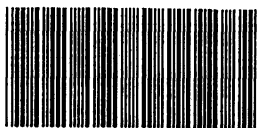


Joachim Kahlert

Was uns den Atem verschlägt

Luftverschmutzung und ihre Folgen

UB Augsburg



23230493



Beltz Verlag
Weinheim und Basel 1986

Inhaltsverzeichnis

Es liegt was in der Luft	5
... und nagt an Stahl und Stein	5
Plötzlich wird es dem Wald zuviel	8
Macht Atmen krank?	12
Wenn das Wetter nicht mehr mitspielt – Smogalarm!	15
Ein „Lebensmittel“ wird verdorben	20
Zum Ärger der Nachbarn – Luftverschmutzung früher	21
Schlechte Luft macht sich breit – die Industrialisierung	22
Wer verursacht welchen Schmutz? Schadstoffemissionen heute	25
Wo bleibt der Dreck? Die Schadstoffimmission	32
Qualm aus Schloten und Rohren – Verbrennungsrückstände von Kohle, Öl und Gas	35
Ein weltweiter Klimastörer – das Kohlendioxid	39
Die Stadtplage – das Kohlenmonoxid	42
Aggressive Gase – Schwefeldioxid und Stickoxide	45
Ein reizender Nachkömmling – das Ozon	49
Das ist ätzend – saurer Regen	51
Ein Schadstoff wirkt selten allein – die vielen Plagen für den Wald	53
Wer wirbelt so viel Staub auf?	57
Zerstäubte Metalle	58
Leise rieseln Blei und Cadmium	64
Gift für Generationen	68
Nadeln in der Lunge – Asbeststaub	72

Organische Verbindungen: vielseitiger Nutzen – vielfältiger Schaden?	76
Lungenzüge, beim Rauchen vermeidbar – aber beim Atmen? .	78
Wird die Ozonschicht zersprüht?	82
Schöne heile Plastikwelt?	85
Hochgiftige Begleitstoffe – Dioxine	89
Vergiftung frei Haus? Der Streit um Formaldehyd	94
Reine Luft gibt es nicht zum Nulltarif	103
Kraftwerke müssen keine Dreckschleudern sein	105
Die Schadstoffbremse im Straßenverkehr – der Katalysator . .	109
Der lange Weg zum sauberen Kraftwerk	113
Fehlzündungen! Das schadstoffärmere Auto kommt – im Schnecken tempo	120
Fuß vom Gas! Nicht nur dem Wald zuliebe	122
Luftreinhaltung zahlt sich aus!	127
Büchertips und Anschriften	130
Stichwortverzeichnis	135

Es liegt was in der Luft ...

Eines unserer wichtigsten Lebensmittel steht uns Tag und Nacht frei Haus zur Verfügung: die Luft.

Kaum fünf Minuten könnten wir ohne sie überleben. Wie gut, daß wir in der Regel nicht mal einen Gedanken verschwenden müssen, um uns ausreichend mit Atemluft zu versorgen.

Doch wenn sie uns gelegentlich stinkt, werden wir unangenehm daran erinnert, daß wir einatmen müssen, was uns die Umwelt zumutet.

Wer in einen vermieteten Raum kommt, öffnet gerne schnell die Fenster. Die würzige Landluft in der Nähe eines frisch gedüngten Ackers ist gewiß nicht jedermanns Sache. Und wer hat sich als Radfahrer oder Fußgänger noch nicht über die Autofahrer geärgert, die einem an der geschlossenen Bahnschranke den Auspuffqualm um die Nase wehen lassen.

In solchen Situationen ist man froh, rasch wieder frische, saubere Luft atmen zu können.

Aber – wo, bitte, gibt es die?

... und nagt an Stahl und Stein

Vielleicht in einem modernen, neu errichteten Museum.

Dort gehört „Saubere Luft“ zwar noch nicht zu den Ausstellungsstücken, aber die Luft von draußen wird erst einmal gereinigt, bevor man sie in die Räume läßt. Manchen Sehenswürdigkeiten bekommt nämlich die heutige Luft nicht besonders.

An alten Kunstwerken und Baudenkmalern, die unter freiem Himmel stehen, läßt sich beobachten, was die Luft an ungeschütztem Material anrichten kann.

So verlieren die kunstvollen Glasfenster des Kölner und Augsburger Doms, des Freiburger, Regensburger und Ulmer Münsters ihre Farben; das Glas zerbröselt. Viele Jahrhunderte haben einige dieser Glasmalereien Wind und Wetter getrotzt. Hitze und Kälte, Sturm und Regen haben zwar hier und dort ihre Spuren hinterlassen; aber heutzutage ist der Zahn der Zeit schärfer geworden.

Die Schäden an den noch vorhandenen Glasarbeiten sind in den letzten 30 Jahren massiver aufgetreten als in 900 Jahren vorher. Ohne Schutzmaßnahmen gibt man den jahrhundertealten Werken noch knapp zwanzig Jahre, bis sie vollends zerfallen sein werden.

Nicht viel besser ergeht es zahlreichen Meisterwerken aus Stein.

Auf Fotografien, entstanden um 1900, kann man jahrhundertealte Heiligenfiguren, Reiterstandbilder und reich geschmückte Gebäudefassaden in ihrer ganzen Pracht und Schönheit bewundern. Heute, wenige Jahrzehnte später, ist das Gestein derselben Kunstwerke abgeblättert, aufgesprungen, zerfressen. Apostelköpfe haben sich in klumpige Massen verwandelt, ehemals verschnörkelte Säulen stehen heute als kahle Steinzylinder herum, Kirchenfassaden bröckeln ab.

Besonders umfangreiche Schäden treten am Kölner Dom auf, der



400 Jahre alt war die Madonnenfigur an der Stadtkirche in Marbach bei Stuttgart, als um 1900 das linke Foto geschossen wurde. Die Luft der letzten 80 Jahre ist der Figur schlecht bekommen. Das rechte Bild wurde um 1980 aufgenommen.

Quelle: BMFT Journal Nr. 5/1984, S. 16

in der Innenstadt eines industriellen Ballungsgebiets steht und in unmittelbarer Nachbarschaft des Bahnhofs früher schon die Rauchschwaden der Dampflokomotiven aushalten mußte. In Köln wurde 1860 ein Sandstein aus Süddeutschland verbaut, der rund zehn Jahre später auch am Ulmer Münster und am Schloß Neuschwanstein verarbeitet wurde. Während der Sandstein am Kölner Dom mittlerweile stark angegriffen ist, weist die Kirche in der weniger schmutzigen Luft in Ulm geringere Schäden auf. Das Schloß im bayerischen Allgäu ist noch so gut wie unbeschädigt.

Doch der Steinfraß tritt keineswegs nur in Großstädten auf. An Dorfkirchen läßt er sich ebenso entdecken wie an den Heiligenfiguren, die in ländlichen Gegenden noch heute an Wegekreuzungen stehen. Viele hundert Millionen DM sollen die Schäden umfassen, die durch Luftverschmutzung an Baudenkmalern und Glasmalereien in der Bundesrepublik entstanden sind.

Und es leidet nicht nur die Kunst.

Der Stahlbeton des rund 15 Jahre alten Hamburger Fernsehturms ist heute stärker geschädigt als beim Bau vorherzusehen war. Die Bundesbahn blättert jedes Jahr Millionen hin, um ihre Fahrleitungsmasten und Eisenbahnbrücken vor vorzeitigem Verfall zu schützen. Dachrinnen aus Zink werden von den Luftschadstoffen ebenso angegriffen wie Anstriche an Gebäuden.

Die Luft geht uns sogar an die Wäsche.

Nylon- und Baumwollfasern verlieren an Zugfestigkeit, Wollfarben bleichen schneller aus, Leder verfärbt sich und blättert.

Es ist nicht immer möglich, genau zu bestimmen, wie groß der Anteil der Luftverschmutzung am Verschleiß von Materialien ist. Sehr verschiedenartige Einflüsse wie Rostbildung, Temperaturschwankungen, Regen und Sturm verkürzen ebenfalls die Lebensdauer von Bau- und Werkstoffen.

Doch der rasche Zerfall uralter Kunstdenkmäler gerade in unserer Zeit sowie Laboruntersuchungen über die Wirkung von Luftschadstoffen auf Materialien zeigen ohne Zweifel: Stahl, Leder, Zink und Beton vertragen unsere Luft heute nicht besonders gut.

Wenn für neu errichtete Museen mittlerweile bis zu 15% der Bausumme für luftverbessernde Klima- und Reinigungsanlagen ausgegeben werden, so ist das Geld wohl gut angelegt.

Vielleicht sollte man gelegentlich auch ein paar Bäume in die Museen verfrachten.

Plötzlich wird es dem Wald zuviel

Bis vor wenigen Jahren schien der Wald in der Bundesrepublik kerngesund dazustehen.

Klirrender Frost, trockene Sommer, Insekten und allerlei Pilzarten hatten zwar hier und da manchen Bäumen schwer zugesetzt. Unwetter und Stürme legten auch schon mal die Monokulturen der Fichtenwälder hektarweise um. Seit langem weiß man auch, daß in der Nähe bestimmter Fabriken sowie in industriellen Ballungsräumen einige empfindliche Nadelbäume nicht so recht gedeihen wollen. Aber seit Mitte der siebziger Jahre machen sich Schäden auch an Wäldern fernab der Industriegebiete breit, außergewöhnlich umfangreich, rasch fortschreitend und zum Teil mit völlig neuartigen Merkmalen.

Erstes Anzeichen der Baumkrankheit ist eine zumeist gelbliche Verfärbung von Blättern und Nadeln. Mit fortschreitender Erkrankung sterben Blattränder und Nadelspitzen sowie junge Triebe ab. Der Baum verliert Blätter und Nadeln, die Ausbildung feiner Wurzeln ist gestört, Teile der Baumkrone sterben ab.

Einige dieser Krankheitsbilder kannte man auch schon früher.

Ungewohnt für Waldexperten ist jedoch die starke Verbreitung der Baumkrankheiten auch in solchen Regionen, die eigentlich ein bevorzugtes natürliches Wachstumsgebiet bestimmter Baumarten sind wie zum Beispiel die Hochlagen der Mittelgebirge für Fichte und Tanne. Außerdem verschlechtert sich der Zustand einmal erkrankter Pflanzen in einem bisher nicht bekannten Tempo.

Aufgeschreckt durch solche Beobachtungen, versuchte die Bundesregierung im Jahre 1982 einen Überblick über die Ausbreitung von Baumkrankheiten zu gewinnen.

Ergebnis einer Umfrage in den Forstämtern:

Jeder 13. Baum, das heißt etwa 7,7% der gesamten Waldfläche, war damals krank. Die meisten Bäume hatte es zwar nur leicht erwischt, aber unter 1000 Bäumen zählte man bereits 4–5 schwer geschädigte, vom Absterben bedrohte Pflanzen.

Nach einer besser vorbereiteten Bestandsaufnahme ein Jahr später mußten schon 34% der Waldfläche als krank verbucht werden. Nun fand man schon 10 Bäume unter 1000, die vor dem Absterben standen.

Als 1984 wieder Waldbeschau betrieben wurde, war bereits die Hälfte des Baumbestands in der Bundesrepublik krank; der Anteil

mittlerer und schwerer Schäden hatte zugenommen. Die Tanne lag fast völlig danieder: nur noch jeder achte Baum wies keine erkennbaren Schäden auf.

Dort, wo 1983 und 1984 die gleichen Methoden für die Untersuchung der Bäume angewandt wurden, mußte man feststellen, daß die Zunahme der beobachteten Schäden keineswegs nur auf genauerem Hinsehen der Baumzähler beruhte. Die Baumkrankheit breitete sich tatsächlich aus: In Nordrhein-Westfalen waren 1983 35% der Bäume geschädigt, ein Jahr später 42%. Für Baden-Württemberg hieß die Bilanz: 49% kranke Bäume im Jahre 1983, 66% im Jahre 1984.

Und es ging weiter bergab mit unserem Wald.

Nach einer erneuten Erhebung der Waldschäden 1985 zeigten sich zwar die Kiefernbestände ein wenig erholt, doch Fichten, Tannen, Buchen und Eichen waren inzwischen noch kränker geworden. Besonders übel ist es mittlerweile um die Tanne bestellt; ihr Überleben im deutschen Forst ist ernsthaft gefährdet (siehe Seite 10ff.).

Auch in anderen Industrieländern nehmen Waldschäden zu. In unseren Nachbarländern DDR, ČSSR und der Schweiz ebenso wie in Nordamerika.

Allein in der Bundesrepublik rechnen die Waldbesitzer mit finanziellen Schäden in Milliardenhöhe.

Doch dabei ist nur das Holz gezählt.

Nicht in Geld messen läßt sich der Verlust des Waldes als Erholungsraum für Menschen und Lebensraum für Tiere. Hinzu kommt: ist der Wald erst einmal verschwunden, können unübersehbare Folgeschäden auftreten. Der Wald reguliert den Grundwasserbestand und hält den Boden gegen Auswaschungen des Regens und Abtragungen durch Wind zusammen. Er wirkt auf das Kleinklima vor Ort und trägt zur Reinigung der Luft bei: die Blätter und Nadeln der Bäume filtern Gase und Stäube heraus.

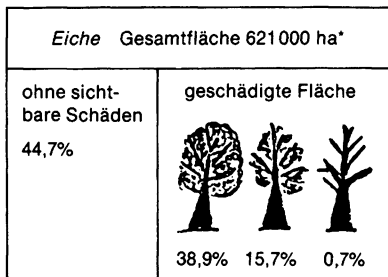
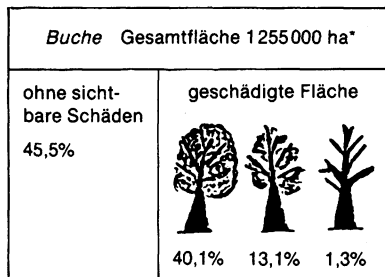
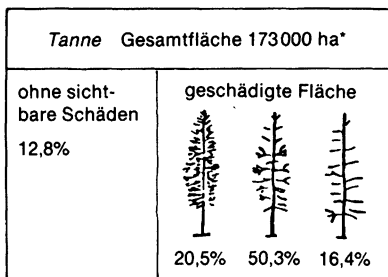
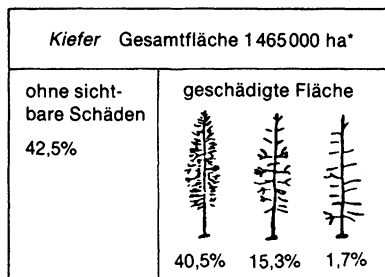
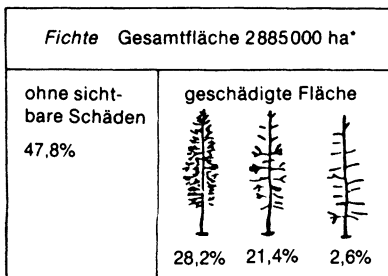
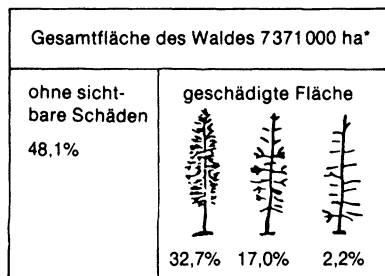
Das ist den Bäumen offenbar schlecht bekommen.

Zwar ist es auch beim Waldsterben schwierig, den Einfluß sehr verschiedenartiger Ursachen eindeutig zu bestimmen. Ein hochentwickeltes Lebewesen wie der Baum reagiert auf viele Umwelteinflüsse sehr empfindlich. Die Witterung spielt dabei ebenso eine Rolle wie ungünstige Bodenverhältnisse, Insekten, Pilze und die Luftverschmutzung.

Doch vieles spricht dafür, daß die Luftschadstoffe beim heutigen Waldsterben eine besondere Bedeutung einnehmen.

Zur Hälfte krank – der Wald in der Bundesrepublik

Ausmaß der Schäden bei verschiedenen Baumarten



Schadstufe 1: Schwache Schädigung, Nadel- und Blattverluste liegen zwischen 10%–25%. Die Baumkrone wird lichter.

Schadstufe 2: Mittelstarke Schädigung, Blatt- und Nadelverluste liegen zwischen 25% und 60%. Die Baumkrone ist stark verlichtet.

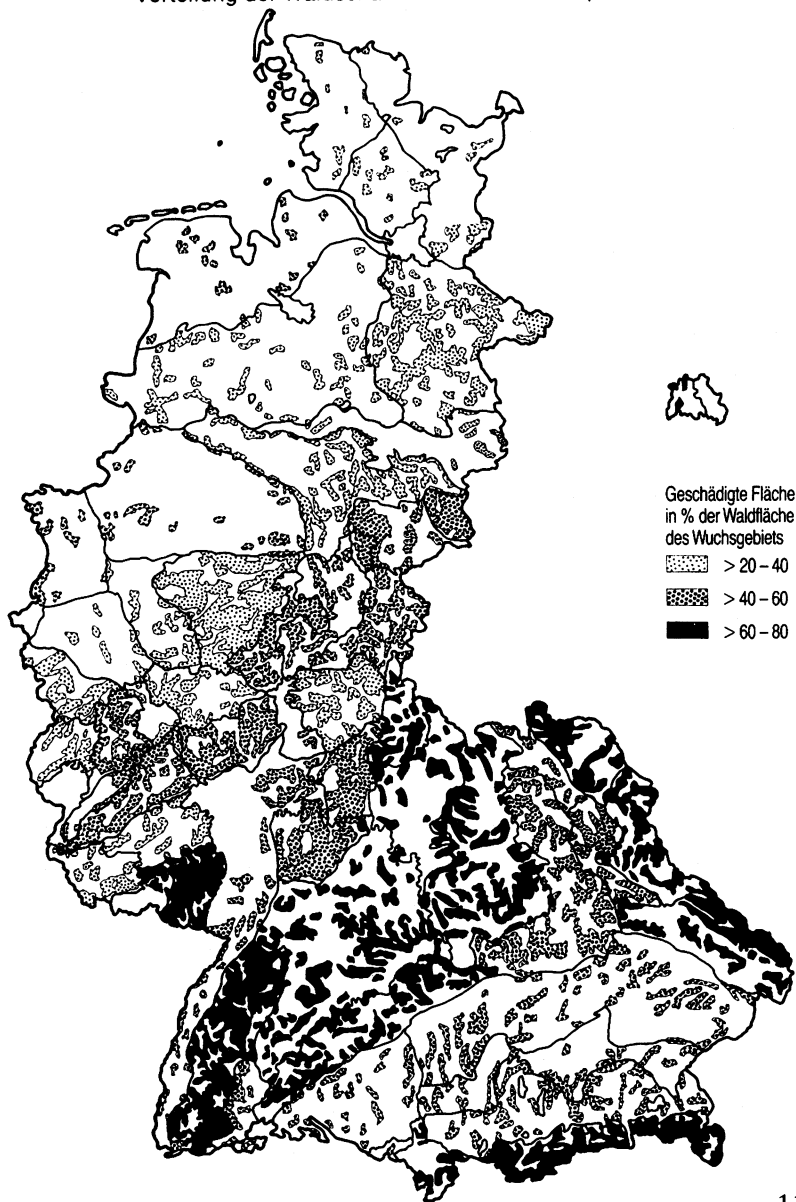
Schadstufe 3 und 4: Starke Schäden, Nadel- und Blattverluste liegen über 60%, die Bäume beginnen abzusterben (Stufe 4).

* Ein Hektar (ha) ist ein Flächenmaß für 10000 m², 100 ha = 1 km².

Angaben nach Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 1985.

Im Süden stirbt es sich schneller

Verteilung der Waldschäden in der Bundesrepublik



	Geschädigte Fläche in %	
	1984	1985
Fichte	51,2	52,2
Kiefer	58,9	57,5
Tanne	87,2	87,3
Buche	50,3	54,6
Eiche	43,4	55,3
Bäume, insgesamt	50,2	51,9

Der Pilz- und Insektenbefall an leicht und mittelmäßig erkrankten Bäumen ist nicht schwerer als an gesunden Pflanzen. Die Baumschäden treten überall auf, nicht nur dort, wo ein unsachgemäßer Anbau, eine ungünstige Bodenzusammensetzung oder schlechte Witterungsverhältnisse die Bäume ohnehin empfindlicher machen. Zwischen Herbst 1983 und Sommer 1984 herrschten mit einem milden Winter und einem regenreichen Sommer eigentlich sogar recht gute Wachstumsbedingungen für den Wald. Trotzdem ist er kränker geworden. Manche Waldforscher vermuten, die Bäume hätten schon seit langem gegen das Gift aus der Luft und im Boden angekämpft – bis es ihnen zu viel geworden sei.

Könnte es da nicht auch uns passieren, daß wir nach und nach geschädigt werden, ohne zunächst etwas davon zu bemerken?

Macht Atmen krank?

Als im Raum Hof, im nordöstlichen Bayern, in den ersten beiden Monaten des Jahres 1984 vier Säuglinge plötzlich starben, ohne erkennbare Krankheitsmerkmale, war das für viele Eltern ein Alarmzeichen.

Innerhalb weniger Tage hatte eine Elterninitiative gegen Luftverschmutzung in dieser Gegend zwischen Fichtelgebirge und Frankенwald mehr als 200 Mitglieder.

Im gesamten Bundesgebiet zählte man 1983 762 Kinder, ein Jahr zuvor 828 Kinder, die im ersten Lebensjahr gestorben sind, ohne daß Ärzte besondere Krankheiten, Verletzungen oder eine falsche

Behandlung durch die Eltern als Todesursache angeben konnten. Bekannt ist dieser *Plötzliche Kindestod unbekannter Ursache*, auch *SIDS*¹ genannt, schon seit langem. Allerlei Erklärungen – Vitaminmangel, Hausstaub, falsche Schlafstellung – suchten Ärzte für dieses rätselhafte Kindersterben – ohne Erfolg.

Auch die Luftverschmutzung konnte bisher als Ursache des plötzlichen Kindestods nicht eindeutig nachgewiesen werden. Dennoch sorgen sich mittlerweile Eltern, ob die Luft ihren kleinen Kindern noch gut bekommt.

Aus den USA wurde eine allerdings umstrittene Untersuchung eines Arztes bekannt, der in Kalifornien das Auftreten des *Plötzlichen Kindestods* mit dem Schadstoffgehalt der Luft verglichen hatte. Dabei war ihm aufgefallen, daß die Todesfälle sich häuften, wenn sieben Wochen zuvor die Luftverunreinigung sehr stark gewesen war. Bei einer Untersuchung von SIDS-Opfern aus Mönchengladbach, Aachen und Köln fand man bei 80% der gestorbenen Kinder harmlos erscheinende Entzündungen im Rachen- und Nasenraum. Dies reicht zwar alles nicht aus, um SIDS eindeutig auf Luftverschmutzungen zurückzuführen. Doch gerade diese Ungewißheit bereitet manchen Eltern Sorge.

Ähnlich liegt der Fall beim *Pseudo-Krupp* (wörtlich: falscher Krupp²). Kleine Kinder, zumeist im Alter bis zu sechs Jahren, bekommen plötzlich auftretende, heftig verlaufende Hustenanfälle, verbunden mit schweren Atembeschwerden.

Manchmal treten Pseudo-Krupp-Anfälle nach Erkältungen auf, so daß schon vermutet wurde, es seien Viren mit im Spiel. Da die Krankheit in manchen Familien gleich mehrere Kinder belastet, in der Nachbarfamilie aber überhaupt nicht vorkommt, kann man auch annehmen, erbliche Veranlagungen machen Kinder gegenüber äußeren Einwirkungen empfindlicher. Auch seelische Ursachen können bei kleinen Kindern die heftigen Atembeschwerden auslösen. Ziemlich sicher ist, daß Zigarettenqualm in der Wohnung das Risiko für Pseudo-Krupp-Anfälle erhöht.

1 SIDS ist die Abkürzung für die englische Bezeichnung *Sudden Infant Death Syndrome*, etwa: Erscheinung des plötzlichen Todes kleiner Kinder.

2 Der „echte“ Krupp ist eine Entzündung der Schleimhäute von Kehlkopf und Luftröhre, bei der sich Schleim absondert, der zu Hustenreizungen und Atemnot führt. Krupp tritt vor allem zusammen mit Diphtherie auf, einer schweren Halskrankung, die heute aufgrund von Impfungen recht selten geworden ist.

Und es gibt auch die begründete Vermutung, eine Ursache für Pseudo-Krupp sei die Luftverschmutzung.

In Duisburg konnte der Leiter der dortigen Kinderklinik nachweisen, daß Pseudo-Krupp häufiger auftritt, wenn besonders viel Schwefeldioxid (siehe Seite 45) und Staub in der Luft herumschwirren.

*Eine Mutter berichtet über einen
Pseudo-Krupp-Anfall*

„Unser Sohn Kalle wurde im Dezember 1980 geboren. Wir leben in einem sehr belasteten Stadtteil. Für sich selbst steckt man so etwas eher weg. Das ändert sich, wenn das eigene Kind betroffen ist. Anfang April 1981 – Kalle war gerade drei Monate alt – erschreckten mich unbekannte Geräusche aus dem Kinderzimmer. Eine Art Bellen, das ich zuerst gar nicht meinem Kinde zuordnete, dann ein pfeifendes Rasseln, das deutlich durch die geschlossene Tür drang. Ich höre mir das völlig unbedarft dreimal an und stürmte dann in panischer Angst zu dem Kind. Ich wußte nicht, was das sein konnte, aber in mir wuchs die Angst: Das Baby stirbt mir in meinen Armen weg. Es war Samstagnacht, ungefähr 23 Uhr. Der Notarzt forderte mich auf, sofort mit dem Kind in die Praxis zu kommen, nachdem er das Atemgeräusch am Telefon gehört hatte. Ich sollte auf keinen Fall Zeit verlieren. Es könnte Lebensgefahr bestehen. Das war Kalles erster Pseudo-Krupp-Anfall.“

Aus: Hauff/Müller 1984

Bereits zehn Jahre zuvor hatten Frankfurter Wissenschaftler diesen Zusammenhang ebenfalls entdeckt.

Es gibt allerdings auch Ärzte, die bisher keine Beziehung zwischen dem Auftreten von Pseudo-Krupp und dem Grad der Luftverschmutzung feststellen konnten.

Dennoch steht Schwefeldioxid schwer unter Verdacht, an der Auslösung der Hustenanfälle beteiligt zu sein, macht es doch selbst erwachsenen Menschen manchmal das Atmen schwer.

In einigen Gebieten wird die Luft so stark mit diesem Gas belastet, daß dort die Gesundheit und das Wohlbefinden der Menschen gefährdet ist, wenn das Wetter 'mal seine Launen zeigt.

Wenn das Wetter nicht mehr mitspielt – Smogalarm!

Normalerweise kümmert sich die Luft selbst auch darum, daß sie den Menschen in den dichtbesiedelten und verkehrsreichen Ballungsgebieten nicht zu dick wird.

Nahe der Erdoberfläche erwärmt sich die Luft, steigt nach oben und nimmt einen Teil der Abgase aus Auspuffrohren, Fabrikschornsteinen und Heizungsanlagen mit.

Die Schadstoffe sind damit zwar nicht aus der Welt geschafft; sie kommen gelegentlich auch wieder herunter. Aber wenigstens sind sie verdünnt.

Ohne diesen natürlichen Ventilator wären Ballungsgebiete jedenfalls die reinsten Giftküchen.

Allerdings geht dieser Ventilator schon mal außer Betrieb, vor allem in der kalten Jahreszeit.

Im Winter kann es nämlich geschehen, daß die kalte Luft am Boden von einer wärmeren Luftschicht überlagert wird, die von Ferne und in großer Höhe dahergewälzt kommt.

Während einer solchen *Inversionswetterlage* (invertiere, lateinisch: umkehren) zieht die Luft nicht mehr nach oben ab. Bleibt dann auch noch der Wind weg, wird es ungemütlich. Es herrscht eine *austauscharme Wetterlage*. Wie unter einer Käseglocke sammeln sich die Schadstoffe an, beste Voraussetzungen für die Entstehung von *Smog*³.

Das bekamen auch die Einwohner Berlins, des Ruhrgebiets und einiger Städte in Hessen Mitte Januar 1985 zu spüren.

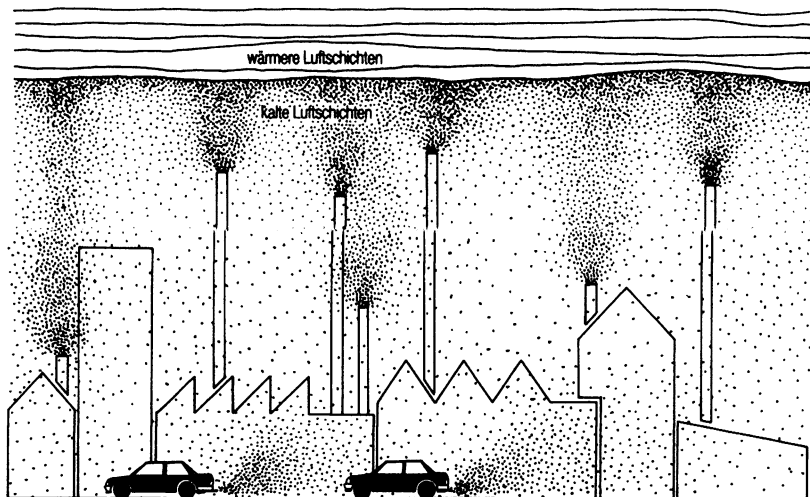
In dieser Zeit wurde ganz Mitteleuropa von grimmiger Kälte gebeutelt.

Als dann ein Hochdruckgebiet über den Azoren wärmere Luftschichten zu uns herüberschob, war es soweit: Die Konzentration des Gases *Schwefeldioxid*, eines Hauptverursacher des Smogs, stieg sprunghaft an.

Während im Jahresdurchschnitt im Ruhrgebiet knapp 0,1 Milligramm (mg) Schwefeldioxid pro Kubikmeter (m³) Luft gemessen

3 Smog setzt sich aus den beiden englischen Wörtern *smoke* (Rauch) und *fog* (Nebel) zusammen.

Nichts geht mehr – Entstehung von Smog



Abgase

Wie eine Käseglocke verhindert die warme Luftschicht, daß die schadstoffhaltige Kaltluft nach oben abziehen kann.

Beim Smog im Januar 1985 waren vor allem die Abgase aus den Fabriken, den Müllverbrennungsanlagen und den Öl- und Kohleheizungen der Wohnungen beteiligt. Die Kraftwerke mit ihren zum Teil über 300 m hohen Schornsteinen bliesen ihre Abgase oberhalb der kalten Luftschicht raus.

werden⁴, lagen in der Nacht zum 17. 1. 1985 plötzlich 0,7 mg in jedem Kubikmeter Luft, genug, um Smogalarm auszulösen. Vorläufig allerdings erst die sanfte *Stufe I*: Die Landesregierung von Nordrhein-Westfalen bat die Autofahrer, auf die Benutzung ihrer Fahrzeuge zu verzichten; an Fabrik- und Kraftwerksbetreiber erging der Appell, möglichst schadstoffarme Brennstoffe zu verfeuern.

Aber weil die Menschen nicht reihenweise umkippten, tat sich erst einmal gar nichts. Schloten und Auspufftöpfe qualmten munter weiter.

⁴ Ein Kubikmeter ist der Rauminhalt eines Würfels mit einer Kantenlänge von einem Meter. $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ Liter}$. Ein Milligramm ist der tausendste Teil eines Gramms, $1 \text{ Gramm} = 1000 \text{ mg}$. Die Angabe Milligramm (mg) pro Kubikmeter (m^3) kürzt man durch die Schreibweise „ mg/m^3 “ ab.

Zwar tragen die Autoabgase nur sehr wenig zum Schwefeldioxidgehalt der Luft bei, aber die anderen Schadstoffe aus dem Auspuff machen die dicke Luft auch nicht angenehmer (siehe Seite 26).

Da auch das Wetter kein Erbarmen zeigte und der ersehnte Wind ausblieb, stieg noch am Abend des 17. 1. im westlichen Ruhrgebiet, am nächsten Morgen auch im östlichen Teil, der Gehalt an Schwefeldioxid auf $1,2 \text{ mg/m}^3$ Luft – das reichte für *Alarmstufe II*.

Nun herrschte für ein paar Morgen- und Nachmittagsstunden Fahrverbot in einigen Sperrbezirken. Die Industriebosse mußten schadstoffärmere Brennstoffe in die Ofen stopfen lassen.

Trotzdem kletterte der Schwefeldioxidgehalt weiter.

Im Laufe des 18. 1. erreichte er $1,8 \text{ mg/m}^3$ in der Luft des westlichen Ruhrgebiets. Für die Städte Bottrop, Essen, Duisburg, Mülheim/Ruhr und Krefeld hieß es damit: *Alarmstufe III*. Das Fahrverbot für Kraftfahrzeuge galt nun rund um die Uhr, zahlreiche Betriebe mußten ihre Produktion drosseln oder sogar ganz stoppen.

18 Stunden dauerte die Atempause für die Umwelt.

Dann sorgte aufkommender Westwind für Frischluftnachschiebung, Regen wusch die Schadstoffe in den Boden. Kraftfahrzeuge, Fabriken und Kraftwerke durften wieder stänkern.

Ergebnis: das Wetter ändert sich, die Schadstoffe quellen weiter – der nächste Smogalarm kommt bestimmt.

Wer jetzt froh darüber ist, nicht im Ruhrgebiet zu wohnen und glaubt, seine Nase in saubere Luft stecken zu können, wird möglicherweise enttäuscht sein.

Als im Ruhrgebiet Alarm geblasen wurde, war auch die Luft in Köln, Bonn und Düsseldorf so voll mit Schwefeldioxid beladen wie an der Ruhr. Auch in Hannover und Braunschweig, im windigen Bremen, ja sogar im Sauerland und in der Lüneburger Heide wurden Schwefeldioxidwerte gemessen, die im Ruhrgebiet zur Auslösung des Alarms geführt hatten.

Aber dort, wo es keine Alarmpläne gibt, ruft auch niemand Smogalarm aus.

Smogalarmpläne gibt es nur für industrielle Ballungsräume, in denen mit austauschbaren Wetterlagen gerechnet werden muß. Da unter solchen Wetterbedingungen der hausgemachte Dreck der Industrieregion nicht wie sonst üblich vom Winde verweht wird, kann der Schadstoffgehalt der Luft rasch gefährliche Ausmaße annehmen.

Ein Blick in die Vergangenheit zeigt, was ohne vorbeugende Rege-

Eine Schutzmaßnahme in Etappen – Smogalarm

Smoggebiete

Nur für Gebiete, die besonders schadstoffbelastet sind, gibt es in der Bundesrepublik Pläne zur Auslösung von Smogalarm. In diesen Gebieten muß bei einer *austauscharmen Wetterlage* mit einem schnellen Anstieg der Schadstoffmengen in der Atemluft gerechnet werden. Im Jahre 1984 waren folgende Regionen Smoggebiete:

- in Nordrhein-Westfalen: *östliches und westliches Ruhrgebiet
Ludwigshafen, Frankenthal, Mainz-Budenheim*
in Rheinland-Pfalz: *Kassel und Umgebung, Wetzlar und Umgebung,
Gießen, Wiesbaden und Umgebung, Frankfurt, Bischofsheim,
Rüsselsheim und Umgebung, Frankfurt/Offenbach und
Umgebung, Hanau und Umgebung, Darmstadt*
im Saarland: *Saarbrücken und Völklingen, Saarlouis, Dillingen,
Schwalbach (Ortsteil Ensdorf), Neunkirchen*
in Baden-Württemberg: *Stadtgebiet Mannheim, Heddeshheim, Ladenburg, Ilves-
heim, Edingen-Neckarhausen*
in Berlin (West): *Stadtgebiet Berlin (West)*

Auslösung des Smogalarms

Die Auslösung des Smogalarms ist nicht überall einheitlich geregelt. Die Umweltminister haben sich aber darauf geeinigt, in ihren Bundesländern folgende Regelungen einzuführen:

Alarm wird nur ausgelöst, wenn

die austauschbare Wetterlage voraussichtlich 24 Stunden anhält

und

an mindestens zwei Meßstellen im Smoggebiet wenigstens drei Stunden lang *einer* der folgenden Grenzwerte erreicht wird:

Durchschnittliche Schadstoffkonzentration zur Auslösung des Alarms (in Milligramm pro Kubikmeter Luft)

	Schwefel- dioxid	Stickoxide	Kohlen- monoxid	Staub und Schwefeldioxid zusammen*
Alarmstufe I	0,6	0,6	30	1,1
Alarmstufe II	1,2	1,0	45	1,4
Alarmstufe III	1,8	1,4	60	1,7

* Für Spezialisten: Dieser Wert errechnet sich aus der Summe des Schwefeldioxidwerts und des doppelten Werts der Staubkonzentration, zum Beispiel: Schwefeldioxid: 0,5 mg/m³; Staub: 0,4 mg/m³. Rechnung: $0,5 + 2 \times 0,4 = 0,5 + 0,8 = 1,3$, also: Alarmstufe I wird fällig.

Maßnahmen

- Alarmstufe I Autofahrer werden gebeten, ihre Fahrzeuge nicht zu benutzen. Kraftwerke und Fabriken sollen möglichst schadstoffärmere Brennstoffe verfeuern. Herz- und Kreislaufkranken wird geraten, zu Hause zu bleiben.
- Alarmstufe II In Sperrbezirken wird für einige Stunden am Tag ein Fahrverbot für den privaten Kraftfahrzeugverkehr fällig. Fabriken und Kraftwerke müssen nun mit schadstoffärmeren Brennstoffen befeuert werden.
- Alarmstufe III Fahrverbot rund um die Uhr. Für umweltbelastende Betriebe kann eine Einschränkung der Produktion oder sogar ein Stop verordnet werden.

lungen geschehen kann, wenn die reinigende Wirkung von Wind und Wetter einmal nachläßt:

In London starben im Dezember 1952 4000 Menschen im Smog, hervorgerufen durch einen außergewöhnlich hohen Gehalt an Schwefeldioxid und Staub in der Luft. 150 Menschenleben forderte eine Smogkatastrophe im Ruhrgebiet im Frühjahr 1962; ein Jahr später sollen in New York 400 Menschen einer Smogwetterlage zum Opfer gefallen sein.

Mit derartigen Katastrophen muß man heutzutage wohl nicht mehr rechnen.

Ob aber die Vorbeugemaßnahmen ausreichen, um Leib und Leben der Menschen gegen die Wirkung der Luftverschmutzung zu schützen, mag bezweifelt werden.

Zwar lagen im Smogwinter 1985 die Menschen des Ruhrgebiets nicht massenweise im Krankenhaus, aber Untersuchungen haben gezeigt, daß schon geringe Mengen an Staub und Schwefeldioxid in der Luft einigen Menschen zu schaffen machen können (siehe Seite 47). In London stellte man zwischen November 1958 und Februar 1959 eine Zunahme der Todesfälle fest, als sich zu einem Schwefeldioxidgehalt von $0,71 \text{ mg/m}^3$ Luft ein Staubgehalt von $0,75 \text{ mg/m}^3$ gesellte.

Wir kennen das Problem nun schon:

Man kann nicht sagen, Smogluft macht mit Sicherheit krank. Sicher ist allerdings, daß das Risiko wächst, besonders für Kinder, alte Menschen, für Herz- und Kreislaufkranke, vielleicht auch für Raucher und für Menschen, die schon am Arbeitsplatz tagein, tagaus ihre Schadstoffmengen verpaßt bekommen.

Und dabei sind Schwefeldioxid und Staub nur ein Teil der Schadstoffe, die jedes Jahr allein in der Bundesrepublik in Millionen von Tonnen an die Luft geblasen werden.

Ein „Lebensmittel“ wird verdorben

Von Natur aus ist chemisch reine Luft ein Gemisch aus verschiedenen Gasen. Den Löwenanteil bildet *Stickstoff*, chemisch gesehen ein ausgesprochen träges Element. Nur ungern geht Stickstoff mit anderen Stoffen eine chemische Verbindung ein.

Dagegen treibt es das zweithäufigste Gas in die Luft, der *Sauerstoff*, recht munter, besonders, wenn es etwas heißer wird: bei jeder Verbrennung verbindet sich Sauerstoff mit dem brennenden Stoff. Aus Kohlenstoff wird so Kohlendioxid, brennender Schwefel reagiert zu Schwefeldioxid⁵.

Auch ohne Flamme ist Sauerstoff ein feuriger Partner.

Auto- und Fahrradbesitzer ärgern sich über sein Treiben, wenn er sich mit Eisen zu Rost verbindet. Und weil der Sauerstoff seit der Erdentstehung vor 5–6 Milliarden Jahren so fleißig war, findet man ihn heutzutage in rauen Mengen überall gebunden.

Zusammen mit Wasserstoff bildet er die Wasserteilchen der Weltmeere; in der Erdkruste ist er in Form von Erzen mit zahlreichen Metallen verbunden; als Bestandteil von Stärke und Eiweiß kommt er in allen lebenden Organismen vor.

Mit dieser Geschäftigkeit können die reaktionsfaulen, in Spuren vorhandenen *Edelgase* nicht mithalten. Sie gehen so gut wie nie eine Bindung ein und haben sich wohl deshalb seit Urzeiten immer mehr von der Erde in's Weltall verflüchtigt. Es gab keine Stoffe, an die sie chemisch gebunden und damit für die Nachwelt gespeichert werden konnten.

Außerdem befindet sich in der Luft noch *Kohlendioxid*, ein Gas, das bei der Atmung ausgeschieden und von Pflanzen zum Aufbau von

⁵ Die Endung „-oxid“ weist auf eine chemische Verbindung mit Sauerstoff hin.

Nährstoffen verwendet wird (siehe Seite 36). Soweit die Bestandteile chemisch reiner Luft.

In dieser vornehmen Zusammensetzung kommt die Luft allerdings nur im Chemiebuch vor.

Jede Menge Wasserdampf treibt sich, je nach Klima, in der Luft umher. Von Natur aus gelangen jährlich etliche Millionen Tonnen an Gasen und Stäuben in die Luft, durch Vulkane, Waldbrände, Verwesungen.

Dort, wo wir Menschen uns niedergelassen haben und geballt auf die Luft einwirken, bestimmen vor allem unsere Lebensweisen Art und Menge der Stoffe, durch die unsere Atemluft belastet wird. So stammen in Europa rund 95% des Schwefeldioxids und etwa 80% der Stickoxide (siehe Seite 45) in der Luft aus menschlichen Quellen. In einem dicht besiedelten Industrieland wie der Bundesrepublik gehen sogar über 99% von beiden Luftschadstoffen auf das Konto unserer Geschäftigkeit.

Seit sich die Menschen niedergelassen und sich mit der Kontrolle über das Feuer eine vielseitige Energiequelle erschlossen haben, machen sie sich ihre Atemluft schmutzig. Zunächst verpesteten sie allerdings nur ihre nähere Umgebung.

Zum Ärger der Nachbarn – Luftverschmutzung früher

Schon im alten Griechenland gab es vor rund 2500 Jahren Zank und Streit um saubere Luft. So durften Lederhersteller wegen der starken Geruchsbelästigung den Tieren nur mit besonderer Erlaubnis das abgezogene Fell gerben.

Die Römer, denen es stank, wenn Gerber, Abdecker, Ölpresser und Salzsieder die Luft mit den Düften ihres Gewerbes verpesteten, verbannten diese Handwerker auf das weniger besiedelte Ufer des Tibers.

Und als die alten Germanen längst in Städten und Dörfern ihrer Arbeit nachgingen, gab es auch dort Ärger um die Luft.

Eine Verordnung von 1348 verbot den Schmieden in Zwickau (heute DDR), ihre Feuerstellen mit der arg rußenden Kohle zu heizen. In Goslar setzte eine „Bürgerinitiative“ durch, daß in der Stadt und in der näheren Umgebung keine Erze verarbeitet wurden. In England

verbot König Edward I. Ende des 13. Jahrhunderts den Bewohnern Londons, mit Kohle zu heizen, wenn seine empfindliche Gattin in der Stadt weilte.

Mit Verordnungen und Vertreibungen versuchte man im 14. Jahrhundert in Paris, Venedig und Köln Luftverpestern das Leben schwer zu machen.

Doch durch die Ausbreitung des Handwerks in den Städten und das Anwachsen der Einwohnerzahlen verdreckte die Luft immer mehr. Reisende im 15. Jahrhundert hielten es bereits für mitteilenswert, daß die Luft in Basel, Ulm und Nürnberg besonders gut wäre.

In London vermutete schon 1665 ein Arzt, die Sterblichkeit in dieser Stadt läge vor allem deshalb über dem Landesdurchschnitt, weil der Kohlerauch aus den Feuerstellen in Wohnräumen und Handwerksbetrieben die Luft vergiftete.

Eine feine Dame der Londoner Gesellschaft sah trübe Aussichten:

„Oh mein Gemahl, wir werden uns niemals wohl fühlen, wir so wenig wie unsere Kinder, so lange wir den Geruch des Kohlenrauches dieser Stadt ertragen müssen“ (nach Werner Sombart).

Kaum 200 Jahre später mußten sich die feinen Herrschaften schon nach dem Wind richten, wenn sie in den Städten ein Plätzchen in halbwegs erträglicher Luft ergattern wollten.

Als Friedrich Engels in der Mitte des letzten Jahrhunderts die Auswirkungen der Industrialisierung in England erkundete, fiel ihm auf, daß die reichen Leute die östlichen Stadtteile als Wohnort mieden. Dorthin wurden nämlich die Abgase der Stadt getrieben, vom Wind, der meistens aus dem Westen weht.

Wenige Jahrzehnte später bot jedoch auch die umsichtige Planung des Wohnorts keine Garantie mehr für saubere Atemluft.

Schlechte Luft macht sich breit – die Industrialisierung

Im Verlauf des 19. Jahrhunderts veränderten sich mit der *Industrialen Revolution* zunächst in England, dann in Frankreich, Deutschland und den USA die Lebensumstände der Menschen, gründlich und mit einem ungeheuren Tempo.

Angesichts elender Lebensbedingungen waren zahllose Menschen gezwungen, für niedrigste Löhne zu arbeiten. Die Veränderung der Arbeitsabläufe von der handwerklichen zur maschinellen Produktion sowie die Aussicht auf hohe Gewinne führten zu einem sprunghaften Wachstum zahlreicher Industriezweige.

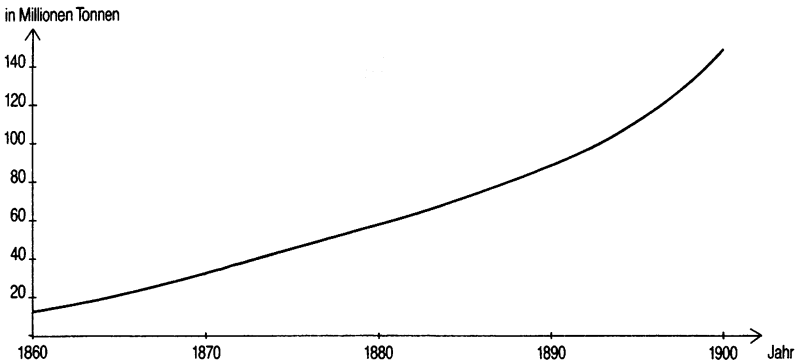
Mit der Erfindung der Dampfmaschine war der Betrieb gewaltiger Maschinen möglich geworden. Das Wachstum einzelner Industriezweige schaukelte sich gegenseitig hoch: der Aufschwung der Textilindustrie heizte den Maschinenbau an, wodurch die Nachfrage nach Eisen und Stahl wuchs. Neue Techniken in der Eisenverhüttung führten zu einer gewaltigen Steigerung der täglichen Roheisenproduktion.

Der große Bedarf an Soda und Schwefelsäure in der Textil-, Glas- und Seifenindustrie kurbelte die chemische Industrie an, das Bauwesen blühte auf. Ein rasch wachsendes Eisenbahnnetz stellte die Transportverbindungen für diese Geschäftigkeiten her.

Der Kraftstoff, der das rasche Wachstum der Industrie mit der nötigen Energie fütterte, war – Kohle.

Kohle lieferte die Verbrennungswärme zur Erzeugung von Wasserdampf, mit dem Maschinen, Lokomotiven, Schiffe auf Touren gebracht wurden. Die Eisenindustrie verlangte immer größere Men-

Kohle – das Kraftfutter der Industrialisierung



Der Anstieg des Kohleverbrauchs in Deutschland

Städte veränderten ihr Gesicht ...



Essen 1822 (oben) und 1867 (unten)

... und schienen zu platzen:

Einwohnerzahl von

Berlin	1840: 323 000	1880: 1 100 000
Hannover	1850: 50 000	1880: 1 230 000
Essen um	1800: 4 000	1910: 443 000

Quelle: Varchmin/Radkau 1981, S. 119 (für das Stadtbild)

gen des Rohstoffs Kohle, ebenso die Chemiewerke. Und als die Entwicklung von Elektromotoren und Dynamomaschinen in den sechziger Jahren des letzten Jahrhunderts die Nutzung der Elektrizität für den Maschinenantrieb möglich machte, wurde Kohle zunehmend auch in den vielerorts erbauten Kraftwerken verheizt. Schließlich diente die Kohle zur Beheizung der zahllosen, oft notdürftig errichteten Unterkünfte für die Menschen in den rasch wachsenden Städten.

Zwischen 1861 und 1912 stieg der Kohleverbrauch in Deutschland um das 13fache an (siehe Grafik Seite 23).

Zusammen mit anderen Abgasen aus der Produktion wurde der Kohlerauch als überflüssiger Müll behandelt, den man auf die billigste Art loswerden wollte; man blies einfach alles in die Luft.

Die Folgen ließen nicht lange auf sich warten. Schon waren in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts in der Nachbarschaft von Industriezentren Waldschäden festzustellen. Im oberschlesischen Kattowitz (heute: Polen) ging ein ganzer Wald in den Abgasfahnen der Kohle- und Eisenhütten ein. Biologen und Forstleute veröffentlichten Untersuchungen über „Rauchschäden“ an Bäumen; 1867 beschäftigte sich schon der Sächsische Landtag mit diesem Thema.

Offenbar sah es in anderen Ländern ähnlich aus, denn bald gründete sich ein *Internationaler Ausschuß von Sachverständigen für Rauchschäden*. In den zwanziger Jahren unseres Jahrhunderts warnte ein internationaler Expertenkongreß in Rom vor den Schäden an Pflanzen, Tieren und Menschen, hervorgerufen durch die Luftverunreinigungen. Eine Bremer Tageszeitung informierte ihre Leser schon 1928 über den Zerfraß von Steinen in verschmutzter Luft.

Doch so schlecht wie das Wachstum der Industrie auch der Luft bekommen sein mag – einer unserer größten Luftverschmutzer von heute bewegte sich bis zum Zweiten Weltkrieg eigentlich noch in Kinderschuhen: das Auto.

Um 1910 kurvten etwa 30000 Kraftfahrzeuge auf deutschen Straßen herum, dreißig Jahre später waren es immerhin schon über drei Millionen.

Aber diese Steigerung war ein Klacks, verglichen mit dem, was unserer Luft nach dem Zweiten Weltkrieg an Kraftfahrzeugen zugemutet wurde.

Wer verursacht welchen Schmutz? Schadstoffemissionen heute

Nach dem Zweiten Weltkrieg setzte in den Industrieländern ein Wirtschaftswachstum ein, das alle vorherigen Entwicklungen in den Schatten stellte.

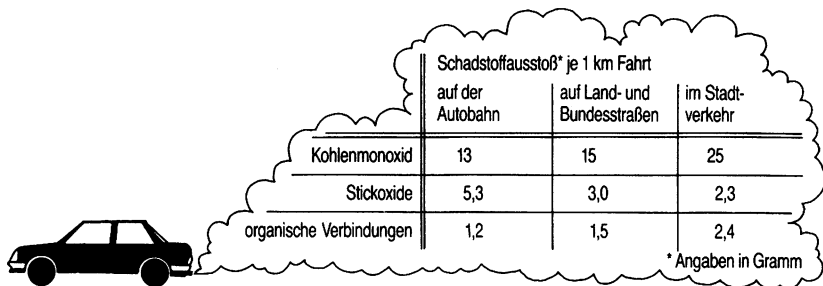
In der Bundesrepublik stieg der Wert der produzierten Waren und Dienstleistungen aller Art zwischen 1950 und 1980 um das 15fache

an. Der Energiebedarf verdreifachte sich in dieser Zeit, besonders stark kletterte der Anteil des Erdöls in die Höhe. Knapp vier Millionen Tonnen konnten 1950 den Bedarf decken, 1980 mußten es 130 Millionen sein.

Großen Anteil an der rasanten Steigerung des Erdölbedarfs hatte der Kraftfahrzeugverkehr.

1950 fuhren auf den Straßen der Bundesrepublik etwa eine Million Kraftwagen, davon rund 600 000 Pkws, herum. Dreißig Jahre später waren es 25 Millionen Kraftwagen, darunter 23 Millionen Personenkraftwagen; Mitte der achtziger Jahre gibt es unter den 28 Millionen Kraftfahrzeugen schon 25 Millionen Pkws.

Schmutz aus den Auspuffrohren



	Schadstoffausstoß* je 1 km Fahrt		
	auf der Autobahn	auf Land- und Bundesstraßen	im Stadtverkehr
Kohlenmonoxid	13	15	25
Stickoxide	5,3	3,0	2,3
organische Verbindungen	1,2	1,5	2,4

* Angaben in Gramm

Der Schadstoffausstoß beim Kraftfahrzeug hängt von der Fahrzeugart, der Fahrgeschwindigkeit und dem Fahrverhalten ab. Die Tabelle gibt durchschnittliche Werte für Pkws an.

Alle Pkws zusammen haben 1982 in der Bundesrepublik rund 290 000 Millionen km zurückgelegt.

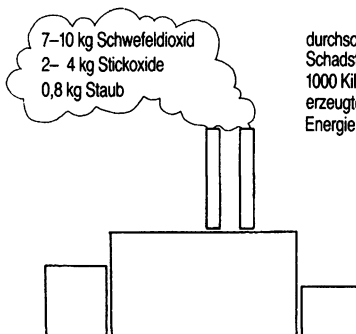
Zu den rund 8 Millionen Tonnen an Schadstoffen, die alljährlich im Straßenverkehr produziert werden, kommen jeweils noch rund 2,5 bis 3 Millionen Tonnen aus den Schornsteinen von Verbrennungskraftwerken, Industriebetrieben und Haushalten. Die Chemikalien, die sich in diesen Abgasen tummeln, faßt man zu Schadstoffgruppen zusammen.

Schwefeldioxid, eine chemische Verbindung aus Schwefel und Sauerstoff, entsteht immer dann, wenn schwefelhaltige Brennstoffe wie

Kohle oder Erdölprodukte verheizt werden (siehe Seite 45 ff.). Kraft- und Fernheizwerke sorgen vor allem mit ihren kohlebefeueten Öfen für einen hohen Schwefeldioxidaustritt. Dagegen wird von der Industrie die Luft hauptsächlich durch Verfeuerung des schweren

Elektrischer Strom – eine saubere Sache?

Für uns als Verbraucher ist der elektrische Strom scheinbar eine saubere Angelegenheit. Doch etwa 60% des elektrischen Stroms werden in Kohlekraftwerken erzeugt – und dabei wird heute noch ein Haufen Dreck in die Luft geblasen.



durchschnittliche
Schadstoffabgabe je
1000 Kilowattstunden
erzeugter elektrischer
Energie *

Diese Energie genügt
gerade, um...

100 Glühbirnen eine
Woche brennen zu
lassen
oder
10 Straßenbahnen rund
40 Minuten fahren zu
lassen
oder
100 Heizsonden 10
Stunden lang zu
betreiben

* 1982 wurden in den Kohlekraftwerken der Bundesrepublik 180900 Millionen Kilowattstunden elektrische Energie erzeugt.

Heizöls (Heizöl S) mit Schwefeldioxid belastet. Im Verkehr qualmt Schwefeldioxid im wesentlichen aus den Auspufftöpfen der Dieselfahrzeuge. Die Haushalte und Kleinverbraucher (Militär und Kleinbetriebe) jagen das Gas mit den Abgasen der Heizungsanlagen in die Luft.

Unter der Bezeichnung *Stickoxide* faßt man gasförmige Verbindungen des Stickstoffs mit Sauerstoff zusammen. Die verschiedenen Stickoxide unterscheiden sich in der Anzahl der Sauerstoff- und Stickstoffteilchen, die miteinander verbunden sind (siehe Seite 46). Stickoxide bilden sich bevorzugt bei Verbrennungen mit hohen Temperaturen. Ein idealer Entstehungsort für diese Gase ist daher der Motor von Kraftfahrzeugen; auch in den heißen Öfen der Kraftwerke und der großen Feuerungsanlagen von Industriebetrieben gehen Stickstoff und Sauerstoff miteinander Verbindungen ein.

Da in Haushalten und Kleinbetrieben die Öfen zumeist mit „kleiner“ Flamme geheizt werden, ist dort die Stickoxidbildung recht gering. Auch für die Entstehung des Gases *Kohlenmonoxid* gibt es bevorzugte Reaktionsbedingungen: Verbrennungen kohlenstoffhaltigen Materials bei hohen Temperaturen oder mit mangelnder Luftzufuhr (siehe Seite 42).

Die Verbrennung des Treibstoff-Luftgemisches in Fahrzeugmotoren bietet ein gutes Klima für die Bildung von Kohlenmonoxid. Haushalte und Kleinbetriebe verursachen hohe Kohlenmonoxidbelastungen, weil dort die Öfen oft schlecht belüftet sind und daher bei der Verbrennung der Kohlenstoff aus Heizöl, Brikett und Eierkohle nur unzureichend mit Sauerstoff reagiert. Dagegen dampft aus den Schloten der gut belüfteten Kraftwerksöfen vergleichsweise wenig Kohlenmonoxid. Im Bereich Industrie tragen vor allem Eisen- und Stahlerzeuger, in geringerem Maße Chemiebetriebe und Müllverbrennungsanlagen zur Kohlenmonoxidproduktion bei.

Staub ist eine Sammelbezeichnung für zahlreiche Stoffe, die alle eines gemeinsam haben: als winzige Teilchen, manchmal angelagert an Wassertröpfchen, schwirren diese Stoffe in der Luft umher und rieseln hier und dort auf Gemüsebeete, Ackerböden und Viehweiden. Staub huscht Kraftwerken und Kleinverbrauchern bei der Kohle- und Ölverbrennung aus dem Kamin. Im Verkehr staubt es vor allem aus den Auspuffrohren der Dieselfahrzeuge. Die Industrie macht ihren Staub hauptsächlich in den Branchen Metallherstellung, Metallverarbeitung und Baustoffproduktion. Außerdem wird beim Transport sogenannter Schüttgüter wie Kohle, Erze, Getreide und Futtermittel jede Menge Staub aufgewirbelt.

Zu den *organischen Verbindungen* gehören viele Millionen sehr verschiedenartiger Stoffe, deren Hauptbestandteil Kohlenstoff ist (siehe Seite 76 ff.). Da organische Verbindungen bei hohen Temperaturen weitgehend abgebaut werden, stammen aus den Kraftwerksschloten nur geringe Mengen dieser Stoffe. Durch die unvollständige Verbrennung des Treibstoffes im Kraftfahrzeugmotor wird der Straßenverkehr zur Hauptquelle der Luftverschmutzung mit organischen Verbindungen. Der größte Teil der Industrieemissionen stammt aus den Schornsteinen von Chemiebetrieben und aus der rohölverarbeitenden Industrie. Gut 100000 Tonnen organischer Verbindungen kommen jährlich an die Luft, weil immer etwas Benzin beim Tanken, beim Transport und während der Lagerung verdampft.

Die dicksten Brocken

jährliche Emissionen in der Bundesrepublik*



Gesamtmenge 1982	Kraft- und Heizwerke	Industrie	Haushalte und Kleinver- braucher	Verkehr
<i>Schwefeldioxid</i>				
3,0 Mio t	davon 1,8 Mio t = 62,1%	0,8 Mio t = 25,2%	0,3 Mio t = 9,3%	0,1 Mio t = 3,4%
<i>Stickoxide</i>				
3,1 Mio t	davon 0,9 Mio t = 27,7%	0,4 Mio t = 14,0%	0,1 Mio t = 3,7%	1,7 Mio t = 54,6%
<i>Kohlenmonoxid</i>				
8,2 Mio t	davon 0,034 Mio t = 0,4%	1,12 Mio t = 13,6%	1,72 Mio t = 21,0%	5,33 Mio t = 65,0%
<i>Staub</i>				
0,7 Mio t	davon 0,15 Mio t = 21,7%	0,42 Mio t = 59,7%	0,06 Mio t = 9,2%	0,07 Mio t = 9,4%
<i>Organische Verbindungen</i>				
1,6 Mio t	davon 0,01 Mio t = 0,6%	0,45 Mio t = 28,0%	0,52 Mio t = 32,4%	0,62 Mio t = 39,0%
<i>Chlorwasserstoff</i>	zusammen rund 100000 Tonnen, vornehmlich aus Kohle- kraftwerken und Müllverbrennungsanlagen			
<i>Flourwasserstoff</i>	zusammen rund 20000 Tonnen, vornehmlich aus Kohle- kraftwerken, aus der Klinker- und Ziegelsteinproduktion und aus Aluminiumhütten			

* Das Wort Emission stammt vom lateinischen Wort emitto (von sich geben) ab.

Die Emissionsangaben sind dem Dritten Immissionsschutzbereich der Bundesregierung entnommen, der 1984 erschienen ist. Der Immissionsschutzbericht wird jeweils ein Jahr nach Amtsantritt einer neuen Regierung veröffentlicht. Den nächsten Bericht wird es daher erst 1988 geben – wenn alles seinen geregelten Gang nimmt. Die Angabe Mio t steht für: Millionen Tonnen.

Derartige Verflüchtigungen machen auch den Hauptteil der Emissionen im Bereich der Kleinverbraucher aus: Druckereifarbe, Anstrichmittel, Lösungsmittel, Verdüner und Klebstoffe verdampfen wäh-

Eine schöne Mischung

Schwefeldioxid

Wirkung auf Menschen: Stechend riechendes Gas, das Hustenreizungen auslöst. Reizt Schleimhäute von Augen und Atemwege. Besonders empfindlich reagieren Personen mit Atemwegserkrankungen.

Hauptverursacher von Smog.

Wirkung auf Pflanzen: Vermutlich eines der Hauptursachen für das Waldsterben. Nadelhölzer reagieren empfindlicher als Laubbäume. Besonders empfindlich sind Johannisbeer- und Stachelbeerpflanzen sowie einige Flechtenarten. Das Gas zerstört das Blattgrün, es bilden sich helle Flecken, das Blattgewebe stirbt ab. Als Mitverursacher des *sauren Regens* wirkt es auch über den Boden auf die Pflanze.

Sonstige Wirkungen: Beteiligt an der vorzeitigen Verwitterung von Steinbauwerken, Glasmalereien, Beton, Stahlbeton und Zement. Verringert die Festigkeit von Nylon, Leinen, Baumwolle, macht einige Ledersorten bröselig, läßt Farbanstriche ermatten und Papier vergilben.

Weitere Informationen siehe Seite 45 ff.

Stickoxide

Wirkung auf Menschen: Bedeutsam ist vor allem das Stickstoffdioxid, ein rötlich-braunes Gas. Geringe Konzentrationen verursachen Atembeschwerden, da das Gas tief in die Lungen eindringen kann und dort die Sauerstoffabgabe ans Blut behindert. Asthmakranke und Menschen mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen leiden besonders.

Mitverursacher des „*Sommersmogs*“ (siehe Seite 50).

Wirkung auf Pflanzen: Wahrscheinlich am Waldsterben beteiligt. In sehr belasteten Gebieten vergilben Pflanzenblätter. Weniger wirksam als Schwefeldioxid.

Sonstige Wirkungen: Läßt einige Kunststoffarten spröde werden. Reagiert in der Luft zusammen mit anderen Stoffen. Dabei entstehen Folgeprodukte, die starke Wachstumsstörungen bei Pflanzen erzeugen sowie Augenreizungen, Brust- und Halsbeschwerden und körperliche Ermattung hervorrufen.

Weitere Informationen siehe Seite 48 ff.

Kohlenmonoxid

Wirkung auf Menschen: Geruch- und farbloses Gas, das sich an die roten Blutkörperchen anlagert und die Sauerstoffaufnahme beim Atmen verhindert. Führt schon in geringen Konzentrationen zur Verringerung der Aufmerksamkeit und der Reaktionsfähigkeit. Erzeugt Kopfweh, Schwindel, Müdigkeit.

Sonstige Wirkungen auf Pflanzen und Materialien nicht bekannt.

Weitere Informationen siehe Seite 42 ff.

Stäube

Wirkung auf Menschen: Feine Stäube verschärfen die Wirkung von Schwefeldioxid.

Sonstige körperliche Schäden hängen von den jeweiligen Stoffen ab, die an den Stäuben angelagert sind. Einige Metalle reichern sich zum Beispiel in Niere und Leber an, Asbeststaub kann schwere Lungenschäden hervorrufen.

Wirkung auf Pflanzen: Cadmium wird vor allem über die Wurzeln aufgenommen und führt, stärker als Blei, zu Wachstumsstörungen.

Weitere Informationen siehe Seite 57 ff.

Organische Verbindungen

Wirkung auf Menschen: Keine einheitliche Wirkung; einige Verbindungen rufen Schleimhautentzündungen hervor, andere reizen die Atemwege, tragen zur Ermüdung und zum Unwohlsein bei, wieder andere stehen im Verdacht, Krebs zu erzeugen.

Wirkung auf Pflanzen: Bisher wenig erforscht.

Weitere Informationen siehe Seite 76.

Chlorwasserstoff und Fluorwasserstoff

Wirkung auf Menschen: Stechend riechende, farblose Gase. Chlorwasserstoff reizt die Schleimhäute und führt zu Heiserkeit und Erstickungsgefühlen. Fluorwasserstoff wird vom Körper aufgenommen und kann das Knochenwachstum stören.

Wirkung auf Pflanzen: Zusammen mit Wasser bilden beide Gase Säuren (Salzsäure und Flußsäure). Sie tragen zur Säuerung des Bodes bei. Auf Fluorwasserstoff reagieren Pflanzen 100–1000mal empfindlicher als auf Schwefeldioxid. Das Gas führt zu Braunfärbungen der Blattränder, Wachstumsstörungen und Ertragseinbußen. Besonders empfindlich sind Steinobstgewächse, Wein und Zierpflanzen wie Tulpen und Gladiolen. Chlorwasserstoff verursacht ähnliche Schäden, wirkt aber schwächer.

Sonstige Wirkungen: Chlorwasserstoff läßt Metalle anlaufen und raubt Farbanstrichen den Glanz. Fluorwasserstoff wirkt ätzend auf Glas. Als Gas läßt es das Glas matt werden, als Flußsäure löst es Glas an der Oberfläche auf.

rend der Benutzung und reichern die Luft mit allerlei organischen Verbindungen an.

Wie sich dieses Gemisch aus ätzenden, stinkenden, gesundheitsschädlichen, zum Teil krebserzeugenden Gasen und Stäuben auswirkt, hängt natürlich davon ab, wo die Stoffe bleiben, wenn sie an die Luft gesetzt worden sind.

Wo bleibt der Schmutz? Die Schadstoffimmission

Während man unter „Emission“ die Schadstoffe versteht, die an die Luft abgegeben werden, spricht man von „Immission“⁶, wenn die Stoffe gemeint sind, die von der Luft aus auf Pflanzen, Sachgüter, Tiere und Menschen einwirken. Die Immission ist zwar abhängig von der Emission; wenn große Schadstoffmengen in die Luft gelangen, ist auch die Belastung durch die Luft hoch: aber da Wind und Wetter bei der Verteilung von Emissionen kräftig blasen, gibt es auch Schadstoffimmissionen in Gegenden, die weit entfernt von der Schmutzquelle liegen.

Schwermetalle wie das Blei aus den Auspuffrohren unternehmen in der Regel keine weiten Reisen. Sie belasten die Luft in der Nähe der Verschmutzungsquelle. In den verkehrsreichen und schlecht belüfteten Straßenschluchten der Großstädte ist die Luft daher auch besonders bleihaltig. Auf dem Lande ist der durchschnittliche Bleigehalt der Luft zehnmal geringer als in den Ballungszentren (siehe Seite 63). Wer jedoch in der Nähe von Betrieben wohnt, die schwermetallhaltige Stäube an die Luft geben, bekommt tagein, tagaus sehr viel größere Bleirationen verpaßt als der Großstadtmensch. In der ländlichen Umgebung einiger niedersächsischer Metallhütten lagern sich täglich bis zu 40mal mehr Blei je Quadratmeter Boden ab als in den Städten Frankfurt und Hamburg (siehe Seiten 66, 69). Da kann es denn schon mal vorkommen, daß die niedersächsische Landesregierung die betroffene Bevölkerung davor warnt, Obst und Gemüse aus dem eigenen Schrebergarten zu essen. In der Nachbarschaft einer Hamburger Kupferfabrik und eines Berliner Batteriebetriebs müssen die Eltern darauf achten, daß ihre spielenden Kinder bloß keine Erde in den Mund nehmen – sie ist zu stark mit Schwermetallen angereichert (siehe Seite 72).

6 immitto, lateinisch: hineinlegen. Die Höhe der Immissionen wird ausgedrückt durch die Masse eines Schadstoffes (in Milligramm) pro Kubikmeter (m^3) Luft. Eine Immission von $0,8 \text{ mg}/m^3$ Schwefeldioxid bedeutet also: in jedem Kubikmeter Luft befinden sich durchschnittlich $0,8$ Milligramm Schwefeldioxid.

Staubablagerungen gibt man an in: Masse des abgelagerten Stoffes pro Quadratmeter Fläche je Tag. $0,7 \text{ mg}/m^2$ Blei pro Tag bedeutet: auf jeden Quadratmeter Boden rieseln täglich durchschnittlich $0,7 \text{ mg}$ Blei.

Andere Schadstoffe sind besser verteilt.

Vor allem Schwefeldioxid und Stickoxide, die aus den hohen Schornsteinen der Kraftwerke und einiger Fabriken geblasen werden, kommen weit herum.

So leiden die norwegischen Seen an den Abgasen britischer und deutscher Industriegebiete. Bei günstigen Winden genügen 24–48 Stunden, bis das Schwefeldioxid aus dem Ruhrgebiet den Regen in Norwegen säuert. Bläst der Wind allerdings aus Nordwesten, ziehen die Abgase auch schon mal gen Süden. Die griechische Akropolis zertfällt unter anderem auch deshalb, weil die Schadstoffe aus Westeuropa an ihrem Stein nagen.

Die Schwefeldioxid- und Stickoxidemissionen aus kurzen Schornsteinen und aus den Auspuffen bleiben eher bescheiden vor Ort.

In Ballungsgebieten ist der Stickoxidgehalt im Jahresdurchschnitt deshalb auch höher ($0,04\text{--}0,1\text{ mg/m}^3$) als auf dem Lande ($0,005$ bis $0,02\text{ mg/m}^3$).

An Hauptverkehrsstraßen erreicht er auch schon mal Spitzenwerte von $0,4\text{ mg/m}^3$ (siehe Seite 48).

Auch die Schwefeldioxidmissionen sind übers Jahr gesehen in den Ballungsgebieten höher ($0,03\text{--}0,1\text{ mg/m}^3$) als in ländlichen Gegenden ($0,007\text{--}0,03\text{ mg/m}^3$). Doch auch dorthin kann bei entsprechenden Winden einiges getragen werden wie zum Beispiel ins nordöstliche Bayern, wo schon Spitzenwerte von $1,8\text{ mg/m}^3$ gemessen worden sind.

Kohlenmonoxid ist vor allem eine Plage für die Stadtbewohner.

Die Immissionshöhe hängt vom Verkehrsaufkommen und den Windverhältnissen in der Stadt ab. So werden in Frankfurt/Main im Jahresdurchschnitt an einer Meßstelle 10 mg/m^3 Kohlenmonoxid ermittelt; es treten jedoch zeitweise Spitzenwerte bis zu 70 mg/m^3 auf. Im windigen Bremen hat man es mit durchschnittlichen Jahreswerten von $0,3\text{--}1,7\text{ mg/m}^3$ besser, allerdings muß man in der verkehrsreichen Innenstadt bis zu $7,3\text{ mg/m}^3$ hinnehmen (siehe Tabelle Seite 44).

Von günstigen Winden aufgewirbelt und weggetragen, schweifen auch Kohlenmonoxid und Schwermetalle hin und wieder mal in die Ferne.

Als von der amerikanischen Raumfähre Columbia im November 1981 Messungen der Lufthülle unserer Erde vorgenommen wurden, ließ sich eine riesige Wolke aus Kohlenmonoxid feststellen, die sich

von der Ostküste der USA über den Atlantik in Richtung Europa wälzte.

Meeresforscher vermuten, daß die Hälfte des Bleis im Mittelmeer auf das Konto schwermetallhaltiger Abgase aus ganz Mitteleuropa geht.

Von nah und fern mischen sich die Schadstoffe und schwirren in einigen Gebieten recht üppig, in anderen Gegenden etwas weniger dicke in der Luft umher.

Zwar läßt sich grob sagen, daß das Gesundheitsrisiko um so größer ist, je stärker die Luft mit Verschmutzungen belastet wird.

Aber da die Menschen sehr unterschiedliche Lebensgewohnheiten haben, ist es schwierig, die Frage zu beantworten: Was können wir verkraften?

Jemand, der am Arbeitsplatz mit Schadstoffen eingedeckt wird, reagiert möglicherweise empfindlicher auf die Luftverschmutzung als viele seiner Mitbürger. Einem kranken Menschen fallen Schadstoffe in der Luft eher zur Last als seinem gesunden Nachbarn. Wer es vorzieht, regelmäßig während der Hauptverkehrszeit seine Innenstadtinkäufe zu erledigen, setzt sich auf Dauer höheren Belastungen aus als jemand, der sich allenfalls mal beim Sommerschlußverkauf dort herumtreibt. Und wer schon mit der Nahrung überdurchschnittlich viel Giftstoffe zu sich nimmt, vielleicht, weil er Leber und andere Innereien bevorzugt, ist unter Umständen durch die zusätzlichen Luftschadstoffe stärker gefährdet als ein Gesundheitsapostel.

Im Einzelfall ist so gut wie nie nachzuweisen, daß schmutzige Luft Schuld an einer Erkrankung ist. Immer gibt es den kerngesunden Mitbürger, der die gleiche Luft atmet und dem das alles nichts ausmacht.

Aber es gibt Anhaltspunkte, daß die Luft unserer Gesundheit schadet, auch ohne Smogalarm und bevor die Leute reihenweise umkippen.

Blickt man auch noch ein wenig in die Zukunft, wird man feststellen, daß Stoffe, die heute noch recht harmlos scheinen, den Menschen eines Tages schwer zu schaffen machen könnten.

Wie zum Beispiel das Kohlendioxid, das Gas, das wir alle ausatmen, das so prickelnd in unseren Getränken sprudelt – aber das auch immer dann entsteht, wenn kohlenstoffhaltiges Material verbrannt wird, sei es Benzin, Heizöl, Kohle oder Holz.

Qualm aus Schloten und Rohren – Verbrennungsrückstände von Kohle, Öl und Gas

Wenn wir heute mit Kohle- und Erdölprodukten die Bude heizen, Fahrzeugmotore auf Touren bringen und Kraftwerkessel Dampf machen können, so verdanken wir das den fleißigen Pflanzen.

Die *fossilen Energieträger* Kohle, Gas und Erdöl haben sich hauptsächlich aus den Überresten pflanzlicher Lebewesen gebildet, die vor Jahrmillionen Kontinente und Meere bevölkerten.

Im Laufe ihres Lebens rafften Pflanzen aus ihrer Umwelt verschiedene einfach gebaute chemische Verbindungen zusammen, um daraus Nähr- und Aufbaustoffe zu zimmern.

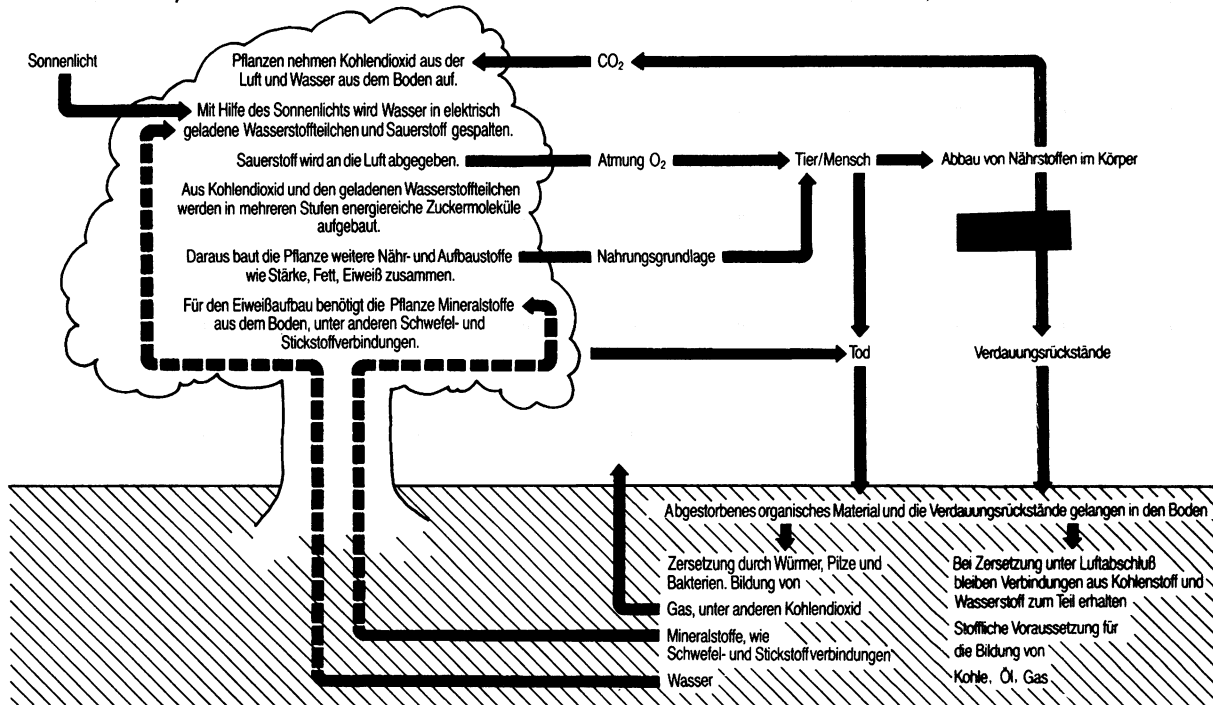
Für diesen Aufbau lebender organischer Materie ist vor allem der Kohlenstoff als vielseitig einsetzbarer Gerüststoff gefragt. Kohlenstoffatome können sich nicht nur mit zahlreichen anderen chemischen Elementen verbinden, sie verknüpfen sich mit Vorliebe auch untereinander. Je nach Anzahl der beteiligten Kohlenstoffatome entstehen auf diese Weise kürzere oder längere Molekülketten, die sich zu Ringen schließen, miteinander verbinden oder sich verzweigen können (siehe Seite 79). Solche verwickelten Kohlenstoffverbindungen bilden das Grundgerüst für den Aufbau so verschiedenartiger organischer Substanzen wie Baumrinden, Blätter, Haut und Haare, Eiweiß, Fett und Fingernägel.

Während Menschen und Tiere den unentbehrlichen Kohlenstoff mit der Nahrung zu sich nehmen, können sich die Pflanzen direkt aus der Luft bedienen – mit Hilfe der *Photosynthese*⁷.

So nehmen zum Beispiel Laubbäume durch feine Spaltöffnungen in den Blättern Kohlendioxid (CO₂) aus der Luft auf. Über die Wurzeln

⁷ Das griechische Fremdwort drückt aus, daß unter Einwirkung von Licht (Photo-) chemische Verbindungen aufgebaut werden (-synthese).

Im Mittelpunkt – die Pflanzen. Der Nährstoffaustausch zwischen Pflanze, Tier und Mensch*



* Sehr vereinfacht: es fehlt zum Beispiel der Nährstoffabbau in der Pflanze.

ziehen die Pflanzen Wasser aus dem Boden und verteilen es bis in die einzelnen Blattzellen, die Nährstoffproduktion kann beginnen: Mit der energiereichen Unterstützung durch das Sonnenlicht spaltet der grüne Blattfarbstoff Chlorophyll⁸ das in die Zellen beförderte Wasser (H₂O). Dabei entsteht freier Sauerstoff, der an die Luft abgegeben wird.

Aus verbleibenden elektrisch geladenen Wasserstoffteilchen (Ionen) und Kohlendioxid baut sich die Pflanze in mehreren Schritten energiereiche Zuckermoleküle (Glukose, C₆H₁₂O₆) zusammen. Rein zahlenmäßig betrachtet benötigt die Pflanze dabei für die Bildung eines Zuckermoleküls die Bestandteile von sechs Molekülen Wasser und sechs Molekülen Kohlendioxid.

Die Zuckermoleküle dienen der Pflanze zur Energieversorgung sowie für den Aufbau weiterer Nähr- und Gerüststoffe wie Stärke, Fett und Eiweiß.

Zur Produktion von Eiweißmolekülen benötigt die Pflanze allerdings noch Stickstoff und Schwefel.

Der Stickstoff als Hauptbestandteil der Luft schwirrt in rauen Mengen um die Blätter herum.

Aber weil Stickstoff ein reaktionsträges Element ist, kann er nicht direkt aus der Luft verarbeitet werden; die Pflanzen müssen sich ihre Stickstoffrationen aus dem Boden ziehen. Dort sind wasserlösliche, stickstoffhaltige Mineralsalze vorhanden, die zum Beispiel entstehen, wenn abgestorbenes organisches Material von Würmern, Pilzen und Bakterien zersetzt wird.

Auch den nötigen Schwefel nehmen die Pflanzen in Form wasserlöslicher Mineralsalze über die Wurzeln auf.

Rund 95% ihrer Substanz baut die Pflanze mit Hilfe des energiereichen Sonnenlichts aus Kohlendioxid und Wasser auf; den Rest steuern Schwefel- und Stickstoffverbindungen sowie einige andere Mineralsalze bei.

Zwar baut die Pflanze einen Teil der gebildeten Nährstoffe zur Sicherung ihrer eigenen Energieversorgung auch wieder ab, doch unterm Strich bleibt reichlich übrig. Fast 170 Milliarden Tonnen *Biomasse* produzieren die Pflanzen weltweit pro Jahr – netto, nach Abzug ihres eigenen Nährstoffverbrauchs (siehe Tabelle Seite 38). Dieser Überschuß nützt Tieren und Menschen.

8 Von „chlörós“, griechisch: gelblichgrün und „phýllon“, griechisch: Blatt.

Fleißige Pflanzen

Etwa 95% ihrer organischen Substanz bauen die Pflanzen aus Wasser und Kohlendioxid mit Unterstützung der Sonnenenergie zusammen.

Weltweit werden so jährlich rund 170 Milliarden Tonnen *Biomasse* aufgebaut, netto, nach Abzug des Eigenverbrauchs der Pflanzen.

Die Tabelle zeigt die Aufbauleistung von Pflanzen in einigen Lebensgebieten der Erde.

	Jährliche Produktionsleistung von Pflanzen (netto) je m ²	Gesamtproduktion (in Milliarden Tonnen)
Tropische Wälder	1–5 kg	40
Wälder in den gemäßigten Zonen	0,6–2,5 kg	23,4
Savannen	0,2–2 kg	10,5
Sümpfe und Marschen	0,8–4 kg	4
Wälder in den nördlichen Breiten	0,4–2 kg	9,6
Ozeane (Algen)	durchschnittlich: 0,155 kg	55

Nach Winkler 1980

Diese vergleichsweise abhängigen Kreaturen atmen nicht nur den Sauerstoffüberschuß, den die Pflanzen erzeugen. Sie sind auch noch darauf angewiesen, ihren Bedarf an Stärke, Zucker und Eiweiß durch pflanzliche Kost zu decken – oder zumindest Fleisch von Tieren zu futtern, die von Pflanzen leben.

Ein wenig geben sie den Pflanzen allerdings auch wieder zurück: Beim Abbau von Nährstoffen im Körper entsteht Kohlendioxid, das von Tieren und Menschen ausgeatmet wird.

Die festen und flüssigen Verdauungsrückstände von Mensch und Tier enthalten brauchbare Stoffe für die Pflanzen. Und wenn pflanzliche und tierische Lebewesen das Zeitliche segnen, übernehmen Würmer und Bakterien die Zersetzungsarbeit (siehe Seite 36).

Mit tatkräftiger Unterstützung des Sauerstoffs in der Luft laufen dabei chemische Reaktionen ab, die von den abgestorbenen Organismen nicht mehr viel übrig lassen: es bilden sich Wasser, Kohlendioxid und einige andere Gase sowie verschiedene Mineralsalze.

Mit diesen Stoffen können sich wiederum die nächsten Pflanzengene-

rationen versorgen – ein Kreislauf der im großen und ganzen schon seit einigen Hundertmillionen Jahren funktioniert.

Ab und zu wird aus diesem Kreislauf allerdings etwas abgezweigt. Wenn abgestorbenes organisches Material unter Luftabschluß gelangt, sei es in Sümpfen oder in den sauerstoffarmen Tiefen von Gewässern, übernehmen Bakterien die Zersetzungsarbeit, die ohne Unterstützung von Luftsauerstoff auskommen.

Das zerstörerische Werk gelingt dann aber nicht vollständig.

Die Bakterien lassen verwickelt aufgebaute chemische Verbindungen aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Schwefel und Stickstoff übrig.

Unter günstigen Voraussetzungen wie anhaltender Luftabschluß und Entstehung eines hohen Drucks können sich aus diesen Überresten im Laufe von Millionen Jahren Öl, Kohle und Erdgas bilden.

So sind die heutigen Steinkohlevorräte zum größten Teil aus den riesenhaften Farnen und Schachtelhalmen entstanden, die die Sumpfwälder vor 350–285 Millionen Jahren (Karbonzeitalter) bevölkerten. Die erdgeschichtlich jüngere Braunkohle hat sich hauptsächlich aus abgestorbenen Laub- und Nadelbäumen des Tertiär (vor 67–1,5 Millionen Jahren) gebildet; tierische und pflanzliche Kleinstlebewesen in den Seen und Meeren der Jura- und Kreidezeit (vor 195–67 Millionen Jahren) lieferten die stoffliche Grundlage für die Entstehung unserer heutigen Erdölvorkommen. Erdgas ist als Nebenprodukt bei der Kohle- und Erdölbildung abgefallen.

Wenn wir heute in wenigen Jahrzehnten Erdgas-, Öl- und Kohlevorkommen verheizen, verfrachten wir Gase an die Luft, die zum Teil auch bei der vollständigen natürlichen Zersetzung der urzeitlichen Pflanzen entstanden wären, allerdings verteilt über viele Millionen Jahre.

Unser Verbrauch dieses Erbes im Zeitraffertempo scheint der Umwelt nicht besonders zu bekommen.

Ein weltweiter Klimastörer – das Kohlendioxid

Bei jeder Verbrennung von Holz, Kohle, Gas oder Erdölprodukten wie Benzin, Heizöl und Dieselkraftstoff reagiert der reichlich vorhandene Kohlenstoff (C) des Brennstoffs mit dem Sauerstoff der Luft (O₂).

Durchschnittliche Zusammensetzung einiger fossiler Energieträger

Chemisch gebundenes Element	1000 kg Steinkohle* enthalten	1000 kg Braunkohle* enthalten	1000 kg Erdöl enthalten
Kohlenstoff	750–970 kg	600–750 kg	800–870 kg
Sauerstoff	10–200 kg	200–350 kg	0– 30 kg
Wasserstoff	25– 45 kg	50– 80 kg	95–140 kg
Schwefel	5– 15 kg	5– 45 kg	0– 50 kg
Stickstoff	5– 25 kg	5– 20 kg	0– 20 kg

* Wasser- und aschefrei, das bedeutet: nach Trocknung und Trennung von Verunreinigungen.

Gelangt ausreichend Luft – und damit Sauerstoff – an den Brennstoff, verbindet sich jeweils ein Atom Kohlenstoff (C) mit einem Molekül Sauerstoff (O_2); es bildet sich das geruch- und farblose Gas Kohlendioxid (CO_2).

Giftig ist dieses Gas eigentlich nicht.

Erst ab Konzentrationen von 5% in der Atemluft ruft Kohlendioxid Schwindelgefühle und Kopfweh hervor und führt möglicherweise zur Ohnmacht oder sogar zum Tod – durch Ersticken.

Solche atemberaubenden Konzentrationen treten allerdings nur in einigen Höhlen sowie in Brunnenschächten auf, wo sich Kohlendioxid anreichert, weil es schwerer ist als Luft. Unter freiem Himmel ist ein derartig hoher Kohlendioxidanteil in der Atemluft nicht zu befürchten, selbst dann nicht, wenn die Verfeuerung fossiler Brennstoffe noch um ein Vielfaches zunähme.

Dennoch könnten die Kohlendioxidemissionen eines Tages ein im wahrsten Sinne des Wortes heißes Problem werden.

Kohlendioxid hat nämlich die Eigenschaft, die Wärmestrahlung der Sonne zu speichern, besser gesagt: es speichert vor allem den Anteil der Sonnenstrahlung gut, der von der erwärmten Erdoberfläche reflektiert wird.

Wächst der Kohlendioxidgehalt der Luft, nimmt auch der Anteil der gespeicherten Sonnenenergie zu, es wird wärmer auf Erden.

In der Mitte des letzten Jahrhunderts reichte die Geschäftigkeit der Menschen bei der Kohleverbrennung gerade aus, um weltweit rund 270 Millionen Tonnen Kohlendioxid im Jahr an die Luft zu blasen.

Um die Jahrhundertwende waren es schon 1300 Millionen Tonnen, heute erreichen wir durch die Verbrennung von Kohle, Öl und Gas jährlich das Zehnfache.

Zwar wird ein Teil des Kohlendioxids von Pflanzen verarbeitet; ein anderer Teil löst sich in Wasser und verschwindet in den Tiefen der Weltmeere.

Aber rund die Hälfte unserer jährlichen Kohlendioxidemissionen aus Verbrennungen bleibt in der Luft und trägt dazu bei, daß ihr Kohlendioxidgehalt weltweit ansteigt, langsam – aber sicher.

In den letzten 100 Jahren hat sich die Kohlendioxidkonzentration um rund 15% erhöht; zur Zeit wächst sie jährlich um weitere 0,4%.

Wenn dieser Trend anhält und damit die Speicherung der Sonnenenergie durch das Kohlendioxid, wird es nach Berechnungen der amerikanischen Umweltschutzbehörde EPA in den nächsten 50 Jahren weltweit im Durchschnitt um 2 °C wärmer. Schon bis zur Jahrhundertwende könnten die Durchschnittstemperaturen um 0,6 °C ansteigen.

Wie schön, wird mancher denken, dem die wenigen Sommertage in unseren Breiten nicht genügen.

Allerdings hätte die Erwärmung möglicherweise zur Folge, daß in den USA, in Europa sowie in großen Teilen der UdSSR, Chinas und Japans die Niederschlagsmengen abnehmen. Dadurch würde aus Flüssen, Bächen und Seen mehr Wasser verdunsten. Der Wasserhaushalt für Pflanzen käme durcheinander, die landwirtschaftlichen Anbaubedingungen würden sich verschlechtern.

So soll zum Beispiel die Maisproduktion in den USA um ein Viertel abnehmen, wenn die Temperaturen durchschnittlich um 2 °C ansteigen. Der Weizenanbau in den USA und in der UdSSR würde rund 10–20% geringere Erträge einbringen.

Hinzu kämen möglicherweise feuchte Überraschungen: Die Erwärmung des Erdklimas würde große Teile des Polareises schmelzen lassen; würde dabei auch das Eis des westlichen Südpolargebiets tauen, könnte der Meeresspiegel um 5–6 Meter ansteigen. Große Teile bewohnter Küstenregionen müßten „Land unter“ melden. In der Bundesrepublik wären davon rund 16% der Fläche der norddeutschen Küstenländer betroffen.

Während die Umweltschutzbehörde der USA befürchtet, daß selbst ein vollständiger – weltweiter! – Verzicht auf die Kohleverbrennung den Anstieg der Temperaturen um 2 °C nur um einige Jahre

hinausschieben würde, zeigt sich die amerikanische Akademie der Wissenschaften gelassen. Nach ihrer Auffassung sollten sich die Regierungen aller Staaten in den nächsten 10–20 Jahren auf eine Energiepolitik einigen, die weniger stark auf die Verbrennung fossiler Energieträger baut. Das „Treibhausproblem“ wäre dann in den Griff zu bekommen.

Natürlich können sich beide Expertengruppen bei ihrem Blick in die Zukunft täuschen; das Risiko tragen die zukünftigen Generationen.

Die Stadtplage – das Kohlenmonoxid

Wenn die Sauerstoffzufuhr bei der Verbrennung kohlenstoffhaltiger Materie gering ist, müssen sich zwei Kohlenstoffatome (2 C) jeweils ein Sauerstoffmolekül (O_2) teilen; es bildet sich Kohlenmonoxid (CO).

Bei hohen Verbrennungstemperaturen über $1000\text{ }^\circ\text{C}$ entsteht dieses Gas auch, wenn noch nicht verbrannter Kohlenstoff (C) aus bereits gebildetem Kohlendioxid (CO_2) ein Sauerstoffatom entreißt.

Schon in Konzentrationen von 1,5–2 Gramm pro m^3 Luft wirkt dieses geruch- und farblose Gas tödlich.

Kohlenmonoxid gelangt zusammen mit der Atemluft in die Lunge und verbindet sich dort mit dem roten Blutfarbstoff *Hämoglobin*.

Dieser Bestandteil des Blutes dient eigentlich dem Transport von Sauerstoff im Körper. Da sich das Kohlenmonoxid jedoch 200 bis 300mal fester an das Hämoglobin klammert als der Sauerstoff, behindert das Gift den Sauerstofftransport. Es kommt zu einem Sauerstoffmangel im Körper, unter dem besonders die Leistungsfähigkeit der Herz- und Gehirnzellen leidet.

Die gesundheitlichen Auswirkungen einer Kohlenmonoxidvergiftung hängen von dem Anteil des Hämoglobins ab, der von dem Gas in Beschlag genommen wird.

In Garagen, in Wohnungen mit schlecht ziehenden Öfen oder bei Unfällen an Hochofenanlagen kann es zu tödlich hohen Kohlenmonoxidkonzentrationen in der Atemluft kommen. So starben im März 1985 bei einem Unfall in einem belgischen Stahlwerk drei Arbeiter an einer Kohlenmonoxidvergiftung.

Ein tödliches Risiko besteht, wenn etwa 60% des Hämoglobins im Körper von Kohlenmonoxid besetzt sind.

Ab 2,5 % Kohlenmonoxid im Blut schlaffen gesunde Menschen eher ab, wenn sie sich körperlich anstrengen, ab 5% muß man mit einer Verminderung der Konzentrationsfähigkeit rechnen.

Steigt der Anteil des Kohlenmonoxids im Hämoglobin auf 10–20%, können sich Kopfweh, Mattigkeit und Unwohlsein einstellen; fällt noch mehr Hämoglobin aus, treten Ohrensausen, Übelkeit und Schwindel auf.

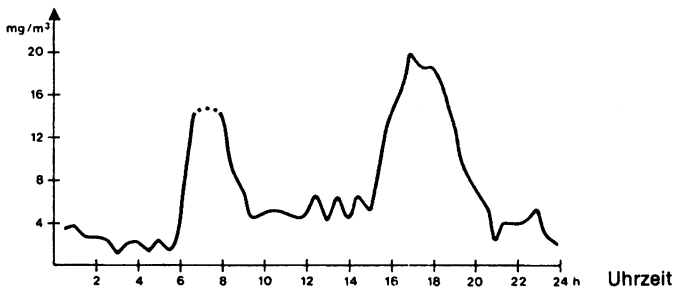
Von Natur aus beträgt der Gehalt an Kohlenmonoxid im Blut bei erwachsenen Nichtrauchern rund 0,8%. Dieses Kohlenmonoxid entsteht bei chemischen Reaktionen während der Stoffwechselprozesse im Körper.

Raucher betreiben ihre eigene Kohlenmonoxidpumpe: glimmender kohlenstoffhaltiger Tabak und kokekndes Papier sind ideale Quellen für die Kohlenmonoxidbildung. Mit 23 gerauchten Zigaretten am Tag bringt man es auf einen Dauerpegel von 10% Kohlenmonoxid im Blut.

Nichtraucher bekommen auch ihren Anteil – durch die Großstadtluft.

Im Takt des Straßenverkehrs – die Belastung mit Kohlenmonoxid

Konzentration von Kohlenmonoxid
(in mg/m^3)



Am 13.2.1980 wurde an einer Hauptverkehrsstraße in Hannover (Sallstraße) die Konzentration von Kohlenmonoxid in der Luft gemessen.

Deutlich erkennt man die Verkehrsspitzenzeiten morgens und nachmittags wieder.

Nach: Niedersächsischer Minister für Bundesangelegenheiten 1983

Im Stadtverkehr befördern die Kraftfahrzeuge mit jedem gefahrenen Kilometer durchschnittlich 25 Gramm dieses giftigen Gases an die Luft.

Zwar liegt die Dauerbelastung der Atemluft fast überall unter dem gesetzlich festgelegten Höchstwert von 10 mg Kohlenmonoxid je m³ Luft.

Doch der Grenzwert für die kurzzeitige Belastung von 30 mg/m³ wird an verkehrsreichen Ecken häufig übertroffen, manchmal um das Doppelte.

Der Gehalt an Kohlenmonoxid im Blut hängt natürlich davon ab, wie lange man einer bestimmten Konzentration ausgesetzt ist.

Bis zu einer Konzentration von 10 mg/m³ Kohlenmonoxid in der Atemluft dürfte das gesundheitliche Risiko recht gering sein; man

Starke Abweichungen vom Durchschnitt möglich

Die im Laufe eines Jahres gemessenen durchschnittlichen Immissionen durch Schadstoffe können zwar als Vergleich für die Dauerbelastung in verschiedenen Regionen dienen. Die Höhe der Belastung einzelner Menschen in den Meßgebieten hängt aber auch davon ab, wann und wie lange die Menschen sich an einem bestimmten Ort aufhalten.

Besonders die *Kohlenmonoxidkonzentration* unterliegt starken Schwankungen.

Kohlenmonoxidkonzentration

Meßort	Kohlenmonoxidkonzentration		
	Langzeitwert*	Kurzzeitwert*	Höchster Halbstundenwert*
München, Westendstraße, 1982	2,1 mg/m ³	7,1 mg/m ³	47,4 mg/m ³
Wiesbaden-Süd, 1981	1,9 mg/m ³	5,3 mg/m ³	21,5 mg/m ³
Kassel-Nord, 1981	2,3 mg/m ³	5,9 mg/m ³	18,5 mg/m ³
Berlin, Rathaus Steglitz, 1983	3,4 mg/m ³	9,4 mg/m ³	34,8 mg/m ³

* Der *Langzeitwert* gibt die Konzentration an, die im *Durchschnitt das ganze Jahr über* in der Luft vorhanden ist, Tag und Nacht. Der *Kurzzeitwert* gibt Auskunft über die *Spitzenbelastungen*: 5% aller gemessenen Konzentrationen liegen im Laufe eines Jahres über diesem Wert. Der *höchste Halbstundenwert* zeigt die höchste Konzentration an, die im Verlauf des Meßjahres eine halbe Stunde lang geherrscht hat.

müßte schon vier Tage lang ununterbrochen diese Luft atmen, um 1,5% des Hämoglobins mit Kohlenmonoxid zu verseuchen. Solche gleichmäßigen, Tag und Nacht anhaltenden Dauerbelastungen der Atemluft sind aber ziemlich unwahrscheinlich.

Anlaß zur Sorge können aber die Spitzenbelastungen bieten. Atmet der ohnehin schon vorbelastete Großstadtmensch Luft mit einem Kohlenmonoxidgehalt von 50 mg/m^3 ein, so sind bereits nach einer halben Stunde 2,4–2,8% des Hämoglobins vom Kohlenmonoxid besetzt, nach einer Stunde fallen bereits 3,3–3,7% aus.

Vor allem für herz- und kreislaufkranke Menschen können sich dadurch bereits Auswirkungen auf das Wohlbefinden ergeben. So vermindert sich bei Menschen mit Durchblutungsstörungen die Belastbarkeit des Kreislaufs, wenn rund 3% des Blutes von Kohlenmonoxid in Beschlag genommen werden. Bereits ab 2,8% können sich Beinschmerzen einstellen. Herzkranken Patienten empfinden bei diesen Blutwerten zum Teil Brustschmerzen.

Es ist wieder einmal das Übliche: der gesunde Durchschnittsbürger dürfte die kohlenmonoxidhaltige Großstadtluft wohl ohne Schaden überstehen – wenn er nicht gerade seine täglichen Joggingrunden im Feierabendverkehr dreht.

Aber was ist mit Menschen, die direkt an einer verkehrsreichen Straßenecke wohnen? Immerhin hat man festgestellt, daß auch bei nichtrauchenden Großstadtbewohnern der Dauerpegel des Kohlenmonoxids im Blut 2,4% überschreiten kann. Damit liegt er bereits in einem Bereich, der bei gesunden Menschen die körperliche Leistungsfähigkeit beeinflußt und der für kranke Menschen möglicherweise eine Verschlechterung des Wohlbefindens bedeutet.

Und wer kommt schon auf die Idee, gelegentliche Schlappeit oder Kopfschmerzen darauf zurückzuführen, daß man sich mal wieder zu lange im Feierabendverkehr herumgetrieben hat?

Aggressive Gase – Schwefeldioxid und Stickoxide

Weil die Pflanzen im Laufe ihres Lebens zum Aufbau von Eiweißstoffen auch Schwefel- und Stickstoffsalze aus dem Boden aufnehmen, enthalten die fossilen Energieträger bis zu 2% chemisch gebundenen Schwefel und Stickstoff.

Je nach Verarbeitungsweise und Herkunftsort der Rohstoffe kann dieser Anteil schwanken. So befinden sich zum Beispiel in einer Tonne Erdöl aus Saudi-Arabien bis zu 22 kg Schwefel, in Öl aus Nigeria dagegen nur 1–2 kg (siehe Seite 40).

Wenn schwefelhaltige Kohle- und Erdölprodukte verbrennen, verbindet sich der Schwefel (S) mit dem Sauerstoff (O_2) der Luft zu Schwefeldioxid (SO_2). Dieses Gas entweicht zum Teil mit den Abgasen der Verbrennung an die Luft.

Die Stickoxidemissionen gehen nur zum geringen Teil auf das Konto des im Brennstoff gebundenen Stickstoffs.

Der weitaus größte Anteil der Stickoxide qualmt aus den Auspufftöpfen der Kraftfahrzeuge, obwohl der Stickstoffgehalt im Benzin verschwindend gering ist.

Im Verbrennungsmotor herrscht jedoch mit Temperaturen von über $1000^\circ C$ ein Klima, in dem sich sogar der reaktionsfaule Stickstoff der Luft einen Reaktionspartner aufhalsen läßt.

Der Luftstickstoff verbindet sich bei dieser Hitze mit dem Sauerstoff der Luft, zunächst zu Stickstoffmonoxid (NO). Dieses Gas reagiert rasch weiter zu Stickstoffdioxid (NO_2).

So unterschiedlich die Entstehungsweisen von Schwefeldioxid und Stickstoffdioxid auch sind – beide Gase sind echt ätzend.

Schwefeldioxid bildet zusammen mit dem Wasser der Schleimhäute von Augen und Atemwegen eine Säure (siehe Seite 51) und ruft dadurch Reizungen hervor.

In der Regel dringt es dabei nur bis in die Bronchien vor, das heißt bis zu den Verzweigungen der Luftröhre in die Lungenflügel. Angelangert an feine Staubteilchen gelangt Schwefeldioxid allerdings auch tiefer in die Lunge.

Als Folge der Reizungen treten Entzündungen der Schleimhäute und damit verbunden Erkrankungen der Atemwege auf. Möglicherweise setzt Schwefeldioxid auch die Abwehrkräfte des Körpers gegen eingeatmete Krankheitserreger herab. Es stört nämlich den Stoffwechsel in den Körperzellen und behindert dadurch die Bildung körpereigener Abwehrstoffe gegen die unerwünschten Eindringlinge.

Natürlich ist die gesundheitliche Gefährdung durch Schwefeldioxid abhängig von der Konzentration dieses Gases in der Atemluft.

Gesetzlich sollen die Bundesbürger eine Dauerbelastung von $0,14 \text{ mg/m}^3$ Luft unbeschadet überstehen können, kurzzeitig wird ihnen von Rechts wegen $0,4 \text{ mg/m}^3$ zugemutet.

Wie reizend – gesundheitliche Schäden durch Schwefeldioxid

Über gesundheitliche Schäden durch geringe Schadstoffkonzentrationen in der Luft streiten sich die Experten. Einige gesundheitliche Auswirkungen durch Schwefeldioxidbelastungen können auch von anderen Einflüssen hervorgerufen werden; nicht immer ist daher der Luftschadstoff eindeutig als Schuldiger zu packen.

Die folgenden Angaben beruhen auf verschiedenen Untersuchungen.

Konzentration in der Atemluft*	Beobachtete Wirkungen auf Menschen in einzelnen Untersuchungen
0,11 mg/m ³ Schwefeldioxid und 0,12 mg/m ³ Staub	Erwachsene zeigen eine erhöhte Anfälligkeit für Atemwegserkrankungen.
0,14 mg/m ³ Schwefeldioxid oder 0,15 mg/m ³ Staub	Gesetzlich zugelassener Grenzwert für die Dauerbelastung.
0,14 mg/m ³ Schwefeldioxid und 0,13 mg/m ³ Staub	Bei Kindern unter 15 Jahren nimmt die Zahl von Erkrankungen der unteren Luftwege zu. Die Schwere der Erkrankungen wächst.
0,17 mg/m ³ Schwefeldioxid bis 0,21 mg/m ³ Schwefeldioxid	Zunahme von Atembeschwerden bei Kleinkindern.
0,3 mg/m ³ Schwefeldioxid – tageweise –	Anstieg der Sterblichkeitsziffern von Menschen älter als 70 Jahre möglich.
0,4 mg/m ³ Schwefeldioxid und 0,3 mg/m ³ Staub	Zugelassener Grenzwert für die kurzzeitige Belastung.
0,5 mg/m ³ Schwefeldioxid und 0,25 mg/m ³ Staub – tageweise –	Erwachsene mit Bronchitisleiden empfinden eine Verschlechterung ihres Gesundheitszustands.
0,8 mg/m ³ Schwefeldioxid	Das Gas wird geschmacklich wahrnehmbar.
1,5 mg/m ³ Schwefeldioxid	Das Gas wird mit dem Geruchssinn spürbar.
2,7 mg/m ³ Schwefeldioxid – minutenweise –	Spürbare Reizungen der Atemwege und der Augenschleimhäute. Bei empfindlichen Menschen treten leichte Atembehinderungen auf.

Tödliche Konzentration: rund 1300 mg/m³ Schwefeldioxid über dreißig Minuten eingeatmet.

* Dauerbelastung, wenn nicht anders vermerkt.

Während der Grenzwert für die Dauerbelastung in der Bundesrepublik mittlerweile wohl überall eingehalten wird, kann der Grenzwert für die Kurzzeitbelastung leicht überschritten werden – vor allem in den Wintermonaten und das keineswegs nur im Ruhrgebiet (siehe Seite 17).

Ob die geringen, aber ständig vorhandenen Langzeitbelastungen und die kurzzeitigen Spitzenwerte gesundheitliche Risiken darstellen, ist wieder mal eine Streitfrage unter den Experten.

Reizungen und Entzündungen der Atemwege mit möglicherweise schwerwiegenden Folgen wie zum Beispiel Pseudo-Krupp (siehe Seite 13) werden auch durch Feuchtigkeit, Kälte, Viren und Tabakrauch hervorgerufen. Daher ist es schwierig, die Wirkung geringer Konzentrationen des Schwefeldioxids eindeutig zu bestimmen. Einige Untersuchungen, in denen der Schwefeldioxidgehalt der Luft mit dem Auftreten von Krankheiten verglichen wurde, zeigen, daß für manche Bevölkerungsgruppen das Risiko größer ist als für den gesunden Otto Normalbürger (siehe Tabelle Seite 47).

Noch giftiger als das Schwefeldioxid ist *Stickstoffdioxid*.

Es bildet ebenfalls mit dem Wasser von Schleimhäuten Säuren, kann jedoch bis zu den feinen Lungenbläschen vordringen und dort den Übergang von Sauerstoff ins Blut behindern.

Bei Konzentrationen von 280 mg/m^3 Luft ruft dieses Gas Lungenentzündungen hervor, die einen tödlichen Verlauf nehmen können.

Chemiearbeiter, die jahrelang mehrere Stunden täglich $0,72\text{--}4,9 \text{ mg}$ Stickstoffdioxid je m^3 Atemluft aushalten mußten, klagten häufiger als unbelastete Personen über Hustenreizungen, verbunden mit Auswurf.

Asthmakranke, also Menschen, die anfallsweise unter Atemnot leiden, empfinden zum Teil schon eine Verschlechterung ihres Gesundheitszustandes, wenn sie kurzzeitig Konzentrationen von $0,18 \text{ mg/m}^3$ Stickstoffdioxid atmen.

Der gesetzlich festgelegte Grenzwert für die Dauerbelastung von $0,08 \text{ mg/m}^3$ Stickstoffdioxid dürfte wohl vor gesundheitlichen Schäden schützen. Schwerer wiegt einmal mehr die Abweichung vom Durchschnitt: so sollen die Bundesbürger kurzfristig $0,3 \text{ mg/m}^3$ Stickoxide in ihrer Atemluft hinnehmen, doch in einigen Städten wird an verkehrsreichen Stellen dieser Wert manchmal erheblich überschritten. In Frankfurt und Kassel lagen zum Beispiel kurzzeitig schon $0,5 \text{ mg/m}^3$ Stickstoffdioxid in der Luft.

Diese Stickoxidkonzentrationen können vor allem an heißen Sommertagen lästig werden.

Dann trägt nämlich ein besonders hoher Anteil des Stickstoffdioxids zur Bildung eines Stoffes bei, der sich in den letzten Jahren als ein schlimmer Luftvergifter entpuppt hat.

Ein reizender Nachkömmling – das Ozon

Ozon ist ein hellblaues, intensiv riechendes Gas (griechisch: das Duftende), das in luftigen Höhen von 15–45 km über dem Erdboden reichlich vorhanden ist und dort oben eine lebenswichtige Aufgabe erfüllt: es hält den größten Teil der UV-Strahlung zurück, die von der Sonne auf die Erde gelangt (siehe Seite 83).

Hier unten wirkt Ozon jedoch weniger erfreulich. Das Gas reizt die Atemwege, behindert die Sauerstoffaufnahme des Blutes und schwächt möglicherweise die Abwehrkräfte des Körpers gegen Krankheitskeime.

An heißen Sommertagen kann es vor allem in den verkehrsreichen Städten zu sehr hohen Belastungen mit diesem Gas kommen. Unter Einwirkung von Sonnenstrahlung spalten sich die Moleküle des Stickstoffdioxids (NO_2) auf.

Es entsteht Stickstoffmonoxid (NO) und ein einsames Sauerstoffatom (O).

Dieser Sauerstoff-Single bleibt jedoch nicht lange allein, sondern verbindet sich mit den Sauerstoffmolekülen der Luft (O_2) zum Drilling O_3 – Ozon.

Allerdings erfreuen sich die Ozonmoleküle nicht lange ihres Daseins. Das ebenfalls in der Luft vorhandene Stickstoffmonoxid (NO) entreißt aus Ozonmolekülen ein Sauerstoffatom. Aus Stickstoffmonoxid bildet sich Stickstoffdioxid, Ozon wird wieder zu ordinärem Sauerstoff (O_2).

Ozon aufbauende und Ozon abbauende Reaktionen pendeln sich zu einem Gleichgewicht ein, bei dem der Ozongehalt der Luft gering bleibt.

Aber in den Autoabgasen befinden sich noch jede Menge *Kohlenwasserstoffverbindungen* (siehe Seite 78) – und diese mischen bei den Reaktionen eifrig mit.

Die sehr verschiedenartig aufgebauten Verbindungen vergreifen sich vor allem am Stickstoffmonoxid und bewirken dabei chemische Reaktionen, die am Ende Stickstoffdioxid entstehen lassen. Diese Umwandlung hat zwei Folgen:

Erstens steht nun noch mehr Stickstoffdioxid zur Verfügung, so daß mehr Ozon gebildet werden kann.

Zweitens fehlt ausreichend Stickstoffmonoxid, um Ozon wieder abzubauen. Der Ozongehalt der Luft steigt rapide an.

Berüchtigt ist dieses Gemisch aus Ozon, verschiedenen zum Teil sehr giftigen Kohlenwasserstoffen sowie Stickoxiden unter dem Namen „Sommersmog“. Manchmal findet man dafür auch den Namen „Photosmog“, ein Hinweis, daß die Einwirkung des Lichts für die Bildung von Ozon verantwortlich ist.

Erreicht der Ozongehalt in der sommerlichen Smogluft $0,2 \text{ mg/m}^3$, ruft dieses Schadstoffgemisch Kopfweg, Schwindel, Brustschmerzen, Augen- und Schleimhautreizungen hervor.

Das Ozon läßt Autoreifen spröde werden, greift Farbanstriche an und bleicht empfindliche Textilfarbstoffe aus.

Besonders günstige Bedingungen für die Entstehung von Sommersmog herrschen in der mit Kraftfahrzeugen vollgestopften 8-Millionen-Stadt Los Angeles. Dort, unter der Sonne Südkaliforniens, wurden schon Ozonkonzentrationen über $0,8 \text{ mg/m}^3$ Luft gemessen. In den verkehrsreichen Städten der Bundesrepublik muß man an schönen Sommertagen Spitzenbelastungen von $0,4 \text{ mg}$ Ozon je m^3 Luft hinnehmen, in Mannheim wurden auch schon $0,55 \text{ mg/m}^3$ erreicht.

Trotz dieser hohen Spitzenwerte in den Städten ist dort die jährliche Durchschnittsbelastung recht gering. Sie liegt zwischen $0,02$ und $0,03 \text{ mg/m}^3$.

Sobald gegen Abend die Sonneneinstrahlung nachläßt, wird das tagsüber gebildete Ozon rasch wieder abgebaut. Dabei wirken die Autoabgase sogar einmal „reinigend“:

Das von den Kraftfahrzeugen herausgeblasene Stickstoffmonoxid reagiert mit Ozon zu Stickstoffdioxid und normalem Sauerstoff; der Ozonnachschub stockt, weil die Wirkung der Sonnenstrahlung ausbleibt.

In der „sauberen“ Landluft hält sich das Ozon allerdings hartnäckiger.

Weil das in der Mittagshitze in den Städten gebrütete Ozon im Laufe

des Tages spielend hundert Kilometer und mehr zurücklegen kann, gelangt Ozon auch reichlich aufs Land.

Dort ist aufgrund der geringeren Verkehrsdichte weniger Stickstoffmonoxid vorhanden, um das Ozon abends rasch wieder abzubauen. Die jährlichen Durchschnittsbelastungen mit Ozon sind daher auf dem Lande 2–4mal höher als in der Stadt!

An Meßstationen im Schwarzwald und auf dem Kleinen Arber, einem Berg im Bayerischen Wald, lagen zwischen 1980 und 1982 die meisten Mittelwerte der täglichen Ozonkonzentration über $0,1 \text{ mg/m}^3$, manchmal kletterten sie auch über $0,2 \text{ mg/m}^3$.

Und weil Ozon den Bäumen ziemlich zusetzen kann, ist es in den letzten Jahren in Verdacht geraten, beim Waldsterben kräftig mitzumischen.

Möglicherweise in Zusammenarbeit mit dem sauren Regen, der auf das Konto von Schwefeldioxid und Stickoxiden geht.

Das ist ätzend – saurer Regen

Da in der Luft von Natur aus reichlich Wasser in Form von Nebel, Tau und Wolken vorhanden ist, entstehen aus Stickoxiden und Schwefeldioxid allerlei Säuren.

Schwefeldioxid (SO_2) reagiert mit Wasser (H_2O) zur *schwefligen Säure* (H_2SO_3). Unterstützt von zahlreichen anderen Reaktionspartnern in der Luft sowie unter Einfluß des Sonnenlichts bildet sich auch *Schwefelsäure* (H_2SO_4).

Stickoxide reagieren mit Wasser zur *Salpetersäure* (HNO_3).

Die Säureteilchen umschweben Menschen, Pflanzen und Gegenstände, werden vom Regen ausgewaschen, lagern sich auf Böden ab und kleckern in Seen und Flüsse.

Jährlich rieseln so in der Bundesrepublik rund 280000 Tonnen Salpetersäure und 450000 Tonnen Schwefelsäure herunter. Die vorzeitigen Verwitterungen an Beton und Sandstein sind ebenso eine Folge säurehaltiger Luft wie die Zerstörung der mittelalterlichen Glasgemälde.

Baustoffe wie Sandstein, Marmor, Beton und Zement enthalten Kalk, der von der Schwefelsäure zersetzt wird. So entstehen wasserlösliche chemische Verbindungen, die vom Regen ausgewaschen werden. Auch aus dem Glas alter Kirchen- und Domfenster löst die

Schwefelsäure chemisch gebundene Teilchen heraus und zerstört damit das innere Gefüge der Substanz (siehe Seite 6).

In Böden und Gewässern bringt der Säureschub fein aufeinander abgestimmte Lebensgemeinschaften zahlreicher Pflanzen und Tiere aus dem Gleichgewicht.

Zwar ist der Regen von Natur aus leicht säurehaltig, weil das Kohlendioxid (CO_2) der Luft mit Wasser die schwache Kohlensäure (H_2CO_3) bildet. Doch natürliche Bestandteile des Bodens und des Untergrunds von Gewässern wie zum Beispiel Kalk können die Säurewirkung abschwächen – „puffern“.

Während die natürlichen Säureeinträge daher von der Umwelt zumeist verkraftet werden, sind die zusätzlichen Säurefrachten schon zahlreichen Lebensgemeinschaften zum Verhängnis geworden.

So sterben Wasserflöhe bereits nach einem sehr leichten Anstieg des Säuregehalts in Gewässern. Karpfen, Zander und Barsch fühlen sich mit zunehmender Versauerung unwohl; sehr empfindlich reagiert die Brut von Lachsen und Forellen.

Böse Erfahrungen mit dem sauren Regen mußten vor allem die skandinavischen Länder machen. Dort fehlt es dem natürlichen Untergrund vieler Seen an Stoffen, die abschwächend auf Säure wirken. Vor allem im Frühjahr kommt es zu wahren Säureschüben: im Laufe des Winters sind nämlich die Schwefeldioxidemissionen in den west- und osteuropäischen Industrieländern besonders hoch, weil Öfen, Heizungen und Kraftwerke „voll powern“. Vom Wind bis nach Skandinavien getragen, säuert Schwefeldioxid dort den Schnee. Mit dem Tauwasser im Frühjahr ergießt sich die Säure schließlich in Strömen in die Bäche und Seen. Allein in Schweden haben die säurehaltigen Niederschläge 20000 Seen aus dem Gleichgewicht gebracht und tonnenweise Fische vernichtet.

In der Bundesrepublik wird vor allem der Wald als Opfer des sauren Regens angesehen.

Ein Schadstoff wirkt selten allein – die vielen Plagen für den Wald

Von ihrer biologischen Wirkung her betrachtet, könnten viele Luftschadstoffe den Wald auf dem Kerbholz haben.

Schwefeldioxid dringt zum Beispiel über die Spaltöffnungen der Blätter in die Blattzellen, zerstört dort das Chlorophyll und behindert die Stoffwechselvorgänge in der Pflanze. Außerdem stört das Gas die Fähigkeit der Blätter, die Größe ihrer Spaltöffnungen zu steuern. Dadurch wird der Wasserhaushalt und die Versorgung des Baumes mit Mineralstoffen behindert.

Die typischen Vergilbungen von Blättern und Nadeln, schon im letzten Jahrhundert unter dem Namen Rauchschäden bekannt, sind ein deutliches Zeichen für die Einwirkung des Schwefeldioxids auf das Chlorophyll.

Eine ähnliche Wirkung wie Schwefeldioxid haben Stickoxide auf die Pflanzen; allerdings reagieren die Bäume auf diese Schadgase weniger empfindlich (siehe Tabelle Seite 54).

Wesentlich schlechter bekommt den Bäumen das Ozon.

Dringt Ozon über die Spaltöffnungen ins Blattinnere, durchlöchert das chemisch reaktionsfreudige Gas die feinen Trennschichten zwischen den Blattzellen. Obendrein greift Ozon die dünne Schutzschicht auf Nadeln und Blättern an und leistet damit gute Vorarbeit für die Angriffe säurehaltiger Luft: lebenswichtige Spurenstoffe wie Calcium-, Magnesium-, Kalium- und Zinkverbindungen können von der eindringenden Säure abgebaut und dann vom Regen weggeschwemmt werden.

Es folgt eine wahre Kettenreaktion:

Der Verlust der wichtigen Nährstoffe vermindert die Fähigkeit der Pflanze, den Lichteinfall in das Blattinnere zu regeln. Somit wird das lichtempfindliche Chlorophyll zu schnell abgebaut, die Photosynthese ist gestört. Das hat wiederum eine Einschränkung der Zuckerproduktion zur Folge.

An diesem Mangel an energiereichen Grundstoffen leiden zuerst die Wurzeln, die sich nicht selber versorgen können, sondern auf den Nährstoffaufbau in den grünen Pflanzenteilen angewiesen sind.

Geschädigte Wurzeln nehmen ihrerseits zu wenig Mineralsalze aus dem Boden auf – ein Teufelskreis, der dem Baum den Garaus machen kann.

Gasvergiftungen von Bäumen

Baumschäden durch die Einwirkung von Gasen in der Luft sind in der Natur nur schwer nachzuweisen. Andere Umwelteinflüsse wie Bodenzusammensetzung, Frost, Trockenheit machen den Bäumen gelegentlich auch das Leben schwer. Folgende Zusammenhänge von Ursache und Wirkung sind aber einigermaßen gesichert:

Mittlerer Schadstoffgehalt der Luft* in mg/m ³	Mögliche Auswirkungen für Bäume
ab 0,0015 <i>Fluorwasserstoff</i>	Blatt- und Nadelschäden sowie Wachstumsstörungen bei Kiefer, Fichte, Buche und Lärche.
ab 0,03 <i>Schwefeldioxid</i>	Wachstumsschäden bei Fichte und Kiefer auf ungünstigen Böden; Weißtanne ist gefährdet.
ab 0,05 <i>Schwefeldioxid</i>	Wachstumsschäden bei Tanne und Fichte auf günstigen Standorten.
ab 0,05 <i>Chlorwasserstoff</i>	wie bei Fluorwasserstoff
ab 0,08 <i>Schwefeldioxid</i>	Kiefer, Lärche und Linde können Wachstumsschäden aufweisen.
ab 0,12 <i>Schwefeldioxid</i>	Waldanbau mit Tanne, Fichte und Kiefer nicht mehr möglich.
ab 0,15 <i>Ozon</i>	Nadelschäden und -abwurf bei der Kiefer; Blattschäden und vorzeitiger Blattverlust im Herbst bei der Buche; Wachstumsstörungen.
ab 0,25 <i>Stickstoffdioxid</i>	Wachstums-, Nadel- und Blattschäden bei Tanne, Fichte, Linde.
ab 0,35 <i>Stickstoffdioxid</i>	Blatt- und Wachstumsschäden bei Eiche und Buche.

* Im Laufe der jährlichen Vegetationszeit (7 Monate), in der die Pflanzen blühen, wachsen und Früchte tragen.

Noch stärkere Pflanzengifte als das Ozon sind die Gase Fluorwasserstoff und Chlorwasserstoff.

Diese Gase kommen jedoch nur in einigen Ballungsgebieten sowie in der Nachbarschaft von Ziegeleien, Müllverbrennungsanlagen und Zementfabriken in schädlichen Konzentrationen vor. Sie dürften deshalb am neuartigen Waldsterben recht unbeteiligt sein.

Eine Zeitlang stand vor allem der saure Regen im Verdacht, als Hauptübeltäter im Wald zu wirken.

Nach dieser Theorie löst die Säure Mineralsalze im Boden auf; Regen und Sickerwasser spülen die für die Pflanzen nötigen Stoffe in tiefere Bodenschichten.

Zum Mangel an Mineralstoffen kommt die Vergiftung des Waldbodens durch Aluminiumionen, elektrisch geladene Aluminiumteilchen, die von der Säure aus Lehm, Ton und anderen Mineralien herausgelöst werden.

Für einige Schadensgebiete mag diese Auffassung eine befriedigende Erklärung bieten. Untersuchungen verschiedener Böden haben allerdings gezeigt, daß die Bäume auch dort sterben, wo die Zusammensetzung der Böden recht günstig für das Wachstum von Pflanzen ist. Außerdem treten die neuartigen Waldschäden auch in Regionen fern von Ballungsgebieten auf, obwohl gerade dort die Belastungen mit Schwefeldioxid vergleichsweise gering sind.

Hinzu kommt: Auf den abgestorbenen Ästen kranker Bäume wuchern zum Teil recht üppig ausgerechnet jene Flechtenarten, die in den Städten schon lange ausgestorben sind – weil sie die dortigen Schwefeldioxidkonzentrationen nicht vertragen.

Der Verdacht, Ozon sei der eigentliche Missetäter im Wald, paßt da schon besser in das Erscheinungsbild der neuartigen Waldschäden: Die Baumkrankheiten wurden zuerst und besonders umfangreich in entlegenen Regionen sowie in den höheren Lagen der Mittelgebirge beobachtet. Und mit zunehmender Höhe steigt in der Bundesrepublik auch die Ozonkonzentration an.

Außerdem kränkeln die Bäume vor allem dort, wo reichlich Licht auf sie fällt: an Waldrändern, größeren Wegegabelungen und an Lichtungen. Kranke Bäume weisen in der Regel zuerst an den Kronenrändern Blatt- und Nadelschäden auf. Wenn Blätter und Nadeln erst einmal durch das Ozon vorgeschädigt sind, könnte gerade an diesen Stellen der Abbau von Chlorophyll durch die starke Lichteinwirkung rasch voranschreiten.

Und die Ozontheorie bietet auch die Möglichkeit, die Rolle der ätzenden Gase gebührend zu würdigen:

An sonnenreichen Tagen leistet Ozon die Vorarbeit: Blattgewebe und die Schutzschicht werden zerstört; an den folgenden Nebeltagen besorgt die säurehaltige feuchte Luft das Auswaschen der Nährstoffe.

Seit 1982 ist in der Bundesrepublik das Ozon als ein Haupttäter unter den Waldkillern ins Gespräch gekommen.

Allerdings hatten schon in den sechziger Jahren Untersuchungen in den USA auf die Gefährdung von Bäumen durch ozonhaltige Luft aufmerksam gemacht.

Doch statt frühzeitig auf die Warnungen zu reagieren und dafür zu sorgen, daß einer *möglichen* Gefährdung *vorbeugend* begegnet wird, handelten die Leute, die bei uns etwas zu sagen haben, eher nach dem Motto:

Abwarten, ob an den Warnungen wirklich etwas dran ist.

Heute, da man an den angerichteten Schäden nicht mehr vorbeisehen kann, bleibt die Hoffnung, daß es für Gegenmaßnahmen nicht schon zu spät ist.

Aus Schaden soll man klug werden – aber die Lektionen zum Thema saubere Luft können teuer zu stehen kommen.

Im Falle des Ozons und der ätzenden Gase sind die Waldschäden ein hoher Preis für den allzu sorglosen Umgang mit unserer Luft.

Manchmal zahlen jedoch auch Menschen das Lehrgeld – mit ihrer Gesundheit.

Wer wirbelt so viel Staub auf?

In den Großstädten und Industriegebieten wird unsere Atemluft ziemlich verstaubt, Tag und Nacht.

Ruß und metallhaltige Stäube quellen aus Schornsteinen und Auspufftöpfen. Es staubt aus chemischen Fabriken, Handwerksbetrieben, Zementwerken und Müllverbrennungsanlagen. Von Autoreifen und Bremsbelägen werden winzige Teilchen abgerieben und schwirren durch die Luft.

Gegen die groben Schmutzteilchen in der Atemluft ist unser Innenleben einigermaßen geschützt. Die dicksten Brocken verfangen sich bereits in den Nasenhärchen; kleinere Teilchen bleiben an den Flimmerhärchen der Luftröhre hängen, werden in den Rachen befördert und gelegentlich ausgehustet⁹.

Meistens kommt der grobe Schmutz jedoch gar nicht erst an unsere Nasen, denn Gewicht und Größe zwingen die dicken Teilchen in der Luft bald zur Landung. Sie setzen sich in der Nähe der Entstehungsquelle ab und verschmutzen dort Straßen, Plätze, Häuser und Autos – ärgerlich genug!

Doch der meiste Staub, der heutzutage in die Luft geblasen wird, besteht zu über 80% aus winzigen Teilchen, die bis zu 14 Tagen in der Luft herumtrudeln können.

Mit einem Durchmesser von 0,01 mm und weniger hat dieser *Feinstaub* gerade die richtige Größe, um mit der Atemluft in die tiefsten Regionen unserer Lungen vorzudringen.

Die Wirkung dieser „lungengängigen“ Stäube hängt von den chemischen Eigenschaften und manchmal auch von der Form der Partikel ab.

⁹ Achtung Raucher! Der Tabakrauch beeinträchtigt auf Dauer die Leistungsfähigkeit der Flimmerhärchen.

Es gibt faserförmige Teilchen, die sich in der Lunge festhaken und dort zu krankhaften Veränderungen des Gewebes führen. Andere Stäube bleiben in den Atemwegen zurück und rufen möglicherweise Krebs hervor.

Schließlich benutzen einige Stoffe die Lunge hauptsächlich als Zwischenstation für eine Reise durch unseren Körper.

Sie dringen durch die feinen Zellwände der Lungenbläschen in die Blutbahn, werden vom Blut transportiert und lagern sich hier und dort ab.

Ob wir etwas davon bemerken, hängt natürlich von der Höhe der Belastungen mit diesen Eindringlingen ab. Müdigkeit und Unwohlsein können ebenso eine Wirkung dieser Fremdkörper sein wie langfristige Organschäden oder gar Krebs.

Besonders Metallstäube können uns ganz schön unter die Haut gehen.

Zerstäubte Metalle

Alljährlich beladen die Menschen die Luft mit vielen Millionen Tonnen Metall und Metallverbindungen.

Weltweit werden rund 10 Millionen t Eisen, je eine Million t Blei und Zink, Hunderttausende von Tonnen Nickel und Arsen sowie etwa zehntausend t Cadmium und Quecksilber pro Jahr fein verteilt und in Form verschiedener chemischer Verbindungen an die Luft abgegeben.

Zwar trägt auch die Natur durch Vulkantätigkeit, Gesteinsverwitterung und Bodenabtragungen dazu bei, die Luft mit metallhaltigen Stäuben zu belasten.

Doch abgesehen von den vergleichsweise harmlosen Eisenverbindungen, übertreffen die menschlichen Verschmutzungen die natürlichen um ein Vielfaches.

Eine Hauptquelle metallhaltiger Stäube ist wieder einmal die *Verbrennung von Kohle und Erdöl*.

Da Pflanzen sich Metallverbindungen als Mineralstoffe aus dem Boden ziehen, enthalten auch die fossilen Energieträger geringe Mengen an Metall.

Zusätzlich gelangen Metallverunreinigungen während der unterirdischen Lagerung und beim Abbau in Kohle und Öl.

So enthält zum Beispiel eine Tonne Ruhrkohle im Durchschnitt 40–50 Gramm Blei und Zink, 20 Gramm Nickel und 9–10 Gramm Arsen und Chrom. In einer Tonne Rohöl tummeln sich je nach Herkunftsland bis zu 20 Gramm Cadmium und bis zu 35 Gramm Nickel.

Bei der Verbrennung bleibt zwar ein Teil der Metallverunreinigungen in der Asche zurück, schlägt sich an den Innenwänden der Kamine nieder oder wird von Filteranlagen aufgefangen. Dennoch trudeln aus den Schornsteinen kohlebefeuerter Öfen in der Bundesrepublik pro Jahr einige hundert Tonnen Blei und Zink sowie mehrere Tonnen Cadmium und Quecksilber.

Hinzu kommen Metallstäube, die bei der *Verarbeitung von Erzen* freigesetzt werden.

Die meisten Gebrauchsmetalle liegen nicht chemisch rein in den unterirdischen Lagerstätten, sondern sind in Form von Erzen an verschiedene chemische Elemente gebunden: Eisen und Aluminium häufig an Sauerstoff, Zink und Blei oft an Schwefel.

In den Hüttenwerken der metallverarbeitenden Industrie werden die begehrten Metalle durch verschiedene chemische Reaktionen von ihren natürlichen Partnern getrennt.

Beim Transport, Umschütten und Zerkleinern der Erze sowie während der chemischen Reaktionen bildet sich eine Menge Staub, der teilweise an die Luft entwischt.

Da die meisten Erze mit Verbindungen anderer Metalle verunreinigt sind, schwirren aus den Metallhütten neben Eisen-, Blei-, Kupfer- und Zinkstäuben auch noch Cadmium-, Arsen- und Nickelteilchen. Mehr oder weniger staubig geht es auch bei der *Verarbeitung von Metallen* zu.

Metallstäube entstehen bei der Veredelung von Roheisen im Stahlwerk, bei der Herstellung von Batterien, Behältern und Rohren aus Blei und bei der Verarbeitung von Quecksilber zu Batterien (Knopfzellen), Leuchtstoffröhren, Thermometern und elektrischen Schaltern.

Und wenn die Gebrauchsgegenstände des täglichen Bedarfs ausgedient haben, landen Tuben aus Blei, zinkhaltige Deckel, verchromte Haken und Ösen, cadmiumhaltige Schrauben, Alufolien, manchmal leider auch Quecksilberbatterien auf dem Müll.

Hinzu kommt Abfall, dem man überhaupt nicht ansieht, daß in ihm Metallverbindungen stecken.

Die mögliche Giftwirkung von Metallen und Metallverbindungen

Aluminium *Silberweißes Leichtmetall, das in der Natur nur in chemischen Verbindungen vorkommt, zum Beispiel in Ton und Lehm oder verbunden mit Sauerstoff und Wasserstoff (Bauxit).*

Al

Die Aufnahme größerer Mengen kann zu Stoffwechselstörungen und Erkrankungen der Blutgefäße führen. Langanhaltende hohe Belastungen können Lungenschäden und Atemnot zur Folge haben.

Arsen *Als sogenanntes Halbmetall tritt Arsen in verschiedenen Erscheinungen auf: in Form von grauen, metallartigen Kristallen oder als schwarze, spröde Masse.*

As

Akute* Vergiftungserscheinungen äußern sich durch Hustenreiz, Atembeschwerden, Brustschmerzen, Kopfweh, Bewußtlosigkeit. Chronische* Vergiftungen führen zu Entzündungen der Nasen- und Gaumenschleimhäute, Appetitlosigkeit, Schwindel und Erbrechen, Hautgeschwüren, gräulicher Hautfarbe, Bindehautentzündungen. Auslösung von Lungen- und Hautkrebs möglich.

Blei *Schweres, weiches Metall, in der Natur oft an Schwefel (Bleiglanz) oder Kohlenstoff und Sauerstoff gebunden.*

Pb

Blei behindert den Aufbau roter Blutkörperchen und stört den Stoffwechsel im Körper. Chronische* Vergiftungen mit anorganischen Bleiverbindungen (siehe Seite 77) führen zu Müdigkeit, Kopfweh, Nervosität, Appetitlosigkeit, Schwindelgefühle. Verfärbungen des Zahnfleisches (Bleisaum) und der Gesichtshaut deuten auf eine schleichende Bleivergiftung, die sich auch in Darmkrämpfen, verbunden mit Verstopfungen auswirkt. Organische Bleiverbindungen (siehe Seite 77) wirken stärker auf das Gehirn, rufen Ohrensausen, Kopfweh und Schlaflosigkeit hervor und können auch die seelische Lage beeinflussen: gedrückte Stimmung, verminderte Reaktionsschnelligkeit und erhöhte Gereiztheit können durch Bleivergiftungen hervorgerufen werden.

Cadmium *Silberweißes, weiches Metall, das in der Natur zusammen mit Zink in verschiedenen Erzen und Mineralien vorkommt, zum Beispiel in Tonstein, Granit und Sandstein.*

Cd

Akute* Vergiftungen können zu Schleimhautentzündungen der Lunge führen, an die sich eine Lungenentzündung anschließen kann. Chronische* Vergiftungen schädigen die Nasenschleimhaut und die Lungenbläschen. Dadurch können Atembeschwerden auftreten. Außerdem sind Nierenschäden und bei sehr hohen Cadmiumbelastungen auch Knochenschäden möglich. Cadmium steht in Verdacht, Lungen- und Prostatakrebs auszulösen.

Chrom *Bläulich-weißes, sehr hartes und glänzendes Metall, das in der Natur vor allem an Sauerstoff gebunden ist.*
Cr Einige Chromverbindungen reizen die Luftwege und können zu Schleimhautverätzungen führen. Bei Dauerbelastung sind Geschwüre und Hautausschläge möglich.
Chrom kann zur Auslösung von Lungen- und Nasenkrebs führen.

Nickel *Silberweißes Metall, das in der Natur gebunden an verschiedene Mineralien vorkommt.*
Ni Nickelverbindungen können Hautausschläge und -geschwüre hervorrufen und die Bronchien reizen.
Nickel und Nickelverbindungen können Lungen- und Nasenkrebs verursachen.

Quecksilber *Silbern glänzendes, flüssiges Metall. Es kommt in der Natur in Spuren tröpfchenweise in Gestein vor, ist jedoch meistens an Schwefel gebunden (Zinnober).*
Hg Eingeatmete Quecksilberdämpfe schädigen das Nervensystem, rufen Zittern und leichte Erregbarkeit hervor.
Chronische* Vergiftungen mit Quecksilberverbindungen äußern sich in Mattigkeit, Kopf- und Gliederschmerzen, Zahnfleischschäden. Das Seelenleben kann durch Auslösung von Ängstlichkeit, Empfindlichkeit, Schreckhaftigkeit und leichter Erregbarkeit leiden. Anfänglich leichtes Zittern der Finger kann im fortgeschrittenen Vergiftungsstadium in heftiges Schütteln der Gliedmaßen übergehen.
Organische Quecksilberverbindungen (siehe Seite 77) rufen außerdem Seh-, Gehör- und Sprachstörungen hervor.

Zink *Bläulich-weißes Metall; natürliche Vorkommen vor allem in Verbindung mit Schwefel (Zinkblende) und gebunden an Kohlenstoff und Sauerstoff (Zinkspat).*
Zn Langfristige Einwirkungen hoher Belastungen können zu Entzündungen der Verdauungsorgane führen. Außerdem können einige Zinkverbindungen Hautverätzungen auslösen.

* Unter einer akuten Giftwirkung versteht man Folgen, die sich bereits kurze Zeit nach der Belastung bemerkbar machen. Meistens treten akute Wirkungen auf, wenn man große Mengen des Giftstoffes aufnimmt.
Chronische Vergiftungen sind Folgen, die eintreten, wenn man über längere Zeiträume kleinen Mengen des Gifts ausgesetzt ist. Eine unmittelbare Wirkung ist dabei nicht zu spüren.

So sind zum Beispiel gelbe und rote Kunststoffe oft mit Cadmiumverbindungen, Keramikarbeiten mit Nickelverbindungen gefärbt. Chromhaltige Stoffe kommen in Rostschutzmitteln, Arsenverbindungen in manchen Glassorten vor.

Ein großer Teil des Mülls wandert heute in die *Verbrennungsanlagen*, wird dort zu Staub und Asche und sorgt somit für eine zusätzliche Belastung der Luft mit allerlei Metallen.

Schließlich zerstäuben *benzingetriebene Fahrzeuge* Bleiverbindungen übers ganze Land, je nach Fahrzeugtyp und Fahrgeschwindigkeit zwischen 0,5 und einem Gramm pro 100 gefahrener Kilometer.

Da die großen und kleinen Verschmutzer ihren Staub auf sehr unterschiedliche Weise verursachen, ist die Gesamtmenge der Metallverunreinigungen schwer zu bestimmen.

Einigermaßen zutreffend dürften Schätzungen sein, nach denen in der Bundesrepublik jährlich insgesamt 7000 t Zink, 4000–5000 t Blei, 25–30 t Cadmium und einige Tonnen Quecksilber, Arsen, Chrom und Nickel in Form verschiedener Verbindungen oder auch als reine Stoffe in die Luft gelangen.

In den Großstädten und Industriegebieten, aber auch auf dem Lande, schweben die Metallstäube in Konzentrationen zwischen einigen millionstel und einigen tausendstel Milligramm pro Kubikmeter Luft umher.

Das hört sich wenig an, und tatsächlich braucht der uns mittlerweile gut bekannte Otto Normalbürger die meisten Krankheiten nicht zu fürchten, die von Metallvergiftungen hervorgerufen werden können (siehe Seite 60f.).

Erkrankungen durch Metallstäube treffen vor allem Arbeitnehmer, die an ihrem Arbeitsplatz sehr viel größere Metallmengen in der Atemluft aushalten müssen. So beantragen jährlich 300–400 Menschen die Anerkennung einer Berufskrankheit, weil sie sich nach langjährigen Belastungen mit Blei, Cadmium, Quecksilber, Arsen oder Chrom Hautkrankheiten, Nierenschäden oder Erkrankungen der Lunge und Atemwege zugezogen haben.

Da jedoch unter diesen angemeldeten Berufskrankheiten jedes Jahr auch einige Krebsfälle auftauchen, lebt auch der Durchschnittsbürger nicht völlig risikolos mit Metallstäuben in der Atemluft, selbst, wenn sie nur in geringen Spuren vorkommen.

Wenn ein Stoff erst einmal als krebserregend erkannt wurde, läßt sich

Eine schwerwiegende Fracht?
Der durchschnittliche Gehalt an Metallstäuben in der Luft

Hamburg und Blei sind Spitze – so könnte man das Ergebnis einer Vergleichsuntersuchung zusammenfassen, in der von April 1981 bis Ende März 1982 der Gehalt an schwebenden Metallstäuben ermittelt wurde.

Hauptquelle für Blei sind die Kraftfahrzeuge. In Hamburg sorgt die große Industrieanlage für „gewichtige“ Luft.

Metallkonzentration in Nanogramm pro m³*

	Deusel- bach**	Hamburg	Karlsruhe	München	Mannheim
Arsen***	3,9	20,2	7,1	5,9	8,0
Blei	85,2	435,2	243,2	854,0	239,7
Cadmium***	1,0	2,9	1,7	1,9	2,3
Chrom***	3,2	7,4	8,7	27,8	10,3
Nickel***	3,8	9,5	11,9	12,2	13,2
Quecksilber	0,1	1,0	0,3	0,3	0,5
Zink	80,0	318,9	149,6	188,9	253,6

* Für derart winzige Massen benutzt man die Einheit Nanogramm (ng). Ein Nanogramm ist ein millionstel Milligramm.

Es gilt: 1 Nanogramm = 0,000001 Milligramm.

Die Werte sind leicht gerundete Angaben der Staatlichen Pressestelle Hamburg, 1984.

** Ein gering belasteter Ort im Hunsrück (Rheinland-Pfalz).

*** Möglicherweise krebserregend.

kein Grenzwert mehr angeben, bis zu dem eine Belastung *mit Sicherheit* harmlos ist.

Man braucht jedoch nicht immer gleich an Krebs zu denken, um über die langfristigen Folgen der metallhaltigen Luftverschmutzungen besorgt zu sein.

Die Metallteilchen und ihre Verbindungen halten sich nicht ewig in der Schwebelagere, sondern lagern sich früher oder später ab, zum Teil auch auf Feldern, Wiesen, Obst und Gemüse.

Äcker und Böden enthalten zwar schon von Natur aus Metallverbindungen, doch die andauernde Berieselung mit Metallstaub erhöht den Metallgehalt im Boden – und somit auch in vielen Nahrungsmitteln. Quecksilber, Arsen, Blei und Cadmium gehören zu unserer täglichen Kost.

Besonders die Cadmium- und Bleizugaben könnten uns eines Tages ganz schön auf den Magen schlagen.

Leise rieseln Blei und Cadmium ...

Im Laufe unseres Lebens wird unser Körper zu einer Sammelstelle für Blei und Cadmium.

Mit der Nahrung und der Atemluft aufgenommen, gelangen diese Metalle über die Lunge oder die Verdauungsorgane ins Blut.

Cadmium wandert mit dem Blut zur Leber, wird dort an körpereigene Eiweißstoffe gebunden und schließlich in der Niere abgelagert. Hat Cadmium sich dort einmal eingenistet, werden wir es nicht so schnell wieder los. Es dauert etwa 18–20 Jahre, bis die Hälfte des Cadmiums, das wir heute in die Nieren einbauen, vom Körper ausgeschieden sein wird.

Da Atmung und Nahrungsaufnahme ständig für Nachschub sorgen, reichert sich das Metall im Körper an – und zwar recht flott. Ein Neugeborenes kommt mit rund 0,001 mg Cadmium im Körper auf die Welt, als Erwachsener wird es die zehn- bis dreißigtausendfache Menge mit sich herumtragen. Allein in den ersten drei Lebensjahren erhöht sich die Cadmiumkonzentration in der Niere um das Zweihundertfache.

Früher ging das nicht so fix.

Während die Menschen in Deutschland vor dem Zweiten Weltkrieg durchschnittlich 3,7 mg Cadmium im Körper hatten, bringen es die Menschen heute auf 17,6 mg. Der Cadmiumgehalt in der Niere ist heute rund 50mal höher als in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts. Verantwortlich für die Zunahme ist der rapide Anstieg des Cadmiumbedarfs und die damit einhergehende erhöhte Belastung der Umwelt. Um 1910 wurden weltweit gerade 80 t Cadmium pro Jahr verarbeitet, heute sind es rund 20000 t jährlich, davon 2000 t allein in der Bundesrepublik¹⁰.

Auch die eingelagerten *Bleimengen* in unserem Körper sind heute größer als in früheren Zeiten.

Wie Knochenuntersuchungen Verstorbener ergeben haben, steckte Regensburger Bürgern aus dem 12. Jahrhundert nur halb soviel Blei

10 Etwa die Hälfte des Cadmiums wird in der Kunststoffproduktion verwendet: als Farbmittel zur Gelb- und Roteinfärbung sowie als Zusatz zur Erhöhung der Haltbarkeit und Hitzebeständigkeit der Kunststoffe. Weitere Anwendungsbereiche sind: Schutzüberzüge für Metalle, Batterien, Herstellung von Metallgemischen (Legierungen).

im Oberschenkelknochen wie dem heute lebenden Durchschnittsbayern. Ursache für die erhöhte Bleibelastung des modernen Menschen ist vor allem die Luftverschmutzung durch Autoabgase.

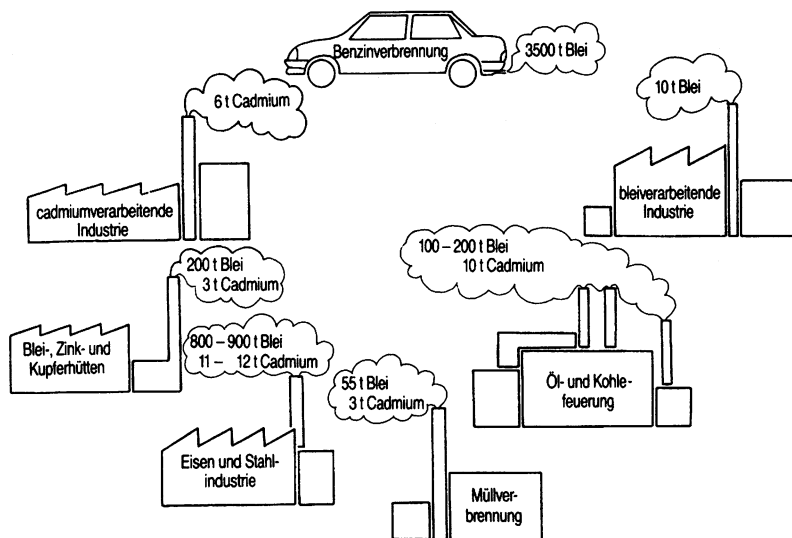
Auf dem direkten Weg von der Atemluft über die Lungen nehmen wir allerdings nur 1–2% der Cadmium- und rund 20% der Bleimenigen auf, die sich in unserem Körper ablagern.

Den Rest schlucken wir mit den Nahrungsmitteln.

Die Luftverschmutzung ist daran indirekt beteiligt, denn Ackerböden, Gemüsebeete, Obstbäume und Viehweiden stehen unter Dauerbesiedlung mit den beiden Metallen.

Immer rein in die Luft

Jährliche Emissionen von Blei und Cadmium in der Bundesrepublik*



* Die Schätzungen verschiedener Experten weichen zum Teil erheblich voneinander ab; es wurden jeweils die geringeren Schätzwerte ausgewählt.

Nach: Rat von Sachverständigen für Umweltfragen 1983, Bundesminister des Innern 1982.

In gering belasteten ländlichen Gebieten gehen pro Tag auf jeden Quadratmeter (m^2) Boden bis zu 0,04 mg Blei und etwa 0,001 mg Cadmium nieder. Großstädter müssen die doppelte bis dreifache Menge an Bleistaub und bis zu 0,004 mg Cadmiumniederschlag erdulden.

Dennoch bleibt die Belastung mit blei- und cadmiumhaltigen Niederschlägen in den meisten Gebieten der Bundesrepublik unterhalb von Werten, die nach den Vorschriften noch erträglich sein sollen¹¹.

Nach diesen Bestimmungen ist der „Schutz vor erheblichen Benachteiligungen und Belästigungen“ gerade noch gewährleistet, wenn die tägliche Bleiberieselung pro Quadratmeter 0,25 mg und der alltägliche Cadmiumregen 0,005 mg nicht überschreiten.

Folgenlos bleiben die Niederschläge aber nicht.

Blei- und Cadmiumverbindungen sammeln sich im Boden an, werden über die Wurzeln von den Pflanzen aufgenommen oder setzen sich als Staubablagerungen auf Pflanzenteile ab, die oberirdisch wachsen.

Die zusätzlichen Belastungen mit Blei und Cadmium können Wachstumsstörungen bei den Pflanzen hervorrufen und gefährden außerdem pflanzenfressende Tiere.

Wild- und Weidetiere ziehen sich bei metallreicher Kost Nierenschäden zu, leiden unter Gewichtsverlust, Fortpflanzungsstörungen und unnormalen Verhaltensweisen.

Am Ende der Nahrungskette schlagen schließlich wir Menschen zu, laben uns an Obst, Gemüse und Fleisch – und nebenbei auch an Cadmium und Blei.

Da der Bleigehalt einer Pflanze nur zu rund 5% aus dem Boden stammt – der Rest lagert sich auf den oberirdischen Teilen ab –, steckt im Salat, Kohl und Kraut meistens mehr Blei als in Rüben und Wurzeln. Cadmium wird dagegen von den Pflanzen zu über 70% mit den Wurzeln aus dem Boden geholt. Daher ist der Cadmiumgehalt im Gemüse auch stärker von den Mengen bestimmt, die bereits im Boden stecken als von den Mengen, die aus der Luft herunterrieseln. Steaks und Koteletts sind weniger metallhaltig als Nieren und Leber,

11 Es handelt sich dabei um die „Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft“, kurz TA Luft. Nach dieser Anordnung dürfen Behörden zum Beispiel keine Genehmigung für den Betrieb einer Fabrik erteilen, wenn dadurch die Bleibelastungen in der betroffenen Gegend 0,25 mg pro m^2 am Tag überschreiten würden.

Mahlzeit!
*Der Gehalt von Blei und Cadmium in einigen Lebensmitteln**

	Bleigehalt (in Milligramm je Kilogramm Frischgewicht)	Cadmiumgehalt
Blattgemüse (Kohl, Salat)	0,22	0,052
Wurzelgemüse	0,07	0,055
Kartoffeln	0,08	0,047
Roggen	0,07	0,015
Weizen	0,04	0,056
Steinobst (Kirschen, Pflaumen, Pfirsich)	0,12	0,008
Kernobst (Apfel, Birne)	0,08	0,011
Rindfleisch	0,05	0,010
Rinderleber	0,46	0,123
Rinderniere	0,64	0,619
Schweinefleisch	0,04	0,010
Schweineleber	0,11	0,100
Schweineniere	0,08	0,691
Milch	0,006	0,002
Käse	0,07	0,017

* Mittelwerte aus verschiedenen Proben in der Bundesrepublik, nach Bundesgesundheitsamt 1984 (leicht gerundet).

weil auch die Schlachttiere Metalle vor allem in den Innereien speichern.

Wie hoch die täglichen Cadmium- und Bleirationen sind, hängt natürlich davon ab, wieviel Nahrung man vertilgt, was man isst und woher die Nahrungsmittel stammen, die vom Supermarkt nach Hause geschleppt werden.

Der Durchschnittsesser bringt es bei uns wöchentlich auf 0,29 bis 0,37 mg Cadmium und auf 1,1–1,5 mg Blei.

Damit liegt der Metallgehalt der deutschen Hausmannskost unterhalb der Richtwerte, die nach Auffassung der Weltgesundheitsorganisation für Blei (2,9–3,5 mg) und Cadmium (0,44–0,53 mg) eine annehmbare wöchentliche Belastung darstellen.

Metallvergiftungen über den Speiseplan wird man in der Regel heute wohl nicht befürchten müssen.

Wenn aber späteren Generationen ebenfalls ausreichend Boden zum

Anbau genießbarer Nahrungsmittel zur Verfügung stehen soll, darf die Belastung von Böden nicht so weitergehen wie bisher.

Schon heute weisen Gemüsebeete in manchen Laubenkolonien der Großstädter und Ackerböden an verkehrsreichen Straßen einen hohen Bleigehalt auf. So sollen bereits auf 700 000 Hektar Land links und rechts von vielbefahrenen Straßen 100 mg Blei je kg Boden stecken; hinzu kommen einige hunderttausend Hektar Land in der Nähe cadmiumausstoßender Betriebe mit einem Cadmiumgehalt bis zu 3 mg je kg Boden.

Manche Bodenexperten bezweifeln, daß auf solchen Böden noch gesunde Nahrung zu ernten sei.

Gift für Generationen

Jahrein, jahraus empfiehlt die niedersächsische Landesregierung den Bewohnern von Nordenham und Umgebung, nicht alles zu verspeisen, was auf dem Acker und im Gemüsebeet wächst und gedeiht.

Mal weisen Erdbeeren und Kartoffeln, mal Johannisbeeren und Kopfsalat einen außergewöhnlich hohen Gehalt an Blei und Cadmium auf.

Ursache der unerwünschten Beigaben zum Obst und Gemüse sind die Emissionen einer Zink- und Bleihütte. Seit 1906 werden in der norddeutschen Stadt, wenige Kilometer südlich der Wesermündung in die Nordsee, Blei- und Zinkerze verarbeitet.

Als im Februar 1972 nach einem Filterschaden reichlich Blei aus dem Schornstein der Bleihütte quoll und auf benachbartes Weideland herabregnete, starben etwa 130 Rinder am bleischweren Futtergras. Auch bei Normalbetrieb der Hüttenwerke müssen die Menschen dort mit hohen Blei- und Cadmiumniederschlägen leben.

Auf einem Gebiet im Umkreis von 1–2 km um die Hüttenanlage gingen in den siebziger und Anfang der achtziger Jahre im langjährigen Durchschnitt gesehen täglich rund 0,4–0,8 mg Blei und über 0,005 mg Cadmium nieder.

Leidensgenossen finden die Nordenhamer in der niedersächsischen Region Oker/Harlingerode im Harz.

Dort, in der Nähe von Goslar, wo schon seit Jahrhunderten Blei- und Zinkerze abgebaut werden und die Erde von Natur aus bleihaltiger

Eine geplagte Gegend – Oker/Harlingerode

Eine Blei- und eine Zinkhütte sorgen im Harz östlich von Goslar für ungewöhnlich hohe Cadmium- und Bleibelastungen.

Zwar ist der Boden dort von Natur aus bleihaltiger als gewöhnlich, aber ein Vergleich der Belastung in Orten mit verschiedenen Entfernungen von den Hütten zeigt, woher der metallhaltige Staub weht.

Entfernung von der Zink-/Bleihütte:	Harlingerode 1,5/2,5 km östlich	Oker rund 1,5 km südlich	Göttingerode rund 2–2,5 km süd-östlich
-------------------------------------	---------------------------------------	--------------------------------	--

Bleiniederschlag pro m ² täglich	rund 2 mg	rund 1 mg	rund 0,08 mg
---	-----------	-----------	--------------

Cadmiumniederschlag pro m ² täglich	rund 0,16 mg	rund 0,08 mg	rund 0,04 mg
--	--------------	--------------	--------------

Gemüseproben aus den verschiedenen Orten spiegeln die unterschiedliche Berieselung mit Blei und Cadmium recht gut wider.

	Harlingerode	Oker	Göttingerode
<i>Bleigehalt je kg Frischgewicht</i>			
Salat	0,15–10,28 mg	0,10–7,30 mg	0,01–1,84 mg
Grünkohl	0,62–19,47 mg	0,16–5,20 mg	rund 2,46 mg
Spinat	0,91–14,63 mg	0,01–4,41 mg	keine Angaben

	Harlingerode	Oker	Göttingerode
<i>Cadmiumgehalt je kg Frischgewicht</i>			
Salat	0,03–0,94 mg	0,01–1,40 mg	0,07–0,71 mg
Grünkohl	0,12–1,75 mg	0,04–1,22 mg	rund 0,18 mg
Spinat	0,27–1,75 mg	0,06–0,37 mg	keine Angaben

Nach: Niedersächsischer Minister für Bundesangelegenheiten 1983. Die Messungen wurden 1981 durchgeführt.

ist als gewöhnlich, sorgen ebenfalls eine Blei- und eine Zinkhütte für hohe Belastungen der Bevölkerung. So wurden zum Beispiel allein im Jahre 1981 73 t Blei und 8 t Cadmium ausgestoßen und verteilt sich auf Gärten, Straßen, Wiesen und Feldern.

Auch wenn Umweltschutzmaßnahmen und Umstellungen der Produktionsweise sowohl in Nordenham als auch in Oker/Harlingerode

den Metallausstoß mindern werden¹² – die Bevölkerung wird noch lange an den Blei- und Cadmiumstäuben knabbern müssen. Längst abgelagerte Metallstäube werden vom Wind emporgewirbelt, treiben aufs Neue durch die Luft und setzen sich wieder irgendwo ab, vielleicht für ein paar Stunden, vielleicht für ein paar Jahre.

Daß Umweltsünden der Vergangenheit jahrzehnte- oder sogar jahrhundertlang ausgebadet werden, muß die Bevölkerung Stolbergs, rund 10 km östlich von Aachen, erfahren.

Früher rätselten die Bauern in dieser Gegend über die Ursachen einer Rinderkrankheit, die ihnen hin und wieder das Vieh wegraffte. Ende der sechziger Jahre wiesen Mediziner schließlich nach, daß keine geheimnisvolle Seuche, sondern Bleivergiftungen das Rindersterben auslösten.

Ungewöhnlich hohe Blei- und Cadmiumbelastungen haben im Stolberger Raum eine lange Geschichte.

Bereits die alten Römer waren durch reiche Blei- und Zinkvorkommen zum Bergbau gelockt worden und hatten für die Ansiedlung metallverarbeitender Betriebe gesorgt.

Im Mittelalter bescherte der Aufschwung des Erzbergbaus dem Stolberger Raum eine große Anzahl neuer Bergwerke und Fabriken – und leider auch jede Menge Abraummateriale aus den Stollen und Schächten, das hier und dort zu großen und kleinen Halden zusammengekarrt wurde.

Heute noch weht der Wind metallhaltige Stäube von den Abraumhalden; mehrere Metallbetriebe und vor allem eine Bleihütte sorgen für zusätzliche Belastungen.

Selbst Umweltschutzmaßnahmen der dortigen Betriebe werden die hohen Blei- und Cadmiumniederschläge so schnell nicht aus der Welt schaffen. So konnte der Ausstoß von Blei von 33 t im Jahre 1974 auf 18 t im Jahre 1981 gesenkt werden; die Cadmiumemissionen fielen im gleichen Zeitraum von einer Tonne auf 0,4 t. Dennoch rieselten 1981 auf einer Fläche von 30 km² rings um die Bleihütte 1,1 mg Blei und 0,019 mg Cadmium täglich auf jeden Quadratmeter, 1982 waren es sogar 2,1 mg Blei und 0,029 mg Cadmium.

12 Nach einer Mitteilung aus dem Ministerium für Bundesangelegenheiten in Niedersachsen vom Sommer 1985 sollen sich die Bleiemissionen im Raum Oker/Harlingerode um 40% und die Cadmiumemissionen um 88% verringern, wenn die Umweltschutzmaßnahmen abgeschlossen sein werden.

Kaum verwunderlich, daß noch in den achtziger Jahren das Vieh in Stolberg stirbt und 1983 die Stadtverwaltung den Bürgern dringend raten mußte, in einigen Gebieten auf den Anbau von Kopfsalat, Rote Bete, Kartoffeln, Möhren, Petersilie und Sellerie zu verzichten.

Am meisten dürften wieder einmal die Kinder unter dem Blei- und Cadmiumstaub leiden.

Kinder wirbeln beim Spielen Staub auf, schlucken und atmen die herumfliegenden Teilchen und stecken sich gelegentlich auch etwas in den Mund: schmutzige Finger oder verstaubtes Spielzeug.

Außerdem nehmen Kinder mehr Blei aus der Nahrung ins Blut auf als Erwachsene.

Während Erwachsene kaum 10% des Bleigehalts der Nahrung in den Körper einbauen und den Rest ausscheiden, bleibt im Kinderkörper bis zu 50% des geschluckten Bleis zurück.

Im Blut von Kindern aus Stolberg, Oker/Harlingerode oder Nordenham findet man deshalb auch öfters höhere Bleiwerte als bei Kindern in anderen Regionen der Bundesrepublik.

Eine Untersuchung 7–12jähriger Schüler aus Stolberg erhärtete 1980 den Verdacht, Bleibelastungen könnten eine flüchtige und ungenaue Wahrnehmung von Reizen fördern und die Aufmerksamkeit beeinträchtigen. Unter Sechsjährigen in einer Nordenhamer Untersuchung zeigten vor allem jene Kinder eine leicht verminderte Reaktionsschnelligkeit, deren Mütter während der Schwangerschaft hohen Bleibelastungen ausgesetzt gewesen waren.

Ob sich solche Einflüsse des Bleis auch im späteren Leben der Kinder einmal auswirken werden, läßt sich natürlich nicht beweisen.

Hinzu kommt: Den Kindern liegt Blei nicht nur im Blut, es steckt ihnen auch in den Knochen.

Manche Mediziner vermuten, in den Knochen angesammeltes Blei könnte in Stresssituationen oder bei hohem Fieber plötzlich ins Blut abgesondert werden. So sind einige Fälle von Bleivergiftungen unter Arbeitern beobachtet worden, die plötzlich auftraten, obwohl die Bleibelastung schon jahrelang vorbei gewesen war.

Die Wissenschaftler sind sich zwar wieder einmal nicht einig, ob solche Bleiaus-schüttungen tatsächlich stattfinden können, auszuschließen ist das bisher allerdings nicht.

Und noch eines wird man wohl bedenken müssen.

Dort, wo viel Blei rieselt, ist auch Cadmium meistens mit dabei.

Die Cadmiumbelastungen sind nicht so hoch, daß sofortige Wirkungen spürbar wären.

Aber schon heute sollen einige tausend Menschen an Nierenschäden leiden, die durch die schleichende Vergiftung mit Cadmium hervorgerufen worden sind.

Nicht nur in Oker, Nordenham und Stolberg machen die Metallstäube das Spielen für Kinder riskant. Die Zusammenballung chemischer und metallverarbeitender Betriebe führt auch in einigen Großstädten zu Blei- und Cadmiumniederschlägen, die oberhalb der duldbaren Richtwerte liegen (siehe Seite 66).

So lagerten sich in einigen Regionen von Köln und Oberhausen und in großen Teilen der Stadt Duisburg 1980/81 täglich mehr als 0,25 mg Blei pro Quadratmeter ab, in Oberhausen und Duisburg überstiegen auch die Cadmiumniederschläge den Grenzwert von 0,005 mg.

In Berlin mußte 1979 und im Februar 1985 ein Spielplatz zeitweise geschlossen werden, weil abgelagerte Bleistäube aus einer benachbarten Batteriefabrik spielende Kinder zu sehr gefährdet hätten. Bewohner der Nachbarschaft klagen über Kopfweh, Gliederschmerzen und Verdauungsstörungen – einen Zusammenhang mit der Bleibelastung können sie allerdings nicht nachweisen.

Wieder einmal begegnet uns das altbekannte Problem:

Das Gift in der Atemluft ist nicht so stark, daß Wirkungen sofort spürbar und damit auch beweisbar wären.

Dennoch ist nicht auszuschließen, daß empfindliche Personen in ihrem Wohlbefinden beeinträchtigt sind und daß auch robustere Menschen an Spätschäden leiden werden.

Unbekümmert sollte man jedoch auch einem gering erscheinenden Risiko nicht gegenüberstehen.

Das zeigen jedenfalls die Erfahrungen mit Asbest.

Nadeln in der Lunge – Asbeststaub

Der Naturstoff Asbest macht seinem griechischen Namen (ásbestos: unauslöschlich) alle Ehre.

Asbest ist unbrennbar, hält die ätzende Wirkung von Säuren aus und ist recht widerstandsfähig gegen Druck- und Schlageinwirkung. Da Asbest auch Wärme isoliert, Elektrizität nicht leitet, sich zu dicken

Platten und dünnen, biegsamen Matten verarbeiten läßt, ist er ein vielseitiger Werkstoff.

Während in Deutschland vor dem Zweiten Weltkrieg jährlich 30 000 t Asbest verbraucht wurden, sind es in der Bundesrepublik seit den siebziger Jahren 150 000–200 000 t im Jahr.

Der größte Batzen wird zu Asbestzement verarbeitet, um daraus Fassadenplatten für Hauswände, Feuerschutzwände, Dach- und Deckenplatten, Bodenbelag und Rohrleitungen herzustellen.

Außerdem wird Asbest als Kittmasse, als Belag für Bremsen und Kupplungen und zum Überziehen von Straßendecken verwendet. Schließlich findet sich Asbest als wärmeisolierendes Material in manchen Bügeleisen, Toastern und Durchlauferhitzern.

Ein wahrhaft vielseitiger Werkstoff, der jedoch einen Haken hat – im wahrsten Sinne des Wortes.

Chemisch gesehen ist Asbest ein Gemisch aus verschiedenen Stoffen. Es besteht vor allem aus Magnesium- und Siliziumoxidverbindungen; hinzu kommen Eisen-, Aluminium- und Calciumoxid.

Jeder dieser Stoffe ist für sich genommen eigentlich eine recht harmlose chemische Verbindung.

Aber das Gemisch dieser Stoffe bildet ein Knäuel von kleinen harten Fasern, Bruchteile von wenigen Millimetern lang und manchmal kaum dicker als 0,001 mm. Solche Fasern oder Bruchstücke davon bröckeln von der Asbestmasse ab, schwirren in der Luft umher und können über die Atemwege in die Lunge eindringen.

Dort spießen sie sich in das empfindliche Gewebe, bohren sich fest und bewirken langfristig eine Umwandlung des feinen Gewebes in eine derbe Masse. Reizhusten, Auswurf, später Atemnot sind die Anzeichen für eine so entstehende *Asbestose*. Die gestörte Lungentätigkeit kann zu einer Überbeanspruchung des Herzens führen, unter Umständen mit tödlichen Folgen.

Asbestose wurde erstmals 1899 bei Arbeitern beobachtet, die beruflich hohen Belastungen mit Asbeststaub ausgesetzt waren. In der Bundesrepublik kommen heute mehrere hunderttausend Menschen beruflich mit dieser Faser in Kontakt: Arbeiter in Asbestbetrieben, Tischler und Dachdecker beim Zuschneiden von Platten, Autoschlosser beim Warten von Bremsen.

Die Folgen: zwischen 1980 und 1983 beantragten über 2000 Menschen die Anerkennung einer Asbestose als Berufskrankheit; hinzu kommen fast 600 Arbeiter, die eine Krebserkrankung angezeigt

haben. Asbeststaub kann nämlich auch zu Lungenkrebs, Bauch- und Rippenfellkrebs führen. Allein 1981 starben 72 Menschen an Asbestkrebs, den sie sich nach langjähriger Berufstätigkeit zugezogen hatten.

Besser gesagt: bei 72 Todesfällen wurde die berufliche Belastung mit Asbest als Krebsursache anerkannt; die Dunkelziffer der Krebsopfer liegt viel höher.

Während Asbestose bisher nur bei Arbeitnehmern beobachtet wurde, besteht die Krebsgefährdung für jedermann.

Gelegenheiten, sich Asbeststaub in die Lunge zu holen, gibt es mehr als genug: Aus asbestverarbeitenden Betrieben entweichen jährlich rund 8 t Asbeststaub; von Kupplungs- und Bremsbelägen werden rund 10 t der gefährlichen Faser abgeschliffen. Die weitaus größeren Asbestquellen entziehen sich jedoch genaueren Schätzungen. Die Fasern bröckeln von Fassaden, werden von Straßendecken abgerieben und schwirren um Baustellen herum.

So wurden noch in 15 m Abstand von Baustellen je Kubikmeter Luft bis zu 100000 Asbestfasern ermittelt.

In der Großstadtluft können bis zu 10000 Asbestfasern je m³ gemessen werden. An vielbefahrenen Straßen oder vor verwitternden Hausfassaden ist der Asbestgehalt noch höher. Vergleichsweise saubere Landluft bringt es immerhin noch auf 10–1000 Fasern pro m³ Luft.

Schließlich trudeln Asbestfasern auch zwischen den eigenen vier Wänden zu Hause herum, da sie sich aus Baumaterial oder Haushaltsgeräten lösen.

Kein Wunder, daß sich in den Lungen zwischen 10 Millionen und 900 Millionen Asbestfasern festsetzen können – bei beruflich nicht belasteten Personen. Im abgelagerten Lungenstaub von Arbeitern, die an Asbestose erkrankt sind, lassen sich bis zu 30 Milliarden dieser Fasern ermitteln.

Anfang der achtziger Jahre schlug das Berliner Umweltbundesamt mit der Meldung Alarm, jährlich würden rund 4000 Krebstote in der Bundesrepublik auf das Konto der Asbestbelastungen gehen. Schätzungen anderer Experten bewegen sich zwischen 1000–2000 Opfern. Auch wenn über die genaue Zahl der Asbesterkrankungen gestritten wird, sicher ist, daß die jahrzehntelang hochgeschätzte Faser ihre Opfer fordert, unter Arbeitnehmern ebenso wie unter den Verbrauchern asbesthaltiger Produkte.

Deshalb ist es höchste Zeit, daß Asbest langsam von der Bildfläche verschwindet.

Mittlerweile gibt es asbestfreie Baustoffe mit ähnlichen technischen Eigenschaften wie Asbestzement; einige Automobilhersteller bieten ihre Fahrzeuge serienmäßig mit asbestfreien Bremsbelägen an; Asbestplatten werden zugeschnitten geliefert, so daß auf dem Bau weniger gesägt werden muß. Bis 1990 soll Asbest völlig aus dem Hochbau verschwinden.

Den Opfern werden diese längst fälligen Maßnahmen allerdings nichts mehr helfen.

Im Grunde hätte man viel früher auf die gesundheitlichen Risiken von Asbest reagieren können.

Asbestose ist schon seit Ende des letzten Jahrhunderts bekannt, seit 1935 weiß man auch, daß Asbest Lungenkrebs erzeugen kann.

Aber anstatt diese frühen Warnungen ernstzunehmen und erst einmal sorgfältig zu prüfen, ob die massenhafte Verwendung von Asbest nicht doch zu riskant wäre, brachte man die Faser groß ins Geschäft. Offenbar waren die technischen Aussichten zu vielversprechend, die möglichen Gewinne zu verlockend, um mit „überevorsichtigen“ Bedenken die breite Nutzung von Asbest zu verzögern.

An den Folgen leiden heute vor allem diejenigen Menschen, die weder über die Herstellung noch über den Einsatz dieser Faser mitentscheiden durften: allen voran die Arbeitnehmer, zunehmend auch die Verbraucher.

Einige Menschen tragen die Verantwortung, viele andere das Risiko – die Anwendung von Stoffen aus der organischen Chemie bietet viele Beispiele für diese Art der Arbeitsteilung.

Organische Verbindungen: vielseitiger Nutzen – vielfältiger Schaden?

Weil schon die Chemiker vor rund 200 Jahren einen Sinn für Ordnung hatten, bezeichnen wir heute ausgerechnet solche Stoffe als organische Verbindungen, aus denen Plastiktüten, Schaumstoffmattentzen, Kunstleder und Wimperntusche bestehen.

Die Experimentierkunst der damaligen Naturforscher reichte zwar aus, um chemische Verbindungen aus der unbelebten Natur wie Wasser, Erze, Säuren und Laugen in ihre Bestandteile zu zerlegen; man konnte diese Verbindungen auch aus anderen Stoffen zusammenbrauen.

Aber alle Versuche, im Labor Naturprodukte wie Olivenöl, Holz, Fette und Alkohol aus anderen Chemikalien herzustellen, blieben ohne Erfolg.

So teilte man die damals bekannten Chemikalien in zwei große Stoffklassen auf. Zu den *anorganischen Stoffen* zählte man alle Substanzen, die aus der unbelebten Natur stammen. Als *organische Verbindungen* bezeichnete man Stoffe, die durch Lebensvorgänge in Pflanze, Tier und Mensch gebildet werden.

Da die Naturwissenschaftler damals vermuteten, an der Entstehung dieser Stoffe sei eine besondere „Lebenskraft“ beteiligt, hielten sie es für unmöglich, jemals im Labor organische Verbindungen herstellen zu können.

Doch 1828 gelang es dem deutschen Chemiker FRIEDRICH WÖHLER (1800–1882), aus verschiedenen Chemikalien die organische Verbindung Harnstoff zu gewinnen – „ohne dazu Nieren oder überhaupt ein Tier, sei es Mensch oder Hund, nötig zu haben“ (Wöhler).

Weitere Erfolge der Chemie bei der „Nachahmung“ von Naturprodukten machten es bald unmöglich, die chemischen Verbindungen weiterhin nach ihrer Herkunft aus der belebten beziehungsweise unbelebten Natur zu ordnen.

Nach und nach setzte sich ein einfacheres Merkmal zur Unterscheidung organischer von anorganischen Verbindungen durch: unter organischen Stoffen versteht man heute schlicht die Verbindungen des Kohlenstoffs¹³.

Die Eigenschaft der Kohlenstoffatome, sich in großer Zahl untereinander zu verbinden, macht eine kaum überschaubare Vielfalt von Stoffen möglich. Naturprodukte wie Fette, Eiweiß und Kohlehydrate gehören ebenso zu den organischen Verbindungen wie künstlich hergestellte Farb- und Aromastoffe, Plastikfolien, Süßstoffe und bittere Pillen, Nagellack, der Teflonüberzug auf der Pfanne und der Haarfestiger für die Discfrisur.

Den rund 150000 chemischen Verbindungen, in denen kein Kohlenstoff vorkommt, stehen mehr als drei Millionen kohlenstoffhaltige Verbindungen gegenüber – und jährlich kommen 50000–100000 neue hinzu, künstlich geschaffen in den Laboratorien rund um die Welt.

Auf zahlreiche dieser Stoffe wird man heute kaum verzichten können.

Sie dienen zur Herstellung von Kosmetikartikeln, Arznei- und Nahrungsmitteln, Farben und Lacken. Kunststoffe, härter als Diamant oder weich wie ein Schaffell, ersetzen natürliche Rohstoffe; die Entwicklung der modernen Elektronik-, Fahrzeug- und Bauindustrie wäre ohne die organische Chemie nicht möglich gewesen.

Aber die Vielfalt der organischen Verbindungen hat auch ihre Schattenseiten.

Mal sind es neue Stoffe, mal unerwünschte Verunreinigungen und manchmal auch bloß Nebenprodukte von Verbrennungen, die für böse Überraschungen sorgen können.

¹³ Keine Regel ohne Ausnahme: einfache Kohlenstoffverbindungen wie Kohlenmonoxid und Kohlendioxid, Kohlensäure und ihre Salze (Carbonate) sowie Verbindungen des Kohlenstoffs mit Schwefel und mit Metallen (Karbide) zählt man zu den anorganischen Verbindungen.

Lungenzüge, beim Rauchen vermeidbar – aber beim Atmen?

Schon 1775 stand der Ruß aus Kohlefeuerungen im Verdacht, krebsauslösende Stoffe zu enthalten. Damals berichtete der englische Arzt Percivall Pott, daß Londoner Schornsteinfeger auffallend häufig an Hodenkrebs litten.

In den nächsten beiden Jahrhunderten machte man die Erfahrung, daß Beschäftigte in kohle-, teer- und ölverarbeitenden Industriezweigen einem erhöhten Lungen- und Hautkrebsrisiko ausgesetzt sind. In Tierversuchen haben sich von den vielen tausend Verbindungen, die sich in Ruß, Öl und Teer tummeln, einige Stoffe als besonders krebserregend (kanzerogen) erwiesen.

Diese Verbindungen gehören zur Stofffamilie der *Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffverbindungen*, kurz *PAK* genannt¹⁴. Wie das letzte Wort des langen Namens verrät, bestehen die Angehörigen dieser Stoffgruppe aus Kohlenstoff- und Wasserstoffteilchen; in den Molekülen dieser Verbindungen sind die Kohlenstoffatome ringförmig (zyklisch) angeordnet. Da in jedem Molekül mehrere Kohlenstoffringe vorkommen, geht dem Namen die Silbe „Poly-“ (griechisch: viel, mehrfach) voran.

Die einzelnen Vertreter der PAK-Familie unterscheiden sich durch Anzahl und Anordnung der Kohlenstoffringe, aus denen die Moleküle aufgebaut sind (siehe Seite 79).

PAK bilden sich, wenn kohlen- und wasserstoffhaltige Verbindungen unvollständig, das heißt ohne ausreichende Sauerstoffzufuhr, verbrennen.

Sie entstehen, wenn Papier verkohlt, Holzfeuer im Kamin für Gemütlichkeit sorgt und Kohle- und Ölöfen rauchen.

Und sie befinden sich auch im Tabakqualm!

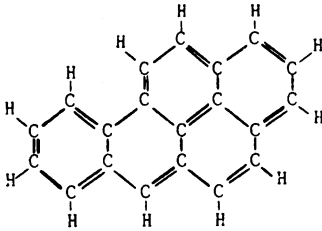
Der Anteil der einzelnen PAK-Mitglieder in den Verbrennungsabgasen hängt vom Brennstoff und vor allem von der Höhe der Verbrennungstemperaturen ab. Immer dabei dürften jedoch die rund 15

¹⁴ Neuerdings trifft man auch häufig auf die Kurzform PAH nach dem englischen Wort „polyaromatic hydrocarbons“. Das Eigenschaftswort „aromatisch“ hat einen alten Ursprung: die in den Molekülen vorkommenden Kohlenstoffringe wurden zuerst in natürlichen Aromastoffen wie Bittermandelöl, Waldmeister, Zimt und Anis entdeckt.

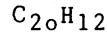
Eine stabile Ringverbindung – Benzo(a)pyren

Das Grundgerüst der *Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffverbindungen* besteht aus ringförmig angeordneten Kohlenstoffatomen, die zum Teil doppelt miteinander verbunden sind.

An einigen Kohlenstoffatomen ist noch ein Wasserstoffatom angelagert. Wer nachzählt, wird feststellen, daß jedes C-Atom insgesamt vier Bindungen eingeht.



Benzo(a)pyren



Die ringförmige Anordnung der Kohlenstoffatome machen die Moleküle der PAK so stabil, daß sie Verbrennungstemperaturen von einigen hundert Grad überstehen.

Verbindungen sein, die bisher als krebserregend erkannt worden sind.

Am besten untersucht – und wohl auch einer der gefährlichsten Vertreter der Sippschaft – ist die Verbindung *Benzo(a)pyren*, kurz *BaP*, ein kristallartiger, in größeren Mengen leicht gelblicher Stoff, der, angelagert an Staub und Rußteilchen, in der Luft herumtrudelt. Da die Bildung von BaP von Ofen zu Ofen recht unterschiedlich verläuft, sind über die jährlichen BaP-Emissionen nur grobe Schätzungen möglich.

Vergleichsweise wenig BaP entweicht aus den großen Öfen der Kraftwerke und Industriebetriebe. In den gut belüfteten, mit ausreichend Sauerstoffzufuhr arbeitenden Feuerungsanlagen werden die Kohlenwasserstoffverbindungen zumeist vollständig zersetzt.

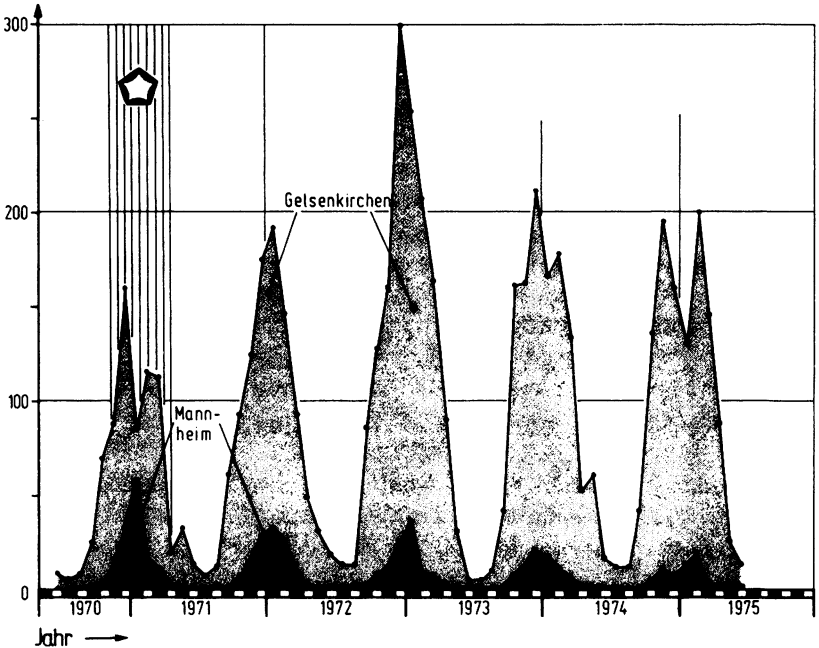
Übrig bleiben dann nur noch die Verbrennungsprodukte von Kohlenstoff und Wasserstoff: Kohlendioxid und Wasser(dampf). Die Steinkohlekraftwerke der Bundesrepublik sollen zum Beispiel pro Jahr höchstens 70 kg BaP an die Luft abgeben.

Wenn die Kohleöfen bullern ...

Alle Jahre wieder, im Winter, erreichen die Benzo(a)pyren-Konzentrationen in der Luft Spitzenwerte. Besonders die Abgase aus Kohleöfen reichern die Luft mit Benzo(a)pyren an.

Da auch in Gelsenkirchen der Anteil der Kohleöfen an der Wohnraumbeheizung zurückgegangen ist, dürften heute die Benzo(a)pyren-Belastungen niedriger liegen. Neuere Werte sind leider nicht bekannt.

Benzo(a)pyren-Belastung (in Nanogramm pro Kubikmeter)



Nach: Umweltbundesamt 1977

Zur Erinnerung: ein Nanogramm ist ein millionstel Milligramm.

Lästiger sind da schon die 1–2 Tonnen, die aus den Öfen von Kleinbetrieben und Wohnräumen qualmen.

Weitere 2 t BaP kommen jährlich im Straßenverkehr durch die unvollständigen Verbrennungen in Benzin- und Dieselmotoren zusammen.

Vor allem die Abgase aus den Autoauspuffen tragen dazu bei, daß der BaP-Gehalt in der Stadtluft 5–20mal höher ist als in der Luft auf dem Lande, wo kaum mehr als ein milliardstel Gramm BaP (1 ng) pro Kubikmeter Luft gemessen werden.

Besonders stark mit PAK und damit auch mit BaP ist die Stadtluft im Winter belastet. Dann sorgen die rauchenden Schornsteine dafür, daß durchschnittlich zehnmal mehr BaP in der Luft herumschwirrt als im Sommer (siehe Seite 80).

Obwohl BaP und andere PAK auch in der Stadtluft bloß mit einigen milliardstel Gramm je Kubikmeter vorkommen, wird das höhere Lungenkrebsrisiko der Städter auch auf diese Luftverunreinigungen zurückgeführt.

Da Krebs sehr viele Ursachen haben kann, ist es heute noch nicht möglich, die Bedeutung eines einzelnen Schadstoffes für die Auslösung von Krebs zu bestimmen.

Doch einiges spricht für die Annahme, daß das erhöhte Lungenkrebsrisiko der Stadtmenschen auch auf das Konto von BaP und seiner Verwandtschaft geht:

Im Zigarettenrauch ist bisher keine Substanz gefunden worden, die eine ähnlich starke Krebswirkung hat wie die PAK-Verbindungen. In China ist unter den Bewohnern von Räumen, die mit offenem Kohlefeuer beheizt werden, die Lungenkrebsrate höher als im Landesdurchschnitt. Der BaP-Gehalt der Londoner Luft konnte durch eine Begrenzung des Schadstoffausstoßes zwischen 1949 und 1973 um 90% gesenkt werden; nach und nach näherte sich auch die extrem hohe Lungenkrebsrate in London dem britischen Landesdurchschnitt an.

Eine Untersuchung der Technischen Universität Zürich aus dem Jahre 1982 kommt sogar zu dem Ergebnis, daß 40% der Lungenkrebstoten in der Schweiz Opfer PAK-haltiger Luft sind. Nach dieser Erhebung ist ein einstündiger Aufenthalt in den Straßen Zürichs genauso riskant für die Bildung von Lungenkrebs wie das Rauchen einer Zigarette – auf Lunge.

Keine Lungenzüge beim Atmen! möchte man am liebsten empfehlen.

Doch die Verschmutzung der Luft mit organischen Verbindungen setzt uns nicht nur beim Atmen zu.

Wird die Ozonschicht zersprüht?

Jahrzehntlang galten *Chlorfluorkohlenstoffe* (CFK), Verbindungen aus Kohlenstoff, Chlor und Fluor, als ideale technische Hilfsstoffe. Die am meisten verwendeten Vertreter dieser Gruppe, Dichlordifluormethan¹⁵ und Trichlorfluormethan¹⁵ sind unbrennbare, sehr reaktionsträge Gase.

Sie lassen sich zum Reinigen und Entfetten hochwertiger Erzeugnisse der Elektroindustrie verwenden, dienen als Kältemittel für Kühlanlagen und Gefriergeräte und werden als Treibgase zum Aufschäumen von Kunststoffen sowie zur Füllung von Spraydosen benutzt.

Da die Gase erst giftig wirken, wenn man sie in größeren Mengen direkt einatmet (inhaliert), sorgte sich früher niemand darüber, daß der größte Teil der jährlich produzierten CFK-Verbindungen einfach in die Luft gepustet wurde.

So wurden weltweit bis 1975 rund 8,5 Millionen t dieser Gase hergestellt, und über 7,3 Millionen t davon schwirrten damals bereits wieder in der Luft umher.

Die Gase entweichen aus Sprühdosen, beim Aufschäumen von Kunststoff, beim Verschrotten von Kühlgeräten und verdampfen aus Reinigungsmitteln.

Der weitaus größte Anteil stammt aus den bequemen Spraydosen: 60700 t CFK-Verbindungen entwichen 1975 in der Bundesrepublik an die Luft, 50000 t davon allein beim Versprühen von Haarfestigern, Körperdeo, Lederpflegemitteln, Lacken und vielem mehr.

Doch Mitte der siebziger Jahre wurde der unbekümmerte Umgang mit diesen Gasen etwas gedämpft.

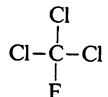
Wissenschaftler aus den USA warnten damals davor, die versprühten Treibgase könnten eines Tages die Ozonschicht in der oberen Lufthülle der Erde empfindlich angreifen.

Ozon, das Gas, das hier unten als Umweltgift Bäume, Menschen und Gebäude schädigt (siehe Seite 50), kommt in Höhen zwischen 10 und 40 km in größeren Konzentrationen vor – und erfüllt dort oben eine lebenswichtige Aufgabe:

15 Dichlordifluormethan
(di – griechisch: zwei)



Trichlorfluormethan
(tri – griechisch: drei)



Es hält den größten Teil der ultravioletten Sonnenstrahlung (UV-Strahlung) ab, die ständig in die Lufthülle der Erde eindringt.

In Maßen genossen, trägt die UV-Strahlung zwar durch Anregung des Stoffwechsels und des Kreislaufs zu unserem Wohlbefinden bei, sie ruft auch die begehrte Urlaubsbräune hervor; doch stärkere Strahleneinwirkung ist sehr schädlich für lebende Zellen.

UV-Strahlung ist für den Sonnenbrand verantwortlich und kann zur Entstehung von Hautkrebs führen. Ihre zerstörerische Wirkung auf lebende Zellen wird sogar genutzt, um mit künstlichem UV-Licht Operationssäle keimfrei zu halten.

Ohne Schutz gegen diese energiereiche Strahlung hätte sich in grauer Vorzeit auf der Erde kein Leben entwickeln können; die organischen Verbindungen wären unter der Strahlenbelastung rasch zerfallen.

Schon von Natur aus unterliegt die schützende Ozonschicht zahlreichen Einflüssen. Die Stärke der einfallenden Sonnenstrahlung gehört ebenso dazu wie eine Vielzahl chemischer Reaktionen, die im oberen Teil der Lufthülle zwischen den zahlreichen Verunreinigungen und den natürlichen Bestandteilen der Luft ablaufen.

Einige dieser Vorgänge bauen Ozon ab, andere lassen Ozon entstehen.

Bisher ist dabei immer so viel Ozon übriggeblieben, daß das Leben auf der Erde hinreichend gegen die UV-Strahlung geschützt war – doch die hier unten versprühten Treibgase mischen bei den Reaktionen kräftig mit, zum Nachteil der Ozonschicht.

Da die CFK-Verbindungen chemisch sehr stabil sind, werden sie nicht abgebaut und überstehen auch die 10–15 Jahre, die es dauern kann, bis sie die luftigen Höhen der Ozonschicht erreichen.

Dort oben, der stärkeren Wirkung der Sonneneinstrahlung ausgesetzt, spaltet sich von den Gasmolekülen ein Chlorteilchen (Cl) ab. Das freie Chlorteilchen reagiert mit einem Ozonmolekül (O_3) und entreißt ihm ein Sauerstoffatom; dabei bildet sich Chloroxid (ClO). Ein abgetrenntes Chlorteilchen hat somit vorerst ein Ozonmolekül auf dem Gewissen, und es schafft noch mehr.

Chloroxid reagiert mit einzeln vorkommenden Sauerstoffatomen (O); es verliert dabei sein eigenes Sauerstoffatom, so daß anschließend O_2 und wieder ein einzelnes Chloratom (Cl) vorhanden sind.

Dieses Chlorteilchen macht sich wieder an ein Ozonmolekül heran – der Raubbau setzt sich fort.

Die ersten Warnungen in den siebziger Jahren ließen befürchten, der Ozongehalt der oberen Luftschichten könnte sich in den nächsten hundert Jahren um 20% verringern, wenn der Verbrauch der ozonfressenden Treibgase nicht erheblich eingeschränkt würde.

Die Folgen eines derartigen Abbaus der Ozonschicht wären verheerend.

Weltweit würden sich die Hautkrebserkrankungen häufen; Nutzpflanzen wie Mais und Senf, die schon heute an der Grenze ihrer UV-Belastbarkeit stehen, erlitten Wachstumsschäden. Die Fisch- und Krabbenbestände in den Weltmeeren könnten sich vermindern, weil die Brut sehr empfindlich auf UV-Strahlen reagiert.

Unter dem Eindruck dieser Gefahren handelten einige Regierungen beherzt:

In den USA, Kanada, Schweden und Norwegen ist mittlerweile die Verwendung von CFK-Verbindungen als Treibgas in Sprühdosen verboten.

Daß sich die Bundesregierung bei uns nicht zu einem Verbot durchringen konnte, mag auch an einem 1976 erstellten Gutachten über die wirtschaftlichen Folgen eines Verbots gelegen haben.

Danach hätten die Hersteller der Treibgase Umsatzverluste von 200 Millionen DM in Kauf nehmen müssen, rund 600 Arbeitsplätze wären verlorengegangen.

Man begnügte sich damals mit einem Abkommen mit der Industrie, die versprach, nach und nach die Verwendung von CFK-Verbindungen einzuschränken.

Immerhin lag der CFK-Verbrauch in der Bundesrepublik Anfang der achtziger Jahre um rund 40% niedriger als Mitte der siebziger Jahre (rund 70000 t). Weltweit wurden 1983 rund ein Fünftel weniger CFK-Verbindungen hergestellt als 1974.

Ob diese Politik der kleinen Schritte ausreichen wird, um zukünftige Generationen vor Schäden zu bewahren, kann heute niemand mit Gewißheit sagen.

Neuere Schätzungen Anfang der achtziger Jahre hielten nur noch einen Ozonabbau von höchstens 10% für wahrscheinlich; mittlerweile rechnet man mit noch geringeren Ozonverlusten.

Das ist nicht etwa der Erfolg bisheriger Einsparungen an Treibgasen, sondern eher Folge besserer Kenntnisse der chemischen Vorgänge in den oberen Luftschichten:

In der Zwischenzeit sind weitere Reaktionen bekannt geworden, die wiederum die Bildung von Ozon begünstigen.

Zudem sorgt die Verschmutzung der Luft mit Stickoxiden durch Kraftwerke, Autos und hochfliegende Flugzeuge möglicherweise für Ozonnachschub (siehe Seite 49).

Der wachsende Kohlendioxidgehalt der Luft könnte außerdem dazu beitragen, daß sich die Abbaureaktionen des Ozons verlangsamen. Entwarnung kann das aber noch nicht bedeuten!

Gegenüber den nächsten Generationen ist es bestimmt verantwortlicher, nach und nach die CFK-Verschmutzungen der Luft zu unterbinden, statt darauf zu spekulieren, daß die Auswirkungen schon nicht so schlimm sein werden.

Bis heute sind bereits mehr als 10 Millionen t dieser Treibgase in die Luft entwichen; selbst ein sofort wirksames weltweites Verbot für die Herstellung von CFK-Verbindungen könnte nichts daran ändern, daß sich die langlebigen Gase an die Ozonschicht heranmachen.

Auch wenn heute einiges dafür spricht, daß sich der Abbau der Ozonschicht in erträglichen Grenzen halten wird – sicher wäre man erst, wenn man auf die CFK-Treibgase ganz verzichten würde.

Im Grunde genommen ähnelt die weitere Verwendung der ozonfresenden Gase einem Experiment im Weltmaßstab.

Man kann zwar einigermaßen abschätzen, was dabei herauskommen wird – doch Überraschungen sind nicht ausgeschlossen.

Es wäre schließlich nicht das erste Mal, wenn die langfristigen Folgen von Luftverschmutzungen sich als schlimmer herausstellen würden als ursprünglich erwartet.

Die Geschichte des Kunststoffes PVC ist dafür nur ein weiteres Beispiel.

Schöne heile Plastikwelt?

Seit Mitte der dreißiger Jahre stellt die chemische Industrie aus dem farblosen Gas *Vinylchlorid* (VC) den vielseitig nutzbaren Kunststoff PVC her.

Die Jahresproduktion von PVC beträgt inzwischen weltweit rund 8 Millionen t, allein in der Bundesrepublik werden etwa eine Million t produziert.

Gehärtetes PVC eignet sich zur Fertigung von Rolläden, Fensterrahmen, Rohren und Schallplatten; nach Zugabe von Weichmachern kann PVC zu Folien, Tischdecken, Schläuchen, Duschvorhängen, Fußbodenbelägen und Margarinebechern verarbeitet werden.

Lange Zeit störte man sich wenig daran, daß bei der PVC-Produktion Menschen und Umwelt mit dem Ausgangsstoff Vinylchlorid belastet wurden.

Gasreste, die nach dem Herstellungsverfahren in den Reaktionskesseln übriggeblieben waren, ließ man einfach in die Luft ab.

Anschließend reinigten Arbeiter die Innenwände der Druckgefäße. Otto Normalverbraucher durfte sich mit Vinylchlorid sogar die gute Stube verpesten: das Gas diente auch als Treibmittel zur Füllung von Spraydosen.

Doch Anfang der siebziger Jahre endete der sorglose Umgang mit diesem Gas:

Ärzte hatten festgestellt, daß unter Arbeitern eines PVC-Werkes bei Köln verschiedene Krankheitsanzeichen gehäuft auftraten: Veränderungen im Blutbild, Schlafstörungen, mangelnde Durchblutung, Magenbeschwerden, Leber- und Milzschäden.

Aus den USA wurde über den Tod von fünf Arbeitern berichtet, die nach langjähriger Beschäftigung in der PVC-Produktion an einer seltenen Leberkrebsart gestorben waren. Diese Meldung rückte drei ähnliche Todesfälle in ein neues Licht, die sich bis 1973 unter PVC-Arbeitern in der Bundesrepublik ereignet hatten.

In den folgenden Jahren hörte man plötzlich aus zahlreichen Ländern der Welt von Leberkrebsfällen unter PVC-Arbeitern. Tierversuche bestätigten den Verdacht, daß vinylchloridhaltige Luft Krebs erzeugen kann.

Rasch wurden in der Bundesrepublik die Sicherheitsmaßnahmen für den Umgang mit Vinylchlorid verschärft.

Bis 1970 hatte man den Arbeitern in der PVC-Produktion eine Arbeitsplatzbelastung bis zu 1300 mg Vinylchlorid je Kubikmeter Luft zugemutet; 1970 wurde der zulässige Höchstwert auf 260 mg/m³, 1975 auf 13 mg/m³ gesenkt. Mittlerweile gilt die Richtlinie, daß die VC-Konzentration so klein sein muß wie technisch möglich, höchstens jedoch 8 mg/m³ betragen darf.

Auch die Verschmutzung der Außenluft durch VC-Emissionen bei der Kunststoffherstellung wurde erheblich verringert.

Eine verbesserte Abdichtung der Anlagen und vor allem die Rückgewinnung des nicht verbrauchten Gases aus den Reaktionskesseln sorgten in kurzer Zeit für eine deutliche Verminderung der VC-Abgase:

1974 wurden bei einer jährlichen PVC-Produktion von einer Million t in der Bundesrepublik 40000 t VC an die Luft geblasen, 1976 entwichen noch 10000 t Vinylchlorid an die Luft, heute dürfte man deutlich unter 5000 t liegen.

Mittlerweile ist auch die Verwendung von VC als Treibgas verboten. Ob neben den Beschäftigten auch Anwohner von PVC-Werken durch VC-haltige Abgase geschädigt wurden, läßt sich heute nicht mehr feststellen.

In den USA sollen drei Hausfrauen an der seltenen Leberkrebsart gestorben sein; alle drei wohnten in der Nähe eines PVC-Werkes – Zufall?

Heutzutage wird man dem Bundesminister des Innern wohl zustimmen können, wenn er erklären läßt, Gesundheitsschäden durch VC seien mittlerweile für Arbeiter und Verbraucher „weitgehend ausgeschlossen“.

Aber einmal davon abgesehen, daß weitgehend ja nicht vollständig heißt: sind die früheren Vinylchloridopfer tatsächlich unvermeidbar gewesen?

Bereits 1938 hatten Tierversuche erste Hinweise auf gesundheitsschädigende Wirkungen von Vinylchlorid ergeben.

Elf Jahre später war sowjetischen Wissenschaftlern aufgefallen, daß unter PVC-Arbeitern Leberschäden besonders verbreitet sind; 1957 stellte man in der Sowjetunion ein gehäuftes Auftreten von Gefäßkrämpfen unter PVC-Arbeitern fest.

Aus Rumänien lagen 1963 Berichte vor, nach denen Beschäftigte in PVC-Werken häufiger als der Bevölkerungsdurchschnitt an nervösen Störungen, Hautschäden, Schlafstörungen sowie an Milz- und Leberschäden litten.

Einige Jahre später kamen sowjetische, britische und amerikanische Untersuchungen zu dem Ergebnis, eine langfristige Belastung mit VC-haltiger Luft könne Veränderungen des Knochenbaus bewirken. Schließlich wurde bereits 1970 auf dem Zehnten Internationalen Krebskongreß in Houston (Texas) über Tierversuche berichtet, in denen sich VC-Gase als krebserregend erwiesen hatten.

Selbst wenn einige dieser Forschungsergebnisse wissenschaftlich

nicht hundertprozentig gesichert waren – hätten nicht die frühen Hinweise auf mögliche Gefahren für die Gesundheit von Beschäftigten und Anwohnern der PVC-Werke zu gründlichen Prüfungen und vorbeugenden Sicherheitsmaßnahmen führen müssen?

Wenn sich solche frühzeitigen Maßnahmen dann doch als überflüssig erwiesen hätten, wäre letztlich nur finanzieller Schaden entstanden. Ein vergleichsweise harmloser Verlust, gemessen an dem Preis, den die vergifteten Menschen mit ihrer Gesundheit bezahlen mußten.

Heute macht uns die PVC-Produktion nicht mehr so schwer zu schaffen, dafür gibt es Probleme bei der Beseitigung des Kunststoffes.

Wenn PVC verbrennt, bildet sich aus Chlor- und Wasserstoffteilchen das Salzsäuregas Chlorwasserstoff, das zur Entstehung von saurem Regen beiträgt (siehe Seite 31).

Rund 46% der Chlorwasserstoffabgase aus Müllverbrennungsanlagen gehen heute auf das Konto von Plastikmüll aus PVC.

Wahrlich ätzend wird es im September 1984 den Einwohnern des Städtchens Rösrath, östlich von Köln, zumute gewesen sein.

Dort gingen bei einem Großbrand in einer Plastikfabrik in einer Nacht rund 500 t PVC in den Flammen auf. Anwohner klagten über Übelkeit, Erbrechen, Kopfschmerzen und Atembeschwerden, verursacht durch Salzsäuregase.

Eine ernste Gefahr für die Bevölkerung, so teilte die Feuerwehr damals mit, habe nicht bestanden.

Möglicherweise war die Feuerwehr mit dieser Einschätzung etwas zu schnell.

Mittlerweile wurden auf dem Fabrikgelände und im Boden der näheren Umgebung des Werkes chemische Verbindungen entdeckt, die eng verwandt sind mit einer Chemikalie, die unter dem Namen „Seveso-Gift“ traurige Berühmtheit erlangt hat.

Ganz unerwartet kann diese Entdeckung nicht gewesen sein, sind doch „Seveso-Gift“ und seine Verwandten schon öfters entstanden, wenn sich bestimmte chlorhaltige Kohlenwasserstoffverbindungen überhitzt haben.

Hochgiftige Begleitstoffe – Dioxine

Am 10. Juni 1976 überhitzte sich in einem Chemiewerk nahe der italienischen Stadt *Seveso*, rund 30 km nördlich von Mailand, ein Reaktionskessel. Durch das überlastete Druckventil strömte „Trichlorphenol“ ins Freie, eine Chemikalie, die zur Herstellung von Kosmetikzusätzen, Pflanzen- und Holzschutzmitteln dient.

Vom Winde verweht, verteilte sich der Stoff auf einem Gebiet von rund 18 km².

Wenige Tage nach dem Unglück verendeten die ersten Tiere in der verseuchten Gegend. Kinder klagten über Kopfweh, Übelkeit und Brechreiz; auf der Haut bildeten sich entzündliche Pusteln und Pickel.

Zwei Wochen später mußten einige hundert Anwohner des Werkes eilig umgesiedelt werden.

Inzwischen hatte man festgestellt, daß mit dem Trichlorphenol ein hochgiftiger Stoff ausgeströmt war: 2,3,7,8-TCDD, oft etwas vereinfacht als Dioxin bezeichnet (siehe Seite 90).

Angelagert an feine Staubteilchen gelangt das Gift mit der Atemluft oder mit verseuchter Nahrung in den Körper. Da 2,3,7,8-TCDD fettlöslich ist, kann es bei Hautkontakt auch direkt durch die Zellwände der Haut ins Körperinnere eindringen.

Chemische Reaktionen des Giftes mit Bestandteilen der Körperzellen stören die biologischen Abläufe im Organismus und rufen die vielfältigen Vergiftungserscheinungen hervor.

Die Folgen des Seveso-Unfalls sind nie vollständig erfaßt worden. Zahllose Kleintiere wie Schlangen, Mäuse, Kaninchen und Hasen verendeten, Haustiere mußten notgeschlachtet werden.

Zwischen 100 und 1000 Menschen, zumeist Kinder, dürften an den entstellenden Hautausschlägen („Chlorakne“) gelitten haben.

In der vergifteten Region stieg die Zahl der Fehl- und Totgeburten an. Ob Mißbildungen unter Neugeborenen in den beiden Jahren nach dem Unglück ebenfalls auf 2,3,7,8-TCDD-Vergiftungen zurückzuführen sind, ist bis heute eine Streitfrage geblieben.

Ungewiß sind auch die möglichen Langzeitschäden. Die Hautausschläge hinterlassen zum Teil Narben; 2,3,7,8-TCDD kann Leber- und Nierenschäden hervorrufen und möglicherweise auch Krebs erzeugen.

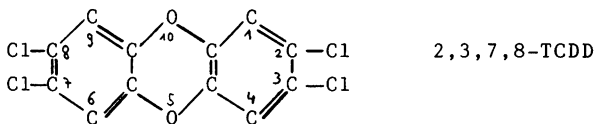
Eine Lektion in Fachchinesisch

Das Seveso-Gift 2,3,7,8-TCDD gehört zu einer Gruppe von 75 ähnlich aufgebauten chemischen Verbindungen.

Um das Namenkürzel zu entschlüsseln, rollen wir die Sache am besten von hinten auf:

- das vorletzte „D“* steht für „-dibenzo“ und weist darauf hin, daß in dem Molekül zwei Kohlenstoffringe vorkommen;
- das letzte „D“* steht für „-dioxin“. Diese Endsilbe verrät, daß die beiden Kohlenstoffringe über zwei (di) Sauerstoffteilchen (oxigenium) miteinander verknüpft sind;
- das „C“* ist eine Abkürzung für „chlor“ und gibt an, daß in dem Molekül auch Chlorteilchen vorkommen;
- das „T“* bedeutet „Tetra“ (griechisch: vier) und besagt, daß insgesamt vier Chlorteilchen im Molekül vorhanden sind;
- die Zahlen* geben die Stellung der Kohlenstoffatome an, an denen die Chlorteilchen gebunden sind.

Das Ganze heißt ausführlich *Tetrachlordibenzodioxin*.



(an den Kohlenstoffteilchen 1,4,6 und 9 befindet sich noch jeweils ein Wasserstoffatom. Zur Vereinfachung läßt man diese weg)

Die 74 Verwandten von 2,3,7,8-TCDD unterscheiden sich in Anzahl und Stellung der Chloratome voneinander.

2,3,7,8-TCDD ist der giftigste Vertreter dieser Dioxinsippe.

Wieviel TCDD damals Luft, Wasser und Boden vergiftet hat, ist ebenfalls nie geklärt worden.

Die Schätzungen bewegen sich zwischen 1–5 kg, die Unglücksfirma spricht von rund 140 Gramm.

Auf einer besonders verseuchten Fläche von etwa 80 Hektar wurden Bäume, Sträucher und Gebäude niedergerissen und der Boden mehrere Zentimeter tief abgetragen. Um den TCDD-haltigen Abfall in den nächsten Jahrzehnten von der Umwelt fernzuhalten, versenkte man Schutt, Erde und Pflanzenteile in drei riesige, mit Beton und Plastik ausgekleidete Gruben.

Daß TCDD-Verunreinigungen sehr langfristig wirksam bleiben, hat

sich bereits 1953 nach einem Unfall in einem Ludwigshafener Chemiewerk gezeigt.

Damals wurden 135 Arbeiter verseucht, mindestens einer ist an den Folgen der Vergiftung gestorben. Bei einem Arbeiter ließen sich Spuren von TCDD noch 23 Jahre nach dem Unglück im Körper nachweisen.

Obwohl Innenwände, Böden, Decken und Maschinen in dem betroffenen Gebäude mehrfach gereinigt und überstrichen wurden, konnten die Räume nie wieder genutzt werden. Kaninchen, die man 15 Jahre nach dem Vorfall in das Gebäude jagte, verendeten nach wenigen Tagen.

Auch in dem Ludwigshafener Chemiewerk hatte sich 2,3,7,8-TCDD als unerwünschtes Nebenprodukt bei der Herstellung von Trichlorphenol gebildet.

Da die hochgiftige Verunreinigung wirksam bleibt, wenn Trichlorphenol weiterverarbeitet wird, sind Menschen auch schon durch den Gebrauch von Pflanzenschutzmitteln und Kosmetikprodukten verseucht worden.

In Schweden beobachtete man eine auffällig hohe Krebsrate unter Forst- und Landarbeitern, die jahrelang mit einem aus Trichlorphenol hergestellten Pflanzenschutzmittel Kontakt gehabt hatten.

In den USA versuchen Forscher zu klären, ob eine hohe Mißbildungsrate unter Neugeborenen in einigen Gebieten des Staates Arkansas durch Vergiftungen schwangerer Frauen mit Pflanzenschutzmitteln hervorgerufen wurde¹⁶.

Das Umweltbundesamt schätzte 1983, daß in der Bundesrepublik jährlich 1,1 Gramm 2,3,7,8-TCDD durch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln weiträumig verteilt werden.

Weitere 1–5 Gramm sollen aus den Schloten der Müllverbrennungsanlagen stammen. Bei Temperaturen unter 1200 °C können 2,3,7,8-TCDD und verwandte, zum Teil kaum weniger giftige Chemikalien durch die Verbrennung einiger chlorhaltiger organischer Verbindungen entstehen.

16 2,3,7,8-TCDD ließ im Süden Vietnams die Zahl der Totgeburten und Mißbildungen ansteigen. Zwischen 1960 und 1971 hatte dort die amerikanische Armee aus Flugzeugen 70000–80000 t Unkrautvernichtungsmittel versprüht, zur Entlaubung der Wälder und zur Vernichtung von Reisernten. Man schätzt, daß dabei rund 160 kg TCDD weiträumig verteilt wurden.

Ein paar Gramm 2,3,7,8-TCDD jährlich, verteilt über die ganze Bundesrepublik, das hört sich zunächst nicht gerade besorgniserregend an.

Man muß jedoch bedenken, daß das Gift schon in kleinsten Spuren wirksam ist:

Männliche Meerschweinchen verenden, wenn ihnen gut die Hälfte eines millionstel Gramms (0,6 µg) 2,3,7,8-TCDD verabreicht wird; Ratten ertragen bis zu 45 µg je kg Körpergewicht, Hunde bis zu 300 µg, Goldhamster sterben bei 5000 µg.

Wieviel ein Mensch verträgt, läßt sich nicht mit Sicherheit sagen.

Die amerikanische Umweltschutzbehörde vermutet, ein erwachsener Mensch könne täglich einige millionstel Gramm 2,3,7,8-TCDD aufnehmen, ohne seine Gesundheit zu gefährden.

Obwohl das Umweltbundesamt sogar nur ein Tausendstel dieser Menge für zumutbar hält, sieht es in den Verunreinigungen der Luft aus Müllverbrennungsanlagen keine Gefahr für die Bevölkerung.

Allerdings wird in einem 1985 veröffentlichten Gutachten erklärt, bisher seien nicht alle Quellen von Umweltbelastungen durch 2,3,7,8-TCDD und verwandte chemische Verbindungen bekannt. Nicht zuletzt deshalb solle in Zukunft die Entstehung dieser Chemikalien möglichst vermieden werden.

Ein weiser Rat, sind doch TCDD und andere Dioxine in den letzten Jahren öfters unverhofft aufgetaucht.

Zwar wird seit 1983 in der Bundesrepublik kein Trichlorphenol mehr hergestellt, aber auf Müllkippen in Rheinland-Pfalz (Gerolsheim), Niedersachsen (Hoheneggelsen), Baden-Württemberg (Malsch, bei Heidelberg) und Hamburg lagern dioxinhaltige Abfälle des Chemiewerks Boehringer/Hamburg, das 1984 wegen starker Umweltverschmutzungen schließen mußte.

In Hamburg wurden mittlerweile Spuren von 2,3,7,8-TCDD im Gelände außerhalb der Müllkippe Georgswerder gefunden.

Weitere Überraschungen sind nicht ausgeschlossen, da die Firma nicht lückenlos nachweisen kann, wo die Abfälle aus der Pflanzenschutzmittelproduktion zwischen 1952 und 1967 geblieben sind.

Doch nicht nur Schlampereien, selbst gut gemeinte Aktionen haben uns in der Vergangenheit Dioxinzeitbomben eingebrockt.

In den Kellern einiger tausend Gebäude stehen Transformatoren, elektrische Maschinen zur Veränderung der Stromspannung, die mit dem ölartigen Stoffgemisch PCB¹⁷ gekühlt werden. Weil PCB nicht

brennbar ist, hat die Feuerwehr früher sogar die Verwendung solcher Transformatoren empfohlen.

Heute verursachen diese Geräte jedoch einigen Kummer, denn wenn das PCB stark erhitzt wird, vielleicht bei einem Kellerbrand, können sich Dioxine und verwandte Verbindungen bilden.

In Binghampton, im US-Bundesstaat New York, steht seit Februar 1981 ein 18stöckiges Verwaltungsgebäude leer.

Damals gerieten durch einen Fehler in der elektrischen Schaltanlage Teile eines Transformators in Brand. Die Klimaanlage verteilte Ruß und Rauch im ganzen Gebäude. Im Ruß an den Wänden konnte 2,3,7,8-TCDD nachgewiesen werden.

In Reims (Frankreich) mußte im Frühjahr 1985 ein Wohngebäude samt Hab und Gut der Bewohner abgerissen werden, weil bei einem Kellerbrand ein Transformator explodiert war.

Öliger Staub und Ruß, verunreinigt mit Dioxinen, hatten das Haus unbewohnbar gemacht.

Eine Frankfurter Bank schlitterte im September 1984 haarscharf an einer ähnlichen Katastrophe vorbei. Im Keller des Bankgebäudes liefen aus einem undichten Transformator 30 Liter PCB aus, sickerten in ein tiefer gelegenes Kellergeschoß und tröpfelten ausgerechnet auf eine Notstrommaschine. Wenn die Maschine angesprungen wäre, hätte sich durch Überhitzen des PCB das Dioxin 2,3,7,8-TCDD bilden können.

Auch Geschäftemacherei bescherte uns schon unerwartete Verunreinigungen der Luft mit Dioxinen.

In Berlin und Bremerhaven flogen im Sommer 1984 die wahrhaft schmutzigen Geschäfte von Heizölhändlern auf, die ihren Kunden Heizöl andrehten, das verbotenerweise mit aufbereitetem Altöl gepanscht war.

Da Altöl mit PCB verunreinigt sein kann, sind aus den Kaminen

17 PCB ist die Kurzform für *Polychlorierte Biphenyle*. Diese Stoffgruppe umfaßt 209 verwandte chemische Verbindungen, deren Moleküle aus zwei Kohlenstoffringen bestehen, an denen eine von Stoff zu Stoff unterschiedliche Anzahl von Chloratomen gebunden ist. Die Begeisterung für das technisch vielseitig verwendete Stoffgemisch (Schmierstoffe, Schraubenfette, Getriebeöle, Zusatz für Kleber, Lacke und vieles mehr) verblaßte Ende der sechziger Jahre, als PCB-Rückstände in Fischen, in der Muttermilch, im menschlichen Fettgewebe gefunden wurden. In der Bundesrepublik wird PCB heute vornehmlich noch im Bergbau als nicht brennbare Flüssigkeit für Hubmaschinen verwendet.

Berliner und Bremerhavener Haushalte möglicherweise Dioxine entwichen.

Schließlich wurde Ende Juni 1985 gemeldet, Chemiker hätten im Motorenöl für Autos, das aus Altöl hergestellt worden war, 2,3,7,8-TCDD nachgewiesen.

Es sieht ganz so aus, als sei die Entdeckung immer neuer Luftverschmutzungen durch dieses Gift noch lange nicht zu Ende.

Das ist das Tückische an langlebigen Chemikalien wie PCB und Dioxinen: die Umweltsünden der Vergangenheit hinterlassen ein lange wirkendes Erbe.

Anders liegt die Sache bei der Chemikalie Formaldehyd. Die von Menschen verursachte Umweltbelastung mit dieser Verbindung ließe sich schnell erheblich vermindern – wenn man nur wollte.

Vergiftung frei Haus? Der Streit um Formaldehyd

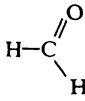
Von Natur aus entsteht Formaldehyd¹⁸, eine Verbindung aus Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff, auf vielfältige Weise.

Das farblose Gas bildet sich bei Waldbränden, wird im Körper als Zwischenprodukt des Stoffwechsels erzeugt und entsteht durch chemische Umwandlungen aus natürlichen Luftverunreinigungen wie Methan.

Da Formaldehyd sehr reaktionsfreudig ist, kann es sich weder im Körper noch in der Umwelt anreichern.

Die Chemikalie wird rasch abgebaut, in der Regel zu Wasser und Kohlendioxid. Unser Körper kann Formaldehyd auch zum Aufbau von Eiweißstoffen verwenden.

Der fortwährende Nachschub und Abbau von Formaldehyd in der Natur führt zu einer natürlichen Konzentration dieses Gases von knapp zwei millionstel Gramm (2 µg) pro Kubikmeter Luft.

18 
Formaldehyd

Die Endung „-aldehyd“ bezeichnet eine Stoffgruppe, zu der die Chemikalie gehört. Die Vorsilbe „Form-“ stammt von dem lateinischen Namen für Ameisensäure (*acidum formicum*). Ameisensäure entsteht, wenn Formaldehyd unter bestimmten Bedingungen mit Sauerstoff reagiert.

Formaldehydbelastungen der Luft

Reinluftgebiete

- über dem Meer 0,1–0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- in ländlichen Regionen 1–2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Kölner Innenstadt

- Mittelwert im Dezember 2,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Mittelwert im Juni 8,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Spitzenwerte während des Berufsverkehrs 23,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Belastete Industriegebiete

- Mainz-Budenheim
 - Langzeitwert 8–20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 - Kurzzeitwert 23–99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Ludwigshafen-Frankenthal
 - Langzeitwert 7–12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 - Kurzzeitwert 16–69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- in 300 m Entfernung von Spanplattenwerken (Spitzenwert) bis zu 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Meßergebnisse an hoch belasteten Arbeitsplätzen

- Spanplattenherstellung (1971) bis 13000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Desinfektion im Krankenhaus (1982) 200–9000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Textilverarbeitung (1971) bis 6000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Nach: Bundesminister für Jugend, Familie und Gesundheit 1984; Bundesministerium des Inneren 1985

Wie bei vielen anderen Schadstoffen, sorgen wir Menschen auch bei Formaldehyd für einen wesentlich höheren Gehalt in unserer Atemluft:

Das Gas bildet sich bei der unvollständigen Verbrennung von Benzin und entsteht durch Einwirkung von Sonnenlicht auf andere organische Verbindungen, die mit den Autoabgasen an die Luft geblasen werden.

Pro Fahrkilometer trägt ein Pkw zur Bildung von 20–25 mg Formaldehyd bei; alle Kraftfahrzeuge zusammen bringen es auf einen Ausstoß von 9000 t Formaldehyd pro Jahr.

In verkehrsreichen Stadtgebieten treten daher überdurchschnittlich hohe Formaldehydkonzentrationen auf, besonders im Sommer, wenn die starke Sonneneinstrahlung den Nachschub anregt.

Kraftwerk- und Industrieschlote bleiben vergleichsweise sauber. Bei

Temperaturen über 400°C und ausreichender Sauerstoffzufuhr reagiert Formaldehyd zu Kohlendioxid und Wasser(dampf); aus den großen, gut brennenden Industrieöfen entweichen pro Jahr daher kaum mehr als 50 t Formaldehyd.

Schwerer wiegen die Emissionen der vielen privaten Feuerchen, besonders, wenn es gemütlich wird: Holzfeuer, zum Beispiel beim Grillen, im Pfadfinderlager oder in der noblen Kaminstube, haben sehr ungünstige Verbrennungseigenschaften: viele organische Verbindungen kommen im Feuer ungeschoren davon. Rund 1000 t Formaldehyd werden jährlich allein durch Holzfeuer freigesetzt.

Und weil Formaldehyd sich als Desinfektionsmittel und vor allem als Rohstoff für die Kunststoffherstellung bewährt hat, wird es seit 90 Jahren industriell erzeugt und verarbeitet (siehe Seite 97).

Mit ein paar hundert Tonnen Formaldehyd pro Jahr verschmutzen Chemie- und Kunststoffindustrie sowie das Holzgewerbe die Luft. In der Holzindustrie werden mit formaldehydhaltigen Kunstharzen Spanplatten und Sperrholz verleimt.

Schließlich verpesten sich viele Zeitgenossen auch ihre gute Stube mit dem Gas.

Weil beim Rauchen Papier und Tabak unvollständig verbrennen, ist der „blaue Dunst“ reich an Formaldehyd.

Mit 20 Zigaretten am Tag zieht man sich rund 1 mg Formaldehyd rein; wenn in einem mittelgroßen Raum 5–10 Zigaretten gequalmt werden, kann der Formaldehydgehalt der Luft mit 0,18–0,32 mg/m³ schon den Wert übersteigen, der vom Bundesgesundheitsamt als Höchstwert für die Luft in Innenräumen empfohlen wird (0,12 mg/m³).

So etwas kann allerdings auch in der holzgetäfelten Wohnung eines Nichtraucher passieren, selbst wenn er auf die Einhaltung eines Rauchverbots pocht.

Da der Leim in Spanplatten und Sperrholz jahrelang Formaldehyd absondern kann, dünstet das Gas aus Möbel-, Wand- und Bodenverkleidungen aus¹⁹. Außerdem kann es aus wärmeisolierenden Schaumstofffüllungen zwischen den Wänden freigesetzt werden:

19 Die Baurichtlinien der Bundesländer schreiben zwar seit einigen Jahren vor, für die Innenausstattung von Räumen nur Holzplatten mit sehr geringen Formaldehyd-ausdünstungen zu verwenden. Doch zuviel Holz in zu kleinen Räumen kann die Formaldehydkonzentration größer werden lassen als die Richtlinien vorsehen (0,12 mg je Kubikmeter Raumluft).

Ein Allerweltstoff – die Verwendung von Formaldehyd

500000 t Formaldehyd werden jährlich in der Bundesrepublik hergestellt und verarbeitet, davon für

die Herstellung von Kunstharzen und Kunststoffen 325000 t

- Produktion von Leimharzen für Holzwerkstoffe wie Spanplatten und Sperrholz (180000 t Formaldehyd);
- Herstellung von Kunststoffen für Lichtschalter, Steckdosen, Haushaltswaren (Campinggeschirr, Lampen, sanitäre Einrichtungen), für die Kraftfahrzeug- und Maschinenbauindustrie, für die Nachrichtentechnik und zur Weiterverarbeitung als Preßmasse zusammen mit Zellstoff, Fasern und Gesteinsmehl (66000 t);
- Veredelung von Papier (Erhöhung der Reißfestigkeit) und Textilien (knitterfreie Stoffe) (16000 t);
- Schaumstoffe für die Wärmeisolierung von Gebäuden und zur Füllung von Hohlräumen, zum Beispiel im Bergbau (4000 t);
- sonstiges wie Holzbeschichtungen, Bindemittel für Bremsbeläge, Schmirgelpapier und Formstoffe in Gießereien (59000 t).

Weiterverarbeitung zu anderen chemischen Verbindungen 145000 t

Die verschiedenen Verbindungen werden als Ausgangsstoffe zur Herstellung von Lacken, Lösungsmittel, Waschmittelzusätze und Kunststoffen für die Kfz-Industrie, die Unterhaltungselektronik und die Bauindustrie verarbeitet.

Sonstige Anwendungsbereiche 30000 t

- als Desinfektionsmittel für Räume (zum Beispiel Krankenhäuser), Wäsche, Haut;
- zur Konservierung von Kosmetikartikeln wie Seifen, Körperdeo, Haarwaschmittel (erlaubte Formaldehydkonzentration 0,2%), Mundwasser (0,1%) und Nagellackhärter (5%);
- als Zusatz in Reinigungs- und Pflegemitteln wie Haushaltsreinigern, Geschirrspülmitteln, Weichspül-, Auto- und Teppichpflegemitteln (meistens unter 1%);
- in der Nahrungsmittelindustrie zur Konservierung von getrockneten Nahrungsmitteln, Fisch und einigen Ölen und Fetten sowie für die Desinfektion von Behältern.

In einer Kölner Gesamtschule machten solche Abgasungen aus Klassenschränken und Deckenverkleidungen Lehrern und Schülern den Schulalltag unangenehmer als nötig, weil sie Geruchsbelästigungen und Augenreizungen verursachten. Messungen ergaben eine Formaldehydkonzentration in einigen Räumen bis zu $1,2 \text{ mg/m}^3$ Luft.

Als im Laufe des Jahres 1984 die Chemikalie Formaldehyd große

öffentliche Aufmerksamkeit fand, häuften sich die Zeitungsmeldungen über Beschwerden aus Kindergärten und Schulen.

Ausgelöst wurde das weitverbreitete Interesse an Formaldehyd durch eine uns mittlerweile gut bekannte Frage: Birgt diese Chemikalie ein Krebsrisiko für Menschen?

Ratten und Mäuse, die in Tierversuchen längere Zeit formaldehydhaltige Luft atmen mußten, litten häufiger an Nasenkrebs als nicht belastete Kontrolltiere.

In Versuchen mit Zellen aus dem Gewebe von Menschen, Pilzen und Fliegen ließen sich Einwirkungen der Chemikalie auf den Zellkern feststellen. Damit stellte sich die Frage, ob Formaldehyd auch in den Zellen des lebenden Organismus das Erbgut verändern könnte.

Beweise für die krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd auf Menschen konnten bisher jedoch nicht erbracht werden.

Auswertungen der Todesursachen von Personen, die beruflich hohen Belastungen mit Formaldehyd ausgesetzt waren (Einbalsamierer, Arbeiter und Laboranten in Chemiebetrieben, Krankenhausangestellte), ergaben keine Anhaltspunkte für die krebserzeugende Wirkung dieser Chemikalie.

Kein Grund zur Beruhigung, denn die Untersuchungen waren, wie man sagt, nicht besonders aussagefähig:

Die erfaßten Menschen waren zum großen Teil nur wenige Jahre mit Formaldehyd belastet; sonstige gesundheitsschädigende Einflüsse wie Rauchen und andere Schadstoffbelastungen wurden ungenügend berücksichtigt.

Auch die Tierversuche ermöglichen kein gesichertes Urteil über die krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd auf den Menschen.

Die Ergebnisse lassen sich nicht einmal von Tierart zu Tierart und schon gar nicht auf den Menschen übertragen.

Unter Hamstern, die einer ähnlichen Formaldehydbelastung wie die Ratten und Mäuse ausgesetzt gewesen waren, zeigte sich keine Erhöhung der Krebshäufigkeit.

Bei Menschen ist aufgrund einer anderen Atemtechnik eher mit der Bildung von Lungen- statt Nasenkrebs zu rechnen. Außerdem mußten die Ratten wochenlang an fünf Tagen pro Woche über mehrere Stunden täglich Luft einatmen, die einen Formaldehyd-gehalt von $6,7 \text{ mg/m}^3$ hatte, bevor sich eine Zunahme der Nasenkrebsfälle feststellen ließ. Bei Mäusen waren sogar noch höhere

Belastungen nötig, ehe sich Anzeichen für eine krebserzeugende Wirkung ergaben.

Derartig hohen Formaldehydkonzentrationen sind Menschen über lange Zeiträume wohl nicht ausgesetzt.

Sie wären auch kaum auszuhalten, weil schon bei Belastungen mit wenigen Milligramm Formaldehyd pro Kubikmeter Atemluft Beschwerden wie Stechen in Rachen, Nase und Augen, Tränenfluß, ja sogar Atemnot auftreten.

Wirkung von formaldehydhaltiger Luft

Über das Krebsrisiko durch Belastungen mit Formaldehyd streiten sich die Experten. Als kurzfristige Wirkungen von Formaldehyd in der Atemluft wurde beobachtet:

Geruchsschwelle	0,06 – 1,2 mg/m ³
Reizungen der Augen	0,012– 1,9 mg/m ³
Reizung der Kehle	0,6 mg/m ³
Stechen in Nase, Augen, Rachen	2,4 – 3,6 mg/m ³
Tränenfluß, Unbehagen, höchstens für 30 Minuten erträglich	4,8 – 6 mg/m ³
Starker Tränenfluß, Atemnot Husten, Brennen in Nase und Kehle	12,0 –24 mg/m ³
Lebensgefährdende Lungenschäden	36 mg/m ³

Nach: Bundesminister für Jugend, Familie und Gesundheit 1984

Dennoch sollte man die Ergebnisse der Tierversuche nicht auf die leichte Schulter nehmen.

Um in Tierversuchen zu prüfen, ob niedrige Belastungen der Luft zu einer geringen Erhöhung der Krebshäufigkeit führen, müßte man sehr viele Tiere testen, möglicherweise einige Tausende.

Das ist nicht nur teuer und zeitraubend, sondern auch moralisch nicht unbedingt wünschenswert.

Es ist daher ein Grundproblem in Tierversuchen, daß man einer geringeren Zahl von Tieren eine höhere Dosis Gift verabreichen muß, um überhaupt Auswirkungen auf einige Tiere feststellen zu können.

Es läßt sich sicherlich lange darüber streiten, welchen Sinn solche Tierversuche dann noch haben; rechtfertigt man sie wohl nur

können, wenn man bereit ist, ihre Ergebnisse als Anhaltspunkte für die Wirkung von Formaldehyd auf den Menschen zu verstehen.

Hinzu kommt: im Labor werden gesunde Tiere getestet und mit nur einem Schadstoff belastet; die Menschen, die mit Formaldehyd in der Luft leben müssen, sind aber keineswegs alle kerngesund und müssen zudem jede Menge anderer Schadstoffe aushalten.

Man mag die Sache drehen und wenden – eine eindeutige Antwort auf die Frage, ob Formaldehyd bei Menschen Krebs erzeugen kann, läßt sich aus den wissenschaftlichen Untersuchungen bisher nicht ablesen.

Was tun?

Für empfindliche Menschen – Vorsicht geboten

Empfindliche Menschen reagieren auf Formaldehyd allergisch: Die Haut rötet sich nach Kontakt mit Formaldehyd, es bilden sich Schwellungen und Bläschen, die sich zu Knoten und Schuppen entwickeln können.



Die Abbildung zeigt Hautveränderungen nach hoher und langanhaltender Formaldehydeinwirkung. Sehr empfindliche Menschen können aber auch schon durch Kontakt mit formaldehydhaltigen Reinigungs- und Pflegemitteln Hautreizungen bekommen.

(Aus: Valentin, H. u. a.: Arbeitsmedizin, Bd. 2, Stuttgart 1979)

Soll man die Chemikalie vorsichtshalber aus dem Verkehr ziehen lassen – und dabei riskieren, daß zahlreiche Industriebetriebe, vielleicht unnötig, hohe Verluste hinnehmen müssen?

Oder sollte man besser abwarten, bis Formaldehyd nach und nach durch andere Stoffe ersetzt wird – und dabei riskieren, daß sich die Chemikalie (wieder einmal zu spät für die Betroffenen) doch noch als krebserzeugend herausstellen wird?

Gespannt wartete die Öffentlichkeit auf die Empfehlungen von drei Bundesbehörden²⁰, die sich in einem Gutachten über das Krebsrisiko durch Formaldehyd äußern wollten.

In einem unveröffentlichten Entwurf, fertiggestellt im Herbst 1983, wurde die Chemikalie angeblich als krebserzeugend eingestuft.

Danach ging es hoch her.

In Stellungnahmen für die Presse betonten Chemikervereinigungen, Verbände der chemischen Industrie und die Firma BASF (größter Formaldehydhersteller in der Bundesrepublik) eine krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd auf Menschen sei noch nie nachgewiesen worden.

Recht hatten sie!

Aber: über die medizinisch noch nicht sicher zu beantwortende Frage, ob Formaldehyd bei Menschen Krebs verursacht, wird niemand ernsthaft streiten wollen.

Der eigentliche Streitpunkt lautet:

Lohnt sich das Risiko, weiterhin große Mengen Formaldehyd herzustellen und zu verarbeiten?

Daß sich eine Firma wie die BASF für die weitere Produktion von Formaldehyd stark macht, mag man verstehen, beträgt doch der Jahresumsatz dieser Firma mit Formaldehyd und daraus hergestellten Produkten rund eine Milliarde DM.

Und weil ein so großes Unternehmen natürlich an unser aller Wohl denkt, wies die BASF darauf hin, daß insgesamt drei Millionen Arbeitnehmer in Betrieben beschäftigt sind, in denen mit Erzeugnissen aus Formaldehyd gearbeitet wird.

Alles in allem würde die Wirtschaft in der Bundesrepublik mit der Verarbeitung von Produkten aus Formaldehyd einen Jahresumsatz von 300 Milliarden DM machen.

Als das Gutachten der drei Bundesbehörden im Oktober 1984 schließlich veröffentlicht wurde, hieß es darin nur noch, man könnte zwar den Verdacht nicht völlig ausräumen, aber es gäbe „keine . . . hinreichenden Anhaltspunkte, daß Formaldehyd beim Menschen Krebs erzeugt“.

Es ist viel darüber spekuliert worden, ob Vertreter aus Politik und Wirtschaft (erfolgreich?) versucht haben, auf die endgültige Formulierung im Gutachten Einfluß zu nehmen.

20 Umweltbundesamt, Bundesgesundheitsamt, Bundesanstalt für Arbeitsschutz.

Doch abgesehen von der Frage, warum die ursprüngliche, schärfere Aussage zum Krebsrisiko verändert worden ist:

Wäre es nach den leidvollen Erfahrungen mit PVC und Asbest, mit den sterbenden Wäldern und den bleiverseuchten Städten nicht endlich einmal an der Zeit gewesen, in einem Zweifelsfall ganz auf „Nummer Sicher“ zu setzen?

Ist unser Land nicht reich genug, unsere Technik und Wissenschaft nicht weit genug entwickelt, um den Verzicht auf die industrielle Herstellung von Formaldehyd nicht verkraftbar zu machen?

Und muß man immer gleich mit dem Zaunpfahl „Arbeitslosigkeit“ winken, wenn unbequeme umweltpolitische Entscheidungen erwartet werden?

Eines dürfte klar sein: zum Nulltarif wird man die Luft nicht sauberer bekommen.

Aber weil niemand begeistert ist, wenn gerade er zur Kasse gebeten, herrscht ein großes Mißverhältnis zwischen vielen guten Ideen, Absichten und Ankündigungen, die eine deutliche Einschränkung der Luftverschmutzung versprechen, und den Taten, die dann folgen.

Reine Luft gibt es nicht zum Nulltarif

An vielversprechenden Erklärungen, etwas für den Umweltschutz tun zu wollen, herrscht bei uns kein Mangel.

Glaubt man den Ergebnissen von Meinungsumfragen, dann stehen seit etwa 15 Jahren „Umweltschutz“ und „Luftreinhaltung“ bei der Bevölkerung hoch im Kurs.

Industrievertreter listen stolz die betrieblichen Ausgaben für die Luftreinhaltung auf, Politiker stellen ihre neuesten Programme zur Bekämpfung der Luftverschmutzung vor, und die Bundesregierung läßt im Herbst 1984 verkünden, die Verbesserung der Luftqualität sei eines ihrer wichtigsten Ziele.

Tatsächlich ist in den letzten 10–15 Jahren einiges erreicht worden: Seit Anfang der siebziger Jahre investiert die Industrie jährlich 1–1,5 Milliarden DM für Maßnahmen zur Verminderung der Luftverschmutzung; 1984 wurden dafür sogar 2,2 Milliarden DM ausgegeben. So sind im letzten Jahrzehnt rund 20000 Entstaubungsanlagen angeschafft worden. Die Chemieindustrie läßt heute pro Tonne hergestellter Güter ein Viertel weniger Schmutz an die Luft als 1970, Metallhütten haben den Schwermetallausstoß in die Luft gesenkt. Durch die Herabsetzung des Bleigehalts im Benzin hat sich gegenüber 1976 die Bleimenge aus Kraftfahrzeugauspuffen halbiert.

Als Verbraucher kann man heute Sprühdosen ohne CFK-Füllung (siehe Seite 82) kaufen, asbestfreie Bremsbeläge ins Auto einbauen lassen und mit schadstoffarmen Farben und Lacken pinseln.

Im Juli 1985 verabschiedete die Bundesregierung eine Neufassung der „Technischen Anleitung Luft“ (TA-Luft, siehe Anm. Seite 66), die für eine Verminderung des Schadstoffausstoßes auch aus älteren Industriebetrieben sorgen soll.

Das sind alles Schritte in die richtige Richtung.

Doch befreit (auf)atmen kann man heute noch nicht.

Umweltschutz darf schon mal etwas kosten ...

Wenn Bundesbürger in Meinungsumfragen erklären sollen, ob sie für den Umweltschutz mehr Geld ausgeben würden, zeigen sie sich meistens spendabel.

1982 wurde einer repräsentativen Auswahl der Bundesbürger unter anderen die Frage vorgelegt:

„Maßnahmen, die zum Schutz der Umwelt ergriffen werden, zwingen manchmal die Industrie zu größeren Geldaufwendungen, und als Folge davon erhöhen sich die Preise. Was ist Ihrer Meinung nach wichtiger: die Umwelt zu schützen – oder die Preise zu halten?“.

Von den Befragten antworteten:

„die Umwelt schützen“	54%
„die Preise halten“	12%
„weiß nicht“/keine Antwort	34%

Nach: Umweltbundesamt 1984

Die Milliardenbeträge, die bisher in die Luftreinhaltung gesteckt worden sind, können nicht darüber hinwegtäuschen, daß 1975 nur jeder siebente, 1983 gar nur jeder fünfzehnte Produktionsbetrieb Geld in den Umweltschutz investiert hat.

Regelmäßig klagen Umweltminister von Bund und Ländern über die Neigung mancher Firmen, sich um Ausgaben für die Luftreinhaltung herumzudrücken.

Auch Otto Normalverbraucher verhält sich in seinem Alltag nicht so umweltfreundlich, wie es der statistische Durchschnittsbürger in Meinungsumfragen verspricht:

Der freiwillige Umstieg auf das schadstoffarme Katalysatorauto (siehe Seite 109) läßt bisher sehr zu wünschen übrig; ebenso der Absatz von bleifreiem Benzin. Das Statistische Bundesamt hält den Trend fest, daß immer mehr Menschen mit dem eigenen Wagen statt mit öffentlichen Verkehrsmitteln zur Arbeit fahren. Schornsteinfeger und Heizungsbauer beklagen sich über die vielen Hausbesitzer, die ihre Feuerungsanlagen selten warten lassen und damit mehr Schmutz als nötig produzieren.

Daß den schönen Worten nicht immer wirksame Taten folgen, beweist der Kampf gegen Schwefeldioxid und Stickoxide.

Seit Jahrzehnten werden jährlich über 3 Millionen Tonnen Schwefeldioxid in die Luft geblasen; die Stickoxidemissionen haben in den letzten zwanzig Jahren sogar um rund eine Million Tonnen zugenommen.

Ein rascher Abbau dieser Schadstoffmengen, darüber herrscht heute Einigkeit, steht auf der Tagesordnung für den Umweltschutz ganz oben. Beide Gase sind am Waldsterben beteiligt, sorgen für Smog zu jeder Jahreszeit, lassen Böden versauern, Stein und Stahl verfallen und greifen Schleimhäute und Atemwege an.

Ein Blick auf die Quellen von Schwefeldioxid und Stickoxiden zeigt, welche Abgase vor allem gereinigt werden müssen: die aus Kraftwerksschloten und aus Auspuffanlagen (siehe Seite 29).

An wirksamen Techniken für die Entgiftung der Kraftwerke und des Straßenverkehrs fehlt es nicht.

Kraftwerke müssen keine Dreckschleudern sein

Den ätzenden Verbrennungsrückständen in den Abgasen von Kraftwerken und anderen großen Feuerungsanlagen kann in drei Etappen zu Leibe gerückt werden.

Der erste Schritt zur Entlastung der Luft von den säurebildenden Gasen ist mit der *Entschwefelung des Brennstoffs* gemacht.

Etwa die Hälfte des Schwefels in der Steinkohle ist an eisenhaltige Teilchen (Pyrit, Schwefelkies) gebunden, die schwerer sind als die restlichen Kohlebestandteile.

Unter Ausnutzung des Gewichtsunterschieds ist es möglich, diese Teilchen mit geringem Aufwand aus der Kohle zu entfernen.

Der verbleibende Schwefel klammert sich allerdings hartnäckig an die Kohle. Er ist in die Moleküle der organischen Verbindungen eingebaut und nur durch chemische Reaktionen aus der Kohle zu lösen. Da solche Verfahren für die Aufbereitung von Kraftwerkskohle zu aufwendig und damit zu kostspielig wären, bleibt der organisch gebundene Schwefel in der Kohle zurück und wandert mit in den Ofen.

Erdölprodukte, die von Natur aus einen sehr unterschiedlichen Schwefelgehalt aufweisen (siehe Seite 40), werden zum Teil in der Erdölraffinerie entschwefelt.

Unter hohem Druck, bei Temperaturen zwischen 300 °C und 400 °C finden zwischen einigen Bestandteilen des Erdöls und dem Gas Wasserstoff chemische Reaktionen statt, bei denen sich ein Teil des

organisch gebundenen Schwefels von den Erdölmolekülen abspaltet. So kommt Dieselkraftstoff und leichtes Heizöl, das in Ölöfen und Zentralheizungskesseln verfeuert wird, in der Bundesrepublik mit einem Schwefelgehalt unter 0,3% auf den Markt.

Eine ausreichende Entlastung von den säurebildenden Gasen bringt die Brennstoffentschwefelung allerdings nicht.

In der Steinkohle bleibt etwa die Hälfte des Schwefels zurück. Für die Braunkohle ist die Entschwefelung zu aufwendig, ebenso für schweres Heizöl, das mit einem Schwefelgehalt von 1–1,9% in Kraftwerköfen und Industrieanlagen verbrannt wird.

Außerdem lassen sich durch die Aufbereitung des Brennstoffs die Stickoxidemissionen nicht wirksam abbauen.

Stickoxide bilden sich vor allem, weil bei sehr hohen Temperaturen Sauerstoff- und Stickstoffmoleküle der Verbrennungsluft miteinander reagieren (siehe Seite 46).

Die Bildung von Stickoxiden kann daher durch *Regelungen des Verbrennungsvorgangs* eingeschränkt werden.

So wird zum Beispiel in Feuerungsanlagen, die mit einem „Stufenbrenner“ ausgerüstet sind, der Brennstoff zunächst in einem Flammenkern verbrannt, in dem Luftmangel herrscht.

Die vergleichsweise spärlich vorhandenen Sauerstoffmoleküle reagieren dann hauptsächlich mit den Brennstoffteilchen; für die Bildung von Stickoxiden ist nicht mehr ausreichend Sauerstoff übrig.

Allerdings kann wegen des Luftmangels ein Teil des Brennstoffs nicht genutzt werden.

Daher läßt man oberhalb des Flammenkerns Luft in den Brennraum strömen. In dieser zweiten Verbrennungsstufe ist zwar ausreichend Sauerstoff vorhanden, doch sind die Temperaturen für üppige Reaktionen mit dem Luftstickstoff nun nicht mehr hoch genug.

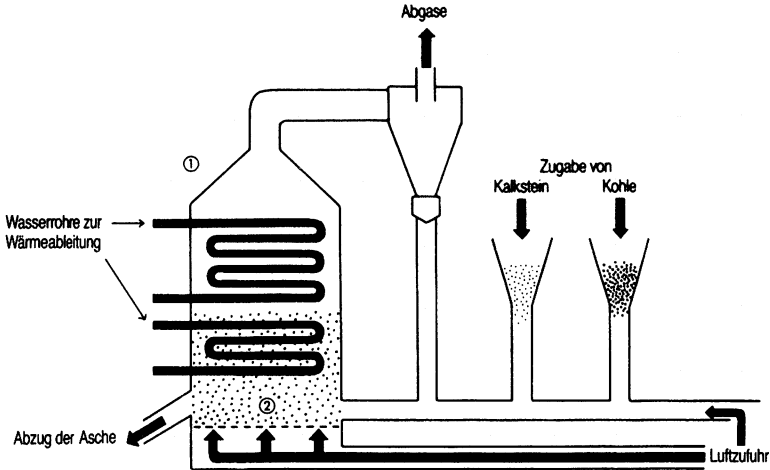
Solche und andere Maßnahmen zur Regelung von Feuer und Flamme verringern den Stickoxidausstoß gegenüber herkömmlichen Öfen um 40–60%.

Noch wirksamer ist die „Wirbelschichtfeuerung“.

Während in gewöhnlichen Öfen die Kohle als festliegende Aufschüttung vor sich hin schmort, ist der Brennstoff bei der Wirbelschichtfeuerung ständig in Bewegung.

Der starke Druck eines Luftstroms, der unterhalb der Kohleaufschüttung in den Ofen gepreßt wird, hält die Brennstoffbröckchen in Schwebelage – die Kohle wirbelt. Vorteil der „schwebenden“ Glut:

Mit wirbelnder Kohle gegen Stickoxide – die Wirbelschichtfeuerung



Im Verbrennungsofen (1) wird die Kohle (2) von unten mit Luft hochgewirbelt. Ein Teil der Wärmeenergie kann bereits aus der Wirbelschicht abgeführt werden.

Durch die heiße Wirbelschicht können Wasserrohre gelegt werden; ein Teil der Wärmeenergie läßt sich somit direkt von der Quelle abführen. Dadurch geht weniger Wärmeenergie ungenutzt verloren als in herkömmlichen Öfen, in denen die Rohrleitungen oberhalb des Brandherds verlaufen.

Kraftwerke mit Wirbelschichtfeuerung müssen daher nicht so heiß gefahren werden – und eine geringere Temperatur im Ofen bedeutet: weniger Stickoxide im Abgas.

Mit der wirbelnden Kohle lassen sich die Stickoxidemissionen bis zu 80%, zum Teil sogar schon bis zu 90% senken.

Mischt man der Kohle noch Kalkstein oder Dolomit²¹ unter, vermindert sich auch noch der Schwefeldioxidgehalt im Abgas um bis zu 80%, weil Schwefeldioxid an diese Stoffe gebunden wird.

21 Kalkstein ist eine Verbindung aus Calcium (Ca) und dem Säurerest der Kohlensäure ($-\text{CO}_2$): CaCO_3 . Dolomit ist ein Gemisch aus Kalkstein und Magnesiumcarbonat (MgCO_3).

In Kohlekraftwerken ohne Wirbelschichtfeuerung erreicht man durch Zumischung von Kalkstein immerhin eine Senkung der Schwefeldioxidemissionen von rund 50%.

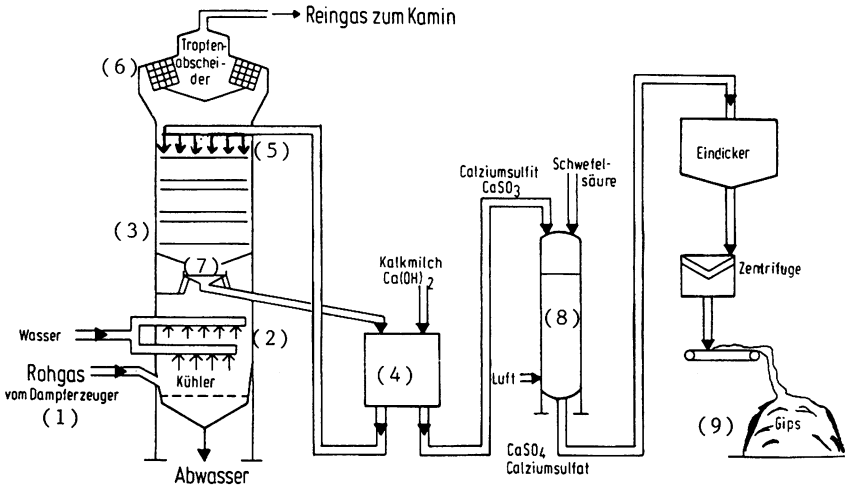
Am gründlichsten räumt allerdings die *Rauchgasentschwefelung* mit dem Schwefeldioxid auf.

Weltweit gibt es rund 200 Verfahren zur Abscheidung des Schwefeldioxids aus den Verbrennungsgasen.

Am weitesten verbreitet ist die Rauchgaswäsche auf Kalkbasis, bei der als Endprodukt der Entschwefelung Gips anfällt.

Moderne Anlagen dieser Art säubern die Abgase von 95% des Schwefeldioxids und scheiden auch noch die säurebildenden Chlor- und Fluorwasserstoffverunreinigungen (siehe Seite 31) aus dem Rauchgas ab.

Wäsche für Abgase – die Rauchgasentschwefelung



(Skizze nach Umweltbundesamt, 1980)

Das vom Verbrennungssofen kommende Gas (1) wird zunächst gekühlt (2) und steigt im Waschturm (3) auf. Aus einem Tank (4) wird Kalkmilch (Ca(OH)_2) in den Waschturm gesprüht (5). Schwefeldioxid (SO_2) aus dem Rauchgas reagiert mit der Kalkmilch zu Calciumsulfid (CaSO_3). Das gereinigte Gas wird getrocknet (6) und strömt zum Abluftkamin. Calciumsulfid wird aus dem Waschturm abgezogen (7) und in einen Behälter mit Schwefelsäure (H_2SO_4) geleitet (8). Dabei entsteht Calciumsulfat, besser bekannt unter dem Namen Gips (CaSO_4). Nach weiterer Aufbereitung liegt Gips in einer für die Bauindustrie verwertbaren Qualität vor (9).

Auch für die Beseitigung der Stickoxide aus den Verbrennungsgasen sind verschiedene Verfahren entwickelt worden. In der Bundesrepublik wird vor allem eine in Japan entwickelte Technik angeboten, bei der die Abgase mit Ammoniak (NH_3) vermischt werden.

Bei Temperaturen zwischen $320\text{ }^\circ\text{C}$ und $400\text{ }^\circ\text{C}$ reagieren die Stickoxide mit dem Gas Ammoniak; dabei bildet sich Wasser(dampf) und ungiftiger Stickstoff.

Um die Reaktion zwischen Ammoniak und Stickoxid in Gang zu bringen, ist die Anwesenheit bestimmter Metalle und Metalloxide im Reinigungskessel nötig.

Diese Metalle wirken als *Katalysator* (katalysis, griechisch: Auflösung). In der Chemie versteht man unter einem Katalysator einen Stoff, der zwischen anderen Stoffen eine Reaktion auslöst oder beschleunigt.

Auch die Autoabgase könnten mit Hilfe eines Katalysators erheblich entgiftet werden.

Die Schadstoffbremse im Straßenverkehr – der Katalysator

Die Zunahme der Stickoxidemissionen in den letzten Jahrzehnten geht vor allem auf das Konto von Kraftfahrzeugen mit Benzinmotoren.

Während zum Beispiel 1966 rund 0,3 Millionen Tonnen Stickoxide aus den Auspufftöpfen dieser Fahrzeuge strömten, sind es heute rund eine Million Tonnen jährlich.

Ein Anstieg der Pkw-Zahlen, häufigere Autobahnfahrten mit hoher Geschwindigkeit und ein höherer Anteil an schweren, leistungsfähigeren Fahrzeugen unter den Personenwagen sind für den vermehrten Stickoxidausstoß verantwortlich.

Eine Möglichkeit zur Absenkung der Stickoxide wäre die Umrüstung der Fahrzeuge von Benzin- auf Dieselmotore. Ein Diesel hat nicht nur einen geringeren Treibstoffverbrauch, er verpestet die Luft auch mit weniger Stickoxiden, organischen Verbindungen und Kohlenmonoxid als eine Benzinkutsche mit vergleichbarer Leistung.

Doch leider trudeln in den Abgasen eines Diesels heute noch sehr

viele Rußteilchen herum, an denen sich so giftige Verbindungen wie PAK (siehe Seite 78) vortrefflich anlagern können.

Die Automobilindustrie bastelt zwar am rußarmen Diesel, doch zur Zeit sind solche Motoren noch nicht serienreif.

Ebenfalls noch Zukunftsmusik ist die Verminderung des Schadstoffausstoßes durch Verwendung von Motoren, die mit einem extrem „mageren“, das heißt sehr kraftstoffarmen Benzin-/Luftgemisch arbeiten.

Die bisher entwickelten *Magermotoren* laufen unruhig, leiden an Zündaussetzern und haben daher, wie der Fachmann sagt, eine „schlechte Fahrbarkeit“.

Außerdem ist es heute noch nicht gelungen, den Stickoxidausstoß aus Magermotoren befriedigend zu senken.

Statt durch eine geeignete Motorkonstruktion dafür zu sorgen, daß bei der Verbrennung weniger Schadstoffe entstehen, muß man sich zur Zeit noch vor allem darauf beschränken, die im Motor entstehenden Schadstoffe nachträglich abzubauen. Der *geregelte Dreiwegkatalysator* macht's möglich: eingebaut zwischen Motor und Auspuff sorgt er dafür, daß die Abgase im Schnitt von 90% der Stickoxide, der organischen Verbindungen und des Kohlenmonoxids befreit werden. Unter den vielen chemischen Verbindungen, die im Autoabgas umherwirbeln, finden ständig zahlreiche Reaktionen statt. Drei Vorgänge sind besonders wünschenswert:

Reaktion Nr. 1. Organische Verbindungen aller Art reagieren mit Sauerstoff zu Kohlendioxid und Wasser(dampf) (siehe Seite 96).

Reaktion Nr. 2. Kohlenmonoxid (CO) reagiert ebenfalls mit Sauerstoff zu Kohlendioxid (CO₂).

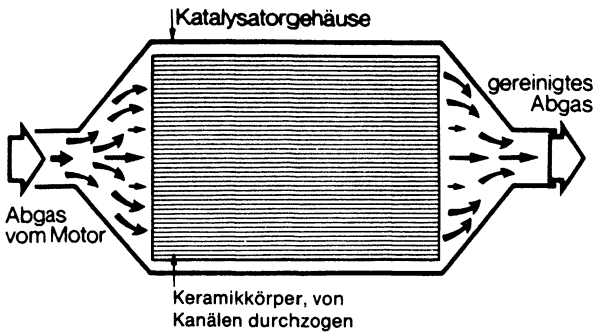
Reaktion Nr. 3. Stickstoffmonoxid (NO) reagiert mit Kohlenmonoxid (CO). Dabei gibt das Stickoxid NO sein Sauerstoffteilchen an Kohlenmonoxid (CO) ab. Es entstehen die ungiftigen Stoffe Stickstoff (N) und Kohlendioxid (CO₂).

Leider laufen diese drei Reaktionen nicht gleichmäßig flott ab.

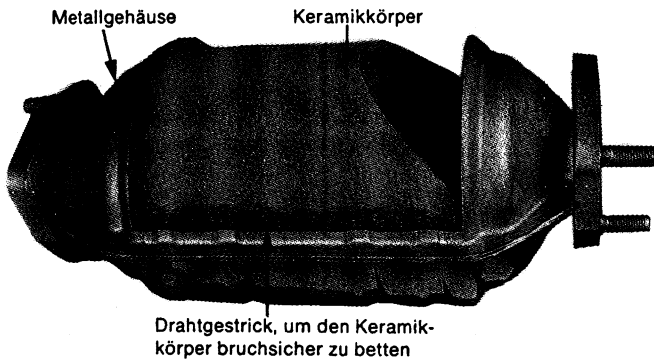
Um den Ablauf von Reaktion (1) und (2) zu begünstigen, müßte das Abgas sehr sauerstoffhaltig sein.

Der geregelte Dreiwegkatalysator

Skizze ...



... und Schnittmodell



(Degussa-Bild)

Allerdings findet dann Reaktion (3) kaum noch statt; das Kohlenmonoxid reagiert viel schneller mit Sauerstoff als mit Stickstoffmonoxid. Stickoxide finden keinen Reaktionspartner und verlassen „unberührt“ den Auspuff.

Der Katalysator sorgt im Abgasstrom für Reaktionsbedingungen, die für den Ablauf aller drei Reaktionen gerade recht sind.

Der Grundkörper des Katalysators besteht aus einem zylinderförmigen

gen, von zahlreichen dünnen Kanälen durchzogenen Keramikgehäuse (siehe Seite 111).

Eingebettet in einen Metallträger, wird das Gehäuse so zwischen Motor und Auspuff montiert, daß die Abgase durch die Kanäle strömen.

Die Oberfläche des Keramikkörpers ist mit einem sehr feinkörnigen Material bedeckt (Aluminiumoxid); dadurch wird die Gesamfläche, an der die Gase entlangstreichen, um das 7000fache vergrößert.

Auf dieser Schicht befinden sich, fein verteilt, verschiedene Metalle und Metalloxide, unter anderen 1–2 Gramm Platin und verwandte Metalle wie Rhodium und Palladium.

Dieses Gemisch aus Metallen und Metalloxiden greift in den Sauerstoffhaushalt des Abgases ein und sorgt dadurch für ein Reaktionsklima, in dem alle drei Schadstoffgruppen abgebaut werden.

Die Reaktionen gehen allerdings nur dann reibungslos vonstatten, wenn das Abgasgemisch, das aus dem Motor kommt, einen gleichbleibenden Anteil von Sauerstoff aufweist.

Ist das Abgasgemisch zu fett (sauerstoffarm), können Kohlenmonoxid und organische Verbindungen nicht ausreichend abgebaut werden, ist es zu mager (sauerstoffreich), bleiben zu viele Stickoxide übrig.

Für den richtigen Sauerstoffgehalt im Abgasstrom sind die „Lambdasonde“²² und eine elektronische Regelung des Benzin-/Luftgemisches zuständig.

Die Lambdasonde ist ein elektrischer Widerstand, der, zwischen Motor und Katalysator eingebaut, den Sauerstoffgehalt der Abgase mißt.

Die Meßwerte werden an einen elektronischen Regler gemeldet. Signalisiert die Lambdasonde Sauerstoffmangel, sorgt der Regler für mehr Luft im Vergaser oder Einspritzer, herrscht Sauerstoffüberfluß, wird die Luftzufuhr gedrosselt.

22 Mit dem griechischen Buchstaben Lambda (λ) bezeichnen Autotechniker das Verhältnis von tatsächlich vorhandener Sauerstoffmenge im Treibstoff-/Luftgemisch zu der Sauerstoffmenge, die nötig wäre, um den Treibstoff vollständig zu verbrennen. Eine vollständige Verbrennung kann dann stattfinden, wenn im Vergaser auf 14,7 Gewichtsteile Luft ein Gewichtsteil Treibstoff kommt. Dieses Gemisch hat den Lambdawert 1: es ist gerade so viel Sauerstoff vorhanden wie zur Verbrennung benötigt wird. Mit Lambdasonde und elektronischem Regler wird das Benzin-/Luftgemisch für den Motor auf Lambda 1 eingestellt.

Da Bleizusätze im Benzin sich auf der Katalysatoroberfläche ablagern und obendrein die Lambdasonde unbrauchbar machen, müssen Katalysatorautos mit bleifreiem Benzin fahren – ein erfreulicher Nebeneffekt der Abgasreinigung.

Schadstoffarme Autos, entschwefelte Kraftwerke – technisch wäre das schon seit einiger Zeit zu machen.

Der lange Weg zum sauberen Kraftwerk

Im April 1985 waren in der Bundesrepublik zehn Kohlekraftwerke und ein Ölkraftwerk mit Rauchgasentschwefelung ausgerüstet.

Die elektrische Leistung dieser Kraftwerke beträgt zusammengenommen etwa 4700 MWe; das ist nicht gerade üppig und bedeutet: nicht einmal zehn Prozent der Gesamtleistung von Öl- und Kohlekraftwerken wird von entschwefelten Anlagen gestellt. Reinigungsanlagen für die Entstickung der Kraftwerksabgase sind bisher (Sommer 1985) erst im Bau.

Mit einer mangelnden Technik kann die dürftige Ausstattung der Kraftwerke mit Abgasreinigungsanlagen nicht entschuldigt werden. Als bei uns 1977 in Wilhelmshaven das erste Mal ein wirtschaftlich genutztes Kraftwerk mit einer Rauchgasentschwefelung in Betrieb ging, arbeiteten in Japan schon eine große Zahl solcher Anlagen.

Die Entstickung von Abgasen aus Öl-, Kohle- und Gaskraftwerken ist dort ebenfalls schon seit einigen Jahren Stand der Technik.

Bei uns machte man es sich mit der Luftreinhaltung bis weit in die siebziger Jahre hinein erheblich einfacher: Schornsteine, mehrere hundert Meter hoch, sorgten für eine weiträumige Verteilung der sauren Gase.

Die nähere Umgebung der Kraftwerke blieb so zwar einigermaßen verschont – dafür kippten die Seen in Norwegen und Skandinavien um.

Da man auch in anderen Ländern auf die glorreiche Idee kam, den Dreck lieber gut zu verteilen, statt dafür zu sorgen, daß er gar nicht erst entsteht, findet mittlerweile ein reger grenzüberschreitender Austausch von Schadstoffen statt.

Nach und nach wurden zwar verschiedene Verordnungen erlassen, die den Schwefeldioxidgehalt in den Abgasen von Kraftwerken einschränken sollten, doch eine wirksame Verbesserung der Luft-

qualität brachten diese Regelungen nicht. Sie waren nicht scharf genug, galten nur für neue Anlagen und für Kraftwerke ab einer bestimmten Leistungsgröße.

Der Gehalt an Schwefeldioxid in den Rauchgasen ist von Kraftwerk zu Kraftwerk sehr verschieden; er hängt von der Feuerungsleistung des Ofens, von den durchgeführten Reinigungsmaßnahmen und von den Schwefelmengen im Brennstoff ab.

Im Durchschnitt befinden sich in den Abgasen von Steinkohlekraftwerken ohne Entschwefelungsanlagen rund 3000 Milligramm (mg) Schwefeldioxid (SO₂) je Kubikmeter Abgas, Braunkohlekraftwerke bringen es auf rund 1000 mg SO₂ pro Kubikmeter.

Diese Mengen bedeuten:

Aus den Schloten großer Kraftwerke quellen bei Vollastbetrieb stündlich viele hundert, manchmal auch einige tausend Kilogramm SO₂.

Eine wirksame Abhilfe gegen diesen Schmutz soll die im Juli 1983 in Kraft getretene „Großfeuerungsanlagenverordnung“ (GFAVO) bringen.

Die Verordnung gilt für große Öfen (Großfeuerungsanlagen) in Kraftwerken, Raffinerien, Industriebetrieben und Fernheizwerken, die eine Wärmeleistung über 50 Megawatt (MWth)²³ aufweisen (siehe Seite 115).

Allerdings unterscheidet die Verordnung zwischen Neu- und Altanlagen.

Als Neuanlagen gelten Anlagen, die erst nach dem 1. Juli 1983 genehmigt worden sind.

Diese Betriebe haben die zulässigen Grenzwerte uneingeschränkt einzuhalten.

Für die Luftqualität heute und in naher Zukunft nützt das aber nicht viel, denn die Öfen müssen ja erst noch gebaut und in Betrieb genommen werden.

Den Betreibern von Altanlagen räumt die Verordnung eine Schonfrist ein. Zu den Altanlagen zählen jedoch keineswegs nur klapprige

23 Man unterscheidet die Wärmeleistung (thermische Leistung), die ein Kraftwerks-Ofen bringt, von der elektrischen Leistung, die das Kraftwerk zur Verfügung stellt. Bei der in mehreren Stufen stattfindenden Umwandlung der Wärmeenergie in elektrische Energie geht Energie ungenutzt „verloren“. Die Wärmeleistung eines Kraftwerks, angegeben in MWth (Megawatt-thermisch) ist 2–3mal größer als die elektrische Leistung (MWe).

Altanlagen stinkern länger ...

Große Feuerungsanlagen mit einer Wärmeleistung von 50 MWth und mehr, die nach dem 1.7.1983 genehmigt werden (Neuanlagen), müssen folgende Auflagen für die Entschwefelung einhalten:

Feuerungsleistung des Ofens

50–100 MW	Verwendung schwefelarmer Brennstoffe
100–300 MW	Teilentschwefelung von 60%, erreichbar durch verschiedene Verfahren
ab 300 MW	Höchstgehalt von 400 Milligramm Schwefeldioxid pro Kubikmeter Abgas. Das bedeutet: Ausrüstung mit Rauchgasentschwefelungsanlage.

Altanlagen wird eine Übergangsfrist eingeräumt. Bei alten Öfen mit einer Feuerungsleistung zwischen 100 und 300 MW gelten die gleichen Vorschriften wie bei Neuanlagen – ab 1993.

Für Anlagen über 300 MW gilt:

- bei unbeschränkter Nutzungsdauer: ab 1.7.1988 wie Neuanlagen;
 - bei einer geplanten Restnutzungsdauer bis zu 30000 Stunden (5–8 Jahre): Verwendung eines schwefelarmen Brennstoffs;
 - Restnutzung bis zu 10000 Stunden (2–3 Jahre): keine neuen Auflagen.
-

Kraftwerksöfen, die schon seit Jahrzehnten qualmen, sondern auch moderne, nagelneue Kraftwerke, die nach 1983 in Betrieb gehen – wenn sie vor 1983 dafür eine Genehmigung bekommen haben.

Im Sinne der Verordnung ist damit auch das 350-MWe-Kraftwerk *Buschhaus* eine Altanlage, obwohl es erst am 31. Juli 1985 auf volle Kraft angeheizt wurde.

Bereits 1978 hatte die niedersächsische Landesregierung der Firma Braunschweigische Kohlen-Bergwerke (BKB) einen Vorbescheid erteilt. Darin war vorgesehen, daß das 30 km östlich von Braunschweig zu errichtende Braunkohlekraftwerk eines Tages ohne Rauchgasentschwefelung in Betrieb gehen dürfe.

Umweltpolitische Skrupel räumte man auf die bewährte, nicht gerade nachbarschaftsfreundliche Weise aus:

Ein 300 Meter hoher Schornstein sollte die schwefelhaltigen Abgase weiträumig verteilen. Angesichts vorherrschender Westwinde heißt das vor allem: die Abgase über die DDR und Berlin zu blasen.

Da das Kraftwerk eigens für den Zweck gebaut wurde, eine sehr schwefelhaltige Braunkohle aus einem nahe gelegenen Vorkommen

nutzen zu können, bedeutete die Genehmigung für das Kraftwerk: bei Vollastbetrieb werden rund 12000 mg SO₂ pro Kubikmeter Abgas aus dem Schornstein quellen, pro Stunde etwa 10 Tonnen.

Aufgeschreckt durch Meldungen über Waldsterben, Smog und sauren Regen ist die Öffentlichkeit seit Ende der siebziger Jahre allerdings empfindlicher gegen Schwefeldioxid geworden. Forderungen von Umweltschutzgruppen, das Kraftwerk Buschhaus nicht ohne Entschwefelungsanlage in Betrieb gehen zu lassen, zogen daher immer breitere Kreise.

Aber alles hat seinen Preis.

Da ein nachträglicher Einbau von Entschwefelungsanlagen rechtlich nicht erzwungen werden kann, wenn es für das Kraftwerk wirtschaftlich nicht vertretbar ist, machten die BKB-Manager ihre sorgenvollen Rechnungen auf:

Das 850 Millionen DM teure Kraftwerksprojekt sei ohnehin knapp kalkuliert, nicht zuletzt, weil das Kohlevorkommen neu erschlossen werden mußte. Die rund 200 Millionen DM, die ein nachträglicher Einbau von Entschwefelungsanlagen kosten würde, seien nicht zu verkraften. Allerdings wäre man natürlich bereit zu entschwefeln – wenn dafür Steuergelder als Unterstützung in die Unternehmenskasse fließen würden.

Als im Juli 1985 nach zahlreichen Protesten und langen Gerichtsverfahren der Kraftwerksschlot doch ohne Entschwefelung zu rauchen anfang, wurden von der niedersächsischen Landesregierung und der Betreiberfirma BKB folgende Regelungen als Erfolg für den Umweltschutz gepriesen:

Ab Juli 1987 wird das Kraftwerk Buschhaus und ein Block des nahegelegenen Kraftwerks Offleben II mit einer Rauchgasentschwefelung arbeiten. Zwei andere Blöcke von Offleben II werden ab 1986 teilentschwefelt und 1993 stillgelegt, im alten Kraftwerk Offleben I geht sofort der Ofen aus. Bis zur Inbetriebnahme der Rauchgasentschwefelung soll das Kraftwerk Buschhaus mit einer weniger schwefelhaltigen Braunkohle als ursprünglich vorgesehen befeuert werden.

In Schwefeldioxidmengen ausgedrückt, bedeutet das:

Bis 1986 betragen die Schwefeldioxidemissionen im Raum Helmstedt aufs Jahr umgerechnet rund 120000 t. 1986 fällt der Ausstoß auf 113000 Tonnen pro Jahr, ab Juli 1987 auf 35000 Tonnen und ab 1993 auf 9000 Tonnen.

Die BKB streichen für die Entschwefelungsmaßnahmen einige hundert Millionen DM aus dem Landes- und Bundeshaushalt sowie aus Mitteln der Europäischen Gemeinschaft, aus Steuergeldern also, ein. Die Landesregierung von Niedersachsen ist zufrieden.

Sie verweist darauf, daß mit der BKB umfangreichere Entschwefelungsmaßnahmen verabredet wurden als rechtlich durchsetzbar gewesen wären. Außerdem seien in der wirtschaftlich schwachen Helmstedter Region Arbeitsplätze durch den Kraftwerksbetrieb gesichert.

Umweltschutzgruppen machen eine andere Rechnung auf.

Ihrer Meinung nach ist der Kraftwerksbau wegen Überkapazitäten bei der Stromerzeugung unnötig gewesen; für den hohen Schwefeldioxydausstoß werde man eines Tages teuer bezahlen müssen, und die Sicherheit der Arbeitsplätze sei keineswegs gewährleistet. In dem modernen Großkraftwerk ließe sich der Strom viel rationeller und somit mit weniger Arbeitskräften produzieren als zuvor.

Tatsächlich räumte ein Sprecher der BKB Ende Juli 1985 ein, man habe die Zahl der Beschäftigten seit dem vorhergegangenen Jahr um 200 Arbeitskräfte verringert.

Man sollte es sich zwar nicht so leicht machen, die Sicherheit von Arbeitsplätzen mit dem Argument abzutun, auch Umweltschutzmaßnahmen schafften Arbeitsplätze.

Rein zahlenmäßig lassen sich zwar vernichtete und neugeschaffene Arbeitsplätze vortrefflich gegenüberstellen; doch jemand, der seinen Arbeitsplatz verliert, hat in der Regel nichts von solchen Zahlenspielen. Es nützt zum Beispiel dem Kraftwerkselektriker, der im Ruhrgebiet arbeitslos wird, zunächst einmal gar nichts, daß in Süddeutschland Fachkräfte für den Bau von Entschwefelungsanlagen gesucht werden.

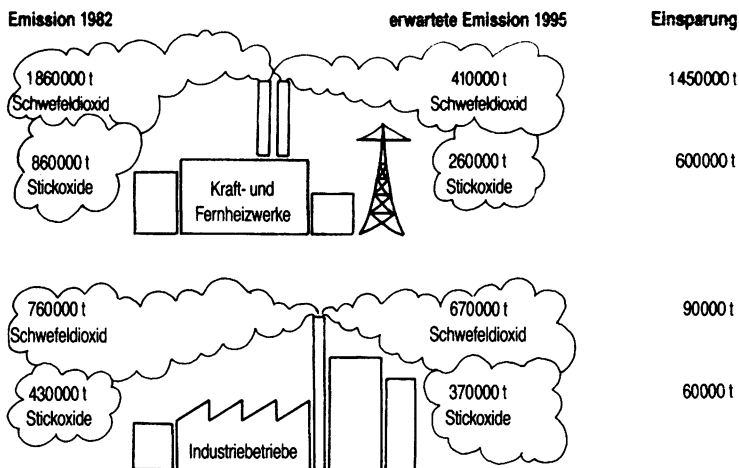
Aber bisher ist mit dem pauschalen Argument, Umweltschutzmaßnahmen kosten Geld, gefährden die Wirtschaftlichkeit von Betrieben und somit auch Arbeitsplätze viel Mißbrauch getrieben worden.

„Enorme Kosten“, „größte Fehlinvestitionen“, „eine Talfahrt der deutschen Wirtschaft drohe“, mit solchen Schwarzmalereien wurden schon in den siebziger Jahren Forderungen nach Entschwefelung der Kraftwerke abgebügelt.

Experten des Umweltbundesamts haben Ende 1984 berechnet, daß die bis 1995 durchzuführenden Entschwefelungsmaßnahmen der Energiewirtschaft rund 13,5 Milliarden DM kosten werden.

Ob das reichen wird?

Experten des Umweltbundesamts haben versucht zu schätzen, welche Auswirkungen die GFAVO für die Schwefeldioxid- und Stickoxidemissionen bis 1995 haben wird.



Möglicherweise werden schon bis 1988 etwa eine Million Tonnen Schwefeldioxid weniger an die Luft geblasen als 1982.




Zahlenangaben nach Schärer/Keiter 1984

Das hört sich erst einmal gewaltig an, doch umgerechnet auf die Stromgebühren verteuern diese Investitionen den Preis für die verbrauchte Kilowattstunde durchschnittlich um 0,6 Pfennig. Bezogen auf die heutigen Durchschnittspreise für den Strom werden Haushalte und Betriebe zwischen 2,5 und 5% mehr für ihre Stromrechnung ausgeben.

Ob das die Wirtschaft ruinieren wird?

Sicherlich kann manch einem Betrieb, der schon jetzt am Rand der Pleite steht, die Strompreiserhöhung schwer zu schaffen machen. Doch die Auswirkungen zusätzlicher Stromkosten sind von Betrieb zu Betrieb verschieden. Sie hängen vom Anteil der Stromgebühren an den gesamten Produktionskosten ab sowie von der Möglichkeit

**Umweltschutz häppchenweise –
der Fahrplan für die Einführung des schadstoffärmeren Pkws**

		erlaubte Abgaswerte für Neuwagen pro Test*	
		Kohlenmonoxid	Stickoxide und organische Verbindungen
	Kleinwagen bis 1,4 Liter Hubraum	ab Oktober 1991/1993**	45 Gramm 15 Gramm davon höchstens 6 Gramm Stickoxide
	Mittelklassewagen 1,4-2 Liter Hubraum	ab Oktober 1991/1993**	30 Gramm 8 Gramm
	Wagen über 2 Liter Hubraum	ab Oktober 1988/1989**	25 Gramm 6,5 Gramm davon höchstens 3,5 Gramm Stickoxide

* Der Abgastest wird in allen Ländern der Europäischen Gemeinschaft nach einheitlichen Regelungen durchgeführt: Auf dem Rollenprüfstand wird viermal rund ein Kilometer Fahrt nachgeahmt. Darin sind Beschleunigungs- und Bremsphasen sowie gleichmäßige Fahrgeschwindigkeiten enthalten.

Die Werte lassen sich mit den amerikanischen Grenzwerten nicht direkt vergleichen. Grob kann man sagen, daß die europäischen Grenzwerte einen doppelt so hohen Schadstoffausstoß zulassen wie die US-Regelungen.

** Das erste Datum gilt für neue Modelle, das zweite für zugelassene Neuwagen.

der Firma, die zusätzlichen Ausgaben auf die Preise ihrer Waren abzuwälzen oder sie von der Gewinnspanne abzuziehen.

Die verallgemeinernden Warnungen, mit denen eine frühzeitigere Entschwefelung der großen Feuerungsanlagen verhindert wurden, waren plump und kurzsichtig:

Die Schäden an Wäldern, Gebäuden und an der menschlichen Gesundheit zeigen heute, daß auch unterlassene Umweltschutzmaßnahmen Geld kosten – und auch Arbeitsplätze vernichten können. So schätzt die Gewerkschaft Holz, daß mit dem Wald rund 750 000 Arbeitsplätze in der Land- und Forstwirtschaft sowie im Fremdenverkehr verlorengehen würden.

Etwas mehr Weitblick wäre wohl auch bei der Einführung des schadstoffärmeren Autos angebracht gewesen.

Fehlzündungen! Das schadstoffärmere Auto kommt – im Schneckentempo

Im Sommer 1983 zeigte sich die Bundesregierung entschlossen, ab 1.1.1986 nur noch Neuwagen für den Verkehr zuzulassen, die die strengen amerikanischen Abgaswerte einhalten²⁴.

Gleichzeitig kündigte sie an, bei den Regierungen der anderen Staaten der Europäischen Gemeinschaft (EG) auf eine zügige Einführung schadstoffarmer Autos zu drängen.

Aus guten Gründen:

Umweltschadstoffe machen nicht halt vor Grenzen; als typisches Durchgangsland wird die Bundesrepublik von zahlreichen ausländischen Fahrzeugen durchquert und vor allem: eine gemeinsame EG-Regelung beugt dem Risiko von Handelsbeschränkungen für die Automobilindustrie vor.

Ein Alleingang der Bundesrepublik, so die Befürchtungen der Regierung, würde nämlich den deutschen Markt für die Autoindustrien aus Frankreich, Italien und England verschließen. Ohne Abgaskatalysator dürften die Fahrzeuge dieser Hersteller hier nicht mehr gefahren werden. Im Gegenzug müßte die deutsche Automobilindustrie in den anderen Ländern mit Verkaufshindernissen rechnen.

Ein schlechtes Geschäft für die Wirtschaft der Bundesrepublik, denn die westdeutsche Autoindustrie verkauft pro Jahr 700000 Fahrzeuge mehr nach Frankreich, England und Italien als die Autohersteller dieser Länder bei uns absetzen.

So sah dann auch Innenminister Zimmermann, zuständig für die Umweltpolitik, in dem Beschluß zur Einführung des schadstoffarmen Autos eine „Schrittmacherfunktion“ für die anderen EG-Länder.

Doch im Sommer 1985 stimmte die Bundesregierung schließlich EG-Regelungen zu, die eine schwächere Begrenzung des Schadstoffausstoßes festlegten als ursprünglich angekündigt.

Zudem sieht die EG-Regelung eine Einführung des schadstoffärmeren Autos in gemächlichen Etappen vor (siehe Seite 119).

²⁴ Pro Fahrkilometer bedeutet das: die Abgase enthalten höchstens 2,1 Gramm Kohlenmonoxid, 0,25 Gramm organische Verbindungen, 0,62 Gramm Stickoxide (nach amerikanischen Testregeln, siehe Seite 119).

Es wäre jedoch zu billig, allein den anderen EG-Ländern die Rolle von Bremsklötzen zuzuschieben.

Auch in der Bundesrepublik riefen die Pläne für eine rasche, verbindliche Einführung des schadstoffarmen Autos nicht nur Freude hervor.

Mal stöhnten Vertreter der Automobilindustrie über angeblich zu kurze Umstellungszeiten, mal hieß es, die ausreichende Versorgung mit bleifreiem Benzin sei nicht zu gewährleisten.

Schließlich verschreckte der Geschäftsführer des Verbandes der Deutschen Automobilindustrie die Autofahrer mit der Behauptung, ein Katalysatorauto würde im Laufe seiner zehnjährigen Lebensdauer Mehrkosten von 5000 DM verursachen.

Wieder einmal erwiesen sich die pauschalen Warnungen als übertriebene Schwarzmalerei.

Umweltbundesamt und ADAC rechnen mit 2200 DM zusätzlichen Kosten für das Katalysatorauto. Bereits im Winter 1984/85 boten die Automobilbauer eine Auswahl verschiedener Modelle mit Katalysator an; die Zahl der Tankstellen, die bleifreies Benzin verkaufen, vervielfachte sich von rund 30 im Sommer 1984 auf einige hundert bis Ende 1984 und lag Ende Juli 1985 bei über 1800.

Wundern muß man sich nicht darüber, daß die Industrie sich anpassungsfähig zeigte. Schließlich beliefern die Mineralölkonzerne den amerikanischen und japanischen Markt schon seit Jahren mit bleifreiem Benzin; die westdeutsche Automobilindustrie verkauft ihre Fahrzeuge auch in diese Länder – mit Katalysator.

Die Rangelei innerhalb der Bundesrepublik um den Einführungstermin für das Katalysatorauto stärkte natürlich nicht gerade die Verhandlungsposition der Bundesregierung gegenüber den anderen EG-Ländern.

Vor allem Frankreich, England und Italien ließen frühzeitig erkennen, daß sie es mit dem schadstoffarmen Auto nicht eilig haben.

Die englischen Autobauer stecken in einer tiefen Krise; die französischen und italienischen Hersteller stützen sich vor allem auf den Verkauf von Kleinwagen. Sie befürchten, daß die Verteuerung der Fahrzeuge durch Ausrüstung mit einem Katalysator die weniger zahlungskräftige Kundschaft vom Kauf neuer Wagen abschreckt.

Zwar zeigte sich die Bundesregierung im März 1985 noch zu großen Taten entschlossen und ließ Innenminister Zimmermann verkünden, zur Not werde in der Bundesrepublik das Katalysatorfahrzeug im

Alleingang eingeführt, Handelshindernisse nähme man in Kauf. Aber der Kompromiß, dem die Bundesregierung im Sommer 1985 zustimmte, schiebt die Verbreitung des Katalysators auf die lange Bank.

Ein großer Teil der Fahrzeuge, möglicherweise die meisten, wird die fälligen Grenzwerte wahrscheinlich ohne die Ausrüstung mit einem geregelten Dreiwegkatalysator schaffen.

Der Straßenverkehr bleibt daher schmutziger als technisch nötig. Einige Umweltexperten befürchten sogar, daß der gesamte Stickoxidausstoß aus Kraftfahrzeugen in den nächsten Jahren zunehmen und erst zum Ende des Jahrhunderts wieder den heutigen Stand erreichen wird. Dieser Zuwachs an Schadstoffen sei zu erwarten, weil sich der Kraftfahrzeugbestand ausweitet und die moderne Automobiltechnik immer höhere Fahrgeschwindigkeiten erlaubt. Da der Anteil schadstoffärmerer Autos am Straßenverkehr zunächst nur langsam wachse, könne vorerst die vermehrte Stickoxidproduktion nicht ausgeglichen werden.

Eine Begrenzung der Höchstgeschwindigkeit, so hoffen zahlreiche Umweltschützer, würde wenigstens etwas Entlastung bringen.

Fuß vom Gas! Nicht nur dem Wald zuliebe

Im Herbst 1984 machte das Umweltbundesamt manchem Autofreund Kummer.

Die Berliner Umweltexperten hatten errechnet, daß mit der Begrenzung der Höchstgeschwindigkeit auf Autobahnen und einer Senkung der erlaubten Geschwindigkeit auf Straßen außerhalb geschlossener Ortschaften (Außerortstraßen) der Schadstoffausstoß im Straßenverkehr vermindert werden könnte.

Ein Tempolimit von 100 km pro Stunde auf Autobahnen und 80 Stundenkilometer auf Außerortstraßen würde der Luft pro Jahr 9000–12000 Tonnen organische Verbindungen, 330000–420000 Tonnen Kohlenmonoxid und 120000–182000 Tonnen Stickoxide ersparen – je nachdem, wie brav die Autofahrer sich an die Regelungen halten würden.

Andere Expertengruppen sagten eine Verminderung der Stickoxidemissionen zwischen 140000 und 260000 t voraus.

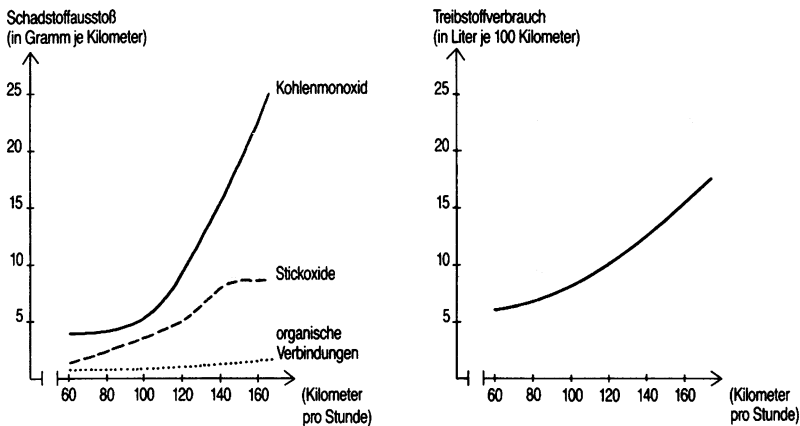
Von solchen Ergebnissen weit entfernt lagen die Schätzungen einer Studie, die der Verband der Deutschen Automobilindustrie (VDA) in Auftrag gegeben hatte: die Stickoxidemissionen würden nur um 72000 t fallen, der Ausstoß organischer Verbindungen und von Kohlenmonoxid nähme sogar noch zu.

Wie kommen Experten mit wissenschaftlichem Anspruch zu derart unterschiedlichen Ergebnissen?

Grundlage solcher Schätzungen sind Messungen des Schadstoffausstoßes von Pkws, die mit verschiedenen Geschwindigkeiten auf Rollenprüfständen „gefahren“ werden.

Fuß vom Gas spart Sprit und Schadstoffe

Schadstoffausstoß und Treibstoffverbrauch für verschiedene gleichmäßig gefahrene (konstante) Geschwindigkeiten



Die Werte sind Durchschnittswerte und wurden für konstante Geschwindigkeiten, zum Beispiel bei 60 km/Stunde, bei 80 km/Stunde und so weiter, ermittelt. Man kann daher nicht einfach ablesen, wieviel Treibstoff gespart wird und wieviel Schadstoffe weniger man hinterläßt, wenn man sich für die Fahrt zur Arbeit oder an den Ferienort mehr Zeit nimmt.

Zahlenangaben nach Umweltbundesamt, 1984

Die Hochrechnung dieser Meßwerte auf den gesamten Straßenverkehr ist allerdings mit einigen Unbekannten behaftet:

Aus Kostengründen lassen sich nur eine Auswahl der 350 verschiedenen Kraftfahrzeugmodelle prüfen, die in der Bundesrepublik gefahren werden. Die „Fahrweise“ auf dem Prüfstand spiegelt kaum den Fahrstil verschiedener Autofahrer im wirklichen Straßenverkehr wider. Im Test laufen die Fahrzeuge zumeist mit gleichmäßiger (konstanter) Geschwindigkeit, während man auf den Straßen, je nach Verkehrslage und persönlichem Fahrstil, häufig schaltet, beschleunigt und abbremst.

Ob die Vorhersagen der Experten einigermaßen brauchbar sind, hängt somit auch davon ab, wie sauber die Unterschiede zwischen Testläufen auf dem Prüfstand und dem wirklichen Fahrverhalten auf der Straße berücksichtigt werden.

Zwar ist den Gutachtern der Automobilindustrie wiederholt nachgewiesen worden, daß sie durch (eingebaute?) methodische Fehler an der Wirklichkeit vorbeigerechnet haben, doch die Bundesregierung ließ sich von den Ergebnissen beeindrucken.

Mit dem Argument, die Expertenaussagen über die Auswirkungen eines Tempolimits würden sich widersprechen, gab sie im Herbst 1984 das Startsignal für einen Großversuch auf den Autobahnen.

Auf 20 Teilstrecken wurde zeitlich begrenzt die Höchstgeschwindigkeit Tempo 100 vorgeschrieben.

Verkehrsbeobachter ermittelten die Auswirkungen dieser Vorschrift auf die tatsächlich gefahrene Durchschnittsgeschwindigkeit; Testfahrer kreuzten über die Autobahnen und registrierten die alltägliche Fahrweise von Otto Normalbürger, von Rasern und von Schleichern. Die Beobachtungen dienten zur Ermittlung typischer Fahrstile, die auf Rollenprüfständen zur Messung des Schadstoffausstoßes wirklichkeitsnah „abgefahren“ wurden.

Ein Jahr dauerte der 14–15 Millionen DM teure Großversuch; Zeit für heftige Diskussionen in der Öffentlichkeit. Die Position der Gegner eines allgemeinen Tempolimits:

Tempo 100 würde den Verkehrsfluß behindern, Stauungen begünstigen, Fahrzeiten verlängern und deshalb – Zeit ist Geld – der Wirtschaft teuer zu stehen kommen. Die Automobilindustrie fürchtete, weniger Fahrzeuge ins Ausland verkaufen zu können. Dort seien gerade die schnellen, hochleistungsfähigen deutschen Modelle sehr gefragt, nicht etwa zum Rasen – in allen anderen Industrielän-

dern der Welt gibt es mittlerweile Geschwindigkeitsbegrenzungen –, sondern wegen ihres hohen Sicherheitsstandards.

Schließlich kam auch die Krämerseele zu Wort: Die Begrenzung der freien Fahrt würde sich kaum lohnen, weil ohnehin nur wenige Prozente des Schadstoffausstoßes einzusparen seien.

Und wieder einmal waren es pauschale, kaum überprüfbare Verallgemeinerungen, die herhalten mußten, um ein Opfer für den Umweltschutz zu umgehen.

Die Klagen über mögliche Zeit- und Geldverluste für die Wirtschaft wirken weniger überzeugend, wenn man weiß, daß auf vielbefahrenen Autobahnstrecken längst Geschwindigkeitsbegrenzungen bestehen, um Staubbildungen durch häufiges Überholen, Spurwechseln und Abbremsen zu verhindern. Sicherlich würde ein Tempolimit manche Vielfahrer, die auch zu verkehrsarmen Tageszeiten unterwegs sind, treffen; aber wenn man schon die wirtschaftlichen Folgen ausmalt, sollte man berücksichtigen, daß Busse und Lkws, die von einem Tempolimit ohnehin nicht betroffen wären, möglicherweise zügiger durch den Verkehr kommen würden.

Außerdem könnten durch die Begrenzung der Höchstgeschwindigkeit pro Jahr viele hunderttausend Tonnen Treibstoff gespart werden – und die schlagen auch mit einigen hundertmillionen DM auf der Habenseite zu Buche.

Als schließlich im November 1985 die Ergebnisse des Großversuchs veröffentlicht wurden, triumphierte jedoch die Autoindustrie: Gerade 32000 t Stickoxide, so hatten die Forscher ermittelt, ließen sich durch die Einführung von Tempo 100 auf Autobahnen einsparen, wenig mehr als ein Prozent der gesamten jährlichen Stickoxidemissionen in der Bundesrepublik.

Kaum waren die Ergebnisse veröffentlicht, beschloß die Bundesregierung, ein Tempolimit werde es nicht geben.

Doch diese scheinbar wissenschaftlich abgeseignete Entscheidung hat einige Schönheitsfehler:

Erstens ist im Großversuch die Auswirkung einer Geschwindigkeitsbegrenzung nur auf Autobahnen untersucht worden; Umweltschützer haben aber zusätzlich immer die Einführung von Höchsttempo 80 auf Außerortsstraßen gefordert. Zweitens: Nur 30% aller PKW-Fahrer hatten sich an die vorgeschriebene Geschwindigkeitsbegrenzung gehalten; fast die Hälfte der Fahrer erlaubte sich über Tempo 110, ein Viertel genehmigte sich gar mehr als Tempo 120.

Die forschen Autofahrer konnten sich allerdings während des Versuchs ermuntert fühlen, sich die „freie Fahrt“ zu errasen: Verkehrsminister Dollinger verkündete, er lehne Tempo 100 als allgemeine Geschwindigkeitsbegrenzung ohnehin ab. Die Autofahrer kümmern sich sowieso nicht um ein solches Tempolimit; außerdem wäre die Einhaltung der Höchstgeschwindigkeit nur schwer zu überwachen. – Eine erstaunliche Auffassung des Ministers aus einer Regierungspartei, die ansonsten immer für Recht und Ordnung zu haben ist.

Kritiker des Regierungsbeschlusses vertreten dagegen die Auffassung, die Polizei müsse gar nicht auf jeder Autobahnbrücke auf Verkehrssünder lauern, um die Autofahrer folgsamer zu machen: Es würden sich mehr Fahrer an Tempo 100 halten, wenn die Geschwindigkeitsbegrenzung für das gesamte Autobahnnetz, statt nur für einige Teststrecken gelten würde, die man schließlich mit mehr oder weniger Glück ungestraft durchrasen könne.

Und schließlich: Mit dem Argument, die einzusparenden Schadstoffmengen seien zu gering, bei anderen Luftverschmutzern ließe sich mehr holen, kann man jede Maßnahme für mehr Umweltschutz abwürgen:

Autofahrer weisen auf die Schloten der Kraftwerke, Kraftwerkbetreiber zeigen auf den Dreck, der aus den Schornsteinen der Haushalte und Kleinbetriebe quillt, alle zusammen klagen über den Schmutz, der aus dem Ausland zu uns herüberweht.

Wenn man den Schwarzen Peter so fleißig weiterschiebt, muß man sich nicht wundern, daß man ihn plötzlich wieder zugesteckt bekommt:

Als im Herbst 1984 die Europäische Gemeinschaft über die Einführung des schadstoffarmen Autos stritt, schlug die französische Umweltministerin der Bundesregierung vor, sie solle erst einmal im eigenen Lande für ein Tempolimit sorgen, statt anderen Ländern das Katalysatorkonzept aufzwingen zu wollen.

Mit derart kleinlichen Schuldzuweisungen und krämerhaften Kosten-Nutzen-Abwägungen läßt sich kaum eine rasche Verbesserung der Luftqualität erreichen.

Muß man wirklich auf den Zentner genau wissen, wieviel Schadstoffe eingespart werden, wieviele Bäume dadurch zu retten sind und wieviel Minuten länger die Urlaubs- oder Dienstreise dauert, ehe man sich für die Einführung eines Tempolimits entscheidet?

Was wäre so schlimm daran, wenn nach einigen Jahren mit Tempo

100 festgestellt werden müßte, der Nutzen für die Umwelt sei doch nicht so groß wie erwartet?

In den USA ist seit Beginn der siebziger Jahre die Höchstgeschwindigkeit geregelt, zur Zeit auf 88 (!) km pro Stunde. Eingeführt hatte man die Begrenzung damals nicht der Umwelt zuliebe, sondern um die Autofahrer zum Treibstoffsparen zu zwingen.

Man ist gut damit gefahren: der Nationale Forschungsrat empfahl dem Kongreß der USA Ende 1984 in einer Studie, die Geschwindigkeitsbegrenzung beizubehalten; pro Jahr wurden dadurch zwei Milliarden Dollar Treibstoffkosten gespart und, weitaus wichtiger, 2000–4000 Menschenleben gerettet.

Die Bundesanstalt für Straßenwesen schätzt, daß nach Einführung von Tempo 100/80 in der Bundesrepublik jährlich 1250 Verkehrstote weniger zu beklagen wären.

Sicher, auch das ist nur eine Mutmaßung – aber ist nicht allein ihre Überprüfung schon den praktischen Versuch, die Einführung eines Tempolimits, wert?

Umweltschutzmaßnahmen, die kurzfristig betrachtet kostspielig und unbequem sein mögen, zahlen sich langfristig aus; nicht immer wird dabei alles auf Heller und Pfennig abzurechnen sein.

Luftreinhaltung zahlt sich aus!

In Japan sind heute etwa 80% aller Personenwagen mit einem Abgaskatalysator ausgerüstet. Auch dort gab es einige Aufregung in der Automobilindustrie, als sich Anfang der siebziger Jahre schärfere Grenzwertregelungen für den Schadstoffausstoß aus Auspufftöpfen abzeichneten.

Einige Jahre später profitierten japanische Autobauer jedoch von den strengen Auflagen in ihrem Heimatland.

Da trotz Ausrüstung mit Katalysatoren manche Modelle die Abgasregelungen nicht einhalten konnten, war die Industrie gezwungen, sehr treibstoffsparende Motore zu entwickeln. Die sparsamen japanischen Autos wurden daraufhin zu einem Exportschlag.

Und als bei uns der Ruf nach dem schadstoffarmen Auto lauter wurde, sorgten sich die Manager der Automobilindustrie über Gerüchte, nach denen die japanischen Katalysatormodelle mit weit-

aus geringeren Preisaufschlägen auf den Markt kommen könnten als die deutschen Fahrzeuge.

Auch auf dem Gebiet der Abgasreinigung in Kraftwerken hat die japanische Industrie die Nase vorn.

Sechs von neun Verfahren, die in der Bundesrepublik für die Entstickung von Kraftwerksabgasen angeboten werden, beruhen auf japanischen Lizenzen. In mehreren Kohlekraftwerken arbeiten heute japanische Entschwefelungsanlagen, andere werden in Zukunft mit japanischer Technik entschwefelt.

Allerdings hat die japanische Industrie ihren hohen technischen Entwicklungsstand auf dem Gebiet der Luftreinhaltung nicht allein eigener Weitsicht zu verdanken.

Scharfe Begrenzungen der erlaubten Schadstoffemissionen, Schadenersatzansprüche von Opfern der Luftverschmutzung und hohe Abgaben für die Belastung der Luft mit Schadstoffen haben japanische Betriebe rasch zu sauberer Arbeit gezwungen.

So liegen zum Beispiel die Abgabesätze für Schwefeldioxidemissionen zum Teil so hoch, daß die Betreiber einiger Kohlekraftwerke bei uns jährlich -zig Millionen DM hinblättern müßten, wenn hier die japanischen Regelungen gelten würden.

Ob bei diesen Preisen die Rangelei um die Kraftwerkentschwefelung wohl weniger langwierig gewesen wäre?

Auch die Autofahrer werden in Japan für die Verschmutzung der Luft zur Kasse gebeten.

Ein Teil der Kraftfahrzeugsteuer wandert zusammen mit den Abgaben der Industrie in einen Fond, aus dem Menschen entschädigt werden, die als Opfer der Luftverschmutzung anerkannt sind.

Natürlich ist Geld nur ein schwaches Trostpflaster für die verlorene Gesundheit. Und es reicht auch nicht aus, für die Luftverschmutzung zu kassieren, wenn dadurch die Luft nicht sauberer wird.

Aber als Nachhilfe zum Umdenken ist es durchaus sinnvoll, diejenigen, die die Luft verpesten, auch für die Schäden geradestehen zu lassen.

Bis vor einiger Zeit herrschte (nicht nur) in den Industrieländern das Mißverständnis, es sei billiger, die Luft zu verschmutzen, als für die Luftreinhaltung in die Tasche zu greifen.

Die Luft schien unbegrenzt zur Verfügung zu stehen, und weil sie niemandem gehört, nahm man sich das Recht, reine Luft zu verbrauchen.

Für jeden einzelnen Verschmutzer mag die Rechnung eine Zeitlang bestens gestimmt haben, er ist seinen Schmutz auf die billigste Weise losgeworden.

Die Kosten, die heute die Allgemeinheit tragen muß, für die Sanierung von Wäldern, Böden und Gebäuden sowie für zusätzliche Aufwendungen im Gesundheitswesen, lehren eine andere Sichtweise:

Die Luft gehört uns allen – und späteren Generationen, die atmen müssen, was wir ihnen hinterlassen.

Sicherlich werden wir immer mit Verunreinigungen der Luft leben müssen.

Die Luft, die wir atmen, ist nun einmal die gleiche, in der Häuser und Fabriken stehen und Kraftfahrzeuge sich fortbewegen.

Doch lassen wir uns nicht zu sehr von Experten beeindrucken, die uns bedeutungsvoll vorrechnen, welche Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft wirtschaftlich sinnvoll sind. Nicht alles ist kalkulierbar:

Ein kranker Mensch rechnet den Wert seiner Gesundheit nicht in Mark und Pfennig ab.

Und wer wollte sich anmaßen zu entscheiden, was es jedem einzelnen von uns wert sein darf, im Wald herumzulaufen, mittelalterliche Glasgemälde in Kirchenfenstern zu bestaunen oder zu wissen, daß seine Kinder saubere Luft atmen werden?

Wie gesagt: die Luft gehört uns allen – lassen wir es uns nicht nehmen mitzubestimmen, was aus ihr wird!

Büchertips und Anschriften

Unter folgenden Adressen bekommt man zumeist kostenlos weiteres Informationsmaterial.

Ministerien und Behörden

*Bundesminister des Innern
Pressereferat
Graurheindorfer Straße 18
5300 Bonn 1*

*Bundesminister für Forschung und Technologie
Pressereferat
Heinemannstraße 2
5300 Bonn 1*

*Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
Pressestelle
Rochusstraße 1
5300 Bonn 1*

Das *Innenministerium* ist zuständig für die Umweltschutzpolitik der Bundesregierung. Man bekommt von dort Informationen über Maßnahmen der Regierung zur Verbesserung der Luftqualität, über neue Umweltgesetze, Verordnungen, Abgasregelungen, Vereinbarungen mit dem Ausland. Wer regelmäßig auf dem laufenden sein will, sollte sich die kostenlose Zeitschrift „Umwelt“ abonnieren. Sie enthält zwar viel Eigenlob für die Umweltpolitik der Regierung, informiert aber auch umfassend über aktuelle Umweltprobleme, neue Forschungsergebnisse und Maßnahmen zur Luftreinhaltung. Vom *Forschungsministerium* kann man kurze Berichte über neue Forschungsergebnisse zu Themen wie Ursachen des Waldsterbens, Gebäudeschäden durch Luftverschmutzungen, technische Entwicklungen für umweltfreundlichere Produktionsverfahren erhalten.

Das *Landwirtschaftsministerium* informiert unter anderem über die Schadstoffbelastungen von Böden und über das Ausmaß der Waldschäden.

*Umweltbundesamt
Bismarckplatz 1
1000 Berlin 33*

*Bundesgesundheitsamt
Postfach 330013
1000 Berlin 33*

Das *Umweltbundesamt* bearbeitet weder Beschwerden über Luftverpester noch untersucht es Bodenproben, die besorgte Kleingärtner einschicken. Aber man bekommt von dort jede Menge Informationsmaterial. Das kostenlose Büchlein „Was Sie schon immer über Luftreinhaltung wissen wollten“ behandelt kurz und knapp zahlreiche Stichworte aus dem Themengebiet Luftverschmutzung. Allerdings sind die Informationen oft recht dünn, Daten zum Teil veraltet. Wer sich in ein spezielles Thema einarbeiten will, sollte möglichst genau angeben, zu welchen Fragen Material benötigt wird. Vielleicht bekommt man dann eine der zahlreichen Forschungsberichte zu so unterschiedlichen Themengebieten wie Dioxin, Schwermetalle, Schwefeldioxid, Formaldehyd, finanzielle Aufwendungen für den Umweltschutz, Umweltbewußtsein in der Bevölkerung, Fahrgeschwindigkeit und Schadstoffausstoß . . . Um mit den Berichten sinnvoll arbeiten zu können, braucht man allerdings Ausdauer und gute naturwissenschaftliche Grundkenntnisse. Beim *Bundesgesundheitsamt* kann man unter anderem Berichte über die Schwermetallbelastungen von Lebensmitteln bestellen.

Verbände, Institute, Parteien

Alle großen Verbände und Parteien, die auf sich halten, haben mittlerweile Programme für den Umweltschutz. Die Parteiprogramme bekommt man bei den jeweiligen Parteizentralen (für die im Bundestag vertretenen Parteien reicht als Anschrift der Name der Partei und: 5300 Bonn). Wissenswertes erhält man auch beim

*Bundesverband der Deutschen Industrie
Gustav-Heinemann-Ufer 84-88
5000 Köln 51*

*Deutscher Gewerkschaftsbund
Postfach 2601
4000 Düsseldorf*

Bundesverband Bürgerinitiative Umweltschutz (BBU)
Friedrich-Ebert-Allee 120
5300 Bonn 1

Öko-Institut Freiburg
Hindenburgstraße 20
7800 Freiburg

Wer erfahren möchte, welche technischen Verbesserungen sich die Industrie einfallen läßt, um die Verschmutzung der Luft zu senken, kann an den *Industrieverband* schreiben. Dort hat man auch die Anschriften von Verbänden für verschiedene Branchen wie zum Beispiel Kraftwerksbetreiber, Metallverarbeitung, Chemiebetriebe, Automobilhersteller. Die technischen Informationen sind zum Teil recht brauchbar und vor allem gut bebildert. Allerdings werden einem Unternehmerstandpunkte über die richtige Umweltpolitik untergejubelt. Daher sollte man sich auch bei den *Gewerkschaften* erkundigen, welche Maßnahmen für eine Verbesserung der Luftqualität vorgeschlagen werden. Beim Gewerkschaftsbund bekommt man auch Material über die Schadstoffbelastungen an Arbeitsplätzen. Der *BBU* teilt Anschriften über Bürgerinitiativen gegen Luftverschmutzung am eigenen Wohnort mit. Wie das *Öko-Institut* verschickt der *BBU* auch Informationsmaterial zu verschiedenen Umweltthemen.

... und wie steht's mit der Luft am eigenen Wohnort?

Informationen über die Schadstoffbelastung der Luft in der Heimatregion bekommt man von der jeweiligen Landesregierung. In den einzelnen Bundesländern sind die Zuständigkeiten für den Umweltschutz innerhalb der Landesregierung unterschiedlich geregelt. Wer nicht weiß, an welche Stelle er sich wenden kann, schreibt am besten an die Pressestelle des jeweiligen Regierungschefs in der Landeshauptstadt. Wenn Stichworte wie Umweltschutz, Luftreinhaltung usw. erwähnt werden, landet die Anfrage schon bei der richtigen Behörde.

Und jetzt ein paar Buchtips

Jochen Bölsche (Hrsg.): *Das gelbe Gift*. Todesursache: Saurer Regen.
Rowohlt Verlag 1984.

Knapp ein Drittel des Buches befaßt sich mit der Luftverschmutzung durch Schwefeldioxid. Andere Themen sind Bleiverseuchung, Wasser- und Bodenbelastung. Das

Buch enthält Beiträge verschiedener Autoren, die hart mit den Versäumnissen bisheriger Umweltpolitik ins Gericht gehen. Mir persönlich scheint bei einigen Aufsätzen zu sehr die „Katastrophenstimmung“ durch.

Rainer Griebhammer, Fritz Vahrenholt, Frank Claus: *Formaldehyd. Eine Nation wird geleiimt*. Rowohlt Verlag 1984.

Recht verständlich werden Informationen über die Quellen der Formaldehydbelastung und über die gesundheitlichen Gefahren des Formaldehyds dargeboten. Man lernt auch, warum Ergebnisse von Tierversuchen nicht auf den Menschen zu übertragen sind. Außerdem machen die Autoren deutlich, daß es bei der Risikoabschätzung gegenüber Schadstoffen nicht nur um die medizinische Frage gehen darf: „Was können wir verkraften?“, sondern auch gefragt werden muß: „Brauchen wir das Zeug überhaupt?“

Martin Jänicke, Udo Ernst Simonis, Gerd Weigmann (Hrsg.): *Wissen für die Umwelt*. de Gruyter Verlag 1985.

Experten schreiben in jeweils 20–30 Seiten langen Aufsätzen über verschiedene Gebiete des Umweltschutzes: gesundheitliche Schäden durch Luftverschmutzungen, Klimaveränderungen, Zerstörungen der Böden. Zahlreiche Beiträge sind politischen Fragen gewidmet: Was sind die Ursachen der Umweltverschmutzung? Warum stoßen Umweltschutzmaßnahmen häufig auf Widerstand? Wie steht's mit dem Umweltbewußtsein in der Bevölkerung? Nicht leicht zu lesen!

Fritz Kalberlah: *Acht Stunden täglich*. Schadstoffe und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. Dreisam-Verlag Freiburg 1983.

Lange bevor die „dicke Luft“ zum Problem für uns alle geworden ist, litten die Arbeiter in Industriebetrieben unter der Belastung mit zahlreichen Schadstoffen. Das Buch gibt nicht nur einen Überblick über verschiedene Gesundheitsgefährdungen am Arbeitsplatz, es zeigt auch, daß es geschädigte Arbeitnehmer oft schwer haben, wenigstens eine Entschädigung zu bekommen.

Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen: *Waldschäden und Luftverunreinigungen*. Sondergutachten März 1983. Kohlhammer Verlag 1983.

Etwas für „Experten“. Wer in dem Buch blättert, bekommt einen Eindruck von der Vielschichtigkeit der Ursachen, die am Waldsterben beteiligt sein können. Man lernt, daß einfache Rückschlüsse von Schäden auf *eine* Ursache viel zu grob sind. Als Ganzes ist das Buch nur für hartnäckige Leser verdaulich, die außerdem im Chemieunterricht einigermaßen aufgepaßt haben sollten.

Shigeto Tsuru, Helmut Weidner: *Ein Modell für uns: Die Erfolge der japanischen Umweltpolitik*. Verlag Kiepenheuer & Witsch, 1985.

Das Buch berichtet in verschiedenen Beiträgen, wie es in Japan gelungen ist, die Luftqualität in den letzten 15 Jahren erheblich zu verbessern. Man lernt, daß scharfe Umweltschutzmaßnahmen keineswegs den Ruin der Wirtschaft bedeuten müssen. Da auch in Japan Industrievertreter zunächst über härtere Umweltschutzauflagen jamerten, bekommt man den Eindruck, Klagen gehören zum Geschäft.

Umweltbundesamt: *Daten zur Umwelt 1984*. Umweltbundesamt 1984.

Nicht abschrecken lassen vom Umfang! Zahlreiche, großzügig gestaltete Tabellen, Skizzen, Graphiken und Landkarten geben einen raschen Überblick über die Schadstoffbelastungen der Luft, der Böden und der Gewässer. Man erhält Informationen über Ausgaben für den Umweltschutz, über die Entwicklung des Energiebedarfs, des Straßenverkehrs, der Bevölkerungsdichte seit 1970.

Fritz Vahrenholt (Hrsg.): *Tempo 100*. Soforthilfe für den Wald? Rowohlt Verlag 1984.

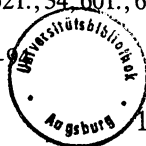
In ihren Beiträgen versuchen verschiedene Autoren, der Bundesregierung Halbherzigkeit in der Umweltpolitik nachzuweisen. Einführung des Katalysators, bleifreies Benzin, Tempolimit sind die Stichworte, um die sich die Artikel drehen. Ein Aufsatz stellt die Ozontheorie zur Erklärung der neuartigen Waldschäden vor. Man gewinnt den Eindruck, daß die Bundesregierung und Vertreter der Automobilindustrie an einem Strang ziehen, um unbequeme Entscheidungen für die Autofahrer möglichst auf die lange Bank zu schieben.

Thomas Weidenbach, Imre Kerner, Dagny Radek: *Dioxin – die chemische Zeitbombe*. Verlag Kiepenheuer & Witsch, 1984.

Neben chemischen und biologischen Informationen über die Stoffgruppe der Dioxine und über verwandte chemische Verbindungen enthält das Buch Berichte über Unglücksfälle, bei denen Menschen mit Dioxinen vergiftet worden sind. Außerdem erfährt man, daß Menschen durch die Verwendung dioxinhaltiger Pflanzenschutzmittel gesundheitliche Schäden hinnehmen mußten. Schließlich stellen die Autoren dar, auf welchen Müllhalden in der Bundesrepublik unsachgemäß abgeladene dioxinhaltige Rückstände aus der Pflanzenschutzmittelproduktion früherer Jahre lagern.

Stichwortverzeichnis

- Altanlagen S. 114–119
Altöl S. 93f.
Arbeitsplätze S. 19, 86–88, 95, 102, 117–119
Arsen S. 60
Asbest S. 72–75, 102
Autoabgase S. 5, 16f., 26, 46, 49, 95, 109ff.
Benzo(a)pyren S. 79–81
Berufskrankheiten S. 62, 73–75, 78, 86–88
Blei S. 32f., 58–72, 103–113
bleifreies Benzin S. 104, 113
Braunkohle S. 27, 35, 39f., 105–109
Buschhaus S. 115–119
Cadmium S. 58–72
Chlorfluorkohlenstoff S. 82–85
Chlorwasserstoff S. 31, 54, 88
Dioxine S. 89–94
Emission S. 25–29, 32f., 41, 46, 79, 104
Entschwefelung S. 105–109, 113ff.
Fluorwasserstoff S. 31, 54
Formaldehyd S. 94–102
fossile Energieträger S. 35, 37, 39, 40, 45
Glaserfall S. 6f., 30, 51f.
Großfeuerungsanlagenverordnung S. 114–119
Immission S. 32, 34
Industrialisierung S. 22–25
Katalysator S. 104, 109–113, 120ff.
Kohlendioxid S. 20, 34–41
Kohlenmonoxid S. 26, 28–30, 33, 34, 42–45, 110f., 122ff.
Kraftfahrzeuge S. 16–18, 25f., 29, 43f., 46, 50, 65, 95, 103, 109–113, 120ff.
Kraftwerke S. 16–18, 27, 29, 65, 79, 95, 105–109, 113ff.
Krebsrisiko S. 31, 58, 60–63, 73–75, 78, 81, 83–89, 91, 98–102
Lambdasonde S. 112
Luftreinhalteung S. 103ff., 113ff.
Magermotor 110
organische Verbindungen S. 28f., 31, 76ff., 110, 122ff.
Ozon S. 49–51, 53–56, 82–85
Ozonschicht S. 82–85
PCB S. 93f.
Photo-Smog S. 50
Polyvinylchlorid S. 85–88, 102
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffverbindungen S. 78–81, 110
Pseudo-Krupp S. 13f.
Rauchgasentschwefelung S. 108f., 113ff.
Saurer Regen S. 30, 33, 51f., 55f., 58, 105
Schwefeldioxid S. 13–20, 26f., 33, 45–48, 51–55, 104–109, 113ff.
Schwermetalle S. 32f., 34, 60f., 63, 103
Seveso-Gift S. 88–9



Smog S. 15–19, 30, 50, 105
Staub S. 14, 18f., 21, 27–30, 32, 47,
57–75
Steinkohle S. 23–25, 28, 35, 39f.,
58f., 78f., 105–109, 113ff.
Steinzerfall S. 6f., 25, 30, 33, 51
Stick(stoff)oxid S. 26–30, 33, 45–
54, 104ff.
Stufenbrenner S. 106
TA-Luft S. 66, 103
Tempolimit S. 122–127
Treibhauseffekt S. 41f.
Umweltschutz S. 103ff.
Waldsterben S. 8–12, 25, 30, 51–
56, 102, 105
Wirbelschichtfeuerung S. 106