korrekt in die untenstehende Skizze ein.

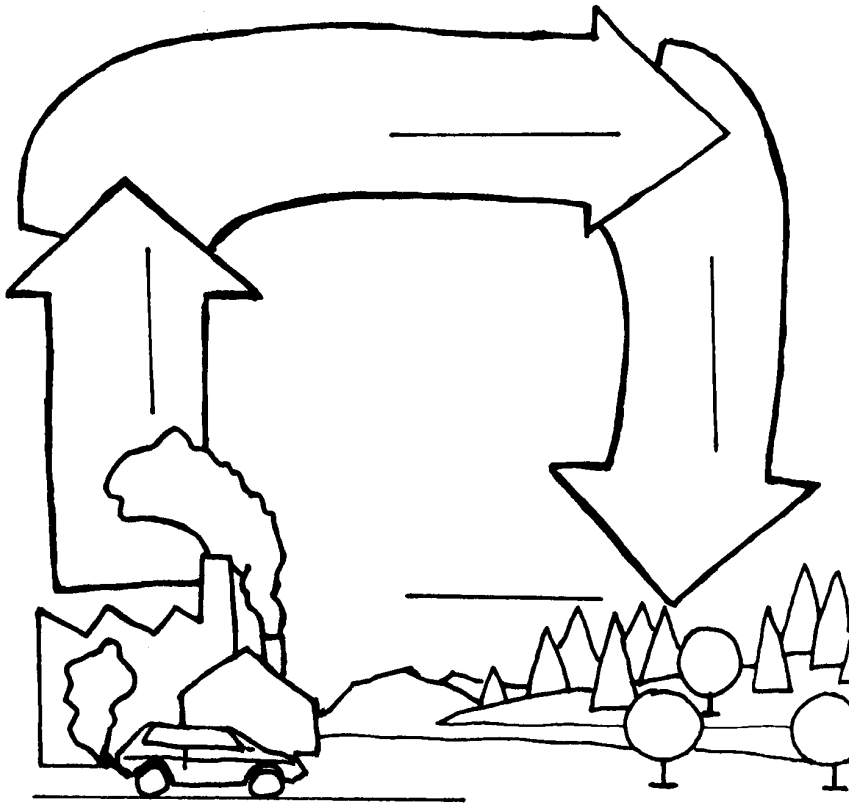


Abb.1-4: Schadstofftransport (Luft-Dossier BUWAL 1991 S.17).

1.4. Zusammenfassung

Die Atmosphäre setzt sich aus **78% Stickstoff**, **21% Sauerstoff, 0.9% Argon, 0.03% Kohlendioxid** und weiteren **Spurengasen** zusammen.
Die Atmosphäre gliedert sich in die **Troposphäre,** die **Stratosphäre,** die **Mesosphäre** und die **Thermosphäre**.
Die **Ozonschicht** liegt vorwiegend in der oberen Stratosphäre und filtert die gefährliche UV-Strahlung aus dem Sonnenlicht heraus.
Die Sonne bestrahlt die Erde mit einem ständigen Fluss von elektromagnetischen Strahlen verschiedener Wellenlänge.
Von der in die Atmosphäre eindringenden Sonnenstrahlung gelangt nur knapp die Hälfte direkt oder indirekt bis zur Erdoberfläche. Rund ein Viertel wird durch Luftgase und Wolken absorbiert, das restliche Viertel in den Weltraum reflektiert.
Die durch kurzwellige Sonnenstrahlung erwärmte Erdoberfläche strahlt langwellige (infrarote) Strahlung ab, die teilweise in der Atmosphäre gefangen bleibt und zu höheren Temperaturen führt. Ohne diese Treibhauswirkung wäre Leben auf der Erde nicht möglich.

Ein Stoff wird von einer Quelle abgegeben (**Emission**), in der Luft verteilt (**Transmission**) und eventuell umgewandelt. Schliesslich wird er abgelagert (**Deposition**), wobei er am Ablagerungsort zumeist so auf Kontaktsubstanzen einwirkt, dass Schäden entstehen (**Immission**).

Kontrolliere nun selbständig ob Du das Grundlagenkapitel verstanden hast. Beantworte zu diesem Zweck die folgenden Fragen:

(1.3.) Der Luftdruck nimmt mit der Höhe exponentiell ab. Wie verläuft die Temperaturkurve mit zunehmender Höhe? Beschreibe den Temperaturverlauf in den untersten 100 km der Atmosphäre.

_____

_____

_____

(1.4.) Von der Sonne erreicht uns vorwiegend kurzwellige Strahlung. 30% erreichen die Erdoberfläche direkt. Was passiert mit der restlichen Strahlung (70%)

- in den Wolken?

_____

_____

_____

- in der Luft an den Luftmolekülen?

_____

_____

_____

(1.5.) Du hast einige wichtige Begriffe kennengelernt, die beim Thema Luftverschmutzung eine Rolle spielen. Beschreibe in wenigen Worten was sie bedeuten :

Emission : _____

Transmission: _____

Deposition : _____

Immission: _____

Die Lösungen findest Du am Schluss des Leitprogrammes.

Kapitel 2.

Einige primäre Schadstoffe

In Kapitel 1. hast Du einiges über Aufbau, Zusammensetzung und Eigenschaften der Erdatmosphäre gelernt. Diese Gashülle wird durch Natur und Mensch verschmutzt. Im vorliegenden Kapitel wollen wir dem Schlagwort "Luftverschmutzung" etwas genauer auf den Grund gehen! Du sollst zum "Experten" werden, der Artikel und Beiträge in Presse und Fernsehen differenziert mitverfolgen kann.
Bevor es los geht, eine Definition zum besseren Verständnis:
Primäre Schadstoffe sind schädliche Stoffe, die direkt in die Atmosphäre eingeleitet werden.
Sekundäre Schadstoffe entstehen in der Atmosphäre neu aus chemischen Reaktionen anderer, bereits vorhandener Stoffe (Behandlung in Kapitel 3.).

Der Ablauf des **Kapitels** sieht so aus:

1) Im ersten Abschnitt lernst Du die wichtigsten **Primärschadstoffe** und ihre **Quellen** (anthropogene und natürliche) kennen.

2) Dann erfährst Du etwas über deren **Schadenwirkungen auf Mensch und Umwelt.**

3) Anschliessend wird das Gelernte in Tabellenform zu einer **Synthese** zusammengefügt.

Die folgenden beiden **Lernziele** sollen mit Hilfe dieses Kapitels erreicht werden:

- ✗ Du kennst die wichtigsten **Primärschadstoffe** und ihre **natürlichen und anthropogenen Quellen.**
- ✗ Du kennst die **Wirkungen** der Stoffe auf Mensch und Umwelt.

2.1. Primärschadstoffe und ihre Quellen

Generell kann man die wichtigsten Luftverunreiniger in **drei Gruppen** einteilen:

• **Industrie und Gewerbe**	Einzelne meist starke Emittenten (Schadstoffquellen) mit vielfältig zusammengesetztem Stoffausstoss, der schwierig zu erfassen ist.
• **Verkehr** • **Hausfeuerungen**	Beides eher schwache Emittenten, die jedoch in besiedelten Gebieten in sehr grosser Zahl vorkommen. Die Stoffzusammensetzung ihrer Emissionen ist besser bekannt.

2.1.1. Kohlendioxid (CO_2) und Kohlenmonoxid (CO)

Die Zusammensetzung unserer Luft ist das Produkt einer Entwicklung, die mehrere Milliarden Jahre gedauert hat. Auch das CO_2 kommt von Natur aus in der Luft vor. Der CO_2-Gehalt der Atmosphäre ist jedoch alles andere als eine konstante Grösse. Wissenschaftliche Untersuchungen von Gaseinschlüssen im Eis der Antarktis haben gezeigt, dass er über lange Zeiträume hinweg grossen Schwankungen unterworfen ist. Die Tatsache, dass er in den letzten 150'000 Jahren nie so hoch wie heute war, weist jedoch auf eine anthropogene Beeinflussung hin. Seine hauptsächliche Beteiligung am Treibhauseffekt macht ihn immer wieder zum Diskussionsthema. Um das Problem genauer zu verstehen, wollen wir anhand des vereinfachten **globalen Kohlenstoffkreislaufes** die beteiligten Prozesse diskutieren.

Lies die nachfolgende Liste der Vorgänge genau durch und schaue gleichzeitig in Abbildung 2-1 nach. Die entsprechenden Nummern stehen in kleinen Kreisen.

Beteiligte Prozesse (Numerierung gemäss Abbildung 2-1):

① Verbrennung von fossilen Brennstoffen (Kohle, Erdöl, Erdgas)

(Ausstoss hauptsächlich als CO --> Umwandlung in CO_2 in der Atmosphäre)

② Vulkanausbrüche

③ Austausch an der Wasseroberfläche:

gelöst:
Eintrag durch Regen (als H_2CO_3, Kohlensäure)

gasförmig:
Diffusion (Ausbreitung), abhängig vom Partialdruck (Teildruck) von CO_2 in der Luft und im Wasser (Kaltes Wasser kann mehr CO_2 lösen als warmes).

④ a) Abgabe von CO_2 an die Atmosphäre, z.B. durch

- Respiration (Atmung)
- Zerfall von organischem Material
- Fäulnisreaktionen

CH_2O	+	O_2	--->	CO_2	+	H_2O
Kohlehydrate		Sauerstoff		Kohlendioxid		Wasser

b) Aufnahme von CO_2 aus der Atmosphäre durch

- **Photosynthese**

$CO_2 + H_2O$ ---> $CH_2O + O_2$

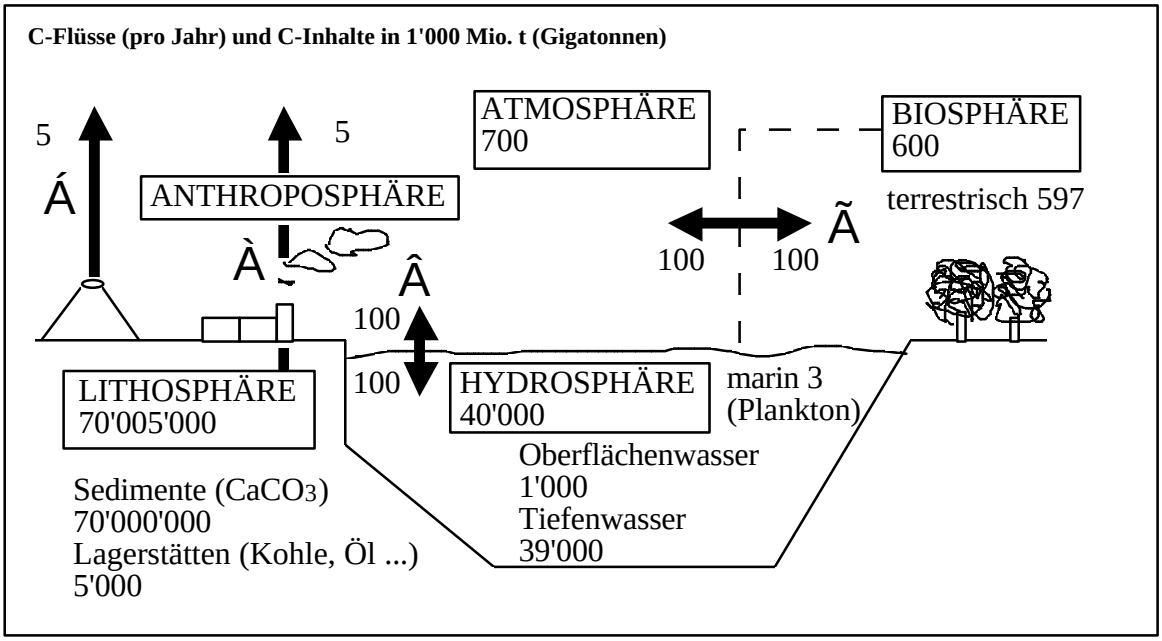


Abb.2-1: Der globale Kohlenstoffkreislauf

Obwohl Abb. 2-1 eine grobe Vereinfachung der Wirklichkeit darstellt - es sind nur diejenigen Stoffflüsse berücksichtigt, welche die Atmosphäre betreffen - enthält sie viele wichtige Informationen. Man sieht, dass die **Atmosphäre** ein vergleichsweise **kleines Kohlenstoffreservoir** ist. Dies gilt auch für das Kohlendioxid. Der CO_2-Gehalt der Atmosphäre beträgt nur etwa 1/60 desjenigen der Ozeane. Das hat zur Folge, dass die **Verweilzeit** (dies ist die Zeit, in der

sich ein CO_2-Molekül durchschnittlich in der Atmosphäre aufhält) von Kohlendioxid relativ **kurz** ist. Sie ist ein Merkmal für die Grösse eines Reservoirs und beträgt bei CO_2 ca. **10 Jahre** (Zum Vergleich: die Verweilzeit von Stickstoff N_2 beträgt 4 x 10^8 Jahre!). Dadurch bekommen jedoch auch die Tätigkeiten des Menschen eine grosse Bedeutung. Das uferlose **Verbrennen fossiler Brennstoffe** (hierzu gehört auch das Abfackeln, d.h. Verbrennen von Erdgas aus Erdöllagerstätten) und das **Abholzen des tropischen Regenwaldes** führen zur Anreicherung von CO_2 in der Atmosphäre. Die aktuelle **Konzentration** beträgt **350 ppm** (parts per million). Sie ist seit 1950 um ca. 35 ppm, also um 10% gestiegen! Automotoren stossen vor allem CO (Kohlenmonoxid) aus, das allmählich mit O_2 aus der Luft zu CO_2 reagiert. Die jahreszeitliche Schwankung der CO_2-Konzentration (im Sommer ca. 7 ppm tiefer als im Winter) widerspiegelt das jahreszeitliche Auf und Ab in der Photosynthesetätigkeit der Pflanzen, vorab in mittleren Breiten (im Sommer mehr Photosynthese).

Löse alle folgenden Aufgaben, bei denen nichts anderes vorgesehen ist, auf leere separate Blätter. So kannst Du jedes Kapitel mehrmals durcharbeiten, ohne Deine Antworten bereits vor Dir zu haben.

(2.1.) Bei Deinem Lehrer erhältst Du eine Kopie der Seiten 10 und 11 aus dem Buch "LUFT".

2.1.1. Vergleiche die beiden Graphiken mit den Titeln "Weltbevölkerung" und "Kohlendioxidgehalt" (Abb. 2-2). Beschreibe und begründe den Verlauf der beiden Kurven!

2.1.2. Mach dasselbe für die beiden Graphiken mit den Titeln "Temperaturabweichung vom langjährigen Mittel" und "Kohlendoxidgehalt" (Abb. 2-3). Beachte speziell auch noch den Trend der beiden Kurven in neuester Zeit.

2.1.2. Stickoxide (NO_x)

Stickstoff (N_2) ist die Hauptkomponente der Atmosphäre (78%). In der Atmosphäre kommen zudem eine Reihe von gasförmigen Stickstoffverbindungen vor, welche unter dem Begriff Stickoxide zusammengefasst werden. Von hauptsächlicher Bedeutung sind:

- Stickstoffmonoxid (NO)
- Stickstoffdioxid (NO_2) und
- Distickstoffoxid (N_2O), auch Lachgas genannt.

Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO_2)

NO und NO_2 entstehen bei hochtemperaturigen (T > 500-600 C°) **Verbrennungsvorgängen**, vor allem im **Strassenverkehr** und beim **Heizen**. Sie werden zu 90 bis 95% als Stickstoffmonoxid (NO) ausgestossen und in der Atmosphäre in das giftigere Stickstoffdioxid (NO_2) umgewandelt. Im Kanton Zürich entwichen 1985 25'150 Tonnen Stickoxide aus Auspuffrohren, Kaminen und Jet-Triebwerken. Der Anteil des Verkehrs beträgt ca. drei Viertel. Mit dem Katalysator wird der Stickoxid-Ausstoss beträchtlich reduziert. Da Verbrennungen bei hohen Temperaturen einen Teil der zahlreich vorhandenen Stickstoffmoleküle aus der Luft oxidieren, kann das Problem der Stickoxidbildung nicht durch Veränderungen in der Zusammensetzung des Brennstoffes gelöst werden (wie beim Schwefeldioxid, siehe 2.1.3).
Die Konzentration von NO und NO_2 hat einen **Jahresgang**. Die höchsten Werte werden im Winterhalbjahr erreicht. Die tieferen Konzentrationen während der Sommermonate sind auf **zwei Effekte** zurückzuführen:

- Bessere Verdünnung durch höhere Turbulenz in der Atmosphäre.
- Höhere Umwandlung in Sekundärschadstoffe durch den Einfluss des Sonnenlichtes.

Auf **natürliche Weise** entstehen Stickoxide vor allem bei **Blitzen**. Bei elektrischen Entladungen in der Luft entstehen Temperaturen bis zu 30'000°C; dabei wird N_2 oxidiert. Dieser Vorgang erzeugt in der Schweiz jährlich ca. 2'400 Tonnen Stickoxide. Weitere Ausstösse gibt es bei **Waldbränden** (ca. 40 t/Jahr) und durch **produktive Böden**. In ihnen werden durch Mikroorganismen ca. 6'600 t/Jahr emittiert.
Die **Verweilzeit** in der Atmosphäre beträgt ca. **2-5 Tage**.

Distickstoffoxid (N_2O) oder Lachgas

Lachgas wird in der "Luftverschmutzungsdiskussion" seltener erwähnt als NO und NO_2. Dies wohl vor allem aus Gründen seiner völlig anderen Wirkungsweise (siehe nächstes Kapitel). Es entsteht auf natürliche Weise durch **mikrobielle Denitrifikation** (d.h. Reduktion von NO_3^- zu N_2) durch Mikroorganismen und durch **Nitrifikation** (d.h. Oxidation von NH_4^+ zu NO_3^-) **im Boden und im Wasser.**
Anthropogen (durch den Menschen bedingt) wird Lachgas durch **Verbrennen von Biomasse und fossilen Brennstoffen, durch Landkultivierung** und durch **künstlichen Stickstoffdünger** emittiert.
Die **Verweilzeit** in der Atmosphäre beträgt ca. **170 Jahre**.

(2.2.) Lies den untenstehenden Auszug aus einem Zeitungsartikel sorgfältig durch! Ganz am Schluss ist auf den beträchtlichen Rückgang der Stickoxidbelastung hingewiesen:

2.2.1. Überlege Dir die Spannweite der Konzentrationsschwankungen von Jahr zu Jahr? Sind sie eher gross oder klein?

2.2.2. Stimmt Dich der Rückgang hoffnungsvoll? Wodurch könnte er hervorgerufen worden sein?

Weniger Stickstoff und doch zuviel

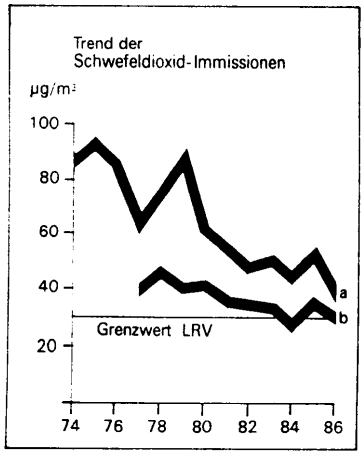
... Die Grenzwerte für Stickstoffdioxid dagegen werden an den drei Messstellen in Stadtnähe weiterhin überschritten, am deutlichsten in Opfikon, nahe der Flughafen-Autobahn. Hier wurde ein Jahresmittelwert von 46 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft ermittelt, der Grenzwert liegt bei 30 Mikrogramm. In Wallisellen und Schwamendingen betrugen diese Werte 36 und 38 Mikrogramm.
Im Vergleich zu den Vorjahren ging die Belastung jedoch um etwa einen Drittel zurück. Sie erreicht damit ungefähr die Werte von 1984. 1986 und 1987 waren Werte gemessen worden, die ungefähr 25 Mikrogramm höher lagen.

Abb.2-4: Weniger Stickoxid aber mehr Ozon (Tages-Anzeiger 5. Feb. 1991, 17).

2.1.3. Schwefeldioxid (SO_2)

Schwefeldioxid entsteht hauptsächlich bei der **Verbrennung fossiler Brennstoffe** (namentlich Kohle und Erdöl, die beide einen allerdings stark variablen Schwefelgehalt aufweisen) und stammt zu rund 80% aus **Haus- und Industriefeuerungen**. Da also das Heizen eine Hauptquelle darstellt, ergeben sich im Winter wegen Inversionslagen und der Heizperiode höhere Werte als im Sommer. Generell ist ein deutlicher Rückgang des Schwefeldioxidausstosses zu verzeichnen. Dies zeigt, dass die eingeleiteten Massnahmen, insbesondere die Herabsetzung des Schwefelgehalts im Heizöl und die Umstellung auf Erdgas, deutlich bessere Ergebnisse bewirken.
Natürliche Emission geschieht vor allem durch **Waldbrände** und **Vulkanausbrüche**. Diese Mengen sind im Verhältnis zu den anthropogenen Ausstössen jedoch vernachlässigbar klein.

(2.3.)



Jahresmittel aus kontinuierlichen Messungen in der Stadt Zürich:
a) Messort in Zentrumsnähe (Stampfenbachstrasse 144)
b) Messort an Peripherie, in Waldnähe (Frohburgstrasse/ Winterthurerstrasse)

a) Zähle zwei Massnahmen auf, die den abnehmenden Trend der Schwefeldioxid-Immissionen der nebenstehenden Grafik begründen.

b) Warum ist das Schwefeldioxidproblem einfacher in den Griff zu bekommen als das Stickoxidproblem?

Abb.2-5: Trend der Schwefeldioxid-Immissionen in der Stadt Zürich. (Luftreinhaltung im Kt. Zürich 1987, 22).

2.1.4. Organische Verbindungen: VOC, FCKW, Methan

Der Sammelbegriff "Organische Verbindungen" wird in der Lufthygiene nicht streng im chemischen Sinn verwendet. Er umfasst eine Fülle verschiedener flüchtiger organischer Verbindungen. Die leicht flüchtigen Stoffe haben in der Luft die grösste Bedeutung.

VOC: Flüchtige Kohlenwasserstoffe (Volatile Organic Compounds)

Diese entweichen vor allem beim Verdunsten von organischen Stoffen, z.B. von Benzin (beim Tanken) oder Lösungsmitteln und bei der unvollständigen Verbrennung von Erdölprodukten (z.B. im Verkehr).

FCKW: Fluorchlorkohlenwasserstoffe

Sie sind ein prominentes Beispiel aus aktuellen Umweltdiskussionen und werden deshalb speziell erwähnt. Es handelt sich hier um Stoffe, die vor allem als Kühlmittel, Lösungsmittel, Treibmittel in Sprühdosen ($CFCl_3$ oder CF_2Cl_2) und zum Schäumen von Schaumplastik Verwendung finden und früher oder später in die Atmosphäre gelangen.

CH_4: Methan

Methan, auch ein Kohlenwasserstoff, soll hier besonders erwähnt werden, da sich die Konzentration in der Atmosphäre in den letzten 200 Jahren verdoppelt hat. Gleichzeitig ist Methan ein hochwirksames Treibhausgas, weitaus wirksamer als z.B. Kohendioxid (CO_2). In der Schweiz stammen etwa ein Viertel aller Emissionen dieses Stoffes aus natürlichen Quellen. Weltweit tragen vor allem Landwirtschaft und Landnutzung in den Tropen zu dessen Ausstoss bei. Mikrobielle Vorgänge in Sümpfen, Reisfeldern und Grasländern (Tätigkeit von Methanbakterien in Sumpf- und Biogas) gehören ebenso zu den Quellen wie Massentierhaltung (Entstehung vor allem im Verdauungstrakt von Wiederkäuern) und Vulkane.

Auf anthropogener Ebene sind erneut die Brandrodung und die Verbrennung fossiler Brennstoffe die Hauptverursacher, da dort Methan als Resultat unvollständiger Verbrennungsprozesse entsteht. In jüngerer Zeit kommen auch Methanaustritte aus undichten Gaspipelines in Sibirien dazu.

2.2. Die Auswirkungen der Primärschadstoffe auf Mensch und Umwelt

2.2.1 Kohlendioxid (CO_2) und Kohlenmonoxid (CO)

Das farb- und geruchlose Gas CO_2 hat in den heute vorkommenden Konzentrationen keinen direkten gesundheitlichen Einfluss auf den Menschen. Als **Treibhausgas** sind jedoch seine Auswirkungen auf die globale Erwärmung bewiesen. Seine Bedeutung ist global gesehen als erstrangig einzustufen!

Kohlenmonoxid CO verbindet sich mit Hämoglobin und unterbindet dadurch den Sauerstofftransport des Blutes. Aus diesem Grund ist die Idee auf Abb. 2-6 nicht als besonders gut zu bezeichnen!

Abb. 2-6: Modell "Kat-Plus" (UMWELT VERKEHR 1991, 37).

2.2.2. Stickoxide (NO_X)

Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO_2)

Bereits leicht erhöhte Stickoxidwerte (vor allem NO_2) können beim **Menschen** folgende Wirkungen auslösen:

- Erkrankung der Atemwege (Umwandlungen an den Bronchialwänden, Schwächung der Infektionsabwehrzellen, höhere Bronchitisgefahr)
- Funktionsstörungen der Lunge (Zusammenziehen der Bronchien erschwert das Atmen und kann zu Asthma führen oder Asthma verstärken).

Die **Umwelt** leidet mit, weil

- Stickoxide vielfältige Schädigungen von Pflanzen, vor allem bei kombinierten Einwirkungen **(Synergieeffekte)** verursachen
- Stickoxide zum saurem Regen beitragen (siehe folgendes Kapitel)
- Stickoxide Vorläufer vom Sommersmog sind
- Stickstoff ein Nährstoff ist, der in vielen künstlichen Düngern eingesetzt wird. Erhöhter Stickstoffgehalt in der Luft führt zu einer "Düngung" der Pflanzen über **Trocken- und Nassdeposition** (Ablagerung direkt aus der Luft oder mit Hilfe des Regens). Je nach Bodentyp und Pflanzendecke kann dies zu Störungen des Bodenchemismus und des Nährstoffhaushaltes führen.

Distickstoffoxid (N_2O) oder Lachgas

Nebst seinem direkten Beitrag zum Treibhauseffekt in der Troposphäre (Kap. 1.2.) wirkt N_2O in der Stratosphäre auch indirekt. Durch eine Reihe chemischer Reaktionen bewirkt ein N_2O-Anstieg eine Reduzierung des Ozon-Gehaltes in der oberen Stratosphäre, was letztlich zu einer erhöhten Durchlässigkeit der Atmosphäre für die UV-Strahlung bis zur Erdoberfläche führt. Diese ultraviolette Strahlung bewirkt beispielsweise Hautkrebs oder Pflanzenschäden.

2.2.3. Schwefeldioxid (SO_2)

Schwefeldioxid beeinträchtigt die **menschliche Gesundheit** auf ähnliche Art und Weise wie die Stickoxide. Das stechend riechende Gas wirkt insbesondere in Kombination mit Staub auf die Atemwege, reizt Haut und Schleimhäute und führt in höheren Konzentrationen zu **Atembeschwerden** und **Brustschmerzen.** Gefährdet sind auch hier vor allem Asthmatiker und Kinder.

Auch in der **Umwelt** hinterlässt es seine Spuren. Mit Wasser bildet SO_2 schweflige Säure und im Beisein von Luftfeuchtigkeit reagiert SO_2 mit Luftsauerstoff zu Schwefelsäure. Diese Säuren sind (neben der Salpetersäure HNO_3) Hauptbestandteile des **sauren Regens**. Zusätzlich verursacht SO_2 das **Absterben von Gewebepartien** bei Pflanzen durch den Abbau von Chlorophyll. Durch seine Aggressivität in Bezug auf diverse Materialien trägt es zum **Zerfall** zahlreicher **historischer Bauwerke** massgeblich bei.

2.2.4 Organische Verbindungen: VOC, FCKW, Methan

VOC: Flüchtige Kohlenwasserstoffe (Volatile Organic Compounds)

Sie sind sehr geruchsintensiv und verursachen den typischen Auspuffgestank. Zusammen mit den Stickoxiden bilden sie den photochemischen Smog, der beim Menschen Reizungen von Schleimhäuten und Augen hervorruft. Sie enthalten auch krebserregende Stoffe wie zum Beispiel Benzol, das Leukämie erzeugen kann. In der Umwelt wirken sie ebenfalls schädigend für Pflanzen und Gebäude und sind in der erdoberflächennahen Luftschicht an der Entstehung von Ozon beteiligt.

FCKW: Fluorchlorkohlenwasserstoffe

Sie sind durch ihre zerstörende Wirkung auf das Ozon (O_3) in der Stratosphäre "berühmt" geworden. Daher werden sie immer im Zusammenhang mit dem Ozonloch genannt. Sie trägt aber auch zum künstlichen Treibhauseffekt bei.

CH_4 Methan:

Die Wirkungen von Methan auf Mensch und Umwelt sind vielfältig und komplex:
In der Troposphäre verhindert es im Zusammenspiel mit OH^- (Synergieeffekt) den Abbau von diversen Schadstoffen (wie z.B. Chlorfluormethane, Kohlenmonoxid und Schwefelwasserstoff). Mit den Stickoxiden (NO_x) bildet es Ozon und ist damit an Treibhauseffekt, Pflanzenschädigung, Waldsterben und Gesundheitsschädigung beteiligt.

Auf der nächsten Seite findest Du eine Übersicht (und Zusammenfassung) des behandelten Stoffes. Benütze diese, um den Inhalt dieses Kapitels nochmals gründlich zu repetieren, bevor Du mit den Aufgaben der Lernkontrolle beginnst!

2.3. Übersicht und Zusammenfassung

Tab. 2-1: Übersicht und Zusammenfassung des Stoffes als Verankerung und Lernhilfe.

Jetzt kannst Du selbständig kontrollieren ob Du Kapitel 2 sorgfältig durchgelesen und verstanden hast.

(2.4.) Beantworte zu diesem Zweck die nachfolgenden Fragen:

2.4.1. Welche Probleme bereiten speziell die Luftverunreinigungen durch Industrie und Gewerbe (Kehrichtverbrennung usw.)?

2.4.2. Ist die Atmosphäre im Vergleich zu den Meeren und der Lithosphäre ein kleines oder grosses C-Reservoir?

- Beziffere das ungefähre Verhältnis zwischen den drei Reservoirinhalten.
- Was hat dies für Folgen?

2.4.3. Von den behandelten Stoffen ist nur einer zu erwähnen, bei dem ca. ein Viertel des Ausstosses aus natürlichen Quellen stammt. Welcher ist es und welche Quellen (weltweit) tragen dazu bei?

2.4.4. Hans, der engagierte Leiter der Jugendnaturschutzgruppe, versucht schon lange, hinter dem Haus einen Magerwiesenstandort heranzuziehen. Auf dem kleinen Stück Land ist jeglicher Dünger absolut tabu. Er will die Artenvielfalt durch jene Pflanzen erweitern, die nur auf nährstoffarmen Böden gedeihen. Leider stellt sich der Erfolg auch nach einigen Jahren nur schleppend ein. Überlege Dir, woran dies liegen könnte.

Nun ist es an Dir, zu entscheiden, ob Du gewisse Stellen noch einmal lesen willst, oder Dich zum Tutorentest meldest!

Kapitel 3.

Sekundäre Schadstoffe

London Dezember 1952. SMOG - Smoke and Fog - Damals ein neues Wort, heute ein gängiger Begriff, behinderte den Verkehr. Die Sicht war dermassen eingeschränkt, dass Polizisten mit Fackeln den Weg weisen mussten. Die Rauchkonzentration war fünfmal, die Schwefeldioxidkonzentration sechsmal höher als normal. Damals ging man davon aus, dass diese Werte medizinisch unbedenklich seien. Doch zahlreiche Menschen erkrankten innert kürzester Zeit - Kopfschmerzen, Halsbeschwerden, Asthma, Fieber. Improvisierte Smog-Masken wurden gewinnbringend verkauft. Doch auch sie konnten nicht verhindern, dass in jenen 14 Tagen 4000 Menschen mehr starben als in normalen Zeiten. Auch während den folgenden Wintern starben Hunderte von Menschen an den Folgen verunreinigter Luft. Wie konnte dies nur geschehen?
Heute wissen wir über die Ursachen und Folgen besser Bescheid. Die Atmosphäre funktioniert für alle Stoffe, auch für die unerwünschten Schadstoffe, wie ein grosses Sammel- und Reaktionsgefäss. In diesem Gefäss können zwischen den einzelnen Substanzen ganz unterschiedliche Reaktionen ablaufen. Dabei entstehen die sekundären Schadstoffe.
In diesem **Kapitel** wirst Du mehr über einige - natürlich längst nicht alle - sekundäre Schadstoffe erfahren. Die folgenden **Lernziele** solltest Du am Schluss des Kapitels erreichen.

✗	Du kannst Ursachen und Entstehung der behandelten sekundären Schadstoffe einer Drittperson verständlich darlegen.
✗	Du bist Dir über die Auswirkungen sekundärer Schadstoffe auf Mensch und Umwelt bewusst.

3.1. Saurer Nebel / Regen

3.1.1. Entstehung

Sowohl durch menschliche wie auch durch die Aktivitäten von Vulkanen und Bodenbakterien gelangen Schwefeldioxid (SO_2) und Stickoxide (NO_x) in die Luft (siehe Kapitel 2). Auf ihrem Weg durch die Atmosphäre werden diese primären Schadstoffe unter der Einwirkung von Sonnenlicht, Ozon und Wasserdampf in **sekundäre Schadstoffe** umgewandelt.

Folgende chemischen Reaktionen spielen sich dabei in der Troposphäre ab:

1. Schritt:

Ein Photon oder Lichtteilchen (hv) trifft auf ein Ozonmolekül (O_3). Das Ozon zerfällt dabei in ein Sauerstoffmolekül (O_2) und ein einzelnes Sauerstoffatom (O).

$$O_3 + hv \rightarrow O_2 + O$$

2. Schritt:

Das hochreaktive Sauerstoffatom reagiert sofort mit einem Wassermolekül (H_2O) zu zwei Hydroxylradikalen (OH).

$$H_2O + O \rightarrow 2(OH)$$

3. Schritt:

Die Hydroxylradikale (OH) wandeln nun die Stickstoffdioxidschadstoffe in der Luft (NO_2) in Salpetersäure (HNO_3) um. Schwefeldioxid (SO_2) reagiert mit Wasser zu Schwefelsäure (H_2SO_4).

$$NO_2 + OH \rightarrow HNO_3$$

$$2\ SO_2 + 2\ H_2O + O_2 \rightarrow 2\ H_2SO_4$$

Du hast nun erfahren, wie es zur Bildung von zwei typischen Sekundärschadstoffen kommt - **Schwefelsäure** (H_2SO_4) und **Salpetersäure** (HNO_3). Was aber geschieht mit diesen Substanzen weiter?

Die Salpetersäure löst sich sehr leicht in vorhandenen Nebel- oder Wolkentröpfchen. Schwefelsäure hingegen kondensiert in Form mikroskopisch kleinen Tröpfchen (Durchmesser von 0.1 bis 2 Mikrometern). Über weitere chemische Prozesse entstehen daraus **Sulfatpartikel**. Diese können sich einerseits als **Trockendeposition** am Boden absetzen, andererseits bilden sie ideale **Kondensationskeime** für den atmosphärischen Wasserdampf.

Kommt es nun zu Niederschlägen, so werden all diese Verunreinigungen in der Luft mit dem Regen ausgewaschen. Somit fällt nicht "reines" Wasser, sondern verdünnte Säure zu Boden: **Saurer Regen**. "Der saure Regen ist also eine direkte Folge der Selbstreinigungskraft der Atmosphäre" (Mohnen 1989, 14).

(3.1.) Fülle die Lücken A, B, C, D und E in der Abbildung 3-1 aus.

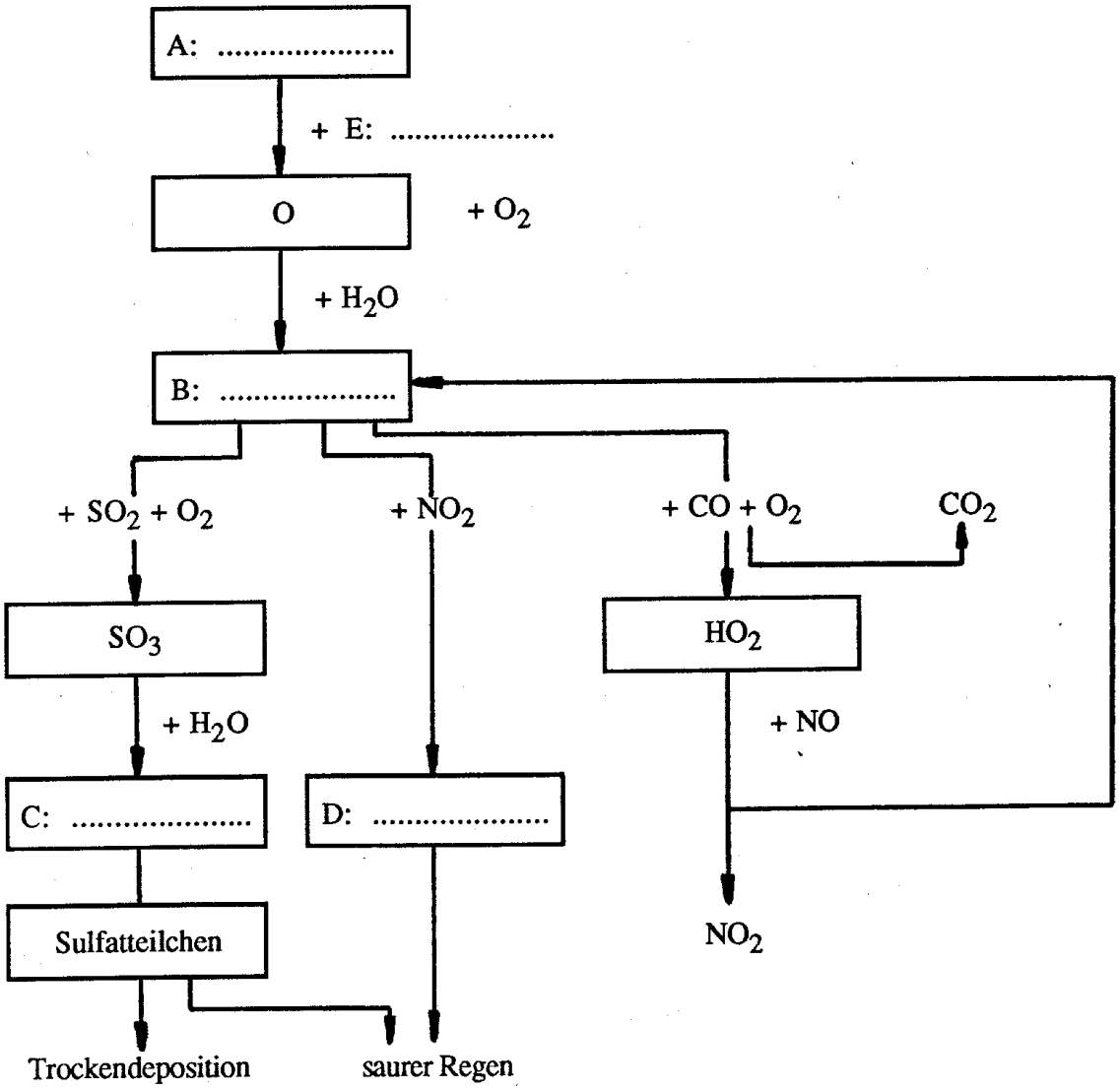


Abb.3-1: Entstehung des sauren Regens (Mohnen 1989, 18). Chemische Prozesse in der Atmosphäre erzeugen Schwefel- und Salpetersäure aus Schwefeldioxid und Stickoxiden. Die Säuren gelangen als Stäube durch Trockendeposition oder mit Niederschlag (z.B. Regen, Schnee) zu Boden.

3.1.2. Transport und Deposition

Die mit Säure belasteten Wolkentröpfchen werden vom Wind transportiert. Noch vor 30 Jahren hatten vor allem die Gebiete in unmittelbarer Nähe der Emissionsquellen (z.B. Ruhrgebiet) unter dem sauren Niederschlag zu leiden. Um dem Protest der betroffenen Bevölkerung gerecht zu werden, ging man zur **Hochkaminpolitik** über. Es wurden einfach die Kamine erhöht. Die Immissionen in den Ballungsräumen nahmen dadurch natürlich ab. Leider sind die Schadstoffe damit aber noch keinesfalls aus der Welt geschafft - ganz im Gegenteil. Denn Industrieschlote mit Höhen von 300 m und mehr verringern die Giftimmissionen nicht,

sondern verteilen sie nur über grössere Gebiete. Dadurch sind die Niederschläge in industriefernen Gebieten (bis 1000 km) oft saurer geworden, als in den Ballungsräumen.

3.1.3. Folgen und Auswirkungen des sauren Regens

a.) Boden und Gewässer

Der saure Regen kann also Hunderte von Kilometern von der Quelle entfernt niedergehen. Im Boden am Niederschlagsort unterliegt er erneut physkalischen und chemischen Prozessen. Je nach Bodentyp können dabei der Säuregehalt und die chemischen Eigenschaften des Niederschlagswassers verändert werden, bevor es schliesslich in Bäche und Seen fliesst.

Alkalische Böden

Von "Glück im Unglück" dürfen wir sprechen, falls der saure Regen auf alkalische Böden auftrifft. Alkalische Böden sind vor allem **Kalkböden**. Sie enthalten - der Name sagt es schon - viel Kalk ($CaCO_3$) und vermögen deshalb die Säure direkt zu **neutralisieren**.

Saure Böden

Leicht saure Böden sind typisch für den Nadelwaldgürtel der Nordhemisphäre. Bei solchen Verhältnissen wird saurer Niederschlag vor allem durch **Kationenaustausch** gepuffert (d.h. neutralisiert). Dies geschieht wie folgt: Durch die Gesteinsverwitterung werden Metall-Ionen (Kationen) freigesetzt. Diese Kationen (Ca^{2+}, Mg^{2+} etc.) ersetzen die Wasserstoff-Ionen der Säure. Dadurch kann die Säure neutralisiert werden.

Kein Glück haben wir dagegen, wenn die sauren Niederschläge auf **gefrorene** oder mit Wasser vollständig **gesättigte** Böden sowie auf **nackten Granitfels** fallen. Dann nämlich erreicht das Wasser die Bäche, Flüsse und Seen praktisch unverändert, d.h. mit einem tiefen pH-Wert. Ein See hat jedoch nur eine beschränkte Säure-Neutralisationskapazität. Ist dieser Kapazitätswert sehr hoch, so ist der See gegen sauren Regen geschützt, zumindest vorläufig. Hat der See jedoch einen Neutralisationskapazitätswert Null, so wird ihn jeder Säurezustrom sofort versauern lassen: Der pH-Wert sinkt unter 6. Die im See lebenden Organismen (Muscheln, Schnecken, Fische) werden beeinträchtigt. Der Lachs zeigt bei pH = 6 sogar schon Schäden.

Genau dasselbe gilt für die Böden. Kein Bodentyp kann beliebig viel Säureeintrag verkraften. Selbst die Pufferkapazität eines alkalischen Bodens ist einmal erschöpft.

(3.2.) Im Gegensatz zu den meisten Voralpenseen sind in Skandinavien (z.B. in Finnland) bereits viele Seen durch den sauren Regen versauert worden. Kannst Du dies erklären? Benütze zur Beantwortung den Schweizer Weltatlas (1993), Seite 76-77.

b.) Waldsterben

Heute geht man davon aus, dass der saure Regen / Nebel das Waldsterben mitverursacht. Die im Boden vorkommenden Tonmineralien enthalten Aluminium. Diese Aluminium-Ionen können vom sauren Regen freigesetzt werden und damit sowohl Vegetation wie auch Wasserlebewesen nachhaltig schädigen.

c.) Zerstörung historischer Bauwerke

Das agressive Verhalten des sauren Nebels / Regens zeigt sich auch in der fortschreitenden Zerstörung von Bauwerken aus Kalk, Kalksandstein und Marmor. So sind leider bereits viele Zeugen längst vergangener Zeiten - Akropolis, Kolosseum etc. - in den letzten Jahrzehnten arg in Mitleidenschaft gezogen worden.

(3.3.) Auf der folgenden Seite findest Du das Schema "Mögliche Kausalketten beim Baumsterben". Studiere es gut und beantworte folgende Frage: "Welche Bedeutung hat der saure Regen (möglicherweise) für das Waldsterben?"

Mögliche Kausalketten beim Baumsterben

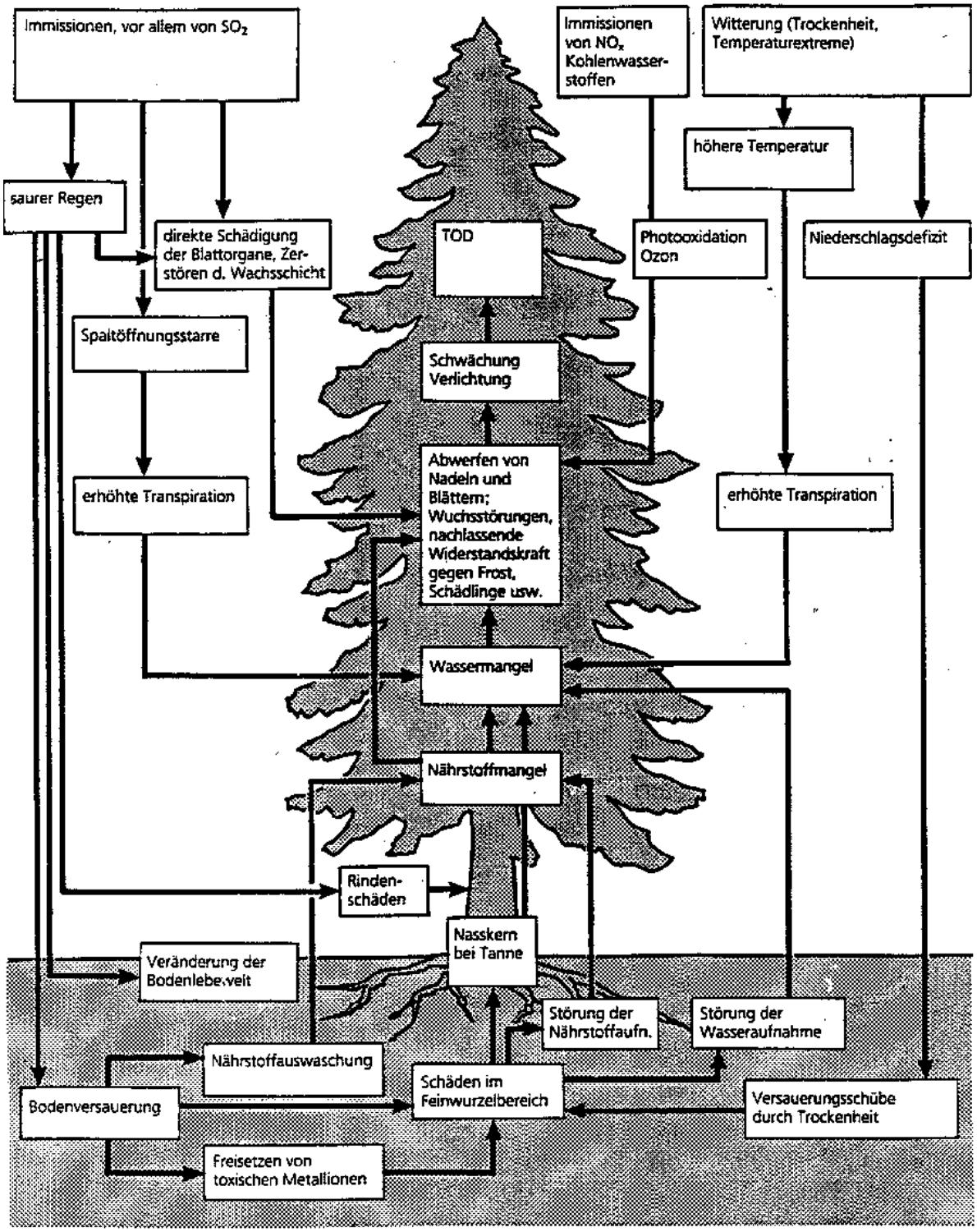


Abb.3-2: Mögliche Kausalketten beim Baumsterben (Deutscher Forstverein e.V., 1984).

3.2. Smog

Beim Begriff Smog unterscheidet man zwei verschiedene Typen: den Winter- oder **London-Smog** und den Sommer- oder **Los Angeles-Smog**.

3.2.1. Wintersmog

Der **Winter-** oder **London-Smog** entsteht, wenn Abgase in grossen Ballungsräumen festgehalten werden und sich dort anreichern.

Normalerweise werden die Schadstoffe in höhere Luftschichten getragen und dort verdünnt. Antriebsmotor für diesen Austausch ist - wie für viele Vorgänge - die Sonne. Ein Teil der einfallenden kurzwelligen **Sonnenstrahlung** wird durch den Boden absorbiert. Die Bodentemperatur steigt (vgl. Kapitel 1.2.). Diese Aufheizung des Bodens erwärmt die Luft. Warme Luft ist leichter als kalte, so dass sie nach oben steigt. Kalte, relativ schwere Luft sinkt ab, wird erwärmt und steigt ebenfalls auf. Solange die Sonne scheint, wird diese Luftzirkulation aufrecht erhalten. Die aufsteigenden Luftmassen tragen die Schadstoffe mit.

Während der Nacht ist der "Sonnenmotor" ausgeschaltet. Die bodennahen Luftschichten werden nicht mehr erwärmt und kühlen ab. Die Kaltluft sinkt ab und bleibt am Boden liegen. Dies führt zu einer Temperaturumkehr in der Atmosphäre, der sog. Inversion. Schwere kalte Luft liegt unten, warme leichte Luft darüber - eine **Inversion** hat sich gebildet.

Dies ist noch nicht weiter tragisch. Problematisch wird es jedoch, wenn eine solche Inversion über längere Zeit anhält. Dies kann im Winter geschehen, wenn die Sonnenscheindauer kurz ist. Gleichzeitig stossen Heizungen und Industrieanlagen mit Volldampf Schadstoffe aus. Wenn die Inversionslage über längere Zeiträume (Tage bis Wochen) bestehen bleibt, dann sammeln sich die Abgase der Stadt in der unteren Luftschicht an und können nicht nach oben entweichen. Es kommt zum gefürchteten **Wintersmog**.

3.2.2. Troposphärischer Ozon - Sommersmog

Das Atmen in Los Angeles schadet an über 100 Tagen im Jahr der Gesundheit - zumindest im Freien. Schuld daran ist der **Sommersmog**, auch **photochemischer Smog** oder **Photosmog** genannt. Damit Sommersmog entstehen kann, müssen im wesentlichen drei Voraussetzungen erfüllt sein: **Inversion**, **intensive Sonnenstrahlung** und **Abgase**.

Los Angeles ist nach drei Seiten von Gebirgen umgeben. Von der vierten Seite - dem Meer - schiebt sich eine kühle Brise unter die warme Luft über der sommerlichen, "automobil-belasteten" Grossstadt. Eine **Inversion** baut sich auf - der vertikale Luftaustausch und mit ihm der vertikale Schadstofftransport wird unterbrochen.

In stark vereinfachter Form kannst Du Dir die komplizierte Entstehung des Sommersmogs wie folgt vorstellen:

(1) $2\ NO + O_2 \rightarrow 2\ NO_2$

Stickstoff (N) und Sauerstoff (O) sind die Hauptbestandteile der Luft. In den Verbrennungsmotoren der Fahrzeuge wird der Luftstickstoff oxidiert: Stickoxide (NO_X) entstehen, vor allem Stickstoffmonoxid (NO). Dieses ist instabil und oxidiert weiter zu Stickstoffdioxid (NO_2), ein giftiges, stechend riechendes Gas.

(2) $NO_2 + hv \rightarrow NO + O$

Bei starker Sonneneinstrahlung (hv) im Sommer spaltet das ultraviolette Licht ein Sauerstoffatom (O) beim Stickstoffdioxid (NO_2) ab.

(3) $O + O_2 \rightarrow O_3$

Dieses freie Sauerstoffatom (O) verbindet sich mit einem normalen Sauerstoffmolekül (O_2). Sind drei Sauerstoffatome miteinander verbunden, so spricht man von **Ozon**.
Ozon (O_3) ist der wichtigste Bestandteil des photochemischen Smogs - produziert im "Ozonreaktor" Los Angeles. Was unter der Sonne Kaliforniens abläuft, unterscheidet sich selbstverständlich in keiner Weise von Vorgängen unter europäischer Sonne.
Ausser mit modernster Technik (Laser und Computer) kann man die Ozonkonzentration der Luft auch mit sogenannten **Bioindikatoren** messen. Dabei werden Zeigerpflanzen - kleine Brennessel, Buschbohne und Tabak - den Schadstoffen ausgesetzt. Nach zwei Wochen sind die Pflanzen leider nicht nur grösser geworden, sondern auch durch das Ozon geschädigt. Interessanterweise sind die Schadensbilder auf dem Lande - abseits von Verkehr und Industrie - eindeutig am grössten. Daraus lässt sich schliessen, dass hier die Ozonkonzentrationen höher sind als in den industriellen Ballungsräumen. Wie erklärt sich dieser Widerspruch?

Tagesgang von Ozonauf- und Abbau

In Bodennähe ist Ozon einem ausgesprochenen Tagesgang unterworfen. Die Ozonbildung ist auf den Tag beschränkt - sie benötigt ja intensives Sonnenlicht (Reaktion 2). Die Abbauvorgänge laufen jedoch Tag und Nacht ab. Dabei wird Ozon (O_3) durch Stickstoffmonoxid (NO) zu Sauerstoff (O_2) und Stickstoffdioxid (NO_2) abgebaut.

(4) $NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$

Da während der Nacht die Stickstoffmonoxidkonzentration auf dem Lande kleiner ist als in der Stadt (weniger Verkehr), wird in ländlichen Gegend auch entsprechend weniger Ozon abgebaut. In der Folge beginnt hier mit dem ersten Sonnenschein die Neuproduktion von Ozon bereits auf einem höheren Konzentrationsniveau als in der Stadt. Dementsprechend grösser fallen die Schadensbilder der Pflanzen aus.

(3.4.) Ozon und Gesundheit

(3.4.1.) Trage in die untenstehende Tabelle die Stickoxid- und Ozonkonzentrationen aus den Zeitungsausschnitten (Datensatz 1) ein. Die Zeitungsausschnitte findest Du in der Mediothek.

(3.4.2.) Besteht ein Zusammenhang zwischen Stickoxid- und Ozonkonzentrationen? Wenn ja, welcher?

(3.4.3.) Vergleiche die Ozonwerte mit der Graphik "Gesundheitsgefahren bei Ozonsmog"

Die richtige Lösung wirst Du von Deinem Lehrer erhalten.

Datum	Stickoxid (NOx)	Ozon (O_3)	sonnig: s; wolkig: w; leicht bewölkt: l

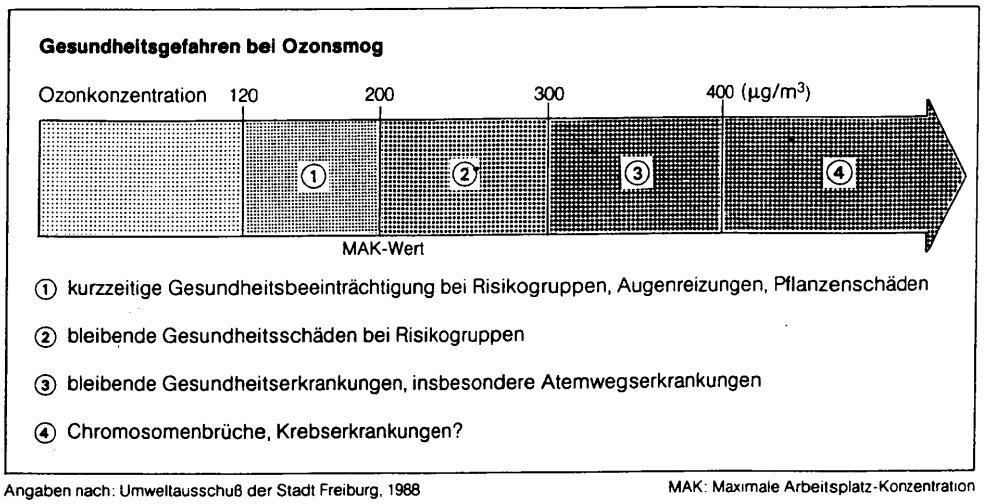


Abb. 3-3: Gesundheitsgefahren bei Ozonsmog (Brucker 1991).

Erklärungen zur Abb. 3-3:
Die Risikogruppe umfasst Kinder, Kranke, Gebrechliche und alte Menschen, sowie Arbeiter und Sportler, die sich im Freien bewegen.
Gesundheitsbeeinträchtigungen können sein:

- Reizungen von Augen, Nase Hals
- akute Atemwegserkrankungen
- erhöhte Anfälligkeit für Asthmaanfälle, Erkältungskrankheiten und Infektionen
- erhöhte Sterblichkeit

Wir haben nun sehr viel über die Ozonproduktion in Bodennähe - dem sogenannten **troposphärischen Ozon** - gesprochen. Du hast gelernt, wie dieser sekundäre Schadstoff aufgebaut wird und dass er in hohen Konzentrationen gesundheitsgefährdend ist.

Nun liest man in den letzten Jahren in der Tagespresse sehr viel über ein sogenanntes Ozonloch. Ein Loch? - also ein Mangel an Ozon? Wie kommt es dazu?

3.2.3. Stratosphärisches Ozon und das Ozonloch

Seit 1977 wird über dem Südpol etwas beobachtet, was selbst für die Wissenschaftler völlig überraschend auftrat - "das Ozonloch". Du weisst aus dem Kapitel 2.1 "Aufbau der Erdatmosphäre", dass in 20-50 km Höhe - also in der Stratosphäre - die **Ozonschicht** vorhanden ist. Diese Ozonschicht filtert einen grossen Teil des ultravioletten Sonnenlichtes heraus (Reaktion

5) und schützt so sämtliches Leben auf der Erdoberfläche vor den schädlichen Wirkung dieser Strahlung.

(5) $O_3 + hv \rightarrow O_2 + O$

Langjährige Messungen einer britischen Messstation in der Antarktis zeigten im Südpolfrühling (Sept./Okt.), dass die Dicke der Ozonschicht (bzw. die Ozonkonzentration in diesem Höhenbereich) in den letzten Jahren beträchtlich abgenommen hat - 1983 um ca. einen Drittel (Fabian, 1987, 120-121). Auch die Fläche, die das "Loch" überdeckt, wird immer grösser. 1987 war es so gross wie die Fläche der USA. Im Kapitel 2. "Primäre Schadstoffe" hast Du gelernt, dass unter anderem die FCKW für den Ozonabbau in der Stratosphäre verantwortlich sind. Warum aber entstand das Ozonloch über dem Südpol und nicht da, wo die ozonfressenden Stoffe hergestellt und verbraucht werden, also in den Industriestaaten?
Während des Winters ist die Luft am Pol in einem Ring kräftiger Westwinde (Polarjet) - dem sogenannten **Polarwirbel** - eingeschlossen und mischt sich nicht mehr mit der Atmosphäre in niedrigeren Breiten. Durch die extrem tiefen Wintertemperaturen am Südpol entstehen **stratosphärische Eiswolken**, die sich bei höheren Temperaturen wieder auflösen. In diesen Polarwolken reichern sich reaktionsträge Chlorverbindungen an, welche an den Eisteilchen in lichtempfindliche Chlormoleküle (Cl_2) umgewandelt werden. Durch die einsetzende Sonnenstrahlung im Frühling (Sept./Okt.) werden daraus reaktionsfreudige **Chlorradikale** (Cl) gebildet. Diese Radikale beginnen nun lawinenartig das Ozon abzubauen; es entsteht das sogenannte **Ozonloch** mit einem Ozongehalt, der (nach heutiger Beobachtung) 10 - 60% unter der Durchschnittskonzentration liegt. Im späten Frühjahr (November) löst sich der Polarwirbel auf. Die ozonarmen Luftmassen verteilen sich über die Südhemisphäre, während ozonreichere Luftmassen aus den mittleren Breiten in die antarktische Stratosphäre einströmen.

Auswirkungen und Folgen des Ozonlochs

Falls das Ozonloch weiterbestehen bleibt oder sogar noch zunimmt, wird dies für das Leben auf der Erde negative Folgen haben.
Das Risiko, durch die vermehrt zur Erdoberfläche gelangende ultraviolette Strahlung geschädigt zu werden, steigt: Landpflanzen und Plankton werden beeinträchtigt, d.h. es kommt zu Mutationen und eingeschränktem Wachstum. Die zunehmende UV-Strahlung auf der Erdoberfläche verursacht ein Massensterben des Planktons. Dies wird für alle Lebewesen Folgen haben, da das Plankton die Basis der Nahrungspyramide bildet.
Für Mensch und Tier steigt das Risiko von strahlungsbedingten Krankheiten. Durch intensive UV-Strahlung treten Verbrennungen der Haut auf. Weiterhin wird das Erbmaterial der Zellen geschädigt. Hautkrebs, vorzeitige Alterung der Haut und Hautallergien können durch starke

UV-Bestrahlung ausgelöst werden. Aber auch Bindehaut- und Hornhautentzündungen werden zunehmen.

D

In der Mediothek findest Du diverse Ausgaben der Zeitschrift "Spektrum der Wissenschaft". Studiere dort zur Vertiefung des Stoffes die folgenden Abbildungen: Ausgabe März 1988, Seiten 71/73, Bild 1 und 2; Ausgabe August 1991, Seiten 45/46, Bild 2, 3 und 4. Achtung: Niemand erwartet von Dir, dass Du die ganzen Berichte studierst. Falls diese Zeitschriften in der Mediothek nicht aufliegen sollten, so kannst Du diese Aufgabe einfach weglassen.

3.3. Zusammenfassung

Der Lückentext in Aufgabe (3.6.) fasst das Wesentliche dieses Kapitels kurz zusammen. Er dient Dir gleichzeitig als Lernkontrolle.

(3.5.) Überlege Dir, was der Zeichner dieser Karikatur wohl aussagen will, auf welches Problem er hinweisen möchte. Schreibe Deine Gedanken stichwortartig neben das Bild.

Abb.3-4: "Ich würde mich auf den Rückweg machen, hast' 10 Jahre Zeit!" (Haitzinger 1989, 72).

(3.6.) Fülle die Lücken im folgenden Text aus.

In der Atmosphäre bilden sich aus primären Spurenstoffen die ...., wie zum Beispiel: ....., ... und ..... .

Im Reaktionsgefäss "Atmosphäre" entsteht aus ..... und ..... unter Mithilfe von Ozon (O_3), Wasserdampf (H_2O) und ..... Schwefelsäure (H_2SO_4) resp. Salpetersäure (HNO_3). Beide Säuren sind im ..... der Atmosphäre löslich und bilden so den ..... (= Regentropfen mit gelösten Säuren) bzw. ..... (= Nebeltröpfchen mit gelösten Säuren).

Durch saure Niederschläge werden ..... und ..... geschädigt - sie ..... . Dabei ist saures Wasser einerseits für die Lebewesen direkt giftig, andererseits können durch chemische Reaktionen mit Bodenmineralien Gifte freigesetzt werden (z.B. .....). Je nach .....-Gehalt der betroffenen Böden, können die sauren Niederschläge mehr oder weniger ..... werden.

Saurer Nebel führt bei Mensch und Tier zur Schädigung der Atemwege; bei Pflanzen werden die Blätter in Mitleidenschaft gezogen. Ferner löst er kalkhaltige Baustoffe auf und zerstört so unter anderem die antiken Baudenkmäler in Athen und Rom, deren Restauration erhebliche Kosten verursacht.

Beide - saurer Regen und Nebel - werden als ..... der Komplexkrankheit "....." bezeichnet.

Beim Smog müssen wir zwischen .....- und ..... unterscheiden . Der .....- oder London-Smog entsteht bei bestimmten Wetterlagen (.....) und entsprechender Schadstoffanreicherung in den bodennahen Luftschichten. Die wichtigsten Schadstoffquellen sind dabei: .....- und ..... .

Voraussetzungen für die Bildung des .....- oder Los Angeles-Smog sind eine ....., intensive ..... und ..... (Stickoxide). Dabei laufen stark vereinfacht folgende Reaktionen ab: NO wird zu ..... oxidiert. Das Sonnenlicht spaltet ein ..... vom ..... ab. Dieses ..... verbindet sich mit dem O_2 zu ..... . Es entsteht also ..... .

In ..... unterliegt der Ozonauf- und Abbau dem ..... der NO resp NO_2-Konzentration, wobei der .....-prozess langsamer abläuft als der .....-prozess. Die Ozonkonzentration kann

auf dem Lande ..... sein als in den .....-räumen. Dies liegt daran, dass die für den Abbau verantwortlichen NO-Konzentrationen in ländlichen Gebieten ..... sind.

Während das ..... Ozon - durch die ..... der schädlichen Ultraviolettstrahlung - das Leben auf der Erde ..... , ist es in der ..... als gesundheitsschädigendes Spurengas höchst ..... Leider nimmt die Ozonkonzentration in der ..... während der letzten Jahre in alarmierender Weise ..... . Dies geschieht vor allem in der Antarktis, ist heute aber auch bereits in den Polargebieten der Nordhalbkugel messbar. Es entsteht ein eigentliches ..... . Mit anderen Worten, das Ozon ist am falschen Ort; unten ....., oben ..... .

Kapitel 4.

Quantitative Aspekte der Luftverschmutzung

Durch menschliche Tätigkeiten werden unserer Atemluft in zunehmendem Masse Stoffe zugeführt, die vorher nur in geringen Mengen oder gar nicht in ihr enthalten waren. Man spricht von Luftverschmutzung. Dabei genügen oft schon kleine Veränderungen der Volumenanteile dieser Stoffe in der Luft, um grosse Wirkungen auszulösen. In diesem Kapitel erhältst Du einen **mengenmässigen** Eindruck der Luftverunreinigung auf globaler sowie lokal-regionaler Ebene.

Der Ablauf des **Kapitels** sieht wie folgt aus:

1. Im ersten Teil beschäftigen wir uns mit der Treibhausproblematik. Du erfährst mehr über die Eigenschaften und Trends einiger bedeutender Treibhausgase und über die möglichen Auswirkungen des künstlichen Treibhauseffektes.
2. Im zweiten Teil werfen wir einen Blick auf die Luftverschmutzung in der Schweiz. Du erhältst einen Überblick über die emittierten Schadstoffmengen und über die gegenwärtige Immissionssituation.

Merke Dir die **Lernziele** dieses **Kapitels**:

- ✗ Du kennst den historischen Konzentrationsverlauf der anthropogenen Treibhausgase und die Auswirkungen der Zunahme dieser Stoffe in der Atmosphäre.
- ✗ Du kennst die Entwicklung und den Stand der Luftverschmutzung in der Schweiz.
- ✗ Du kannst das Datenmaterial, das in Form von Tabellen und Graphiken vorliegt, bearbeiten und analysieren.

4.1. Globale Luftverschmutzung - Die Treibhausproblematik

Bevor Du mit Lesen beginnst, besorge Dir zuerst bei Deinem Lehrer/Deiner Lehrerin die zu diesem Kapitel gehörenden Abbildungen. Sie helfen Dir beim Verstehen des Stoffes und beim Lösen der Aufgaben.

4.1.1. Charakteristika und Trends der klimawirksamen Spurengase

Die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre hat sich in den letzten 200 Jahren verändert. Dafür ist in erster Linie der Mensch verantwortlich. Im folgenden erhältst Du einen Überblick über die fünf wichtigsten **anthropogenen** Treibhausgase: Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), Lachgas (N_2O) und Ozon (O_3).

Kohlendioxid (CO_2)

(4.1.) Nimm Abbildung 4-1 zur Hand!

4.1.1. Um wieviele ppm ist der CO_2-Gehalt der Luft seit 1958 angestiegen?

_____

4.1.2. Wie gross ist die jährliche Zunahme von CO_2 in der Luft seit 1974?

_____

(4.2.) Noch zwei Umrechnungsaufgaben, damit Dir die Einheit ppm geläufig wird!

4.2.1. 350 ppm CO_2 entsprechen wievielen Volumenprozenten?

_____

4.2.2. Wieviele Liter CO_2 hat es gegenwärtig in 1 m^3 Luft (1 m^3 = 1000 l)?

_____

CO_2-Messungen an Luftblasen in polaren Eisbohrkernen zeigen einen **exponentiellen Anstieg** der CO_2-Konzentration vom vorindustriellen Wert (Mitte des 18. Jahrhunderts) von 280 ppm auf den heutigen Wert von 350 ppm (Abbildung 4-2). Dies entspricht einer Zunahme von

25%. Die starke Zunahme des CO_2-Gehaltes der Luft seit dem Beginn der Industrialisierung ist hauptsächlich durch den Menschen bedingt (Nutzung fossiler Energiequellen, Brandrodung der tropischen Regenwälder). Die Verweilzeit von CO_2 in der Atmosphäre liegt zwischen 50 und 200 Jahren. Deshalb wird das CO_2, das heute in die Atmosphäre ausgestossen wird, einen starken Einfluss auf die zukünftige CO_2-Konzentration haben. Allerdings muss man berücksichtigen, dass nur etwa die **Hälfte** des bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe freigesetzten CO_2 in der Atmosphäre verbleibt. Der Rest wird vorwiegend durch die Ozeane aufgenommen.

(4.3.) Die Atmosphäre enthält rund 2800 Gt CO_2 (1 Gt = 1 Gigatonne = 10^9 t). Durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe gelangten im Jahr 1985 rund 21 Gt CO_2 in die Atmosphäre. Berechne die prozentuale CO_2-Zunahme im Jahre 1985.

_____

Methan (CH_4)

Der historische Verlauf der Methankonzentration in der Atmosphäre ist demjenigen des Kohlendioxids sehr ähnlich. Seit dem Ende der letzten Eiszeit lag die CH_4-Konzentration bis vor 300 Jahren praktisch konstant bei 0.7 ppm (Abbildung 4-3). Vor etwa 100 Jahren begann die CH_4-Konzentration dramatisch zu steigen. Heute beträgt sie rund **1.7 ppm** und ist damit mehr als **doppelt** so hoch als während der vergangenen 10'000 Jahre. Methan weist zwar eine bedeutend kleinere Verweilzeit als CO_2 auf, nämlich rund 10 Jahre. Bezogen auf ein CO_2-Molekül hat ein CH_4-Molekül aber ein **21** mal höheres Treibhauspotential. Methan hält also die von der Erdoberfläche ausgehende Wärmestrahlung besser zurück als Kohlendioxid.

(4.4.) Abbildung 4-4 zeigt einen linearen Zusammenhang zwischen der Weltbevölkerung und dem CH_4-Gehalt der Luft.

4.4.1. Was schliesst Du daraus?

_____

_____

_____

4.4.2. Nenne stichwortartig vier Gründe für die CH_4-Zunahme, die direkt oder indirekt auf das Konto des Menschen gehen. Falls Du Dich nicht mehr erinnerst, nimm die Tabelle 2-1 auf S. 29 (Kap. 2.3.) zur Hand.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW)

Die heutige **troposphärische** Konzentration aller FCKW beträgt rund **1 ppb** (1 ppb = 1 part per billion = 10^{-9} = 1 Milliardstel). Sie wurde in den letzten Jahrzehnten vollständig durch den Menschen verursacht (Abbildung 4-5). Mit einer Zuwachsrate von **4%** pro Jahr nehmen die FCKW schneller zu als alle übrigen Treibhausgase. Die FCKW werden in der Troposphäre weder chemisch umgewandelt noch ausgewaschen und dringen nur langsam bis in die Stratosphäre vor. Sie reichern sich daher in der Troposphäre an. Ihr Treibhauspotential ist beträchtlich: Beispielsweise ist ein Fluorchlorkohlenwasserstoff-Molekül ($CFCl_3$ / CF_2Cl_2) etwa **21'000** mal effektiver als ein CO_2-Molekül. In der Stratosphäre sind FCKW wesentlich am Abbau von Ozon beteiligt (vergl. Kap. 3.2.3.).

Lachgas (N_2O)

Die N_2O-Konzentration hat seit der Mitte des 18. Jahrhunderts zugenommen. Ein besonders starker Anstieg ist seit der Mitte unseres Jahrhunderts feststellbar (Abbildung 4-6). Gegenwärtig beträgt die N_2O-Konzentration in der Luft **310 ppb**. Sie liegt damit um rund **8%** höher als vor der Industrialisierung. Die Verweilzeit von N_2O in der Atmosphäre liegt bei 150 Jahren. Ein N_2O-Molekül ist zwar **290** mal wirksamer als ein CO_2-Molekül. Weil es mengenmässig einen sehr kleinen Anteil an den Treibhausgasen hat, trägt N_2O aber am wenigsten zum künstlichen Treibhauseffekt bei.

Ozon (O_3)

Ozon ist ein wirksames Treibhausgas, besonders in der mittleren bis oberen Troposphäre und in der unteren Stratosphäre. Auf der Nordhalbkugel konnte im vergangenen Jahrzehnt eine deutliche Zunahme der Ozonkonzentration in der unteren Troposphäre beobachtet werden. In

der unteren Stratosphäre hingegen hat die Ozonkonzentration in derselben Zeitspanne um einige Prozent abgenommen. Leider fehlen langjährige Messreihen der Ozonkonzentration in der oberen Troposphäre. Deshalb sind zur Zeit **keine genauen quantitativen Angaben** über die Wirksamkeit von Ozon als Treibhausgas möglich.

(4.5.) Wieso ist die Ozonzunahme in den bodennahen Luftschichten praktisch nur auf der Nordhalbkugel feststellbar?

_____

_____

_____

Schau Dir die folgende Tabelle genau an! In ihr sind die wichtigsten quantitativen Informationen zu den einzelnen Treibhausgasen zusammengefasst.

Tab. 4-1: Quantitative Angaben über die wichtigsten klimawirksamen Spurengase. (Gassmann/Weber 1989, Houghton et al. 1990)

Spurengas	**CO_2**	**CH_4**	**FCKW**	**N_2O**
Vorindustrielle atmosphärische Konzentration (1750-1800)	280 ppm	0.7 ppm	0	285 ppb
Heutige atmosphärische Konzentration (1990)	353 ppm	1.7 ppm	1 ppb	310 ppb
Gegenwärtige jährliche Zuwachsrate	0.5%	0.9%	4%	0.25%
Verweilzeit in der Atmosphäre (in Jahren)	50-200	10	> 50	150
Beitrag zum künstlichen Treibhauseffekt	55%	15%	24%	6%

4.1.2. Mögliche Auswirkungen des künstlichen Treibhauseffektes

Durch die Erhöhung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre wird der natürliche Treibhauseffekt verstärkt. Um die direkte Wirkung des künstlichen Treibhauseffektes zu bestimmen, verfügt man heute über mathematische Modelle - die sog. **General Circulation**

Models (GCM). In ihnen werden die dynamischen Prozesse innerhalb des Klimasystems und die komplexen Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Komponenten beschrieben. Allerdings stellen diese Modelle **Vereinfachungen** der natürlichen Vorgänge dar. Deshalb sind die vorausgesagten Klimaveränderungen mit einer **Unsicherheit** behaftet.

Temperaturerhöhung

Für die Abschätzung der sich durch den künstlichen Treibhauseffekt ergebenden Temperaturzunahme geht man in der Regel von einer CO_2-Verdoppelung gegenüber dem vorindustriellen Wert von 280 ppm aus. Abbildung 4-7 zeigt, bezogen auf das Jahr 1765, den Verlauf des mittleren Temperaturanstieges (mittlere Kurve, best estimate) bei einer **unbeeinflussten Entwicklung der Emissionen** (Business-as-Usual-Szenario). In diesem Szenario nimmt man an, dass in Zukunft keine Massnahmen zur Verminderung und Kontrolle der Emissionen der einzelnen Treibhausgase getroffen werden. Im nächsten Jahrhundert ist dabei mit einem Temperaturanstieg von ca. **0.3 °C pro Jahrzehnt** zu rechnen. Eine derartige Temperaturzunahme wäre einzigartig für die letzten 10'000 Jahre! Im Jahr 2025 dürfte die mittlere Globaltemperatur folglich rund **1 °C** über dem heutigen Wert (+15 °C) liegen. Bis ins Jahr 2100 würde die Temperatur auf der Erde um rund **3 °C** ansteigen.

(4.6.)

4.6.1. Wie gross ist nach Abbildung 4-7 (Abbildung beim Lehrer besorgen) der Unsicherheitsbereich der erwarteten Temperaturzunahme bis zum Jahr 2100?

_____

4.6.2. Wie erklärst Du Dir diese grosse Schwankungsbreite der drei geschätzten Temperaturanstiege zueinander?

_____

_____

_____

Momentan können noch keine verlässlichen Voraussagen über die **regionale Verteilung der Temperaturänderungen** gemacht werden. Man nimmt jedoch an, dass sich die Landflächen schneller erwärmen als die Ozeane. In den höheren Breiten erwartet man eine grössere Änderung der Jahresmitteltemperatur als in den äquatorialen Gebieten. Im Winter soll der

Temperaturanstieg in den höheren Breiten gar um 50 - 100% grösser sein als im weltweiten Durchschnitt. Für die Schweiz ergeben die Modellrechnungen einen Anstieg der mittleren Sommertemperatur von 0 - 6 °C und der mittleren Wintertemperatur von 4 - 8 °C.

Mögliche Folgen einer Temperaturerhöhung

Aufgrund der Erwärmung wird der **Meeresspiegel**, bedingt durch die thermische Ausdehnung der Ozeane und durch das Abschmelzen von Eismassen ansteigen. Unter Annahme des Business-as-Usual-Szenarios wird für das Jahr 2030 ein Meeresspiegelanstieg von **20 cm** und für das Jahr 2100 von ca. **65 cm** prognostiziert (Abbildung 4-8, mittlere Kurve, best estimate). Der Unsicherheitsbereich beträgt dabei 30 - 100 cm (Kurven low und high estimate). Es ist auch hier mit regionalen Unterschieden zu rechnen. Bei einem Meeresspiegelanstieg von einem Meter würde eine ganze Reihe von Staaten bedroht (z.B. Ägypten, Bangladesh).

Probleme ergäben sich auch in der **Landwirtschaft**. Bei einer globalen Erwärmung im Bereich von 1.5 - 4.5 °C werden sich die Vegetationszonen voraussichtlich um **einige hundert Kilometer** meridional verschieben. Dadurch ändern sich die Anbaubedingungen für die traditionellen Kulturen. Besonders schwerwiegend dürften solche veränderte Verhältnisse für arme Länder mit grossem Bevölkerungswachstum und für Regionen sein, die heute schon ungünstige klimatische Voraussetzungen aufweisen.

4.2. Lokal-regionale Luftverschmutzung - Die Lage in der Schweiz

4.2.1. Schadstoff-Emissionen

Generell kann festgestellt werden, dass die Schadstoff-Emissionen in der Schweiz seit 1950 erheblich zugenommen haben. Aus Erhebungen und Berechnungen geht hervor, dass die Schadstoff-Emissionen grösstenteils durch den Menschen verursacht sind. Man unterscheidet drei Quellengruppen:

- **Verkehr**
- **Haushalte**
- **Industrie und Gewerbe (inkl. Landwirtschaft)**

Die Emissionsquellen innerhalb der drei Gruppen sind sehr vielfältig. Damit Du Dir darüber ein Bild machen kannst, besorge Dir in der Mediothek den Bericht Nr. 76 des Bundesamtes für Umweltschutz und studiere die drei Tabellen auf Seite 10 - 12.

Seit den Diskussionen um das Waldsterben stehen vor allem das **Schwefeldioxid (SO_2)**, die **Stickoxide (NO_x)** und die **Kohlenwasserstoffe (VOC)** mit ihren grossen Emissionsmengen im Zentrum. Als sogenannte Vorläufersubstanzen spielen diese Stoffe bei der Entstehung von saurem Regen und bei der Ozonbildung eine wichtige Rolle. Daneben gibt es aber noch eine Reihe anderer Schadstoffe mit kleinen Mengenanteilen, die nicht zu vernachlässigen sind. Allerdings müssen wir uns in diesem Kapitel auf die drei oben erwähnten Emissionskomponenten beschränken.

Bevor Du mit dem Lösen der Aufgaben beginnst, schau Dir die Zahlen in den entsprechenden Abbildungen in aller Ruhe an!

Tab. 4-2: Gerundete jährliche Emissionen von Schwefeldioxid, Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen von 1950 - 2010 (in 1000 Tonnen) (Bundesamt für Umweltschutz 1987, 65).

Schadstoff	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1984	1990	1995	2000	2005	2010
Schwefeldioxid	54	72	97	135	126	109	126	95	63	58	61	62	64
Stickoxide	31	46	67	110	149	162	196	214	187	147	137	140	144
Kohlenwasserstoffe	84	113	147	208	288	261	311	339	301	275	286	308	333

Tab.4-3: Gerundete jährliche Emissionen von Schwefeldioxid, Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen in den Jahren 1950, 1984 und 2010 (in 1000 Tonnen) (Bundesamt für Umweltschutz 1987, 43-47).

Quellengruppe	**SO_2**			**NO_x**			**VOC**		
	1950	1984	2010	1950	1984	2010	1950	1984	2010
Verkehr	1	6	6	9	158	79	12	90	45
Haushalte	25	23	16	4	8	10	29	42	63
Industrie und Gewerbe	28	66	42	18	48	55	43	207	225

(4.7.) In Tabelle 4-2 sind die jährlichen **Emissionsmengen** von SO_2, NO_x und VOC seit 1950 aufgeführt.

4.7.1. Stelle die Emissionsentwicklung von SO_2, NO_x und VOC in drei Kurven auf Millimeterpapier graphisch dar.

4.7.2. Vergleiche den Verlauf der drei Kurven. In welchen Punkten unterscheiden sich die drei Schadstoffe hauptsächlich?

(4.8.) Neben den emittierten Mengen interessieren uns aber auch die **prozentualen Anteile** der drei Quellengruppen am Gesamtausstoss dieser drei Schadstoffe.

Vervollständige mit Hilfe der in Tabelle 4-2 und 4-3 vorhandenen Daten die untenstehende Tabelle.

Tab.4-4: Emissionen von SO_2, NO_x und VOC (in Prozent).

Quellengruppe	**SO_2**			**NO_x**			**VOC**		
	1950	1984	2010	1950	1984	2010	1950	1984	2010
Verkehr	2%			29%			14%		
Haushalte	46%			13%			35%		
Industrie und Gewerbe	52%			58%			51%		

Die **SO_2-Emissionen** stammen hauptsächlich aus Haus- und Industriefeuerungen. Sie haben bis 1965 stark zugenommen und nehmen seither - wenn auch mit Schwankungen - ab. Dies ist im wesentlichen auf die Verminderung des Schwefelgehaltes im Heizöl zurückzuführen. Die SO_2-Emissionen werden bis 1995 annähernd auf das Niveau von 1950 sinken und anschliessend wegen dem zunehmenden Brennstoffverbrauch wieder leicht ansteigen.

Die **NO_x-Emissionen** haben seit 1950 kontinuierlich zugenommen. Die Zunahme läuft dabei parallel mit dem Anstieg des motorisierten Strassenverkehrs. Im Jahr 1984 wurden beinahe siebenmal mehr NO_x emittiert als 1950. Seither nehmen die NO_x-Emissionen wegen den neuen Abgasvorschriften (Einführung des Katalysators!) ab. Dennoch werden sie im Jahr 2000 immer noch viermal so hoch sein wie 1950.

Die **VOC-Emissionen** haben sich von 1950 bis 1984 vervierfacht. Ursache dieser Zunahme sind sowohl der motorisierte Privatverkehr als auch die zunehmende Verwendung von kohlenwasserstoffhaltigen Lösungsmitteln in Haushalt, Industrie und Gewerbe. Die VOC-Emissionen werden trotz bereits erlassener Vorschriften nur wenig abnehmen und ab 1995 infolge des Wirtschaftswachstums wieder ansteigen.

4.2.2. Immissionssituation

Die Immissionen in der Schweiz unterscheiden sich von Region zu Region. Neben den Schadstoff-Emissionen beeinflussen auch die vorherrschenden Wetterbedingungen (Temperatur, Strahlung, Wind) die auftretenden Schadstoffkonzentrationen. Da erst seit Mitte der 70er Jahre regelmässig an mehreren Orten vergleichbare Immissionsmessungen vorgenommen werden, lässt sich deren Entwicklung nicht so weit zurückverfolgen wie diejenigen der Emissionen. Im folgenden werden die längerfristigen Trends von **Schwefeldioxid (SO_2)**, **Stickstoffdioxid (NO_2)** und **Ozon (O_3)** dargelegt. Die Immissionen

durch diese drei Stoffe sind zum grössten Teil hausgemacht, d.h. der Ferntransport aus dem Ausland trägt nur wenig zur Luftbelastung in der Schweiz bei.

Anmerkung: Vielleicht sind Dir die Begriffe Immissionsgrenzwert und Luftreinhalteverordnung noch unbekannt. Dies soll Dich hier nicht weiter stören. Sie werden Dir im Kapitel 5 erklärt.

Schwefeldioxid (Hauptemittent: Feuerungen)
Die SO_2-Konzentrationen sind generell sinkend. Der Tagesmittel-Grenzwert (100 Mikrogramm/m^3) wird nur noch selten in Stadtzentren überschritten.

Stickstoffdioxid (Hauptemittent: Motorisierter Strassenverkehr)
Die NO_2-Konzentrationen sind in den Stadtzentren, in Agglomerationen und teilweise auch in den ländlichen Regionen im Jahresmittel (Grenzwert: 30 Mikrogramm/m^3) zu hoch. Ein Trend zu geringeren Belastungen ist noch nicht erkennbar.

Ozon (Sekundärschadstoff, gebildet aus NO_x und VOC)
Der Immissionsgrenzwert für das Stundenmittel (120 Mikrogramm/m^3) wird innerhalb eines Jahres in vielen Gebieten der Schweiz regelmässig überschritten. Nach der Luftreinhalteverordnung ist eine einzige Überschreitung pro Jahr erlaubt! Gegenwärtig ist bei den O_3-Konzentrationen kein abnehmender Trend feststellbar.

Prüfe mit den beiden folgenden Aufgaben, ob Du das Kapitel sorgfältig durchgearbeitet hast. Wenn Du beide Aufgaben richtig gelöst hast, kannst Du Dich beim Tutor zum Kapiteltest anmelden.

(4.9.) Treibhausproblematik:

4.9.1. Weshalb sind in absehbarer Zukunft globale Klimaveränderungen zu erwarten?

_____

_____

_____

4.9.2. Wieviel tragen die einzelnen Treibhausgase grössenordnungsmässig zum künstlichen Treibhauseffekt bei?

4.9.3. Als Folge des künstlichen Treibhauseffektes wird die Temperatur auf der Erde zunehmen. Wie warm ist es im Durchschnitt auf der Erde im Jahr 2025?

(4.10.) Luftbelastung in der Schweiz:

4.10.1. Weshalb betrachtet man die Schadstoffe SO_2, NO_x und VOC als die drei wichtigsten Emissionskomponenten?

4.10.2. In welcher Weise haben sich die Emissionen von SO_2, NO_x und VOC seit 1950 verändert?

4.10.3. Bei welchen Stoffen liegen die Emissionen heute und in absehbarer Zukunft noch massiv über den früheren Werten?

4.10.4. Warum sind die gemessenen Ozonwerte in ländlichen Gebieten oftmals höher als in den Städten?

Kapitel 5.

Massnahmen gegen die Luftverschmutzung

Die Erforschung der Prozesse in der Atmosphäre leistet einen wichtigen Beitrag zum Verständnis der Luftverschmutzung. Wenn man nicht weiss, woher die Schadstoffe kommen, wie sie entstehen und wie sie wirken, kann man keine gezielte Massnahmen gegen die Luftverschmutzung ergreifen.

Der Ablauf des **Kapitels** sieht so aus:

1. Zuerst lernst Du die gesetzlichen Grundlagen kennen, welche die Basis für Luftreinhaltevorschriften bilden.
2. Im zweiten Teil werden Dir einige konkrete Massnahmen zur Verminderung der Luftverschmutzung vorgestellt.
3. Am Schluss werden Massnahmen aufgezeigt, die Du persönlich ergreifen kannst, um einen Beitrag zur Luftreinhaltung zu leisten.

Behalte folgende **Lernziele** im Auge:

- ✗ Am Ende des Kapitels ist Dir klar, mit welchen gesetzlichen Mitteln die Luftverschmutzung vermindert oder verhindert werden kann.
- ✗ Du kannst einige wichtige Massnahmen gegen die Luftverschmutzung nennen. Du bist auch in der Lage, diese gegenüber einem Dritten zu vertreten.
- ✗ Du überlegst Dir in Zukunft, ob Dein Verhalten die Luft schädigt.

5.1. Die gesetzlichen Grundlagen

5.1.1. Die Notwendigkeit des Gesetzes

Durch die vielfältigen Auswirkungen der Luftverschmutzung werden der Mensch und seine Umwelt in verschiedenster Weise bedroht. Die Einsicht, dass dagegen etwas unternommen werden muss, ist gewachsen. Es gilt also, **Massnahmen zu ergreifen**, um die schädlichen Auswirkungen in relativ kurzer Zeit zu vermindern oder gar für immer zu vermeiden. In einem ersten Schritt sind deshalb Regelungen festzusetzen. In einem zweiten Schritt müssen diese durchgesetzt werden.

Das geeignete Instrument für dieses Vorgehen ist in der Schweiz die **Verfassung**, bestehend aus den verschiedenen **Gesetzen** und **Verordnungen**. Diese Dokumente legen Rechte und Pflichten der Bürger und des Staates fest. Mittels gesetzlicher Grundlagen lässt sich beispielsweise eine Massnahme **durchsetzen**. Was heisst das genau?

Dazu ein Beispiel:
Eine entsprechende Massnahme hat laut Gesetz für jedermann zu gelten. Weigert sich jemand, sich daran zu halten, so kann er vom Staat zur Einhaltung gezwungen werden. Das Gesetz ermächtigt diesen dazu.
In der **Bundesverfassung** stehen grundlegende Rechte und Pflichten. Der Verfassungstext ist aber relativ allgemein gehalten. Die einzelnen Artikel müssen noch detaillierter, d.h. **genauer geregelt werden.** Dies geschieht in den **Gesetzen**. Sie beruhen stets auf einem Verfassungsartikel. Über Änderungen der Verfassung und auch über neue Gesetze **kann das Volk abstimmen**. Dadurch wird sichergestellt, dass eine Bestimmung von der Mehrheit der Bürger akzeptiert wird. Die Behörden können sich bei deren Durchsetzung dann auf diesen Mehrheitswillen stützen.
Oftmals sind aber in den Gesetzen nicht alle Details geregelt. **Konkrete Werte und Angaben** werden deshalb oft in sogenannten **Verordnungen** festgelegt.

(5.1.)

5.1.1. Woraus bestehen die gesetzlichen Grundlagen?

_____

5.1.2. Wozu dienen sie im Hinblick auf die Luftverschmutzung?

_____

5.1.3. Wer entscheidet über die Annahme oder Ablehnung von Verfassungs- und Gesetzesänderungen?

_____

5.1.2. Das Umweltschutzgesetz

Aufgrund des Artikels 24^{septies} der Bundesverfassung wurde 1983 das Bundesgesetz über den Umweltschutz erlassen, das sogenannte **Umweltschutzgesetz (kurz USG)**.

Um etwas näher mit dessen Inhalt bekannt zu werden, musst Du das Gesetz in der Mediothek holen. Falls das Gesetz nicht vorliegt, überspringe diesen Abschnitt bis zum Titel "Falls das Gesetz nicht vorhanden ist..."

Und das musst Du tun:

1. Schau Dir die Überschriften der Titel und Kapitel an. Notiere diese und ordne sie dabei übersichtlich. Dadurch erhälst Du einen ersten Überblick.

2. Schau jetzt nach, wo konkret etwas über "Luftverunreinigungen" steht. Lies die entsprechenden Artikel.

3. Fasse den Inhalt dieser Artikel kurz mit eigenen Worten schriftlich zusammen. Achte dabei besonders auf Angaben über Emissionen und Immissionen.

4. Du kannst nun das Gesetz wieder zurücklegen. Deine Zusammenfassung enthält die wichtigsten Aussagen zu den Luftverunreinigungen.

Falls das Gesetz nicht vorhanden ist...

Das Umweltschutzgesetz gliedert sich in verschiedene Abschnitte. Damit Du einen Überblick bekommst, sind deren Titel im folgenden aufgeführt:

1.Titel:	Grundsätze und allgemeine Bestimmungen:	*1.Kapitel:*	Grundsätze
		2. Kapitel:	Allgemeine Bestimmungen
2.Titel:	Begrenzung der Umweltbelastung:	*1. Kapitel:*	**Luftverunreinigungen,** Lärm, Erschütterungen und Strahlen
		2. Kapitel:	Umweltgefährdende Stoffe
		3. Kapitel:	Abfälle
		4. Kapitel:	Belastungen des Bodens
3.Titel:	Vollzug, Förderung und Verfahren:	*1. Kapitel:*	Vollzug
		2. Kapitel:	Förderung
		3. Kapitel:	Verfahren
4.Titel:	Strafbestimmungen		
5.Titel:	Schlussbestimmungen		

Wie Du siehst, macht das Gesetz Aussagen über fünf verschiedene Bereiche. Uns interessiert hier speziell das 1. Kapitel im 2. Titel. Dazu steht im Gesetz folgendes in einer kurzen **Zusammenfassung**:

a) Die genannten Umweltbelastungen sollen grundsätzlich durch Massnahmen **am Ort ihres Entstehens** begrenzt werden. Die **Emissionen** sollen wenn möglich verhindert werden.

b) Die Emissionsbegrenzungen müssen **verschärft** werden, falls die Einwirkungen auf die Umgebung schädlich oder lästig werden.

c) Emissionen sind zu begrenzen, indem Vorschriften erlassen werden. Dazu gehören beispielsweise **Emissionsgrenzwerte**, Bauvorschriften, Verkehrsvorschriften u.a.. Diese gilt es einzuhalten.

d) Zur Beurteilung, ab wann Einwirkungen schaden, sind **Immissionsgrenzwerte** nötig. Sie bilden die Schädigungsgrenze.

e) Anlagen müssen **saniert** werden, wenn sie die Vorschriften des Gesetzes nicht einhalten.

Du hast bemerkt, dass das Gesetz Grenzwerte erwähnt. Es nennt aber keine konkreten Zahlen. Damit es auf den Einzelfall anwendbar ist, braucht es eine Verordnung.

(5.2.) Das Gesetz sieht Massnahmen auf verschiedenen Stufen vor:

Die Emissionen sollen begrenzt werden. Dies geschieht u.a. mit Emissionsgrenzwerten. Wenn die Einwirkungen aber schädlich werden, müssen die Emissionsgrenzwerte verschärft werden. Als Massstab für die Schädlichkeit der Einwirkungen dienen die Immissionsgrenzwerte.

Stell Dir nun folgende Situation vor:

In der Nähe einer Fabrik mehren sich die Fälle von Atemwegserkrankungen. Zuerst waren nur Kinder und alte Menschen betroffen. Nun klagen auch immer mehr Erwachsene zwischen 20 und 60 Jahren über ständigen Husten und unerträgliche Schmerzen im Hals.

Überlege Dir, was die Ursache dieser Erkrankungen sein könnte. Notiere Dir dann kurz in einigen Stichworten, was laut Gesetz in diesem Fall zu geschehen hat.

_____

_____

_____

_____

5.1.3. Die Luftreinhalteverordnung

Die **Luftreinhalteverordnung**, kurz LRV genannt, regelt vier Bereiche:

1. Die vorsorgliche Emissionsbegrenzung
2. Die Anforderungen an Brenn- und Treibstoffe
3. Die höchstzulässige Belastung der Luft (sog. Immissionsgrenzwerte)
4. Das Vorgehen für den Fall einer zu grossen Zunahme der Immissionen.

Worum geht es in diesen vier Bereichen?

1) Zur vorsorglichen Emissionsbegrenzung sind in den entsprechenden Anhängen der Verordnung Grenzwerte aufgelistet. Für die verschiedensten Stoffe wird dort genau angegeben, **welche Mengen eines Stoffes in die Luft gelangen dürfen.**

2) Auch Brenn- und Treibstoffe müssen Grenzwerte einhalten. Dabei geht es vor allem darum, den **Schwefelgehalt niedrig** zu halten.

3) Immissionsgrenzwerte legen die höchstzulässige Belastung der Luft fest. Die **Einwirkung eines Schadstoffes** an einem Ort soll diesen Wert nicht überschreiten.

4) Übersteigen die Immissionen diesen Grenzwert und lässt sich nicht ein einzelner Verursacher feststellen, muss ein Massnahmenplan aufgestellt werden. Dieser sieht **verschärfte Emissionsbegrenzungen** vor. Davon sind alle Anlagen betroffen, die den entsprechenden Schadstoff austossen.

Das Hauptinstrument der Luftreinhalteverordnung zur Bekämpfung der Luftverschmutzung sind die **Grenzwerte**. Sie bilden das Gerüst, an dem die Massnahmen "aufgehängt" werden. Werden sie eingehalten, besteht kein Grund einzugreifen. Werden sie aber überschritten, ist meist ein ganzes Bündel von Massnahmen nötig.
Ein **Grenzwert** wird definiert als die Konzentration eines Stoffes, die als **schädlich** angesehen wird, falls sie über eine bestimmte Zeit andauert.
Dazu ein Beispiel:
Wird an einem schönen Sommertag der Ozongrenzwert von 120 $\mu g/m^3$ über mehrere Stunden hinweg überschritten, leiden vorab empfindliche Personen bereits an Augenreizungen, Husten und anderen Beschwerden. Ein Grenzwert ist also nach wissenschaftlichen Erkenntnissen der **Wert, der gerade noch auf Dauer keine Schäden hervorruft.**
Der **Emissionsgrenzwert** ist die maximal zulässige Konzentration eines Schadstoffes in den **Abgasen** einer Emissionsquelle.

Der **Immissionsgrenzwert** trennt nach dem heutigen Wissensstand den unschädlichen Konzentrationsbereich vom schädlichen. Er bildet quasi die **Schädigungsgrenze.**
Die Einhaltung der Grenzwerte muss überprüft werden. Dazu sind Messungen nötig, die oft über längere Zeit am selben Ort durchgeführt werden. Die andauernde Überschreitung der Grenzwerte löst bestimmte Massnahmen gegen die Luftverschmutzung aus.

(5.3.)

5.3.1. Welches ist das Hauptinstrument der LRV?

_____

5.3.2. Wie wird das Hauptinstrument definiert?

_____

_____

5.3.3. Überlege Dir den Unterschied zwischen Emissions- und Immissions-grenzwerten.

_____

_____

_____

_____

5.2. Massnahmen

Um die oftmals überschrittenen Grenzwerte einhalten zu können, sind konkrete Massnahmen nötig. Als Massnahme gilt dabei jede Handlung, die geeignet ist, einen Beitrag zur Verminderung der Luftverschmutzung zu leisten. Für die Vielzahl von Emittenten sind auch entsprechend unterschiedliche Massnahmen zu treffen.
Wir beschäftigen uns hier mit folgenden Emittentengruppen:

- Feuerungen
- Personenverkehr

- Güterverkehr
- Industrie und Gewerbe

Massnahmen, die Feuerungen betreffen:
Hier gilt es, die Emissionen an NO_X und SO_2 zu verringern. Die entsprechenden Grenzwerte der Luftreinhalteverordnung geben das Ziel vor. Es wird durch folgenden Massnahmen erreicht:

- Benützung schwefelarmer Brennstoffe
- Benützung von Brennern, die weniger NO_X emittieren
- Einsparung von Heizenergie durch:
  - die Isolation von Gebäuden
  - die individuelle, verbrauchsabhängige Heizkostenabrechnung. (Wer weniger verbraucht, zahlt weniger!).
  - finanzielle Anreize des Staates zur Förderung von Alternativenergien, wie Sonne und Erdwärme.
  - Steuer-Abzugsmöglichkeiten von Energiesparinvestitionen an Gebäuden.
  - richtige Wartung und Einstellung der Heizung.
  - das Ersetzen alter Heizanlagen durch neue, abgasarme, richtig dimensionierte Anlagen.

Massnahmen, die den Personenverkehr betreffen:
Hier geht es vor allem darum, das Umsteigen auf die emissionsärmeren, öffentlichen Verkehrsmittel zu fördern. Dies kann durch verschiedene Massnahmen geschehen:

- **Steigerung der Reisegeschwindigkeit** im öffentlichen Verkehr, Verbesserung von Zuverlässigkeit und Komfort.
- **Weniger Parkplätze** in der Stadt anbieten. Die restlichen Parkplätze **verteuern**.
- Zusätzliche **'Park+Ride'-Anlagen** bei Bahnhöfen erstellen. Autofahrer können dort ihr Auto zu günstigen Preisen parkieren und auf die Bahn umsteigen.
- **Abgaben** auf Treibstoffe erheben. Damit wird der Privatverkehr verteuert. Dies soll einen finanziellen Anreiz geben, das evt. billigere, öffentliche Verkehrsmittel zu benützen.

- Um die Autos selbst abgasärmer fahren zu lassen, werden die **Abgasvorschriften verschärft**. Regelmässige **Kontrollen** sorgen für deren Einhaltung.

Massnahmen, die den Güterverkehr betreffen:
Wie beim Personenverkehr sollen auch hier die Abgasgrenzwerte eingehalten werden. Dazu müssen die technischen Sparmöglichkeiten ausgeschöpft werden.

- Altfahrzeuge gilt es, so rasch als möglich durch abgasärmere Fahrzeuge zu ersetzen. Eine **regelmässige Abgaskontrolle** sorgt auch hier für die Einhaltung der Vorschriften.
- **Vermeidung von Leerfahrten**. Umstellung des Transports von **Gütern auf die Bahn**.
- **Geschwindigkeitsreduktionen** für Personen- und Güterfahrzeuge sollen bewirken, dass weniger Schadstoffe emittiert werden.

Massnahmen, die die Industrie und das Gewerbe betreffen:
Hier gelten dieselben Massnahmen wie bei den Feuerungen. Zusätzlich soll der Verbrauch von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) gesenkt werden. Dies kann mittels folgender Massnahmen erreicht werden:

- Verteuerung oder Ersatz der VOC.
- Verbilligung lösemittelarmer Produkte.
- Freigesetzte VOC auffangen und in den Verarbeitungsprozess zurückführen.
- Rauchgasreiniger einbauen.
- Abfälle separat sammeln und rezyklieren, d.h. der Wiederverwertung zuführen. Dadurch werden Emissionen, die bei deren Verbrennung bzw. die bei der Neuproduktion des Stoffes anfallen würden, vermieden.

(5.4.) Zähle zu folgenden Emittentengruppen alle Massnahmen auf, die Du kennengelernt hast.

Feuerungen	Personenverkehr	Güterverkehr	Industrie+Gewerbe

5.3. Was kann ich gegen die Luftverschmutzung tun?

Die Luftreinhalte-Ziele sind vorgegeben. Wie Du gesehen hast, wurden dazu Vorschriften erlassen. Sie sollen helfen, das Gemeinwohl und jeden Einzelnen zu schützen. Besser als Vorschriften sind jedoch **freiwillige Massnahmen**. Jeder Einzelne oder jeder Betrieb sollte dabei seine Verantwortung für eine saubere Luft wahrnehmen. Es gilt, das eigene Verhalten wo nötig zu ändern. Dies umso mehr, als heute schon absehbar ist, dass technische Vorschriften und politische Massnahmen allein nicht ausreichen, die Luftreinhalte-Ziele innert nützlicher Frist erreichen zu können.

Die freiwillige Beschränkung ist deshalb nötiger denn je. **Dabei kannst auch Du mithelfen**. Der Vorteil ist, dass Du selbst bestimmen kannst, wie Du Dein Verhalten änderst. Es bleibt Dir überlassen, mit welchen technischen und anderen Mitteln Du das Ziel "Saubere Luft" anstreben willst.
In den folgenden Abschnitten wird kurz zusammengefasst, was Du gegen die Luftverschmutzung unternehmen kannst.

Im Verkehr:
Es gilt allgemein: **weniger Auto und Motorrad fahren!**
Wo weniger gefahren wird, entstehen auch weniger Abgase. Unnötige Fahrten solltest Du vermeiden. Geh zu Fuss oder nimm das Velo auf kurzen Strecken. Benütze das Tram und die Bahn.

Solltest Du das Mofa oder das Auto trotzdem benötigen: fahre **weniger schnell und gleichmässiger**. Spurtbeschleunigungen wirken zwar "toll", belasten die Luft aber unnötigerweise mit zusätzlichen Schadstoffen! Stelle den Motor im Stand ab. Benütze Autos mit Katalysator. **Fahrt gemeinsam:** ein Auto mit vier Personen belastet die Luft weniger als vier Autos mit einer Person!

Beim Heizen (mit Holz, Öl, Gas):
Reduziere die Raumtemperatur: Wo weniger geheizt werden muss, gibt es auch weniger Abgase. Die Zimmer solltest Du im Winter nur **kurz, dafür kräftig lüften**.

In der Schule:
Ersetze umweltbelastende Stoffe in Deinem Schulmaterial durch emissionsärmere: **Umweltschutzpapier** ist wiederverwertetes Altpapier und verbraucht bei seiner Herstellung weniger Energie und Rohstoffe. Dadurch werden auch weniger Abgase erzeugt. Das gleiche gilt für andere rezyklierbare (wiederverwertbare) Stoffe. Also: mach mit beim Recycling in der Schule. Wie beim Heizen gilt auch hier: **Raumtemperatur senken, nur kurz und kräftig lüften**.

Zu Hause:
Wenn Du **weniger Abfall** produzierst, erzeugst Du auch weniger Schadstoffe bei dessen Verbrennung! Achte schon beim Einkaufen auf überflüssiges Verpackungsmaterial.
Küchen- und Gartenabfälle, Altglas, Altpapier, Pet-Flaschen, Aluminium und Altmetall sind wiederverwertbar. Sie gehören deshalb nicht in den Abfallkübel, sondern zur **Sammelstelle**. **Batterien, Altöl, Leuchtstofflampen und Lösungsmittel** müssen separat abgegeben werden. Bei deren Verbrennung würden giftige Schadstoffe entstehen. Um die Ozonschicht in der Stratosphäre zu schützen, solltest Du **auf Spraydosen mit Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) als Treibmittel verzichten**.

(5.5.) Max ist eben erst von der Schule nach Hause gekommen. Der Lehrer hat sie wieder einmal mit einem Stoss Hochweisspapier eingedeckt, den sie übers Wochenende durcharbeiten sollen. Dabei wollte er doch Skifahren gehen! Seine Eltern wollten ihm sogar das Auto geben! Er hätte grosse Lust, den ganzen Stoss Papier in den Abfallkübel zu werfen. Ihm wird heiss vor Ärger. Er reisst das Fenster in seinem

überheizten Zimmer auf. Die kühle Luft tut gut. Es wird Zeit zum Abendessen. Er lässt das Fenster offen und geht in die Küche. Seine Mutter möchte, dass er die Küchenabfälle entsorgt. Er schmeisst sie in den Abfallkübel. Zu allem Unglück brennt auch noch die Neonlampe in der Küche durch! Max erklärt sich bereit, sie auszuwechseln. Die durchgebrannte Röhre landet im Abfalleimer. "So", denkt er, "dieses Abendessen habe ich mir verdient."

Deine Aufgabe ist es nun, Max auf seine Versäumnisse hinzuweisen. Was hätte er tun bzw. nicht tun sollen, damit nicht noch zusätzliche Schadstoffe in die Luft gelangen? Gib Deine Antwort in kurzen Stichworten.

(5.6.) Nachfolgend siehst Du einen Auszug aus dem Anhang 7 der Luftreinhalteverordnung. Die Immissionsgrenzwerte für Schwefeldioxid und Ozon sind angegeben.

Schadstoff	Immissionsgrenzwert	Statistische Definition
Schwefeldioxid	30 µg/m^3	Jahresmittelwert
	100 µg/m^3	95% der 1/2-h-Mittelwerte eines Jahres _ 100 µg/m^3
	100 µg/m^3	24-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Ozon	100 µg/m^3	98% der 12-h-Mittelwerte eines Monats_100 µg/m^3
	120 µg/m^3	1-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden

(µg = Mikrogramm; 1 µg = 0.001 mg)

Welchem Zweck dient das Aufstellen von Immissionsgrenzwerten? Gib Deine Antwort in kurzen Sätzen.

(5.7.) Stell Dir vor, Du wärst in Deinem Wohnkanton zuständig für den Verkehr. Messungen haben ergeben, dass die Immissions-Grenzwerte in letzter Zeit massiv überschritten werden. Deine Verwaltungsabteilung wird vom Regierungsrat aufgefordert, Massnahmen zur Senkung der Schadstoffe vorzuschlagen. Der Regierungsrat verlangt von Dir mindestens drei Massnahmen für den Verkehr, die in relativ kurzer Zeit realisierbar sind. Welche würdest Du vorschlagen? Begründe Deine Wahl.

(5.8.) a) Notiere die Massnahmen, welche Du bereits persönlich für eine saubere Luft triffst.

b) Überlege Dir dann, was Du noch tun könntest.

Stelle diese Massnahmen einander gegenüber!

Massnahmen aus a)	Massnahmen aus b)

Schlusswort

Herzliche Gratulation! Du bist am Ende des Leitprogramms angelangt und damit ein kleiner Experte in Sachen Luftverschmutzung geworden. Sicher wirst Du die komplexe Problematik der Luftverschmutzung jetzt mit andern Augen betrachten. Du bist nun fähig, die durch die Massenmedien täglich verbreiteten Luft-Informationen kritisch zu beurteilen und selber "luftschonender" zu handeln. Gib Dein Wissen weiter und erkläre interessierten Freunden und Nachbarn die Zusammenhänge.

Probleme wie Treibhauseffekt, Ozonloch, Waldsterben, Smogalarm können leider nicht von heute auf Morgen aus der Welt geschaffen werden. Durch die Prozessverständnisse, die Du beim Durcharbeiten dieses Leitprogramms gewonnen hast, kennst Du aber die Ursachen und Wirkungen der Vorgänge. Mit diesem Verständnis kann die Luftverschmutzung zumindest gebremst und gezielte Änderungen unserer Lebensweise in Angriff genommen werden.

Lösungen

Kapitel 1.

(1.1.) +8.7°C

(1.2.)

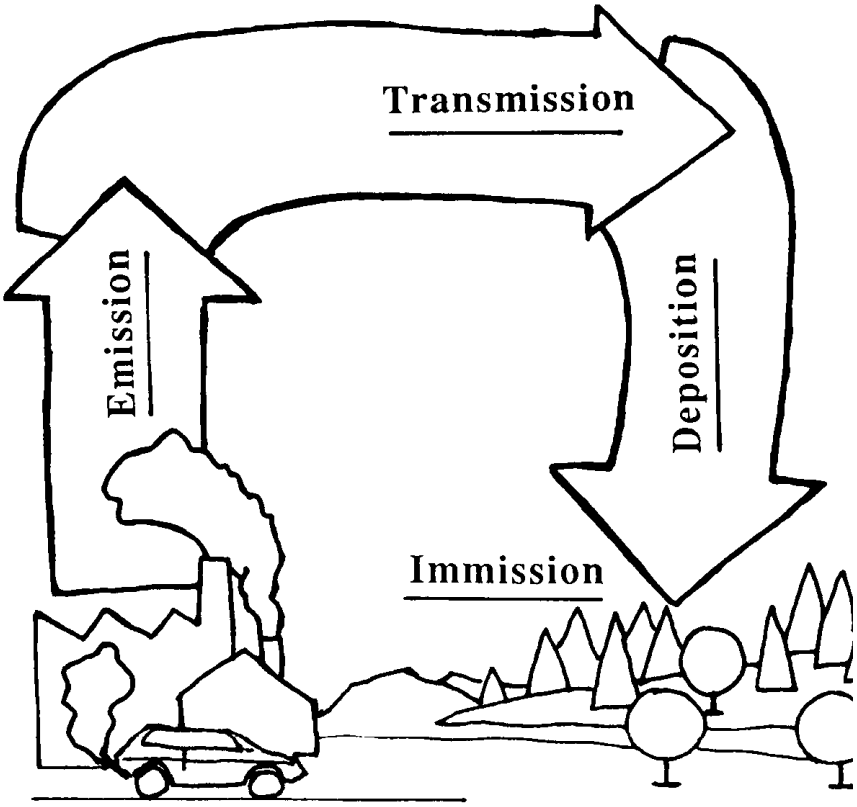


Abb.1-4 mit Lösung.

(1.3.) In der Troposphäre sinkt die Lufttemperatur um etwa 0.6°C pro 100 m. Wegen der Ozonschicht steigt danach in der Stratosphäre die Lufttemperatur bis zur Stratopause wieder an. In der Mesosphäre sinkt die Lufttemperatur allmählich wieder ab.

(1.4.) In den Wolken:

- Etwa ein Fünftel (21%) wird direkt wieder in den Weltraum zurückgestrahlt.
- Ein Viertel (24%) wird absorbiert und in Wärme umgewandelt.

An den Luftmolekülen:

- 20% gehen in diffuse Strahlung über (indirekte Einstrahlung)

- 5% werden direkt reflektiert.

(1.5.) Emission: Ausströmen von Luftschadstoffen.

Transmission: Verteilung und Umwandlung von Schadstoffen.

Deposition: Ablagerung der Schadstoffe.

Immission: Einwirken der Schadstoffe auf eine Kontaktfläche.

Sind Dir nun die wichtigsten Grundbegriffe und Zusammenhänge klar? Wenn Du noch Fragen hast, lies das entsprechende Kapitel nochmals durch. Mit sicherem Grundwissen kannst Du Dich dann zum Tutorentest melden.

Kapitel 2.

(2.1.)

2.1.1. Das Wachstum der beiden Kurven verläuft ziemlich genau identisch. Nach relativ bescheidenen Wachstumsraten im 19. Jahrhundert, sind beide Kurven in neuester Zeit zu exponentiellem Wachstum übergegangen. Dies deutet daraufhin, dass der Mensch mit seinen Aktivitäten einen entscheidenden Einfluss auf den CO_2-Gehalt der Atmosphäre hat. Folgende Aktivitäten dürften hauptsächlich dazu beitragen:

• Verbrennung fossiler Brennstoffe durch Industrie, Heizen, Verkehr etc.

• Rodung des tropischen Regenwaldes (Verminderung des durch Photosynthese fixierten CO_2 und zusätzlicher Ausstoss bei Brandrodung).

2.1.2. Wiederum weisen die beiden Kurven erstaunliche Übereinstimmung auf. Der Grobverlauf über die letzten 150'000 Jahre ist nahezu parallel. Kältere Zeiten (Eiszeiten) gehen mit niedrigeren CO_2-Gehalten einher. Es fällt auf, dass dies in neuester Zeit nicht mehr stimmt. Der CO_2-Gehalt ist buchstäblich explodiert. Diese Tendenz hat die Temperatur zum Glück (noch ?) nicht mitgemacht.

ACHTUNG: Schau Dir immer die Einheiten auf den Achsen an.

Mit Graphiken kann man viele Effekte vortäuschen!!!!

(2.2.)

2.2.1. Die Schwankungen sind sehr gross! Von Ort zu Ort und von Jahr zu Jahr betragen sie 30 bis 50%!

2.2.2. Auf Grund dieser Tatsache kann man den Rückgang nicht seriös als Verbesserung interpretieren. Solch sprunghafte Veränderungen können nicht von Tendenzen im Ausstoss herrühren! Es muss andere Gründe geben! Häufig ist es das Klima, die Witterung. In diesem Fall führte der sehr milde, warme Winter 1989/90 dazu. Die hohen Temperaturen verhinderten jegliche winterlichen Smogsituationen (mit Inversionslagen - siehe Kapitel 3.) und es wurde beträchtlich weniger geheizt. Man muss jedoch festhalten, dass die Katalysatortechnik zur Ausstossreduktion beiträgt.

(2.3.)

a) Mögliche Antworten:

• Einführung von Brennstoffen mit geringerem Schwefelgehalt.

• Ersetzen von Erdöl durch Erdgas.

• Verbesserungen im Bereich der Gebäudeisolierungen und deshalb weniger Brennstoffverbrauch

b) Beim Schwefeldioxid hängt die Menge des Ausstosses hauptsächlich vom Schwefelgehalt des Brennstoffes ab. Bei den Stickoxiden ist dies nicht der Fall (ein Brennstoff enthält keinen Stickstoff). Sie entstehen durch Umwandlungen von N_2 bei hohen Temperaturen.

(2.4.)

2.4.1. Die Emissionen dieser Quellen haben eine vielfältige Zusammensetzung, die häufig nicht bekannt ist und zeitlich sehr schwanken kann. Dadurch ist es schwierig, Massnahmen dagegen zu treffen.

2.4.2. Sie ist ein sehr kleines Reservoir, was folgende Inhalte und Verhältniszahlen zeigen:

Atmosphäre	Lithosphäre	Hydrosphäre	
700	70'005'000	40'000	in Gigatonnen
1	100'000	ca. 60	als Verhältniszahlen

Dies gilt auch für das CO_2 und bewirkt eine kleinere Verweilzeit des CO_2 in der Atmosphäre. Dadurch haben antropogene Einflüsse eine grössere Wirkung auf die CO_2-Konzentration in der Luft.

2.4.3. Es ist Methan. Die Quellen sind: Mikrobielle Vorgänge in Sümpfen, Reisfeldern und Grasländern / Verdauungstrakte von Wiederkäuern / Vulkane u.a.m..

2.4.4. Wenn Hans in einer Gegend mit starker Stickoxidbelastung wohnt, kann dies der Grund für seine vergeblichen Bemühungen sein. Durch Nass- und Trockendeposition wird der Boden mit Stickstoff gedüngt und so der Prozess der Nährstoffverarmung des Bodens verzögert.

Kapitel 3.

(3.1.) A: O_3 (Ozon) B: OH (Hydroxylradikal) C: H_2SO_4 (Schwefelsäure)

D: HNO_3 (Salpetersäure) E: hv bzw. Sonnenlicht, Photon

(3.2.) In den Geschiebeablagerungen der Alpenrandseen befindet sich viel Kalk, der die Säure neutralisiert. In Skandinavien dagegen gibt es seit der Eiszeit keine Kalksedimente mehr in den Seen. Ausserdem besteht der geologische Untergrund zu einem grossen Teil aus kalkfreien, kristallinen Gesteinen (z.B. Granit, Gabbro, Gneis, Schiefer). Mit anderen Worten: Die Säure-Neutralisationskapazität der Alpenrandseen ist noch genügend gross, um den Säureeintrag durch die sauren Niederschläge zu kompensieren.

(3.3.) Der saure Regen stellt nur eine Komponente der "Komplexkrankeit Waldsterben" dar. Die Krankheit hat offenbar ganz unterschiedliche Ursachen, wobei Synergieeffekte (Zusammenwirken verschiedener Faktoren) nicht auszuschliesen sind. Man bezeichnet den sauren Regen deshalb auch als "Mitverursacher".

(3.5.) Möglicher Gedanke: Zerstörung der Ozonschicht = Zerstörung des Lebens. Der Geist aus der FCKW-Flasche gibt der Menschheit nur noch eine Galgenfrist von 10 Jahren, um die Gefahr einer, von der Zivilisation verursachten Zerstörung der Ozonschicht abzuwenden. Andernfalls zerstört der Mensch innert kürzester Zeit das, für dessen Existenz die Evolution 350 Mio. Jahre benötigte.

(3.6.) Lösung der Zusammenfassung:

In der Atmosphäre bilden sich aus primären Spurenstoffen die **sekundären Schadstoffe**, wie zum Beispiel **Ozon (O_3), Schwefelsäure (H_2SO_4) und Salpetersäure (HNO_3).**

Im Reaktionsgefäss "Atmosphäre" entsteht aus **Schwefeldioxid (SO_2)** und **Stickoxid (NO_X)** unter Mithilfe von Ozon (O_3), Wasserdampf (H_2O) und **Sonnenlicht** Schwefelsäure (H_2SO_4) resp. Salpetersäure (HNO_3). Beide Säuren sind im **Wasserdampf** der Atmosphäre löslich und bilden so den **sauren Regen** (= Regentropfen mit gelösten Säuren) bzw. **Nebel** (= Nebeltröpfchen mit gelösten Säuren).

Durch saure Niederschläge werden **Böden** und **Gewässer** geschädigt - sie **versauern**. Dabei ist saures Wasser einerseits für die Lebewesen direkt giftig, andererseits können durch chemische Reaktionen mit Bodenmineralien Gifte freisetzt werden **(z. B. Aluminium-Ionen)**. Je nach **Kalk**-Gehalt der betroffenen Böden, können die sauren Niederschläge mehr oder weniger **neutralisiert** werden.

Saure Nebel führt bei Mensch und Tier zur Schädigung der Atemwege; bei Pflanzen werden die Blätter in Mitleidenschaft gezogen. Ferner löst er kalkhaltige Baustoffe auf und zerstört so

unter anderem die antiken Baudenkmäler in Athen und Rom, deren Restauration erhebliche Kosten verursacht.

Beide - saurer Regen und Nebel - werden als **Mitverursacher** der Komplexkrankheit **"Waldsterben"** bezeichnet.

Beim Smog müssen wir zwischen **Winter-** und **Sommersmog** unterscheiden . Der **Winter-** oder London-Smog entsteht bei bestimmten Wetterlagen (**Inversion**) und entsprechender Schadstoffanreicherung in den bodennahen Luftschichten. Die wichtigsten Schadstoffquellen sind dabei: **Industrie**- und **Hausfeuerungen**.

Voraussetzungen für die Bildung des **Sommer**- oder Los Angeles-Smog sind eine **Inversion**, intensive **Sonneneinstrahlung** und **Abgase** (Stickoxide). Dabei laufen stark vereinfacht folgende Reaktionen ab: NO wird zu $\mathbf{NO_2}$ oxidiert; das Sonnenlicht spaltet ein **O-Atom** vom $\mathbf{NO_2}$ ab. Dieses **O-Atom** verbindet sich mit dem O_2 zu $\mathbf{O_3}$**.** Es entsteht also **Ozon**.

In **Bodennähe** unterliegt der Ozonauf- und Abbau dem **Tagesgang** der NO resp NO_2-Konzentration, wobei der **Abbau**-prozess langsamer abläuft als der **Aufbau**-prozess. Die Ozonkonzentrationen kann auf dem Lande **höher** sein als in den **Ballungs**-räumen. Dies liegt daran, dass die für den Abbau verantwortlichen NO-Konzentrationen in ländlichen Gebieten **kleiner** sind.

Während das **stratosphärische** Ozon - durch die **Absorption** der schädlichen Ultraviolettstrahlung - das Leben auf der Erde **schützt**, ist es in der **Troposphäre** als gesundheitsschädigendes Spurengas höchst **unerwünscht**. Leider nimmt die Ozonkonzentration in der **Stratosphäre** während der letzten Jahre in alarmierender Weise **ab**. Dies geschieht vor allem über der Antarktis, ist heute aber auch bereits in den Polargebieten der Nordhalbkugel messbar. Es entsteht ein eigentliches **Ozonloch**. Mit anderen Worten, das Ozon ist am falschen Ort; unten **zuviel**, oben **zuwenig**.

Kapitel 4.

(4.1.)

4.1.1. ~ 35 ppm

4.1.2. ~ 1.4 ppm/Jahr

(4.2.)

4.2.1. 0.035 Vol.% CO_2

4.2.2. 0.35 l CO_2

(4.3.) 1985 betrug die CO_2-Zunahme in der Atmosphäre rund 0.38%.

(4.4.)

4.4.1. Durch den starken Anstieg der Weltbevölkerung seit rund 300 Jahren haben auch die **menschlichen Aktivitäten** auf der Erde massiv zugenommen. Dadurch gelangte immer mehr CH_4 in die Atmosphäre.

4.4.2. CH_4-Emissionen entstehen

- durch mikrobiologische Fäulnisprozesse in Mülldeponien,
- bei der Verbrennung von Wäldern und Savannen in den Tropen und Subtropen,
- beim anaeroben Abbau von organischem Material im Wasser von Reisfeldern,
- bei der Gärung im Magen von Wiederkäuern (Rindern),
- durch Entweichen von Gas bei der Förderung und Verteilung von Kohle, Öl und Erdgas.

(4.5.) Ozon entsteht bei starker Sonneneinstrahlung aus Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen. Diese Stoffe werden heute vorwiegend in den **Industriestaaten** der Nordhemisphäre produziert. Ausnahmen bilden die grossen Millionenstädte auf der Südhalbkugel.

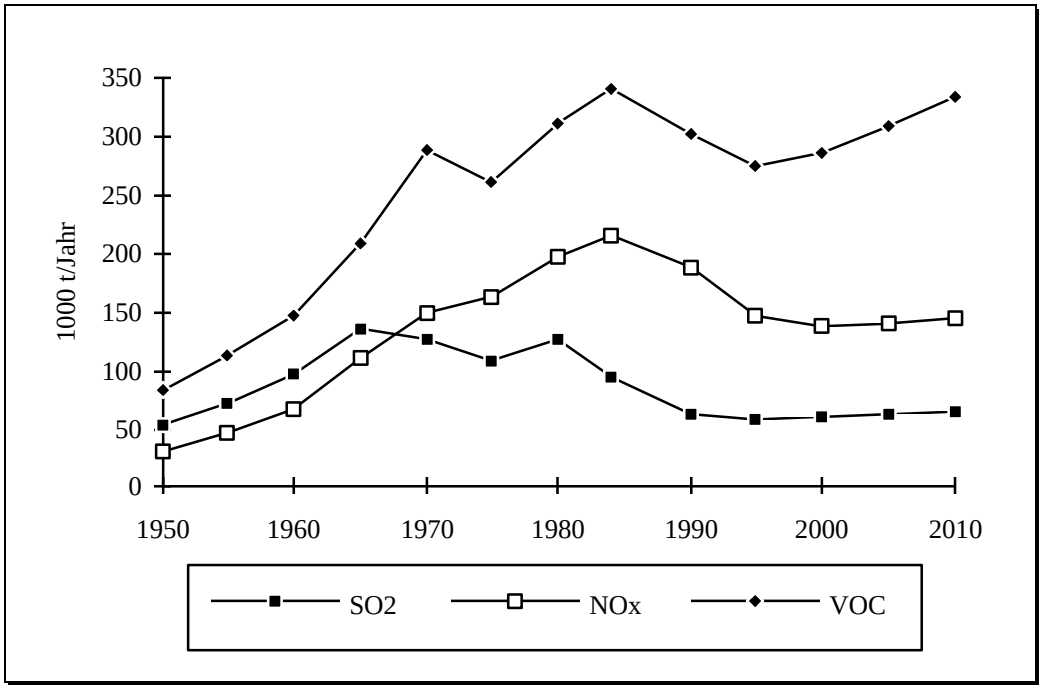
(4.6.)

4.6.1. Der erwartete Unsicherheitsbereich beträgt 3°C (low estimate: ca. 3°C, high estimate ca. 6°C).

4.6.2. Die Voraussagen basieren auf Computermodellen, in welchen die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Klimafaktoren **gar nicht** oder nur **vereinfacht** berücksichtigt sind. Daher sind die Ergebnisse mit grossen Unsicherheiten behaftet.

(4.7.)

4.7.1.



4.7.2. 1. Unterschiede in den **emittierten Mengen**:

Generell werden bedeutend mehr NO_x als SO_2 ausgestossen. Die NO_x-Emissionen werden allerdings von den VOC-Emissionen bei weitem übertroffen.

2. Unterschiede in der **zeitlichen Entwicklung**:

Die SO_2-Emissionen erreichten ihr Maximum Mitte der 60er Jahre und nehmen seit Anfang der 80er Jahre kontinuierlich ab. Der zunehmende Trend bei den NO_x- und VOC-Emissionen hat hingegen bis 1984 angehalten.

(4.8.)

Quellengruppe	**SO_2**			**NO_x**			**VOC**		
	1950	1984	2010	1950	1984	2010	1950	1984	2010
Verkehr	**2%**	*6%*	*9%*	**29%**	*74%*	*55%*	**14%**	*27%*	*13%*
Haushalte	**46%**	*24%*	*25%*	**13%**	*4%*	*7%*	**35%**	*12%*	*19%*
Industrie und Gewerbe	**52%**	*70%*	*66%*	**58%**	*22%*	*38%*	**51%**	*61%*	*68%*

(4.9.)

4.9.1. Alle wichtigen, vom Menschen verursachten Treibhausgase weisen heute im Vergleich zu den natürlicherweise vorkommenden Konzentrationen **deutlich höhere** Konzentrationen auf.

4.9.2. Kohlendioxid: 55% / Methan: 15% / Fluorchlorkohlenwasserstoffe: 24% / Lachgas: 6% / Ozon: Nicht quantifizierbar, da zu wenig Messungen.

4.9.3. + 16 °C

(4.10.)

4.10.1. Es gelangen jährlich **grosse Mengen** dieser Stoffe in die Luft, wo sie an der Bildung des sauren Regens und des Ozons beteiligt sind. Ihre Umweltbeeinträchtigung ist nicht zu vernachlässigen.

4.10.2. Generell haben die Emissionen aller drei Stoffe seit 1950 zugenommen, allerdings **in unterschiedlichem Ausmass und in unterschiedlicher Geschwindigkeit**. 1984 betrugen die NO_x- und VOC-Emissionen ein Vielfaches der im Jahre 1950 emittierten Mengen. Die SO_2-Emissionen begannen schon früher abzunehmen.

4.10.3. Bei den Stickoxiden und den flüchtigen Kohlenwasserstoffen.

4.10.4. Je nach Wetterlage wird das Ozon über weite Entfernungen verfrachtet. Weil das Ozon durch frisch emittierte Schadstoffe wieder abgebaut werden kann, misst man erhöhte Ozonkonzentrationen in der Umgebung von Städten und in ländlichen Gegenden.

Kapitel 5.

(5.1.)

5.1.1. Verfassung, Gesetze und Verordnungen

5.1.2. Sie dienen dazu, Regelungen festzusetzen, die für jedermann gelten. Damit lassen sich Massnahmen durchsetzen.

5.1.3. das Volk

(5.2.) Offenbar ist ein Schadstoff aus den Abgasen der Fabrik die Ursache für die Atemwegserkrankungen. Um dies in Zukunft zu verhindern, müssen die entsprechenden Emissionen gesenkt werden. Die Emissionsgrenzwerte sind also zu verschärfen.

(5.3.)

5.3.1. Grenzwerte

5.3.2. Als Konzentration eines Stoffes, die als schädlich angesehen wird, wenn sie über eine gewisse Zeit andauert.

5.3.3. Emissionsgrenzwerte legen die max. Konzentration eines Stoffes am Ort seines Entstehens fest. Immissionsgrenzwerte stellen die Grenze dar, über welcher die Schadstoff-Einwirkungen an einem Ort schädlich wird.

(5.4.) Du findest die richtigen Lösungen im Text. Alles, was in Fettschrift gedruckt ist, kann als Massnahme ergriffen werden. Dies ist jedoch nur eine Auswahl! Es ist möglich, dass Du Dir auch andere nützliche Massnahmen überlegt hast. Diese gelten selbstverständlich auch als richtige Lösungen. Wenn Dir zu jedem Block nicht mindestens 3 Massnahmen eingefallen sind, so lies die Massnahmen im Lerntext noch einmal durch.

(5.5.)
- Lehrer darauf aufmerksam machen, Umweltschutzpapier zu verwenden.
- Papier sammeln. Es ist wiederverwertbar.
- Mit der Bahn Skifahren gehen.
- Nur kurz lüften und die Raumtemperatur generell senken.
- Küchenabfälle auf den Kompost werfen.
- Neonlampen sind Leuchtstofflampen. Sie gehören in den Sondermüll.

(5.6.) Deine Antwort sollte etwa mit folgendem Wortlaut übereinstimmen:

Immissionsgrenzwerte trennen den schädlichen Konzentrationsbereich vom unschädlichen. Deren Überschreiten löst Massnahmen aus, die den Ausstoss von Emissionen senken sollten. Da Immissionsgrenzwerte durch das Umweltschutzgesetz vorgesehen sind, lässt sich ihre Einhaltung auch durchsetzen. Entsprechende Massnahmen müssen akzeptiert werden.

(5.7.) Folgende Antworten sind möglich:

- Verbesserungen im öffentlichen Verkehr: Steigerung der Reisegeschwindigkeit und der Zuverlässigkeit. Das Umsteigen vom Auto soll damit gefördert werden.
- Weniger Parkplätze anbieten und diese verteuern. Die Mehrkosten sollen Autofahrer zum Umsteigen auf das evt. billigere öffentliche Verkehrsmittel veranlassen.
- Abgabe auf Treibstoffen erheben. Die erhöhten Kosten für das Benzin lassen das evt. billigere öffentliche Verkehrsmittel attraktiver erscheinen.
- Verschärfung der Abgasvorschriften und regelmässige Kontrollen. Senkung des Schadstoffausstosses bei Autos.
- Geschwindigkeitsreduktionen. Dadurch wird der Schadstoffausstoss vermindert.

(5.8.) Hier ein Beispiel einer Lösung. Die einzelnen Massnahmen sind selbstverständlich von einer Gruppe zur anderen verschiebbar. Die Aufteilung ist ganz von Deinem persönlichen Verhalten abhängig.

a) Getroffene Massnahmen	**b) Mögliche Massnahmen**
- Batterien sammeln	- Raumtemperatur senken
- Papier und Alu sammeln	- kurz, aber kräftig lüften
- Velo benutzen	- Umweltschutzpapier verwenden
	- Altmetall und Glas sammeln
	- Leuchtstofflampen
	- Individuelle Heizkostenabrechnung fordern
	- Auf Spraydosen mit FCKWverzichten.

Schadstoff	**Hauptquellen (Emittenten)**	**Beteiligte Prozesse**	**Wirkungen auf den Mensch**	**Wirkungen auf die Natur**	**Tendenzen im Ausstoss**
Kohlendioxid (Kohlenmonoxid)	- Verkehr - Heizungen - Abholzung der Tropen	- Verbrennung fossiler Brennstoffe - Vulkane - Austausch Wasseroberfläche - Respiration - Photosynthese	CO: Atemgift bei Mensch und Tier (Unterbindung Sauerstofftransport)	Treibhauseffekt	

Stickoxide (NO_X)	- Verkehr - Haus- und Industrie-feuerungen	- Verbrennung fossiler Brennstoffe - Blitze - Waldbrände - produktive Böden	- Atemwegserkrankun-gen - Gefahr für Astmatiker	- Schädigung von Pflanzen - Vorläufer des sauren Regens - Vorläufer vom Sommersmog - Stickstoffeintrag mit Düngewirkung	

Schwefeldioxid (SO_2)	- Haus- und Industrie-feuerungen	- Gebrauch schwefelhaltiger Brenn-stoffe - Waldbrände - Vulkanausbrüche	- Atembeschwerden - Brustschmerzen	- Vorläufer des sauren Regens - Absterben von Gewebepartien - Zerfall historischer Bauwerke	

ORG. VERBIN-DUNGEN					
FCKW **Fluorchlorkohlen-wasserstoffe**	- Spraydosen - Kühlanlagen	- Entsorgung von Kühlschränken - Gebrauch von Sprühdosen		- Zerstörung des Ozons in der Stratosphäre	

VOC **Flüchtige Kohlenwasserstoffe**	- Verkehr - Umschlag von Brenn- und Treibstoffen - Industrie und Gewerbe	- Verdunstung von Benzin beim Tanken - Industrielle Verfahren mit Lösungsmitteln - Unvollständiges Verbrennen von Erdölprodukten	- Reizung von Schleimhäuten und Augen - krebserregend	- Zusammen mit den Stickoxiden Vorläufer des Sommersmog - Schäden an Pflanzen - Gebäudeschäden - Vorläuferstoff Ozonbildung	

CH_4 **Methan**	- Brandrodung - Fossile Brennsstoffe - Landwirtschaft und Landnutzung in den Tropen	Natürliche Quellen: (ca. 25% des CH_4) - Sümpfe - Reisfelder - Massentierhaltung - Grasländer	- Als Ozonvorläufer Schädigung der Atemwege	- Verhindert den Abbau von diversen Schadstoffen in der Troposphäre - Zusammen mit Stickoxiden Ozonbildung	