

Modellversuch A 5683

Umweltschutz als Erziehungsaufgabe

Unterrichtseinheit +

Messung und Beurteilung luftverunreinigender Immissionen,  
dargestellt am Beispiel des Schwefeldioxids

Diese Unterrichtseinheit ist geeignet für den Chemie- und  
den Physikunterricht in den Jahrgängen 9 und 10 aller  
allgemeinbildenden Schulen.

Autor und Grafik : Dr.L Stäudel

Leitung und Moderation : E.Rupprecht

Alle Rechte bei : Hessischer Kultusminister und Bundes-  
minister für Bildung und Wissenschaft

Baunatal, Februar 1978

HAUPTERPROBUNGSFASSUNG — HAUPTERPROBUNG

## Vorwort

Diese Unterrichtseinheit beruht auf Erfahrungen, die der Autor im Rahmen seiner Tätigkeit an der Gesamthochschule Kassel auf seinem Arbeitsgebiet "Didaktik der Chemie" in Zusammenarbeit mit der Theodor-Heuss-Schule Baunatal, Modellversuch A 5683, machen konnte. Die Unterrichtseinheit wurde zunächst zusammen mit den Schülern einer Wahlpflicht-Gruppe im Bereich Ökologie entwickelt, in einer zweiten solchen Gruppe erprobt und schließlich nach Überarbeitung im Pflichtbereich erneut durchgeführt.

Wir bitten darum, diese Unterrichtseinheit als **A n r e g u n g** zu verstehen und zu bedenken, daß hier - wie immer sonst - unterrichtliche Maßnahmen auf dem Gebiet der Umwelterziehung nur dann sinnvoll sein können, wenn sie in einen umfassenden Zusammenhang gebracht werden, der sich durch alle schulischen Bereiche erstreckt.

Baunatal, Februar 1978

der Verfasser

Zur Benutzung der vorliegenden Materialien

Diese Unterrichtseinheit besitzt zwei mehr oder weniger ausgeprägte Fach-Schwerpunkte: Chemie und Mathematik.

Das Niveau der direkt zu vermittelnden chemischen und mathematischen Inhalte erfordert zwar keine speziellen Qualifikationen der Anwender, jedoch können sich erfahrungsgemäß dort Schwierigkeiten einstellen, wo die Unterrichtseinheit auf fachspezifische Vorkenntnisse der Schüler zurückgreift. Mögliche Lücken zu schließen oder Bekanntes wieder aufzufrischen bedarf sicher einer mathematisch-naturwissenschaftlichen Grundqualifikation des Lehrers. Daneben spielt dessen Bereitschaft, sich mit technischen Gegebenheiten und Möglichkeiten und auch der (kommunal-) politischen Umsetzung der Luftuntersuchung auseinanderzusetzen, eine erhebliche Rolle. Im Unterschied zum "normalen" Fachunterricht wird in dieser Unterrichtseinheit gerade angestrebt, vergleichbare Inhalte den Schülern in einem Zusammenhang nahezubringen, den sie als Teil ihrer Umwelt erkennen und akzeptieren können. Die daraus resultierende Motivation kann und soll sowohl für den übergreifenden Problemzusammenhang als auch für die fachspezifischen Elemente fruchtbar gemacht werden.

Äußere Form und Gestaltung der Unterrichtseinheit lassen einen geschlossenen Charakter vermuten. Jedoch schließen zeitlicher und regionaler Bezug schon in der Einführung eine völlig unveränderte Übernahme aus. Gerade die Aktualisierung für die jeweilige Situation der Schüler soll die Gewähr bieten, daß nicht - wie so häufig - Umweltprobleme nur als ein Vehikel für die Fachsystematik benutzt werden.

Eine Anpassung muß auch vorgenommen werden hinsichtlich des Wissensstandes der Schüler und ihrer sozialen schulischen Erfahrungen: So bestehen an vielen Stellen Differenzierungsmöglichkeiten (siehe Übersicht Seite ) im naturwissenschaftlichen Anspruchsniveau. Hinsichtlich der Sozialformen wird innerhalb der Unterrichtseinheit versucht, langsam den Anteil der Gruppenarbeit im Unterricht zu vergrößern, ausgehend von Gruppenaktivitäten neben der Schulzeit. Anspruchsniveau und vorgeschlagene Arbeitsformen müssen aber der konkreten Situation angepaßt werden.

Die Unterrichtseinheit besteht aus Materialien verschiedener Art:

- Vorschläge für einen möglichen Stundenverlauf VS
- Kommentare inhaltlicher oder didaktischer Art mit  
Alternativvorschlägen der Unterrichtsgestaltung,  
z.T. auch Sachinformationen K
- Arbeitsblätter und Unterrichtsmaterialien wie  
Lesetexte, Versuchsanleitungen usw. UM

Differenzierungsplan

Obwohl vom Verständnis der Unterrichtseinheit her eine Differenzierung und Abwandlung jeweils entsprechend der konkreten Unterrichtssituation erfolgen sollte, werden im folgenden Vorschläge der Zuordnung zu Kursen bzw. Jahrgängen gemacht.

Dabei werden im wesentlichen die Gegebenheiten des Faches Chemie berücksichtigt. Da nicht durchgängig Alternativangebote bei den Materialien entwickelt wurden, ist eine strenge Zuordnung zu Klassen und Kursen nicht immer möglich. Bei den einzelnen Materialien und in den Kommentaren wird jedoch auf die Möglichkeiten unterschiedlich vertiefter Behandlung der jeweiligen Inhalte hingewiesen.

Klasse 9		Klasse 10	
Grund- und Erweiterungskurs	Elementarkurs	Studienbezogener Kurs	Praxisbezogener Kurs

Abschnitt 1

VS 1	x	x	x	x
UM 1	x	x	x	x
K 1	———— inhaltliche u. methodische Alternativen ————			

Abschnitt 2

VS 2	x	x	x	x
UM 2.1.	x	x	x	x
UM 2.2.	x		x	x
UM 2.3.	(x)	(x)	x	x
K 2	———— inhaltliche Alternative u. Erweiterungsvorschläge ————			

Abschnitt 3

K 3.1.	x	x	x	x
VS 3	x		x	x
K 3.2.	—————			

	9 G/E	9 El.K.	1o stud.	1o prax.
UM 3.1.	x	x		
UM 3.2.	x		x	
UM 3.3.	x	x	x	x
UM 3.4.	x	x		
UM 3.5.	x	x		
UM 3.6.	x	x	x	x
UM 3.7. a)			x	(x)
b)			x	
c)	x	x	x	x

Abschnitt 4

K 4.1.	methodische Alternativen			
VS 4.1.	x	x	x	x
UM 4	x	x	x	x
VS 4.2.	x	x	x	x
K 4.2.	methodische Hinweise			
VS 4.3.	x	x		x

Abschnitt 5

K 5.1.	} je nach Stufe/Kurs im Niveau zu differenzieren
K 5.2.	
K 5.3.	

Abschnitt 6

K 6.1.	} je nach Stufe/Kurs im Niveau zu differenzieren			
K 6.2.				
UM 6.1.	x	x	x	x
K 6.3.	} je nach Stufe/Kurs im Niveau zu differenzieren			
K 6.4.				

9 G/E	9 El.K.	1o stud.	1o prax.
-------	---------	----------	----------

Abschnitt 7

- K 7
- K 7.1.
- K 7.2.
- UM 7.2.
- K 7.3.

für alle Stufen/Kurse

Abschnitt 8

K 8	inhaltliche Alternativen			
VS 8.1.	x	x		x
VS 8.2.	x	x	x	x
UM 8.2.1.	x	x	x	x
UM 8.2.2.	x		x	x
UM 8.2.3.	x		x	x
UM 8.2.4.	x	x	x	x
K 8.3.			x	x
VS 8.4.			x	
VS 8.5.	x	x	x	x
K 8.6.	je nach Stufe/Kurs im Niveau differenzierbar			

## Abschnitt 1

VS 1

Die Schüler erhalten den Text **UM 1** und werden aufgefordert, ihn still durchzuarbeiten.

Im anschließenden Unterrichtsgespräch werden alle die Probleme stichpunktartig zusammengestellt, über die die Schüler weiter diskutieren wollen. Stichpunkte werden an der Tafel (Overhead, Folie) festgehalten.

In der Diskussion sollten wenigstens drei Schwerpunkte herausgearbeitet werden:

- a) Widersprüchlichkeit und Unvollständigkeit der Informationen in den Zeitungsartikeln
- b) Defizit von Informationen in der Öffentlichkeit - Möglichkeiten der Informationsbeschaffung
- c) Bezug der Information zu naturwissenschaftlichen Grundlagen.

In Einzel- und Partnerarbeit werden Vorschläge für die weitere Beschäftigung mit den Problemen notiert.

Strukturierungshilfe:

- Was können wir im Unterricht erarbeiten?
- Was müssen wir außerhalb der Schule tun?

Auswertung:

- Es müssen Informationen über die (lokale) atmosphärische Belastung eingeholt werden.
- Im Unterricht müssen zunächst die (chemischen) Grundlagen für die Behandlung von  $\text{SO}_2$  als atmosphärischem Belastungsstoff wiederholt bzw. erarbeitet werden.
- Es werden Schülergruppen gebildet, die sich um die Erschließung von Informationsquellen bemühen:
  - + lokale und/oder überregionale Presse
  - + lokale Behörden
  - + Landes- und/oder Bundesbehörden (anschreiben)
  - + Industrie (IHK oder Einzelbetriebe)
  - + (Bürgerinitiativen)



UM 1

Die Erlebnisse des Herrn K.

7. Juni 1977, Kassel, 6<sup>15</sup> Uhr:

Herr K. steht auf, öffnet das Fenster ganz weit und sagt: "Die gute Luft". Herr K. wohnt nämlich am südwestlichen Stadtrand, und der Tag verspricht schön zu werden.

7. Juni 1977, Kassel, 7<sup>15</sup> Uhr:

Herr K. steht mit seinem PKW im Stau auf einer Hauptverkehrsstraße. In 10 Minuten ist er knapp 500 Meter weiter gekommen. Er hat Kopfschmerzen und denkt: "Diese Luft, kaum auszuhalten".

7. Juni 1977, Kassel, 9<sup>35</sup> Uhr:

Herr K. hat während der Arbeit keine Zeit gehabt, sich Gedanken darüber zu machen, ob die Luft nun gut oder schlecht ist. Als er beim Frühstück die Zeitung aufschlägt, ist er jedoch erstaunt, als er folgenden Artikel findet:

# Luft ist sauberer

## „Keine akute Gefahr“

Kassel (k). Die Kasseler Luft ist in den letzten Jahren sauberer geworden. Das war das Fazit eines umfassenden Berichts, den Bürgermeister Hille gestern abend vor dem Stadtparlament gab. Danach bestehe im Hinblick auf die Schadstoffbelastung der Luft für den Raum Kassel keine akute Gefahr. Lediglich vorsorglich sei Kassel als Belastungsgebiet im Sinne des Bundesimmissionsschutz-Gesetzes eingestuft worden, sagte Hille auf eine Anfrage der CDU-Fraktion.

Nach den Worten des Bürgermeisters, der sich auf das lufthygienische Gutachten vom Dezember 1973 bezog, sind bei der Schadstoffbelastung der Luft die Einzelwerte seitdem ständig rückläufig. Die Werte der ermittelten Luftverunreinigungen lägen unter den festgelegten Basiswerten der Smog-Verordnung.

Reiner geworden sei die Kasseler Luft vor allem durch die Umstellung einer Reihe von Betrieben von Kohle oder Öl auf Erdgas. Ferner sind auch 7340 Wohnungen in den vergangenen drei Jahren auf Erdgas umgestellt worden. Pro Jahr gelangten deshalb über 3300 Tonnen Schwefeldioxyd weniger in die Kasseler Luft als früher.

Zu einer weiteren Verbesserung der Situation hätten technische Auflagen geführt, die Betreibern von Großanlagen (Industriebetrieben) von der Stadt gemacht worden seien. Derzeit entstehe die Luftverunreinigung über Kassel in erster Linie durch Hausbrand, in zweiter Linie durch Kraftfahrzeug-Abgase und in dritter Linie erst durch industrielle Belastungen.

Herr K. wäre ja gerne bereit, das alles zu glauben - aber ein paar Begriffe versteht er einfach nicht.

Was zum Beispiel ist ein "Basiswert" oder ein "Lufthygienisches Gutachten"? Es macht ihn auch etwas unsicher, daß "3300 Tonnen weniger" von einem Stoff in der Luft sein sollen als vor einiger Zeit. Außerdem hat er von dieser Substanz zum letzten Mal etwas vor 20 oder 25 Jahren in der Schule gehört. Fast hätte Herr K. noch gedacht: "Wieviele Tonnen waren es denn vorher?", aber dann ist die Frühstückspause zu Ende. Ob die Luft gut ist oder schlecht, was sie so macht, und woher der Bürgermeister das so genau weiß, das kümmert Herrn K. eigentlich doch nicht so viel. Obwohl, - das mit den Kopfschmerzen jeden Tag im Auto - so ganz sauber kann die Luft doch nicht sein.

25. August 1977, Kassel, 6<sup>15</sup> Uhr:

Herr K. steht auf, öffnet das Fenster ganz weit und sagt: "Die gute Luft". Der Tag verspricht schön zu werden.

25. August 1977, Kassel, 7<sup>15</sup> Uhr:

Herr K. steht mit seinem PKW - wie fast jeden Tag - im Stau auf der Hauptverkehrsstraße. Heute hat er in 10 Minuten gerade drei Ampeln geschafft. Er hat Kopfschmerzen, die auch bei offenem Fenster nicht besser werden. Er denkt: "Diese Luft, kaum auszuhalten".

25. August 1977, Kassel, 9<sup>35</sup> Uhr:

Beim Frühstück im Betrieb findet Herr K. heute einen Artikel, der ihn doch nachdenklich werden läßt:

HNA 25.8.77

Nummer 196

# Stadt rüstet sich für den Smog-Alarm

## 49 neue Schilder für den Sperrbezirk

Kassel (m.s.). „Stopp bei Smog!“ kann es bald für die Autofahrer in Kassel heißen. Noch im Laufe des Herbstes — so Bürgermeister Heinz Hillie — sollen in Kassel Schilder aufgestellt werden, die beim gefährlichen Ansteigen der Abgas-Konzentration durch Smog-Alarm die Autos aus der Innenstadt verbannen.

Die Ferienbesetzung des Haushalts- und Finanzausschusses gab 6000 Mark für die Schil-

der frei. Nach einem Smog-Alarmplan ist die Landesregierung ermächtigt, Straßen zu sperren oder Verkehrsverbote für ganze Bezirke anzuordnen, wenn die Beeinträchtigung der Umwelt durch Abgase und Schadstoffe ein bestimmtes Maß überschreitet und Bewohner gefährdet sind.

Der Sperrbezirk in Kassel wird durch folgende Straßen begrenzt: Trompete, Frankfurter Straße, Steinweg, Brüderstraße, Altmarkt, Kurt-Schumacher-Straße, Lutherstraße, Lutherplatz, Rudolf-Schwander-Straße, Kurfürstenstraße, Bürgermeister-Brunner-Straße, Kölnische Straße, Querallee, Wilhelmshöher Allee/Brüder-Grimm-Straße, Obere Königsstraße, Rathauskreuzung, Fünffensterstraße, Trompete. Insgesamt 49 Schilder werden aufgestellt.

Damit sich die Autofahrer rechtzeitig einordnen können, sollen Vorwegweiser angebracht werden. Ein Ausschußmitglied wollte wissen, was passiere, wenn Unbefugte die Schilder hochklappten, wenn gar kein Smog-Alarm ausgelöst sei. Dazu Hillie und OB Hans Eichol: „Die Tafeln werden durch Sicherheitsschlösser verriegelt.“

Herr K. denkt sich:

Hat nicht derselbe Bürgermeister neulich erst in der Zeitung gesagt, die Luft in Kassel würde immer besser? Warum dann Stopp-Schilder für einen Smog-Alarm? Ist alles doch viel schlimmer, als Herr K. denkt? Im Fernsehen war neulich auch so eine Sendung, fällt ihm ein. Er beschließt, sich mal ausführlich zu informieren. Aber dann ist die Frühstückspause um, und Herr K. vergißt das Ganze. Ihm ist nämlich nicht eingefallen, an wen er sich wenden sollte, um mehr über die Luft zu erfahren.

K 1

Erläuterungen zu **VS 1** und **UM 1**

Die in UM 1 verwendeten Zeitungsartikel sind nur regional spezifisch und für einen bestimmten Zeitpunkt relevant. Es ist daher notwendig, andere Ausschnitte ähnlichen Inhalts zu verwenden, sofern die Form des Einstiegs in die Unterrichtseinheit beibehalten werden soll. Da praktisch alle Zeitungen Archive, z.T. auch themenzentriert geordnet, besitzen, gibt es hier einfache Beschaffungsmöglichkeiten. An Stelle von Zeitungsartikeln können aber auch andere Materialien verwendet werden, z.B. Broschüren von Umweltbehörden, der Industrie, aus einschlägigen (Schul-)Büchern o.ä.. Ob ein Rahmentext, wie in **UM 1** benutzt, für diese Unterlagen erarbeitet wird, hängt von der Entscheidung des Lehrers ab.

Unabhängig von der vorgenommenen Aktualisierung der **UM 1** ist es von Bedeutung, daß in der Einführung die Komplexität des Themas von den Schülern erfaßt wird und sie zur Strukturierung der weiteren Arbeit beitragen. Den außerschulischen Aktivitäten, die in dieser Stunde angeregt werden, kommt ebenfalls ein hoher Wert zu. Sie sollen die Auseinandersetzung mit dem Thema fördern. Die Ergebnisse fließen später wieder in den Unterricht ein.

Eine weitergehende Alternative zu **VS 1** kann wie folgt aussehen:

- Einführung durch den Lehrer
- Durcharbeiten eines Übersichtstextes
- Zusammenstellung der ökologischen und (kommunal-)politischen Fragestellungen
- Arbeitsaufträge für Gruppen: Materialien sammeln
- Beginn der naturwissenschaftlichen Grundlagen-Erarbeitung (SO<sub>2</sub> als Indikatormaterial der Luftbelastung)

Abschnitt 2

VS 2

Die Schüler erhalten den Arbeits- und Fragebogen **UM 2.1.** und füllen ihn einzeln aus.

Es folgt eine gemeinsame Auswertung der Schülerantworten und eine zusammenhängende oder punktuelle Ergänzung des Vorwissens. Die Ergebnisse werden an der Tafel (bzw. Overhead, Folie) festgehalten.

Im Zusammenhang mit Frage 7 (Welche Stoffe gelangen durch technische Prozesse in die Luft?) wird im Unterrichtsgespräch herausgearbeitet, daß die vom Menschen verursachte Luftbelastung grob drei Bereichen zuzuordnen ist: Verkehr, Industrie, Hausbrand.

Mit den Schülern wird ein Schema entwickelt, in welches in Partnerarbeit die Ergebnisse der Frage 7 eingetragen werden (vgl. **UM 2.2.** ). Die entstandene Tabelle wird gemeinsam ergänzt (Tafel, Overhead, Folie).

Anschließend wird die Rolle des Schwefeldioxids als "Indikatorsubstanz" atmosphärischer Belastung erarbeitet. Durch  $\text{SO}_2$ -Messungen kann ein grobes Maß der Luftbelastung erhalten werden, da

- a)  $\text{SO}_2$  bei allen wichtigen Prozessen, die zur Luftbelastung führen, ebenfalls frei wird,
- b) in unseren Breiten kein natürlicher  $\text{SO}_2$ -Pegel in der Atmosphäre existiert.

Als Hausaufgabe erhalten die Schüler **UM 2.3.** . Sie werden aufgefordert, u.U. ein Schulbuch zu Hilfe zu nehmen. \*)

\*) Anmerkung:

Der biologische Aspekt Photosynthese-Atmung wurde hier absichtlich ausgeklammert. Er kann aber einbezogen werden, wenn sich dazu eine Notwendigkeit ergibt.

**UM 2.1.**

Fragebogen: Was ich bereits über die Luft weiß

1.) Die Luft ist ein Gasgemisch. Sie besteht hauptsächlich aus zwei Gasen:

..... (Sauerstoff)  
.....(Stickstoff)

2.) Das Mengenverhältnis dieser beiden Gase ist ungefähr

.. : .. oder in Prozent: .. % : .. %

(Diese Angaben sollen sich auf das Volumenverhältnis beziehen!)

3.) Besonders eine der beiden Komponenten der Luft hat eine lebenswichtige Bedeutung für Mensch und Tier.

..... .

Worin besteht diese Bedeutung?

.....  
.....  
.....

4.) Neben den beiden genannten Gasen gibt es noch weitere gasförmige Bestandteile in der natürlichen Luft.

Nenne wenigstens zwei davon.

..... (z.B. CO<sub>2</sub>)  
..... (z.B. Edelgase)

5.) Das gleiche Gas, das bei der Atmung entsteht, wird auch bei vielen (anderen) Arten der Energieumwandlung frei.

Nenne dafür drei Beispiele :

.....  
.....  
.....



6.) Bei der Energieerzeugung spielen "fossile Brennstoffe" eine wichtige Rolle. Was versteht man unter diesem Begriff?

.....  
.....

Nenne drei wichtige Arten fossiler Brennstoffe:

.....  
.....  
.....

7.) Außer den genannten Gasen, die in der Luft überall auf der Welt in praktisch gleichen Konzentrationen vorkommen, befinden sich in der Atmosphäre auch unterschiedliche Mengen Wasserdampf und Staub.

Schreibe auf, welche anderen Stoffe besonders durch technische Prozesse in die Luft gelangen:

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

UM 2.2.

Stoff	Verkehr	Industrie	Hausbrand
Kohlen- dioxid CO <sub>2</sub>	x entsteht bei vollständiger Verbrennung fossiler Brennstoffe: Kohle, Erdöl, Erdgas, auch Holz usw. (Treibstoffe)	x (Energieerzeugung)	x (Brennstoffe)
Kohlen- monoxid CO	x entsteht bei unvollständiger Verbrennung und technischen Prozessen	x (Eisenherstellung)	x (alte Öfen, schlechte Schornsteine)
Kohlen- wasser- stoffe	x unvollständige Verbrennung in Motoren	x Raffinerien	x (schlecht einge- stellte Ölheizungen)
Schwefel- dioxid SO <sub>2</sub>	x schwefelhaltige Treibstoffe	x Kraftwerke Eisenherstellung H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -Herstellung Gips	x schwefelhaltige Brennstoffe (Kohle, Öl)
Stickoxide NO <sub>x</sub>	x entstehen bei Verbrennungen mit starker Hitzeentwicklung (Motoren)	x (chemische Prozesse) Düngemittelherstellung	x (Hausbrand)
Chlorwas- serstoff HCl	-	x Elektolyse Kunststoffher- stellung u.a.	x Kunststoffver- brennung (PVC)
(HF		Aluminium- herstellung	)
Stäube	-	x viele technische Prozesse, Zement- herstellung, Energie- erzeugung	x Aschen
Blei	x verbleites Benzin	(x) Bleiwerte Akkus	-

UM 2.3.

Arbeitsblatt - Chemische Vorkenntnisse

1.) Schreibe die Formeln auf von:

Sauerstoff	Schwefeldioxid
Stickstoff	Schwefeltrioxid
Kohlenmonoxid	(Methan) <sup>*)</sup>
Kohlendioxid	

2.) Nenne einige Edelgase und ihre Elementsymbole:

..... ....  
..... .....

3.) Stelle die Reaktionsgleichung für die Verbrennung von Kohlenstoff auf:

4.) (Stelle die Reaktionsgleichung für die Verbrennung von Methan (Oktan) auf:)<sup>\*)</sup>

5.) Stelle die Reaktionsgleichung für die Verbrennung von Schwefel auf:

6.) Wie kann man das Verhalten von  $SO_3$  mit Wasser durch eine chemische Gleichung beschreiben?

7.) Welche Eigenschaften - chemische und physikalische - hat Schwefeldioxid?

\*) nur, wenn schon Anfangsgründe der Kohlenstoffchemie behandelt wurden.

K 2.

Der Fragebogen **UM 2.1.** kann den jeweiligen Voraussetzungen der Schüler angepaßt werden.

Die Tabelle in **UM 2.2.** kann auch nach anderen Kriterien erstellt werden. Die Bereichseinteilung "Verkehr, Industrie und Hausbrand" hat jedoch den Vorzug, mit dem offiziellen Sprachgebrauch und amtlichen Darstellungen übereinzustimmen.

Die Tabelle berücksichtigt nur die wesentlichen Quellen von Belastungsstoffen. Sie ist gegebenenfalls um weitere Stoffe zu ergänzen, ebenso um natürliche Vorkommen der aufgeführten Stoffe (z.B.  $SO_2$ : Vulkane,  $NO_x$ : Gewitter, Stäube: Blütenstaub, Sand, ....)

Information:

Die Gesamtemissionen, aufgeschlüsselt nach den drei Bereichen, ergeben für das Jahr 1975 folgendes Bild:

Stoff	Gesamtemission (in $10^6$ t)	Industrie (in %)	Haushalt (in %)	Verkehr (in %)
$SO_2$	3,5	82	16,5	1,5
$NO_x$	1,4	69	6	25
$C_{m,n}H_n$	1,3	77	3	20

(Angaben nach: Räumliche Erfassung der Emissionen ausgewählter luftverunreinigender Stoffe aus Industrie, Haushalt und Verkehr in der Bundesrepublik Deutschland 1960 - 1980, Erhebung im Auftrag des Bundesministers des Innern, 1976)

Zum Ende dieses Abschnittes sollten die Schüler

Gelegenheit erhalten, über den Stand ihrer Gruppenaktivitäten (Informationsbeschaffung) kurz zu berichten.

Sie werden aufgefordert, bis zur folgenden Stunde einen Bericht bzw. eine Materialsammlung vorzulegen.

Von der Lehrerseite kann zu diesem Zeitpunkt u.U. bereits ein Auszug aus dem Bundesimmissionsschutzgesetz BImSchG verteilt werden. → **UM 2.4**

**Gesetz  
zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen  
durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen  
und ähnliche Vorgänge  
(Bundes-Immissionschutzgesetz - BImSchG)**

Vom 15. März 1974

Inhaltsverzeichnis

<p style="text-align: center;"><b>Erster Teil</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Allgemeine Vorschriften</b></p> <p>§ 1 Zweck des Gesetzes</p> <p>§ 2 Geltungsbereich</p> <p>§ 3 Begriffsbestimmungen</p> <p style="text-align: center;"><b>Zweiter Teil</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Erichtung und Betrieb von Anlagen</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Erster Abschnitt</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Genehmigungsbedürftige Anlagen</b></p> <p>§ 4 Genehmigung</p> <p>§ 5 Pflichten der Betreiber genehmigungsbedürftiger Anlagen</p> <p>§ 6 Genehmigungsvoraussetzungen</p> <p>§ 7 Anforderungen an die Errichtung, die Beschaffenheit und den Betrieb genehmigungsbedürftiger Anlagen</p> <p>§ 8 Teilgenehmigung</p> <p>§ 9 Vorbescheid</p> <p>§ 10 Genehmigungsverfahren</p> <p>§ 11 Einwendungen Dritter bei Teilgenehmigung und Vorbescheid</p> <p>§ 12 Nebenbestimmungen zur Genehmigung</p> <p>§ 13 Genehmigung und andere behördliche Entscheidungen</p> <p>§ 14 Ausschluß von privatrechtlichen Abwehransprüchen</p> <p>§ 15 Wesentliche Änderung genehmigungsbedürftiger Anlagen</p> <p>§ 16 Mitteilungspflicht</p> <p>§ 17 Nachträgliche Anordnungen</p> <p>§ 18 Erlöschen der Genehmigung</p> <p>§ 19 Vereinfachtes Verfahren</p> <p>§ 20 Untersagung, Stillelegung und Beseitigung</p> <p>§ 21 Widerruf der Genehmigung</p> <p style="text-align: center;"><b>Zweiter Abschnitt</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Nicht genehmigungsbedürftige Anlagen</b></p> <p>§ 22 Pflichten der Betreiber nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen</p> <p>§ 23 Anforderungen an die Errichtung, die Beschaffenheit und den Betrieb nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen</p> <p>§ 24 Anordnungen im Einzelfall</p> <p>§ 25 Untersagung</p> <p style="text-align: center;"><b>Dritter Abschnitt</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Ermittlung von Emissionen und Immissionsorten</b></p> <p>§ 26 Messungen aus besonderem Anlaß</p> <p>§ 27 Emissionszerklärung</p> <p>§ 28 Erstmalige und wiederkehrende Messungen bei genehmigungsbedürftigen Anlagen</p> <p>§ 29 Kontinuierliche Messungen</p> <p>§ 30 Kosten der Messungen</p> <p>§ 31 Auskunft über ermittelte Emissionen und Immissionsorten</p> <p style="text-align: center;"><b>Dritter Teil</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Beschaffenheit von Anlagen, Stoffen, Erzeugnissen, Brennstoffen und Treibstoffen</b></p> <p>§ 32 Beschaffenheit von Anlagen</p> <p>§ 33 Bauartzulassung</p>	<p>§ 34 Beschaffenheit von Brennstoffen und Treibstoffen</p> <p>§ 35 Beschaffenheit von Stoffen und Erzeugnissen</p> <p>§ 36 Ausfuhr</p> <p>§ 37 Erfüllung von zwischenstaatlichen Vereinbarungen und Beschlüssen der Europäischen Gemeinschaften</p> <p style="text-align: center;"><b>Vierter Teil</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Beschaffenheit und Betrieb von Fahrzeugen, Bau und Änderung von Straßen und Schienenwegen</b></p> <p>§ 38 Beschaffenheit und Betrieb von Fahrzeugen</p> <p>§ 39 Erfüllung von zwischenstaatlichen Vereinbarungen und Beschlüssen der Europäischen Gemeinschaften</p> <p>§ 40 Verkehrsbeschränkungen bei austauschbaren Wertpapieren</p> <p>§ 41 Straßen und Schienenwege</p> <p>§ 42 Entscheidung für Schallschutzmaßnahmen</p> <p>§ 43 Rechtsverordnung der Bundesregierung</p> <p style="text-align: center;"><b>Fünfter Teil</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Überwachung der Luftverunreinigung im Bundesgebiet und Luftreinhaltepläne</b></p> <p>§ 44 Feststellungen in Belastungsgebieten</p> <p>§ 45 Verfahren der Messung und Auswertung</p> <p>§ 46 Emissionskataster</p> <p>§ 47 Luftreinhaltepläne</p> <p style="text-align: center;"><b>Sechster Teil</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Gemeinsame Vorschriften</b></p> <p>§ 48 Verwaltungsvorschriften</p> <p>§ 49 Schutz bestimmter Gebiete</p> <p>§ 50 Planung</p> <p>§ 51 Anhörung beteiligter Kreise</p> <p>§ 52 Überwachung</p> <p>§ 53 Bestellung eines Betriebsbeauftragten für Immissionsschutz</p> <p>§ 54 Aufgaben</p> <p>§ 55 Pflichten des Betreibers</p> <p>§ 56 Stellungnahme zu Investitionsentscheidungen</p> <p>§ 57 Vertragsrecht</p> <p>§ 58 Benachteiligungsverbot</p> <p>§ 59 Zuständigkeit bei Anlagen der Landesverteidigung</p> <p>§ 60 Ausnahmen für Anlagen der Landesverteidigung</p> <p>§ 61 Bericht der Bundesregierung</p> <p>§ 62 Ordnungswidrigkeiten</p> <p>§ 63 Straftaten</p> <p>§ 64 Straftaten</p> <p>§ 65 Verletzung der Geheimhaltungspflicht</p> <p style="text-align: center;"><b>Siebenter Teil</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Schlussvorschriften</b></p> <p>§ 66 Fortgeltung von Vorschriften</p> <p>§ 67 Übergangsvorschrift</p> <p>§ 68 Änderung gewerblicher Vorschriften</p> <p>§ 69 Änderung des Atomgesetzes, des Gaststättengesetzes, des Schornsteinfegergesetzes und des Abfallbeseitigungsgesetzes</p> <p>§ 70 Änderung verkehrsrechtlicher Vorschriften</p> <p>§ 71 Überleitung von Verweisungen</p> <p>§ 72 Aufhebung von Vorschriften</p> <p>§ 73 Berlin-Klausel</p> <p>§ 74 Inkrafttreten</p>
--	---

Der Bundestag hat mit Zustimmung des Bundesrates das folgende Gesetz beschlossen:

### Erster Teil Allgemeine Vorschriften

#### § 1

##### Zweck des Gesetzes

Zweck dieses Gesetzes ist es, Menschen sowie Tiere, Pflanzen und andere Sachen vor schädlichen Umwelteinwirkungen und, soweit es sich um genehmigungsbedürftige Anlagen handelt, auch vor Gefahren, erheblichen Nachteilen und erheblichen Belästigungen, die auf andere Weise herbeigeführt werden, zu schützen und dem Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorzubeugen.

#### § 3

##### Begriffsbestimmungen

(1) Schädliche Umwelteinwirkungen im Sinne dieses Gesetzes sind Immissionen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen.

(2) Immissionen im Sinne dieses Gesetzes sind auf Menschen sowie Tiere, Pflanzen oder andere Sachen einwirkende Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Umwelteinwirkungen.

(3) Emissionen im Sinne dieses Gesetzes sind die von einer Anlage ausgehenden Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnlichen Erscheinungen.

(4) Luftverunreinigungen im Sinne dieses Gesetzes sind Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft, insbesondere durch Rauch, Ruß, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe oder Geruchsstoffe.

(5) Anlagen im Sinne dieses Gesetzes sind

1. Betriebsstätten und sonstige ortsfeste Einrichtungen,
2. Maschinen, Geräte und sonstige ortsveränderliche technische Einrichtungen sowie Fahrzeuge, soweit sie nicht der Vorschrift des § 38 unterliegen, und
3. Grundstücke, auf denen Stoffe gelagert oder abgelagert oder Arbeiten durchgeführt werden, die Emissionen verursachen können, ausgenommen öffentliche Verkehrswege.

(6) Stand der Technik im Sinne dieses Gesetzes ist der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zur Begrenzung von Emissionen gesichert erscheinen läßt. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen heranzuziehen, die mit Erfolg im Betrieb erprobt worden sind.

(7) Dem Herstellen im Sinne dieses Gesetzes steht das Verarbeiten, Bearbeiten oder sonstige Behandeln, dem Einführen im Sinne dieses Gesetzes das sonstige Verbringen in den Geltungsbereich dieses Gesetzes gleich.

#### § 40

##### Verkehrsbeschränkungen bei austauscharmen Wetterlagen

Die Landesregierungen werden ermächtigt, durch Rechtsverordnung Gebiete festzulegen, in denen während austauscharmer Wetterlagen der Kraftfahrzeugverkehr beschränkt oder verboten werden muß, um ein Anwachsen schädlicher Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen zu vermeiden oder zu vermindern; in der Rechtsverordnung kann auch der zeitliche Umfang der erforderlichen Verkehrsbeschränkungen bestimmt werden. Die Straßenverkehrsbehörden haben in diesen Gebieten den Verkehr der in der Rechtsverordnung genannten Kraftfahrzeuge ganz oder teilweise nach Maßgabe der verkehrsrechtlichen Vorschriften zu verbieten, sobald eine austauscharme Wetterlage im Sinne des Satzes 1 von der zuständigen Behörde bekanntgegeben worden ist.

#### § 44

##### Feststellungen in Belastungsgebieten

(1) Um den Stand und die Entwicklung der Luftverunreinigung im Bundesgebiet zu erkennen und Grundlagen für Abhilfe- und Vorsorgemaßnahmen zu gewinnen, haben die nach Landesrecht zuständigen Behörden in den nach Absatz 2 festgesetzten Belastungsgebieten Art und Umfang bestimmter Luftverunreinigungen in der Atmosphäre, die schädliche Umwelteinwirkungen hervorrufen können,

fortlaufend festzustellen sowie die für ihre Entstehung und Ausbreitung bedeutsamen Umstände zu untersuchen.

(2) Belastungsgebiete sind Gebiete, in denen Luftverunreinigungen auftreten oder zu erwarten sind, die wegen

1. der Häufigkeit und Dauer ihres Auftretens,
2. ihrer hohen Konzentrationen oder
3. der Gefahr des Zusammenwirkens verschiedener Luftverunreinigungen

in besonderem Maße schädliche Umwelteinwirkungen hervorrufen können. Die Belastungsgebiete werden durch Rechtsverordnung der Landesregierungen festgesetzt.

#### § 45

##### Verfahren der Messung und Auswertung

Soweit es zur einheitlichen Beurteilung von Stand und Entwicklung der Luftverunreinigung im Bundesgebiet erforderlich ist, erläßt der Bundesminister des Innern zur Durchführung der Feststellungen nach § 44 Abs. 1 mit Zustimmung des Bundesrates allgemeine Verwaltungsvorschriften über die

1. Meßobjekte,
2. Meßverfahren und Meßgeräte,
3. für die Bestimmung der Zahl und der Lage der Meßstellen zu beachtenden Grundsätze und
4. Auswertung der Meßergebnisse.

§ 46

**Emissionskataster**

(1) Die nach Landesrecht zuständigen Behörden haben für die Belastungsgebiete (§ 44) ein Emissionskataster aufzustellen, das Angaben enthält über Art, Menge, räumliche und zeitliche Verteilung und die Austrittsbedingungen von Luftverunreinigungen bestimmter Anlagen und Fahrzeuge, insbesondere soweit die Luftverunreinigungen

1. als Meßobjekte nach § 45 Nr. 1 festgesetzt oder

2. Gegenstand der Emissionserklärungen (§ 27)

sind. Bei der Ermittlung der Angaben für das Emissionskataster sind die Ergebnisse von Messungen nach den §§ 26, 28, 29 und 52 zu berücksichtigen. Die Landesregierungen werden ermächtigt, durch Rechtsverordnung geeignete Stellen zu bestimmen, die die für die Aufstellung des Emissionskatasters erforderlichen Angaben, insbesondere über die Leistung von Einzelfeuerungen, die dort eingesetzten Brennstoffe und die Höhe der Schornsteine, zu ermitteln und an die zuständige Behörde weiterzuleiten haben; dabei sind auch Regelungen über die Vergütung zu treffen. Die zuständigen Behörden haben in regelmäßigen Zeitabständen die Angaben nach Satz 1 zu überprüfen und das Emissionskataster zu ergänzen. Der Bundesminister des Innern erläßt mit Zustimmung des Bundesrates allgemeine Verwaltungsvorschriften über die Grundsätze, die bei der Aufstellung von Emissionskatastern zu beachten sind.

(2) Die Länder können auch unter anderen als den in Absatz 1 Satz 1 genannten Voraussetzungen die Aufstellung von Emissionskatastern vorschreiben.

§ 47

**Luftreinhaltepläne**

Die Feststellungen nach § 44 Abs. 1 und die Emissionskataster sind unter Berücksichtigung der meteorologischen Verhältnisse auszuwerten. Ergibt die Auswertung, daß im gesamten Belastungsgebiet oder Teilen des Gebietes schädliche Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen auftreten oder zu erwarten sind, soll die nach Landesrecht zuständige Behörde für dieses Gebiet einen Luftreinhalteplan aufstellen. Der Luftreinhalteplan enthält

1. Art und Umfang der festgestellten und zu erwartenden Luftverunreinigungen sowie der durch diese hervorgerufenen schädlichen Umwelteinwirkungen,
2. Feststellungen über die Ursachen der Luftverunreinigungen und
3. Maßnahmen zur Verminderung der Luftverunreinigungen und zur Vorsorge.

§ 50

**Planung**

Bei raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen sind die für eine bestimmte Nutzung vorgesehenen Flächen einander so zuzuordnen, daß schädliche Umwelteinwirkungen auf die ausschließlich oder überwiegend dem Wohnen dienenden Gebiete sowie auf sonstige schutzbedürftige Gebiete soweit wie möglich vermieden werden.

Dritter Abschnitt

K 3.1.

Der dritte Abschnitt dient im wesentlichen der chemischen Grundlagenvermittlung oder -wiederholung bzgl. des Schwefeldioxids. Hier bestehen, abhängig von Vorkenntnissen, Jahrgangsstufe (9 oder 10), und Kurs, weitgehende Variations- und Differenzierungsmöglichkeiten. Wenn nötig, kann dieser Teil der Unterrichtseinheit auch auf einen längeren Zeitraum ausgedehnt werden.

An Stelle eines Stundenvorschlages wird bei VS 3 ein Protokoll aus der Erprobungsphase wiedergegeben. Zur konkreten Situation: Ein Schüler hatte eine Zusammenfassung über die Chemie des Schwefeldioxids ausgearbeitet. Die meisten Details waren den anderen Schülern bereits bekannt.



Ökologie-Protokoll

Ute S.

Hans-Jürgen las sein Referat über Schwefeldioxid vor. Die wichtigsten Eigenschaften des  $\text{SO}_2$  sind:

- farbloses Gas
- reagiert mit Wasser zu schwefliger Säure (löst sich in Wasser)  
$$\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$$
- bildet mit Laugen Salze:  
$$\text{H}_2\text{SO}_3 + 2 \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_3 + 2 \text{H}_2\text{O}$$
  
diese Salze heißen Sulfite, z. B. Natriumsulfit
- $\text{SO}_2$  wirkt reduzierend
- $\text{SO}_2$  wirkt entfärbend
- $\text{SO}_2$  wirkt keimtötend (es wird z.B. für Lebensmittel als Konservierungsmittel benutzt).

Anschließend haben wir die Begriffe Oxidation und Reduktion wiederholt und geklärt:

Oxidation ist Sauerstoffaufnahme

Reduktion ist Sauerstoffabgabe

Oxidation und Reduktion sind immer miteinander verbunden.

Für das  $\text{SO}_2$  sieht das so aus:

$\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$  hier wird der Schwefel oxidiert, er nimmt Sauerstoff auf.

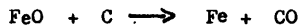
$2 \text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{SO}_3$  hier wird das  $\text{SO}_2$  oxidiert, es nimmt Sauerstoff auf.

$\text{SO}_2$  kann auch Sauerstoff von anderen Stoffen aufnehmen, denen wird dann Sauerstoff entzogen. Sie werden dabei reduziert.

Deshalb kann  $\text{SO}_2$  reduzierend wirken.

Anderes Beispiel:

Reduktion von Eisenoxid mit Kohlenstoff:



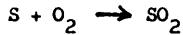
$\text{FeO}$  wird reduziert, es gibt Sauerstoff ab.

$\text{C}$  wird oxidiert, er nimmt Sauerstoff auf, damit wirkt Kohlenstoff reduzierend auf Eisenoxid.

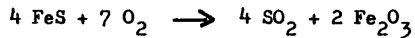
Was macht man eigentlich mit  $\text{SO}_2$ , wenn es nicht als Belastungsstoff in der Luft auftritt?

Herstellung von  $\text{SO}_2$ :

1.) Aus Schwefel durch Verbrennung:

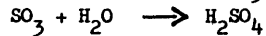
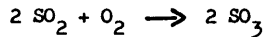


2.) Aus schwefel-haltigen Eisenerzen durch Rösten:



Verwendung:

- Schwefelsäure:  $\text{H}_2\text{SO}_4$  als Grundsubstanz für viele chemische Reaktionen, entsteht aus  $\text{SO}_2$  mit  $\text{O}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$



-  $\text{SO}_2$  als Konservierungsmittel (Silofutter)

Wie kommt das  $\text{SO}_2$  wieder aus der Atmosphäre?

- Wenn es regnet, löst es sich im Wasser; nach einem Regen ist die Luft immer besser (auch weniger Staub!).

- Das  $\text{SO}_2$ -haltige Wasser sickert dann in den Boden und wird dort neutralisiert.

K 3.2.

Die folgenden **UM 3** stellen eine Liste möglicher Versuche dar, mit denen die Eigenschaften des Schwefeldioxids erarbeitet werden können. Die Auswahl, Art der Durchführung (Demonstrations-, Gruppen- oder Einzelschülerversuch) und Niveau der Auswertung sind von den konkreten Lernbedingungen abhängig und bleiben dem Urteil des Benutzers überlassen.

UM 3.1.

Verbrennung von Schwefelpulver auf dem Verbrennungslöffel

- a) an der Luft,
- b) im Rundkolben (Standkolben), der mit Sauerstoff gefüllt ist.

Beobachtungen: Schwefel brennt mit blaß-blauer Flamme.

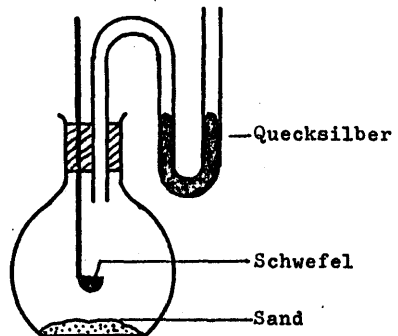
Das entstehende Gas hat einen charakteristischen stechenden Geruch und "schmeckt" im Mund.

UM 3.2.

Stöchiometrie des Schwefeldioxids

Schwefelpulver wird im Sauerstoff-gefüllten Standkolben verbrannt. Der Kolben ist mit einem Gummistopfen mit Manometerrohr verschlossen. Nach der Reaktion stellt sich der Quecksilbermeniskus im Manometerrohr wieder auf die gleiche Marke ein wie vorher.

Deutung: Für jedes Molekül  $O_2$  ist ein Molekül  $SO_2$  entstanden. Das Gas füllt den gleichen Raum (Avogadro).

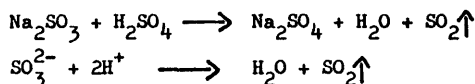


UM 3.3.

SO<sub>2</sub>-Herstellung im Labor (kontrolliert)

In einer Gasentwicklungsapparatur (Erlenmeyerkolben, Tropftrichter, doppelt durchbohrter Gummistopfen, Glasrohr) läßt man konzentrierte Schwefelsäure auf Natriumsulfit tropfen. Die leichter flüchtige Säure wird freigesetzt und SO<sub>2</sub> entsteht.

Statt festen Salzes kann auch eine konzentrierte Lösung von Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> oder NaHSO<sub>3</sub> verwendet werden.



UM 3.4.

Löslichkeit von SO<sub>2</sub> in Wasser

Ähnlich dem HCl- oder NH<sub>3</sub>-Springbrunnenversuch wird ein Rundkolben mit SO<sub>2</sub>-Gas gefüllt und mit Stopfen und Glasrohr verschlossen. Taucht man das Glasrohr in ein Gefäß mit Wasser, so spritzt das Wasser springbrunnenartig durch die ausgezogene Glasspitze in den Kolben. Es empfiehlt sich Zugabe von Indikatoren zur besseren Sichtbarmachung.

Einfachere Variante:

Man füllt ein großes Reagenzglas mit SO<sub>2</sub>, verschließt es mit einem Stopfen, hält es in ein Becherglas mit Wasser und entfernt den Stopfen.

Vorsicht: Das Reagenzglas darf nicht für den Springbrunnenversuch benutzt werden, da der entstehende Unterdruck unweigerlich zur Implosion führen würde!

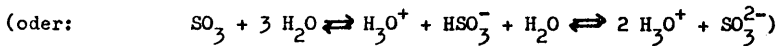
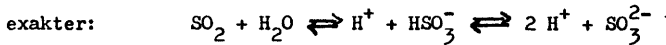
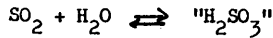
Hinweis: Es können bei Raumtemperatur 30 bis 60 Liter SO<sub>2</sub> in einem Liter Wasser gelöst werden.

UM 3.5.

Schwefeldioxid bildet mit Wasser eine leicht flüchtige Säure

Man prüft die in 3.4. erhaltene Lösung mit Indikatorpapier oder setzt gleich bei 3.4. einen Indikator zu.

Schweflige Säure besitzt den charakteristischen  $\text{SO}_2$ -Geruch.  $\text{SO}_2$  ist zum großen Teil im Wasser nur physikalisch gelöst. Erhitzt man schweflige Säure, so entweicht  $\text{SO}_2$ . Nach einiger Zeit verschwinden die Säureeigenschaften ganz.



UM 3.6.

Schweflige Säure ist eine schwache Säure

Prüfen mit Universalindikatorpapier oder mit einem pH-Meter.

Wirkung auf Metalle (z.B. Mg, Zn .....)

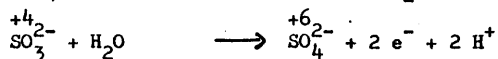
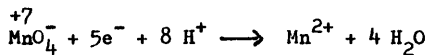
Leitfähigkeit

UM 3.7.

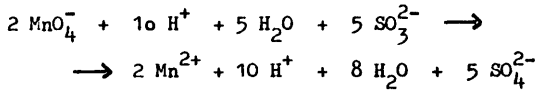
Schwefeldioxid ist ein Reduktionsmittel

- a)  $\text{SO}_2$  oder schweflige Säure entfärben eine verdünnte Lösung von  $\text{KMnO}_4$  in Wasser. Die gleiche Wirkung zeigen die Salze der schwefligen Säure, z.B. Natriumsulfit (angesäuert).....

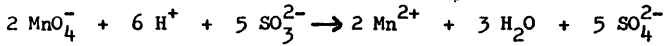
Redox-Teilgleichungen:



Redox-Bruttogleichung:



oder:



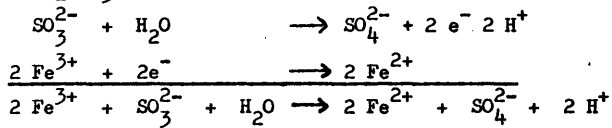
- b)  $\text{SO}_2$  oder schweflige Säure entfärben eine verdünnte Lösung von Eisen(III)-thiocyanat in Wasser

Dazu löst man etwas  $\text{FeCl}_3$  in Wasser und setzt  $\text{KSCN}$  oder  $\text{NH}_4\text{SCN}$  bis zur Rotfärbung, am besten tropfenweise als Lösung, zu. Zugabe von schwefliger Säure oder Einleiten von  $\text{SO}_2$  oder Zugabe einer mit  $\text{H}_2\text{SO}_4$  angesäuerten  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ -Lösung lassen die Rotfärbung verschwinden.

Deutung:

$\text{SCN}^-$ -Ionen sind ein Nachweisreagenz für  $\text{Fe}^{3+}$ -Ionen (rote Färbung).

Durch  $\text{SO}_2/\text{SO}_3^{2-}$  wird  $\text{Fe}^{3+}$  zu  $\text{Fe}^{2+}$  reduziert  $\rightarrow$  Entfärbung.



Unter Umständen kann auch auf den Eisen(III)-thiocyanat-Komplex eingegangen werden. Allerdings muß darauf verwiesen werden, daß Formulierungen wie  $\text{Fe}(\text{SCN})_3$  oder  $[\text{Fe}(\text{SCN})_3]_2$  nicht exakt sind.

- c)  $\text{SO}_2$  oder schweflige Säure können zu Schwefelsäure oxidiert werden

Dazu mischt man schweflige Säure und Wasserstoffperoxidlösung (3-10%-ig), schüttelt gut durch und prüft auf Sulfationen mit  $\text{BaCl}_2$ -Lösung.

Hinweis:

Auch  $\text{SO}_3^{2-}$ -Ionen ergeben mit  $\text{Ba}^{2+}$ -Ionen einen Niederschlag, der sich aber beim Ansäuern wieder löst.

Abschnitt 4

K 4.1.

Der 4. Unterrichtsabschnitt stellt das Kernstück der chemisch-physikalischen Erarbeitung des Themas dar. Die Schüler sollen jetzt, ausgehend von der Kenntnis der chemischen Eigenschaften des Schwefeldioxids, anwendbare Meßprinzipien erkennen und bewerten.

Dazu bieten sich methodisch zwei verschiedene Verfahren an:

- a) Ein analytisches Vorgehen: Die Schüler erhalten Informationen über das oder die technisch angewandten Meßverfahren, z.B. in Form von Auszügen aus den VDI-Richtlinien, und arbeiten die chemischen und physikalischen Meßprinzipien heraus. Anschließend entwerfen die Schüler in Gruppen eine Modellapparatur, die mit den Mitteln der Sammlung herstellbar ist.
- b) Ein nacherfindendes Vorgehen: Dies wird im folgenden ausführlich geschildert. Der Vorteil besteht darin, daß die Schüler eher zu einem kreativen Umgang mit naturwissenschaftlichen Grundkenntnissen angeregt werden, indem sie durch Auswahl und Verknüpfung einzelner Elemente eine komplexe technische Anordnung "erfinden".  
Nachteilig kann sich hierbei auswirken, daß
  - der Zeitaufwand höher veranschlagt werden muß,
  - nicht jede Idee ausprobiert werden kann,
  - eine Beschränkung auf Labormittel und -geräte von vornherein die kreativen Möglichkeiten zu sehr beschneidet,
  - der Erfolg nicht absolut sicher und das Ergebnis nicht exakt vorher bestimmbar sind (aber wann sind sie es schon!).

VS 4.1.

Einleitung und Aufgabenstellung: Wie kann man  $\text{SO}_2$  in der Luft "messen"?

Unterrichtsgespräch:

Was heißt "messen"? Was heißt "messen" in diesem Zusammenhang?

- Einen festen Körper messen:  
Länge, Breite, Volumen, Gewicht, Dichte usw.
- Eine Flüssigkeit messen:  
Volumen, Gewicht, Dichte usw.
- Ein Gas messen:  
Volumen, Gewicht, Dichte, Druck usw.

Einheiten, in denen man die Meßergebnisse ausdrücken kann:

m, cm, mm,  $\text{m}^2$ ,  $\text{m}^3$ , ..., kg, g, ...  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,  $\text{kg}/\text{cm}^3$ , ..., l, ml, ...,  $\text{g}/\text{cm}^2$ , ...

Mit diesen Methoden kann jeweils nur der ganze Körper erfaßt werden. Bei Gemischen (Lösungen, Gasgemische usw.) muß auch das Verhältnis der Komponenten bestimmt werden (—→ Konzentration). Dazu ist u.a. eine Trennung der Komponenten voneinander nötig.

Beispiele dazu:

- Salz in einer Lösung: Lösung wiegen, Wasser verdampfen, Salz wiegen (falls es sich bei  $100^\circ\text{C}$  nicht zersetzt oder sich verändert.)  
Prinzip der Trennung: Ausnutzung der unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften (Siedepunkte).  
Angabe des Salzgehaltes in g/l oder mol/l oder Gew.-% oder mol-%.
- Sauerstoffgehalt der Luft: Luft wird mittels Kolbenprobern über glühende Cu-Späne geleitet. Differenzmessung des Volumens vorher und nachher oder Wägung des gebildeten Kupferoxides und des eingesetzten Kupfers.  
Prinzip der Trennung: Sauerstoff wird bei der Oxidation des Kupfers gebunden. Unterschiedliche chemische Eigenschaften von Sauerstoff und den anderen Gasen in der Luft.  
Angabe des Sauerstoffgehaltes in Vol%, mol%, Gew.-%,  $\text{g}/\text{m}^3$  oder anderen Einheiten.



Ergänzung:

Je nach Kurs und Jahrgang können hier auch andere Meßprinzipien erwähnt werden, sofern die Schüler bereits davon gehört haben.

Beispiele:

- Untersuchung optischer Eigenschaften, spektroskopische Methoden im weitesten Sinne
- Untersuchung elektrischer Eigenschaften, Widerstands- oder Leitfähigkeitsmessung.

Das hierbei zum Teil auftretende Problem der quantitativen Auswertung ursprünglich qualitativer Versuche kann hier nicht weiter verfolgt werden.

Anschließend erhalten die Schüler das Arbeitsblatt **UM 4**, das sie während der nächsten 20 Minuten in Gruppen bearbeiten sollen.

Arbeitsmaterial: Overhead, Folie und Schreiber.

**VS 4.2.**

Auswertung der Gruppenarbeit:

Die Schüler stellen gruppenweise ihre Vorschläge vor und erläutern ihren Entwurf am Overhead-Projektor.

Es folgt eine Analyse der Meßprinzipien und der zu Grunde liegenden chemischen und physikalischen Eigenschaften und Reaktionen. Die einzelnen Vorschläge werden auf Brauchbarkeit untersucht, dabei die Anforderungen an die gewünschte Meßmethode erarbeitet:

- Abtrennung der  $\text{SO}_2$ -Spuren aus der Luft
- Anreicherung in einer Lösung
- Ausnutzung der chemischen Eigenschaften des  $\text{SO}_2$  zu seiner Bestimmung (Säure- oder Reduktionswirkung).

UM 4

Arbeitsblatt

Um einen Stoff in einem Stoffgemisch "messen" zu können, nutzt man seine Eigenschaften, die ihn von den anderen Stoffen des Gemisches unterscheiden. Das gilt auch für die Bestimmung des  $\text{SO}_2$ -Gehaltes der Luft.

Welche Eigenschaften kommen in Frage?

Wie kann man dafür einen Meßapparat konstruieren?

Schreibt Eure Überlegungen auf und erfindet eine Meßanordnung!

Ihr könnt die erfundene Apparatur auch auf der Folie aufzeichnen.

Wie würdet Ihr das Prinzip Eurer Apparatur einem anderen erklären?

K 4.2.

Hinweise für die Auswertung:

Als Vorschläge von den Schülern sind in etwa zu erwarten:

- Allgemein: Ausnutzung der Löslichkeit von  $\text{SO}_2$  in Wasser und damit Abtrennung und Anreicherung des Spurengases.  
Alternativ: Ausfrieren des  $\text{SO}_2$ .  $\text{SO}_2$  hat einen relativ hohen Siedepunkt:  $-10^\circ\text{C}$ , was u.a. seine Verwendung als Kältemittel in Kühlschränken begünstigt, diese Tatsache ist manchen Schülern bekannt.
- Spezielle quantitative Bestimmungsvorschläge und ihre Durchführbarkeit:

Prinzip:

- Schweflige Säure entwickelt eine bestimmte Menge  $\text{H}_2$  bei Reaktion mit einem unedlen Metall
- Schweflige Säure entwickelt bei Reaktion mit einem Carbonat eine bestimmte Menge  $\text{CO}_2$
- Schweflige Säure führt zu einem bestimmten pH-Wert in der Lösung
- Schweflige Säure kann mit einer Lauge neutralisiert werden. Die Menge der verbrauchten Lauge ist ein Maß für den  $\text{SO}_2$ -Gehalt
- Schweflige Säure als Reduktionsmittel kann eine bestimmte Menge  $\text{KMnO}_4$ -Lösung entfärben
- ... kann eine bestimmte Menge  $[\text{Fe}(\text{SCN})_3]_2$ -Lösung entfärben

Schwierigkeiten:

- Schweflige Säure ist nur eine schwache Säure und reagiert nur sehr langsam mit dem Metall, u.U. auch unvollständig.
- wie oben; außerdem:  $\text{CO}_2$  ist ebenfalls wasserlöslich
- wie oben; außerdem: der pH-Wert ist bei einer schwachen Säure, die nicht vollständig dissoziiert ist, nicht proportional dem Säuregehalt der Lösung; die Abhängigkeit ist auch nicht einfach logarithmisch!
- Die Neutralisation ist nur bei einer Rücktitration reproduzierbar; Schwierigkeiten mit der kleinen Säuremenge
- Bei den Redox-Reaktionen ist die Gleichgewichtslage günstiger, d.h. diese laufen praktisch quantitativ ab. Schwierigkeiten sind bei der Endpunktbestimmung der Entfärbungsreaktionen zu erwarten

Prinzip:

- Schweflige Säure ergibt nach Oxidation eine entsprechende Menge Schwefelsäure.  
 $\text{SO}_4^{2-}$  kann als Sulfat bestimmt werden

Schwierigkeiten:

- Die Oxidation zu Sulfationen ist von allen Reaktionen vorzuziehen, eine anschließende gravimetrische Bestimmung des  $\text{BaSO}_4$  ist bei der sehr geringen Menge jedoch problematisch

Die genannten möglichen Vorschläge stammen aus der Erprobungsphase. Sie sind keineswegs die Ausschöpfung aller denkbaren Möglichkeiten. Ebenso sind die Negativ-Aussagen nur als Anhaltspunkte zu verstehen und sollen den einen oder anderen Vorschlag nicht zu Anfang schon von einer möglichen Erprobung ausschließen, wenn die Schüler von seiner Durchführbarkeit überzeugt sind. Auf die vielfältigen Probleme der apparativen Variationen kann hier gar nicht eingegangen werden.

VS 4.3.

Die Vorschläge werden gemeinsam diskutiert und die sinnvoll erscheinenden ausprobiert. Dabei erfolgt eine schrittweise gedankliche und praktische Modifizierung, die zu einer Annäherung an die heute praktizierten Methoden (Picoflux bzw. Leitfähigkeitsmessung nach VDI-Richtlinien) führen kann - nicht muß.

Ein vorstellbarer Diskussionsgang wäre:

- Wenn man Luft durch Wasser leitet, wird  $\text{SO}_2$  absorbiert.
- Wenn man Luft sehr lange durch Wasser leitet, verflüchtigt sich das  $\text{SO}_2$  wieder.
- Man müßte das  $\text{SO}_2$  weniger flüchtig machen, am besten irgendwie binden: Z.B. mit Lauge. Die bindet aber auch  $\text{CO}_2$ , und von dem ist viel mehr in der Luft!
- Wenn man  $\text{SO}_3^{2-}$  aber oxidiert, dann entsteht  $\text{SO}_4^{2-}$ ; und das ist nicht flüchtig.
- Benutzt man zur Oxidation aber  $\text{KMnO}_4$  oder  $\text{FeCl}_3$ , dann könnten die Stoffe bei der Bestimmung des Sulfates stören.
- Man müßte den Verbrauch des Oxidationsmittels genau feststellen können - oder man braucht ein Oxidationsmittel, das bestimmt nicht stört.
- (Lehrerinformation): Dazu eignet sich z.B. Wasserstoffperoxid.  $\text{H}_2\text{O}_2$  ist dem Wasser sehr ähnlich, es stört nicht bei der Fällung von  $\text{BaSO}_4$ ; es läßt sich durch Kochen zersetzen (zu  $\text{H}_2\text{O}$  und  $\text{O}_2$ ).
- Wenn die Fällung schlecht funktioniert ( $\text{BaSO}_4$  läuft durch das Filter), dann müßte man die gebildete Schwefelsäure irgendwie anders bestimmen.
- Neutralisation mit  $\text{NaOH}$  geht auch nicht, weil es zu wenig Säure ist.
- Man müßte die Ionen zählen können!
- Je mehr Ionen in der Lösung sind, desto ...?
- ... desto besser leitet die Lösung den elektrischen Strom.
- Man muß einfach die Leitfähigkeit messen, einmal nur mit  $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2\text{O}_2$ , dann mit  $\text{SO}_2$  aus der Luft, die durchgeleitet wurde.
- Die Menge  $\text{SO}_2$  kann man dann berechnen.

Abschnitt 5

K 5.1.

An Stelle eines Stundenverlaufs-Vorschlags sind im folgenden Teile von Protokollen aus der Erprobung der Unterrichtseinheit wiedergegeben. In diesem Unterrichtsabschnitt werden Versuchsaufbau und Eichung der Meßapparatur erarbeitet bzw. durchgeführt.

VS 5.1.

Protokoll

Wolfgang S.:

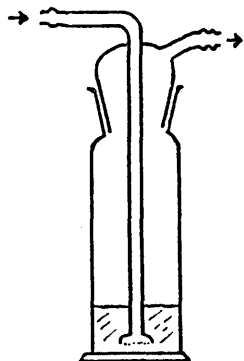
Versuchsaufbau zur  $SO_2$ -Bestimmung

Prinzip:  $SO_2$  soll in einer  $H_2O_2$ -Lösung zu  $H_2SO_4$  oxidiert werden. Die Menge der gebildeten Schwefelsäure soll durch Leitfähigkeitsmessung bestimmt werden.

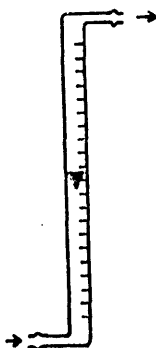
Wir brauchten folgende Geräte:

- 1.) Eine Gaswaschflasche zum Durchleiten der Luft
- 2.) Wasserstoffperoxidlösung zum Füllen der Waschflasche
- 3.) Eine Pumpe - Wasserstrahlpumpe - zum Ansaugen der Luft
- 4.) Gummischlauch zum Verbinden
- 5.) Ein Gerät zur Messung der durchgesaugten Luft:  
Ein Rotameter (war aber nicht vorhanden)
- 6.) Einen Transformator (Wechselspannung) und ein Amperemeter mit austauschbaren Einsätzen (1mA bis 300 mA)
- 7.) Einen Meßstab zur Leitfähigkeitsmessung.

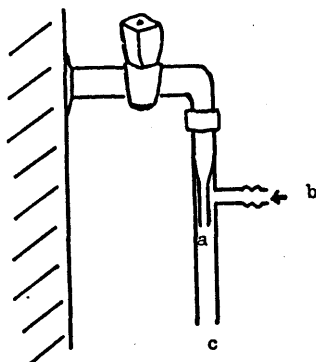
Gaswaschflasche



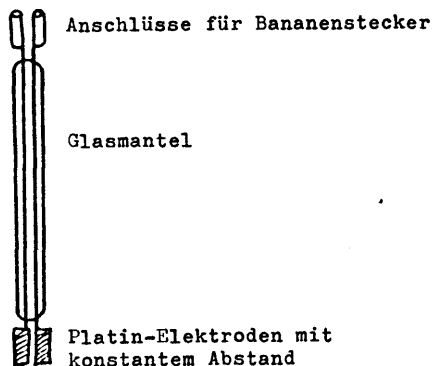
Rotameter



Wasserstrahlpumpe



Meßstab



bei a wird das Wasser durch eine Düse mit hoher Geschwindigkeit ausgespritzt. Der dabei entstehende Unterdruck saugt bei b Luft an. Sie strömt zusammen mit dem Wasser bei c aus.

### Vorversuche

Wir gaben 3%-ige Wasserstoffperoxid-Lösung in die Gaswaschflasche (80 ml). Diese verbanden wir mit der Wasserstrahlpumpe. Das Rotameter müßte hier dazwischengeschaltet werden, um die durchgesaugte Menge Luft zu messen. Zur Verbindung nahmen wir Gummischläuche. Wird nun die Wasserstrahlpumpe angestellt, so zieht sie Luft durch das Rotameter und die Waschflasche. Ist eine bestimmte Menge Luft durchgesaugt, so erfolgt die Messung der Leitfähigkeit in der Waschflasche.

Wir überlegten uns, wie man aus der Leitfähigkeit bzw. aus dem abgelesenen Wert der Stromstärke in mA auf die  $\text{SO}_2$ -Menge schließen kann: Dazu müßte man in einer anderen Waschflasche soviel  $\text{SO}_2$  lösen, bis sich der gleiche Wert einstellt. Das ist aber zu umständlich, weil es bei jeder Messung wiederholt werden muß. Einfacher ist es, für die Apparatur eine Eichkurve aufzustellen.

VS 5.2.

Protokoll

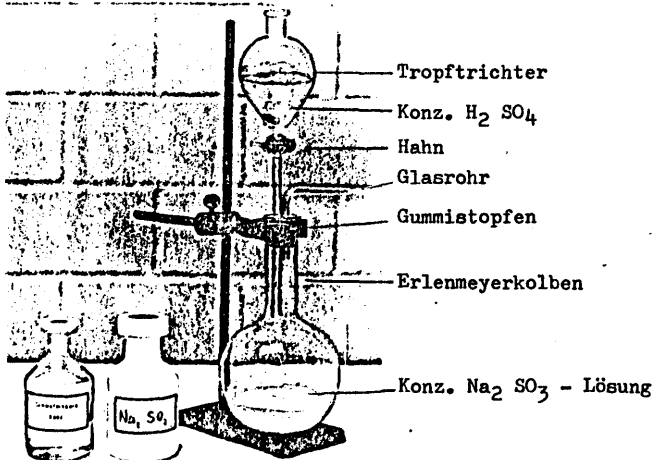
Christa L.

Um eine Eichkurve aufstellen zu können, brauchen wir reines Schwefeldioxid. Wenn man  $\text{SO}_2$  durch Verbrennen von Luft herstellt, hat man immer 80 % Stickstoff dabei, außerdem ist vielleicht nicht der ganze Sauerstoff verbraucht.

Deshalb wählten wir eine andere Methode:

Wir bauten eine Gasentwicklungsapparatur zusammen aus

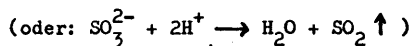
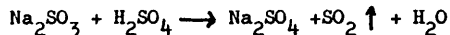
- einem Erlenmeyerkolben mit weitem Hals,
- einem Tropftrichter mit Hahn,
- einem zweifach durchbohrten Stopfen und
- einem gewinkelten Glasrohr.





In den Tropftrichter gaben wir konzentrierte Schwefelsäure und in den Kolben eine konzentrierte Lösung von Natriumsulfit ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ). Wenn die Säure auf die Lösung tropft, entwickelt sich  $\text{SO}_2$ .

Dieses ist schwerer als Luft und füllt langsam den Kolben. Dann kann es mit einer Spritze entnommen werden.

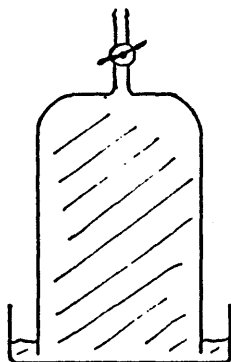


Da ein Rotameter nicht zu beschaffen war, mußten wir das Problem der Gas-Volumen-Messung anders lösen. Auch das Ansaugen der Luft kann nur in der Schule mit einer Wasserstrahlpumpe gemacht werden. Beide Probleme mußten daher anders gelöst werden.

Einige schlugen vor, eine tragbare Motorpumpe zu benutzen, aber die hatte auch keiner.

K. schlug vor, etwas ähnliches wie eine pneumatische Wanne zu benutzen. Diese müßte aber hinter der Waschflasche sein, damit das Sperrwasser kein  $\text{SO}_2$  aufnimmt. Aber auch die Luftmenge wäre zu gering.

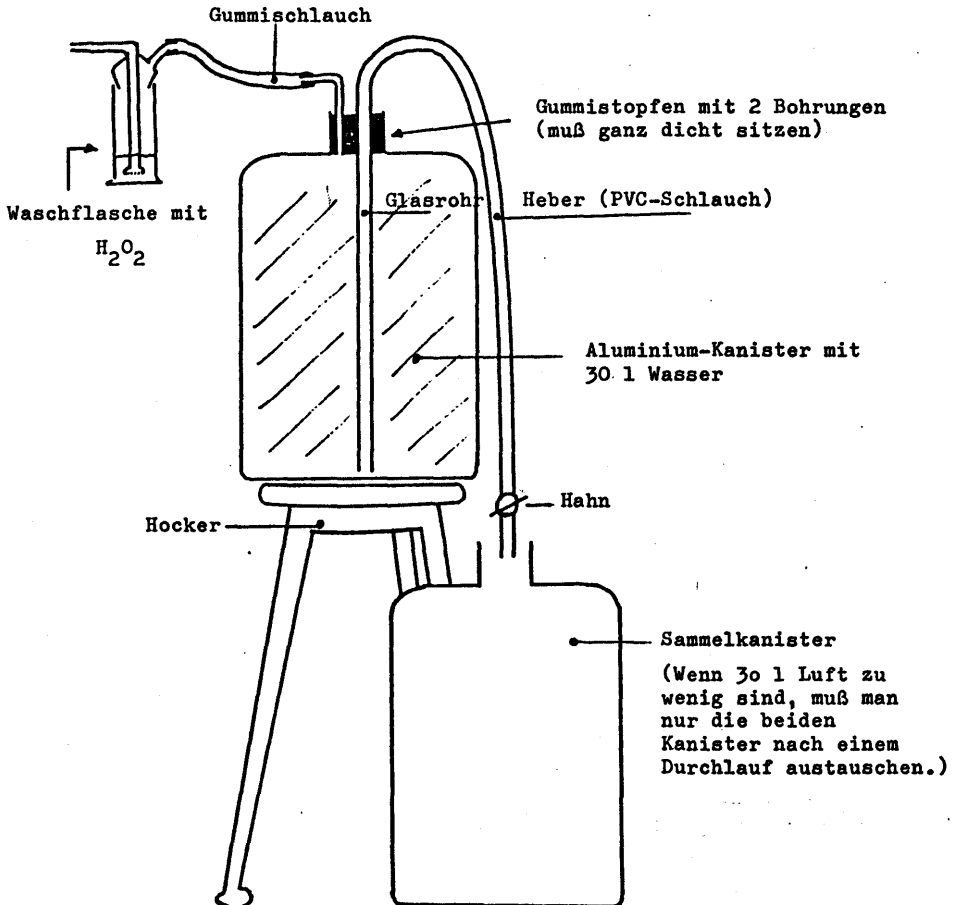
In der Sammlung fanden wir eine Gasmeßglocke. Sie funktioniert wie ein großer Gasbehälter:



Zunächst ist die Glocke mit Wasser gefüllt. Wenn man den Hahn oben öffnet, wird Luft angesaugt, bis der äußere mit dem inneren Wasserspiegel übereinstimmt. (Achtung: Die Wanne muß so groß sein, daß sie das ganze Wasser aus der Glocke aufnehmen kann!) Die Luftmenge kann außerdem genau abgelesen werden, weil die Glocke eine Volumenskala hat.

Für die Messung im Freien ist eine solche Glocke aber zu empfindlich. Man ersetzt sie besser durch ein anderes Gefäß; Herr S. sagte uns, daß er einen oder zwei Aluminiumkanister hätte. Die könnte man ähnlich benutzen, wenn man das Wasser durch einen Aquarienheber herauslaufen läßt und gleichzeitig die angesaugte Luft durch die Waschflasche leitet.

Wir beschlossen, die Kanister-Methode bei der Messung im Freien anzuwenden. Das sollte dann so aussehen:



VS 5.3.

Protokoll

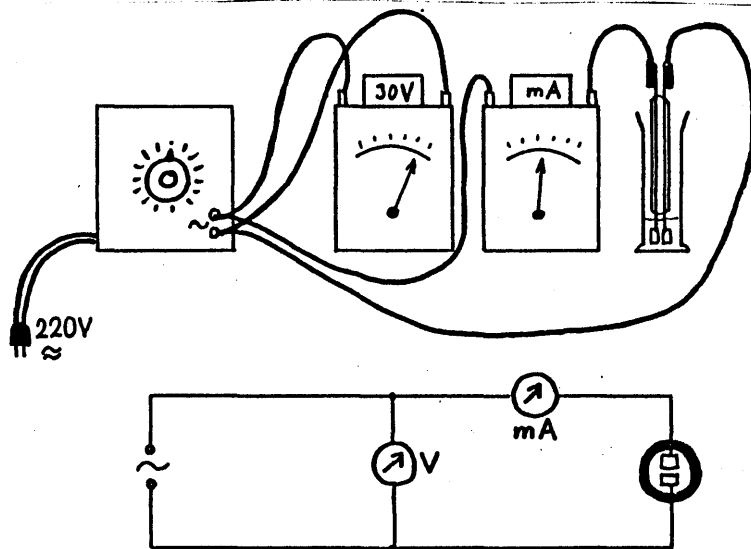
Renate

Für die Eichmessung benutzten wir die 5-Liter-Gas-Meßglocke aus der Sammlung, weil die Kanister noch nicht da waren.

Für jede Messung wurden 5 Liter Luft durch die Waschflasche gesogen. Bei der ersten Messung wurde kein Schwefeldioxid dazugegeben, bei den folgenden Messungen wurde mit einer Plastikspritze jeweils  $0,5 \text{ cm}^3 \text{ SO}_2$  mit in die Waschflasche eingespritzt. Nach jeder Einleitung erfolgte eine Messung der Leitfähigkeit.

Für die Messung des Blindwertes - Luft ohne  $\text{SO}_2$  - sind wir davon ausgegangen, daß die Luft im Klassenraum praktisch kein  $\text{SO}_2$  enthält. Will man das genauer machen, dann muß man gereinigte Luft durchleiten.

Aufbau zur Messung der Leitfähigkeit:



Schaltskizze

Bei einer konstanten Spannung von 25 V Wechselstrom wurden folgende Werte gemessen:

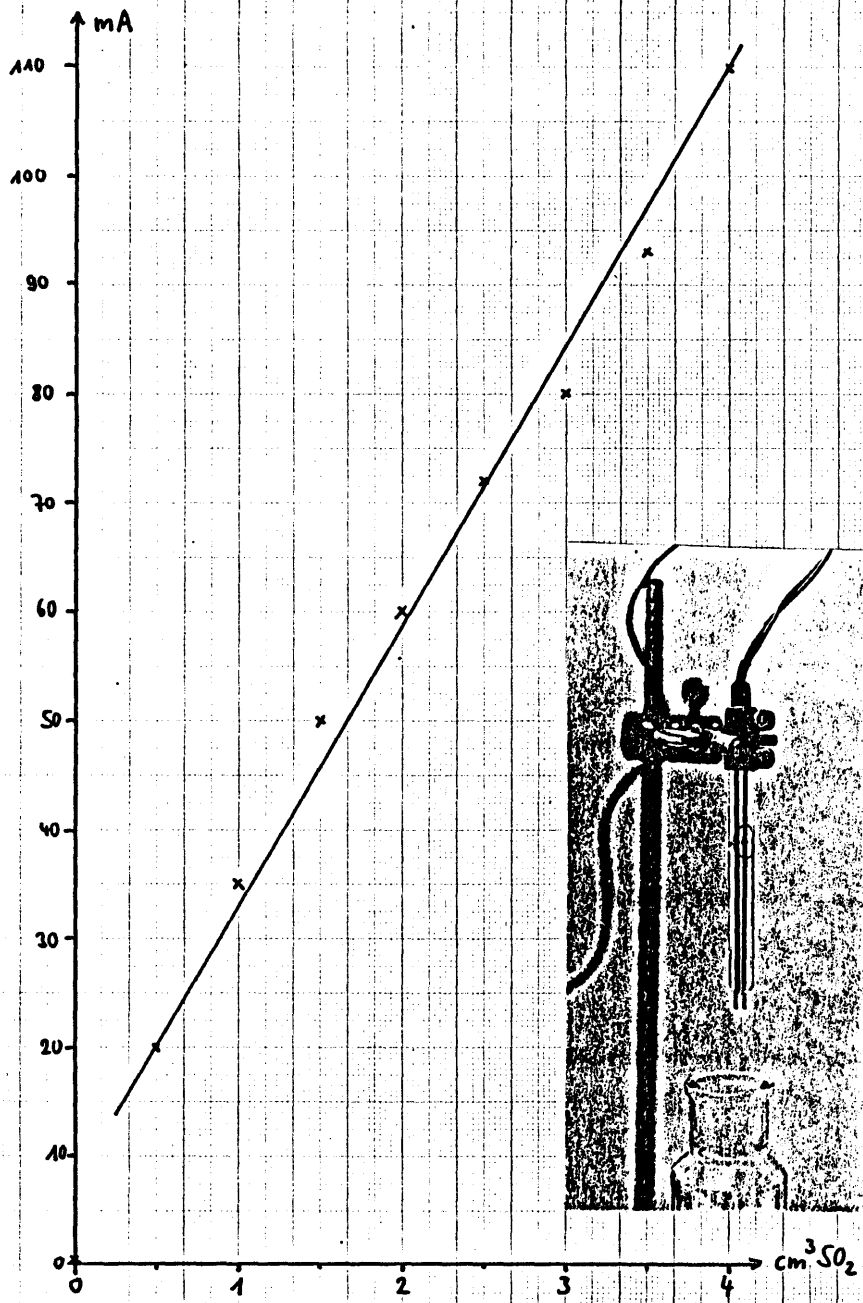
SO <sub>2</sub> -Einspritzung (cm <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> -Gesamtmenge (cm <sup>3</sup> )	mA
-	0	0,3
0,5	0,5	20
+ 0,5	1,0	35
+ 0,5	1,5	50
+ 0,5	2,0	60
+ 0,5	2,5	72
+ 0,5	3,0	80
+ 0,5	3,5	93
+ 0,5	4,0	110

Danach haben wir alle Wertepaare der Tabelle zu einem Graphen verarbeitet (auf Millimeter-Papier). Die Punkte liegen nicht genau auf einer Geraden, obwohl sie das theoretisch sollten. Die Abweichungen sind Meßfehler und beruhen wahrscheinlich auf folgenden Ungenauigkeiten:

- Beim Einspritzen des SO<sub>2</sub> und schon beim Abmessen des Gases mit der Spritze.
- Beim Ablesen des Amperemeters.

Für die Eichkurve müssen wir aber eine Gerade ziehen, damit wir später für Meßergebnisse in mA eine entsprechende Menge SO<sub>2</sub> ablesen können. Am einfachsten ist es, die Gerade so zu legen, daß alle Punkte möglichst nahe liegen.

Wenn man den Fehler der Eichung kleiner machen will, muß man die Eichmessung (mehrmals) wiederholen oder die Ergebnisse mit einer anderen Methode überprüfen, z.B. durch Bestimmung des Sulfatgehaltes der Lösung als BaSO<sub>4</sub>.



Eichkurve für ZSV Wechselstrom

K 5.2.

Hinweise zur Apparatur und zur Eichung:

Um die Querempfindlichkeit (= Störung der Ergebnisse durch andere Luftbestandteile) zu verringern, kann eine Filterpatrone benutzt werden. Näheres ist den VDI-Richtlinien zu entnehmen.

Die Eichung sollte in den wesentlichen Bedingungen mit den Umständen der Messung übereinstimmen. Das ist bei der Vorgehensweise in den oben aufgeführten Protokollen nicht unbedingt der Fall. Zu achten ist darauf, daß

- die Dauer der Luftdurchleitung durch die Waschflasche bei Messung und Eichung gleich ist, d.h. daß auch die Luftvolumina gleich sind. Zwar spielt die Luftmenge bei der Eichung wegen der einmaligen Einspritzung des  $\text{SO}_2$  keine so wichtige Rolle, hinsichtlich der anderen Begleitstoffe (z.B.  $\text{CO}_2$ ) kann dies jedoch von Bedeutung sein.
- eine Blindwertmessung zwar von Bedeutung zur Abschätzung des Meßfehlers ist. Für die Ergebnisse ist sie jedoch ohne großen Einfluß, wenn statt einer Absolutmessung der Leitfähigkeit eine Differenzmessung durchgeführt wird. In diesem Fall wird die Luft durch eine verdünnte Lösung von  $\text{H}_2\text{O}_2$  und  $\text{H}_2\text{SO}_4$  durchgeleitet. Damit wird gleichzeitig eine Absorption von  $\text{CO}_2$  wegen des Säuregehaltes der Lösung verhindert. Diesem Vorgehen ist daher der Vorzug zu geben.
- die Eichkurve für einen Bereich bzw. für eine Empfindlichkeit vorgenommen werden sollte, die der realen Luftbelastung entspricht. Man kann dabei von einem Maximalwert von  $2\text{mg SO}_2/\text{m}^3$  Luft ausgehen. Bei Differenzmessung ist die Steigung der Kurve, z.B. ausgedrückt in  $\text{Zunahme der Stromstärke in mA/Zugabe von } 0,1 \text{ cm}^3 \text{ SO}_2$ , ein einfacher Faktor für die Umrechnung.
- die im konkreten Fall erhaltenen Werte der Leitfähigkeit natürlich von Lösungsmenge, Elektrodenabstand, Spannung u.a. abhängig sind. Die weiter oben aufgeführten Werte haben daher nur Beispielcharakter. Günstiger als im vorliegenden Fall wäre die Benutzung höherfrequenter Wechselfrequenzspannung, da dann die Polarisationserscheinungen auf ein

Minimum reduziert und eine Elektrolyse des Wassers vermieden werden könnten. Bei 25V Wechselspannung (50 Hz) empfiehlt es sich, während der Messung zu schütteln, um Gasblasen an den Elektroden zu entfernen.

- die Elektrolyse bzw. die Ionenwanderung im Chemieunterricht bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht eingeführt ist, so sind zwei Alternativen möglich:

- a) Die Einführung in diesen Themenkreis.
- b) Eine rein instrumentelle Benutzung der Methode

"Leitfähigkeitsmessung".

Verfügt die Sammlung über ein spezielles Gerät zur Leitfähigkeitsmessung, so sollte dies wegen der besseren Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und der höheren erzielbaren Genauigkeit auch benutzt werden. (U.U. sollte der Benutzung die Konstruktion einer einfachen Meßanordnung - der besseren Verständlichkeit wegen - vorausgehen).

K 5.3.

In **UM 5** sind die entsprechenden VDI-Richtlinien zur  $SO_2$ -Messung wiedergegeben, soweit sie auf dem Leitfähigkeitsverfahren beruhen:

VDI 2451, Blatt 2: Ultragas 3

VDI 2451, Blatt 4: Picoflux.

Letzteres ist das heute gebräuchlichste Meßverfahren und liefert die exaktesten Ergebnisse.

Den Schülern sollte Gelegenheit gegeben werden, sich mit diesen Materialien oder Teilen daraus auseinanderzusetzen, einmal, um sie zu bestärken hinsichtlich des Erfolges ihrer eigenen Konstruktion, zum ändern, um die Komplexität des technischen Verfahrens und seiner Randbedingungen vor Augen zu führen.

Anmerkung:

Die übrigen Verfahren zur  $SO_2$ -Bestimmung (VDI 2451, Blatt 1: Silikagelverfahren, Blatt 3: TMC-Verfahren (Photometrische Bestimmung)) finden in der Praxis der Luftüberwachung ebenfalls noch Anwendung; für Unterrichtszwecke lassen sie sich wegen der schwereren Verständlichkeit und der unständlicheren Handhabung weniger leicht thematisieren.

UM 5.1

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE	Messung gasförmiger Immissionen Messung der Schwefeldioxid-Konzentration Leitfähigkeitsverfahren (Ultras 3)	VDI 2451 Blatt 2
-----------------------------------	---	---------------------

*Der Entwurf dieser Richtlinie wurde mit Ankündigung im Bundesanzeiger einem öffentlichen Einspruchsverfahren unterworfen.*

**Inhalt**

- |  |  |
|--|--|
| 1. Grundlage des Verfahrens<br>2. Meßgerät und Chemikalien<br>3. Durchführung der Messung<br>4. Überprüfung der Meßwertanzeige<br>5. Auswertung der Registrierkurven | 6. Selektivität, Reproduzierbarkeit und Zeitverhalten<br>7. Einsatzmöglichkeit und Wartung<br>Schrifttum |
|--|--|

*Bestimmung nach dem Leitfähigkeitsverfahren mit dem Ultras 3<sup>1)</sup>*

**1. Grundlage des Verfahrens (1,2)**

Die zu untersuchende Luft wird kontinuierlich mit einer Lösung von Wasserstoffperoxid in verdünnter Schwefelsäure in Berührung gebracht. Schwefeldioxid wird hierbei absorbiert und zu Schwefelsäure oxidiert. Die dadurch hervorgerufene Zunahme der elektrischen Leitfähigkeit der Reaktionslösung dient als Maß für die Schwefeldioxidkonzentration.

Eine Mehrkolbenpumpe saugt über eine Membrankammer die Reaktionslösung an. Nach der Temperierung in einer Glaswendel wird die elektrische Leitfähigkeit der Reaktionslösung in einer ersten Meßstrecke bestimmt. Von einem weiteren Kolben der Pumpe wird die Luft angesaugt und in einer Mischstrecke mit der Reaktionslösung in Berührung gebracht. Die Änderung der Leitfähigkeit wird mit Hilfe einer Brückenschaltung nach elektronischer Verstärkung von einem Kompensationschreiber kontinuierlich registriert. Die Glaswendel, ein Teil der Mischstrecke und die beiden Leitfähigkeitszellen befinden sich in einem Ölbad, damit Temperaturdifferenzen zwischen den beiden Meßstrecken gering bleiben.

**2. Meßgerät und Chemikalien**

Das Meßgerät besteht aus:

- Geber, Bild 1
- Meß- und Vergleichszelle,
- Pumpenaggregat,
- Vorratsbehälter für Reaktionsflüssigkeit,
- Leitungen mit Abscheider und Sicherheitstauchung,
- Nullpunktfilter;
- Kompensationschreiber

**Chemikalien**

Reaktionslösung:  
 1 ml 0,1 n-Schwefelsäure,  
 0,1 ml 30%ige Wasserstoffperoxidlösung und  
 0,2 ml Decenlösung werden mit entionisiertem Wasser (Leitfähigkeit  $\leq 0,2 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) auf 1000 ml verdünnt. Die Leitfähigkeit der Reaktionslösung soll  $39 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  bei  $20^\circ\text{C}$  betragen. Sie ist vor Gebrauch der Lösung zu überprüfen.

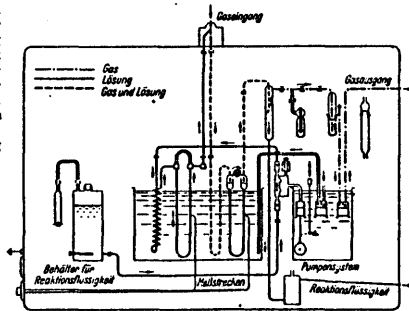


Bild 1. SO<sub>2</sub>-Meßgerät „Ultras 3“

<sup>1)</sup> Wothoff, H., OHG, Bochum.

**Bearbeiter:**

Arbeitsgruppe „Messung von Schwefeldioxid (Immission)“ im Ausschuß „Messung von Gasen“



#### Nullpunktfilter

Adsorbentien, die quantitativ SO<sub>2</sub> entfernen (z. B. enporige, gekörnte Aktivkohle). Zur Nullpunkteinstellung kann auch Reinstickstoff verwendet werden.

#### Filterpatrone<sup>3)</sup>

Glasrohr mit einer Füllung aus Silber- oder Quarzwolle, die mit KHSO<sub>4</sub> und Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> präpariert ist [3, 4]. Das Filter dient zur Erhöhung der Selektivität.

### 3. Durchführung der Messung

In die Saugleitung des betriebsbereiten Gerätes wird ein Nullpunktfilter geschaltet. Dann verbindet man das Gerät mit einer Stromquelle (220 V Wechselstrom). Es ist maßbereit, wenn sich der Nullpunkt nicht mehr verändert und ein gleichmäßiger Flüssigkeitsstrom erkennbar ist. Luftblasen in den Flüssigkeitsleitungen müssen durch mehrmaliges Pumpen (Handbetätigung der Zugstange an der Mehrkolbenpumpe) entfernt werden. Auch die Ölfüllung der Membrankammer soll blasenfrei sein. Es empfiehlt sich, das Gerät so lange laufen zu lassen, bis die Nullpunktlage konstant ist. Erst dann kann das Nullpunktfilter entfernt und mit der eigentlichen Messung begonnen werden.

Zusätzliche Ansaugleitungen sind möglichst zu vermeiden und dürfen eine Länge von etwa 1 m nicht überschreiten. Als Material für Ansaugleitungen ist Polytetrafluoräthylen (oder Hart-PVC) bzw. Hartglas mit kurzen Schlauchverbindungen zu verwenden. Bei Geräten ohne automatische Nullpunkteinstellung ist bei stationärem Betrieb mindestens zweimal während 24 Stunden die Nullpunkteinstellung zu überprüfen. Ebenfalls ist nach jeder Unterbrechung der Messung, z. B. nach jedem Ortswechsel, eine Nullpunktkontrolle vorzunehmen. Es muß darauf geachtet werden, daß stets die Meßzelle vor Sonneneinstrahlung geschützt ist.

### 4. Überprüfung der Meßwertanzeige

Wird die Funktion des Gerätes in grober Weise gestört, so erkennt man das zumeist an einer anomalen Meßwertanzeige. Geringere Störeinflüsse, die z. B. durch Änderung der geförderten Volumina infolge Verschmutzung entstehen, können nicht ohne weiteres wahrgenommen werden. Eine Überprüfung der Meßwertanzeige ist daher unerlässlich, und zwar mindestens einmal in zwei Wochen, darüber hinaus auch nach dem Ersatz von Geräteteilen. Zur Prüfung verwendet man einen Gasstrom von konstanter und bekannter Zusammensetzung. Der SO<sub>2</sub>-Gehalt dieses Prüfgases muß im Bereich des MIK-Wertes liegen und mit einem anderen Verfahren, z. B. mit dem Silikagel-Verfahren oder dem TCM-Verfahren, ermittelt werden. Das Prüfgas kann aus Schwefeldioxid und gereinigter Luft bzw. Reinstickstoff mit Hilfe von Mischapparaturen hergestellt oder aus einer Druckgasflasche entnommen werden, die man nach Eingabe entsprechender Schwefeldioxidmengen zweckmäßig mit Reinstickstoff füllt. Wird das Silikagel-Verfahren zur Bestimmung der SO<sub>2</sub>-Konzentration herangezogen, so ist bei Verwendung von Reinstickstoff das beladene Adsorptionsröhrchen noch etwa 10 min mit gereinigter Luft (zur Oxidation des adsorbierten SO<sub>2</sub>) zu spülen.

<sup>3)</sup> Geeignet ist auch das Selektivfilter von Hartmann & Braun AG, Frankfurt/M.

Liegt das Verhältnis von angezeigter zu tatsächlicher Konzentration unter 0,8 oder über 1,2, so ist das Gerät gründlich zu überholen. Verhältniswerte zwischen diesen Grenzen werden bei der Auswertung als Korrekturfaktoren verwendet.

### 5. Auswertung der Registrierkurven

Auf Grund der Definition des MIK-Wertes als Halbstundennittelwert ist eine Integration nach bekannten Methoden über ein Zeitintervall von 30 min erforderlich. Das Ergebnis multipliziert man mit dem bei der Überprüfung der Meßwertanzeige ermittelten Korrekturfaktor.

### 6. Selektivität, Reproduzierbarkeit und Zeitverhalten

Alle in der Reaktionsflüssigkeit unter Ionenbildung löslichen Stoffe, vor allem die stärkeren Säuren und Basen sowie viele Salze und Oxide, beeinflussen den Meßwert und stören so die SO<sub>2</sub>-Messung. Diese Störungen lassen sich mit Hilfe einer Filterpatrone weitgehend ausschalten, wie die nachfolgende Aufstellung der Querempfindlichkeit in Tabelle 1 zeigt:

Tabelle 1. Querempfindlichkeit des „Ultras 3“

Störabstranz	ohne Filterpatrone	mit Filterpatrone
	mg SO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	mg SO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> <sup>1)</sup>
	(p=760 mm QS; t=25 °C)	
HCl: 1 mg/m <sup>3</sup> entspr.	+0,840	0,000
Cl <sub>2</sub> : 1 mg/m <sup>3</sup> entspr.	+0,800	+0,148
NO: 1 mg/m <sup>3</sup> entspr.	0,000	0,000
NO <sub>2</sub> : 1 mg/m <sup>3</sup> entspr.	+0,800	+0,067
SO <sub>3</sub> : 1 mg/m <sup>3</sup> entspr.	<+0,800 <sup>1)</sup>	unbestimmt
NH <sub>3</sub> : 1 mg/m <sup>3</sup> entspr.	-1,800	0,000
PH <sub>3</sub> : 1 mg/m <sup>3</sup> entspr.	wurde nicht bestimmt	0,000
H <sub>2</sub> S: 40 mg/m <sup>3</sup> entspr.	+0,060	0,000
CO <sub>2</sub> : 800 mg/m <sup>3</sup> entspr.	+0,010	0,010
CH <sub>4</sub> : 100 mg/m <sup>3</sup> entspr.	0,000	0,000
H <sub>2</sub> O: 20 g/m <sup>3</sup> entspr.	-0,080	-0,080

<sup>1)</sup> Theoretischer Maximalwert.

<sup>2)</sup> Diese Werte wurden nicht experimentell ermittelt; sie ergeben sich aus den Werten für das Picoflux-Gerät (s. VDI 2451, Bl. 41, indem eine konstante Querempfindlichkeit für den gesamten Meßbereich vorausgesetzt und der beim Picoflux-Gerät ermittelte Filterwirkungsgrad berücksichtigt werden.

Zur Beurteilung der Meßwerte sind folgende Geräte-daten zu beachten:

Reproduzierbarkeit der Meßwertanzeige: ±3%

(ermittelt aus der Standardabweichung für Einzelwerte in Meßzeitintervallen von 30 min und für SO<sub>2</sub>-Konzentrationen zwischen 0,40 und 0,75 mg/m<sup>3</sup>);

Nullpunktsgang: < ±1,0% / 24 h;

Empfindlichkeitsgang: < ±2,0% / 24 h;

Totzeit: 40 s;

90%-Zeit: 120 s.

Die Angaben beziehen sich auf den Skalenendwert des empfindlichsten Meßbereiches. Die vom Gerät angezeigte SO<sub>2</sub>-Konzentration in mg/m<sup>3</sup> bezieht sich auf ein von der Gerätetemperatur abhängiges Gasvolumen (s. Blatt 1, Vorbemerkungen).

## 7. Einsatzmöglichkeit und Wartung

Das Gerät ist sowohl im stationären Betrieb als auch bei Messungen mit ständigem Ortswechsel verwendbar. Es kann aus dem Wechselstromnetz (220 V) oder über Wechselrichter bzw. Umformer aus Akkumulatoren mit Strom versorgt werden. Das Gerät nimmt etwa 80 VA auf. Bei Umgebungstemperaturen unter 0°C und über +30°C ist ein einwandfreies Funktionieren des Gerätes nicht mehr gewährleistet. Bei Verwendung einer Ansaugsonde ist darauf zu achten, daß die Zuleitungen aus Polytetrafluoräthylen, Hart-PVC oder Hartglas möglichst kurz gehalten werden. Für die Verbindung der Zuleitungen ist auf keinen Fall Gummi zu verwenden.

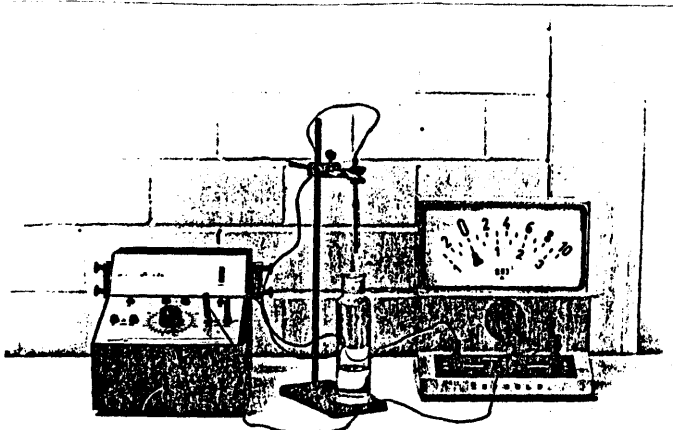
Luftblasen, Schmutz und Algenwuchs in der Reaktionslösung verändern das Verhältnis der geförderten Luft- und Flüssigkeitsvolumina. Zur Beseitigung bzw. Vermeidung solcher Störungen müssen die Flüssigkeitsleitungen, insbesondere die Ventile der Membrankammer, die Fritte hinter dem Vorratsbehälter und die Drossel im Fallrohr, von Zeit zu Zeit gesäubert werden. Algen- und Pilzwuchs lassen sich u.U. durch Zusätze von abtötenden oder wachstumshemmenden Präparaten [5] zur Reaktionslösung oder durch Verwendung eines destillierten Wassers anderer Herkunft verhindern.

Die Reaktionslösung ist nur begrenzt haltbar. Sie muß mindestens einmal wöchentlich frisch angesetzt werden.

Eine Veränderung des geförderten Flüssigkeitsvolumens kann auch auf eine Alterung der Membran im Pumpenaggregat zurückzuführen sein; die Membran ist in diesem Fall zu erneuern.

### Schrifttum

- [1] Thoenes, H.W.: Meßtechnische Probleme bei der SO<sub>2</sub>-Bestimmung in der Atmosphäre im Rahmen der Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft. Brennstoffchemie 42 (1961) S.116/23.
- [2] Stratmann, H.: Freilandversuche zur Ermittlung von Schwefeldioxidwirkungen auf die Vegetation. I. und II. Teil, Forschungsberichte des Landes NRW Nr.1118 und 1184. Köln und Opladen: Westdeutscher Verlag 1962 und 1963.
- [3] Grupinski, L.: Gas-Immissionsmessungen nach dem Leitfähigkeitsverfahren, Wasser, Luft und Betrieb 9 (1965) S.38/40.
- [4] Buck, M.: Entwicklung und Prüfung einer Filterpatrone zur Ausschaltung von Störeinflüssen bei der Messung von Schwefeldioxid in der Atmosphäre. Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions- und Rodennutzungsschutz des Landes NRW, Heft 6.
- [5] Höschle, K.: Ergebnisse von Messungen des Schwefeldioxidgehaltes der Luft in Karlsruhe und ihre statistische Bearbeitung. Staub 25 (1965) S. 102/12.



UM 5.2

<b>VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE</b>	<b>Messung gasförmiger Immissionen Messung der Schwefeldioxid-Konzentration Leitfähigkeits-Verfahren (Picoflux)</b>	<b>VDI 2451 Blatt 4</b>
<p><i>Der Entwurf dieser Richtlinie wurde mit Ankündigung im Bundesanzeiger einem öffentlichen Einspruchsverfahren unterworfen.</i></p>		
<p style="text-align: center;"><b>Inhalt</b></p>		
<p>1. Grundlage des Verfahrens 2. Meßgerät und Chemikalien 3. Durchführung der Messung 4. Überprüfung der Meßwertanzeige</p>	<p>5. Auswertung der Registrierkurven 6. Selektivität, Reproduzierbarkeit und Zeitverhalten 7. Einsatzmöglichkeit und Wartung</p>	<p>Schriftum</p>
<p><i>Bestimmung nach dem Leitfähigkeits-Verfahren mit dem „Picoflux“<sup>1)</sup></i></p>		
<p><b>1. Grundlage des Verfahrens</b></p>		
<p>Eine schwach schwefelsaure Wasserstoffperoxid-Lösung wird kontinuierlich im Gegenstrom mit der zu untersuchenden Luft in Berührung gebracht. Das in der Probeluft vorhandene Schwefeldioxid wird von der Reaktionslösung absorbiert und zu Schwefelsäure oxidiert. Die dadurch bewirkte Änderung der elektrischen Leitfähigkeit der Reaktionslösung dient als Maß für die Schwefeldioxid-Konzentration. Funktionelle Merkmale des Gerätes sind die Dosierung des Gas- und Lösungsstromes mit Hilfe von Kapillaren sowie die Thermostatisierung der Kapillaren, der Reaktionsstrecke und der Leitfähigkeits-Meßzellen. Die Leitfähigkeitsdifferenz wird zur Anzeige gebracht und kontinuierlich registriert.</p>	<p>Aus einem Vorratsbehälter fließt die Reaktionslösung zunächst in eine Aufwärmstrecke, in der sie eine Temperatur von etwa 40°C annimmt. Eine Dosierkapillare gewährleistet dabei in Verbindung mit einem im Vorratsbehälter befindlichen Mariottaschen Tauchrohr einen konstanten Durchfluß. Nach Passieren der Dosierkapillare und der Vergleichsmeßzelle gelangt die Lösung in die Reaktionsspirale, in der sie als dünner Film zur Meßzelle abläuft. Von dort wird die Lösung in den Strömungsregler für die Gasdosierung gesaugt und läuft über einen Siphon ab. Die durch eine Membranpumpe angesaugte Probeluft passiert nach der Gasdosierkapillare die Reaktionsspirale im Gegenstrom zur Lösung und wird anschließend durch die verbrauchte Reaktionslösung im Strömungsregler abgesaugt.</p>	
<p><sup>1)</sup>Hartmann &amp; Braun AG, Frankfurt/M.</p>		
<p style="text-align: center;"><b>Bearbeiter:</b></p>		
<p style="text-align: center;">Arbeitsgruppe „Messung von Schwefeldioxid (Immission)“ im Ausschuß „Messung von Gasen“</p>		
<p style="text-align: center;">VDI-Kommission Reinhaltung der Luft</p>		
<p style="text-align: center;">VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft <span style="float: right;">Register-Nr. 9</span></p>		

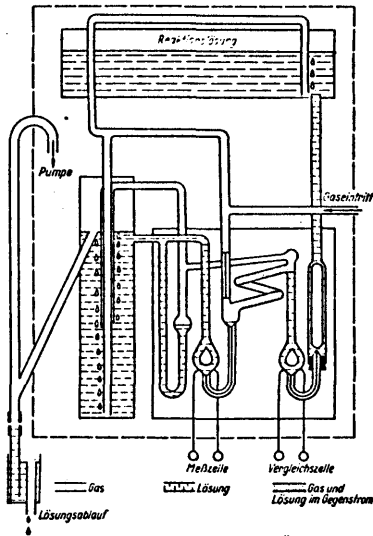


Bild 1. SO<sub>2</sub>-Meßgerät „Picoflux“

## 2. Meßgerät und Chemikalien

Das Meßgerät, besteht aus:

### Analysatorteil, Bild 1

mit allen gas- und lösungsführenden Elementen wie Vorratsbehälter, Thermostatenbad, Strömungsregler und Ansaugpumpe als Einschub-einheit;

### Registrierteil

mit Netzversorgung als Einschubeinheit, elektronischer Meßeinheit und Kompensationschreiber;

### Chemikalien

Reaktionslösung:  
2,50 ml 0,01 n Schwefelsäure p.a. und 0,5 ml 30%ige Wasserstoffperoxid-Lösung werden mit destilliertem oder entionisiertem Wasser (Leitfähigkeit höchstens 3  $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) auf 1000 ml aufgefüllt.

### Nullpunktfilter

Adsorbentien, die quantitativ SO<sub>2</sub> entfernen (z. B. engporige, gekörnte Aktivkohle). Zur Nullpunkt-einstellung kann auch Reinstickstoff verwendet werden.

### Filterpatrone<sup>2)</sup>

Glasrohr mit einer Füllung aus Silber- oder Quarzwohle, die mit KHSO<sub>4</sub> und Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> präpariert ist [1, 2]. Das Filter dient zur Erhöhung der Selektivität.

<sup>2)</sup> Geeignet ist auch das Selektivfilter von Hartmann & Braun AG, Frankfurt/M.

## 3. Durchführung der Messung

Vor der Inbetriebnahme des Gerätes müssen Heizbad und Rührwerk eingeschaltet werden. Ist die erforderliche Temperaturkonstanz erreicht, wird das Gerät eingeschaltet und die Regulierung des Gas-Flüssigkeitsstromes nach den Vorschriften des Herstellers vorgenommen. Nach Überprüfung des Nullpunktes und der elektrischen Empfindlichkeit ist das Gerät meßbereit.

Bei der Überprüfung des Nullpunktes ist das Nullpunktfilter in Verbindung mit der Filterpatrone anzuwenden. Demgegenüber kann die Nullpunkteinstellung mit Reinstickstoff ohne Filterpatrone erfolgen. Im stationären Betrieb genügt normalerweise eine Nullpunktkontrolle in Abständen von drei Tagen. Sie muß jedoch stets vor und etwa zwei Stunden nach dem Auffüllen der Reaktionslösung vorgenommen werden. Bei mobilem Einsatz ist der Nullpunkt nach jedem Ortswechsel zu überprüfen.

Die elektrische Empfindlichkeit des Gerätes wird während der Nullpunkteinstellung durch Einschalten eines Eichwiderstandes parallel zur Meßzelle überprüft. Diese Kontrolle gibt nur Auskunft über das Funktionieren des elektrischen Geräteeiles und bedeutet keine Überprüfung der Meßwertanzeige.

## 4. Überprüfung der Meßwertanzeige

Die Richtigkeit der Meßwertanzeige kann grundsätzlich nur mit Hilfe von Prüfgasen (Herstellung s. Bl. 2, Abschn. 4.) kontrolliert werden. Fehlerhafte Meßwertanzeigen weisen auf Störungen der Gerätefunktion hin, die vornehmlich durch Verschmutzung, Algen- oder Pilzbefall verursacht sein können. Geringfügige Störungen, die sich in einer systematischen Abweichung der Meßwertanzeige bemerkbar machen, den Ablauf der Messung sonst aber nicht beeinflussen, können entweder durch Korrekturfaktoren bei der Auswertung der Meßergebnisse oder durch eine Nachjustierung mit Hilfe des Empfindlichkeitspotentiometers berücksichtigt bzw. ausgeschaltet werden.

Zur Überprüfung der Dosierung von Reaktionslösung und Probeluft, die einmal im Monat zu erfolgen hat, ist für zwei bis drei Stunden der Durchsatz beider Medien zu bestimmen. Bei Abweichungen von den Sollwerten müssen die Dosierkapillaren gereinigt werden.

Die Überprüfung der Meßwertanzeige ist in Abständen von vier Wochen vorzunehmen und muß in jedem Falle nach dem Ersatz von Geräteteilen oder nach einer Generalüberholung des Gerätes durchgeführt werden. Generalüberholungen sind je nach Verschmutzung alle drei bis zwölf Monate notwendig.

## 5. Auswertung der Registrierkurven

Auf Grund der Definition des MIK-Wertes als Halbstundennittelwert ist eine Integration nach bekannten Methoden über ein Zeitintervall von 30 min erforderlich. Das Ergebnis multipliziert man mit dem bei der Überprüfung der Meßwertanzeige ermittelten Korrekturfaktor.

## 6. Selektivität, Reproduzierbarkeit und Zeitverhalten

Alle in der Reaktionsflüssigkeit unter Ionenbildung löslichen Substanzen, vor allem die stärkeren Säuren und Basen sowie viele Salze und Oxide, verfälschen den vom Gerät angezeigten Meßwert. Durch Anwendung der Filterpatrone läßt sich die Selektivität der Messung wesentlich steigern, wie aus Tabelle 1 hervorgeht:

Tabelle 1. Querempfindlichkeit des „Picoflux“

Stoffsustanz	ohne	mit
	Filterpatrone mg SO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	Filterpatrone mg SO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
	(p=760 mm QS, t=25 °C)	
HCl: 1 mg/m <sup>3</sup> entspr.	+ 0,880	0,000
Cl <sub>2</sub> : 1 mg/m <sup>3</sup> entspr.	+ 0,027	+ 0,005
NO: 1 mg/m <sup>3</sup> entspr.	0,000 <sup>*</sup>	0,000
NO <sub>2</sub> : 1 mg/m <sup>3</sup> entspr.	+ 0,042	+ 0,035
H <sub>2</sub> S: 1 mg/m <sup>3</sup> entspr.	0,000	0,000
SO <sub>3</sub> : 1 mg/m <sup>3</sup> entspr.	+ 0,024 0,800 <sup>*</sup>	unbestimmt
NH <sub>3</sub> : 1 mg/m <sup>3</sup> entspr.	- 1,900	0,000
PH <sub>3</sub> : 1 mg/m <sup>3</sup> entspr.	- 0,930	0,000
CO <sub>2</sub> : 100 mg/m <sup>3</sup> entspr.	+ 0,003	+ 0,003
CH <sub>4</sub> : 100 mg/m <sup>3</sup> entspr.	0,000	0,000
H <sub>2</sub> O: 10 g/m <sup>3</sup> entspr.	- 0,025	- 0,025

\* Theoretischer Maximalwert

Zur Beurteilung der Meßwerte sind folgende Gerätedaten zu beachten:

Reproduzierbarkeit  
der Meßwertanzeige: ± 3 %

(ermittelt aus der Standardabweichung für Einzelwerte in Meßzeitintervallen von 30 min und für SO<sub>2</sub>-Konzentrationen zwischen 0,40 und 0,75 mg/m<sup>3</sup>)

Nullpunktsgang: < ± 1,0 %/24 h

Empfindlichkeitsgang: < ± 2,0 %/24 h

Temperaturabhängigkeit: < ± 0,5 %/10 °C  
Änderung der  
Umgebungstemperatur

Netzabhängigkeit: < ± 1 %/10 %  
Spannungsänderung

Totzeit: 8 bis 10 s

90 %-Zeit: 30 bis 100 s

Die Angaben beziehen sich auf den Skalenendwert des empfindlichsten Meßbereiches. Die vom Gerät angezeigte SO<sub>2</sub>-Konzentration in mg/Nm<sup>3</sup> bezieht sich auf ein bei konstanter Temperatur (40 °C) gemessenes Gasvolumen.

## 7. Einsatzmöglichkeit und Wartung

Das besonders für den stationären Betrieb geeignete Gerät läßt sich auch bei Messungen mit ständigem Ortswechsel verwenden. In diesem Fall empfiehlt es sich, das Gerät auch während des Transportes in Betrieb zu halten, damit die nach dem Einschalten notwendigen Wartezeiten vermieden werden (s. Abschn. 3.). Bei Verwendung einer Ansaugsonde sind die erforderlichen Zuleitungen aus Hartglas mit Polyäthylen-Verbindungen möglichst kurz auszuführen. Für die Verbindung der Zuleitungen ist auf keinen Fall Gummi zu verwenden (vgl. auch VDI 2451, Bl. 1, Abschn. 8).

Die Leistungsaufnahme des Gerätes beträgt max. 160 VA. Falls kein Wechselstromanschluß (220 V) zur Verfügung steht, kann die Stromversorgung aus Akkumulatoren über Wechselrichter oder Umformer erfolgen. Bei Umgebungstemperaturen unter 0 °C und über +30 °C ist ein einwandfreies Funktionieren des Gerätes nicht mehr gewährleistet. Störungen der Gerätefunktion können durch Überprüfung der Meßwertanzeige erkannt werden (s. Abschn. 4); sie sind im allgemeinen durch eine Generalreinigung zu beheben. Ein Algen- oder Pilzbefall der Reagenzglasung kann evtl. durch Zusatz von abtötenden bzw. wachstumshemmenden Präparaten oder durch Verwendung von Wasser anderer Herkunft vermieden werden [3]. Bei Algen- oder Pilzbefall ist die Meßwertanzeige häufiger zu überprüfen.

## Schrifttum

- [1] Grupinski, L.: Gas-Immissionsmessungen nach dem Leitfähigkeitsverfahren. Wasser, Luft und Betrieb 9 (1965) S. 38/40.
- [2] Buck, M.: Entwicklung und Prüfung einer Filterpatrone zur Ausschaltung von Störeinflüssen bei Messung von Schwefeldioxid in der Atmosphäre. Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes NRW, Heft 6.
- [3] Höschele, K.: Ergebnisse von Messungen des Schwefeldioxidgehaltes der Luft in Karlsruher und ihre statistische Bearbeitung. Staub 25 (1965) S. 102/12.

## Abschnitt 6

### K 6.1.

Mit der in **VS 5.2.** und **VS 5.3.** beschriebenen und geeichten Apparatur erfolgt nun eine Messung im Freien. Dazu wählt man am sinnvollsten eine Stelle, an der tatsächlich eine nennenswerte Belastung der Luft mit  $\text{SO}_2$  zu erwarten ist.

Solche Gebiete höherer Belastung sind:

- Ältere Siedlungen mit überwiegend Kohleheizung
- Industriegebiete
- Verkehrsreiche Straßen, Kreuzungen, Plätze
- Senken, windgeschützte Senken usw.

Daneben ist die Belastung auch witterungsabhängig: Nach heftigem Regen können keine meßbaren Mengen  $\text{SO}_2$  erwartet werden, desgleichen nicht bei starkem Wind. Für örtliche Inversionslagen spielt die Großwetterlage eine entscheidende Rolle.

Da eine einzige Messung mit der dargestellten Apparatur ca. 30 Minuten (einschließlich Auf- und Abbau) dauert, sind Reihenmessungen damit ziemlich aufwendig und können kaum während des regulären Unterrichts durchgeführt werden. Ein Ausweichen auf den Nachmittag empfiehlt sich, u.U. auch die selbständige Durchführung von Messungen durch Schülergruppen. (Beim Arbeiten mit dem beschriebenen Versuchsaufbau sind keine besonderen Vorsichtsmaßnahmen zu beachten).

Auf die Alternative - Messung mit dem Dräger-Gerät - wird in **K 6.4.** ausführlicher eingegangen.

K 6.2.

Auswertung der Messung:

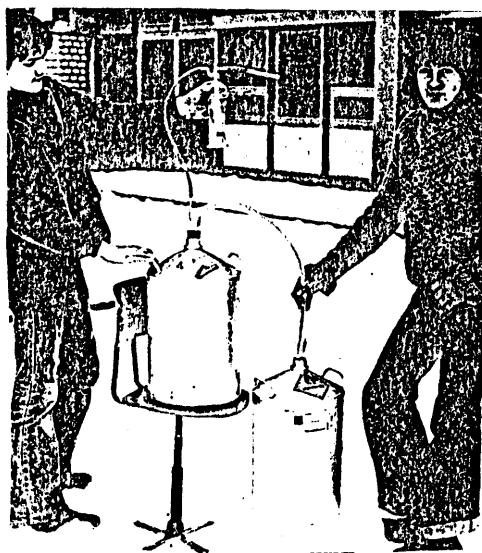
- Im einfachsten Fall wird der Leitfähigkeitswert abgelesen und anhand der Eichkurve in die entsprechende Menge  $\text{SO}_2$  "übersetzt". Es fehlt dann nur noch die Umrechnung auf  $1 \text{ m}^3$  Luft bzw. in eine andere gewünschte Maßeinheit.

- Ist der Meßwert klein im Vergleich zu den Werten der Eichkurve, oder erscheint eine graphische Auswertung aus anderem Grund unangebracht, so wird eine rechnerische Ermittlung der  $\text{SO}_2$ -Menge erforderlich.

Dazu kann die Steigung der Eich-Geraden bzw. ein entsprechender Umrechnungsfaktor benutzt werden (vgl. **UM 6.1.**).

Das dabei anvisierte mathematische Niveau sollte aber in jedem Fall den mathematischen Vorkenntnissen der Schüler angepaßt werden.

- Sind elektronische Taschenrechner im Unterricht bereits eingeführt, so ist u.U. auch die Berechnung einer Ausgleichsgeraden für die Eichwerte möglich, womit eine Vereinheitlichung und bessere Reproduzierbarkeit der Ergebnisse erreicht werden können. In diesem Fall empfiehlt sich jedoch eine intensive Zusammenarbeit mit dem Kollegen, der Mathematik unterrichtet.



UM 6.1.

Arbeitsblatt

Meßergebnisse:

- Durchgesaugte Luftmenge: 1  
- Ausschlag des Amperemeters: mA

Arbeitsauftrag:

Berechne aus den Meßergebnissen den  $SO_2$ -Gehalt von einem  $m^3$  Luft!

Überlegungshilfen:

Der am Amperemeter abgelesene Wert von ... mA ist sehr klein.

Der zugehörige Wert der  $SO_2$ -Menge kann deswegen aus der Eichkurve nur ungefähr abgelesen werden.

Besser ist es, den  $SO_2$ -Wert aus der Steigung der Geraden zu berechnen.

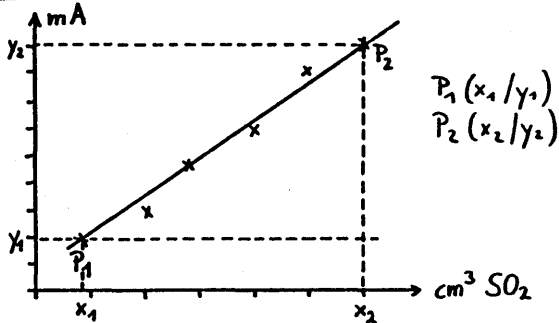
Versucht eine solche Berechnung in Eurer Gruppe durchzuführen.

Ergebnis:



Wenn Ihr nicht mehr wißt, wie man die Steigung einer Geraden berechnet, dann arbeitet folgendermaßen weiter:

Hier ist nochmal Eure Eichkurve dargestellt:



Die Punkte P<sub>1</sub> und P<sub>2</sub> entsprechen Wertepaaren, die möglichst weit auseinander und möglichst genau auf der Eichgeraden liegen sollen. Daraus läßt sich ablesen, daß

einer Zunahme der SO<sub>2</sub>-Menge von x<sub>1</sub> (cm<sup>3</sup>) auf x<sub>2</sub> (cm<sup>3</sup>)

eine Zunahme des Stromflusses von y<sub>1</sub> (mA) auf y<sub>2</sub> (mA)

entspricht.

Durch Schlußrechnung könnt Ihr zunächst leicht die Menge SO<sub>2</sub> ermitteln, die einer Zunahme des Stromflusses um 1 (oder z.B. um 0,1) mA entspricht; anschließend kann aus der Leitfähigkeitszunahme bei der Messung die SO<sub>2</sub>-Menge der Luft (hier: 30 l) berechnet werden.

(Zur Erinnerung: Der Stromfluß der H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Lösung ohne SO<sub>2</sub> betrug ...(mA).)

Ihr müßt jetzt nur noch umrechnen auf  $1 \text{ m}^3$  Luft!

Hilfe: Wieviele Liter entsprechen einem Kubikmeter?

Ergebnis:

K 6.3.

In der Literatur und in den Medien treten Angaben von Immissionskonzentrationen in mindestens drei verschiedenen Einheiten auf:

- $\text{cm}^3 \text{ Gas/m}^3 \text{ Luft}$  bzw.  $\text{ml Gas/m}^3 \text{ Luft}$
- ppm oder ppb
- $\text{mg Gas/m}^3 \text{ Luft}$

Je nach Unterrichtsakzent reicht die Erklärung der verschiedenen Einheiten und die Angabe von Umrechnungsfaktoren aus - oder es sind die Erarbeitungen der Beziehungen und die Diskussion der Aussagefähigkeit der verschiedenen Angaben sinnvoll.

In der folgenden Übersicht sind die Zusammenhänge (und z.T. die Voraussetzungen für eine Erarbeitung) kurz zusammengestellt:

Definitionen:

ppm = parts per million, Teile auf eine Million Teile

ppb = parts per billion, Teile auf eine Milliarde Teile

(Bei der Übersetzung ist zu beachten, daß dem deutschen Begriff "Milliarde" im Englischen "billion" entspricht!)

ppm und ppb entsprechen also sinngemäß den geläufigen Angaben in Promille oder Prozent.

Beziehungen:

$$100 \% \hat{=} 1000 \text{‰} \hat{=} 10^6 \text{ ppm} \hat{=} 10^9 \text{ ppb}$$

Beim Gebrauch in Chemie oder Physik werden Prozentangaben entweder als Gewichts-% oder Volumen-% benutzt. Angaben in ppm oder ppb beziehen sich im ökologischen Gebrauch stets auf Volumenverhältnisse.

Damit läßt sich leicht der Zusammenhang von

$\text{cm}^3 \text{ Gas}/\text{m}^3 \text{ Luft}$  und ppm ermitteln:

$$1 \text{ cm}^3 \text{ Gas}/1 \text{ m}^3 \text{ Luft} \hat{=} 1 \text{ cm}^3 \text{ Gas}/10^6 \text{ cm}^3 \text{ Luft} \hat{=} 1 \text{ ppm}$$

Beide Einheiten haben den Vorteil, daß sie stoffunabhängig sind. (Molekulargewicht o.ä. gehen nicht in die Rechnung ein.)

Eine Umrechnung von ppm oder  $\text{cm}^3 \text{ Gas}/\text{m}^3 \text{ Luft}$  in  $\text{mg Gas}/\text{m}^3 \text{ Luft}$  kann exakt nur bei bekanntem Druck und Temperatur erfolgen.

Für Normalbedingungen gilt, wie bekannt,

- der Satz von Avogadro: Gleiche Volumina (idealer) Gase besitzen bei gleichen Bedingungen (Druck und Temperatur) gleiche Anzahlen von Teilchen.

- außerdem gilt: 1 Mol eines Gases nimmt bei Normalbedingungen ein Volumen von ca. 22,4 Litern ein.

1 Mol eines Stoffes hat eine Masse, die seiner Molekularmasse in Gramm entspricht.

Für  $\text{SO}_2$  folgt daraus speziell:

Molekularmasse: 64

1 Mol  $\text{SO}_2$  wiegt demnach 64 g und nimmt bei Normalbedingungen ein Volumen von 22,4 l ein.

$$1 \text{ cm}^3 \text{ SO}_2 \text{ wiegt daher: } \frac{64}{22,4} \frac{10^6}{10^6} \text{ g} = \frac{64}{22,4} \frac{10^3}{10^6} \text{ mg}$$

$$\text{Also: } 1 \text{ ppb SO}_2 \hat{=} 0,002857 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3 \text{ Luft}$$

$$\text{Oder: } 1 \text{ ppm SO}_2 \hat{=} 2,857 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3 \text{ Luft.}$$

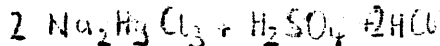
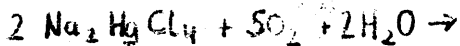
Vom chemischen Standpunkt aus betrachtet werden Meßergebnisse primär immer in Masseneinheiten erhalten. Für den Bereich der Spurenkonzentrationen spielen jedoch Druck- und Temperatureinflüsse für die Umrechnung praktisch keine Rolle.

**K 6.4.**

Alternative: Messung mit dem Dräger-Gasspürgerät

Dieses weithin bekannte Gerät zeichnet sich durch einfache Bedienung und leichte Auswertung der Messungen aus. Das chemische Funktionsprinzip ist jedoch schwerer erkennbar:

Auf Grund seiner reduzierenden Eigenschaften reagiert das mit der Luft durch das Proberöhrchen gesogene  $\text{SO}_2$  mit dem Reagenz auf einem porösen Trägermaterial:



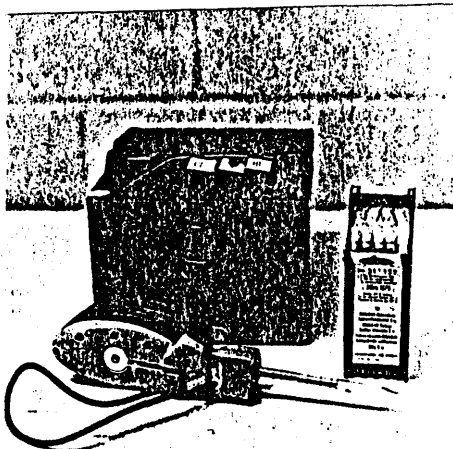
Das entstehende HCl wird über einen Indikator erfaßt und bewirkt die Farbänderung des Röhrchens.

Die zonenweise Farbänderung zeigt direkt den entsprechenden ppm-Wert für  $\text{SO}_2$  (bzw. für ein entsprechendes Gas) auf einer Skala am Meßröhrchen an. Diese Werte sind jeweils auf 10 Hübe des Balges bezogen. Bei anderer Hubzahl ist der Wert entsprechend zu korrigieren.

Prinzipiell ist auch diese chemische Bestimmungsmethode von den Schülern "entdeckend" auffindbar. Die auftretenden Redox-Gleichungen sind aber vergleichsweise kompliziert.

Das Dräger-Gasspürgerät ist für den Einsatz zur Arbeitsplatzüberwachung konstruiert und ausgelegt. Es bringt daher für die Anwendung im Immissionsbereich einige Nachteile mit sich. Wegen des unterschiedlichen Probenahmeverfahrens (kontinuierlich - diskontinuierlich) sind die Ergebnisse nicht unbedingt mit den sonstigen Immissionsdaten vergleichbar. Außerdem können keine Meßröhrchen für den interessierenden ppb-Bereich einer normalen Luftbelastung bezogen werden. Die Genauigkeit bei erhöhter Hubzahl, die dadurch notwendig wird, entspricht dann nicht mehr den üblichen Anforderungen.

Die Anschaffung eines Dräger-Gasspürgerätes kostet ca. 350,- DM. Ein Satz Meßröhrchen ist für DM 30,- zu erhalten (10 Stück).



## Abschnitt 7

K 7

### Bewertung der Messung - Planung weiterer Messungen

Die Messung der  $\text{SO}_2$ -Immissionskonzentration und ihre in Abschnitt 6 beschriebene Auswertung bedürfen der Bewertung, Interpretation und (zumindest gedanklichen) Erweiterung.

Zunächst sollte das Ergebnis mit den inzwischen von den Schülern eingeholten Informationen verglichen werden. → K 7.1.

Ergänzende Informationen zum rechtlichen und technischen Rahmen solcher Messungen können in diesem Zusammenhang der "Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft" entnommen werden. → K 7.2.

Davon ausgehend bietet sich die Überleitung zum Problem der flächenhaften bzw. zeitlichen Erfassung von Immissionswerten an, ebenso die Planung weiterer  $\text{SO}_2$ -Messungen. → K 8

Schließlich kann hier die ökologische Wirkung von  $\text{SO}_2$  als atmosphärischem Belastungsstoff zusammenfassend diskutiert oder behandelt werden. → K 7.3. Unter dieser Kennung findet sich eine kurze Bibliographie zu diesem Stichpunkt.

K 7.1.

Bei der Erprobung wurde das Ergebnis der  $\text{SO}_2$ -Messung in Zusammenhang mit einem Protokoll diskutiert, das eine Schülergruppe im Anschluß an ein Gespräch mit dem örtlichen Ordnungsamt angefertigt hatte.

Der spezifische Inhalt des Interviews, insbesondere die Fragestellungen, resultieren aus der Tatsache, daß die Schüler die beiden Zeitungsartikel aus UM 1 als Ausgangspunkt gewählt hatten.

Hierbei ergaben sich gleichzeitig Anknüpfungspunkte zur Einbeziehung und Wiederholung vorausgegangener Unterrichtsinhalte.

Anschließend stellten die Schüler einen Fragenkatalog (für einen Test) zusammen, der alle Fragen enthält, die ihrer Meinung nach für das Verständnis der aufgeworfenen Probleme wichtig sind.

Interview-Protokoll und Fragenkatalog sind im folgenden wiedergegeben.

Ergebnis einer Fragestunde an Mitarbeiter des Kasseler Ordnungsamtes  
Sachgebiet "Umwelt- und Immissionsschutz"

1.) Woher stammen die Daten aus den Zeitungsberichten?

"Die Daten aus den Zeitungsberichten stammen von der Hessischen Landesanstalt für Umwelt."

2.) Wieso Werte von 1973?

"Es sind keine veralteten Werte, sondern der Bürgermeister ist von 1973 als Basis ausgegangen und hat festgestellt, daß sie bis 1977 ständig rückläufig sind."

3.) Wer macht das Lufthygienische Gutachten?

Das Lufthygienische Gutachten wird von der HLFU gemacht, wenn es in Auftrag gegeben wird. Der Beamte meinte: "Das kostet immer eine Menge Geld."

(HLfU = Hessische Landesanstalt für Umwelt, Wiesbaden)

4.) Wie hoch ist die Schadstoffbelastung im Belastungsgebiet Kassel?

Die Meßstellen, von denen es 2 in Kassel gibt, messen täglich, aber die Werte sind komischerweise nach Aussagen des Beamten nicht der Öffentlichkeit zugänglich. Er teilte uns jedenfalls mit, daß Bettenhausen, die Nordstadt und die Innenstadt am stärksten belastet seien, aber Wilhelmshöhe, Zwehren und Harleshausen nicht oder so gut wie nicht belastet sind.

5.) Wer belastet mehr, die Industrie, der Verkehr oder der Hausbrand?

In der ganzen Bundesrepublik kann man ungefähr sagen, von jedem ein Drittel. "Das verschiebt sich aber von Ort zu Ort, denn Kassel ist keine Industriestadt und daher durch die Industrie nicht so belastet wie z.B. eine Stadt im Ruhrgebiet."

6.) Wo liegen die Grenzen der Belastung?

"Nach der Smogverordnung wird als schädlich angesehen die

Alarmstufe 3:	Schwefeldioxid	2,4 mg pro m <sup>3</sup>
	Stickstoffoxide	1,8 mg pro m <sup>3</sup>
	Kohlenwasserstoffe	4,0 mg pro m <sup>3</sup>

7.) Was wird von der Stadt Kassel gegen diese Belastung unternommen?

Als wir diese Frage stellten, sagte der Beamte gleich: "Die Bevölkerung unterschätzt immer das, was die Stadt macht. Aber sie tut soviel, wie in ihrer Macht steht, nur sie kann nicht alles machen. Sie läßt durch das Gewerbeaufsichtsamt Heizungsanlagen überwachen und Industrieschornsteine kontrollieren."

Als wir den Vorschlag machten, mehr Grün in die Stadt zu bringen, beispielsweise Bäume, sagte der Beamte, es wären entlang der Holländischen Straße Bäume gepflanzt worden, aber Bäume hätten keine große Wirkung. Sie könnten höchstens noch gefährlich werden:

1. Für den Autoverkehr
2. Zu wenig Platz für Bäume und
3. Da murmelte er ein paar Formeln und sagte, sie könnten bestimmte Gase noch verstärken.

Und fast bei jedem Satz wurde angeschlossen, man müsse bedenken, daß dies auch alles Geld kosten würde.

8.) Wieso Smog-Alarm, wenn in Kassel Zeitungsberichten nach keine Gefahr besteht?

"Smog hat gar nichts mit Luftverschmutzung zu tun.

Smog entsteht, weil die oberen Luftschichten wärmer sind und dadurch die Schadstoffe nicht hochsteigen können. Dadurch bildet sich eine Dunstglocke." In unserem Umwelt ABC ist Smog so erklärt: Windarme Wetterlagen mit Kaltluft und darüberliegender Warmluft verhindern den Luftaustausch mit der höheren Atmosphäre und führen in Bodennähe zu einer starken Anreicherung gefährlicher Giftgase. Hier spricht man von Smog. In solchen Katastrophenfällen (London, Los Angeles) stellte man eine überhöhte Sterberate fest.

I r m t r a u d B.

K l a u s D.

B o d o R.



Fragen für einen Test:

### 1. Schwefeldioxid:

- 1.1. Welche chemischen Eigenschaften hat  $\text{SO}_2$ ?
- 1.2. Wie wirkt  $\text{SO}_2$  auf Pflanzen und andere Lebewesen?
- 1.3. Wie wirkt  $\text{SO}_2$  auf Gebäude, z.B. aus Kalkstein oder Sandstein?
- 1.4. Wie wird  $\text{SO}_2$  hergestellt? Im Labor? In der Technik?
- 1.5. Welche Quellen von  $\text{SO}_2$  gibt es in der Natur?
- 1.6. Durch welche vom Menschen beeinflussten Prozesse gelangt  $\text{SO}_2$  in die Atmosphäre?
- 1.7. Durch welche Prozesse wird das  $\text{SO}_2$  wieder aus der Atmosphäre entfernt? Wo bleibt es dann?
- 1.8. Was ist schweflige Säure, was ist Schwefelsäure? Wie können sie hergestellt werden?

### 2. Luft und Wetter

- 2.1. Wie ist die Luft zusammengesetzt?
- 2.2. Welche natürlichen "Belastungsstoffe" sind in der Luft?
- 2.3. Wie entstehen  $\text{NO}_x$  bzw.  $\text{CO}$ ?
- 2.4. Was ist eine Inversionswetterlage?
- 2.5. Wie entsteht eine austauscharme Wetterlage und welche Jahreszeit begünstigt ihre Entstehung?
- 2.6. Weshalb bringt eine Inversionswetterlage gesundheitliche Gefahren für die Menschen mit sich?
- 2.7. Beschreibe oder skizziere die Temperaturschichtung in der Atmosphäre im Normalfall und im Inversionsfall.

### 3. Luftbelastung

- 3.1. Erkläre den Unterschied zwischen Emission und Immission.
- 3.2. Was ist Smog? Wie entsteht er? Warum gibt es Smog bei uns meist in der Umgebung von Flughäfen?
- 3.3. Zähle wichtige Belastungsstoffe auf, die durch den Menschen in die Atmosphäre gelangen.
- 3.4. Nenne die drei Haupt-Emissionsquellen, beschreibe ihren Beitrag zur Luftbelastung nach Art und Menge.
- 3.5. Was ist ein lufthygienisches Gutachten und wer erstellt es, in wessen Auftrag?

#### 4. Chemische Grundlagen

- 4.1. Was versteht man unter Oxidation, was unter Reduktion?
- 4.2. Nenne reduzierende bzw. oxidierende Stoffe.
- 4.3. Gib zwei Möglichkeiten an, nachzuweisen, daß Schwefeldioxid sich in Wasser gelöst hat.
- 4.4. Was kannst Du über das Gewicht von gleichen Mengen  $\text{SO}_2$  bzw. Luft sagen?
- 4.5. Wieviel Luft (Sauerstoff) wird bei der Verbrennung von 16 g Schwefel verbraucht?
- 4.6. Wie läßt sich aus  $\text{SO}_2$  Schwefelsäure herstellen?
- 4.7. Wovon hängt die Leitfähigkeit einer Lösung ab?
- 4.8. Wie bestimmt man die Leitfähigkeit einer Lösung?
- 4.9. Zeichne einen Schaltplan für eine Leitfähigkeitsmessung.
- 4.10. Was versteht man unter einer schwachen bzw. unter einer starken Säure?
- 4.11. Was bewirkt die Leitfähigkeit von Säuren (verdünnte Säuren)?
- 4.12. Wie kann man  $\text{SO}_2$ -haltige Luft untersuchen?

#### 5. Umweltpolitik und Informationen

- 5.1. Bei welchen Stellen, Ämtern usw. kannst Du Dich nach der Beschaffenheit der Luft erkundigen? In Deinem Heimatort, Deiner Gemeinde?
- 5.2. Woher stammen die Presseberichte über Luft und Luftbelastung?
- 5.3. Welche Stellen, Ämter sind für die Überwachung der Luft verantwortlich?
- 5.4. Welche gesetzlichen Grundlagen zur Luftüberwachung und -reinhaltung gibt es?
- 5.5. Was bedeutet die Abkürzung BImSchG?
- 5.6. Welche Landesbehörde führt die Luftüberwachung durch?
- 5.7. Welche Maßnahmen sind für einen Smog-Fall vorgesehen?
- 5.8. Wer beschließt solche Maßnahmen?
- 5.9. Welche Maßnahmen für Bebauung, Flächennutzung usw. können aus einem lufthygienischen Gutachten abgeleitet werden?

K 7.2.

Die "Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft" (TA Luft) stellt für die Bewertung von  $SO_2$ -Messungen eine Diskussionsgrundlage dar, die vom regionalen und zeitlichen Bezug unabhängig ist. Besonders die Angaben zur flächendeckenden  $SO_2$ -Messung (Abschnitt 2.5. der TAL) können später weiter benutzt werden.

Auszüge aus der TA Luft sind unter UM 7.2. wiedergegeben.

UM 7.2.

Amtlicher Teil

Der Bundesminister des Innern

UB. Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft,  
Luftreinhaltung, Lärmbekämpfung

Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift  
zum Bundes-Immissionsschutzgesetz

(Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft — TA Luft —)

Vom 28. August 1974

Inhaltsübersicht

- 1 Sachlicher Geltungsbereich
- 2 Allgemeine Vorschriften zur Reinhaltung der Luft
- 2.1 Begriffsbestimmungen und Einheiten im Meßwesen
  - 2.1.1 Luftverunreinigungen
  - 2.1.2 Emissionen
  - 2.1.3 Immissionen
  - 2.1.4 Abkürzungen für sonstige Einheiten im Meßwesen
- 2.2 Allgemeine Grundsätze für die Genehmigung, den Vorbescheid und die nachträglichen Anordnungen
  - 2.2.1 Prüfung der Anträge auf Genehmigung zur Errichtung und zum Betrieb neuer Anlagen
  - 2.2.2 Prüfung der Anträge auf Erteilung einer Teilgenehmigung
  - 2.2.3 Prüfung der Anträge auf Genehmigung zur wesentlichen Änderung der Lage, der Beschaffenheit oder des Betriebes einer Anlage
  - 2.2.4 Prüfung der Anträge auf Erteilung eines Vorbescheides
  - 2.2.5 Nachträgliche Anordnungen
- 2.3 Begrenzung der Emissionen
  - 2.3.1 Allgemeines
  - 2.3.2 Dunkler Rauch
  - 2.3.3 Staubförmige Emissionen
  - 2.3.4 Emissionen von Gasen und Dämpfen
- 2.4 Immissionswerte
  - 2.4.1 Allgemeines
  - 2.4.2 Immissionswerte für Stäube
  - 2.4.3 Immissionswerte für Gase
- 2.5 Feststellung und Beurteilung der Immissionen
  - 2.5.1 Grundsätze
  - 2.5.2 Feststellung und Beurteilung von Immissionen im Genehmigungsverfahren
  - 2.5.3 Feststellung und Beurteilung von Immissionen bei der Prüfung nach Nr. 2.2.5
- 2.6 Schornsteinmindesthöhe
  - 2.6.1 Allgemeines
  - 2.6.2 Nomogramm zur Bestimmung der Schornsteinmindesthöhe
  - 2.6.3 Ermittlung der Schornsteinmindesthöhe unter Berücksichtigung der Bebauung und des Bewuchses
- 2.7 Ausbreitungsrechnung
- 2.8 Feststellung der Emissionen
  - 2.8.1 Meßplätze
  - 2.8.2 Meßprogramm
  - 2.8.3 Auswertung und Beurteilung
  - 2.8.4 Laufende Überwachung der Emissionen
  - 2.8.5 Abnahmemessungen
- 3 Anforderungen an bestimmte Anlagearten
- 4 Übergangsvorschrift

Nach § 48 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes — BImSchG — vom 15. März 1974 (Bundesgesetzbl. I S. 721, 1193) erläßt die Bundesregierung nach Anhörung der beteiligten Kreise mit Zustimmung des Bundesrates folgende allgemeine Verwaltungsvorschrift:

1 Sachlicher Geltungsbereich

Diese Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft gilt für die unter § 4 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes fallenden Anlagen, soweit nach § 66 Abs. 1 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes für das Genehmigungsverfahren die Vorschriften der Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen nach § 16 der Gewerbeordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 7. Juli 1971 (Bundesgesetzbl. I S. 888) gelten. Sie enthält Vorschriften zur Reinhaltung der Luft, die die zuständigen Behörden zu beachten haben

- a) bei der Prüfung der Anträge auf Genehmigung zur Errichtung und zum Betrieb einer Anlage (§§ 6 und 8 BImSchG) sowie zur wesentlichen Änderung der Lage, der Beschaffenheit oder des Betriebes einer Anlage (§ 15 BImSchG),
- b) bei der Prüfung der Anträge auf Erteilung eines Vorbescheides (§ 9 BImSchG),
- c) bei nachträglichen Anordnungen (§ 17 BImSchG) und
- d) bei der Anordnung über Ermittlungen von Art und Ausmaß der von einer Anlage ausgehenden Emissionen sowie der Immissionen im Einwirkungsbereich der Anlage (§ 26 BImSchG).

2 Allgemeine Vorschriften zur Reinhaltung der Luft

2.1 Begriffsbestimmungen und Einheiten im Meßwesen

2.1.1 Luftverunreinigungen  
Luftverunreinigungen im Sinne dieser Anleitung sind Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft, insbesondere durch Rauch, Ruß, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe oder Geruchsstoffe; zu den Dämpfen kann auch Wasserdampf gehören.

2.1.2 Emissionen  
Emissionen im Sinne dieser Anleitung sind die von einer Anlage ausgehenden Luftverunreinigungen.

Emissionen werden wie folgt angegeben:

- a) Masse der emittierten Stoffe bezogen auf das Volumen
  - aa) von Abgas im Normzustand (0 °C; 1013 mbar) nach Abzug des Feuchtegehaltes an Wasserdampf
  - bb) von Abgas (f) im Normzustand (0 °C; 1013 mbar) vor Abzug des Feuchtegehaltes an Wasserdampf
- als Massenkonzentration in der Einheit mg/m<sup>3</sup>;

b) Masse der emittierten Stoffe bezogen auf die Zeit als Massenstrom in den Einheiten kg/h oder g/h;

c) Verhältnis der Masse der emittierten Stoffe zu der Masse der erzeugten oder verarbeiteten Produkte \*) als Massenverhältnis in den Einheiten kg/t oder g/t.

Abgase im Sinne dieser Anleitung sind die Trägergase mit den festen, flüssigen und gasförmigen Emissionen.

Die Luftmengen, die einer Einrichtung der Anlage zugeführt werden, um das Abgas zu verdünnen oder zu kühlen, bleiben bei der Bestimmung der Massenkonzentration unberücksichtigt.

Als Bestimmungsgröße für die optische Bewertung von Abgasfahnen dient der Grauwert nach der Ringelmann-Skala.

**2.1.3 Immissionen**

Immissionen im Sinne dieser Anleitung sind auf Menschen sowie Tiere, Pflanzen oder andere Sachen einwirkende Luftverunreinigungen. Als einwirkende Luftverunreinigungen sind in der Regel in 1,5 Meter Höhe über dem Erdboden oder der oberen Begrenzung der Vegetation oder in einem Abstand von 1,5 Meter von der Oberfläche eines Bauwerkes auftretende Luftverunreinigungen anzusehen.

Immissionen werden wie folgt angegeben: allgemein

Masse der luftverunreinigenden Stoffe bezogen auf das Volumen der verunreinigten Luft als Massenkonzentration in der Einheit mg/m<sup>3</sup>; bei Gasen auch

Volumen der luftverunreinigenden Stoffe bezogen auf das Volumen der verunreinigten Luft als Volumenkonzentration in der Einheit cm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>;

bei Stäuben auch Anzahl der Staubpartikel bezogen auf das Volumen der verunreinigten Luft als Konzentration an Staubpartikeln in der Einheit 1/cm<sup>3</sup>;

als Staubniederschlag Masse der niedergeschlagenen Stäube bezogen auf die Auffangfläche und auf die Meßzeit (Probenahmezeit) als zeitbezogene Massenbedeckung in der Einheit g/(m<sup>2</sup> · d).

**2.1.4 Einheitenzeichen von weiteren Einheiten im Maßwesen**

µm	Mikrometer;	1 µm	= 1/1000 mm
km	Kilometer;	1 km	= 1000 m
µg	Mikrogramm;	1 µg	= 1/1000 mg
mg	Milligramm;	1 mg	= 1/1000 g
t	Tonne;	1 t	= 1000 kg
h	Stunde;	1 h	= 3 600 s
d	Tag;	1 d	= 24 h = 86 400 s
mbar	Millibar;	1 mbar	= 1/1000 bar = 100 Pa

kJ/h Kilojoule durch Stunde (thermische Leistung);

MJ/h Megajoule durch Stunde; 1 MJ/h = 1000 kJ/h

GJ/h Gigajoule durch Stunde; 1 GJ/h = 1000 MJ/h

TJ/h Terajoule durch Stunde; 1 TJ/h = 1000 GJ/h

m<sup>3</sup>/h Kubikmeter durch Stunde (Volumenstrom);

\*) Emissionsfaktoren

**2.2 Allgemeine Grundsätze für die Genehmigung, den Vorbescheid und die nachträglichen Anordnungen**

**2.2.1 Prüfung der Anträge auf Genehmigung zur Errichtung und zum Betrieb neuer Anlagen**

**2.2.1.1** Die Genehmigungsvoraussetzungen nach § 6 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes sind aus Gründen der Luftreinhaltung als erfüllt anzusehen, wenn

- a) die Anlagen mit den dem Stand der Technik (2.3.1) entsprechenden Einrichtungen zur Begrenzung der Emissionen ausgerüstet sind,
- b) durch den Betrieb der Anlage die Immissionswerte (2.4) im Einwirkungsbereich der Anlage nicht überschritten werden und
- c) die Verteilung der Emissionen nach 2.6 erfolgt.

**2.2.1.2** Die Genehmigungsvoraussetzungen sind aus Gründen der Luftreinhaltung auch in den Fällen als erfüllt anzusehen, wenn eine Überschreitung der Immissionswerte zu besorgen ist und

- a) durch technische Maßnahmen, die über die Anforderungen zur Begrenzung der Emissionen in 2.3.2 bis 2.3.4 und 3 hinausgehen,
- b) durch Einsatz geeigneterer Brenn- und Arbeitsstoffe, höhere Schornsteine, Verkleinerung der Anlagen oder
- c) durch Verminderung der Emissionen aus sonstigen vom Antragsteller betriebenen Anlagen

die Emissionen soweit vermindert oder verteilt werden, daß die Einhaltung der Immissionswerte sichergestellt werden kann.

In dem Fall des Absatzes 1 Buchstabe c kann dem Antragsteller zur Vermeidung von Produktionsausfällen oder in sonstigen Härtefällen eingeräumt werden, die Verminderung der Emissionen bestehender Anlagen binnen einer Frist vorzunehmen, die in der Regel sechs Monate nach Inbetriebnahme der neuen Anlage nicht überschreiten soll.

**2.2.1.3** Die Genehmigung von Anlagen in Gebieten, in denen Immissionswerte überschritten werden, soll wegen dieser Überschreitung nicht versagt werden, wenn der Antragsteller durch die neue Anlage eine bestehende Anlage gleicher Art ersetzt und dadurch die Emissionen und Immissionen erheblich vermindert. Zur Vermeidung von Produktionsausfällen oder in sonstigen Härtefällen kann dem Antragsteller eingeräumt werden, die bestehende Anlage binnen einer Frist stillzulegen, die in der Regel sechs Monate nach Inbetriebnahme der neuen Anlage nicht überschreiten soll.

**2.2.1.4** In Gebieten, in denen Immissionswerte überschritten sind oder eine Überschreitung von Immissionswerten zu erwarten ist, soll die Genehmigung wegen der bestehenden oder zu erwartenden Überschreitung nicht versagt werden, wenn die Möglichkeiten zur Immissionsminderung nach 2.2.1.2 ausgeschöpft werden und wenn durch einen Luftreinhalteplan nach § 47 Satz 3 Nr. 3 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes sichergestellt ist, die zusätzlich durch bestehende Anlagen anderer Betreiber verursachten Immissionen soweit zu senken, daß die Einhaltung der Immissionswerte im Einwirkungsbereich der neuen Anlage künftig erreicht wird.

**2.2.1.5** In den durch Rechtsverordnungen der Landesregierungen nach § 49 Abs. 2 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes ausgewiesenen Gebieten sowie in Gebieten, in denen bei austauschbaren Weiterlagen eine anhaltende erhebliche Überschreitung der Immissionswerte (2.4) zu be-

fürchten ist und die aufgrund von Gutachten des Deutschen Wetterdienstes von den zuständigen obersten Landesbehörden ausgewiesen sind, kann dem Antragsteller die Lagerung von schwefelarmen Brenn- und Arbeitsstoffen in Höhe eines Wochenbedarfs und die Umstellung auf diese Brenn- und Arbeitsstoffe bei diesen Wetterlagen auferlegt werden, es sei denn, daß ausreichende Abgasentschwefelungsanlagen eingebaut werden. Die Lagerung soll nicht auferlegt werden, soweit schwefelarme Brennstoffe aus der laufenden Produktion genommen werden können (z. B. bei Zechenkraftwerken) oder auf andere Weise die Versorgung mit schwefelarmen Brenn- und Arbeitsstoffen sichergestellt ist.

Soweit eine Umstellung auf schwefelarme Brenn- und Arbeitsstoffe nicht geeignet oder nicht ausreichend ist, um eine erhebliche Überschreitung der Immissionswerte im Falle des Absatzes 1 Satz 1 zu verhindern, kann dem Antragsteller auferlegt werden, den Betrieb der Anlage während der austauscharmen Wetterlagen einzuschränken, insbesondere diskontinuierliche Arbeitsvorgänge, z. B. Anfahrvorgänge, Reinigungs- und Wartungsarbeiten, die zu erhöhten Emissionen führen können, aufzuschieben.

**2.2.1.6** In den durch Rechtsverordnungen der Landesregierungen nach § 49 Abs. 2 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes ausgewiesenen Gebieten sowie in Gebieten, in denen bei austauscharmen Wetterlagen eine anhaltende erhebliche Überschreitung der Immissionswerte (2.4) zu befürchten ist und die aufgrund von Gutachten des Deutschen Wetterdienstes von den zuständigen obersten Landesbehörden ausgewiesen sind und bei denen auch bei Durchführung von Maßnahmen nach 2.2.1.5 mit einer erheblichen Überschreitung der Immissionswerte (2.4) gerechnet werden muß, können dem Antragsteller Maßnahmen, die über 2.2.1.1 Buchstaben a und c hinausgehen, auferlegt werden.

**2.3 Begrenzung der Emissionen**

**2.3.1 Allgemeines**

Dem Stand der Technik entsprechen insbesondere fortschrittliche Maßnahmen zur Begrenzung von Emissionen, die mit Erfolg im Betrieb erprobt worden sind. In begründeten Fällen können auch noch nicht für den jeweiligen Anwendungsfall abschließend betriebserprobte Maßnahmen als dem Stand der Technik entsprechend angesehen werden, z. B., wenn diese in einem solchen Maße erprobt worden sind, daß die vorgesehene Anwendung ohne unzumutbares Risiko möglich ist. Bei der Bestimmung des Standes der Technik für den jeweiligen Anwendungsfall sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen heranzuziehen; fehlt es an derartigen Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, so sind an die Prüfung, ob die praktische Eignung der Maßnahme zur Begrenzung von Emissionen gesichert erscheint, besonders strenge Anforderungen zu stellen.

**2.4 Immissionswerte**

**2.4.1 Allgemeines**

Immissionswerte sind die in 2.4.2 und 2.4.3 festgelegten Werte für Langzeiteinwirkungen (IW 1) und Kurzzeiteinwirkungen (IW 2). Sie beinhalten, mit Ausnahme von Stäuben mit einer Korngröße unter 10 µm und Schwefeldioxid, deren gleichzeitiges Auftreten in Betracht gezogen ist, auf die alleinige Wirkung der jeweiligen luftverunreinigenden Stoffe.

Die Prüfung, ob die Immissionswerte eingehalten sind, ist nach 2.5 durchzuführen.

**2.4.3 Immissionswerte für Gase**

Für einzelne gasförmige Immissionen in der Luft werden folgende Immissionswerte festgelegt:

Art der Immission	Massenkonzentration	
	mg/m <sup>3</sup> IW 1	mg/m <sup>3</sup> IW 2
Chlor	0,10	0,30
Chlorwasserstoff	0,10	0,20
— angegeben als anorganische gasförmige Chlorverbindungen —		
Fluorwasserstoff	0,0020	0,0040
— angegeben als anorganische gasförmige Fluorverbindungen —		
Kohlenmonoxid	10,0	30,0
Schwefeldioxid	0,150	0,40
Schwefelwasserstoff	0,0050	0,010
Stickstoffdioxid	0,10	0,30
Stickstoffmonoxid	0,20	0,60

Solange zur Messung von Chlorwasserstoff-Immissionen keine Meßverfahren zur Verfügung stehen, mit denen einwandfrei getrennt von Chloriden gemessen werden kann, gilt für Chlorwasserstoff in der Luft, angegeben als anorganische gasförmige Chlorverbindungen, folgender Immissionswert:  
IW 1 0,10 mg/m<sup>3</sup>  
IW 2 0,30 mg/m<sup>3</sup>.

In Gebieten, in denen nach 2.5.2 festgestellt wird, daß für Schwefeldioxid die Kenngröße I 1 die Massenkonzentration 0,06 mg/m<sup>3</sup> Luft nicht überschreitet, ist bei der Genehmigung von Anlagen sicherzustellen, daß dieser Wert eingehalten wird; die zuständige oberste Landesbehörde kann im Einzelfall Ausnahmeregelungen treffen, soweit dadurch für diese Gebiete der Zweck des Bundes-Immissionsschutzgesetzes nicht gefährdet wird.

**2.5 Feststellung und Beurteilung der Immissionen**

**2.5.1 Grundsätze**

Messungen zur Feststellung von Immissionen sollen so ausgeführt werden, daß

- a) die Meßergebnisse miteinander vergleichbar sind und
- b) aus den Meßergebnissen Kenngrößen abgeleitet werden können, die für eine Beurteilung der Immissionen durch Vergleich mit den Immissionswerten (2.4) geeignet sind.

Diese Voraussetzungen sind bei Anwendung der Methoden nach 2.5.2 und 2.5.3 erfüllt. Die Durchführung von laufenden Messungen ist grundsätzlich anzustreben.

Vor Beginn der Messungen sind die Zahl und der Umfang der Immissionsmessungen, die Meßzeiten und Meßorte in einem Meßplan festzulegen, der unter Berücksichtigung der Topographie und der räumlichen und zeitlichen Verteilung der Immissionen aufzustellen ist. Hierbei können Feststellungen über Emissionen und meteorologische Ausbreitungsbedingungen herangezogen werden.

Die Ergebnisse der Messungen des Staubbereiches sind in Jahres- und Monatsmittelwerten, der Massenkonzentration von Stäuben mit einer Partikelgröße unter 10 µm in Tagesmittelwerten und der Massen- oder Volumenkonzentration von Gasen in Halbstundenmittelwerten anzugeben. Sind die genannten Mittelwerte im Einzelfall für eine Feststellung oder Beurteilung der Immissionen nicht geeignet, sind Mittelwerte über abweichende Zeiträume anzugeben.

**2.5.2 Feststellung und Beurteilung von Immissionen im Genehmigungsverfahren**

**2.5.2.1 Allgemeines**

Soweit zur Feststellung von Immissionen Messungen erforderlich sind, soll der Meßzeitraum höchstens ein Jahr betragen. Dieser kann bis auf zwei Monate verkürzt werden, wenn die Immissionen in dem kürzeren Zeitraum beurteilt werden können. Eine Verkürzung des Meßzeitraumes kommt insbesondere in Betracht, wenn die vorhandenen Immissionen keinen jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen oder wenn jahreszeitliche Schwankungen rechnerisch berücksichtigt werden können. Das Gebiet, in dem die Immissionen zu messen sind (Meßgebiet), soll in der Regel eine quadratische Fläche umfassen. Die Größe des Meßgebietes soll bei einer zu erwartenden Schornsteinhöhe

bis zu 100 m 4 km x 4 km  
bis zu 200 m 8 km x 8 km

betragen.

Bei einer zu erwartenden Schornsteinhöhe  $H$  [m] von mehr als 200 m sollen die Seitenlängen  $L$  [km] des Meßgebietes nach folgender Formel berechnet werden

$$L = 8 + 0,08 (H - 200).$$

Die sich ergebende Seitenlänge  $L$  ist in der Regel auf volle Kilometer, bei Anwendung laufender Messungen (2.5.2.4) auf den nächsten durch 4 teilbaren Wert in vollen Kilometern aufzurunden.

Das Meßgebiet ist so festzulegen, daß die zu genehmigende Anlage möglichst nahe am Mittelpunkt des Meßgebietes liegt. Unter besonderen Bedingungen (z. B. in Tallagen) kann auch ein rechteckiges Meßgebiet, dessen größere Seitenlänge nach Absatz 2 ermittelt wird, festgelegt werden; das Seitenverhältnis soll mindestens 1 : 4 sein.

Von einer Feststellung der Immissionen durch Messungen nach festgelegtem Meßplan kann abgesehen werden, wenn die Immissionen im Einwirkungsbereich der zu genehmigenden Anlage offensichtlich nicht mehr als 50 % der Immissionswerte (2.4) betragen oder die Emissionen der zu genehmigenden Anlage gering sind und auf Grund orientierender Einzelmessungen oder Berechnungen festgestellt werden kann, daß die Immissionswerte (2.4) offensichtlich nicht überschritten werden.

**2.5.2.2 Stauniederschlag**

**2.5.2.2.1 Meßstellendichte und Meßhäufigkeit**

Zur Feststellung der Immissionen wird auf jeder Fläche von 1 Quadratkilometer des Meßgebietes eine Meßstelle festgelegt; die Entfernung zwischen den nächstgelegenen Meßstellen soll 1 Kilometer betragen. Die Lage der Meßstellen kann durch die Schnittpunkte der Gitterlinien auf Meßsichtblättern festgelegt werden. Können die Messungen nicht an der festgelegten Meßstelle durchgeführt werden oder ist wegen besonderer örtlicher Verhältnisse eine ausreichende Feststellung und Beurteilung der Immissionen dort nicht möglich, werden die Messungen an dem nächstgelegenen zugänglichen Ort durchgeführt. Die Abweichung soll 200 Meter nicht überschreiten.

Die Meßgeräte werden jeweils für die Zeit  $(30 \pm 2) d$  aufgestellt.

**2.5.2.3 Massenkonzentration von Stauben mit einer Korngröße unter 10 µm und Massen- oder Volumenkonzentration von Gasen (Staubproben-Messungen)**

**2.5.2.3.1 Meßstellendichte und Meßhäufigkeit**

Die Meßstellen werden nach 2.5.2.2.1 Abs. 1 festgelegt. Hierbei werden 4 Meßstellennetze mit je 1 Meßstelle auf einer Fläche von 4 Quadratkilometer so überlagert, daß eine Meßstellendichte von 1 Meßstelle auf 1 Quadratkilometer entsteht (Abb. 2).

Jedes Meßstellennetz wird, auch bei Verkürzung des Meßzeitraumes (2.5.2.1 Abs. 1), innerhalb des Meßzeitraumes mindestens 13mal ausgemessen. Am ersten Meßtag wird z. B. an den in Abb. 2 mit a, am zweiten an den mit b, am dritten an den mit c und am vierten an den mit d bezeichneten Meßstellen gemessen. Die Messung wird jeweils nach Ablauf von 4 Wochen oder bei Verkürzung des Meßzeitraumes oder bei Verkleinerung des Meßgebietes (2.5.2.1 Abs. 2), in entsprechend kürzeren Abständen an der gleichen Meßstelle wiederholt, so daß die Anzahl der Messungen insgesamt erhalten bleibt.

Die Meßtage werden vor Beginn der Messung unabhängig von der Wetterlage festgelegt.

**2.5.2.3.2 Meßverfahren**

Die Feststellungen werden nach den in den folgenden VDI-Richtlinien beschriebenen Meßverfahren durchgeführt.

Art der Immission	VDI-Richtlinie	Ausgabe
Staubkonzentration	VDI 2463 Bl. 1	Januar 1974
	VDI 2458 Bl. 1	Dezember 1973
Chlor Kohlenmonoxid	VDI 2455 Bl. 1	August 1970
	VDI 2455 Bl. 2	Oktober 1970
Schwefeldioxid	VDI 2451 Bl. 1	August 1968
	bis 4	
Schwefelwasserstoff	VDI 2454 Bl. 1 bis 3	Februar 1974
Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid	VDI 2453 Bl. 1	November 1972
	VDI 2453 Bl. 2 bis 4	Januar 1974

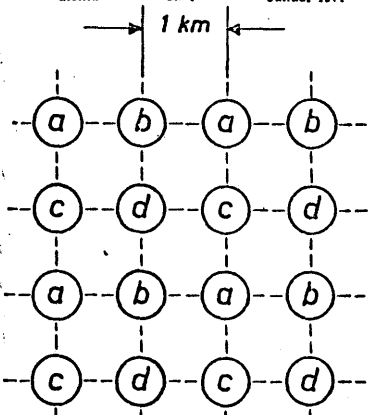


Abbildung 2 Meßstellennetz

**2.5.2.3 Auswertung und Beurteilung** — 72

Aus allen Meßergebnissen sind die Kenngrößen (2.5.1 Buchstabe b) zur Beurteilung der Immissionen für ein Meßgebiet nach folgendem Verfahren abzuleiten:

Die Kenngröße 1 1 für den Vergleich mit dem Wert IW 1 (2.4.2.2 und 2.4.3) ist der arithmetische Mittelwert aller Einzelwerte eines Meßgebietes.

Die Kenngröße 1 2 für den Vergleich mit dem Wert IW 2 (2.4.2.2 und 2.4.3) ist der 95 %-Wert der Summenhäufigkeitsverteilung aller Einzelwerte eines Meßgebietes; diese kann auch nach der Formel  $1 2 = \bar{x} + t \cdot s$  berechnet werden.

Hierbei bedeuten:

$\bar{x}$  arithmetischer Mittelwert der Einzelwerte eines Meßgebietes

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{z - 1}}$$

$x_i$  Einzelwerte, die größer sind als  $\bar{x}$

$z$  Zahl der Einzelwerte, die größer sind als  $\bar{x}$

$t$  Faktor der Student-Verteilung, der für den 95 %-Vertrauensbereich bei einseitiger Fragestellung  $t = 1,64$  beträgt.

2.5.2.3 Abs. 5 gilt entsprechend.

**2.5.2.4 Massenkonzentration von Stäuben mit einer Korngröße unter 10 µm und Massen- oder Volumenkonzentration von Gasen (laufende Messungen)**

**2.5.2.4.1 Meßstellendichte und Meßhäufigkeit**

Für die Festlegung der Meßstellen gilt 2.5.2.2.1 Abs. 1 mit der Maßgabe, daß die Entfernung zwischen den nächstgelegenen Meßstellen 4 Kilometer beträgt. Die Abweichung soll 400 Meter nicht überschreiten.

**2.5.2.4.2 Meßverfahren**

Die Feststellungen werden nach den in 2.5.2.3 genannten Meßverfahren durchgeführt.

**2.5.2.4.3 Auswertung und Beurteilung**

Aus allen Meßergebnissen sind die Kenngrößen (2.5.1 Buchstabe b) zur Beurteilung der Immissionen für ein Meßgebiet nach folgendem Verfahren abzuleiten:

Die Kenngröße 1 1 für den Vergleich mit dem Wert IW 1 (2.4.2.2 und 2.4.3) ist der arithmetische Mittelwert aller Einzelwerte eines Meßgebietes.

Die Kenngröße 1 2 für den Vergleich mit dem Wert IW 2 (2.4.2.2 und 2.4.3) ist der 95 %-Wert der Summenhäufigkeitsverteilung aller Einzelwerte eines Meßgebietes.

2.5.2.3 Abs. 5 gilt entsprechend.

Die Berechnung der Kenngrößen wird beispielhaft für die Fläche von 4 km × 4 km bei unterschiedlicher Anordnung der Meßstellen in Abb. 3 erläutert.

**2.5.3 Feststellung und Beurteilung von Immissionen bei der Prüfung nach 2.3.5**

**2.5.3.1 Allgemeines**

Soweit zur Feststellung, ob im Einwirkungsbereich einer bestehenden Anlage die Voraussetzungen für nachträgliche Anordnungen (2.2.5) erfüllt sind, Messungen erforderlich sind, sollen der Meßzeitraum und das Meßgebiet in dem Einwirkungsbereich so festgelegt werden, daß eine ausreichende Beurteilung möglich ist. Das Meßgebiet kann auf Teilgebiete des Einwirkungsbereiches beschränkt werden, in denen Wirkungen aufgetreten oder zu besorgen sind; die Auswertung soll auf diese Teilgebiete beschränkt werden.

Von einer Feststellung der Immissionen durch Messungen nach festgelegtem Meßplan kann abgesehen werden, wenn auf Grund orientierender Einzelmessungen oder durch Berechnungen festgestellt werden kann, daß die Immissionswerte um mehr als 50 % überschritten sind.

**2.5.3.3 Massenkonzentration von Stäuben mit einer Korngröße unter 10 µm und Massen- oder Volumenkonzentration von Gasen (Stichproben-Messungen und laufende Messungen)**

Die Feststellung der Immissionen wird entsprechend den für das Genehmigungsverfahren geltenden Vorschriften ausgeführt; bei Stichproben-Messungen wird entsprechend 2.5.2.3 und bei laufenden Messungen entsprechend 2.5.2.4 verfahren. Reichen die hiernach festzulegenden Meßstellen für eine Feststellung der Immissionen auf einem Teilgebiet nicht aus, sollen zusätzliche Meßstellen festgelegt werden, wobei die Entfernung zwischen den nächstgelegenen Meßstellen nicht weniger als 250 m betragen soll.

Ein ausreichender Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen liegt nicht vor, wenn die Auswertung der Meßergebnisse bei laufenden Messungen an einer oder bei Stichproben-Messungen an 4 benachbarten Meßstellen, die zusammenzufassen sind, ergibt, daß die Kenngröße 1 1 den Wert IW 1 (2.4.2.2 und 2.4.3) oder die Kenngröße 1 2 den Wert IW 2 (2.4.2.2 und 2.4.3) überschreitet.

Wenn der Verursacher einer Immission, deren Zulässigkeit überprüft werden soll, bekannt ist, können die Messungen ausschließlich auf den leistungsbereich der Anlage beschränkt werden. Bei Anwendung dieses Verfahrens kann jedoch nur die Kenngröße 1 2 bestimmt werden.

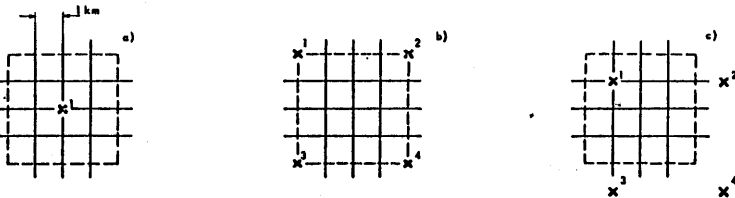


Abbildung 3  $x^1, x^2, x^3, x^4$ : Meßstellen  
Im Beispiel a) wird nur das Meßergebnis der Meßstelle  $x^1$ , im Beispiel b) werden die Meßergebnisse der Meßstellen  $x^1$  bis  $x^4$

zu erheben und im Beispiel c) die Meßergebnisse der Meßstellen  $x^1$  bis  $x^4$  anteilig (Meßstelle  $x^1$  zu 1/16, Meßstelle  $x^2$  und  $x^3$  zu je 2/16 und Meßstelle  $x^4$  zu 1/16) berücksichtigt.

**4. Übergangsvorschrift**

Für eine Übergangszeit von vier Jahren nach Veröffentlichung dieser Allgemeinen Verwaltungsvorschrift gelten abweichend von 2.4 für Staubbiederschlag, Fluorwasserstoff, Schwefeldioxid und Schwefelwasserstoff die folgenden Immissionswerte:

Art der Immission	IW 1	IW 2
Staubbiederschlag in g/ (m <sup>2</sup> · d)	0,50	1,0
Fluorwasserstoff in mg/m <sup>3</sup>	0,0030	0,0080
— angegeben als anorganische gasförmige Fluorverbindungen —		

Schwefeldioxid in mg/m <sup>3</sup>	0,140	0,50
Schwefelwasserstoff in mg/m <sup>3</sup>	0,010	0,020

Bonn, den 28. August 1974

Der Stellvertreter des Bundeskanzlers  
Genscher  
Der Bundesminister des Innern  
Maihfer



K 7.2.

### Umweltschäden durch $SO_2$ -Belastung der Atmosphäre - Bibliographie

In den Abschnitten 1 bis 6 der Unterrichtseinheit wurde bewußt darauf verzichtet, auf den Aspekt "Umweltschäden durch  $SO_2$ -Belastung" näher einzugehen. Eine umfassende Behandlung kann eher von seiten des Biologie-Unterrichts oder in einem zeitlich länger angelegten fächerübergreifenden Projekt erfolgen. Eine pauschale Eingliederung in den bisherigen Verlauf der Unterrichtseinheit brächte nicht nur aus diesem Grund Schwierigkeiten mit sich. Im folgenden wird daher auf einige einschlägige und leicht zugängliche Schul- und Fachbücher verwiesen, die Materialien zu diesem Aspekt anbieten.

Auswahl und zeitliche Einordnung sollten auf den übrigen Fortgang der Einheit abgestimmt sein.

ECKHARDT PHILIPP, Experimente zur Untersuchung der Umwelt  
Bayerischer Schulbuch-Verlag,  
München, 1977 (ca. 18,00 DM)

In Abschnitt 1 dieses Buches "Versuche zum Thema Luftverschmutzung" finden sich neben der Beschreibung eines weiteren Luftanalysegerätes (Auer-Gas-Tester) und dessen Einsatzmöglichkeiten zahlreiche andere Versuche zur atmosphärischen Belastung und deren Erfassung (S. 16-20). Die Wirkung von  $SO_2$  wird in Begasungsversuchen demonstriert. Abschließend folgen einige didaktische Hinweise und Kurzinformationen zum Umfang der Luftbelastung.

WOLFGANG ENGELHARDT, Umweltschutz  
Bayerischer Schulbuch-Verlag,  
München, 1977 (3. Auflage)  
(ca. 22,00 DM)

Dieses Buch gibt für den Schüler eine relativ umfassende Darstellung ökologischer Probleme. Der Abschnitt 4.6. (S. 121-133) befaßt sich speziell mit der Reinhaltung der Luft. Da in diesem Schulbuch keine Versuche angegeben werden, stellen die "Experimente" von E. PHILIPP eine gute Ergänzung zu ENGELHARDT's "Umweltschutz" dar.

WALTER WOLF, Umweltschutz

Aulis Verlag Deubner & Co. KG

Köln, 1974 (ca. 11,00 DM)

Der zweite Teil dieses Heftes aus der PRAXIS-Schriftenreihe (Band 28) behandelt die "Belastung der Atmosphäre". Neben einer allgemeinen Übersicht, die auch Erfassung der Immissionen und gesetzliche Aktivitäten anspricht, werden die einzelnen Schadstoffe theoretisch behandelt und Schulversuche vorgeschlagen.

L. STEULING, CH. KUNZE, Pflanzenökologische Experimente zur

Umweltverschmutzung

Heidelberg, 1972 (ca. 14,00 DM)

Hier finden sich ausführlich beschriebene Begasungsversuche mit Pflanzen und Pflanzenteilen. Auch Freilanduntersuchungen sind in Planung, Durchführung und Auswertung beschrieben.

MICHAEL BRAUN, Umweltschutz experimentell

BLV und Schwann, Düsseldorf

München, 1974 (ca. 12,00 DM)

Im Kapitel 2.2. wird Schwefeldioxid unter chemischen und ökologischen Aspekten behandelt (S. 30-42).

Gut einsetzbar ist z.B. ein Versuch zur Begasung von Kalkstein (S. 33). Daneben finden sich anschauliche Modellversuche zur Wirkung unterschiedlicher Schornsteinhöhen auf die örtliche Immissionsbelastung u.a.

FAHRENBERGER, MÜLLER, Luft und Wasser in Gefahr

Ausgewählte Schulversuche zum Thema Umweltschutz

Phywe Schriftenreihe, Industrie Druck

GmbH-Verlag

Göttingen, 1972 (ca. 14,00 DM)

Hier wird ausführlich ein Begasungsversuch von Kressesamen mit  $\text{SO}_2$  beschrieben. In einer Variante wird die Wirkung von  $\text{SO}_2$  auf Nägel und Eisen untersucht.

VERSUCHE ZUM UMWELTSCHUTZ, Beltz-Verlag,

Weinheim und Basel, 1972 (ca. 14,00 DM)

Methodisch und didaktisch gründlich auf die Schule abgestimmte Versuche zur Luftverschmutzung werden in Abschnitt I (S. 13-54) angeboten. Neben einer ausführlichen Beschreibung des Umgangs mit dem DRÄGER-Gasspürgerät wird u.a. auch die Auswirkung der Luftverschmutzung auf Flechten behandelt.

Ergänzend dazu können empfohlen werden:

Lehrerhandbuch THEMA: UMWELTSCHUTZ,

Beltz-Verlag, 1972

in dem, nach Schulstufen gegliedert, Vorschläge zur Behandlung von Umweltthemen und -problemen im Unterricht gemacht werden. (ca. 14,00 DM)

Lesebuch BEDROHTE UMWELT aus der Reihe Beltz-Unterricht,

1974, (ca. 14,00 DM)

Arbeitsbuch BEDROHTE UMWELT aus der gleichen Reihe, 1974 (ca. 8,00 DM)

Das Lesebuch behandelt Umweltprobleme in ihrem gesellschaftlichen Zusammenhang - und nicht nur als technische Mißgriffe. Hier finden sich auch zahlreiche Zeitungsartikel, die ähnlich wie die in UM 1 genutzt werden können, dazu eine bebilderte, im Diskussionsstil dargestellte Textreihe zu allen aktuellen Umweltproblemen.

Das Arbeitsbuch bietet Unterrichtsmaterialien mit Aufgabenstellungen zur Bearbeitung durch die Schüler an. Die Luft wird auf ca. 10 Seiten in einfachen Experimenten und grundlegenden Informations- und Arbeitstexten behandelt.

Viele der genannten Bücher geben außerdem Hinweise auf weiterführende oder Quellen - Literatur. Auch wichtige "Umwelt-Adressen" sind verschiedentlich aufgelistet.

Abschnitt 8

K 8

Ein Ergebnis aus Abschnitt 7 ist, daß eine einzelne  $SO_2$ -Messung kaum aussagekräftig ist. Sie kann nur dann von Bedeutung sein, wenn der gemessene Wert entweder deutlich unter oder über dem gesetzlichen Immissionswert liegt. In der Regel müssen daher mehrere Messungen zur Charakterisierung der Luft-Qualität vorgenommen werden.

In dieser Situation entwickeln die Schüler - auch ohne Kenntnis der TA Luft - schnell zwei alternative Vorschläge:

- Flächendeckende Messung für ein bestimmtes Gebiet  
(den Ort, die Gemeinde)

"Wir besorgen uns am besten eine Karte unserer Stadt und legen darauf Meßpunkte in gleichen Abständen fest."

Probleme dabei:

"Dazu braucht man sehr viele Meßgeräte, am besten automatische; es kann ja nicht überall einer dabei stehen."

"Man kann ja mit einem Meßgerät von Punkt zu Punkt gehen und nacheinander messen."

"Zu welcher Tageszeit soll man denn dann messen?"

"Dabei bekommt man aber sehr viele Werte; vielleicht kann man daraus einen Mittelwert für das ganze Gebiet berechnen."

"Ob das wohl reicht, wenn man an jeder Stelle einmal mißt?"

- Messung an (vermuteten) Schwerpunkten der Belastung

"Am einfachsten, wir messen an der großen Kreuzung; die Fabrik ist da auch in der Nähe."

"Wenn wir nur an einer Stelle messen, können wir dafür dort dann den ganzen Tag über messen und sehen, ob sich etwas verändert."

Probleme:

"Das Ergebnis an einem Tag hängt aber stark von der Windrichtung ab (ob die Rauchgase von der Fabrik auch zum Meßplatz geweht werden oder nicht)."

"An verschiedenen Wochentagen ist auch das Ergebnis verschieden."

"Wie die Luft in den weiter weg liegenden Wohngebieten ist,  
wissen wir dann aber nicht."

usw.

Beide Möglichkeiten stellen - auch nach den Angaben der TA Luft -  
sinnvolle Varianten dar und werden praktiziert. Je nach Art der  
Messung stellen sich aber unterschiedliche Probleme der Meßplanung  
und -auswertung. Diese Probleme sind im wesentlichen statistischer  
Art, sie sollen hier kurz dargestellt werden, soweit sie nicht  
bereits in den oben genannten Schüleräußerungen enthalten sind:

- Verhältnis von Grundgesamtheit/Population zu Stichprobe bzw.  
Stichprobenumfang:

Wie erhält man eine Stichprobe, die für die Grundgesamtheit re-  
präsentativ ist?

Wie groß muß eine Stichprobe sein, um mit der notwendigen Sicher-  
heit von ihr aus die Grundgesamtheit beurteilen zu können?

Diese Fragen gelten für die  $SO_2$ -Messung sowohl bezüglich der  
flächenhaften als auch der zeitlichen Erfassung. Die TA Luft trägt  
diesem Punkt insofern Rechnung, als bestimmte Meßvorschriften  
festgelegt werden, die immer einzuhalten sind. Damit wird zu-  
nächst die Vergleichbarkeit der Ergebnisse erreicht. Die Forderung  
nach der Durchführung von 13 Messungen pro Meßnetzstelle ist unter  
dem Aspekt 'Mindestgröße einer Stichprobe' zu betrachten, wenn man  
statistisch abgesicherte Aussagen erhalten will. Das Gebot, die  
zunächst willkürlich gewählten Meßpunkte auf einige Meter genau  
einzuhalten, wirkt im gleichen Sinn wie die Konstruktion eines  
Meßnetzes aus 4 übereinander gelagerten Einzelnetzen: Nämlich zur  
Herstellung von Zufallsstichproben unter bestimmten definierten  
Bedingungen.

- Beurteilung von Stichproben - Kennwerte von Stichproben:

Wie kann man eine Stichprobe beurteilen?

Welche Beurteilung läßt die Art des beobachteten Merkmals zu?

Welche Kennwerte lassen sich angeben?

Macht der Kennwert Angaben, die für die ursprüngliche Fragestellung  
interessant sind?

Was "verschweigt" der Kennwert?

Wie können Stichproben mittels ihrer Kennwerte verglichen werden?

usw.

Die Angaben der TA Luft hierzu werden im Anschluß näher behandelt. Es ist verständlich, daß sonst allgemein wichtige Kennwerte wie Mittelwert und Streuung hier nicht von der gleichen Bedeutung sind. Besonders der "95 % - Wert" stellt ein umweltrelevantes Spezifikum dar, ist aber leicht im Zusammenhang mit der Summenhäufigkeitsverteilung zu verstehen.

Wie aus dieser Zusammenstellung ersichtlich, bieten sich für den Unterricht hier vielfältige Möglichkeiten, von der Einführung in die deskriptive Statistik am konkreten Beispiel bis hin zur speziellen Untersuchung der Auswahlkriterien für Stichproben und deren Zusammenhang mit der Gültigkeit der Aussagen. Viele Einzelaspekte, z.B. Klassifizierung von Merkmalen, Verteilungsarten u.a. statistische Parameter lassen sich dieser Aufzählung zwanglos zuordnen.

Innerhalb der vorliegenden Unterrichtseinheit geht es zunächst darum, diese Möglichkeiten als solche aufzuzeigen und mit einigen Beispielen zu belegen. Ziel der Beschäftigung soll nicht der bloße formale Erwerb statistischer Kenntnisse sein, sondern die Schüler sollen befähigt werden,

- in den Medien wiedergegebene statistische Angaben verstehen und interpretieren zu lernen und
- auch die Aussage solcher Angaben beurteilen zu können.

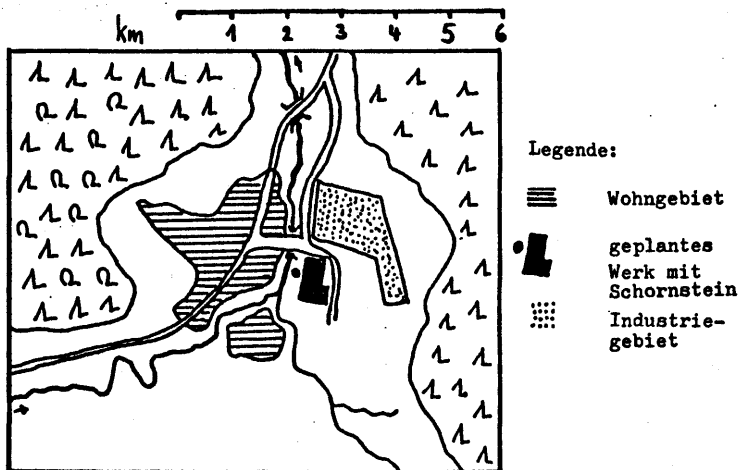
Die Differenzierungsmöglichkeiten sind entsprechend der Variationsbreite zahlreich, sowohl hinsichtlich der Jahrgangsstufe als auch des Kurses, bzw. auch als innere Differenzierung mit unterschiedlicher Aufgabenstellung. Die folgenden Vorschläge für Unterrichtsverlauf und die Unterrichtsmaterialien sind somit nicht als zusammenhängender "Lehrgang" zu verstehen, sondern als sich z.T. ergänzende, z.T. alternative Möglichkeiten.

VS 8.1.

**Problemstellung:**

In einer Gemeinde soll eine Industrieansiedlung erfolgen. Das geplante Werk läßt auf Grund einer energieintensiven Produktionsweise (eigenes Kraftwerk) eine höhere Belastung der Atmosphäre erwarten, besonders hinsichtlich der Staub- und  $SO_2$ -Immissionen. Zusätzlich wirkt sich die geographische Lage - in einem Tal - klimatisch ungünstig auf Luftaustausch aus. Da bereits einige andere Betriebe angesiedelt sind und bisher keine Daten über die Luftbelastung vorliegen, soll eine flächenmäßige Immissionsuntersuchung für  $SO_2$  vorgenommen werden.

Die Schüler erhalten eine Karte mit Angaben zum geplanten Standort.



In die Karte soll ein Meßnetz eingetragen werden; Abstand der Meßpunkte 1 km nach TA Luft.

Die Meßpunkte werden durch "Rechtswert" und "Hochwert" bezeichnet und festgelegt.

Bei Durchführung der Messungen nach der TA Luft ergeben sich 13 Werte für jeden Meßpunkt.

**Aufgabenstellung:**

Wie kann eine Auswertung einer solchen Zahl von Meßwerten sinnvoll erfolgen?

**Mögliche Kennwerte:**

- Mittelwert (arithmetisches Mittel)
- Zentralwert (nach Bildung einer rangierten Stichprobe)
- Angabe von größtem und kleinsten Wert, Spannweite der Stichprobe
- Angabe der Streuung der Stichprobe/Angabe der mittleren Abweichung der Meßwerte vom Mittelwert.

Bezug der Kennwerte zu den Kenngrößen der TA Luft:

I 1  $\hat{=}$   $\bar{x}$

I 2 : Dieser Wert ist ein Maß für die Spitzenbelastung der Atmosphäre. Zur Kennzeichnung einer Stichprobe könnte man auch den höchsten auftretenden Wert (s.o.) verwenden. Da dieser aber zufällig sein könnte, gibt man den 95 % - Wert der Summenhäufigkeitsverteilung an. D.h., 5 % der Spitzenwerte bleiben unberücksichtigt. Der I 2-Wert gibt an, unterhalb welcher Grenze 95 % aller gemessenen Werte liegen.  
Die Ermittlung der I 2-Werte sollte besser graphisch bzw. durch Wertevergleich erfolgen als durch die in der TA Luft 2.5.2.3. angegebene Formel.

Man kann neben den I 1 und I 2-Werten für ein Gesamtgebiet auch entsprechende Werte für Einzelflächen machen. Dadurch ist ein Überblick über die räumliche Verteilung der Immissionen erhälflich.



Zur praktischen Berechnung der genannten Kennwerte kann folgende Tabelle benutzt werden. An Stelle von jeweils 13 Werten sind nur 5 für einen Meßpunkt angegeben. Dies ist bei einer Einzelflächenauswertung zu berücksichtigen.

0,032	0,100	0,153	0,095	0,052
0,030	0,031	0,064	0,132	0,047
0,028	0,055	0,202	0,141	0,180
0,029	0,074	0,092	0,090	0,032
0,025	0,110	0,127	0,205	0,074
0,022	0,094	0,320	0,493	0,086
0,034	0,265	0,106	0,218	0,164
0,018	0,104	0,082	0,725	0,090
0,023	0,085	0,099	0,467	0,120
0,040	0,122	0,132	0,286	0,067
0,040	0,069	0,306	0,198	0,075
0,015	0,120	0,111	0,276	0,043
0,026	0,087	0,132	0,164	0,111
0,050	0,092	0,104	0,100	0,056
0,020	0,153	0,086	0,185	0,089
0,034	0,065	0,072	0,120	0,022
0,033	0,048	0,053	0,094	0,095
0,028	0,037	0,060	0,085	0,100
0,017	0,073	0,024	0,121	0,045
0,042	0,066	0,030	0,063	0,088
0,010	0,045	0,040	0,043	0,050
0,034	0,032	0,039	0,038	0,043
0,026	0,067	0,036	0,057	0,062
0,037	0,072	0,044	0,108	0,030
0,036	0,048	0,050	0,044	0,021

SO<sub>2</sub>-Meßwerte in mg/m<sup>3</sup>

**Weitere Hinweise:**

Zur Bildung einer Summenhäufigkeitsverteilung ist es nötig, einzelne Meßwerte zu Klassen zusammenzufassen.

Die damit herstellbare Graphik läßt deutlich die Beziehung zwischen Kennwerten und Verteilung der Stichprobe erkennen.

Nähere Ausführungen hierzu finden sich in neueren Mathematik-Schulbüchern, z.B. in:

MATHEMATIK HEUTE, 8. Schuljahr und folgende  
Schroedel Verlag, Hannover.

**VS 8.2.** - Kontinuierliche Messungen

Die Schüler erhalten eine Reihe unterschiedlicher Darstellungen und die Aufgabe, diese qualitativ zu interpretieren. Gruppenarbeit mit arbeitsteiligem Vorgehen erscheint angebracht, anschließend gemeinsame Auswertung.

**Anmerkungen/Stichpunkte**

Zu **UM 8.2.1.**

- Unterschiede Großstadtzentrum/Vorort
- Verhältnis Belastungsspitzen - Durchschnittspegel
- Verkehrsspitzen, Verzögerung der  $SO_2$ -Belastung
- Direkte Umsetzung der Halbstundenwerte

Zu **UM 8.2.2.**

- Jahresgang
- Monatsmittel
- Anteil der Heizungsemissionen
- Witterungsabhängigkeit
- Glättung von Kurven durch Mittelwertbildung bzw. Datenzusammenfassung
- Mittelwert von Mittelwerten

Zu **UM 8.2.3.**

- Tagesgang, langjähriger
- Anteil der Heizungsemissionen
- Verkehrsspitzen
- Glättung durch Mittelwertbildung
- Zusammenfassung von Daten aus ähnlichen Bedingungen
- Analyse von Datenkollektiven

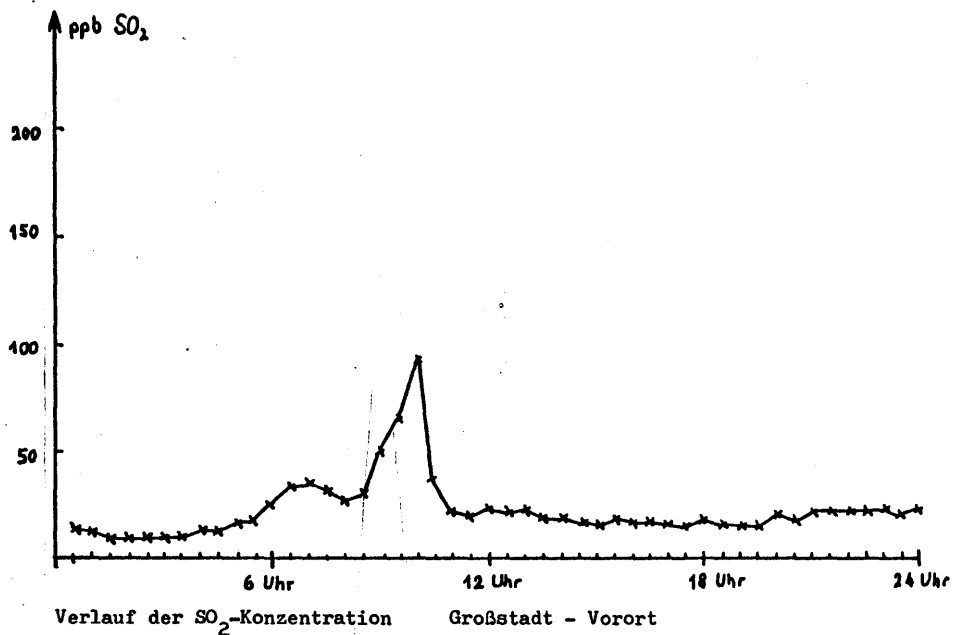
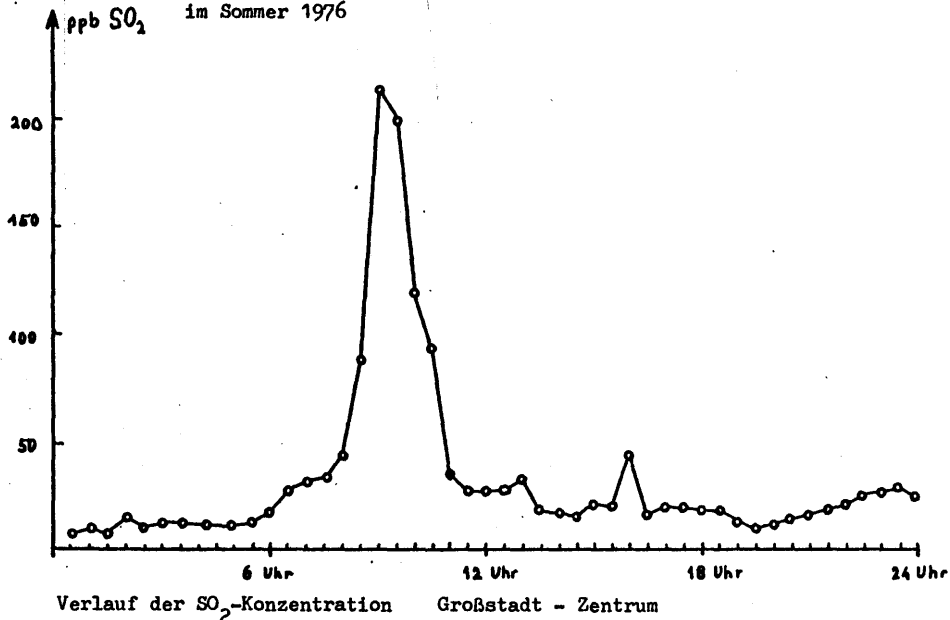
Zu **UM 8.2.4.**

- Tagesmittelwerte
- Monatsmittelwerte
- Umrechnung? Glättungseffekt, Informationsverlust
- Unterschiedliche Darstellungsmöglichkeiten  
(Säulendiagramme, Kurven)
- usw.

Im Unterschied zur flächendeckenden Menge können bei kontinuierlichen Messungen zusätzlich andere Kennwerte angegeben werden.

- Jahresmittel
- Monatsmittel
- Wochenmittel
- Tagesmittel
- Maximale Tagesmittel des Monats/Jahres
- Maximale Halbstundenmittel des Monats/Jahres
- usw.

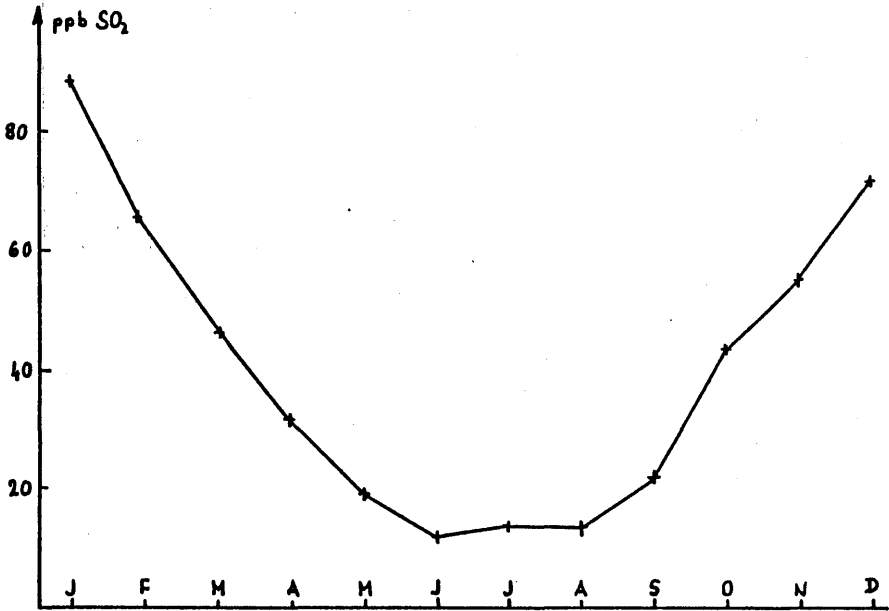
Ergebnisse der halbstündlichen  $SO_2$ -Messung an einem Wochentag im Sommer 1976



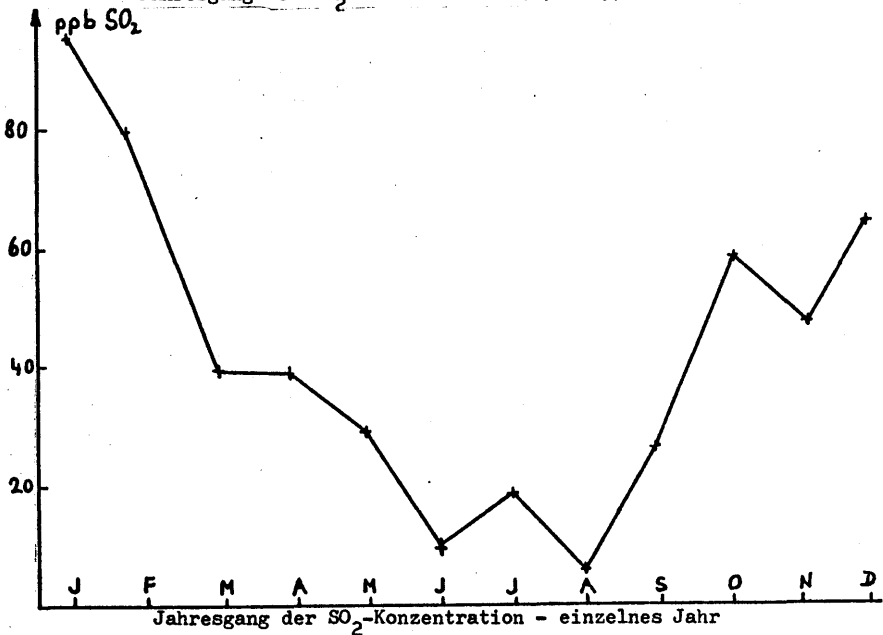
(verändert nach: Materialien 1/77, Umweltbundesamt 1977, S. 11)

UM 8.2.2.

SO<sub>2</sub>-Immissionen einer Großstadt. (Zentrum)



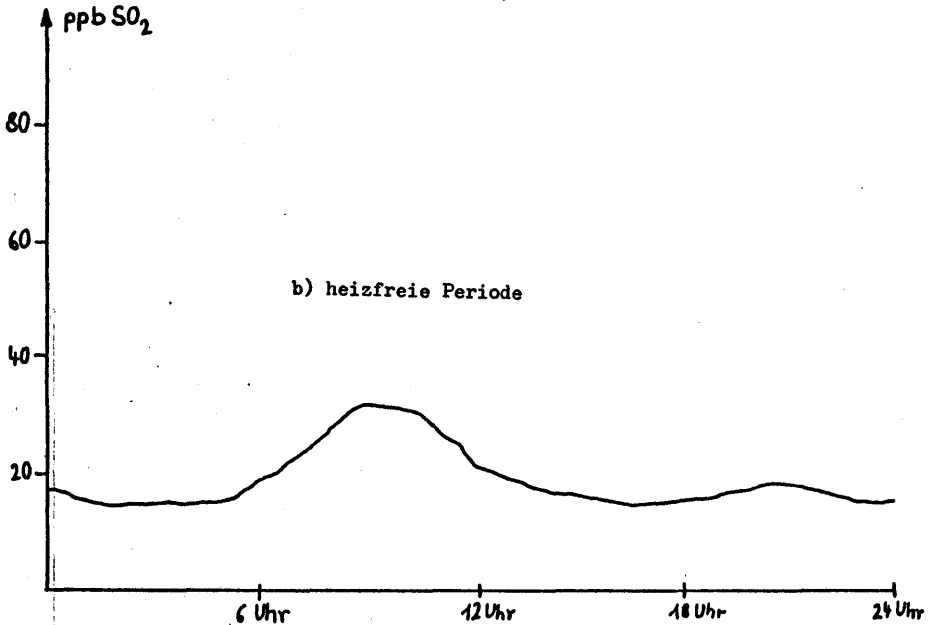
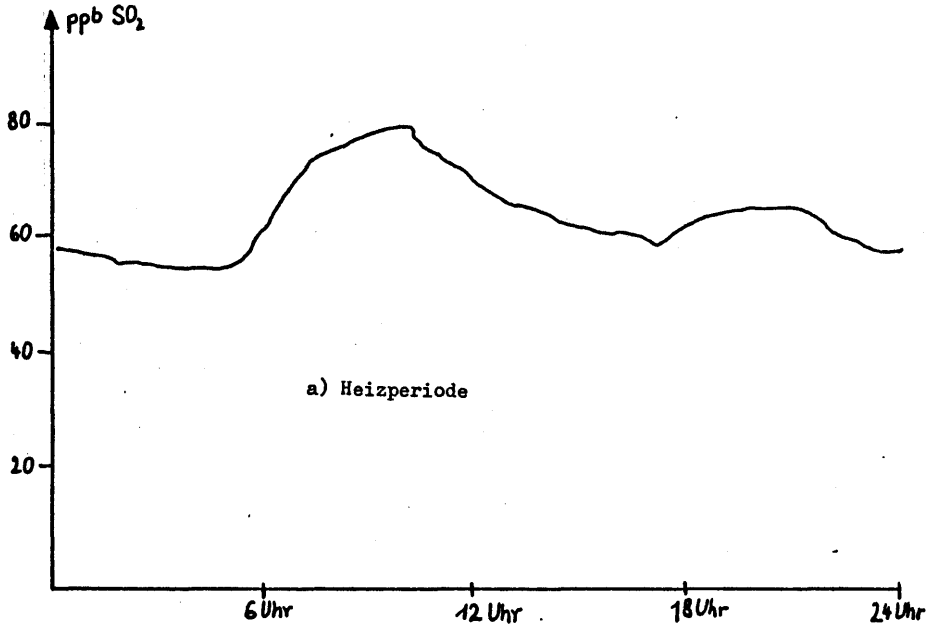
Jahresgang der SO<sub>2</sub>-Konzentration (1966-1971)



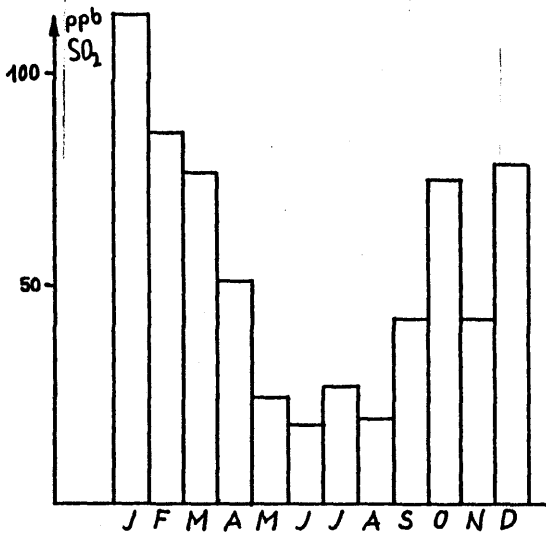
(verändert nach: Materialien 1/77, Umweltbundesamt 1977, S. 10)

UM 8.2.3.

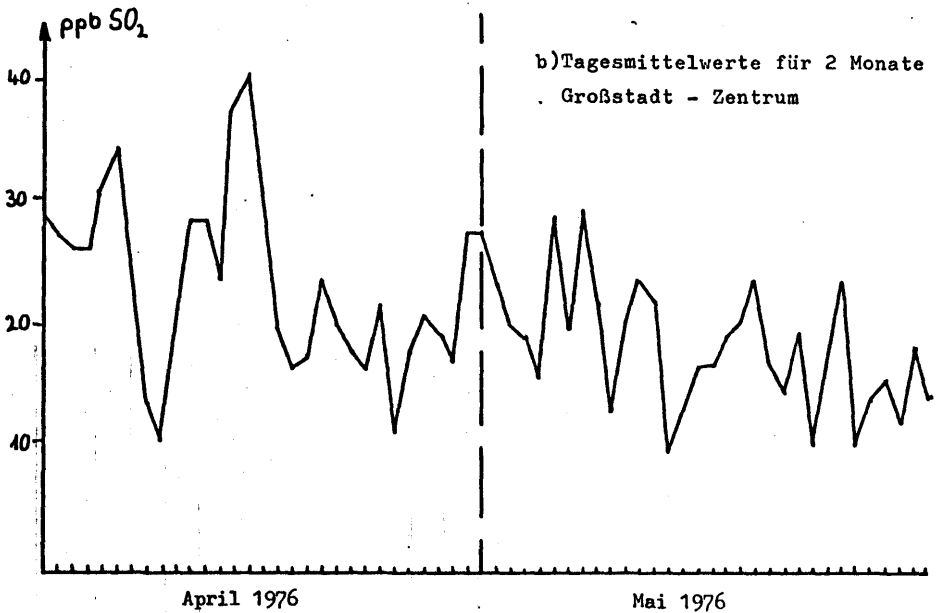
Mittlerer Tagesgang der  $\text{SO}_2$ -Immissionen - Großstadt-Zentrum  
(mehrjährige Halbstundenmittel - 1966/67 - 1971/72)



(Quelle: Pilotstation, FfM; veränderte Wiedergabe)



a) Jahresgang - Monatsmittelwerte, Großstadt



b) Tagesmittelwerte für 2 Monate  
Großstadt - Zentrum

(a): verändert nach: Bericht über die Immissionsbelastung durch SO<sub>2</sub> im Stadtgebiet von Kassel, Meß- u. Prüfstelle Kassel, 1970, S. 16)

(b): verändert nach: Materialien 1/77, Umweltbundesamt 1977, S. 8)

K 8.3.

Die folgenden Materialien stellen Auszüge aus den "Lufthygienischen Monatsberichten" der Landesanstalt für Umwelt, Wiesbaden, dar. Neben den hier auszugsweise wiedergegebenen Daten werden dort auch entsprechende Werte für

CO, NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, Fein/Gesamtstaub

aufgeführt. Im Original werden außerdem die wichtigsten meteorologischen Daten angegeben.

Mit den Materialien kann auf vielfältige Weise gearbeitet werden. Neben Vergleichsbetrachtungen der angegebenen kurz- und längerfristigen Mittelwerte kommen auch verschiedene Möglichkeiten der graphischen Umsetzung in Frage (Säulendiagramme, Übertragung auf Karten, graphische Vergleiche usw.)



UM 8.3.

Immissionskenngrößen 1976

SO<sub>2</sub>:

Meßstation	I1-Wert mg/m <sup>3</sup>	I2-Wert mg/m <sup>3</sup>	max. Monatsmittel- wert mg/m <sup>3</sup>	max. Tages- mittel- wert mg/m <sup>3</sup>	max. Halbstunden- mittelwert mg/m <sup>3</sup>
Hanau-Süd	0,076	0,170	0,088	0,206	0,384
Lahn-Gießen	0,079	0,239	0,173	0,402	0,525
Lahn-Wetzlar	0,052	0,164m	0,111	0,307	0,480
Maintal	0,078	0,211	0,143	0,439	0,880
Mainz-Kastel	0,083	0,234	0,146	0,446	0,936
Offenbach	0,069	0,191	0,135	0,389	0,485
Raunheim	0,081	0,222	0,134	0,547	0,792
Wiesbaden-Mitte	0,093	0,234	0,171	0,386	0,760

Hessische Landesanstalt für Umwelt

Ergebnisse der kontinuierlichen Immissionsmessungen - Februar 1977 - Maßeinheit  $\text{mg}/\text{m}^3$  -  $\text{SO}_2$

Meßstation	Anzahl der Meßwerte	Monatsmittelwert	max. Tagesmittelwert	max. Halbstundenmittelwert	95 %- Wert	Streuung
Wiesbaden-Süd	1106	0,080	0,226	0,373	0,253	0,077
Wiesbaden-Aarstraße	1294	0,073	0,183	0,324	0,203	0,058
Wiesbaden-Mitte	1323	0,110	0,190	0,304	0,217	0,053
Raunheim	1191	0,075	0,138	0,260	0,179	0,048
Offenbach	1209	0,061	0,254	0,395	0,168	0,059
Mainz-Kastel	1312	0,092	0,204	0,597	0,227	0,070
Maintal	1323	0,081	0,159	0,300	0,173	0,043
Lahn-Gießen	956	0,090	0,193	0,290	0,192	0,050
Lahn-Wetzlar	1264	0,050	0,158	0,225	0,139	0,037
Kassel-Bettenhausen	1209	0,036	0,112	0,264	0,111	0,036
Kassel-Mitte	1173	0,071	0,239	0,351	0,189	0,060
Ffm-Mitte	1185	0,106	0,194	0,373	0,235	0,059
Ffm-Bockenheim	1002	0,054	0,127	0,242	0,144	0,044
Ffm-Sindlingen	1044	0,055	0,249	0,549	0,165	0,062
Ffm-Niederrad	1057	0,072	0,265	0,329	0,186	0,058
Hanau	1120	0,090	0,215	0,329	0,183	0,052
Hanau-Süd	1313	0,066	0,187	0,376	0,188	0,052
Darmstadt	880	0,059	0,204	0,307	0,157	0,050

## Hessische Landesanstalt für Umwelt

Ergebnisse der kontinuierlichen Immissionsmessungen - März 1977 - Maßeinheit  $\text{mg}/\text{m}^3$  -  $\text{SO}_2$ 

Meßstation	Anzahl der Meßwerte	Monatsmittelwert	max.Tagesmittelwert	max.Halbstundenmittelwert	95 % Wert	Streuung
Wiesbaden-Süd	902	0,090	0,206	0,483	0,188	0,059
Wiesbaden-Aarstraße	1430	0,075	0,147	0,341	0,174	0,052
Wiesbaden-Mitte	1423	0,118	0,209	0,414	0,232	0,059
Raunheim	1461	0,069	0,163	0,270	0,154	0,048
Offenbach	1181	0,070	0,176	0,307	0,167	0,049
Mainz-Kastel	1441	0,080	0,136	0,339	0,190	0,055
Maintal	1460	0,084	0,211	0,360	0,181	0,048
Lahn-Gießen	1370	0,080	0,161	0,270	0,173	0,045
Lahn-Wetzlar	1221	0,052	0,119	0,215	0,127	0,035
Kassel-Bettenhausen	950	0,057	0,109	0,198	0,116	0,032
Kassel-Mitte	1176	0,065	0,189	0,659	0,170	0,060
Ffm-Mitte	1128	0,081	0,167	0,395	0,178	0,057
Ffm-Bockenheim	542	0,046	0,065	0,154	0,090	0,023
Ffm-Sindlingen	1125	0,085	0,264	0,505	0,275	0,090
Ffm-Niederrad	1170	0,076	0,204	0,483	0,192	0,068
Hanau	1077	0,083	0,201	0,307	0,188	0,056
Hanau-Süd	1290	0,081	0,195	0,324	0,191	0,051
Darmstadt	625	0,062	0,108	0,176	0,107	0,032

VS 8.4.

Problemstellung:

Ein neues Gesetz wird erlassen, durch das die  $SO_2$ -Emission vermindert werden soll. Eine direkte Kontrolle darüber, ob das Gesetz befolgt wird, ist schlecht möglich. Eine Umweltbehörde wird beauftragt, die Veränderung der  $SO_2$ -Immissionen zu analysieren.

Im Beispiel liegen die Monatsmittelwerte einer Station in Gelsenkirchen vor.

Für Sommer und Winterhalbjahr wurden getrennt Regressionsgeraden berechnet und somit eine Tendenzanalyse erstellt.

(Vgl. Anmerkung zur Berechnung der Eichkurve!)

Vergleich der graphischen Darstellung und der Ausgleichsgeraden:

$SO_2$ -Mittelwerte Gelsenkirchen ( $mg/m^3$ )

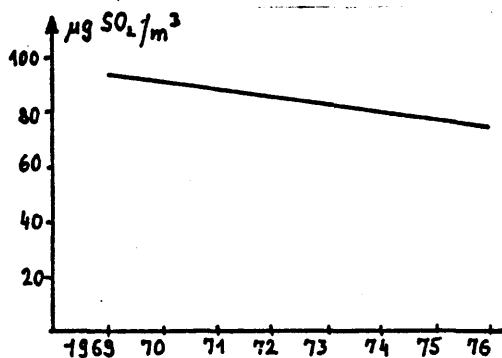
	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	$\bar{x}$
1969	143	203	255	100	96	84	90	81	97	158	123	276	143
1970	246	146	140	108	108	121	72	96	95	141	142	195	135
1971	189	118	136	115	82	50	63	80	55	99	119	120	108
1972	188	85	76	*)							124	125	125
1973	134	123	65							105	101	112	115
1974	127	128	164	122	88	50	66	86	81	109		100	102
1975	113	188	116	101	71	83	68		63	110	113	166	108
1976	106	143	132	76	73	56	52	49	75	62	102	147	89

\*) wegen meßtechnischer Schwierigkeiten ausgefallen

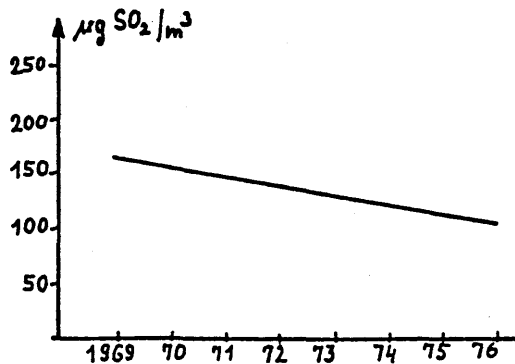
Sommer

Winter

	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	$\bar{x}$	Jan	Feb	Mrz	Okt	Nov	Dez	$\bar{x}$
1969	100	96	84	90	81	97	91,3	143	203	255	158	123	276	193,0
1970	108	108	121	72	96	95	100,0	246	146	140	141	142	195	168,3
1971	115	82	50	63	80	55	74,2	189	118	136	99	119	120	130,2
1972								188	85	76		124	125	119,6
1973								134	123	65	105	101	112	106,7
1974	122	88	50	66	86	81	82,2	127	128	164	109		100	125,6
1975	101	71	83	68		62	77,0	113	188	116	110	113	166	134,3
1976	76	73	56	52	49	75	63,5	106	143	132	62	102	147	115,3

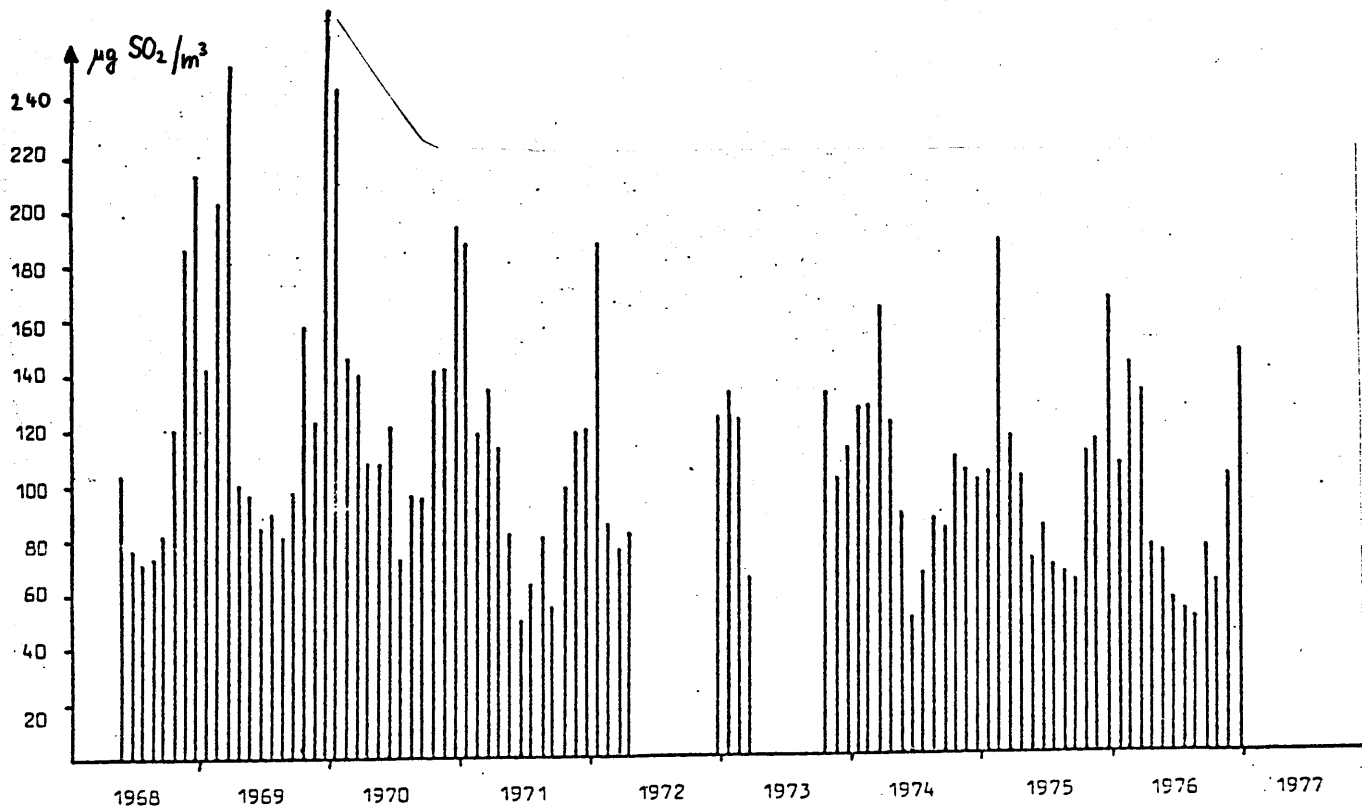
Angaben in  $\text{mg}/\text{m}^3$ 

Sommer



Winter

93



Unterschrift:

SO<sub>2</sub>-Monatssmittelwerte Gelsenkirchen

(Die Werte in den Sommermonaten 1972 und 1973 sind wegen analysetechnischer Schwierigkeiten ausgefallen).

Quelle: Materialien I/77

VS 8.5.

Ein einfacheres Verfahren als in VS 8.4. geschildert stellt die Trendanalyse dar, bei der ein gleitender Mittelwert berechnet wird. Die Vorgehensweise soll am Beispiel erläutert werden:

Monatsmittelwerte der  $SO_2$  - Immissionen ( $mg/m^3$ )

	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
1975						0,05	0,06	0,07	0,09	0,11	0,17	0,25
1976	0,27	0,19	0,15	0,10	0,07	0,04	0,06	0,09	0,08	0,13	0,18	0,24
1977	0,30	0,18	0,17	0,09	0,08							

Bei graphischer Darstellung ist kaum ein Unterschied feststellbar. Aus den Daten ist auch auf den ersten Blick kaum eine bestimmte Tendenz ablesbar.

Dazu müssen erst die jahreszeitlichen Schwankungen ausgeglichen werden. Das kann man z.B., indem man immer die gleiche Anzahl und Art von Daten zusammenfaßt und die Veränderung vergleicht.

Bildung eines gleitenden Mittelwertes (gleitender Durchschnitt):

Es wird jeweils das arithmetische Mittel für 12 aufeinanderfolgende Monate gebildet. Der Mittelwert gilt dann für das Ende des 6. bzw. den Anfang des 7. Monats.

Beim nächsten Mal läßt man den ersten Monatswert weg und nimmt einen weiteren am Ende dazu.

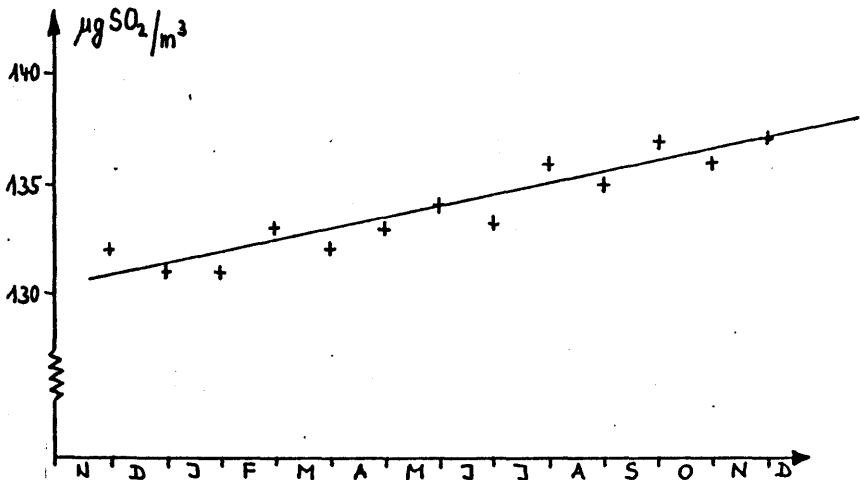
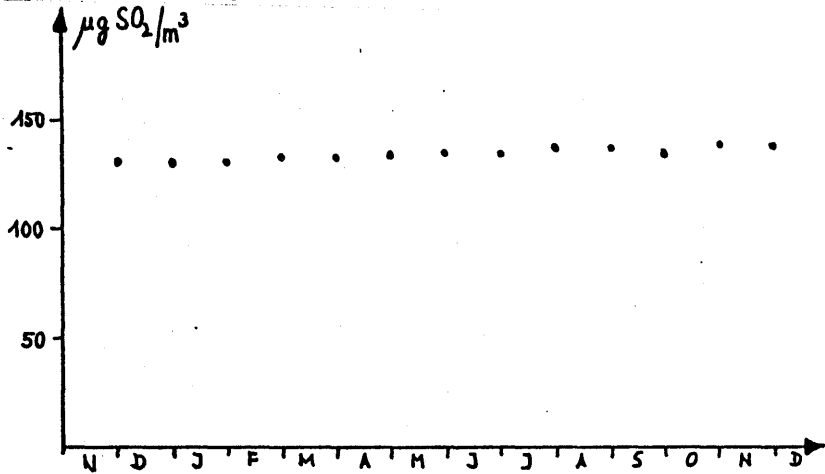
Usw.

Für die oben genannte Meßreihe ergeben sich:

ND	DJ	JF	FM	MA	AM	MJ	JJ	JA	AS	SO	ON	ND
0,132	131	131	133	132	133	134	133	136	135	137	136	137

Graphischer Auftrag in ein normales Koordinaten-System läßt keine Änderung erkennen.

Ein einfaches Mittel, welches häufig jedoch manipulativ angewandt wird, ist die Weglassung eines Teiles der  $\gamma$ -Achse bei gleichzeitiger Dehnung des Maßstabes.



Ähnliches wurde in VS 8.4. angewendet.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt man, wenn man Jahresmittelwerte vergleicht. Das hier gewählte Verfahren hat aber den Vorzug, laufend Aussagen über eine Veränderung machen zu können.

Es wird u.a. bei der Berechnung des Lebenshaltungsindex angewandt.



K 8.6.

Die Behandlung des statistischen Aspektes der  $SO_2$ -Messung macht den Schülern leicht die Vorzüge der EDV-Auswertung, besonders bei kontinuierlichen Messungen, deutlich.

Eine einzige Station liefert jeden Monat bei halbstündlicher Messung ca.  $48 \times 30 = 1440$  Werte. Können die Daten in einer EDV-Anlage verarbeitet werden, so spielt die Berechnung eines Kennwertes mehr oder weniger kaum eine Rolle. Die außerdem mögliche Erhöhung der Zahl der Einzelwerte läßt dann auch eine Verbesserung der statistischen Aussagen zu.

Schulische Behandlungsmöglichkeiten:

- Flußdiagramm zur Datenverarbeitung erstellen
- u.U. Programm erstellen
- usw.

Als Beispiel wird ein Rechner-Ausdruck der Landesanstalt für Umwelt, Wiesbaden, wiedergegeben, der auch alle dort berechneten Kennwerte enthält.

Die Urliste kann auch an anderer Stelle zur Kennwertberechnung verwendet werden.

HESSISCHE LANDESANSTALT FÜR UMWELT  
 AUSWERTUNG KONTINUIERLICHER IMMISSIONSMESSUNGEN

STATION : 0625 MAINTAL  
 JAHR : 1977

KOMPONENTE : SO<sub>2</sub>  
 MONAT : APRIL

GERÄTETYP : PICOFLUX 2T

BASISTABELLE

ZEIT> TAG	0.00	0.30	1.00	1.30	2.00	2.30	3.00	3.30	4.00	4.30	5.00	5.30	6.00	6.30	7.00	7.30
1	0.140	0.140	0.150	0.150	0.150	0.160	0.150	0.150	0.130	0.130	0.100	0.100	0.100	0.120	0.130	0.140
2	0.080	0.070	0.070	0.070	0.080	0.100	0.100	0.100	0.100	0.110	0.110	0.120	0.120	0.150	0.150	0.130
3	0.150	0.140	0.140	0.130	0.160	0.190	0.190	0.190	0.180	0.170	0.170	0.190	0.170	0.170	0.140	0.110
4	0.210	0.160	0.160	0.150	0.140	0.140	0.140	0.140	0.130	0.130	0.140	0.170	0.180	0.200	0.190	0.160
5	0.070	0.060	0.060	0.060	0.080	0.060	0.060	0.070	0.080	0.090	0.090	0.120	0.130	0.150	0.190	0.140
6	0.090	0.080	0.070	0.060	0.050	0.070	0.070	0.070	0.090	0.100	0.110	0.120	0.130	0.150	0.190	0.190
7	0.070	0.060	0.050	0.050	0.050	0.040	0.030	0.030	0.040	0.050	0.050	0.030	0.030	0.050	0.060	0.060
8	0.050	0.060	0.060	0.060	0.060	0.070	0.070	0.070	0.070	0.060	0.050	0.050	0.050	0.040	0.040	0.040
9	0.060	0.050	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.050	0.050	0.050	0.040	0.040	0.060	0.080	0.080	0.070
10	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.040	0.050	0.050	0.060	0.070	0.090	0.080	0.070
11	0.070	0.070	0.070	0.080	0.100	0.130	0.100	0.140	0.130	0.130	0.120	0.120	0.120	0.130	0.130	0.130
12	0.090	0.090	0.100	0.120	0.100	0.090	0.090	0.100	0.110	0.100	0.100	0.110	0.100	0.110	0.110	0.100
13	0.040	0.040	0.030	0.030	0.030	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.050	0.060	0.060	0.060	0.070	0.090
14	0.070	0.090	0.090	0.070	0.070	0.070	0.080	0.090	0.070	0.040	0.040	0.060	0.060	0.070	0.080	0.090
15	0.090	0.100	0.090	0.090	0.080	0.070	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.070	0.110	0.090	0.090	0.100
16	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.040	0.040	0.040	0.040	0.060	0.060	0.070	0.080	0.070
17	0.100	0.100	0.110	0.100	0.100	0.100	0.100	0.110	0.110	0.110	0.120	0.120	0.120	0.130	0.130	0.130
18	0.060	0.050	0.050	0.050	0.050	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.050	0.040	0.030	0.030	0.030
19	0.020	0.020	0.030	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.050	0.060	0.060	0.060	0.060
20	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.040	0.040	0.040	0.040	0.060	0.060	0.060	0.060
21	0.180	0.090	0.090	0.090	0.080	0.080	0.090	0.090	0.100	0.120	0.110	0.120	0.130	0.160	0.180	0.190
22	0.070	0.080	0.070	0.070	0.060	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.060	0.070	0.080	0.090	0.080
23	0.110	0.080	0.050	0.050	0.050	0.050	0.030	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.030	0.030
24	0.040	0.040	0.040	0.050	0.030	0.030	0.020	0.020	0.020	0.030	0.050	0.040	0.050	0.040	0.050	0.060
25	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.050	0.050	0.050	0.060	0.060	0.080	0.100	0.090	0.080	0.080
26	0.030	0.030	0.040	0.040	0.040	0.040	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.060	0.060	0.060	0.070	0.070
27	0.050	0.050	0.040	0.040	0.030	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.030	0.030	0.030	0.040

EINHEIT DER AUSGEGEBENEN KONZENTRATIONSWERTE : MG / M \*\* 3

- 86 -

ZEIT >	8.00	8.30	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30
TAG	8.30	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
1	0.140	0.150	0.150	0.140	0.150	0.130	0.130	0.130	0.140	0.130	0.120	0.120	0.120	0.130	0.130	0.130
2	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.110	0.120	0.110	0.110	0.110	0.110	0.120	0.120
3	0.090	0.090	0.100	0.110	0.120	0.130	0.110	0.120	0.110	0.100	0.100	0.100	0.100	0.090	0.080	0.090
4	0.190	0.200	0.180	0.170	0.170	0.170	0.150	0.140	0.140	0.140	0.140	0.130	0.120	0.000	0.000	0.080
5	0.130	0.110	0.110	0.090	0.090	0.070	0.070	0.060	0.050	0.050	0.040	0.050	0.050	0.070	0.100	0.070
6	0.190	0.190	0.110	0.130	0.120	0.090	0.080	0.060	0.050	0.050	0.070	0.070	0.080	0.090	0.090	0.090
7	0.060	0.050	0.050	0.050	0.050	0.040	0.040	0.040	0.050	0.040	0.030	0.040	0.030	0.060	0.070	0.060
8	0.050	0.060	0.050	0.040	0.040	0.040	0.040	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.040	0.040	0.040
9	0.070	0.070	0.070	0.070	0.060	0.060	0.050	0.050	0.040	0.040	0.040	0.040	0.030	0.030	0.030	0.030
10	0.070	0.070	0.070	0.060	0.050	0.050	0.050	0.050	0.040	0.040	0.040	0.040	0.030	0.030	0.030	0.030
11	0.090	0.080	0.070	0.080	0.100	0.120	0.110	0.100	0.120	0.110	0.090	0.070	0.060	0.060	0.060	0.070
12	0.110	0.140	0.160	0.140	0.130	0.110	0.120	0.000	0.000	0.090	0.090	0.080	0.090	0.090	0.060	0.050
13	0.070	0.000	0.080	0.080	0.070	0.060	0.080	0.080	0.050	0.050	0.060	0.060	0.050	0.050	0.060	0.050
14	0.120	0.060	0.050	0.050	0.080	0.060	0.050	0.050	0.030	0.030	0.030	0.060	0.050	0.010	0.050	0.040
15	0.070	0.050	0.070	0.060	0.050	0.040	0.030	0.040	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.020
16	0.060	0.050	0.050	0.050	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.040
17	0.080	0.080	0.050	0.040	0.040	0.040	0.040	0.030	0.030	0.040	0.040	0.050	0.050	0.040	0.050	0.040
18	0.030	0.030	0.040	0.040	0.040	0.050	0.060	0.040	0.040	0.040	0.040	0.030	0.030	0.020	0.020	0.020
19	0.060	0.060	0.060	0.050	0.040	0.040	0.040	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.020	0.020	0.030	0.030
20	0.070	0.070	0.100	0.100	0.100	0.080	0.060	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.060
21	0.120	0.050	0.080	0.100	0.120	0.140	0.140	0.110	0.110	0.140	0.120	0.130	0.120	0.110	0.110	0.110
22	0.080	0.090	0.090	0.000	0.090	0.080	0.070	0.060	0.050	0.040	0.050	0.050	0.030	0.030	0.030	0.030
23	0.030	0.040	0.050	0.050	0.030	0.030	0.090	0.080	0.100	0.110	0.110	0.080	0.050	0.040	0.030	0.030
24	0.070	0.080	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.060	0.050	0.040	0.030	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
25	0.080	0.080	0.080	0.080	0.090	0.080	0.060	0.050	0.040	0.040	0.040	0.040	0.050	0.040	0.050	0.060
26	0.080	0.080	0.060	0.060	0.060	0.050	0.000	0.040	0.040	0.030	0.030	0.030	0.030	0.020	0.020	0.020
27	0.040	0.040	0.030	0.030	0.020	0.000	0.020	0.020	0.020	0.010						

ZEIT>	16.00	16.30	17.00	17.30	18.00	18.30	19.00	19.30	20.00	20.30	21.00	21.30	22.00	22.30	23.00	23.30
TAG	16.30	17.00	17.30	18.00	18.30	19.00	19.30	20.00	20.30	21.00	21.30	22.00	22.30	23.00	23.30	24.00
1	0.130	0.120	0.110	0.110	0.110	0.100	0.100	0.090	0.090	0.080	0.080	0.090	0.090	0.090	0.080	0.050
2	0.110	0.130	0.120	0.120	0.130	0.160	0.170	0.150	0.190	0.220	0.200	0.190	0.190	0.170	0.160	0.160
3	0.100	0.100	0.120	0.120	0.110	0.110	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.130	0.170	0.230	0.250
4	0.080	0.090	0.100	0.090	0.080	0.080	0.080	0.090	0.090	0.090	0.100	0.110	0.070	0.050	0.050	0.050
5	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.080	0.080	0.100	0.100	0.100	0.110	0.140	0.130	0.130	0.130
6	0.070	0.080	0.080	0.080	0.090	0.100	0.100	0.070	0.080	0.090	0.080	0.090	0.080	0.070	0.060	0.060
7	0.060	0.060	0.060	0.050	0.070	0.060	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
8	0.040	0.040	0.050	0.040	0.040	0.040	0.030	0.030	0.030	0.040	0.040	0.030	0.030	0.040	0.050	0.050
9	0.040	0.030	0.030	0.030	0.030	0.040	0.040	0.040	0.040	0.030	0.030	0.030	0.040	0.030	0.030	0.030
10	0.030	0.030	0.030	0.040	0.040	0.050	0.080	0.070	0.070	0.060	0.080	0.080	0.070	0.070	0.090	0.070
11	0.070	0.080	0.090	0.100	0.080	0.090	0.090	0.100	0.110	0.100	0.140	0.120	0.120	0.140	0.120	0.100
12	0.050	0.040	0.040	0.040	0.050	0.040	0.040	0.055	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.040	0.040	0.040
13	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.050	0.050	0.050	0.050	0.060	0.060	0.050	0.040	0.050	0.050
14	0.040	0.040	0.030	0.030	0.030	0.030	0.020	0.030	0.040	0.040	0.050	0.060	0.050	0.080	0.080	0.080
15	0.030	0.030	0.020	0.030	0.030	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.030	0.040	0.040	0.040	0.030
16	0.030	0.040	0.060	0.080	0.080	0.080	0.100	0.110	0.120	0.110	0.110	0.110	0.100	0.090	0.090	0.090
17	0.050	0.050	0.050	0.050	0.060	0.070	0.080	0.100	0.130	0.130	0.110	0.110	0.110	0.060	0.070	0.060
18	0.020	0.020	0.020	0.020	0.030	0.040	0.040	0.040	0.040	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.020	0.020
19	0.030	0.030	0.030	0.030	0.040	0.040	0.050	0.050	0.040	0.040	0.050	0.050	0.040	0.030	0.030	0.030
20	0.060	0.050	0.050	0.050	0.080	0.120	0.090	0.120	0.130	0.120	0.120	0.110	0.110	0.100	0.100	0.100
21	0.100	0.120	0.120	0.100	0.080	0.080	0.080	0.080	0.090	0.080	0.090	0.100	0.100	0.090	0.070	0.070
22	0.020	0.020	0.030	0.030	0.040	0.070	0.130	0.160	0.090	0.080	0.060	0.060	0.070	0.070	0.070	0.090
23	0.020	0.020	0.020	0.040	0.060	0.050	0.040	0.040	0.040	0.040	0.050	0.050	0.040	0.040	0.030	0.040
24	0.030	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.030	0.030	0.030	0.040	0.050	0.060	0.050	0.040
25	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.050	0.070	0.070	0.060	0.050	0.050	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
26	0.020	0.020	0.020	0.030	0.020	0.030	0.030	0.040	0.050	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040

T A G E S M I T T E L W E R T E

TAG	WERTE PRO TAG	TAGESMITTELWERT	TAGESMAXIMALWERT	TAGESMINIMALWERT	STREUUNG
1	48	0.121	0.160	0.080	0.025
2	48	0.127	0.220	0.070	0.034
3	48	0.133	0.250	0.080	0.038
4	46	0.129	0.210	0.050	0.045
5	47	0.086	0.190	0.040	0.033
6	48	0.092	0.190	0.050	0.035
7	48	0.047	0.070	0.030	0.014
8	48	0.044	0.070	0.030	0.014
9	48	0.046	0.080	0.030	0.016
10	48	0.051	0.090	0.030	0.020
11	46	0.100	0.140	0.060	0.026
12	46	0.082	0.160	0.040	0.034
13	47	0.052	0.090	0.030	0.016
14	47	0.056	0.120	0.010	0.024
15	48	0.051	0.110	0.020	0.026
16	48	0.057	0.120	0.030	0.029
17	48	0.079	0.130	0.030	0.034
18	47	0.035	0.060	0.020	0.010
19	48	0.039	0.060	0.020	0.013
20	47	0.069	0.130	0.030	0.031
21	48	0.103	0.180	0.070	0.028
22	47	0.062	0.130	0.020	0.024
23	48	0.046	0.110	0.020	0.025
24	48	0.039	0.080	0.020	0.019
25	48	0.057	0.100	0.040	0.018
26	47	0.042	0.080	0.020	0.016
27	25	0.028	0.050	0.010	0.011

M O N A T S M I T T E L W E R T E

WERTE PRO MONAT	MONATSMITTELWERT	MONATSMAXIMALWERT	MONATSMINIMALWERT	95%WERT
1262	0.071	0.250	0.010	0.151

DEKA DEN M I T T E L W E R T E :

- 1. DEKADE : 0.087 ( 477 FAELLE )
- 2. DEKADE : 0.062 ( 474 FAELLE )
- 3. DEKADE : 0.055 ( 311 FAELLE )

STREUUNG (HALBSTUNDENWERTE)  
0.043

MAX. TAGESMITTELWERT  
0.133

EINHEIT DER AUSGEGEBENEN KONZENTRATIONSWERTE : MG / M \*\* 3

101

MITTLERER TAGESGANG IM MONAT

ZEIT>	0.00	0.30	1.00	1.30	2.00	2.30	3.00	3.30	4.00	4.30	5.00	5.30	6.00	6.30	7.00	7.30
	0.30	1.00	1.30	2.00	2.30	3.00	3.30	4.00	4.30	5.00	5.30	6.00	6.30	7.00	7.30	8.00
ANZAHL	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	26
SUMME	2.070	1.880	1.830	1.820	1.800	1.850	1.820	1.910	1.920	1.950	1.960	2.140	2.300	2.500	2.610	2.430
MIWERT	0.076	0.069	0.067	0.067	0.066	0.068	0.067	0.070	0.071	0.072	0.072	0.079	0.085	0.092	0.096	0.083
STRNG	0.048	0.037	0.039	0.036	0.039	0.044	0.043	0.046	0.041	0.041	0.040	0.044	0.042	0.049	0.052	0.047

ZEIT>	8.00	8.30	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30
	8.30	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
ANZAHL	27	26	27	26	26	26	25	26	26	27	26	26	25	25	25	26
SUMME	2.370	2.190	2.200	2.060	2.050	1.990	1.860	1.700	1.630	1.670	1.620	1.600	1.460	1.350	1.410	1.440
MIWERT	0.087	0.084	0.081	0.079	0.078	0.076	0.074	0.065	0.062	0.061	0.067	0.061	0.058	0.054	0.056	0.055
STRNG	0.042	0.040	0.038	0.037	0.042	0.036	0.038	0.035	0.038	0.040	0.036	0.033	0.033	0.033	0.032	0.032

ZEIT>	16.00	16.30	17.00	17.30	18.00	18.30	19.00	19.30	20.00	20.30	21.00	21.30	22.00	22.30	23.00	23.30
	16.30	17.00	17.30	18.00	18.30	19.00	19.30	20.00	20.30	21.00	21.30	22.00	22.30	23.00	23.30	24.00
ANZAHL	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
SUMME	1.390	1.420	1.460	1.490	1.580	1.670	1.800	1.805	1.930	1.960	1.930	1.950	1.960	1.870	1.860	1.820
MIWERT	0.053	0.054	0.056	0.057	0.060	0.064	0.069	0.069	0.074	0.073	0.074	0.075	0.075	0.071	0.071	0.070
STRNG	0.031	0.034	0.034	0.032	0.029	0.034	0.037	0.035	0.041	0.045	0.042	0.040	0.041	0.043	0.047	0.048

I1 - WERT : 0.074  
 I2 - WERT : 0.194  
 BELEGUNGSGRAD : 88.89

KOMMENTAR : DIE ANGEGBENEN I1 UND I2 WERTE UND DER BELEGUNGSGRAD GELTEN FUER

DAS DATENKOLLEKTIV DER LETZTEN 12 MONATE (GLEITENDE AUSWERTUNG)

EINHEIT DER AUSGEBENEN KONZENTRATIONSWERTE : MG / M \*\* 3

## H A E U F I G K E I T S V E R T E I L U N G

Z A H L D E R M E S S W E R T E : 1262      Z A H L D E R M O E G L I C H E N M E S S W E R T E : 1440

KLASSE	HAEUFIGKEIT	PROZENTUAL	SUMMENPROZENTE
0.000 - 0.019	2	0.15	0.16
0.020 - 0.039	223	17.67	17.83
0.040 - 0.059	353	27.97	45.80
0.060 - 0.079	203	16.07	61.88
0.080 - 0.099	164	12.99	74.87
0.100 - 0.119	121	9.58	84.46
0.120 - 0.139	104	8.24	92.70
0.140 - 0.159	46	3.64	96.35
0.160 - 0.179	19	1.50	97.85
0.180 - 0.199	20	1.58	99.44
0.200 - 0.219	4	0.31	99.75
0.220 - 0.239	2	0.15	99.91
0.240 - 0.259	1	0.07	100.00

AUSFALL (% DER MOEGL. WERTE) 178 12.36

EINHEIT DER AUSGEGEBENEN KONZENTRATIONSWERTE: MG / M \*\* 3

## FEHLERSTATISTIK

ZAHL DER MOEGLICHEN WERTE:	1440
ZAHL DER BRAUCHBAREN WERTE:	1262
ZAHL DER AUSGEFALLENEN WERTE:	178
AUSFALL DURCH GERAETEFDEKT:	162
AUSFALL DURCH GERAETESTOERUNG:	4
AUSFALL DURCH EICHUNG:	12
AUSFALL DURCH SCHREIBERDEFEKT:	0
AUSFALL DURCH MESSSTATIONSDEFEKT:	0
AUSFALL DER MESSNETZZENTRALE:	0
AUSFALL (UNSPECIFIZIERT):	0



Anhang I

Weitere Literaturhinweise:

- BERGEROW u.a., Thema Luft,  
(assoziierte Umwelteinheit der IPN-Einheitenbank)  
Unterrichtseinheit für die Sekundarstufe I  
(Klassen 9 - 10)  
Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln 1977  
- Lehrerband  
- Arbeitsbogen 1: Hausbrand und Stäube  
- Arbeitsbogen 2: Auto und Müll
- O. EISENBARTH, Umweltschutz, Tabelle von Luftverunreinigungen  
Comburg-Papier IV. 6  
Institut für Bildungsplanung und Studieninformation  
Stuttgart 1974  
auch: Comburg-Papier IV. 1  
Projekte: Umweltschutz "Luft"
- VDI-Bericht Nr. 186, Die Emission von Schwefelverbindungen (1972),  
VDI-Verlag, Düsseldorf  
auch: Nr. 149, 179, 184, 189, 200
- Schule und Umweltschutz, Umweltplanung im Biologieunterricht  
der Klasse 10  
Protokoll der Lehrgänge F 896 a und F 901  
Hessisches Institut f. Lehrerfortbildung Kassel, 1974  
siehe auch: Bericht der Arbeitsgruppe des Lehrgangs  
F 1033

## Anhang II

### Basistext zur Luftverunreinigung

nach:

Schriftenreihe Siedlungsverband Ruhrkohlebezirk Nr. 26,  
Die Naherholungswälder des Ruhrgebietes (veränderter Auszug).

### Luftverunreinigung

Bekanntlich ist das Ruhrgebiet einer hohen Luftverunreinigung ausgesetzt. Die gefährlichen und schädlichen Auswirkungen dieser Luftbelastung, insbesondere auf die Gesundheit von Mensch, Tier und Pflanze, beschäftigt die Wissenschaft und die verantwortlichen Stellen seit Jahrzehnten.

Aber erst in den letzten Jahren wurde in Nordrhein-Westfalen systematisch unter Verwendung zeitgemäßer Probenahme- und Auswertungsverfahren begonnen, die Verunreinigung in der Luft nach lokalen, qualitativen und quantitativen Merkmalen zu untersuchen. Neben einer großen Anzahl von Spezialuntersuchungen sind zunächst in einer vergleichbaren Folge von drei Jahren die beiden häufigsten Verunreinigungsarten gemessen und ausgewertet worden. Im Ruhrgebiet sind dies der S t a u b n i e d e r s c h l a g und die Belastung der Luft mit dem gasförmigen S c h w e f e l d i o x i d (SO<sub>2</sub>).

Aus der Untersuchungsreihe stehen inzwischen flächendeckend Ergebnisse über die mehr oder weniger konstant auftretende D a u e r b e l a s t u n g und über die mehr gestreut auftretende S p i t z e n - b e l a s t u n g zur Verfügung.

Für die hochentwickeltesten Pflanzenorganismen, zu denen die langlebigen Waldbäume gehören, sind gasförmige Immissionen besonders gefährlich, weil sie als Assimilationsgifte die Produktion der pflanzlichen Aufbaustoffe beeinträchtigen bzw. verhindern können. Staubniederschläge erschweren dagegen "nur" den Gasaustausch bei Assimilation und Atmung durch Überlagerung der entsprechenden pflanzlichen Funktionsorgane bei gleichzeitiger Abschwächung der Sonneneinstrahlung.

Für akute Schädigungen an Pflanzen sind mehr die kurzfristig auftretenden Spitzenbelastungen verantwortlich, die u.U. durch zufällig herrschende ungünstige meteorologische Bedingungen verstärkt werden. Die Dauerbelastung (arithmetischer Mittelwert) gibt dagegen einen besseren Beurteilungsmaßstab für chronische Schäden.

In der "Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft" wurden für einige wichtige Luftverunreinigungen Immissionsgrenzwerte festgelegt, die bei der Neuerrichtung von emittierenden Betriebsanlagen einzuhalten sind. Diese Immissionsgrenzwerte betragen zur Zeit:

Für Schwefeldioxid

0,40 mg SO<sub>2</sub> pro cbm Luft zur Begrenzung der Spitzenkonzentrationen  
(95 % - Wert)

0,14 mg SO<sub>2</sub> pro cbm Luft für den Mittelwert (Dauerbelastung)

Nach neuesten Erkenntnissen aus Labor- und Freilandexperimenten können aber auch bei Einhaltung der vorgenannten Immissionsgrenzwerte für Schwefeldioxid Pflanzenschäden insbesondere an Forstgehölzen nicht ausgeschlossen werden.

Für Schwefeldioxid wird eine Giftigkeitsgrenze (Toxizitätsschwellenwert) von 0,02 ppm genannt.

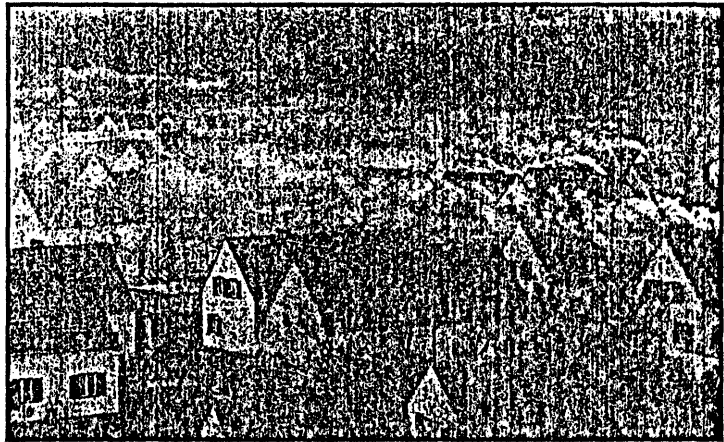
Eine Gefährdung der Waldvegetation ist also bereits weit vor Erreichen der Immissionsgrenzwerte anzunehmen.

Es ist wichtig, daß nur wenige Naherholungswälder unmittelbar unter hohen Luftverunreinigungen zu leiden haben. Die geringe Immissionsbelastung dieser Wälder ist für ihre Benutzung durch Erholungssuchende außerordentlich günstig zu bewerten. Völlig frei von Verunreinigung ist die Luft in keinem der untersuchten Naherholungswälder, zumal neben Staubniederschlag und Schwefeldioxid noch andere Luftverunreinigungen auftreten. Ob künftig die Naherholungswälder im Ruhrgebiet noch mehr auf die sogenannten "rauchharten" Baumarten umzustellen sind, oder ob allmählich eine Abnahme der Immissionsintensität größeren Spielraum in der Baumartenauswahl ermöglicht, müssen die fortlaufenden Messungen zeigen.

Auszug aus der Jugendzeitschrift hallo

**UMWELT  
BEREICH**

# SCHNAPPEN NACH LUFT



Im zweiten Teil unseres „Umwelt-Reports“ geht es um die Dinge, die wir als selbstverständlich voraussetzen – und die so selbstverständlich gar nicht sind: die Luft, die wir atmen müssen, das Wasser, das wir zum Trinken brauchen. Alle diese „selbstverständlichen“ Dinge werden rar – es ist Zeit, darüber nachzudenken, daß nichts auf dieser Welt unendlich ist

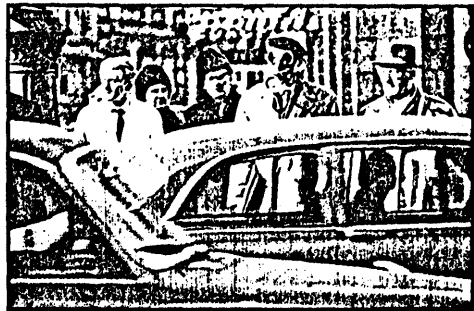
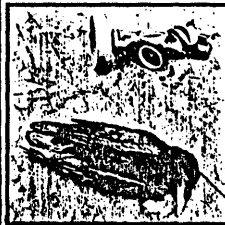
Selbstverständlich wie die Luft zum Atmen – das ist eine Redewendung, die wir schlaunigst durch eine bessere ersetzen sollten. Denn hält man sich an Forschungsergebnisse, die unsere heutigen Verhältnisse für die Zukunft hochrechnen, so wird die Luft, die wir zum Atmen benötigen, schon in naher Zukunft nicht mehr ganz selbstverständlich sein. Auf einer Konferenz der UNESCO im Jahre 1968 kamen die Delegierten zu der Überzeugung, daß es nur noch zwanzig Jahre dauern wird, bis der Planet Erde allein durch das Ausmaß der Luftverschmutzung für

Menschen unbewohnbar zu werden beginnt. Heute schon gibt es Smog-Alarm längst nicht mehr nur in utopischen Büchern und Filmen. Das Wort „Smog“ selbst ist eine Mischung aus den beiden englischen Wörtern Nebel = fog und Rauch = smoke. Die Mischung aus beiden ergibt den Smog, wobei heute unter diesem Begriff auch verunreinigte Luft ohne Nebelwirkung verstanden wird. Gefährlich wird der Smog vor allem dann, wenn es zu einer sogenannten Inversionswetterlage kommt. Dabei überdeckt eine warme

Luftschicht eine tiefer liegende kalte Schicht und verhindert so das Abziehen der kalten Luftmasse, mit der selbstverständlich auch die Abgase am Weiterziehen gehindert werden. Liegt eine Stadt in einem Tal oder einer Mulde, wird die Gefahr erheblich verstärkt. Es kommt zu einer Konzentration schädlicher Stoffe in der Atemluft, die, vor allem für Kinder und ältere Leute, lebensgefährlich wird. Bekannt und noch vielen in schrecklicher Erinnerung ist die Katastrophe, die im Jahre 1952 London heimsuchte. Der Smog –

hier ein klassisches Gemisch aus Nebel und Rauch — begann am 5. Dezember dieses Jahres und forderte nach allgemeiner Ansicht nicht weniger als 4000 Todesopfer. Die Sicht auf den Straßen der Stadt betrug weniger als einen Meter, selbst in den Kinos war es nicht möglich, die Leinwand zu erkennen. Fußgänger stürzten, da sie die Orientierung verloren, in die Themse, eine Hilfmannschaft, die versuchte, einen Piloten samt Flugzeug zu bergen, der auf dem Londoner Flughafen blind gelandet war, verlor sich ebenso wie der Pilot selbst im Nebel. Auch bei der Londoner Katastrophe war die Bildung des Smogs von einer Inversionswetterlage begleitet. Eine wärmere höhere Luftschicht verhielt den Abtransport einer kälteren tiefer liegenden Schicht, die eine gefährliche Konzentration von Abgasen enthielt, die durch das kalte Wetter und die damit verbundene Steigerung des Heizaufwandes noch gesteigert wurde. Aber nicht nur die Verbindung von Nebel und Abgasen ist gefährlich. Auch die normale Konzentration von Schmutz jeder Art in der Luft hat bereits, vor allem in den Großstädten, Ausmaße erreicht, die alarmierend sind. So wird die Sonnenstrahlung in New York durch die Luftverschmutzung bereits um rund 25 Prozent vermindert, und in Chicago sind es 40 Prozent Lichtverlust, die durch besonders extreme zeitweilige Verschmutzung der Luft entstehen. Daß es auf Grund dieser Verluste an Sonnenbestrahlung in den Großstädten bereits zu Wachstumsstörungen und Rachitis bei Kindern kommt, die die Sonnenbestrahlung zur Bildung des zum Wachstum nötigen Vitamins D benötigen, ist da nicht mehr verwunderlich.

Aber auch die Erkrankungen der Atmungsorgane stiegen durch die Verschmutzung der Luft erheblich an. Die Lunge stellt im menschlichen Körper eine Art Einbahnsystem dar,



das heißt, Staub- und Schmutzteilchen, die einmal in die Lunge gelangen, kommen kaum noch heraus. Ein Chirurg kann heute ziemlich genau an Hand der Lunge eines Menschen sagen, ob er einen Großstädter oder einen Bergbauern vor sich hat. Die berühmte Staublunge, einst Berufskrankheit der Bergleute und der Bauarbeiter, kommt heute auch beim normalen Stadtbewohner vor. Wenn dies unglaublich erscheint, der kann sich an nüchterne Zahlen halten: Im Jahre 1969 fielen in München, einer Stadt mit wenig stauberzeugender Industrie, auf



jeden Quadratkilometer der Innenstadt achtzehn Tonnen Staub. Und im Ruhrgebiet, wo der Kohlenpott der Deutschen bekanntlich am schwärzesten ist, waren es nicht weniger als 220 bis 350 Tonnen Staub, die pro Jahr und Quadratkilometer auf Land und Leute niedergingen. Verantwortlich für die Luftverschmutzung sind — der Reihenfolge ihres Anteils daran nach — die Kraftfahrzeuge, Industrie und Gewerbe und schließlich der sogenannte Hausbrand, also die privaten Haushalte mit ihren Heiz- und Kochanlagen.

## VERGIFTETE LUFT

Daß die Autos die Haupttäter sind, wird kaum jemanden überraschen. In welcher Höhe sich die Emissionen aber bewegen, die durch die rollenden Gaskammern erzeugt werden, das schockiert doch.

Im Jahre 1970 verpufften in der Bundesrepublik Deutschland 13,9 Millionen zugelassene Kraftfahrzeuge nicht weniger als 8 Millionen Tonnen Kohlenmonoxyd, 1,2 Millionen Tonnen Kohlenwasserstoffe, 900.000 Tonnen Stickoxyde, 12.000 Tonnen Schwebeteilchen und immerhin noch 7000 Tonnen Blei an die Atemluft der Bundesbürger. Kohlenmonoxyd, jener Schadstoff, der fast ausschließlich und in sehr großer Menge von den Autos erzeugt wird, ist ein geruchloses Gas, das bei der unvollständigen Verbrennung von kohlenstoffhaltigen chemischen Verbindungen entsteht. Obwohl Gas leichter als Luft ist, wird es — da es ja durch den Auspuff in Bodennähe ausgestoßen wird — in seiner höchsten Konzentration auch in



Bodennähe gefunden. Gefährdet sind dadurch vor allem Kinder. Der Gehalt der Luft an Kohlenmonoxid wird in ppm gemessen — das ist eine lateinische Bezeichnung, die „pars per millionem“ heißt, also der Teilchen, die auf eine Million Teilchen entfallen.

In verschiedenen Ländern wurden bereits Werte festgesetzt, die festliegen, ab wann die Konzentration von Kohlenmonoxid in der Luft als gefährlich anzusehen ist. In Kalifornien gelten 3 ppm für eine Dauerbelastung während acht Stunden als tragbar. In der Sowjetunion 0,9 ppm. Werte über 50 ppm gelten als gesundheitsgefährdend. Demgegenüber werden in Großstädten, je nach Verkehrsdichte, Werte zwischen 10 und 200 ppm gemessen, an besonders ungünstigen Stellen mit schlechter Durchlüftung sogar bis zu 500 ppm.

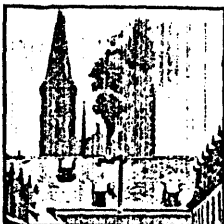
Atmet der Mensch kohlenmonoxydhaltige Luft ein, so wird damit der lebenswichtige Transport des Sauerstoffs zu allen Verbrauchsstellen behindert, das Hämoglobin, der Blutfarbstoff, der normalerweise den Sauerstoff an sich bindet und transportiert, Kohlenmonoxid 300mal besser als Sauerstoff an sich binden kann. Besonders betroffen davon ist das Gehirn, das mit einem Sauerstoffbedarf von 20 Prozent des Gesamtbedarfes besonders anfällig für Störungen in der Sauerstoffversorgung ist.

Außer dem Kohlenmonoxid gelangt Blei in erheblichem Ausmaß durch



die Autoabgase in die Atemluft. Blei wird dem Benzin als Antiklopfmittel zugesetzt und erhöht die Oktanzahl. Ein Tank, der etwa 25 Liter Benzin enthält, enthält auch nicht weniger als 10 Gramm Blei, die zu 60 Prozent als Bleioxyd nach der Verbrennung im Motor an die Luft abgegeben werden. Entsprechend der fortschreitenden Motorisierung erhöht sich der Bleigehalt in der Luft von Großstädten im Durchschnitt jährlich um etwa 15 Prozent. Aber nicht nur mit der Luft wird Blei vom Menschen aufgenommen. Auf dem Umweg über die Nahrungskette Pflanze—Tier—Mensch gelangt Blei noch zusätzlich in den menschlichen Körper, besonders leicht auch über die Milch.

Zum Unterschied zu vielen anderen Schadstoffen sind die Auswirkungen einer Bleivergiftung sehr langer Zeit bekannt. Sie führen zu Appetitmangel, Schwäche, Unbeholfenheit, Feh-



geburten und verursachen unter anderem auch Schädigungen des Kreislaufs, des Gehirns und des Verdauungssystems. Wissenschaftler zweifeln heute nicht mehr daran, daß die Bevölkerung vor allem in Großstädten unter einer schleichenden Bleivergiftung leidet. Wohin das führt, machen historische Beispiele deutlich. Nach neueren Forschungs- weisungen weiß man, daß Bleivergiftungen beim Untergang sowohl der griechischen als auch der römischen Kultur eine bedeutende Rolle gespielt haben. Die Gewohnheit beider Völker, Trinkgefäße mit Blei auszukleiden, führte vor allem in der Oberschicht, die sich diesen Luxus leisten konnte, zu schleichenden allgemeinen Vergiftungen und war wahrscheinlich eine der Ursachen des Niederganges beider Völker.

Auch der Flugverkehr stellt heute eine enorme Belastung für die Umwelt dar. Beim Start einer einzigen Düsenmaschine mittlerer Größe wird zum Beispiel die gleiche Menge an schädlichen Stoffen ausgestoßen, wie sie beim Start von 6500 Autos der Mittelklasse entsteht.

Industrie und Gewerbe belasten durch die Abgase, die ihren wachstumsfreudig qualmenden Schornsteinen entweichen, nicht nur Bäume und Wälder. Auch der Mensch hat durch häufigere Erkrankungen, vor allem der Atemwege, unter den Emissionen von Industrie und Gewerbe zu leiden. Das Schwefeldioxyd ist nur einer der Schadstoffe, die dabei an die Umwelt abgegeben werden. Dazu kommen noch Eisenoxyde, Staub, Ruß, Flugasche und zahlreiche, zum Teil sehr überreizende Gase, wie sie vor allem durch die chemische und die Papierindustrie entstehen und nicht nur gesundheitschädlich sind, sondern durch ihren Gestank auch eine erhebliche Belästigung darstellen.

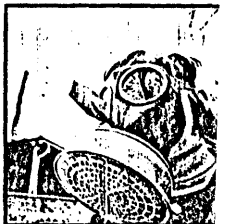
An dritter Stelle der Quellen, die für die Verunreinigung der Luft verantwortlich sind, steht der sogenannte



Hausbrand. Dazu gehören die Heiz- und Kochanlagen der privaten Haushalte. Hier hängt es sehr von der verwendeten Energieart ab, wie weit die Abgase die Luft verschmutzen. Wer Steinkohle brennt, verursacht damit hohe Emissionen an Schwefeldioxyd und Ruß, bei Koks sieht die Sache schon um 50 Prozent besser aus und Elektrizität verursacht keinerlei schädliche Emissionen.

In seinem Buch „Das Überlebensprogramm“ schreibt der deutsche Biochemiker Frederic Vester:

„Allein in der Bundesrepublik werden täglich über 20 Millionen Kubikmeter Giftgas in die Luft gepufft, eine Menge die größenordnungsmäßig an die von den gesamten Einwohnern der Bundesrepublik Deutschland eingeatmete Sauerstoffmenge heranreicht; schon diese Giftgasmenge in konzentrierter Form würde genügen, täglich einmal die gesamte Erdbevölkerung auszulöschen. Ökologisch gesehen ist damit der Mensch des Industriezeitalters das allgiftigste Tier, denn bereits ohne Giftgas sein zu wollen (Atombomben und Giftgase könnten seine Giftbitterkeit umgehend vervielfachen) produziert er — allein schon durch seine Gegenwart — für jeden Liter Sauerstoff, den er einatmet, etwa die gleiche Menge an tödlichen Abgasen.“



Auszüge aus dem "Umwelt-ABC" (1972), Definitionen und Erläuterungen von Begriffen, die in der Umweltdiskussion verwendet werden

(Hrsg.: Hessischer Minister f. Landwirtschaft und Umwelt, März 1972)

**Luft** - das die Erde umhüllende Gasgemisch (→ *Atmosphäre*) hat in den untersten 12 Kilometern eine nahezu konstante Zusammensetzung. Die wesentlichsten Bestandteile sind:

Stickstoff N <sub>2</sub>	78,09 %
Sauerstoff O <sub>2</sub>	20,95 %
Argon Ar	0,93 %
Kohlendioxid CO <sub>2</sub>	0,03 %

Dazu kommen geringe Mengen an Edelgasen (Neon, Krypton, Helium und Xenon) sowie Wasserstoff, Ozon, Ammoniak und Wasserstoffsperoxid. Außerdem enthält die Luft - besonders in ihren untersten Schichten - zeitlich und örtlich stark wechselnde Anteile an Wasserdampf sowie andere Beimengungen (Staub, Industrieabgase u. a.).

Für die relative Beständigkeit der Luftzusammensetzung sorgt der biologische Kreislauf, in dem Sauerstoff, Kohlendioxid und Stickstoff zwar umgesetzt, aber nicht verbraucht werden, sondern im Zuge der menschlichen und tierischen Abbau- und Atmungsprozesse sowie der pflanzlichen → *Assimilation* der Luft und dem biologischen Kreislauf wieder zur Verfügung gestellt werden. Der größte Sauerstoffproduzent ist das → *Plankton* der Weltmeere. Deshalb kann eine Verschmutzung der Ozeane durch Öl und Industrielle Abfälle, wodurch das Plankton vernichtet wird, schwerwiegende Konsequenzen für die Menschheit haben. Die genaueren quantitativen Zusammenhänge müssen noch erforscht werden.

**Luftfremde Stoffe** - vor allem Flugasche, andere → *Stäube*, Ruß, zahlreiche Gase und viele Geruchsstoffe. Die Wahrnehmbarkeit solcher Fremdstoffe ist kein Maßstab für eine etwaige Gefährlichkeit. Gerade geruchlose Gase wie → *Kohlenmonoxid* (CO) oder geruchschwache Gase wie → *Schwefeldioxid* (SO<sub>2</sub>) und → *Fluorverbindungen* sind besonders schädlich und gefährlich. Andere Gase wiederum, so Schwefelkohlenstoff (CS<sub>2</sub>) und → *Schwefelwasserstoff* (H<sub>2</sub>S), die sehr giftig sind, machen sich bereits in geringsten Konzentrationen weit unter der Gefährdungsschwelle durch ihren überaus unangenehmen Geruch bemerkbar. Grob vereinfacht ist bei den häufigsten Schadstoffen mit folgenden Wirkungen zu rechnen:

<b>Stäube</b>	=	meist schädlich, wenn lungengängig (0,5-5 µ)
<b>Bleiverbindungen</b>	=	blut- und gefäßschädigend, dadurch auch nervenschädigend (noch nicht exakt belegt)
<b>brauner Rauch</b>	=	beide fördern Umwandlung von SO <sub>2</sub>
<b>Ruß</b>	=	krebsfördernd in SO <sub>2</sub> =Schwefelsäure (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
<b>CO</b>	=	giftig, weil es den Blutfarbstoff für den Sauerstofftransport unbrauchbar macht
<b>SO<sub>2</sub></b>	=	schädigt die Lungenfunktionen, Pflanzenschäden
<b>Fluorverbindungen</b>	=	Lungenschäden Pflanzenschäden bei geringsten Mengen
<b>Kohlenwasserstoffe</b>	=	z. T. Zellgifte, Krebsbildner, reizen Atemwege

**lufthygienisch-meteorologische Modelluntersuchung** - im Raum Untermain umfaßt u. a. das erste großräumige Meßprogramm zur systematischen Erfassung auch weiterer → luftverunreinigender Stoffe als SO<sub>2</sub> und → Staub. Unter Beteiligung z. B. der → *Meß- und Prüfstelle*, der Probemeßstation des Bundesministeriums des Innern im Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt/M., der → *Staatlichen Gewerbeaufsichtsämter* und der → *Landesanstalt für Umwelt* sollen auch die → *Immissionen* an Kohlenmonoxid, Stickoxid, Kohlenwasserstoffen, Bleiverbindungen und Schwebstaub gemessen werden. Die Modelluntersuchung soll als Ergebnis nicht nur ein genaues Bild der Luftverschmutzung in Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen erbringen, sondern ein mathematisches Modell liefern, das die Planung von Industrieansiedlungen und Siedlungsvorhaben aller Art erlaubt und deren Auswirkungen auf den Lufthaushalt erfaßt.

**Lufttraumbedarf** - pro Person etwa 16 Kubikmeter

**Luftverunreinigende Stoffe** · insbesondere → *Staub*, Ruß, Gase, Dämpfe oder Geruchsstoffe, die die natürliche Zusammensetzung der → *Luft* verändern und so zu einer → *Luftverunreinigung* führen (→ *luftfremde Stoffe*).

**Luftverunreinigung** · das natürliche Gasgemisch der → *Luft* reichert der Mensch mit festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen an. Die → *Luft* wird etwa zu gleichen Teilen verunreinigt durch die → *Emissionen* der Industrie, des Hausbrands und der Kraftfahrzeuge. Von der Industrie werden die meisten Schadstoffe durch hohe Schornsteine ausgestoßen, so daß sie vielfach in kaum noch gefährdenden Verdünnungen (Ausnahme bei → *Inversion*) auf den Boden auftreffen. Im Gegensatz dazu ist der Mensch den → *Emissionen* aus Hausbrand und von Kraftfahrzeugen direkt ausgesetzt.

---

**MAK-Werte** · Maximale Arbeitsplatz-Konzentration, der Anteil an Schadstoffen in der Atemluft, der dem Menschen in einer achtstündigen Arbeitsschicht an seinem Arbeitsplatz ohne Gefahr für seine Gesundheit zugemutet werden kann.

---

**ppb** · parts per (amerikanischer) billion. Die amerikanische Billion entspricht im deutschen Sprachgebrauch der Milliarde. 1 ppb ist also ein Milliardstel des Volumens oder Gewichtes oder auch ein Milligramm einer Verunreinigung in einer Tonne Substanz.

**ppm** · parts per million, also ein Millionstel des Volumens oder ein Milligramm pro Kilogramm oder Liter, das ist z. B. ein Gramm einer Verunreinigung in einer Tonne Substanz.

---

**PVC** · Polyvinylchlorid, Kunststoff; weit verbreitet durch seine gute Beständigkeit gegen Chemikalien und Umwelteinflüsse, durch seine sehr billige und umweltfreundliche Herstellung und seine in weitem Maße steuerbaren mechanischen Eigenschaften. Er wird z. B. eingesetzt zur Isolierung elektrischer Leitungen, für Abwasseranlagen, für Fußbodenbeläge, für Verpackungen, für technische Kunststoffteile im Kraftfahrzeugbau. Nachteilig sind die schwere Verrottbarkeit des PVC und auch die bei seiner Verbrennung entstehende Salzsäure.