

Übungen im Experimentalvortrag

Thema „Luftschadstoffe“



**Philipps-Universität Marburg
Fachbereich Chemie – Lehramtsausbildung**

Übungen im Experimentalvortrag

**Leitung: Herr Dr. Butenuth, Herr Dr. Gerstner, Herr Prof. Müller,
Herr Prof. Perst**

Sommersemester 2002

Vorgelegt von Maik Schmidt

Datum: 13. Juni 2002



**Lehravortrag
Luftschadstoffe**

Inhaltsverzeichnis

I. Allgemeine Einleitung

II. Vorbedingungen

- II.I. Zusammensetzung natürlicher Luft
- II.II. Definitionen von Luftschadstoffen
- II.III. Stofftransport in der Atmosphäre

III. Luftschadstoffe

- III.I. Luftschadstoffe und Quellen - global
- III.II. Luftschadstoffe und Quellen – national
- III.III. Nachweis von Kohlenstoffmonooxid in Zigarettenrauch
Daten zu Kohlenstoffmonooxid
- III.IV. Nachweis von Stickstoffdioxid in Autoabgasen
Daten zu Stickstoffdioxid
- III.V. Nachweis von Ozon in der Laborluft sowie der Außenluft
Daten zu Ozon

IV. Wirkung von Luftschadstoffen

- IV.I. Direkte und indirekte Wirkung von Luftschadstoffen
- IV.II. Wirkung von Schwefeldioxid auf Pflanzen (auf Blattgrün)
Daten zu Schwefeldioxid
- IV.III. Demonstration des Phänomens „Saurer Regen“ auf Metall
Daten zum Phänomen „Saurer Regen“
- IV.IV. Modellversuch einer Inversionswetterlage
Erklärungen
- IV.V. Modellversuch des Treibhauseffektes
Erklärungen
- IV.VI. Weitere Wirkungen von Luftschadstoffen

V. Problemlösungen

- V.I. Problemlösungsstrategien
- V.II. Modellversuch einer DENOX – Anlage
- V.III. Perspektiven

VI. Schlussbetrachtung

VII. Bibliografie



I. Einleitung

Ein Thema, das die öffentliche Diskussion der letzten drei Jahrzehnte mitbestimmte, ist das der Luftschadstoffe. Durch einen stetigen Anstieg der Emissionen, die zunehmend aus Quellen menschlicher Herkunft stammen, sprich aus industrieller Stoffproduktion, dem Betrieb von Kraftfahrzeugen und Maschinen mit fossilen Energieträgern, hat sich die Zusammensetzung natürlicher Luft nachhaltig verändert und sind gleichsam klimatische Veränderungen Auslöser für vielfältige chemisch-biologische Phänomene an Flora und Fauna. Weiterhin ist eine Zunahme an Atemwegserkrankungen zu fest zu halten bzw. die Häufigkeit von Allergien hat stark zugenommen.

Dabei sind die Auswirkungen hinsichtlich der Belastungen durch „industrielle Stoffproduktion“ schon seit der Antike bekannt. So wuchs zum Beispiel in der Umgebung von Bleiglanz verarbeitenden Betrieben kein Baum oder Strauch.

Unsere Gesellschaft, mit ihr eine auf Raubbau gerichtete extensive Produktionsweise, wurde aber erst Mitte der Siebziger Jahre des 20. Jahrhunderts auf die Auswirkungen durch Luftschadstoffe aufmerksam. Die in Schweden zahlreich auftretenden „toten Seen“ – Seen ohne Leben oder der Steinzerfall an historischen Gemäuern, wurden zu Indikatoren einer zunehmenden Luftverunreinigung. Natürlich trugen auch die Schlagzeilen des „Saurer Regen“ und des „Waldsterbens“ zur Vergegenständlichung der öffentlichen Meinung bei.

Heute, im Jahre 2002, haben sich einige Verfahren zur Abgasreinigung, damit der Emissionsminderung etabliert. Die Gesetzgeber haben auf nationalstaatlicher und auch auf globaler Ebene Rahmenrichtlinien abgesteckt, die es bis zum Jahre 2010 einzuhalten gilt. Die Bundesrepublik Deutschland ist in dieser Hinsicht ein Vorbild an Selbstbeschränkung – die vereinbarten Klimaziele scheinen in Reichweite, dennoch gibt es auf einigen Gebieten noch viel zu tun.

Ich habe dieses Thema gewählt, um einerseits die geleistete Arbeit von Industrie und Politik dar zu stellen und andererseits die weiterhin bestehenden Gefahren durch Luftverunreinigungen auf zu zeigen. Gleichzeitig soll dieser Vortrag helfen, das immens wichtige interdisziplinäre Denken für Schule und Wissenschaft zwischen Naturwissenschaften und Sozialwissenschaften weiter zu vernetzen.



II. Vorbedingungen

II.I. Zusammensetzung natürlicher Luft

Grundlage für eine wissenschaftliche Diskussion um Luftschadstoffe ist das Wissen um die Zusammensetzung natürlicher Luft. Es fällt natürlicher schwer, die genaue Zusammensetzung von natürlicher Luft zu bestimmen, da es bekannter Weise keine „antiken“ Daten von Messstationen über die Reinheit der Luft gibt.

Hinzu kommt, dass die heutigen Messstationen zwar weit ab von jeglicher Zivilisation zur Messung herangezogen werden, diese aber dennoch durch den Menschen verursachte Einträge beeinflusst sind.

Demzufolge sind nicht nur mathematische Rechenkünste notwendig, sondern auch eine akribische Auswertung der abgelagerten Stoffe, die als Sedimente zum Beispiel im Baikalsee oder anderswo sedimentieren, um eine zuverlässige Aussage über die Zusammensetzung von natürlicher Luft zu machen.

Die folgende Tabelle macht eine näherungsweise Aussage über die Zusammensetzung natürlicher Luft. Gleichzeitig zeigt sie auch die derzeitigen Veränderungen der einzelnen Bestandteile. Ich habe mich bei der Auswahl der benannten Stoffe auf die prozentual am häufigsten vorkommenden beschränkt.

	Volumenanteil in %	Zuwachs pro Jahr in %
Stickstoff	78,08	k. A.
Sauerstoff	20,95	k. A.
Argon	0,93	k. A.
Kohlendioxid	0,034¹ 0,026 (vorindustriell)	0,3 – 0,4 %
Neon	0,0018	k. A.
Helium	0,0005	k. A.
Methan	0,00016² 0,00007 (vorindustriell)	1 – 2 %
Distickstoffoxid	0,00003³	0,2 %
Kohlenmonoxid	0,00002	k. A.

Abbildung 1: Die natürliche Zusammensetzung von Luft



II.II. Definition von Luftschadstoffen

Aus den obigen Daten ergeben sich zwei unterschiedliche Ansätze hinsichtlich der Definition von Luftschadstoffen.

Demnach sind Luftschadstoffe einerseits Stoffe, die ständig in natürlicher Reinsluft vorhanden sind. Andererseits sind alle Stoffe, welche die Konzentrationen auch ständig vorkommender Luftinhaltsstoffe erhöhen, Luftschadstoffe.

Für den „unwissenden“ Schüler bedeutet dies, dass z.B. Kohlenstoffmonooxid (im Folgenden: Kohlenmonoxid) und Kohlenstoffdioxid (im Folgenden: Kohlendioxid) zwei permanent vorkommende Luftinhaltsstoffe sind, deren Konzentrationen, wie aus Abb. 1 ersichtlich, sich kontinuierlich durch überwiegend anthropogene Emissionen erhöhen. Gleichsam wird deutlich, dass auch marginale Erhöhung der Stoffmengenkonzentrationen scheinbar zu drastischen Auswirkungen auf das Klima haben (siehe auch: IV).

Fluorchlorkohlenwasserstoffe zum Beispiel, kurz FCKW, die als Treibmittel für diverse Luxusprodukte eingesetzt wurden und noch werden, sind demnach Stoffe, die nicht in natürlicher Luft vorkommen und somit auch als Luftschadstoffe, sofern sie in die Atmosphäre gelangen, gelten.

II.III. Stofftransport in der Atmosphäre

Luftschadstoffe gelangen von ihren Quellen, den Emissionsquellen, als Emissionen in die Luft und wirken als Immissionen auf Mensch, Tier, Pflanze etc. ein.

Luft zeigt hinsichtlich des Transportes verschiedenartiger Stoffe zwei grundsätzlich zu unterscheidende Phänomene. Einerseits wird durch einen Verdünnungseffekt – eine Konzentration x verteilt sich auf ein nahezu unvorstellbar großes Volumen um den gesamten Erdball – die Ausgangskonzentration um ein Vielfaches verringert. Andererseits sind Schadstoffemissionen dadurch regional nicht begrenzt. Schadstoffemissionen machen sich demnach als Immissionen nicht unmittelbar am Entstehungsort bemerkbar sondern zeigen grenzüberschreitende, globale Auswirkungen.

Der eigentliche Stofftransport erfolgt in vertikaler Richtung durch die Wetterphänomene „Hoch“ und „Tief“. Heiße/Warme Luft steigt lokal wie ein Heißluftballon nach oben, damit steigt der Luftdruck am Boden, es entsteht ein Tiefdruckgebiet. Die heiße Luft ist mit Wasserdampf gesättigt, daher beobachtet man aufgrund der Abkühlung Wolkenbildung und sogar Regen.



In der Troposphäre angelangt, wird die Luft durch Querwinde verfrachtet. Sie kühlt noch stärker ab, wird dabei dichter, also schwerer, und sinkt ab. Im Sinkgebiet der kalten Luft aus der Stratosphäre steigt am Boden der Luftdruck; ein Hoch entsteht. Dabei erwärmt sich die Luft (wie die komprimierte Luft in der Fahrradluftpumpe) adiabatisch. Wolken bilden sich nicht oder nur wenig, weil die Luft trocken ist und außerdem immer wärmer wird. Die Sonne kann deshalb gut scheinen. Beim Absinken der Luft, die aus der Stratosphäre stammt, werden Luftschadstoffe mitgeschleppt.

Erschwert oder gar verhindert wird ein vertikaler Austausch durch bestimmte Wetterlagen – sogenannte Inversionswetterlagen. Unterhalb dieser Wetterzone ist die Schichtung der Atmosphäre relativ stabil – es finden kaum Austauschvorgänge statt. (siehe Abschnitt IV.IV)

Die Verfrachtung in horizontaler Richtung erfolgt in der Troposphäre durch Querwinde, in 10 - 30 Km Höhe, der Stratosphäre, durch die „Jetstreams“. Die radioaktive Wolke, die nach dem Reaktorunglück von Tschernobyl freigesetzt wurde, umrundete in 15 Tagen die Erde.

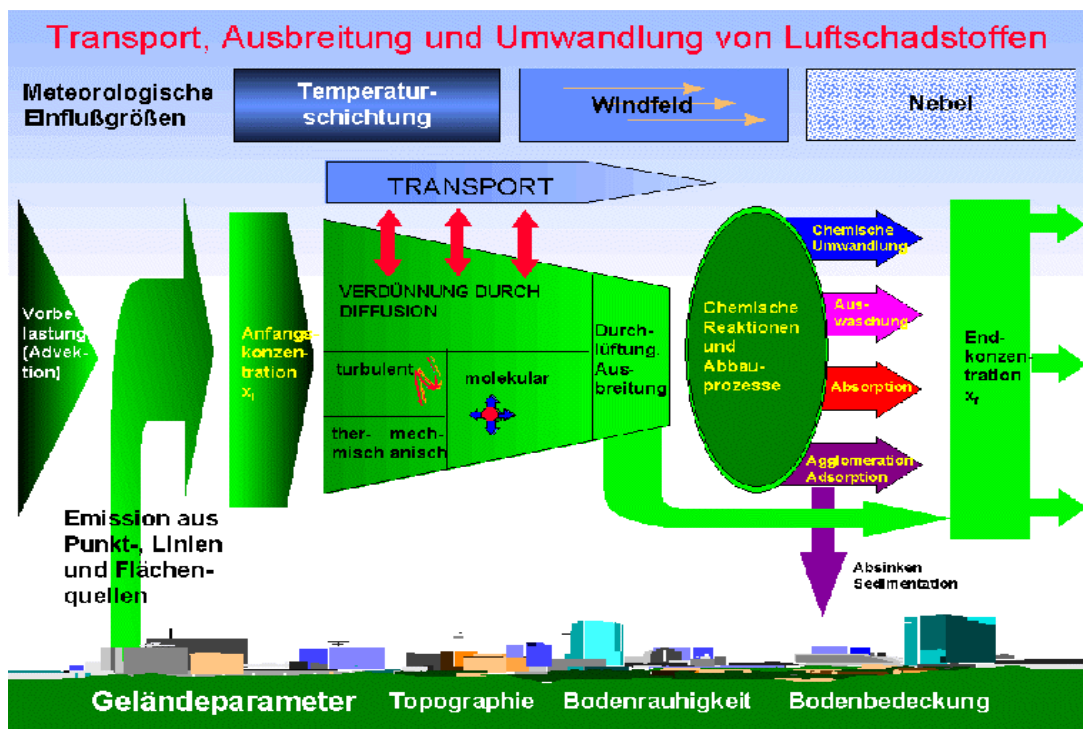


Abbildung 2: Der Stofftransport in der Luft

Die Persistenz der Stoffe ist unterschiedlich lang. Sie ist abhängig von chemischen Transformationsprozessen und den oben genannten meteorologischen Phänomenen.



III. Luftschadstoffe

III.I. Luftschadstoffe und Quellen – global

Es gibt heute ca. 65.000 verschiedene handelsübliche Chemikalien in der BRD zu kaufen. Davon können mindestens 3000 in unterschiedlichen Konzentrationen in der Luft nachgewiesen werden. Zu beachten sind bei den gelieferten Daten und bei deren Interpretation, der Ort der Messstation, die Uhrzeit der Messung, die Jahreszeit und auch der Auftraggeber der Messung.

Luftschadstoffe entstehen bei den vielfältigsten Prozessen. Sie entstehen einerseits durch natürliche Phänomene, wie Verdunstung und Verdampfung, Verbrennungsvorgänge, biologische und geologische Ereignisse aber auch durch chemisch - industrielle Stoffproduktion, sprich als Ergebnis menschlichen / anthropogenen Handelns.

Luftschadstoffe kommen in allen Aggregatzuständen vor und sind wegen ihrer Auswirkungen auf die Umwelt sowie auf die pflanzliche und tierische Gesundheit von besonderer Bedeutung. Auf die Wirkungsweisen der unterschiedlichen Luftschadstoffe verweise ich auf die einzeln angesprochenen Stoffe und auf Abschnitt IV dieses Vortrages.

Folgende Zusammenstellung zeigt einerseits global gemessene Luftschadstoffe und andererseits die Emittentenquellen der Emissionen:

Globale Emissionen	Natürliche Emissionen In Mio. t/Jahr	Menschliche Tätigkeit	
		In Mio. t/Jahr	Anteil an der globalen Gesamtemission in %
CO ₂	600 000	22 000	3,5
CO	3 800	550	13
CH ₄	1600	110	6
NO _x ¹	770	53	6,5
S-Verbindungen ²	304	150	33
SO ₂ davon	20	150	88
N ₂ O	145	4	3

1) gerechnet als NO₂

2) gerechnet als SO₂

Abbildung 3: Luftschadstoffe natürlichen und anthropogenen Ursprungs

Wie oben schon angedeutet, müssen die Quellen der Emissionen aber unterschiedlich betrachtet werden. Die Tabelle zeigt, dass der Großteil der exponierten Stoffe natürlichen Ursprungs sind.



Beispiele für natürliche Emissionen von Luftschadstoffen sind unter anderem Vulkanausbrüche.

So wurden 1982 in Folge des Ausbruchs des Vulkans El Chicon in Mexiko ca. 500 Mio. t Aschestaub, 70000 t Flusssäure (HF), 40000t Salzsäure (HCl) und eine Vielzahl radioaktiver Stoffe, darunter Thoriumverbindungen, freigesetzt. Im Jahre 1991 verhinderten die Staub- und Schwefelemissionen des Pinatubo auf den Philippinen eine Untersuchung der atmosphärischen Auswirkungen der brennenden Ölquellen in Kuwait.

Daneben entstehen bedingt durch Blitze weltweit mehr Stickoxide als durch anthropogenes Handeln.

Auch tierische Organismen setzen stoffwechselbedingt Schwefel- und Kohlenstoffverbindungen, wie H_2S , Methan oder CO_2 frei. Nicht zu vernachlässigen ist die Methanemission durch mikrobielle Ausgasung von flachen Gewässern, wie z.B. beim Reisanbau oder durch Auftauen von Permafrostböden.

Anthropogene Emissionen entstehen bei nahezu sämtlichen menschlichen Handlungen – ob als tierischer Organismus durch Stoffwechsel oder durch Umsetzung der verschiedensten Stoffe – überall entstehen mehr oder minder gefährliche Einträge in die Atmosphäre bzw. in den Boden.

Bei der Betrachtung der Emissionen aus menschlicher und natürlicher Quelle ist zu bemerken, dass der wesentliche Unterschied in der Kontinuität und in den lokalen Konzentrationen liegt.

Treten natürliche Emissionen zum größten Teil nur gelegentlich über einen definierten Zeitraum auf, so werden menschliche Emissionen kontinuierlich in die Atmosphäre abgegeben. Darüber hinaus wirken einige Stoffe schon in geringsten Mengen katalytisch, das bedeutet, sie beschleunigen bzw. ermöglichen bestimmte Reaktionen in natürlicher Umgebung.

Welche Wirkungen die Luftschadstoffe als Immissionen auf Pflanzen- und Tierwelt haben, ist stark vom Ort und der Konzentration der Stoffe abhängig.

So sind die Konzentration von NO_x und SO_2 in Ballungsräumen 10 – 100 mal größer als in ländlichen Gebieten, obgleich in den letzten Jahren hier ein stetiger Anstieg zu beobachten ist.

Daneben hängen die Wirkungen aber auch von der chemischen Umsetzung in der Atmosphäre und des Transportes (s.o.) ab.

Welche Auswirkungen Luftschadstoffe auf Organismen haben können, zeigt u.a. Abschnitt IV.



III.II. Luftschadstoffe und Quellen – national

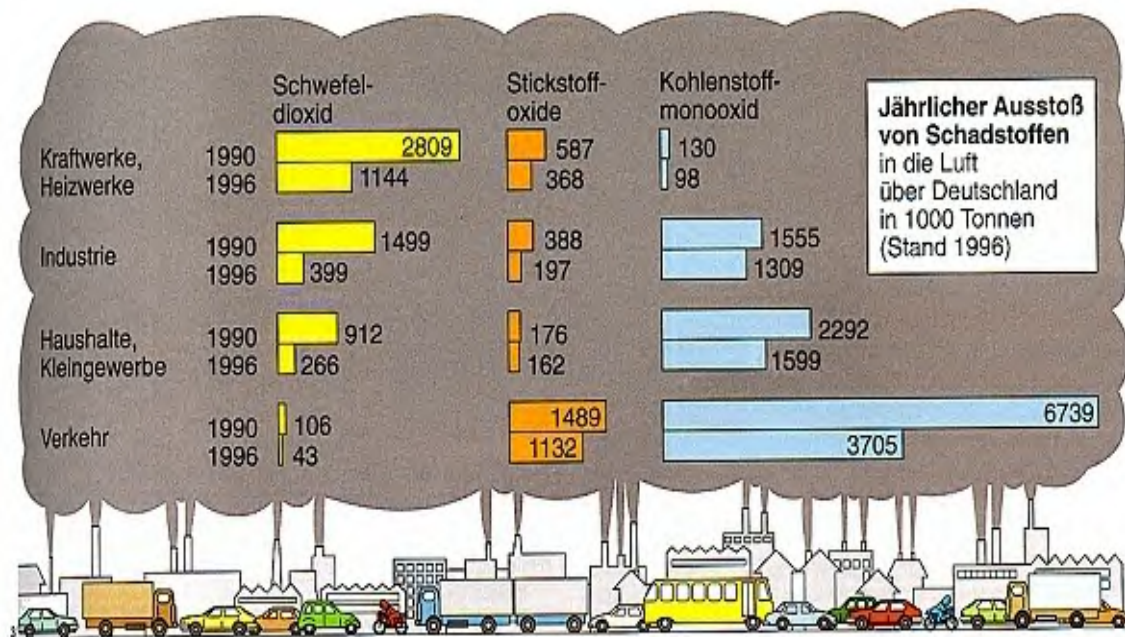


Abbildung 4: Ausgewählte Luftschadstoffe für die BRD

Abbildung XX zeigt exemplarisch drei Luftschadstoffe, die in der BRD emittiert werden. Geordnet nach unterschiedlichen Quellen und im Vergleich zweier Jahre zueinander.

Dabei ist fest zu halten, dass die Emissionen kontinuierlich abgenommen haben. Am deutlichsten macht sich die Reduktion bei Schwefeldioxid bemerkbar. Hier liegen die Reduktionspotentiale zwischen 75 und 55% im Vergleich des Jahres 1996 zum Basisjahr 1990. Hauptquelle für Schwefelemissionen waren und sind Kraft- und Heizwerke. Die unten im Text dargestellten Filteranlagen zeigen eine große Wirkung, täuschen aber eine vorhandene Lösung des Problems vor.

Der Verkehr trägt nur zu einem geringen Prozentsatz zu den Gesamtemissionen von Schwefelverbindungen bei. Unter diesem Aspekt sind die Anstrengungen der Mineralölunternehmen, einen schwefelarmen bzw. schwefelfreien Kraftstoff anzubieten, neu zu bewerten.

Bei den weiteren dargestellten Emissionen, den Stickstoffoxiden und dem Kohlenstoffmonooxid, sind die Potentiale um ein Vielfaches geringer. Stickoxide entstehen vermehrt durch Verbrennung von fossilen Brennstoffen, überwiegend im Verkehrsbereich. Die Einführung des Abgaskatalysators hat seit den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts wesentlich zu einer Verminderung der Schadstoffemissionen beigetragen.

Kohlenstoffmonooxid entsteht weitgehend bei unvollständiger Verbrennung organischer Substanzen. Es fällt in großen Teilen im Verkehrssektor aber auch im privaten Bereich an.



III.III. Nachweis von Kohlenstoffmonooxid in Zigarettenrauch Daten zu Kohlenstoffmonooxid

Benutzte Geräte

Saugröhrchen
PVC – Schlauch
Glasrohr
Membran- oder Wasserstrahlpumpe
Gummistopfen

Eingesetzte Chemikalien

ammoniakalische Silbernitratlösung
(w=5%)
Filterzigarette
Salpetersäure (halbkonzentriert)

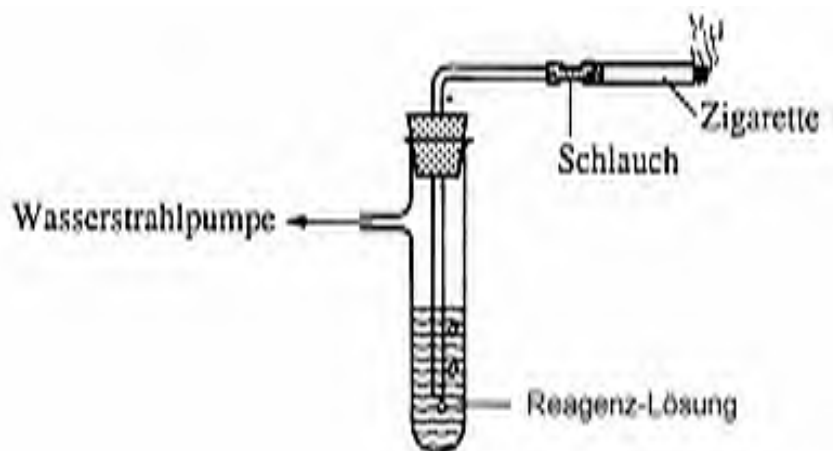


Abbildung: Apparatur zu Versuch 1

Durchführung

In das Saugröhrchen wird die ammoniakalische Silbernitratlösung vorgegeben. Die Zigarette wird entzündet und der Rauch mittels einer Membran- oder Wasserstrahlpumpe durch die Lösung gesaugt. Nach ca. 3-5 Minuten bzw. nach Abrauchen der Zigarette wird die Reaktion durch Abstellen der Pumpe beendet.

Beobachtung

Sofort nach Beginn des Durchströmens des Rauches durch die ammoniakalische Silbernitratlösung zeigte sich eine deutliche Trübung derselben.

Nach vollständigen Abrauchens der Zigarette bzw. kurze Zeit später, ist eine Ausfällung eines schwarzen Niederschlags zu beobachten. In der Mehrzahl der Reaktionen ist die Bildung eines metallischen Spiegels am Reagenzglas zu beobachten.

Nach Zugabe von halbkonzentrierter Salpetersäure geht der Niederschlag bzw. der Spiegel wieder in Lösung.



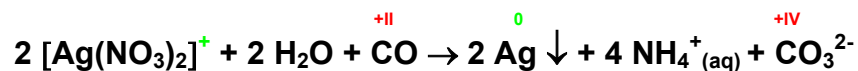
Auswertung

Bei der Reaktion ist elementares Silber ausgefallen. Belegt wird diese These durch die abschließende Auflösung des Niederschlags mit Salpetersäure. Es muss also im Zigarettenrauch ein Stoff vorhanden sein, der Silberionen zu elementarem Silber reduziert.

Da Tabak - die Zigarette - mehrheitlich aus organischer Substanz besteht, also überwiegend kohlenstoffhaltig ist, entstehen bei seiner Verbrennung die verschiedensten Substanzen. Unter anderem Kohlendioxid (CO₂) und auch Kohlenmonoxid (CO).

Während CO₂ mehr oder weniger inert ist, so ist die reduzierende Wirkung des CO bekannt.

Demzufolge ist CO für die Fällung des Silbers nach folgender Reaktionsgleichung verantwortlich:



Silber fällt elementar aus und es kommt zur Bildung eines Silberspiegels an der Reagenzglaswand. Durch halbkonzentrierte Salpetersäure wird das Silber anschließend wieder in Lösung gebracht. Der Silbernitratkomplex bildet sich wieder aus. Die Schnelligkeit und die Vollständigkeit der Reaktion ist von den Reaktionsbedingungen abhängig. CO entsteht bei so genannter unvollständiger Verbrennung von kohlenstoffhaltiger Substanz. Die Bildung von CO ist dabei durch das Dissoziationsgleichgewicht des Kohlendioxids bedingt:



In Anwesenheit von elementarem Kohlenstoff (Koks) kommt zudem das "Boudouard – Gleichgewicht" zum Tragen:



Bei hohen Temperaturen (>700°C) und Normaldruck (1013mbar) liegt das Gleichgewicht auf der rechten Seite.



Wie in den Kapiteln III.I. und III.II. schon mehrfach angesprochen, ist CO als Luftschadstoff zu begreifen. Ähnlich wie bei der Verbrennung einer Zigarette entsteht es in unterschiedlichen Konzentrationen bei nahezu allen Verbrennungen von organischen Substanzen. Folglich kommt CO als fester Bestandteil in allen Abgasen unserer modernen Industrielandschaft vor.

Einige Zahlen (Vol%) zum Vorkommen von Kohlenstoffmonooxid:

- Hochofen- oder Gichtgas 25-30
- Brände von Celluloid in geschlossenem Raum 35-40
- Auspuffgase (Angaben in Vol%):

Ottomotor: Leerlauf 3-10
Vollast 1

Dieselmotor: Leerlauf 1
Vollast 0,1

Die chemischen Reaktionen, die CO zeigt, sind reduzierender Art. CO ist also ein Reduktionsmittel. Der Kohlenstoff wird dabei analog zu obiger Reaktion von der Oxidationsstufe +II zur Oxidationsstufe +IV oxidiert.

Eine Anwendung findet diese reduzierende Wirkung u.a. zur Metalledarstellung im Hochofenprozess. Weitere Anwendung findet es in einer Mischung mit Wasserstoff als so genanntes Synthesegas.

Für den tierischen Organismus ist CO ein Atemgift; besonders tückisch, da geruch- und farblos.

Beim Atemvorgang bindet O₂ an das Hämoglobin im Blut und gelangt somit in die einzelnen Zellen des Organismus. Die Wirkung als Atemgift des CO beruht auf der besonderen Affinität des CO zu Hämoglobin im Vergleich zu O₂. Die stärkere Bindungswirkung ist ca. 300mal größer als die des Sauerstoffs.

Bei einer Konzentration von 0,1% CO in der Luft werden 50% des Blutfarbstoffes durch CO blockiert; bei einem CO – Gehalt von 0,3% sind es 75%. Fallen 60-70% des Blutfarbstoffes beim Menschen aus, so tritt der Tod ein. Bei zuletzt genannter Konzentration nach ca. 15 Minuten.

Da es sich um eine reversible Reaktion handelt, können Organismen, die eine CO - Vergiftung erlitten haben, aufgrund des Massenwirkungsgesetzes durch einen Überschuss an O₂ gerettet werden. (Bei entsprechend rechtzeitiger Handlung).



III.IV. Nachweis von Stickstoffdioxid in Autoabgasen Daten zu Stickstoffdioxid

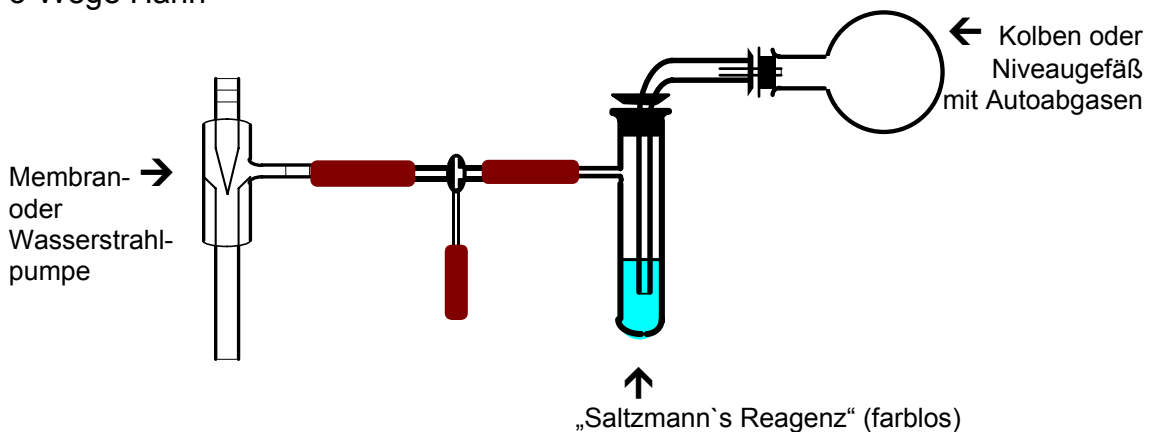
Benutzte Geräte

Niveaugefäße
Saugröhrchen,
Membran- oder Wasserstrahlpumpe

PVC – Schlauch
Glasrohre
Gummistopfen
3-Wege Hahn

Eingesetzte Chemikalien

Autoabgase (unkatalysiert)
Sulfanilsäure
N-(1-Naphthyl)-ethylendiamin-
hydrochlorid
Eisessig
dest. Wasser



Durchführung

Um Autoabgase in ein geeignetes Gefäß zu füllen, gibt es verschiedene Varianten. Es kann versucht werden, den Druck des Abgasstroms zu nutzen, um einen Luftballon mit Abgasen zu füllen. Alternativ kann Wasser ebenfalls durch den Druck des Abgasstroms aus einem in ein anderes Niveaugefäß verdrängt werden.

Kurz vor Versuchsdurchführung muss die Lösung zur Identifizierung von Stickoxiden, die so genannte „**Saltzman`s Reagenz**“ hergestellt werden. Dazu werden 0,5g Sulfanilsäure und 0,005g N-(1-Naphthyl)-ethylendiaminhydrochlorid in 5ml Eisessig gelöst. Anschließend werden 100ml H₂O zu gefügt.

Durch diese Lösung wird mittels Membran- oder Wasserstrahlpumpe eine undefinierte Menge der Autoabgasen durchgesaugt.

Beobachtung

Es wird eine relativ große Volumenmenge der Autoabgase durch die Lösung gesaugt, um eine Reaktion hervor zu rufen. Nach einigen dm³ erscheint die zunächst nur farblos bis schwach rosa gefärbte Lösung keine Reaktion zu zeigen. Doch mit Fortdauer der Einleitung färbt sich die Lösung zunehmend



rosa – rot. Ein Vergleich mit einer zuvor angefertigten Blindprobe liefert genaueren Aufschluss: es hat eine deutliche Farbreaktion statt gefunden.

Auswertung

Die oben schon erwähnte Indikatorreagenz ist das so genannte „Saltzmann’s Reagenz“, das spezifisch für den Nachweis von Stickoxiden (NO_x - eigentlich Nitrit NO₂⁻, s.u.) verwendet wird. Mit dieser Reaktion ist also nachgewiesen worden, dass in Autoabgasen der Luftschadstoff NO_x vorhanden ist.

Zusammensetzung der schädlichen Auspuffgase	
	(Vol%)
CO ₂	87,6
CO	10,3
NO _x	0,6 (bei gemäßigttem Fahrstil)
SO ₂	0,06
CH	1,07 (unverbrannte Kohlenwasserstoffe)
Aldehyde	0,4
Summe	100

Abbildung XX

Wie aus der Tabelle hervor geht, bestehen Autoabgase zu weniger als 1Vol% aus NO_x, nahezu 98 Vol% entfallen auf CO₂ und das schon diskutierte CO.

Stickoxide sind permanente Begleiter in der Atmosphäre. Sie entstehen nicht nur durch anthropogene industrielle Stoffumwandlungsprozesse, wie zum Beispiel durch Verbrennung fossiler Treibstoffe im Automobil, sondern auch auf natürliche Art und Weise, z.B. bei Gewittern in Folge der hohen Energie durch Blitze. Die bei einem Blitz frei werdende Energie ist derart hoch, dass Luftsauerstoff und Luftstickstoff direkt miteinander reagieren (lalalala KJ).

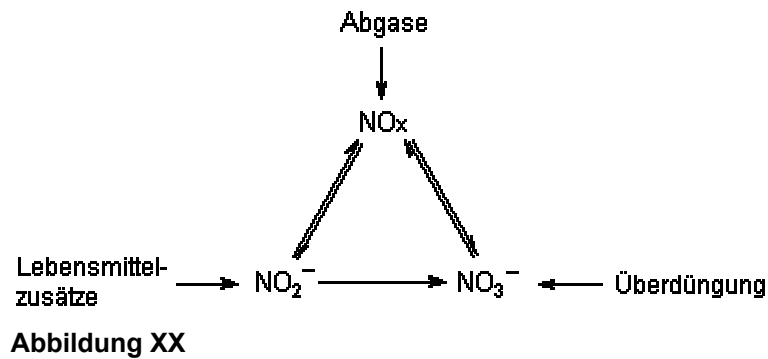
Die Nachweisreaktion von NO_x mit Saltzmann’s Reagenz– vornehmlich NO₂ – bedient sich einer der vielfältigen toxischen Reaktionen der Stickoxide, nämlich der Bildung von Säuren:



Aus diesen Zusammenhängen folgt ein enger Zusammenhang der Stickoxide zu den Nitriten und den Nitraten. Stickoxide können als Säureanhydride der Salpeter und der Salpetrigen Säure betrachtet werden.

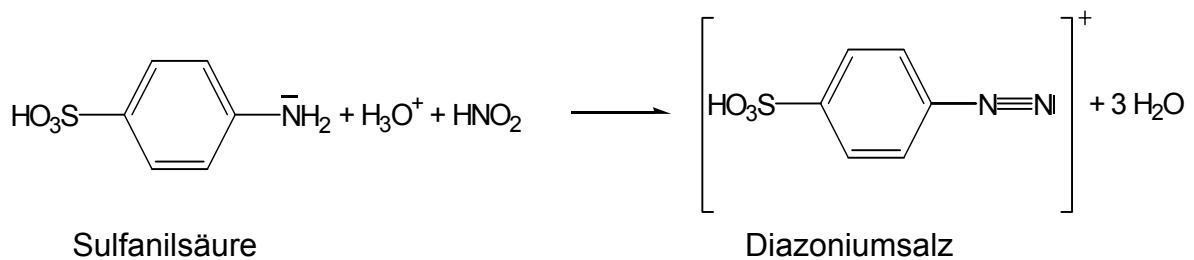


Die Folgende Darstellung verdeutlicht nochmals den Zusammenhang zwischen Nitraten, Nitriten und Stickoxiden:



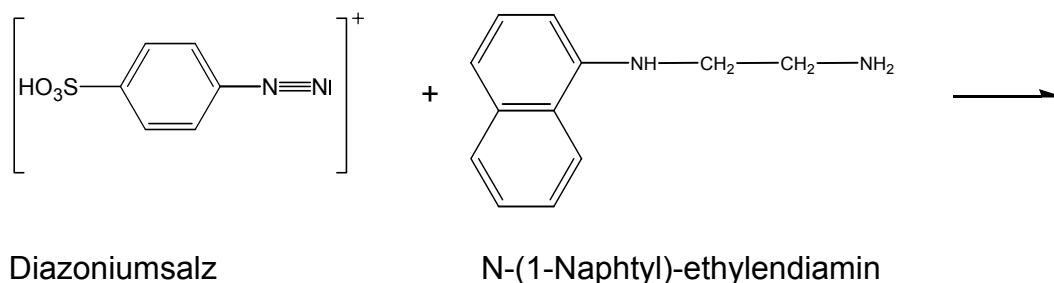
Das reaktive Teilchen, das die Farbreaktion mit Saltzmann' s Reagenz hervorruft, ist das intermediär gebildete Nitrosylkation NO_2^+ (siehe unten).

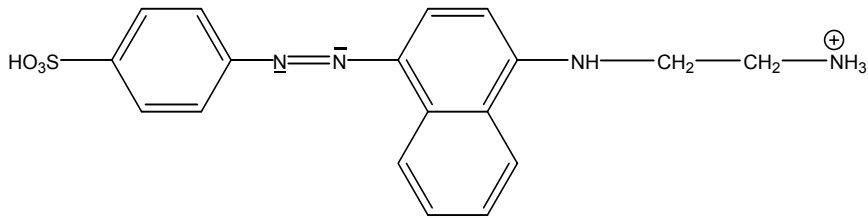
Zur Vereinfachung der Reaktionsgleichung benutze ich im Folgenden aber die Salpetrige Säure als reaktives Teilchen:



Es erfolgt also zunächst die Bildung eines Diazoniumsalzes, durch einen nucleophilen Angriff des Stickstoffatoms der Sulfanilsäure am Stickstoffatom der Salpetrigen Säure. Als Nebenprodukt entsteht Wasser.

Die Folgereaktion ist eine so genannte Azokupplung:





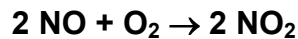
[1-(N-Aminoethyl)-amino-4-Naphtyl-azobenzol-p-sulfonsäure]

Es erfolgt ein nucleophiler Angriff eines freien Elektronenpaares eines der beiden Stickstoffatome des Diazoniumsalzes an der aktivierten Stelle des N-(1-naphtyl)-ethylendiamins, also in Paraposition. Es entsteht somit ein roter Komplex, aufgrund der Ausweitung des Π - Elektronensystems und der damit verbundenen Verschiebung des Absorptionsmaximums in den grünen Bereich, so dass für das menschliche Auge die Komplementärfarbe, also rot, sichtbar wird.

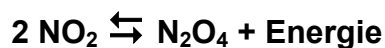
Stickoxide sind allesamt toxisch und wirken schädigend auf die Atmosphäre. Eine der toxischen Wirkungen, die Bildung von Säuren, wurde oben schon erwähnt.

Das unterhalb einer Temperatur von 450°C metastabile NO, ein farbloses, paramagnetisches und giftiges Gas, zeigt überwiegend reduzierende Eigenschaften, so werden mit Eisen Komplexverbindungen gebildet. NO verdrängt so Sauerstoff aus den Bindungen zum Hämoglobin und oxidiert gleichzeitig das Fe^{2+} -Ion; es bildet sich das inaktive Methämoglobin (MetHb).

An der Luft wird NO sofort zum braunen NO_2 oxidiert:



Letzteres dimerisiert – vor allem in der Abkühlphase:



Stickstoffdioxid ist ein braunes, korrosives und stark giftiges Gas, das sich leicht verflüssigen lässt. Die Flüssigkeit ist unterhalb des Siedepunktes ($21,15^{\circ}\text{C}$) tief rotbraun, wird beim Abkühlen immer heller bis blassgelb und erstarrt schon bei $-11,20^{\circ}\text{C}$ zu farblosen Kristallen. Wie schon NO, verfügt NO_2 über eine ungerade Anzahl an Elektronen und ist daher paramagnetisch. Durch Abgabe eines Elektrons entsteht das oben angesprochene Nitrosylkation NO_2^+ .

Aufgrund der überaus leichten Sauerstoffabgabe ist NO_2 ein kräftiges Oxidationsmittel. Seine Oxidationskraft entspricht etwa der des Broms.



Bei schönem und austauscharem Hochdruckwetter erhält man einen atmosphärischen Zustand, den man als Photosmog bezeichnet. Photo(chemischer) Smog entsteht, wenn katalytische Mengen von Stickoxiden mit CO oder Kohlenwasserstoffen intensiver Sonnenstrahlung ausgesetzt werden. Dabei bilden sich stark oxidierende Stoffe wie Ozon und / oder Radikale. Diese Schadstoffe sind schleimhautreizend und können Asthma und andere Atemwegserkrankungen auslösen.

Grundlage des Entstehens von Photosmog ist die bekannte Tatsache, dass Stickoxide mit Sauerstoff unter UV-Bestrahlung Ozon bilden können. Wenn die UV-Strahlung wegfällt, laufen die Reaktionen in Richtung auf Ozon-Abbau ab. Dabei bilden sich Gleichgewichtszustände aus, die Ozonbelastung bleibt deshalb insgesamt gering. Stickstoffmonooxid baut Ozon sogar ständig wieder ab, während Stickstoffdioxid ozonaufbauend wirkt und dabei verbraucht wird.

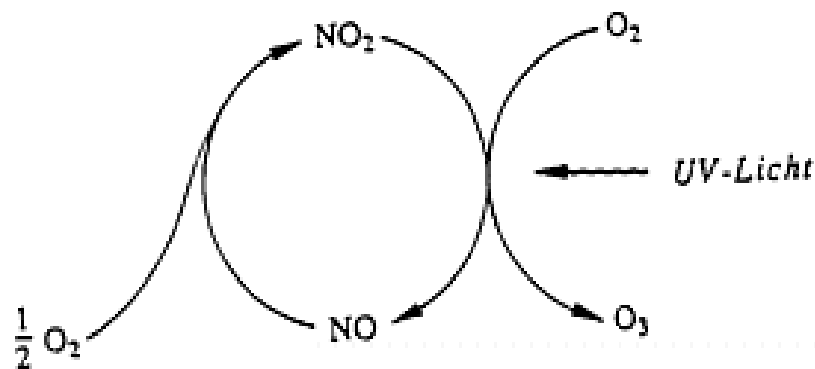


Abbildung YYY:

III.V. Nachweis von Ozon in der Laborluft sowie der Außenluft Daten zu Ozon

Benutzte Geräte

Petrischale

Eingesetzte Chemikalien

Glasfaservorfilter

Lösung von K₂CO₃ (w=1%)

Lösung von KI (w=10%)

aufgekochte lösliche Stärke (w=5%)

Durchführung

Die Glasfaservorfilter werden mit den Lösungen getränkt und anschließend im Trockenschrank bei maximal 60°C eine Stunde lang getrocknet. In Aluminiumfolie eingepackt, können sie einige Tage im Schrank aufbewahrt werden. Um die Ozonkonzentration zu „messen“, werden die Filter eine definierte Dauer (2h) an einem schattigen Platz in einer offenen Petrischale der Außenluft / Laborluft ausgesetzt.



Beobachtung

Die so genannten „Schönbeinfilter“ sind je nach Ozonkonzentration unterschiedlich braun gefärbt. Werden an verschiedenen Plätzen und zu unterschiedlichen Zeiten Filter ausgelegt, so kann die Ozonkonzentration über einen bestimmten Zeitraum an bestimmten Orten gemessen werden.

Ist die Ozonkonzentration allerdings zu hoch, so ist die Braunfärbung wenig Aussage kräftig, wohl aber die Geschwindigkeit der Färbung. Daher ist es wichtig, in kurzen Zeitabschnitten die Filter zu kontrollieren.

Auswertung

Die Färbung der Filter wird durch die Carbonatlösung spezifisch durch Ozon durchgeführt (Verschiebung des Redoxpotentials in den alkalischen Bereich).

Im Einzelnen ist folgende Reaktion verantwortlich:



Es handelt sich hierbei um eine Redoxreaktion, das durch die farbig dargestellten römischen Zahlen verdeutlicht werden soll. Dabei reagiert das Ozon nur mit einem der möglichen drei Sauerstoffatome. Ozon ist de facto ein Träger von atomarem Sauerstoff, was die starke Oxidationswirkung begründet. Oxidiert werden die Jodid - Ionen zu elementarem Jod.

Anmerkung:

Im Verlauf des Vortrages konnte keine aussagekräftige Messung vorgenommen werden, da die Wetterlage für die Bildung von bodennahem Ozon ungünstig war.

Der Zusammenhang zwischen Entstehung von bodennahem Ozon NO_x – Konzentration wurde schon weiter oben diskutiert.

Doch sind das Vorhandensein von NO_x und ausreichend UV-Strahlung nicht die einzigen Voraussetzung für die Entstehung von Ozon.

Die Photoreaktion wird durch so genannte Quellgase wie CO, Aldehyde sowie Kohlenwasserstoffe beschleunigt, denn deren Oxidation ist durch zwei katalytische Kreisprozesse mit der Ozonbildung gekoppelt. Dabei wird die Konzentration von Stickstoffdioxid ständig auf hohem Niveau gehalten, und die Ozonkonzentration nimmt entsprechend stark zu.



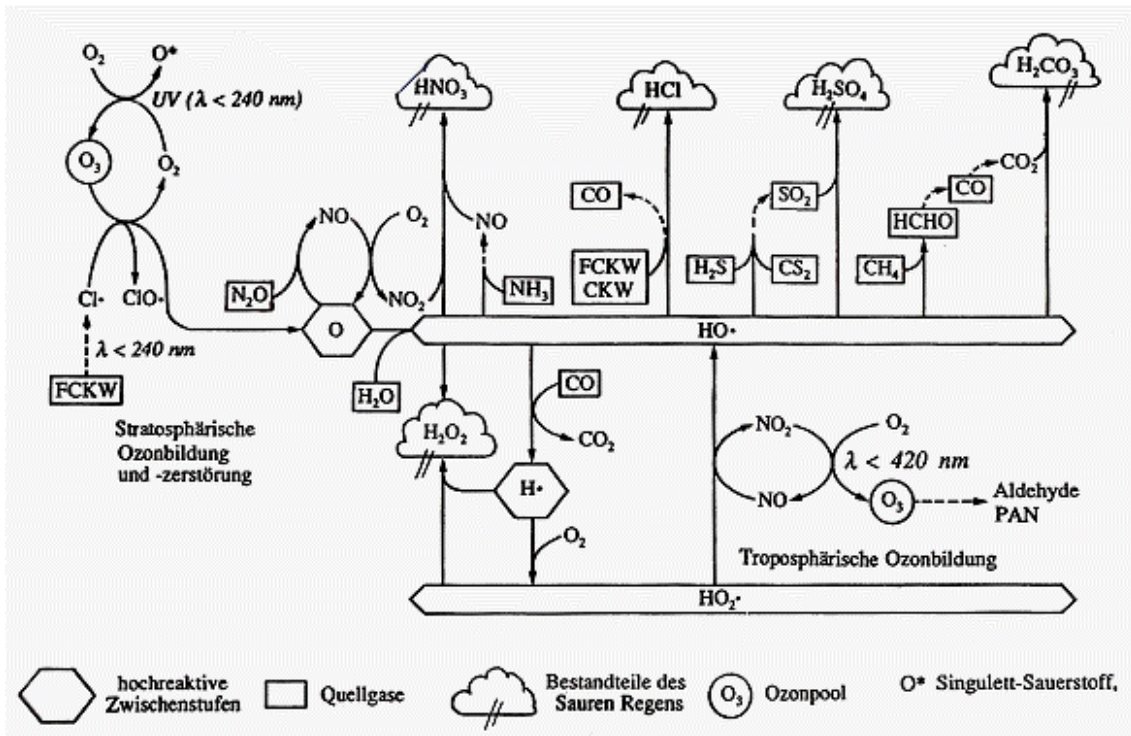


Abbildung CCC

Das Schaubild zeigt den komplizierten Zusammenhang zwischen Emission verschiedener Quellgase, so genannter Photooxidantien und der Bildung und Zerstörung von Ozon.

$HO\cdot$ - Radikale (Normale Konzentration: 1 Radikal auf 10^{18} Luftmoleküle) geben ihr Sauerstoffatom an Kohlenmonoxid ab, wobei ein Wasserstoffradikal $H\cdot$ zurückbleibt. Mit Sauerstoffmolekülen bilden sich Hydroperoxidradikale $HO_2\cdot$, die NO zu NO_2 oxidieren. Unter Einwirkung von kurzwelligerem Licht (Wellenlängen $< 420 \text{ nm}$) oder bei hohen Sommertemperaturen reagiert NO_2 mit weiteren Sauerstoffmolekülen zu Ozon, das nun in Bodennähe seine umweltschädigenden Wirkungen ausüben kann. Man kann diese bodennahe Ozonbildung somit durch die Minderung der Schadstoffemission (etwa durch großräumiges, langfristiges Autofahrverbot) drastisch einschränken. Hinzu kommt, dass die bodennahe Ozonbildung durch die Ausdünnung der „Ozonosphäre“ und die dadurch stärkere UV – Einstrahlung, verstärkt wird.

Die Ozonanreicherung hat aber auch schon die Alpen und andere Reinluftgebiete erreicht. Dieses Phänomen erklärt sich durch die obigen Erkenntnisse: NO wirkt Ozon abbauend - da in Reinluftgebieten aber die Bildung von NO durch das Nichtvorhandensein von Automobilverkehr oder anderen Industrieanlagen ausbleibt, so bleibt die Konzentration von Ozon über einen längeren Zeitraum gleichbleibend hoch.



Das folgende Schaubild zeigt den Zusammenhang zwischen UV – Strahlung und Ozonkonzentration am Beispiel der Stadt Marburg am 31. Mai 2002:

Uhrzeit	Ozon - Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Uhrzeit	Ozon - Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
10:00 Uhr	040	15:00 Uhr	113
12:00 Uhr	101	16:00 Uhr	118
13:00 Uhr	110	17:00 Uhr	113
14:00 Uhr	115	18:00 Uhr	098

Abbildung TTT:

Aufgrund der hohen Konzentrationen, die alle anderen Konzentrationen von Schadstoffen überragen, dient Ozon als Leitsubstanz für den oben schon angesprochenen Smogalarm.

Mit dem der 22.BlmschV hat der Gesetzgeber Grenzwerte fest gelegt, die einen Schutz für die Bevölkerung darstellen. Dabei existieren folgende Grenzwerte:

- 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ über 8h für Gesundheitsschutz
- 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ über 1h für Unterrichtung der Bevölkerung
- 360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ über 1h für die Auslösung des Warnsystems zum Schutz vor Gefahren für die menschliche Gesundheit (Smogalarm)

IV. Wirkung von Luftschadstoffen

IV.I. Direkte und indirekte Wirkung von Luftschadstoffen

Hinsichtlich der Wirkung von Luftschadstoffen auf Fauna und Flora ist zwischen direkten und indirekten Wirkungen zu unterscheiden.

Unter direkten Wirkungen versteht die Wissenschaft solche, die direkt und unmittelbar einwirken und dort biochemische Vorgänge hervor rufen (siehe unten).

Indirekte Wirkungen sind demnach solche, welche die Umweltbedingungen nachhaltig verändern und so Folgewirkungen hervor rufen (siehe unten).



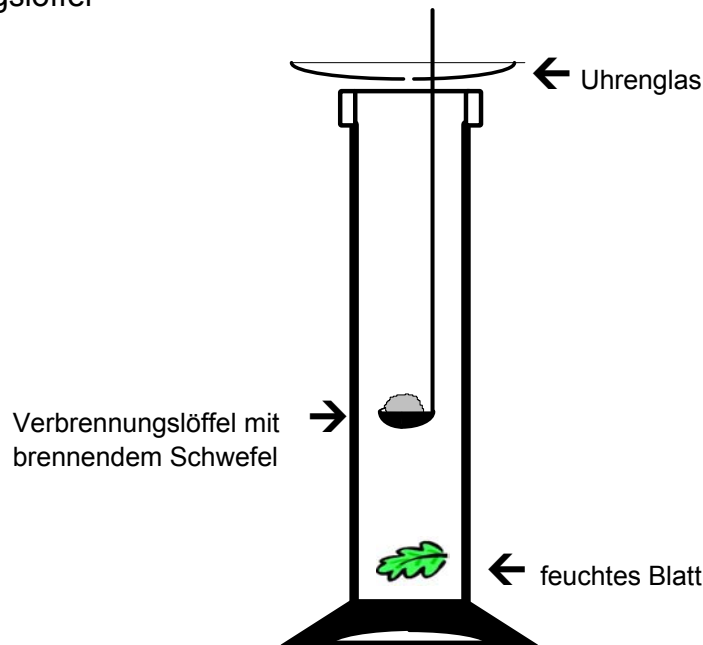
IV.II. Wirkung von Schwefeldioxid auf Pflanzen (auf Blattgrün)

Benutzte Geräte

Glasstandzylinder
Uhrglas
Verbrennungslöffel

Eingesetzte Chemikalien

Schwefel
feuchtes Blatt



Durchführung

In einen Standzylinder wird ein grünes, feuchtes Blatt oder einige Kressepflänzchen gelegt. Eine Spatelspitze Schwefel wird in einem Verbrennungslöffel entzündet und in den Zylinder mehrere 10 Sekunden gehalten. Anschließend wird der Verbrennungslöffel heraus geholt, der Schwefel gelöscht und der Zylinder mit einem Uhrglas abgedeckt.

Beobachtung

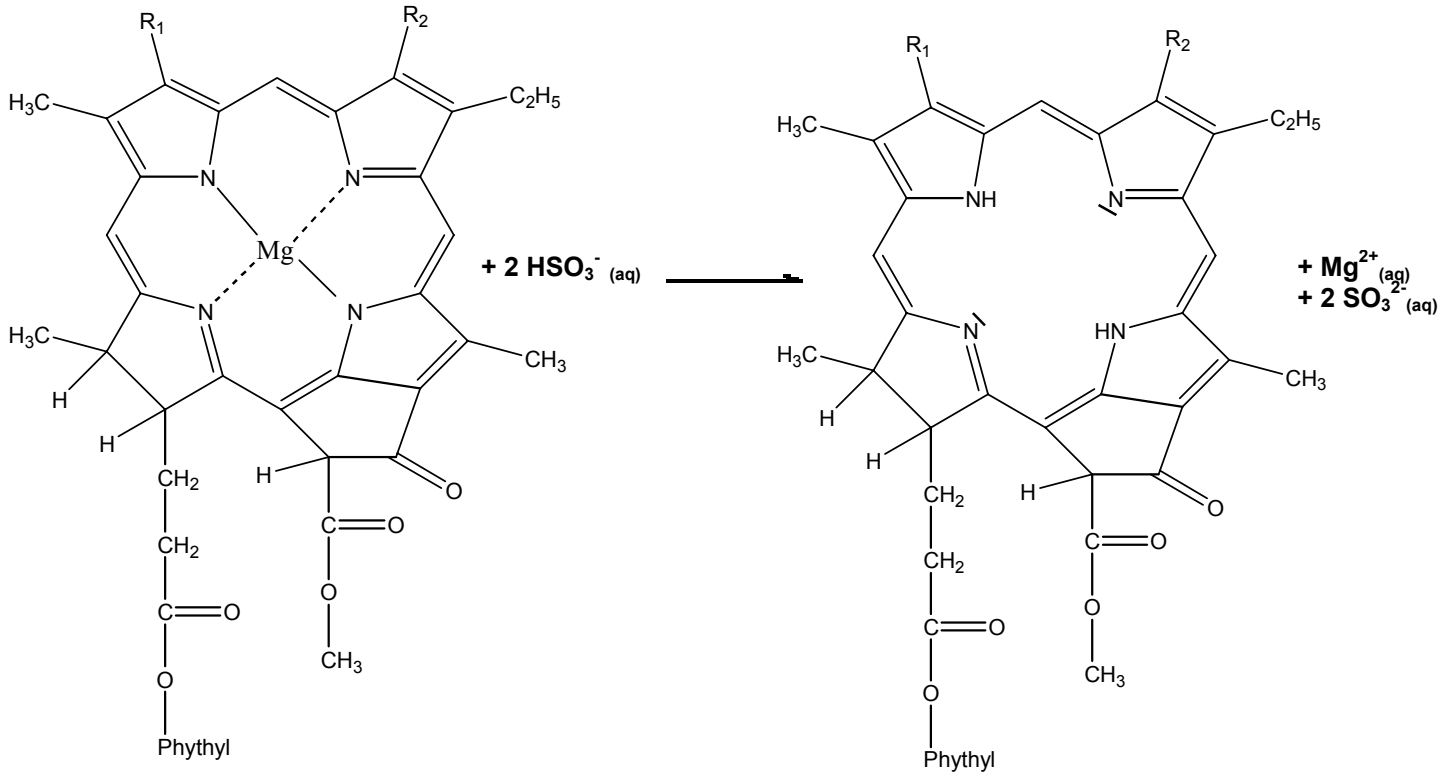
Sofort nach Entzünden des Schwefels steigen weiße Nebel auf und es liegt ein typischer Geruch in der Luft: Schwefeldioxid – SO_2 . Schon nach einigen wenigen Minuten hat sich ein schwefelsaures Milieu im Standzylinder eingestellt und wirkt nun auf die Pflanzen bzw. das Blatt ein. Nach nur wenigen Minuten sind deutliche Farbänderungen zu erkennen. Am Ende des Versuchs, nach ca. 20 Minuten, ist das Blatt nahezu gänzlich entfärbt.

Auswertung

Das gebildete SO_2 hat sich mit dem Wasser der Luft zu schwefliger oder Schwefelsäure verbunden. Diese starke Säure wirkt nun auf das Blatt der Pflanze ein, dringt durch Cuticula in des Innere und verändert den für die Photosynthese verantwortlichen grünen Farbstoff, das Chlorophyll.



Reaktion von HSO_3^- auf Chlorophyll



Chlorophyll a grün

Phäophytin a olivgrün



Aufgrund der Bildung des Phäophytins und der damit einhergehenden Verhinderung der Photosynthese, wird die Pflanze nachhaltig geschädigt und letztlich zerstört. Dieses Phänomen wird seit den 70er Jahren in Mitteleuropa beobachtet. Unter dem Schlagwort „Saurer Regen“ findet die Reaktion eine populär wissenschaftliche Bezeichnung und ist seitdem unter anderem für das beobachtete „Waldsterben“ mit verantwortlich (siehe unten).

Schwefeldioxid ist ein farbloses, stechend riechendes, nicht brennbares, korrodierendes Gas. Es ist ein Reduktionsmittel und der Schwefel zeigt das Bestreben, bis zu Oxidationszahl +VI hoch zu oxidieren.

Eine oxidierende Wirkung ist nur bei starken Reduktionsmitteln zu beobachten, da die Sauerstoffatome des SO_2 – Moleküls, sehr fest gebunden sind.

Die fäulnis- und gärungsverhindernde Wirkung von SO_2 benutzt man zum „Ausschwefeln“, Desinfizieren von Wein- und Bierfässern und von Früchten und Säften („Schwefeln“).

IV.III. Demonstration des Phänomens „Saurer Regen“ auf Metall Daten zum Phänomen „Saurer Regen“

Benutzte Geräte

Einmachgläser
mit Deckel

Eingesetzte Chemikalien

Eisenerzeugnisse
Watte
Schweflige -/ Schwefelsäure

Durchführung

Der Boden des Einmachglases wird mit Watte bedeckt. Anschließend werden einige ml Säure darauf gegeben. Die Eisenteile werden nun willkürlich in das Gefäß eingebracht.

Das Einmachglas wird nun verschlossen mehrere Tage und Wochen aufbewahrt.

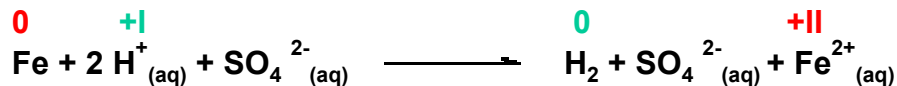
Beobachtung

Die Eisenteile sind schon nach einigen Tagen von einer rot-braunen Oxidschicht, die umgangssprachlich als Rost bezeichnet wird, überzogen. Einige sind sogar gänzlich „zerfressen“, andere zeigen „Lochfraß“.



Auswertung

Das oben kurz beschriebene Phänomen wird als Korrosion bezeichnet. Korrosion ist demnach die allmähliche Zerstörung metallischer Werkstoffe durch chemische Einwirkung von außen. Für diesen Vorgang, der auch als „rosten“ bezeichnet wird, sind komplexe chemische Prozesse verantwortlich, die nicht gänzlich geklärt sind. Vereinfachend sei hier die Einwirkung von Schwefelsäure – als Bestandteil des sauren Regens - auf Metall / Eisen dargestellt:



Nach längerer Einwirkung ist entsprechend obiger Reaktionsgleichung kein Metall, sprich Eisen mehr vorhanden; ausschließlich Eisenoxid in einer stöchiometrisch nicht eindeutig definierbaren Zusammensetzung. Korrosion tritt allerdings nicht nur mit mehr oder minder starken Säuren auf, sondern zeigt sich auch bei Vorhandensein von Wasser und Luftsauerstoff.¹

Das wirft letztlich die Frage auf, was saurer Regen ist und ob dieses Phänomen wirklich für Korrosion oder ähnliches verantwortlich sein kann.

Zunächst entstehen durch Verbrennung bzw. Umsetzung von den verschiedensten Stoffen und Stoffgruppen Emissionen, wie z.B. CO₂, SO₂ oder NO_x. Als Säureanhydride bilden diese Stoffe mit Wasser Säuren.

Daraus resultiert ein Weg der Bildung des Sauren Regens.

Ein weiterer verläuft über die Bildung von Hydroxylradikalen, HO·, die in einer bestimmten Konzentration in der Luft vorliegen. (Normale Konzentration: 1 Radikal auf 10¹⁸ Luftmoleküle)

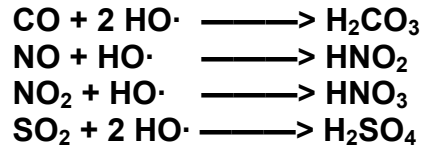
Diese Radikale, die als Waschmittel der Atmosphäre bezeichnet werden und an der Entstehung von bodennahem Ozon beteiligt sind (s.o.), entstammen primär aus stratosphärischem Ozon und Wasser und gelangen bei Hochdruckeinfluss in bodennahe Schichten:

¹ Ein beachtenswertes Phänomen ist in diesem Zusammenhang die Ausbildung eines so genannten Lokalelementes. Die Auflösung von Metallen in oder mit Flüssigkeiten wird durch die Anwesenheit von Fremdmetallen, als Verunreinigung oder Überzug, häufig beschleunigt. So „rostet“ ein mit Zinn überzogenes Eisenblech (so genanntes Weißblech) bei Beschädigung der Zinnhaut rascher als ein unverzintes Eisen, weil in dem bei Zutritt von Wasser entstehenden Lokalelement das Eisen die elektronabgebende, das heißt oxidierende Elektrode darstellt.





Mit den oben erwähnten Säureanhydriden bzw. Nichtmetalloxiden reagieren sie zu Säuren:



Sie kommen allesamt in Saurem regen vor. Die Zusammensetzung ist dabei ort- und emissionsabhängig.

Die Korrosion von Metallen ist nicht das einzige Phänomen, das der saure Regen hervorruft.

Die Säuren regnen auf uns herab. Das geschieht heute nicht mehr lokal begrenzt wie früher, sondern großflächig, kontinental. Wir beobachten ihre Wirkung an Bauwerken und an Pflanzen.

Kalkstein reagiert mit Schwefelsäure zu Gips, womit eine Kristallvergrößerung verbunden ist. Das Bauwerk bröckelt, aber auch der Sandstein zerfällt.



Die beiden Abbildungen zeigen deutlich den Einfluss des sauren Regens auf den Sandstein und damit auf das Gebäude.

Wie oben schon beschrieben, entfärben sich Pflanzen unter Verlust von essentiellen biologischen Funktionen. Der oben beschriebene Verlust des Zentralions des Chlorophylls, Mg^{2+} , ist nur eine Erscheinung, die dazu führt, dass die Photosynthese nicht stattfinden kann.

Es werden aber auch Blütenfarbstoffe entfärbt, was zur Folge hat, dass diese Blüten von potentiellen Bestäubern gemieden wird und die Pflanze sich nicht fortpflanzen kann.



Weiterhin versauern die Böden.

Böden sind normalerweise gute Puffersubstanzen und verfügen über eine bestimmte Pufferkapazität. Ist diese erschöpft, werden die Böden zersetzt. Sie verlieren damit auch ihre Ionenaustauscherwirkung. Die Säuren stören somit den Stoffwechsel der Wurzeln, die Bäume verhungern.

Die Bäume und Pflanzen werden aber auch regelrecht vergiftet, denn der Saure Regen löst Aluminium-Ionen aus den Tonmineralien der Böden heraus. Al-Ionen sind in hohen Konzentrationen pflanzentoxisch. Insgesamt muss man aber deutlich sagen: Es handelt sich bei dem Phänomen "Waldsterben" um ein äußerst komplexes Geschehen, bei dem der Saure Regen nur eine Systemkomponente unter vielen ist.



Letztlich haben die sichtbaren Auswirkungen des Phänomens Saurer Regen konkrete Handlungen der Politik hervorgerufen.

Das Internationale Abkommen zur Luftreinhaltung aus den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts, welche die Reduzierung von SO_2 – Emissionen vorschreibt. Oder die Regelungen über Grenzwerte und Richtlinien sprechen eine deutliche Sprache. Die Folgen, die für Industrie und Wirtschaft entstehen, werden später diskutiert.



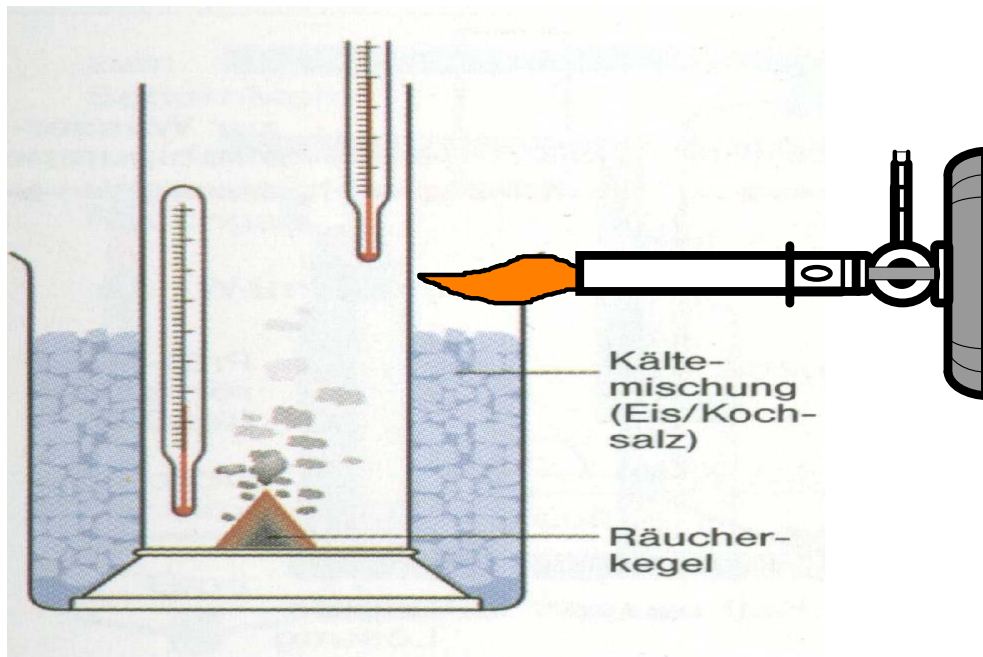
IV.IV. Modellversuch einer Inversionswetterlage Erklärungen

Benutzte Geräte

Becherglas
Standzylinder
Bunsenbrenner

Eingesetzte Chemikalien

Räucherkegel
Eis



Durchführung

Ein Standzylinder wird in ein mit Eis gefülltes Becherglas gestellt. Anschließend wird ein Räucherkegel entzündet und hinein geworfen. Nun wird mittels Bunsenbrenner der Standzylinder in einer bestimmten Höhe erwärmt.

Beobachtung

Der Kegel beginnt zu rauchen. Durch die große Temperaturdifferenz zwischen Boden des Zylinders – Emissionsquelle – und der Stelle, an welcher der Zylinder durch den Brenner erwärmt wurde, kann der Rauch nicht aus dem System entweichen. Er „klebt“ in der Höhe, an der erwärmt wurde.



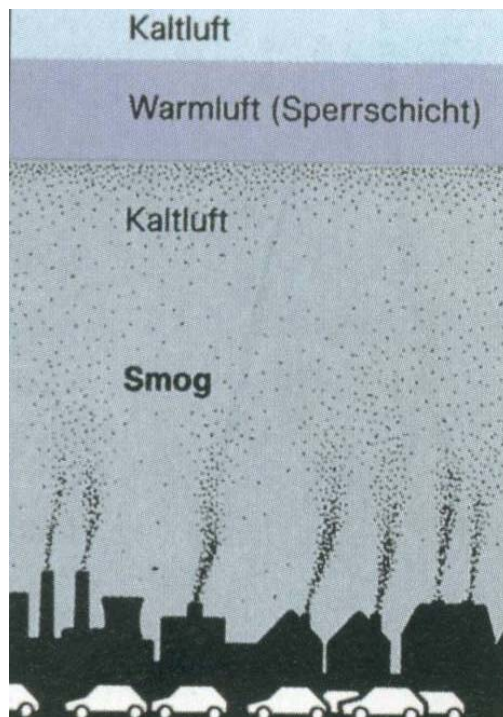
Lehramtsvortrag
Luftschadstoffe

Auswertung

Der Versuch beschreibt modellhaft eine Inversionswetterlage, die eine Voraussetzung für die Bildung einer Smogsituation ist.

Als Inversionswetterlage wird die Umkehrung der natürlichen Temperaturabnahme mit steigender Höhe bezeichnet. Dadurch wird der Austausch zwischen bodennahen und höheren Luftschichten behindert. Die Literatur spricht gelegentlich auch von austauscharmen Wetterlagen.

Die Folge derartiger Wetterlagen über Ballungszentren wie Städten oder Industrieansiedelungen, ist die Konzentrierung von Luftschadstoffen und dadurch eine Überschreitung von Immissionsgrenzwerten, ohne dass die Emissionsgrenzwerte nach der TA - Luft auch nur annähernd erreicht werden.



Auf diese Art und Weise können die Konzentrationen der Emissionen schnell gesundheitsgefährdende Ausmaße erreichen und zu Beeinträchtigungen der Atemwege, zu Reizungen der Schleimhäute oder zu Kreislaufbeschwerden führen.

Je nach Jahreszeit und Art der emittierten Stoffe, unterscheidet man unterschiedliche Typen von Smog. Hohe SO_2 - und Staub - Konzentrationen werden als London - Typ des Smog bezeichnet. Er tritt in der Regel in den Wintermonaten auf. Im Sommer, bei heißen Hochdruckgebieten, ist aufgrund von Photooxidantien der Los Angeles - Typ auch in Mitteleuropa anzutreffen.

Potentiell gefährdet sind vor allem alte und kranke Menschen. Im Jahre 1952 starben in London innerhalb von zwei Wochen mehrere tausend Menschen als Folge von Smog. Im Ruhrgebiet waren es 1962 noch 150 Menschen, die starben.



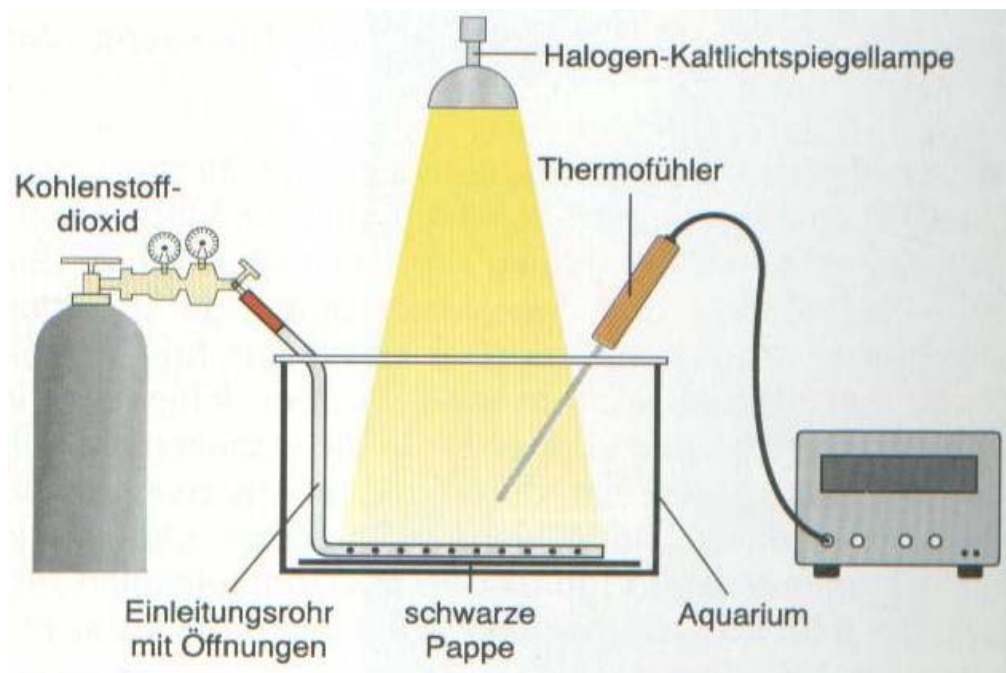
IV.V. Modellversuch des Treibhauseffektes

Benutzte Geräte

Zwei Bechergläser
Zwei Temperaturfühler
mit LED - Anzeige
PVC - Schlauch
Schwarze Pappe
50 Watt Halogen Kaltlichtspiegellampe

Eingesetzte Chemikalien

Kohlendioxid



Durchführung

Die Pappe wird kreisrund geschnitten und in die beiden Bechergläser gelegt. Die Temperaturfühler werden jeweils im gleichen Abstand zum Boden in die Bechergläser gehängt. Beide Bechergläser werden nebeneinander gestellt und die Halogenlampe in der Mitte darüber. Nun strömt in eines der beiden Bechergläser für ca. 20 – 30 Sekunden CO_2 und die Lampe wird im Anschluss angeschaltet.

Beobachtung

Beide Bechergläser starten bei einer Temperatur von 25°C . Die Luft des Becherglases, in das CO_2 eingefüllt wird, kühlt kurz nach Einfüllen etwas ab. Nach Bestrahlung der beiden Bechergläser mit Licht, steigt in beiden die Temperatur. Nach wenigen Minuten steigt die Temperatur in dem mit CO_2 befüllten Becherglas stärker an, als die Temperatur des anderen Becherglases. Die Messung wird bei einer Temperaturdifferenz von $1,7\text{K}$ beendet.



Auswertung

Das im Modellversuch dargestellte Phänomen wird in der Wissenschaft als Treibhauseffekt bezeichnet.

Der Mechanismus des Treibhauseffektes ist relative einfach zu beschreiben:

Der Treibhauseffekt beschreibt die Eigenschaft der Atmosphäre, also der Gashölle um die Erde, einfallendes sichtbares Licht weitgehend durchzulassen, die länger wellige Rückstrahlung, die Wärmestrahlung oder Infrarotstrahlung (IR-Strahlung), aber stärker zu absorbieren. Die Atmosphäre, damit die Gasmoleküle, die sich dort befinden, verhält sich ähnlich wie ein Treibhausdach. Durch diesen Effekt ist Leben auf der Erde möglich geworden. Wissenschaftler haben heraus gefunden, dass eine Atmosphäre, wie sie auf der Erde herrscht, ca. -18°C kalt wäre. Der oben beschriebene Effekt sorgt dafür, dass die globale mittlere Temperatur bei 15°C liegt.

Daher spricht die Wissenschaft auch vom *natürlichen Treibhauseffekt*. Wie die untere Abbildung zeigt, sind zwei Stoffe im Wesentlichen für den Treibhauseffekt verantwortlich: Wasser in Form von Wasserdampf und Kohlendioxid.

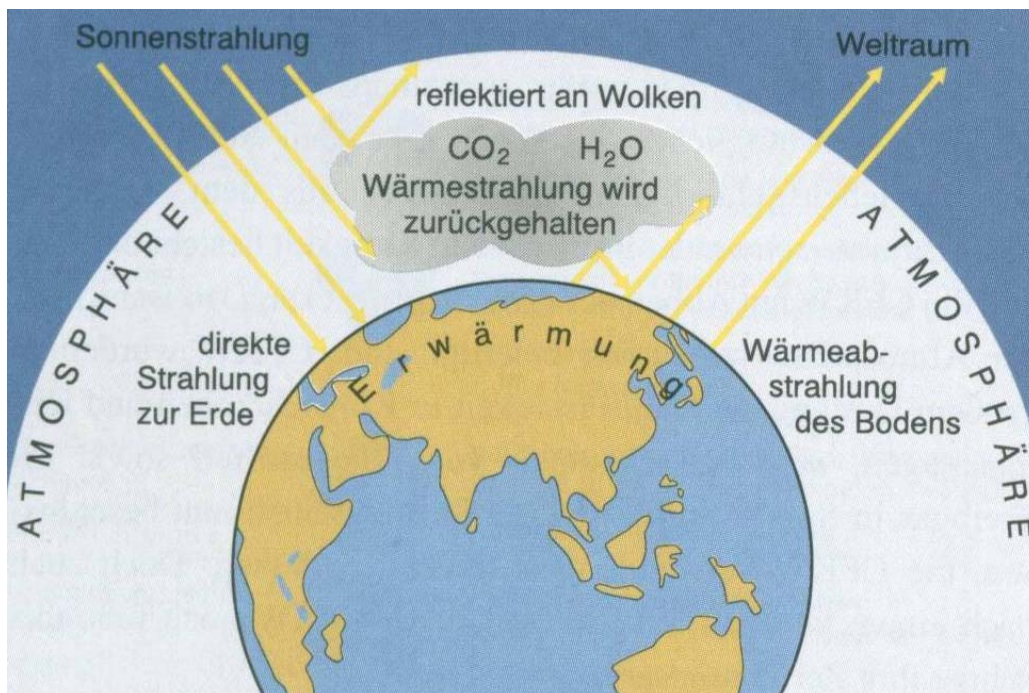


Abbildung XXX: Modelldarstellung des Treibhauseffektes



Die folgende Tabelle gibt nun genaueren Aufschluss über die einzelnen Stoffe und ihre Bedeutung für die Temperaturerhöhung von 33°C.

Beitrag der einzelnen Spurengase zum "Treibhauseffekt"					
Temperaturanstieg durch Spurengase 33 °C (von -18 °C auf +15 °C)					
	Konzentration in der Luft ppm	Temperaturanstieg °C	Lebensdauer Jahre	Spezifisches Treibhauspotential	jährlicher Zuwachs %
Wasserdampf	2-3000	20,6	0,01	-	-
Kohlenstoffdioxid (CO ₂)	350-370	7,2	5-200	1	0,4-1,7
bodennahes Ozon (O ₃)	0,2-10	2,4-2,7	0,08-0,5	1800-2000	0,5-2,0
Distickstoffoxid (N ₂ O)	0,3	1,4	100-170	150-290	0,2-0,4
Methan (CH ₄)	1,7	-	16-150	3500-17000	3,0-7,0
Sonstige	< 10	0,6	nicht bekannt	nicht bekannt	

Bleibt die Frage, was eigentlich Wärme ist bzw. warum Moleküle diese Wärme speichern können !?

Einmal ist Wärme kinetische Energie. Der Stoß von Molekülen auf entsprechende Sensoren in der Haut löst das Gefühl "Wärme" aus. Beim Erwärmen eines Gases bewegen sich die Moleküle rascher, die Zahl der Stöße nimmt zu.

Wärme ist aber auch elektromagnetische Strahlung. Wir kennen dies von der Rotlichtbestrahlung beim Arzt oder vom wärmestrahrenden schwarzen Ofen. Ein großer Teil der uns erreichenden Sonnenstrahlung besteht aus dieser Energieform. Die Frequenz dieser elektromagnetischen Schwingungen liegt im Infrarotbereich (IR). Strahlung durchdringt die Atmosphäre nur begrenzt. Der Grund ist, dass Spurengase wie CO₂ neben der UV-Strahlung (< 400 nm) auch einen Teil der IR-Strahlung (> 800 nm) absorbieren. Dabei treten die Dipole und Elektronen im Molekül in Wechselwirkung mit der elektromagnetischen Schwingung und werden "angeregt". Nun darf man sich Moleküle nicht als starre Partikel vorstellen, wie man sie aus dem Molekülmodell-Baukasten her kennt, sondern als ständig schwingende Objekte. So kann das CO₂-Molekül z. B. folgende Grundschwingungen zeigen, die sich zu zahlreichen Oberschwingungen kombinieren:



Diese Anregung erfordert die Absorption von präzise definierten Energiepaketen, den Quanten ($E = h \cdot \nu$). Jeder Stoff zeigt sein spezifisches Absorptionsmuster (Spektrum), an dem er sogar erkannt werden kann. Je komplizierter ein Stoff aufgebaut ist, desto komplizierter ist auch sein IR-Spektrum.

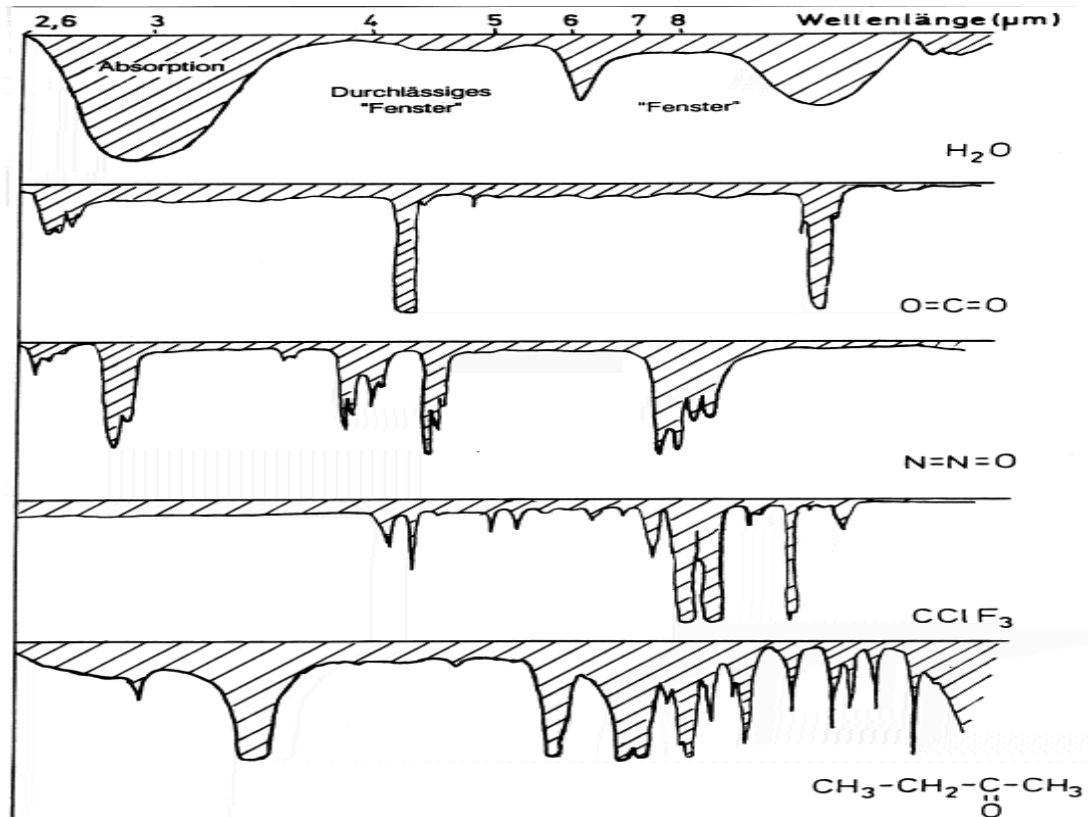


Abbildung: IR-Spektren wichtiger Treibhausgase. Man sieht, dass CO₂, N₂O, FCKW und Methylethylketon (ein typisches Lösemittel) die "Fenster", die der Wasserdampf offen lässt und durch die IR-Strahlung die Atmosphäre passieren kann, schließen.

Umgekehrt erfolgt auch die Abgabe der Energie nur Quanten weise. Folglich konservieren die Moleküle die Wärmestrahlung in Schwingungszuständen.

Die Moleküle können ihre Energie auch wieder abgeben. Dies kann zunächst durch einen Stoß mit einem anderen Molekül erfolgen. Dabei wird nur die genau einem Quant entsprechende Energiemenge als Schwingungs- oder als kinetische Energie auf andere Moleküle übertragen. Wichtiger ist die sofortige Wiederabstrahlung, die Fluoreszenz. Da bei diesem Prozess die elektromagnetische Strahlung langsam immer energieärmer, d. h. langwelliger wird, wandelt sich auch die UV-Strahlung von der Sonne zunehmend in IR-Strahlung und somit in Wärme um. Dies wird durch die Ausdünnung des UV-abschirmenden Ozongürtels noch gefördert.

Fluoreszenz erfolgt in alle Richtungen. Oberhalb einer Höhe von ca. 30 km, in der Stratosphäre, wird mit zunehmendem CO₂-Gehalt immer mehr der von außen kommenden Strahlung durch ungerichtete IR-Fluoreszenz in den Weltraum zurückgestrahlt ("gespiegelt").



Dies führt zu einer starken Abkühlung der Stratosphäre. Andererseits wird die vom erwärmten Erdboden aus in Richtung auf den Weltraum abgestrahlte Energie von Gasmolekülen absorbiert und durch Fluoreszenz abgegeben. Im allgemeinen werden die benachbarten Moleküle diese Energie auffangen und ihrerseits weitergeben. Damit wird die Wärme gleichmäßig in der Troposphäre verteilt.

Nicht nur CO₂ ist ein klimawirksames Gas, sondern auch andere komplex gebaute Moleküle wie das Distickstoffoxid, N₂O, das in Milliarden Tonnen pro Jahr durch mikrobielle Tätigkeit oder bei Verbrennungsprozessen emittiert wird. Gleiches gilt für Methan (CH₄), die FCKW oder Lösemitteldämpfe. Auch Ozon ist ein bedeutendes Spurengas mit Treibhauswirkung.

Tabelle: Relativer Treibhauseffekt je Molekül	
Kohlenstoffdioxid	1
Methan	32
Distickstoffoxid	150
Ozon	2000
FCKW	15000
Lösemittel wie Ester	> 50000

Vergessen wollen wir dabei auch nicht das Wasser. Ausgerechnet dessen Bereich mit fehlender Absorption ("Fenster") verschließen die anderen Spurengase. Daher rührt deren besondere Effektivität auch in geringsten Konzentrationen. (siehe oben, IR – Spektren)

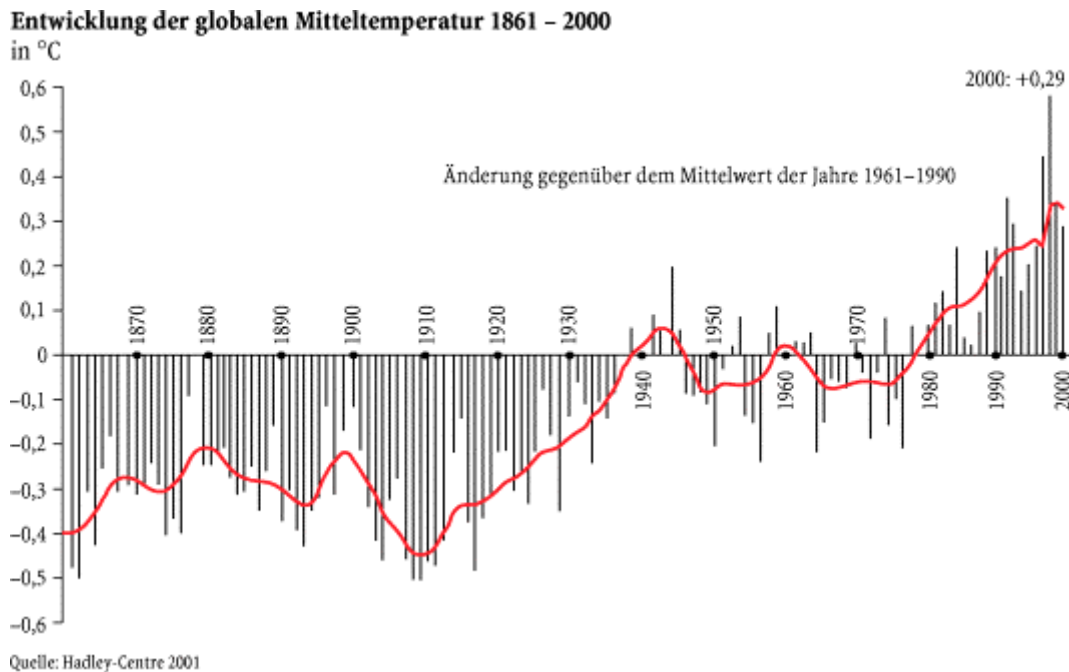
Also gibt es einen Zusammenhang zwischen der Erhöhung der Konzentration von CO₂ in der Atmosphäre und der andauernden globalen Erwärmung.

Die Abbildung zeigt den Anstieg der Kohlendioxid Emissionen in den letzten 250 Jahren.

**Entwicklung der globalen Kohlendioxid (CO₂)-
Emmissionen 1751–1996**
aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe und
der Zementproduktion in Mrd. t



Damit einhergehend ist eine Erhöhung der globalen mittleren Temperatur:



Die Kurven verlaufen erschreckend parallel. Mit einer Erhöhung der CO₂ – Konzentration ist auch eine Erhöhung der globalen mittleren Temperatur einher gegangen. Neueste Untersuchungen zeigen, dass im 20. Jahrhundert auf der Nordhalbkugel die stärkste Erwärmung der letzten 1000 Jahre auftrat. Das Jahrzehnt von 1990–1999 stellt die bisher wärmste Dekade dar, wobei sieben der zehn weltweit wärmsten Jahre des letzten Jahrhunderts nach 1989 auftraten - 1998 war das bislang wärmste Jahr in dieser Entwicklung. Eine der unmittelbaren Folgen der Erwärmung, ist das Ansteigen der Meere. In den letzten 100 Jahren stieg der Meeresspiegel weltweit um etwa 0,1 bis 0,2 m an.

Nun gibt es auch Wissenschaftler, die behaupten, der Temperaturanstieg sei eine Anomalie der natürlichen Erwärmung.

Aktuelle wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass der beobachtete globale Temperaturanstieg nicht mehr nur auf natürliche Fluktuationen, sondern auch auf anthropogene Einflüsse zurückzuführen ist. Sowohl aus dem Vergleich der beobachteten globalen Temperaturänderungen mit Modellsimulationen als auch detaillierten statistischen Untersuchungen langer globaler Temperaturreihen lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass die anthropogene Beeinflussung einen wesentlichen Faktor für die globale Erwärmung darstellt.



Und für die Zukunft sehen die Rechenmodelle für Mitteleuropa der Wissenschaftler nicht besonders gut aus:

Der anthropogene Treibhauseffekt verursacht Veränderungen im Klimasystem, deren Ausmaße und Auswirkungen aufgrund der vielfältigen komplexen Wechselwirkungen für die Zukunft nur durch Modellrechnungen abgeschätzt werden können. Sie geben Hinweise darauf, dass sowohl die Veränderung des Klimas als auch des Meeresspiegelanstieges nicht gleichmäßig über den Globus verteilt sind.

Aus Szenarienrechnungen werden für Europa folgende wesentliche Klimaänderungen abgeleitet:

- Mittlere Temperaturzunahmen um 0,1–0,4 °C pro Jahrzehnt, wobei die Erwärmung in Südeuropa (Spanien, Italien, Griechenland) und Nordosteuropa (Finnland, Westen Russlands) am stärksten ausfällt
- Zunahme heißer Sommer (Für Südspanien wird mit einer Verfünffachung bis 2020 gerechnet)
- weitverbreitete Zunahme der Niederschläge um 1–2% pro Jahrzehnt in Nordosteuropa bei gleichzeitiger möglicher Abnahme der Niederschläge in Südeuropa um bis zu 1% pro Jahrzehnt. Im Sommer sind die Unterschiede zwischen Nord und Süd besonders ausgeprägt (Nordosteuropa: bis zu +2%/Jahrzehnt, Südeuropa: bis zu –5%/Jahrzehnt)

Insgesamt ist zu erwarten, dass vor allem der Süden Europas durch negative Effekte als Folge von Klimaänderungen betroffen sein wird, so dass insbesondere in mediterranen Regionen Wüstenbildung, Wasserknappheit und Waldbrände zunehmen werden.

Auf diese Fakten haben Politik, Wissenschaft und Industrie versucht zu reagieren. Es wurden diverse Abkommen unterzeichnet, welche die Reduzierung von klimawirksamen Gasen, wie CO₂, beschlossen. Das Kyoto - Protokoll sieht demnach eine Reduzierung der sechs „Kyoto – Gase“ bis zum Zeitraum 2008 – 2012 um 21% für die EU vor. Deutschland hält dagegen an dem ehrgeizigen Ziel, die CO₂ – Emissionen national um 25% im Jahr 2025 gegenüber 1990 zu senken.

Maßnahmen, um dieses Ziel zu erreichen sind einerseits Energiesparmaßnahmen im privaten und öffentlichen Bereich, die Verdopplung des Anteils an erneuerbarer Energie am Primärenergiebedarf auf 5% und in der Stromerzeugung auf 10% im Jahre 2010, Reduzierung der spezifischen Emissionen über alle sechs „Kyoto-Gase“ ausgedrückt in CO₂-Äquivalenten um 35% gegenüber 1990 bis 2012 oder der spezifischen CO₂-Emissionen um 28% bis 2005, Reduzierung der CO₂-Emissionen im Straßenverkehr und Reduzierung der klimarelevanten Emissionen des Flugverkehrs.



IV.VI. Weitere Wirkungen von Luftschadstoffen

Die aufgeführten Wirkungen von Luftschadstoffen stellen nur einen Ausschnitt der Vielzahl von unterschiedlichen Wirkungsweisen und Reaktionen dar. Nahezu das komplette Wissen von chemischen Reaktionen findet in diesem Wissenschaftsbereich seine Anwendung. Von einfachen Säure-Base Reaktionen, über Redox - Reaktionen, hin zu Substitutionen, Eliminierungen, Additionen und gar radikalischen Vorgängen.

Folgende Darstellung soll nur einen Überblick über verschiedene Reaktionen vermitteln.



V. Problemlösungen

VIII.I. Problemlösungsstrategien

Probleme, die durch menschliches Handeln hervorgerufen werden, sind kein Problem der Neuzeit. Solche Folgeerscheinungen sind seit Jahrtausenden bekannt. Die schon oben im Text angesprochenen toten Landschaften um Betriebe, die Bleiglanz verarbeiteten, sind ein frühes Indiz für die Beobachtung von Phänomenen, die in Zusammenhang mit stofflicher Umsetzung gebracht wurden.

Heute ist zum einen das Problembewusstsein der Gesellschaften gewachsen und zum anderen hat die industrielle Stoffproduktion die Problemsituation global exponentiell vermehrt. Menschen handeln dabei nach einem Prinzip, das in der Natur ebenso eine breite Anwendung findet: maximaler Gewinn oder Ausbeute (Zielerreichung) bei minimalem Einsatz von Ressourcen, sprich Geld. Für dieses Verhältnis hat sich der Begriff „Effizienz“ eingebürgert.

In der Natur versuchen Organismen möglichst viel Energie durch wenig Einsatz von Ressourcen zu erreichen. Dieses ist eine relative Gewährleistung für eine längere Daseinsberechtigung. Organismen handeln dabei nachhaltig – sie verbrauchen nicht mehr als nötig und nicht mehr als nachwächst.

Menschen dagegen handeln nicht nachhaltig. Sie verbrauchen mehr Ressourcen als nötig und vor allem: mehr als nachwächst. Dabei betrachten sie bestimmte Güter als universell, als kostenlos und permanent vorhanden. Luft, Wasser und die Erde im Allgemeinen. Effizienz bedeutet hier das Verhältnis zwischen kostenlosen Gütern mit der Gewinnung von Bodenschätzen multipliziert und dem gesellschaftlichen Nutzen, der daraus entsteht.

Die Probleme, die aus der Gewinnung und des endlichen Verbrauchs von Ressourcen einhergehen, werden zunehmend seit ca. 35 Jahren ernsthaft diskutiert.

Die Lösungsstrategien sind wiederum typisch menschlich und entsprechend gewinnorientiert. Nicht das Prinzip der Nachhaltigkeit steht im Vordergrund sondern ein nachgeschalteter Umweltschutz.

So genannte *end of pipe – Technologien* werden als Allzweckwaffen propagiert und etabliert. Sie beeinflussen nicht die Art und Weise der Gesteherung der Probleme, sondern lindern die Erscheinungsformen der Probleme.

Ganzheitliche Strategien werden lediglich als Gewissensberuhigung betrachtet und finden kaum Beachtung. Als Beispiele sollen nur die Agenda 21 erwähnt und die derzeitige Auseinandersetzung um eine zukunftsfähige Energieversorgung aller Menschen genannt werden.



Allgegenwärtig ist die „end of pipe“ Strategie im Verkehrsbereich in Form des Abgaskatalysators. Die umgangssprachlich auch als 3-Wege Kat bekannte Technologie oxidiert katalytisch Schadstoffe „hoch“ zu ungefährlicheren Emissionen.

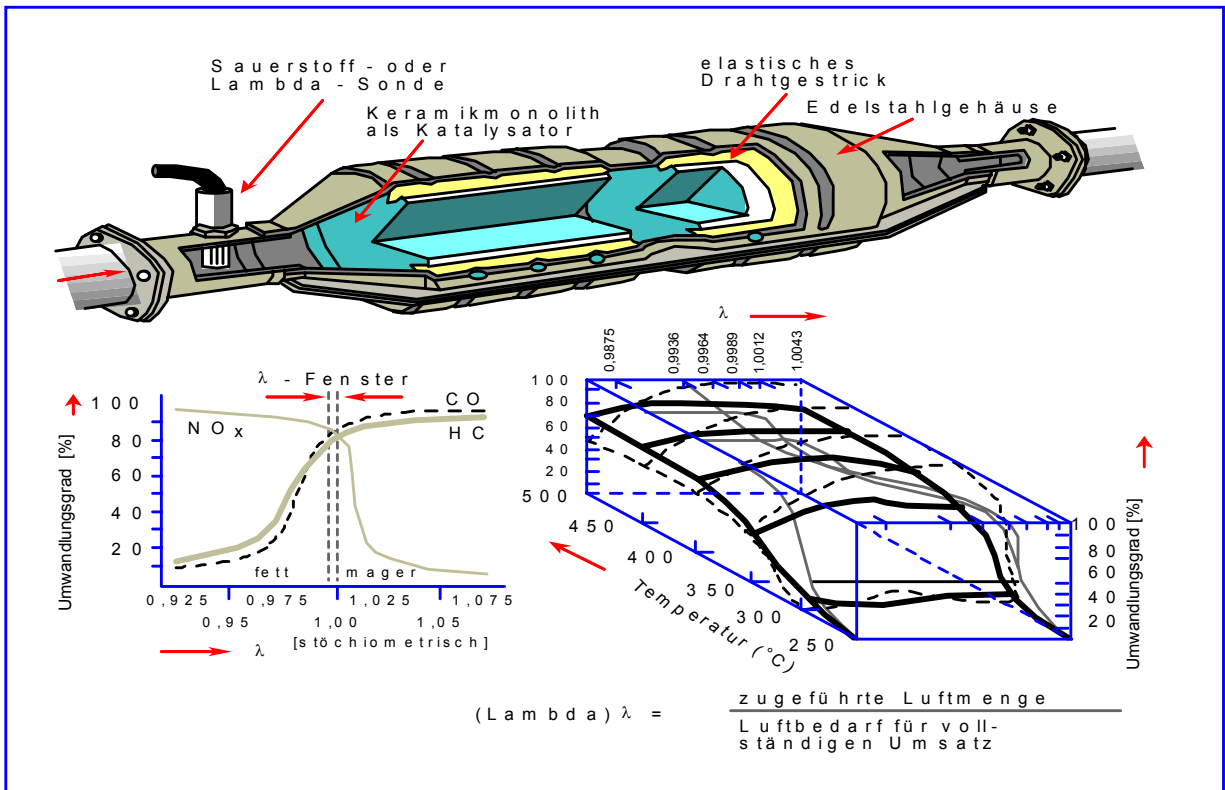
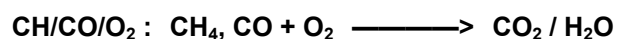
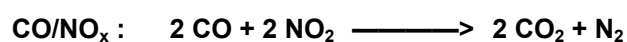
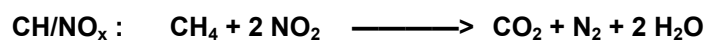


Abbildung XX zeigt den Querschnitt eines Abgaskatalysators.

Von der Automobilindustrie wird der Kat als Meilenstein dargestellt. Unbestritten trifft ihn diese Bezeichnung. Aber es führte auch zu einer schnellen Gewöhnung und einem Sättigungszustand in den Köpfen der Autofahrer, der Menschen, da sie annahmen, es sei ausreichend, die Abgase zu reinigen.

Folgende Reaktionen treten dabei in den Vordergrund:

Kat.



Zusammensetzung der schädlichen Auspuffgase	
	(Vol%)
CO ₂	87,6
CO	10,3
NO _x	0,6 (bei gemäßigttem Fahrstil)
SO ₂	0,06
CH	1,07 (unverbrannte Kohlenwasserstoffe)
Aldehyde	0,4
Summe	» 100

Abbildung TTT zeigt die Zusammensetzung von Autoabgasen ohne Katalysator.

Zusammensetzung der Kfz-Abgase	
CO ₂	9,0 Vol%
O ₂	4,0
H ₂	2,0
CO	1,0
NO _x	0,06 - 0,1 (abhängig von der Motorleistung)
SO ₂	0,006
KW ^{*)}	0,11
Aldehyde	0,04
*) Kohlenwasserstoffe, werden auch CH abgekürzt.	

Abbildung TTT zeigt die Zusammensetzung von Autoabgasen mit Katalysator.

Die nachgeschaltete Abgasreinigung im Kfz – Bereich führte zu einer Verminderung der klimawirksamen Einträge in die Atmosphäre und zu einer Reduzierung von Schwermetallemissionen. Aber sie stellt keine Lösung des Problems an sich dar.

Eine weitere Anwendung von *end of pipe – Technologien* ist der Einsatz von Filtern in Industrieanlage. Hierbei muss zwischen physikalisch – mechanischen und chemischen Filtermethoden unterschieden werden. Partikel, die eine gewisse Größe und Durchmesser haben, werden in der Regel durch relativ einfache Filtersysteme physikalisch - mechanisch heraus gefiltert. Die Filter müssen anschließend deponiert werden. Eine Recylisierung findet in aller Regel nicht statt. Andererseits gibt es aber auch Filtersysteme, die sich chemischer Reaktionen bedienen, um Abgase zu reinigen.



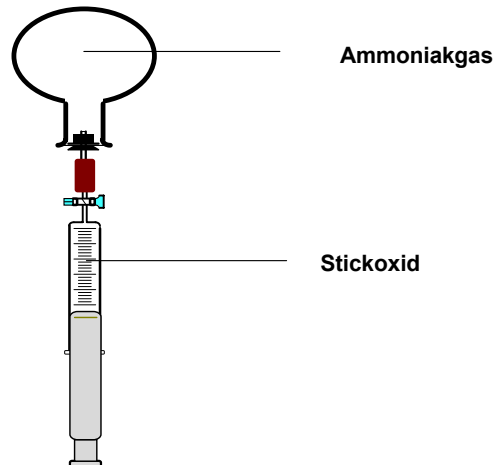
V.II. Modellversuch einer DENOX – Anlage

Benutzte Geräte

Rundkolben
Kolbenprober
3 – Wege Hahn
Stativmaterial
Reagenzglas
Glasrohre
PVC - Schlauchverbindungen

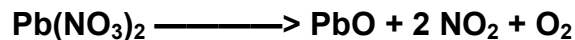
Eingesetzte Chemikalien

Bleinitrat
Ammoniumchlorid
Calciumoxid



Durchführung

Zunächst wird aus Bleinitrat das Gas der Begierde, Stickstoffdioxid, durch Erhitzen nach folgender Reaktionsgleichung gewonnen:



Das entstehende Gas wird in einem Kolbenprober aufgefangen. Zur Ammoniakdarstellung erhitzt man eine Mischung aus Ammoniumchlorid und Calciumoxid. Das Gas fängt man mit einem umgekehrt eingespannten Kolben und mit Hilfe eines Einleitungsrohres auf.

Nun spannt man Rundkolben und Kolbenprober nach obiger Skizze ein und schiebt langsam das Stickoxid aus dem Prober in den Rundkolben.

Beobachtung

Das deutliche braungefärbte Gas, die Stickoxide, wird entfärbt. Während des Vortrages war ein deutlich erkennbarer weißer „Schleier“ innerhalb des Rundkolbens zu erkennen. Nach einigen Minuten bis wenigen Stunden war der Rundkolben wieder „glasklar“.



Auswertung

Bei dieser Reaktion handelt es sich um eine Simulation eines großtechnischen Verfahrens, dem so genannten DENOX - Verfahren, das auch als SCR - Verfahren bekannt ist. Der Begriff DENOX leitet sich aus dem Lateinischen ab: De bedeutet „weg“ oder „weniger“ und NOX steht für NO_x. SCR meint „selectiv catalytic reaction“ – selektive katalytische Reaktion.

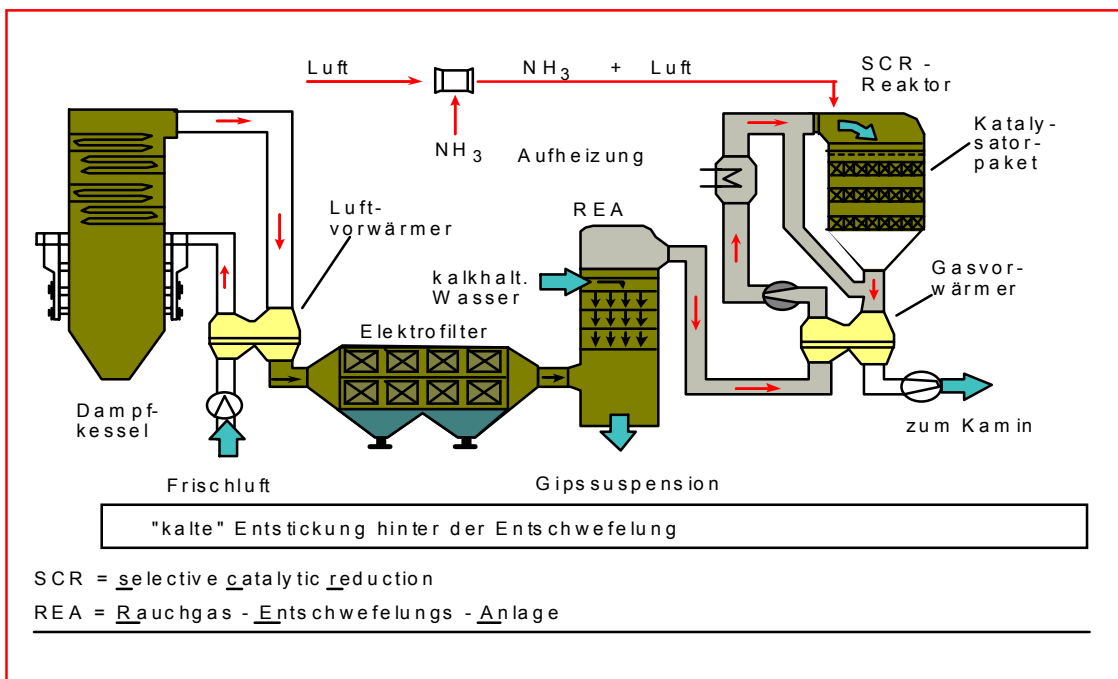
Die chemische Reaktion, die abgelaufen ist, ist eine Symproportionierung:



Stickstoff liegt auf der linken Seite in zwei unterschiedlichen Oxidationsstufen vor, nämlich **+IV** und **-III**. Mittels Katalysator, im Modellversuch ist es die Glaswand des Kolbens, wird der eine Stickstoff reduziert, der andere oxidiert, so dass auf der rechten Seite der Stickstoff in nur einer Oxidationsstufe, **0**, vorliegt. In der Großindustrie werden Katalysatoren aus Eisenoxid / Chromoxid / Wolframoxid eingesetzt, die eine wesentlich bessere katalytische Wirkung zeigen und die Reaktion mit dem gewünschten Ergebnis ablaufen lassen. Im Modellmaßstab entstehen noch geringe Mengen Ammoniumsalze, welche die weißen Nebel bei Durchführung erklären.

Das DENOX - oder SCR – Verfahren findet direkte Anwendung in zur Reinigung von Abgasen von Industrieanlagen.

Das folgende Schaubild zeigt eine kombinierte Anlage aus Entstickung und Entschwefelungsanlage.



VI. Schlussbetrachtung

Ob unser Planet langfristig überlebt, hängt nicht zuletzt von einem Bewusstseinswandel in den Köpfen aller Menschen ab. Die arrogante Haltung, dass bestimmte Güter kostenlos sind, bestimmt das wirtschaftliche Handeln. Hier muss ein Umdenken statt finden: Weg von den linearen, hin zu cyclischen Prozessen. Dabei darf nicht vergessen werden, dass Raubbau uns etwas kostet. Nämlich das Leben. Die Ökonomie darf nicht mehr nach rein wirtschaftlichen Argumenten handeln, denn die Folge wäre, dass zum Ende niemand mehr da wäre, der die Produkten kaufen könnte. Langfristige, nachhaltige Strategien müssen ernsthaft aufgegriffen und umgesetzt werden. Lippenbekenntnisse und Handeln nach dem NIMBY – Effekt², bedeuten eine Konterkarierung und wirken kontraproduktiv.

In diesem Sinne: packen wir's an.

VI. Bibliografie

Römpp Chemie Lexikon – Version 1.0, Stuttgart/New York: Georg Thieme Verlag 1995

Blume, Hildebrand, Hilgers: Umweltchemie im Unterricht, Berlin: Cornelsen 1997

Holleman, Wiberg: Lehrbuch der Anorganischen Chemie, Berlin/New York: Walter de Gruyter 1985

Umweltbundesamt: Daten zur Umwelt, Berlin, 2002

Blume: Webseitenangebot des Bildungsservers für Chemie, 2002. (www.dc2.uni-bielefeld.de)

² NIMBY: **Not in my backyard**: Nicht in meinem Vorgarten
– also das bekannte St.Florians Prinzip.





**Lehramtsvortrag
Luftschadstoffe**