

KfK 2804
Mai 1979

Grenzwertsetzung für chemische Schadstoffe

**Wie kommt man zu einer Grenzwertsetzung
für die Einwirkung chemischer Schadstoffe
auf den Menschen, und wie stellt sich diese
im Vergleich zu den Grenzwertsetzungen
der Strahlenschutzverordnung dar?**

**E. Drosselmeyer
Hauptabteilung Sicherheit**

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Hauptabteilung Sicherheit

KfK 2804

Grenzwertsetzung für chemische Schadstoffe

- Wie kommt man zu einer Grenzwertsetzung für die Einwirkung chemischer Schadstoffe auf den Menschen, und wie stellt sich diese im Vergleich zu den Grenzwertsetzungen der Strahlenschutzverordnung dar?

E. Drosselmeyer

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Zusammenfassung

Chemische Schadstoffe können neben ihrer toxischen Wirkung ebenso wie Strahlung auch Krebs und Erbschäden hervorrufen. Manche dieser Wirkungen sind seit sehr langer Zeit bekannt. Trotzdem scheinen die Kenntnisse über die der Schadensentstehung zugrundeliegenden Prozesse, über Dosis-Wirkungs-Beziehungen und mögliche Grenzwerte im Bereich der Radioaktivität zumindest gleichwertig zu sein.

Es wird versucht, anhand einer Literaturstudie über die Wirkungen von Schwermetallen, insbesondere Blei, auf den Menschen eine Einführung in den Problembereich zu geben.

Dann werden Grenzwertsetzungen für verschiedene Bevölkerungsgruppen und gesetzlich festgelegte Grenzwerte im In- und Ausland betrachtet. Besonderes Interesse verdienen Versuche, durch die Definition einer "radiation equivalent"-Dosis für Chemikalien die Beziehung zwischen den verschiedenen schädlichen Einwirkungen zu quantifizieren.

Abstract

Establishing exposure limits for chemical pollutants

- The definition of threshold values for human exposure to chemical pollutants and a comparison with the setting of standards in the German radiation protection ordinance.

In addition to toxic effects, chemical pollutants may produce cancer and genetic damage as radiation does.

Some of these effects have been known since a very long time. In spite of this fact, the knowledge of the basic processes in damage formation, of dose-effect relationships, and of possible threshold values seem to be at least comparable in the field of radiation protection.

The attempt is made to give an introduction into the problems by a literature survey of the effects on man of heavy metals, especially of lead.

Subsequently the exposure limits for different groups of the population and the legal national and international standards are considered.

Efforts to quantify the relationship existing between different pollutants by the definition of a "radiation equivalent" dose for chemicals deserve particular interest.

Inhaltsverzeichnis:

	Seite:
Vorbemerkung	V.1
1. Einleitung	1.1-1.6
2. Aufgabender Toxikologie im chemischen Umweltschutz	2.1-2.5
3. Umweltchemikalien und Krebs	3.1-3.6
4. Umweltchemikalien als Mutagene	4.1-4.4
5. Einzelne Schadstoffe (vor allem Schwermetalle) und ihre Wirkungen	5.1-5.12
6. Blei als Beispiel eines chemischen Schadstoffes in der Umwelt	6.1-6.6
7. Grenzwertsetzung für verschiedene Bevölkerungsgruppen	7.1-7.2
8. Gesetzlich vorgeschriebene Grenzwerte (MPL-Werte, TA-Luft, MAK-Werte, MIK-Werte, Lebensmittelgesetz)	8.1-8.5
9. Vergleich mit dem Ausland	9.1-9.5
10. Forschungsprogramme zum chemischen Umweltschutz	10.1-10.3
11. Schlußfolgerungen	11.1-11.9
Glossar	G 1 - G 4

Vorbemerkung

Um dem Leser, der mit den Fragestellungen und Problemen des chemischen Umweltschutzes nicht vertraut ist, die Einordnung der vorhandenen Analysen und Ergebnisse etwas zu erleichtern, sind im vorliegenden Bericht nach der Einleitung drei Abschnitte über den Bereich der Toxikologie, einige Gedanken zur Krebsentstehung und zur Mutagenität von Schadstoffen vorangestellt. In ihnen werden Gedankengänge und Begriffe dargestellt, auf die in den weiteren Abschnitten dann zurückgegriffen wird.

Für die verwendeten Fachausdrücke sei auf das Glossar im Anhang hingewiesen.

1. Einleitung

Problemstellung

In der Öffentlichkeit herrscht der Eindruck vor, Plutonium sei die denkbar giftigste und damit gefährlichste Substanz, mit der Menschen in Berührung kommen könnten. Plutonium ist in der Tat eine Substanz, mit der mit großer Vorsicht umgegangen werden muß. Derzeit entstehen etwa 12 t Pu pro Jahr in Kernkraftwerken. Davon entweicht größenordnungsmäßig höchstens 1 g in die Umwelt. Diese Menge entspricht etwa einer Letaldosis beim Verschlucken und 4000 Letaldosen beim Einatmen. Das in Seveso freigesetzte Dioxin ist viermal, das Toxin der Fleischvergiftung tausendmal so wirksam. Im Vergleich dazu ist die Giftigkeit von Bleiverbindungen zwar wesentlich kleiner. Die Letaldosis liegt unter 30 mg. Dafür beträgt aber die Jahresweltproduktion 4,5 Millionen Tonnen. Dieser Menge entsprechen mehr als 150 Milliarden Letaldosen /Grümm,1977/. Nun könnte man ins Treffen führen, daß Pu-239 eine Halbwertszeit von 24 000 Jahren hat. Wird dabei bedacht, daß die Halbwertszeit stabiler Elemente wie Blei, Quecksilber oder Cadmium unendlich ist?

Heute findet sich eine starke und schnelle Änderung der Umwelteinflüsse vor allem aus drei Gründen:

- Bevölkerungszunahme
- wachsende Technisierung
- zunehmende Urbanisierung.

Nach einer neueren Schätzung gibt es in unserer Umwelt etwa eine halbe Million verschiedener chemischer Substanzen. Jedes Jahr werden etwa 10 000 bis 20 000 neue bekannt und verfügbar, und die Öffentlichkeit wird deshalb immer besorgter um mögliche Schäden, die aus der Anwendung dieser Substanzen entstehen könnten.

Besondere Sorgen rufen mögliche carcinogene^{*}, teratogene (Mißbildungen erzeugende) und mutagene Wirkungen hervor, die u.U. nicht auf die jetzt lebende Generation beschränkt bleiben. Unsere Kenntnisse in diesem Bereich sind fragmentarisch, was die Häufigkeit und das Ausmaß solcher

* Zwecks einheitlicher Schreibweise mit noch nicht eingedeutschten zusammengesetzten medizinischen Fachausdrücken, wie Praecancer usw., wurde an der Schreibweise "carcinogen" bzw. "cancerogen" festgehalten.

Schäden anbetrifft. Insbesondere bei der Frage nach dem somatischen und genetischen Risiko von radiologischen und chemischen Umwelteinflüssen besteht ein starkes Interesse am Schutz des Menschen und seiner natürlichen Umwelt. Hier ist festzustellen, daß wir aufgrund der intensiven strahlenbiologischen Forschung der letzten 20 bis 30 Jahre über das Strahlenrisiko mehr wissen als über das Risiko durch chemische Schadstoffe. Es ist daher naheliegend, zu prüfen, wieweit sich Erfahrungen und Konzepte des Strahlenschutzes auf chemotoxische Stoffe übertragen lassen.

Kenntnisstand:

Es ist oft schwierig, die Wirkung eines schädlichen äußeren Einflusses auf den Menschen genauer zu definieren. Am einfachsten ist es bei akuten Todesfällen; bei der Entstehung von akuten oder chronischen Krankheiten ist es schon erheblich komplizierter, und die Untersuchungen der Wirkungen von Umwelteinflüssen auf die Erbanlagen stehen noch am Anfang ihrer Entwicklung. Um dieses zu verdeutlichen, seien zwei Beispiele angefügt:

1. Erst nach jahrelangen Untersuchungen und zahlreichen internationalen Konferenzen ist es dem Internationalen Arbeitsamt (ILO) gelungen, internationale vergleichbare Daten über tödliche Unfälle in der Industrie zu bekommen. Im Rahmen solcher Statistiken werden Vergiftungen besonders ausgewiesen. Zu diesen zählen auch die uns besonders interessierenden Sterbefälle durch die Einwirkungen chemischer Noxen sowie Strahlenschäden.
2. Die Statistik wird schon weniger klar und aussagekräftig, wenn man statt der begrenzten Gruppe der Industriearbeiter die Gesamtbevölkerung betrachtet. 1974 entfielen in der Bundesrepublik auf die Todesursachen "Unfälle und Vergiftungen" 4,5 % von 727 502 Sterbefällen. Tab. 1.1 /Jahn, 1976/ gibt eine Übersicht aus dem Jahre 1972, die ein Teil der amtlichen Todesursachenstatistik des statistischen Bundesamtes in Wiesbaden ist. Die uns interessierenden Einwirkungen chemischer Substanzen zählen hier ebenso wie Strahlenschäden wiederum zu den Vergiftungen.

Tab. 1.1 Relative Häufigkeit von Vergiftungsursachen

1. toxische Wirkung von Kohlenmonoxid und von sonstigen Gasen, Dämpfen und Rauch	48,4 %
2. toxische Wirkung von medizinisch nicht gebräuchlichen Substanzen	32,4 %
3. toxische Wirkung von Alkohol und schädliche Wirkung von Alkohol in Verbindung mit näher bezeichneten Arzneimitteln	10,8 %
4. Kälte- und Hitzeschäden	3,7 %
5. toxische Wirkung von ätzenden, aromatischen Verbindungen, Säuren und Ätzalkalien	1,8 %
6. toxische Wirkung von schädlichen Nahrungsmitteln	1,4 %
7. toxische Wirkung von Petroleum und von industriellen Lösungsmitteln	0,8 %
8. toxische Wirkung von Blei und Bleiverbindungen sowie von sonstigen medizinisch nicht gebräuchlichen Metallen	0,4 %
9. schädliche Wirkung von Opiumderivaten, Salizylaten, Barbituraten, barbiturfreien Sedativa und Psychopharmaka	0,2 %
10. Strahlenschäden	0,05%

Während sich also über die Todesursachen ein einigermaßen klares Bild ergibt, konnte das Problem der Berufskrankheiten und des Vergleichs von Folgeschäden (spätere Todesfälle, bleibende und vorübergehende Schädigungen) bis heute nicht gelöst werden, nicht nur, weil es an einer gemeinsamen Sprache und einheitlichen Standards zur Bezeichnung der Folgen fehlt, sondern auch aus objektiven Schwierigkeiten in diesem Bereich wie z.B. langen Latenzzeiten oder gleichzeitigem Einfluß verschiedener schädlicher Einwirkungen, die es schwierig machen, eine eindeutige Beziehung zwischen Ursachen und Wirkung aufzuzeigen u.a.m./Failla,1977/. Trotzdem ist es natürlich von großem Interesse, zu untersuchen, wie sich Gefahren und Risiken aus den verschiedenen Bereichen unserer Zivilisation darstellen und wie gut die wissenschaftlichen Ergebnisse sind, auf denen die jeweilige Gesetzgebung zum Schutze der Bevölkerung basiert. Der oben zitierte Autor kommt zu dem Schluß, daß nach einem internationalen Vergleich im Bereich des Strahlenschutzes die zulässige Ganzkörperdosis für beruflich Exponierte reduziert werden sollte, weil das Risiko, in der kerntechnischen Industrie eine Berufskrankheit zu bekommen, größer sei als in der übrigen Industrie.

Dies trifft allerdings dann nicht zu, wenn die tatsächliche statt der zulässigen Strahlenbelastung berücksichtigt wird.

Die BRD wird als ein Land bezeichnet, in dem der Gesetzgeber mit der neuen Strahlenschutzverordnung /StrSchV, 1976/ den Bestrebungen, die Strahlenbelastung soweit wie technisch möglich zu reduzieren, s. auch /ICRP 26/, Rechnung getragen hat.

Seit Rachel Carssons "Der stumme Frühling" ist die öffentliche Besorgnis um die Vergiftung unserer Umwelt ständig gewachsen. Vor allem die chemische Industrie bedeutet ein nicht unerhebliches ökologisches Risiko. Besonderes Interesse verdienen z.B. Arzneimittel, Pflanzenschutzmittel, Farbstoffe und sog. Hilfsstoffe wie z.B. Konservierungsmittel für Lebensmittel /Schraufstätter, 1969/.

Im Gegensatz zur Strahlenbelastung, der vor allem beruflich Strahlen-exponierte und Patienten in der Medizin ausgesetzt sind, ist die Chemikalienaufnahme auch für den "Normalbürger" von erheblicher Bedeutung. Ein gutes Beispiel sind Arzneimittel. Ihr großer Nutzen ist unbestritten, heute sind nur noch 3 % aller Todesfälle infektiös oder parasitär bedingt, z.B. sind in Deutschland die tödlichen Tuberkuloseerkrankungen zwischen 1924 und 1964 auf etwa ein Zehntel zurückgegangen.

Die Arzneimittelerprobung gestaltet sich trotz aller angewendeten Sorgfalt aber schwierig. Die Ergebnisse aus Tierversuchen sind nur bedingt auf den Menschen übertragbar, eine Gefährdung "überempfindlicher" Patienten kann nie ausgeschlossen werden. Die Risiken liegen in den bekannten Fällen etwa in der Größenordnung 1: 40 000 bis 1: 100 000. *

Aufnahme von Schadstoffen

Bei der Chemikalienaufnahme sind verschiedene "Wege" zu unterscheiden:

1. direkte Aufnahme z.B. von Arzneimitteln, Lebensmittelzusatzstoffen oder Abgasen,
2. indirekte Aufnahme z.B. von Pflanzenschutzmitteln über Pflanzen und Früchte, Veterinärarzneimitteln und Nahrungszusätzen über tierische Nahrungsmittel oder von Spuren aus Verpackungsmaterial, oder
3. lokale Kontakte oder Resorption z.B. von Kosmetika, Textilhilfsmitteln und Farbstoffen oder Wasch- und Netzmitteln u.v.a.m..

*Chloramphenicol 1: 100 000 für aplastische Anämie, Risiko wie bei zahnärztlicher Lokalanästhesie

Penicillin 1: 50 000 für anaphylektischen Schock

Pockenschutz- }
impfung } 1: 40 000 für Impfenzephalitis

Wirkung von Schadstoffen

Die Wirkung chemischer Noxen ist nur schwer zu beschreiben. Dafür gibt es eine Reihe von Gründen:

- Effekte sind selten eindeutig darzustellen, weil meist mehrere Chemikalien gleichzeitig auf den Organismus einwirken.
- Hinzu kommt oft eine Aktivierungsänderung durch Metabolismus, s. Abschnitt 5.
- Die Unterschiede zwischen in vitro- und in vivo-Untersuchungen lassen größte Vorsicht bei der Übertragung von einem auf den anderen Bereich geraten erscheinen.
- Weiter sind die individuellen Wirkungen verschieden, das wurde z.B. an Mäusestämmen systematisch demonstriert.
- Leider untersucht die Toxikologie oft die molekular-biologische Wirkungsweise der Noxen nicht. Es gibt also eine Vielzahl von Daten ohne eine systematische Interpretation oder gar eine geschlossene Theorie.
- Im somatischen Bereich interessiert ebenso wie in der Strahlenbiologie vor allem die Langzeitwirkung kleiner Dosen bzw. niedriger Konzentrationen, insbesondere im Hinblick auf Krebs und andere tödlich wirkende Krankheiten.
- Der Zusammenhang zwischen mutagener, cancerogener und genetischer Wirkung, die besonders interessieren, ist nicht eindeutig.
- Die Dosis-Wirkungsbeziehung für die Einwirkung chemischer Substanzen ist, besonders im genetischen Bereich, nicht hinreichend bekannt.

Die vielfältigen Verflechtungen bei der Einwirkung chemischer Stoffe auf den Menschen ließen sich am besten in einer vieldimensionalen Matrix darstellen. Diese hätte u.a. die folgenden Komponenten:

- 1 : Art der Stoffe, z.B. Schwermetalle
- 2 : Träger, z.B. Luft
- 3 : Art der Aufnahme, z.B. Inhalation
- 4 : Zusammenwirken bzw. Vergleich mit anderen Einwirkungen, z.B. Radioaktivität

- 5 : Art der betroffenen Individuen, z.B. Kleinkinder
- 6 : wichtige Parameter bei der Einwirkung, z.B. Dauer der Einwirkung
- 7 : Besonderheiten des Metabolismus, z.B. chemische Umwandlung nach der Inkorporation
- 8 : besondere Auswirkungen, z.B. Geruchsbelästigung

Tab. 1.2 Maßgebliche Komponenten bei der Einwirkung chemischer Schadstoffe

In der vorliegenden Arbeit soll untersucht werden, wie sich die Grenzwertsetzung für luftgetragene chemische Schadstoffe darstellen und begründen läßt. Damit wird nur ein sehr kleiner Ausschnitt aus dem ständig wachsenden Gebiet des chemischen Umweltschutzes behandelt.

2. Aufgaben der Toxikologie im chemischen Umweltschutz

"Jedes kleinste Teilchen im Universum ist eine Chemikalie. Jeder nachteilige Effekt eines kleinsten Teilchens Materie auf einen lebenden Organismus ist toxikologisch. Man ist deshalb versucht, die Probleme der Umweltbeschaffenheit dadurch zu vereinfachen, daß man sie auf Chemie und Toxikologie beschränkt...."/Gershinowitz, 1969/.

Die Toxikologie ist die Wissenschaft von den Störungen, die durch chemische Stoffe infolge molekularer Wechselwirkungen bei lebenden Organismen verursacht werden können / Müller, 1976/. Ihre Aufgaben sind Feststellung und Untersuchung des Ausmaßes und der Bedingungen der Einwirkung von Giften mit dem Ziel, Hinweise für Vorsorge, Erkennung und Behandlung von Vergiftungen geben zu können. Man unterscheidet experimentelle, klinische, Industrie-, Arbeits- oder Gewerbe-, Umwelt-, Verkehrs-, Militär-, Veterinär- und Lebensmitteltoxikologie.

Neben diesen Zweigen der biowissenschaftlichen Toxikologie gibt es die chemische Toxikologie, die sich mit dem Nachweis und der Bestimmung von Giften befaßt.

Vom National Institute for Occupational Safety and Health der USA werden als toxische Substanzen solche Stoffe definiert, die das Potential haben, Krebs, Tumoren oder bösartige Geschwulste bei Menschen oder (Versuchs-) Tieren hervorzurufen, eine andauernde, vererbliche Änderung in den Eigenschaften der Nachkommen zu bewirken, die Produktion von physischen Defekten im sich entwickelnden menschlichen oder tierischen Embryo zu verursachen, Entzündungen zu erzeugen, die geistige Wachsamkeit oder Motivation zu verringern oder das Leben der Menschen zu gefährden, die mit der Substanz durch Einatmen, durch die Haut, das Auge, den Mund oder andere Pfade in beliebiger Menge in Kontakt kommen.

Wesentliche Aufschlüsse zu dem in der Einleitung umschriebenen Problemereich ergeben sich also aus der relativ neuen Wissenschaft der Toxikologie.

Maßgebliche Schritte beim Erkennen, Identifizieren und Quantifizieren des Risikos für den Menschen sind in der modernen Toxikologie:

1. die Definition eines chemischen oder physikalischen Agens, das eine Reaktion hervorrufen kann,
2. die Definition eines biologischen Systems, mit dem dieses Agens in Wechselwirkung treten kann,
3. die Definition einer "schädlichen Wirkung",
4. die Suche nach der Ursache der toxischen Reaktion.

Ziel dieser Untersuchungen ist die Bestimmung von "Sicherheitsgrenzen", bei deren Einhaltung eine Gefährdung der Bevölkerung durch chemische (oder andere) Schadstoffe ausgeschlossen werden kann.

Historische Entwicklung der Toxikologie

Anfänge der Toxikologie lassen sich bis in die Zeit von 1 500 vor Christus zurückverfolgen. Als Gifte werden im "Eber's Papyrus" Schierling, Eisenhut, Opium, Blei, Kupfer und Antimon genannt. Der wirkliche Beginn der toxikologischen Wissenschaft wird aber allgemein bei Paracelsus (1493-1541) angesetzt. Er definierte das "Toxikon", also das toxische Agens, als chemische Substanz, und er stellte fest, daß Experimentieren wesentlich ist, insbesondere um eine Unterscheidung zwischen therapeutischen und toxischen Eigenschaften der Chemikalien treffen zu können. Diese Unterscheidung läßt sich manchmal nur anhand der Dosis treffen, hier wurde also zum ersten Mal eine Dosis-Wirkungsbeziehung formuliert! Bis zu einem gewissen Grade wurde damals auch schon eine Spezifität der Chemikalien und ihrer Wirkungen festgestellt.

Auch wurde schon damals die Breite des Gebiets erkannt, Unterschiede zwischen zufälligen Vergiftungen bei Unfällen und absichtlichen Vergiftungen, der Einfluß von Umweltfaktoren, das Vorkommen von "Berufskrankheiten", u.v.a.m..

Heute ergeben sich zahlreiche neue Probleme z.B. durch:

- SO₂, CO und andere Verbrennungsabgase in der Luft
- Erwärmung und landwirtschaftliche Nebenprodukte im Wasser
- weite Verbreitung von Chlorkohlenwasserstoffen (deren Ausbreitungsvorgänge nur unzureichend bekannt sind)
- feste Abfallstoffe, wie z.B. nicht abbaubares Verpackungsmaterial
- eine Vielzahl von zum größeren Teil synthetischen chemischen Substanzen in:
 - pflanzlichen und tierischen Materialien
 - Korrosionsschutzmitteln
 - Pestiziden
 - Haushaltslösungen
 - Lösungsmitteln
 - Gasen.

Man kann sich also nicht mehr auf die Untersuchungen beschränken, ob eine "unerwünschte Konzentration einer Chemikalie" vorliegt.

Statt dessen werden zur Erleichterung der oben genannten Zwischenziele der Definition von Agens, reagierendem System und "schädlicher Wirkung" und zur Klärung der toxischen Reaktion folgende Bereiche untersucht:

- Wege der Inkorporation
Die Schnelligkeit der Absorption unterscheidet sich bei löslichen Substanzen um Größenordnungen. Am schnellsten ist die intravenöse Aufnahme, dann folgen Inhalation, intraperitoneale, subkutane, intramuskuläre, intradermale, orale und oberflächliche Verabreichung in dieser Reihenfolge.
- Metabolismus
Es ist zwischen der Wirkung der eingebrachten Substanz und der möglicher Metaboliten zu unterscheiden.

- Unterscheidung zwischen lokalen und System-Effekten (z.B. produziert Bleitetraethyl zunächst lokale Effekte auf der Haut an der Stelle, wo es absorbiert wird, dann wird es in den Körper aufgenommen und macht weitere Effekte am blutbildenden und anderen Systemen. Außerdem gibt es indirekte Effekte, wie z.B. Nierenschäden durch schwere Säureverbrennungen der Haut, bei denen Stoffwechselprodukte in die Nieren wandern).
- Man muß die Verweilzeiten und Wirkungen des Giftes in verschiedenen Bereichen des Organismus kennen (z.B. wird Blei im harten Gewebe des Skeletts abgelagert, man beobachtet aber Effekte in der Blutbildung aufgrund von Bleieinlagerungen im weichen Gewebe).
- Der Hauptort systemischer Wirkung ist das Zentralnervensystem, dann folgen der Kreislauf, das Blut und das blutbildende System, innere Organe wie Leber, Nieren und Lunge und dann die Haut; Muskeln und Knochen sind am seltensten die Gewebe, von denen systemische Wirkungen ausgehen.
- Wie in der Strahlenbiologie ist das Konzept einer Dosis-Wirkungsbeziehung das Grundlegende in der Toxikologie. Von Trevan wurde 1927 der Begriff der LD_{50} in die Toxikologie eingeführt. Damit wird die Dosis gekennzeichnet, die bei 50 % der untersuchten Tiere letal wirkt.
- Einfacher als Untersuchungen bei Langzeiteinwirkung sind solche zur akuten Toxizität. Sie wird experimentell bestimmt; als Versuchstiere dienen meist Ratten und Mäuse.

Tabelle 2.2 faßt die in der Toxikologie üblichen Bezeichnungen für die relative Giftigkeit verschiedener Substanzen und ihre Definition zusammen. Eine ausgezeichnete Übersicht über das gesamte Gebiet der Toxikologie findet sich in /Casarett, 1975/.

Stufe der Toxizität	übliche Bezeichnung	angenommene Letaldosis für einen Menschen von 70 kg	
6	supertoxisch	< 5 mg/kg	< 7 Tropfen
5	extremtoxisch	5-50 mg/kg	7 Tropfen-1 Teelöffel
4	sehr toxisch	50-500 mg/kg	1 Teelöffel-30 ml
3	mäßig toxisch	0,5-5 g/kg	30 ml-0,5 l
2	leicht toxisch	5-15 g/kg	0,5 l-1 l
1	praktisch nicht toxisch	> 15 g/kg	> 1 l

Tab. 2.2: Klassifikation von Giften

In Tab. 2.3 sind einige bekannte Spurenmetalle nach ihrer Giftigkeit
- für Ratten - geordnet /Schwarz, 1977/.

	<u>Letaldosis für Ratten</u> ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)
Se (IV, als Selenid)	3 - 6
V (V, als Vanadat)	4.5
As (III oder V)	4 - 15
Hg (II)	24
Tl (III)	22.5
Cd (II)	48
Cu (II)	60
Sb (III)	33 - 225
Mo (VI)	150
Fe (II oder III)	>180
Pb (II)	810

Tab. 2.3: Akute Toxizität bei der Aufnahme von Spurenmetallionen

3. Umweltchemikalien und Krebs

Vorkommen von Krebs

Ein anderer möglicher Ansatz zur Bewertung von Schadstoffen ist, von den vorhandenen Kenntnissen über Krebsentstehung auszugehen. Krebs hat es immer schon gegeben. Er war früher der "Spontankrebs" aus der "natürlichen" inneren Ursache der Abnutzung bzw. des Alterns und aus den gegebenen Ursachen der äußeren Umgebung. Der erste Strahlenkrebs an Säugetieren wurden 1903 an Mäusen entdeckt, die nach Röntgenbestrahlung Leukämie bekamen /Heineke, 1903/. Was heute als alarmierend empfunden wird, ist der offenkundig ganz "unnatürliche" Zuwachs an Krebskrankheiten durch neuzeitliche exogene Schädigungen mannigfacher Art. Seit der Jahrhundertwende nimmt die Krebskrankheit ständig steigend an Häufigkeit zu. Zur Zeit stirbt bei uns jeder 5. Mensch an Krebs. So ist der Krebs die Krankheitsgeißel unserer Tage und damit dem vergleichbar geworden, was im Mittelalter die großen Seuchen gewesen sind. Krebs findet sich in allen Altersgruppen von den Neugeborenen bis zum höchsten Alter, er ist medizinisch betrachtet eine einheitliche Todesursache und als solcher der Menschheitsfeind Nr. 1 geworden. Die Ausrottung aller Seuchen verdankt der Mensch der Wissenschaft und Technik. Es besteht aber zwischen der Verhütung jener früheren Seuchen und der Krebshäufigkeit von heute ein Zusammenhang, denn vornehmlich der Verhütung jener Seuchen und der Senkung der Sterblichkeit durch Infektionskrankheiten verdankt der heutige Mensch die Verlängerung seiner Lebensdauer von durchschnittlich 33 Jahren im Mittelalter auf über 70 Jahre und damit erst die Erreichung des "Krebsalters" als Grundvoraussetzung der Krebszunahme überhaupt.

Wissenschaft und Technik hatten aber noch eine zweite bedeutsame Folge: Unbewußt und ungewollt haben sie den heutigen Menschen neben mancherlei alten vielen neuen chemischen und physikalischen Krebsnoxen ausgesetzt. Nach Angaben des Krebsforschungsinstitutes der WHO sind 90 % aller Krebsfälle auf Umweltgifte zurückzuführen /WWF, 1974/.

Kenntnisse über Krebsentstehung

Unsere Kenntnisse über die Krebsentstehung kommen folgendermaßen zustande. Die ärztliche Beobachtung erkennt eine Krebsursache als solche. Dann sichert die Statistik den Effekt als reell. Es folgen Experimente zur Kennzeichnung der Noxe, der Dosis und Zeit der Einwirkung u.v.a.m., Das Ziel aller solcher Untersuchungen ist die Krebsverhütung. Es ist außerordentlich schwer zu erreichen, denn bei keiner anderen Krankheit gibt es so viele verschiedene Ursachen. Einige sind in den folgenden Tabellen 3.1, 3.2 und 3.3 aufgeführt./Bauer, 1963/.

Tab. 3.1: Berufskrebs durch Ruß, Teer, Pech und ihre Derivate

Entdecker und Jahr	Berufsart	Schädigende Noxen	Vorwiegende Krebslokalisation
PERCIVAL POTT 1775	Schornsteinfeger	Ruß	Scrotum
MANOVRIER 1874	Brikettarbeiter	Pech	Augenlider, Lippen, Scrotum
VOLKMANN 1875	Teearbeiter	Teer	Scrotum
	Paraffinarbeiter	Mineralöle	Hände, Scrotum
	Hochofenarbeiter	Teer, Hitze	Hände, Scrotum
O'DONOVAN 1920	Dachpappenarbeiter	Anthracenöl, Teer	Hände
	Naphthaarbeiter	Naphtha	Vorderarm, Scrotum
STAHR 1921	Schuster	Pech	Daumen
SOUTHAM und WILSON 1922	Baumwollspinner	Tonschieferöle	Scrotum
SCHÜRCH 1931	Korksteinarbeiter	Teer, Asphalt, Pech	Scrotum
SHAMBAUGH 1935	Fischer	Teer	Lippen
	Schwellenholz- arbeiter	Kreosot	Haut
KURODA und KAWAHATA 1936	Generatorgas- arbeiter	Pechsubstanzen (Pechöl, Teergas, Kreosot, Naphthalin)	Lunge

Tab. 3.2: Berufskrebs durch chemische Stoffe verschiedener Art

Entdecker	Berufsart	Schädigende Noxe	Vorwiegende Krebslokalisation
JOHN AYRTON 1820	(Kupferschmelzer Zinngießer Schafwäscher Fellachen	Arsen	Gesicht, Extremitäten (bes. Hände, Fußsohle)
BILHARZ 1852		Parasitäre Gifte	Blase, Harnwege, Colon (Bilharziakrebs)
L. REHN 1895	Anilinarbeiter	Anilin, Fuchsin, β-Naphthylamin	Harnwege, bes. Blase
ASKANAZY 1900	Hall-Isolierer	Parasitäre Gifte	Gallengänge
GLOINE 1931	Asbestarbeiter	Asbest	Lunge
BETKE 1933	Chromarbeiter	Chromate, Chromfarben	Lunge
	Nickelarbeiter	Nickel, Kupfer	Nase, Lunge

Tab. 3.3: Berufskrebs durch physikalische Noxen

Entdecker	Berufsart	Schädigende Noxe	Vorwiegende Krebslokalisation
Agricola 15. Jh.	Grubenarbeiter	Radium-Emanation	„Schneeberger und Joachimsthaler Lun- genkrebs“
	Hirten, Straßenhändler in Tibet	Hitze	Bauchhaut („Kangri- krebs“)
	Lokomotiv- und sonstige Heizer	Hitze	Unterschenkel („Schienbeinkrebs“)
UNNA 1894	Seeleute („Seemanns- haut“)	Licht	Gesicht, Hände
FRIEBEN 1902	Röntgenärzte und Röntgenpersonal	Röntgenstrahlen	Hände, Vorderarme
DUBREUILH 1907	Bauern, Farmer („Landmannshaut“)	Licht	Gesicht, Hände
LEITSCHEQUIRA 1920	Radiumtherapeuten	Radium	Hände, Gesicht
MARTLAND 1929	Leuchtzifferblatt- malerinnen	Radium-, Mesothor	Knochensarkome

Für fast alle Arten der Krebsentstehung war der Mensch das erste unfreiwillige "Versuchsobjekt". Meistens handelte es sich dabei um Berufskrebse, s. Tabellen 3.1 - 3.3. Bemerkenswert ist z.B. die Tatsache, daß nach einer Mitteilung der Gesellschaft Deutscher Chemiker bei Chemikern in den Jahren 1948-1967 die Krebssterblichkeit um 25 % höher lag, als statistisch zu erwarten gewesen wäre /Manstein, 1977/.

Bei der Entstehung von Berufskrebs gilt immer;

- a) die Betroffenen sind den Schädigungen Jahre oder Jahrzehnte ausgesetzt
- b) zwischen Expositionsbeginn und Krebsbeginn liegt eine lange Latenzzeit
- c) Krebse kommen oft zur Entwicklung, auch wenn die Schädigung schon lange nicht mehr einwirkt
- d) jeder Krebs hat sein spezifisches Organ oder Gewebe
- e) der Krebs tritt öfter multipel auf
- f) nicht alle Gefährdeten erkranken -Statistik-
- g) es handelt sich jeweils um einen bestimmten morphologischen Krebstyp
- h) man findet meist Carcinome, seltener Sarkome
- i) die Krebsentstehung ist experimentell reproduzierbar
- j) der Krebs ist nach Klärung der Ursache meist verhütbar.

Nach einer Zusammenstellung aus Nordrhein-Westfalen von 1963 waren damals 29 carcinogene Noxen bekannt, die in 106 Berufen, Betriebs- und Verwendungsarten zu Krebs führten, s. auch /Bönig, 1959/. Der Berufskrebs ist der Motor für die Ursachenforschung auf dem Krebsgebiet. Aus der Literatur entnimmt man auch die Vielfalt der in Frage kommenden schädlichen Chemikalien. Radioaktive Stoffe sind für manche Betriebe mit aufgezählt.

Neben den Berufskrebsen gibt es aber noch andere Arten der Krebsentstehung, z.B.

- Inkorporierung carcinogener Stoffe aus der privaten Umwelt
- Körpereigene Ursachen
- Krebsbegünstigung durch Lebensgewohnheiten sowie durch Fremdstoffe in Nahrungs- und Genußmitteln, wie z.B. Lippenkrebs bei Pfeifenrauchern oder Flachsspinnerinnen im Balkan.

Ein sehr wesentliches Organ für die Aufnahme potentiell cancerogener Schadstoffe ist die Lunge /Schlipköter, 1971/.

Faßt man chemische, physikalische und sonstige Krebsnoxen zusammen, so kommt man zu etwa 600 bekannten blastogenen Einwirkungen in der Umwelt des Menschen. Die Blastogenese beruht auf der Wechselwirkung zwischen dem leblosen Agens und dem lebendigen Organismus als Reagens.

Erste Übersichtsdarstellungen über den Mechanismus der Cancerogenese wurden 1902 von Borst erstellt. Die Cancerogenese kann in mehreren Stufen beschrieben werden /Bauer, 1963/.

1. Praecancer-Praeblastomatose

Hier handelt es sich um das Vorstadium der eigentlichen Krebsentstehung, also um möglicherweise reversible Effekte. Der Übergang von der Aktion eines Carcinogens zur malignen Reaktion des Organismus ist unverstanden.

2. Klinische Syn-Blastogenese bzw. Syn-Carcinogenese

a) Es kommt meist zum Zusammenwirken mehrerer schädigender Einflüsse.

Die Ursache eines Praecancer muß nicht unbedingt die Ursache des eigentlichen Krebses sein. Beispiele für synergistische Effekte finden sich insbesondere bei Einwirkungen auf die Lunge, s. z.B. /Einbrodt, 1976/. Ein typisches Beispiel für eine Kombination carcinogener Noxen ist der Schneeberger und Joachimsthaler Lungenkrebs:

1. Inhalation von Gesteinsstaub mit entsprechenden silikotischen Lungenveränderungen, dazu Lungentuberkulose
2. in der feuchten Grubenluft "chronisch rezidivierende Erkältungsbronchitiden" mit Epithelmetaplasien, Verlust von Flimmerepithel, Reizzustände, chronische Infekte
3. Arsengehalt des Staubes
4. 20 Jahre Inhalation von Radiumemanation

Typisch ist die Kombination verschiedener Co-carcinogene auch in komplexen Noxen wie Teer, Ruß, Pech oder Tabakrauch, die mehrere vielkernige Kohlenwasserstoffe enthalten. Untersucht wird auch die Kombination chemischer mit physikalischen Noxen und die Kombination mit Viren oder Hormonen.

b) Häufig ist auch die Kombination carcinogener Noxen mit nicht krebs-spezifischen Schädigungen. Z.B. sind bei bestehender Praecancerose iatrogene Schädigungen nahezu die Regel. Hier kommen Medikamente, Strahlen bei Diagnose und Therapie u.v.a. zusammen.

Syncarcinogenetisch wirken: Chron. Entzündungen,
Röntgenstrahlen,
Teer,
Phosphor,
Ruß,
Fremdkörper (z.B. Metallsplitter, Fischgräten)

4. Umweltchemikalien als Mutagene

Bei allen Überlegungen über die möglichen Gefahren bei der Anwendung von Umweltgiften müssen zuerst zwei wesentliche Fragen geklärt werden:

1. Was betrachtet man als ein Umweltmutagen?
2. Wie definiert man das Risiko?

Beide Fragen sind schwierig zu beantworten.

Als mutagen bezeichnet man eine Substanz, wenn sie in der Lage ist, mutagen auf menschliche (oder andere) Zellen (Keimzellen oder somatische Zellen) einzuwirken.

Eine Mutation ist nach de Vries eine abrupte Veränderung des Phänotyps /Magee, 1977/. Es findet dabei eine molekulare Veränderung innerhalb eines Gens statt oder auch eine Verdoppelung oder der Verlust eines oder mehrerer Gene.

Eine Mutation entspricht einer ungewöhnlichen, mehr oder weniger permanenten Veränderung des genetischen Materials oder seiner Primärstruktur - das läßt auf eine Veränderung der DNS schließen.

Zunächst beschäftigte man sich mit der Mutagenese nur aus wissenschaftlichem Interesse, heute steht die Sorge um eine Bedrohung des Menschen durch seine Umwelt im Vordergrund /Ehling, 1976/. Der vor ca. 30 Jahren noch übliche Satz, daß Mutagene für die Evolution "more helpful than harmful" seien, gilt heute nicht mehr uneingeschränkt.

Künstlich induzierte Mutationen wurden zuerst durch Röntgenstrahlen /Müller, 1927/ erzeugt. Nach ~20 Jahren Forschung (1920 - 1940) wurde das erste chemische Mutagen gefunden, das Senfgas /Auerbach, 1947/. Ein klarer Beweis für mutagene Einwirkung auf Keimzellen konnte aber bisher nur für die Radioaktivität erbracht werden. Koernicke erbrachte 1905 den ersten Nachweis für Chromosomenaberrationen, indem er zeigte, daß in Pollenzellen von Lilien nach der Bestrahlung durch Radium Chromosomenbrüche entstanden. Allerdings wurden die ersten Chromosomenaberrationen an menschlichen Zellen erst ungefähr 50 Jahre später beobachtet /Evans, 1977/.

Auch die Krebsentstehung kann man u.U. auf Mutagenese zurückführen /Neubert, 1977/. In Tumoren sind Chromosomenaberrationen häufig. Die meisten chemischen Carcinogene sind Mutagene, aber nicht alle Mutagene sind carcinogen oder toxisch. Chemische Carcinogene und Strahlung treten ebenfalls in Wechselwirkung mit der DNS.

Strahlenmutagenese ist bekannt, es bestehendeswegen große öffentliche Bedenken gegen die Kernenergie. Es wird aber auch durch die chemischen Mutagene ein genetischer Schaden befürchtet /Fishbein, 1970/. Es ist durchaus ein irreversibler Schaden durch die 10 000 oder mehr bekannten natürlichen oder synthetischen Chemikalien denkbar. Zudem werden laufend neue Agentien synthetisiert. Deswegen sind Methoden zur Entdeckung mutagener Eigenschaften erwünscht.

Als Testobjekte werden Mikroben und andere "submammalian" Spezies (Nicht-Säugetiere) verwendet. Die chemischen Agentien werden zunächst aufgrund ihrer chemischen Ähnlichkeit mit bekannten Mutagenen, Carcinogenen und anderen Giften ausgewählt. Am schwierigsten ist die Übertragung der experimentellen Ergebnisse auf den Menschen. Säugetierexperimente sind notwendig, um die Wechselwirkung mit einzelnen Organen und den Stoffwechsel der Mutagene angemessen studieren zu können. Zusätzlich sollten epidemiologische Studien im Hinblick auf Daten für die Einwirkung von Umweltmutagenen auf den Menschen versucht werden. Folgende Fragen sind bei der Mutagenitätsprüfung zu prüfen /Ehling, 1973; Vogel, 1974; Ehling, 1975/:

1. Wie kommt man zu einer Systematik bei der Auswahl der zu testenden Substanzen?
2. Welches sind adäquate Tests oder Testsysteme?
3. Können Chromosomenbrüche mit der Mutagenese korreliert werden, und kann man auf diese Weise die Bevölkerung überwachen, um schlimme Konsequenzen zu vermeiden?

Besondere Schwierigkeiten ergeben sich bei Agentien, deren Effekte selten und mit großen Schwankungen auftreten. Ein nicht sehr ernstgemeintes, aber gerade deswegen vielleicht lehrreiches Beispiel kann die Frage sein: Ist Kaffeetrinken schädlich?

Seit 200 Jahren werden als Folge dieser potentiell schädlichen Substanz keine Chromosomenschäden, geschweige denn phänotypische Veränderungen beobachtet. Es ist aber durchaus denkbar, daß verzögerte Effekte aus kleinsten Veränderungen zu Herzkrankheiten führen.

Mutagene Effekte ergeben sich auch aus natürlichen Phänomenen und Stoffwechselunterschieden bei den Menschen. Interessant, sehr wichtig, aber bisher kaum untersucht sind synergistische, potenzierende, commutagene und antagonistische Wechselwirkungen von mutagenen und nicht mutagenen Chemikalien und anderen Umwelteinflüssen, z.B. /Hotz, 1977/.

Bei Einwirken mehrerer potentiell schädlicher Substanzen, speziell bei beruflich Exponierten, sollte als Minimalforderung gelten:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{L_i} \leq 1$$

mit C_i = Konzentration eines Schadstoffs i
 L_i = Grenzwert des betreffenden Schadstoffs i
 n = Zahl der einwirkenden Schadstoffe

Bei einer solchen rein additiven Betrachtungsweise sind Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Schadstoffen nicht berücksichtigt, dazu müßten ggf. Gewichtungsfaktoren eingefügt werden.

Das oben zitierte Buch /Fishbein, 1970/ gibt im zweiten Teil über chemische Mutagene sorgfältige chemische Ausführungen zu den verschiedenen Gruppen von Schadstoffen, eine Übersichtstabelle und umfassende Literaturzitate.

Tab. 4.1 gibt Informationen über Formen der Mutagenese, die bei Einwirkung von Metallsalzen auf verschiedene Spezies beobachtet wurden /Fishbein, 1970; Shaw, 1970/.

Metall	Salz	Punkt-Mutationen	Chromosomen - Aberrationen	
		Mikroorganismen	Pflanzen	Säugetiere
Aluminium	Chlorid		+	
Arsen	Arsenat			+
Cadmium	Nitrat		+	
Calcium-Mangel				+
Eisen	Chlorid	+		
Blei	Acetat			+
Magnesium-Mangel				+
Mangan	Acetat	+		
Mangan	Chlorid	+		
Quecksilber	Methyl		+	+
Quecksilber	Methoxyethyl		+	
Quecksilber	Phenyl-Hydroxid		+	
Kalium-Überschuß		+		

Tab. 4.1: Mutagenese durch Metallsalze

5. Einzelne Schadstoffe (vor allem Schwermetalle) und ihre Wirkungen

Wie schon erwähnt, gibt es in unserer Umwelt eine Vielzahl von Schadstoffen, die auf den Menschen einwirken. Obwohl der Schaden immer an der DNS - also vom Einzeller bis zum Menschen ähnlich - ansetzt, reichen tierexperimentelle Ergebnisse oft nicht aus, um Aussagen für den Menschen zu machen und gegen anders gerichtete, z.B. wirtschaftliche Interessen anzukommen und die Anwendung potentiell gefährlicher Substanzen zu verhindern. In jedem solcher Fälle sollte deswegen die toxische Wirkung auf den Menschen sofort sorgfältig untersucht werden. Der Einfluß von Spurenelementen auf den menschlichen Organismus kann in vier Bereiche aufgeteilt werden, s. Abb. 5.1, /Harrison, 1973/:

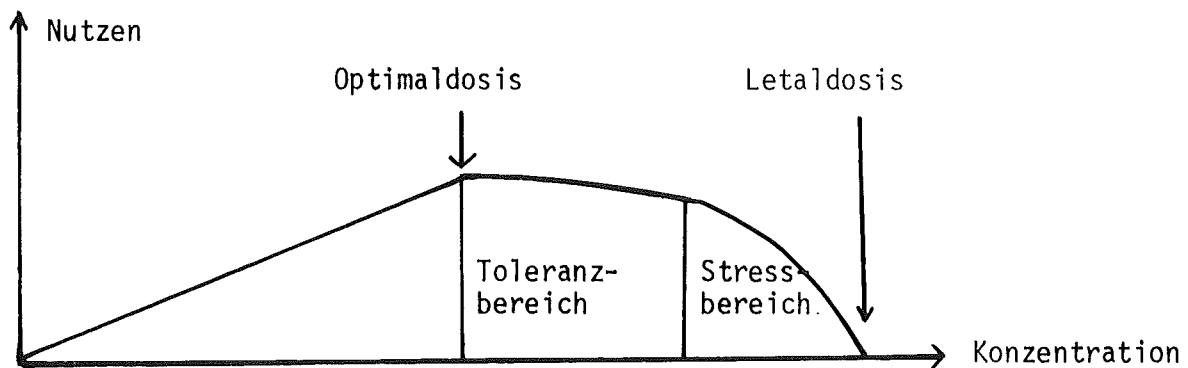


Abb. 5.1 Zusammenhang zwischen Konzentration und Nutzen von Spurenelementen im menschlichen Organismus.

Man sieht, daß die biologische Funktion empfindlich von der ausgewogenen Zufuhr solcher Elemente abhängt. Bei manchen Elementen sind die Toleranzgrenzen so weit, daß es schwierig wäre, dem Organismus eine schädliche Dosis überhaupt zuzuführen. Für den Menschen sind folgende Metalle lebensnotwendig: Eisen, Kupfer, Mangan, Vanadium, Nickel, Kobalt, und Zink. Andere Elemente wie Cadmium, Blei, Quecksilber, Thallium und Beryllium sind schon bei geringen oder mäßigen Konzentrationen toxisch. Manche von diesen haben lange Akkumulationszeiten und wirken nur auf bestimmte Zellen des Organismus, was die Diagnose solcher Vergiftungen ziemlich

schwierig macht. Hinzu kommen analytische Probleme. Besonders interessant ist die Wechselwirkung von Schwermetallelementen mit dem Enzymsystem, dazu sind in den letzten Jahren zahlreiche Untersuchungen vorgenommen worden.

Wennman von Spurenelementen spricht, bezieht sich diese Bezeichnung auf die Häufigkeit des Vorkommens im Vergleich zu anderen Elementen /Woolfrich, 1973/. Tab. 5.1 gibt einen Überblick über den jährlichen Verbrauch von 10 ausgewählten Metallen in den USA für das Jahr 1969. Die Zahlen bewegen sich im Bereich von $6 \cdot 10^2$ t (Selen) bis zu $2,2 \cdot 10^6$ t (Kupfer) /US, 1969/. Um die Verbreitung der einzelnen Metalle in der Umgebung genauer zu verstehen, sind Kenntnisse über ihre Verwendung erforderlich. Tab. 5.2 gibt eine Übersicht der häufigsten Verwendungsarten für 22 Metalle. Gerade die Verwendung der toxischen Elemente wie Thallium, Selen und Arsen ist nicht so bekannt wie die der verbreiteteren. /Mc Kee, 1971/.

Tab. 5.1 Verbrauch von Metallen in den USA (in 1 000 pounds)

Metall	Verbrauch
Arsen	51,334
Cadmium	13,328
Chrom	2,632
Kupfer	4,194,000
Quecksilber	5,732
Blei	2,657,580
Zink	2,667,398
Nickel	318,612
Beryllium	17,438
Selen	1,216

Metall	Verwendungsart
Antimon	Legierungen, metallurgische Prozesse
Arsen	in der Metallurgie als Härtemittel und zur Verbesserung der Wärmebeständigkeit; in Gerbereien, in Glas, Keramik, Farbstoffen, Pestiziden und Holzkonservierungsmitteln
Barium	Legierungen, Farben
Blei	Rohre, Wasserbehälter, Farben
Cadmium	legiert mit Kupfer, Blei, Silber, Aluminium, Nickel; beim Galvanisieren, in der Fototechnik und in Kernreaktoren; in Farben und Keramik
Cer	Textilfarbstoffe, Druckerei, Bogenlampen und Neonröhren
Chrom	Plattierung, Ledergerberei, Fototechnik, Sprengstoff, Keramik, Farben
Kupfer	Legierungen; Elektrogeräte, Rohre, Dächer; Textilprozesse, Färberei, Gerberei, Fotografie, Galvanisation; Insektizide, Fungizide
Magnesium	Leichtmetall-Legierungen, elektrische und optische Geräte
Mangan	Stahl-Legierungen, Trockenzellbatterien, Glas und Keramik, Farben und Lacke, Tinte, Streichhölzer, Düngemittel
Molybdän	Metallurgie; elektrische und elektronische Geräte, Glas- und Keramikindustrie, Düngemittel für Gemüse
Nickel	Plattierung
Palladium	Fotografie, Farblösungen, beim Galvanisieren
Quecksilber	Zahnmedizin, wissenschaftliche und elektrische Geräte, Chloralkali-Industrie, medizinische Erzeugnisse, Zündstoffe, Farben, fotomechanische Wiedergabe
Selen	Farben, Glas, Gleichrichter, Halbleiter, fotoelektrische Zellen und andere elektrische Geräte
Silber	Schmuck, Silbergeräte, Legierungen, beim Galvanisieren, Nahrungsmittelindustrie, Fotografie
Strontium	Blinklichter, Leuchtsignale, Feuerwerkskörper, Streichhölzer
Thallium	Rattengift, Farbstoffe, Optische Gläser, Enthaarungsmittel
Thorium	Glühbirnen, Glühfäden
Vanadium	in der Metallurgie, um Härte und Formbarkeit von Stählen zu verbessern, Glasfabrikation, Fototechnik
Zink	Galvanisieren von Rohren, elektrische Verfahren, Druckplatten, Farbstoffherstellung, Pharmazie
Zinn	Ätzmittel, Beizmittel, Farben, Nagellack, Farblack, Fungizide, Insektizide, Wurmmittel

Tab. 5.2 Üblicher Gebrauch von ausgewählten Metallen

Von den bekannten giftigen Schwermetallen sind Pb, Cd und Hg relativ zu ihrer Toxizität in der höchsten Konzentration im menschlichen Körper vorhanden, s. Tab. 5.3 und /Schroeder, 1971/.

Tab. 5.3 Konzentration ungewöhnlicher Schwermetalle im menschlichen Körper

Metall	Tägliche Aufnahme mg	Ungefährer Gehalt im menschlichen Körper			Bemerkungen
		mg	µg/g	µmol/g×10 ³	
Cadmium	0.22	50	0.7	6.2	28% in Nieren und Leber
Blei	0.45	120	1.7	8.2	92% im Knochen. Wirkung auf das Gehirn wichtig.
Quecksilber	0.02	13	0.2	1	69% in Fett- und Muskelgewebe. Wirkung auf das Gehirn wichtig.
Beryllium	0.013	0.03	4×10 ⁻⁴	0.04	75% im Knochen. Toxische Wirkung auch auf die Lunge.
Arsen	1.0	~18	~0.3	~4	

Es ist zu beachten, daß die chemische Form in Nahrung und Körper nicht näher bezeichnet ist.

Tab. 5.4 gibt eine Übersicht über die Größenordnung der tödlichen wirkenden Dosis einiger metallischer Gifte /Dreisbach, 1971; Löfroth, 1970; Pierce, 1972/.

Tab. 5.4 Größenordnung der tödlich wirkenden Dosis einiger metallischer Gifte

Metall	Ungefähre Gesamtdosis (mg)
Antimon (als dreiwertiges anorganisches Salz)	100-200
Arsen-Trioxid	120
Arsen (in organischen Verbindungen)	7,000-35,000
Cadmium-Verbindungen	>10
Chrom als Chromat	5,000
Blei-Verbindungen (absorbiert)	>500
Quecksilber-Salze (einschließlich Diuretica)	1,000
Quecksilber (organische Verbindungen)	3,000-5,000
Quecksilber (Diethyl und Dimethyl)	100
Quecksilber (Monomethyl) (2-4 mg/d)	200-400

Es sei hier auch noch einmal auf die in Tab. 4.1 aufgeführten mutagenen Wirkungen verschiedener Schwermetalle hingewiesen. Viele der aufgeführten Metalle werden als Massenmaterial verwendet und bleiben darin gebunden, andere sind relativ leicht zugänglich und verbreiten sich in der Umwelt. Letztere stellen dann ein Problem für den Umweltschutz dar.

/Bönig, 1959/ gibt eine Übersicht über in Betrieben der Bundesrepublik vorkommende cancerogenen Substanzen, die Art der Betriebe, den Sitz der entstehenden Geschwulst und weitere Hinweise. Eine Überprüfung der Gewerbebetriebe im Raum Chicago im Jahre 1968 ergab, daß die meisten Arbeiter potentiell schädlichen Konzentrationen organischer und anorganischer Chemikalien ausgesetzt waren. 2/3 der Betriebe waren unzureichend kontrolliert, d.h. Tausende von Arbeitern waren z.B. Blei und Metalldämpfen in unzumutbaren Konzentrationen ausgesetzt. Für solche Unzulänglichkeiten werden folgende Gründe angegeben:

In der Arbeitsmedizin gibt es zu wenige spezifisch ausgebildete Ärzte, diese wissen zu wenig über die realen Arbeitsbedingungen, die Arbeiter selbst wissen praktisch nichts über die Gefahren, denen sie möglicherweise ausgesetzt sind. In der Industrie herrschen Gesichtspunkte der Rentabilität vor. Dabei werden vor allem Kurzzeiteffekte berücksichtigt, sodaß insbesondere erst später erkennbare biologische Effekte nicht erkannt werden können. Besonders in kleinen Betrieben ist die Situation schlecht. Es fehlt oft auch an Monitorsystemen für Schadstoffe.

Im Unterschied zu den Verhältnissen im beruflichen Bereich müssen Bevölkerungs-dosen auf die empfindlichsten Gruppen zugeschnitten werden (Foeten, sehr Alte). Kinder müssen außerdem wegen der höheren Lebenserwartung sorgfältiger behandelt werden. Dem wird üblicherweise durch einen Sicherheitsfaktor von 1/10 bis 1/100 gegenüber der erlaubten beruflichen Belastung Rechnung getragen. /Epstein, 1976/. Gerade Luftverunreinigungen wirken sich auf die gesamte Bevölkerung aus und stehen deswegen im Zentrum des Interesses /Antweiler, 1975/, Autoabgase spielen dabei heute eine wichtige Rolle /Weaver, 1971/ vgl. auch Abschnitt 6.

Ein Vergleich der Belastung durch chemische Schadstoffe mit einer möglichen Strahlenbelastung ist besonders für die Entscheidung über die Art der Kraftwerke zur Stromerzeugung relevant /Ransch, 1973; Brocke, 1973; Guderian, 1973; Einbrodt, 1973; Heit, 1977/.

Die Arbeit von Heit enthält eine Übersicht über die Wirkungen von Spurenelementen auf Menschen und Säugetiere, s. Tab. 5.5.

Element	Konzentration im menschlichen Körper (mg/70 kg)	tägliche Aufnahme mit der Nahrung (ng)	kritische Organe	vermutete oder bekannte Krebsentstehung durch Inhalation oder Ingestion	andere toxische Effekte auf den Menschen	wichtig für Stoffwechsel	Wirkung auf die Fortpflanzungsfähigkeit von Säugetieren	LD ₅₀ für Säugetiere
Ag	<1	-	Haut	-	Argyrie	-	-	0,008 g/kg(Kaninchen)
As	<100	0,7	Atemtrakt, Magendarmtrakt, Zentralnervensystem, Leber, Haut, Blut, endokrine Drüsen	Krebs an Mund, Speiseröhre, Kehlkopf, Blase	Vergiftung im Phosphorylierungssystem	-	kleinere Würfe, Abnormitäten	0,07 g/kg(Ratte)
B	<10	0,01-0,02	Magendarmtrakt	-	-	-	-	-
Ba	16	16	Magendarmtrakt, Atemtrakt, Zentralnervensystem, Herzkreislaufsystem, Haut	-	hochgiftig bei Einnahme	-	-	0,07 g/kg(Maus)
Be	-	-	Atemtrakt, Haut, Knochen	Krebs in Lunge und Knochen möglich	Hautschäden	-	-	0,0005 g/kg(Maus)
Cd	30	0,016-0,20	Magendarmtrakt, Atemtrakt, Zentralnervensystem, Herzkreislaufsystem, Leber, Haut, Nieren	Lungencarcinome	Bluthochdruck, Lungenemphysem, Nierenschäden	-	Zwergwuchs, Fehlen von Nachkommen	0,027 g/kg(Maus)
Co	1	0,3	Magendarmtrakt, Atemtrakt, Zentralnervensystem, Herzkreislaufsystem, Haut, endokrine Drüsen	-	-	-	-	0,5 g/kg(Ratte)
Cr	<6	0,06	Atemtrakt	Krebs des Atemtrakts (Cr ^{VI})	Emphyseme, Lungenentzündung	(Cr ⁺³)	-	0,18 g/kg(Ratte)
Cu	100	3,2	Magendarmtrakt, Blut	-	-	+	-	0,05 g/kg(Maus)
Fe	4100	15	Magendarmtrakt, Atemtrakt, Zentralnervensystem, Herzkreislaufsystem, Blut, endokrine Drüsen	-	-	+	-	0,9 g/kg(Ratte)
Ga	-	-	Nieren, Leber, Muskeln	Zusammenhang mit Tumorbildung	Nervengift, Nierenschäden	-	-	0,05 g/kg(Ratte)
Ge	Spuren	1,5	Magendarmtrakt, Atemtrakt, Herzkreislaufsystem	-	-	-	-	-
Hg	Spuren	0,02	Atemtrakt, Zentralnervensystem, Herzkreislaufsystem, Leber, Nieren	-	Gift für das Zentralnervensystem	-	Störungen von Nerven, Muskeln und Zentralnervensystem	0,027 g/kg(Maus)
In	-	-	Nieren	-	-	-	-	0,003 g/kg(Ratte)
Mn	20	5	Atemtrakt, Zentralnervensystem, Nieren	-	beeinträchtigt + Zentralnervensystem	-	-	0,21 g/kg(Maus)
Mo	9	0,35	Leber, Blut, Nieren, Knochen	-	-	+	vorzeitiger Tod	0,19 g/kg(Ratte)
Ni	<10	0,45	Atemtrakt, Zentralnervensystem, Haut	verschiedene Krebsformen wegen Nickel-Carbonyl	Atemprobleme, Hautschäden	-	vorzeitiger Tod, Zwergwuchs	0,8 g/kg(Hund)
Pb	120	0,3	Magendarmtrakt, Zentralnervensystem, Blut, Nieren	-	Blut- und Nierengift	-	Fehlen von Nachkommen	0,15 g/kg(Ratte)
Rb	1200	10	-	-	Störung der Zellmembranen	-	-	1,21 g/kg(Maus)
Sb	<90	-	Magendarmtrakt, Atemtrakt, Herzkreislaufsystem, Leber, Haut	-	beteiligt an Herzkrankheiten	-	-	0,6 g/kg(Maus)
Sc	-	-	-	-	-	-	-	4,0 g/kg(Maus)
Se	15	0,06-0,15	Magendarmtrakt, Zentralnervensystem, Leber, Haut	Leberkrebs	Degeneration der Leber und Nieren, Lungenentzündung	+	Mißbildungen, vorzeitiger Tod, Zwergwuchs	0,003 g/kg(Ratte)
Sn	30	17	Magendarmtrakt, Zentralnervensystem	-	-	-	-	0,16 g/kg(Hund)
Sr	140	2	Zentralnervensystem, Zähne, Knochen	-	-	+	-	0,4 g/kg(Maus)
Te	-	0,6	Zentralnervensystem, Leber, Nieren	-	Degeneration von Nieren und Leber	-	Wasserkopf	0,002 g/kg(Ratte)
Tl	-	-	Magendarmtrakt, Atemtrakt, Zentralnervensystem, Leber, Nieren, Blut, Knochen	-	Kumulatives Gift für das Blut	-	-	0,026 g/kg(Ratte)
U	0,02	-	Nieren	-	Nierenkrankheiten	-	-	-
V	30	2,3	Atemtrakt, Zentralnervensystem, Haut, Nieren	-	-	+	-	0,2 g/kg(Kaninchen)
W	-	-	Knochen	-	-	-	-	0,24 g/kg(Ratte)
Zn	2300	12	Magendarmtrakt, Haut, Knochen	-	-	+	leichte Mißbildungen, häufiger Wasserkopf	2,0 g/kg(Kaninchen)

Tab. 5.5 Übersicht über die Wirkung von Spurenmetallen auf Menschen und Säugetiere

Im Folgenden sei kurz ein anderer Bereich toxischer Einwirkungen auf den Menschen gestreift, nämlich die Kette Pestizid - Nahrungsmittel - Mensch. Eine Reihe von Definitionen der Weltgesundheits- und Welternährungsorganisationen ist im Glossar im Anhang aufgenommen. Die in diesem Bereich üblichen sogenannten "Toleranzwerte" haben nichts mit noch tolerierbaren Werten zu tun, sondern werden gesetzlich festgelegt. Bei der Festsetzung von "acceptable daily intake"-Werten (adi) wird z.B. ein "no-effect-level" im sensitivsten Tier bestimmt, dann wird durch einen Sicherheitsfaktor (meist 100) dividiert. Auch in diesem Bereich kennt man den Effekt der Potenzierung der Wirkung bei gleichzeitiger Aufnahme mehrerer Schadstoffe, hierbei ist eine Verstärkung der Wirkung eines einzelnen Agens um den Faktor 10 denkbar. Besonderes Augenmerk verdient auch die biologische Anreicherung von Pestiziden.

Während in Abschnitt 6 ausführlich auf das Blei als einen Prototyp eines luftgetragenen chemischen Schadstoffs eingegangen wird, werden im Folgenden einige andere bekannte Schadstoffe und ihre hervorstechendsten Eigenschaften andeutungsweise beschrieben /Feldstein, 1969/. Die hauptsächlichsten Quellen von Luftverunreinigungen sind in Tab. 5.6 zusammengefaßt:

Tab. 5.6 Quellen der Luftverunreinigung

Quelle	Hauptsächlichste Verunreinigungen
Auto-Abgase	NO, NO ₂ Organische Verbindungen CO Partikuläre Luftverunreinigung
Verbrennung von Kohle, Öl und Erdgas	NO, NO ₂ SO ₂ CO Partikuläre Luftverunreinigung, vielkernige Kohlenwasserstoffe
Veraschung	Organische Verbindungen CO Partikuläre Luftverunreinigung, vielkernige Kohlenwasserstoffe
Industrielle Verfahren:	
Gebrauch von Lösungsmitteln	Organische Verbindungen
Raffinerien	SO ₂ Partikuläre Luftverunreinigung Organische Verbindungen
Chemikalien, Metalle, Zement, usw.	Partikuläre Luftverunreinigung

/Corn, 1971/ stellt einen Vergleich der Belastung des Atemtrakts durch Schadstoffe aus privater, arbeitsplatzspezifischer und städtischer Umwelt an, s. auch Abschn. 7.

Für die Einschätzung möglicher Gefahren in der Umwelt sind folgende Parameter wichtig:

- a) Quellen
- b) physikalische und biologische Transfer-Prozesse
- c) analytische Methoden, um das Element und seine Verbindungen zu bestimmen
- d) tatsächliche Konzentrationen in der Umwelt, in lebenden Organismen und im Menschen
- e) Toxikologie des Elements in Tieren und Menschen

Manche Details sind hier beispielhaft aufgeführt, weil sich so zeigen läßt, wie sich allmählich das komplexe Bild ergibt, das wir aus den entsprechenden Untersuchungen in der Strahlenbiologie kennen. Für eine genaue Beschreibung einzelner Schadstoffe sei auf /Windholz, 1977/ verwiesen.

Quecksilber-Hg

Hg ist seit Aristoteles (350 v. Chr.) bekannt. Sein hoher Dampfdruck führt zu hoher Flüchtigkeit (diese ist z.B. vielfach höher als bei DDT), es bildet Amalgame mit Kupfer, Zink, Blei und Gold. Sehr weitverbreitet sind vor allem mineralische Formen des Vorkommens, vorwiegend als Zinnober (HgS), Hg kommt aber auch elementar in der Natur vor. Es findet sich auch in allen lebenden Geweben. In Jugoslawien wird Hg seit mehr als 300 Jahren in Bergwerken abgebaut. Quecksilberchlorid war eines der ersten antiseptischen Mittel. Die Weltproduktion beträgt heute etwa 8 000 t/a. 200 t/a werden bei der Verbrennung von Mineralölprodukten frei.

Hg wird benutzt in: Thermometern, Barometern, als chemischer Katalysator, in elektrischen Batterien, Schaltern, Gleichrichtern, in der Chlor-Alkali-Industrie, als Schiffsfarbenbestandteil, in der Papierherstellung, in der Pharmazie und Medizin und vor allem in der zahnärztlichen Praxis - sodaß Zahnärzte eine besonders gefährdete Personengruppe im Hinblick auf Hg-Vergiftungen sind. Nicht unerheblich ist auch der Gebrauch von Hg-Verbindungen in der Landwirtschaft. Fungizide werden seit mehr als 50 Jahren benutzt. Es ergeben sich insbesondere Probleme mit Alkylverbindungen, vor allem mit Methylquecksilber. Dessen biologische Wirksamkeit im menschlichen Organismus ist nämlich stark verschieden von der anorganischer Quecksilberverbindungen, es ist stabiler und giftiger als diese. Die biologischen Halbwertszeiten sind 75 Tage für Methylquecksilber und 42 Tage für an-

organische Verbindungen. Dies ist ein Beispiel dafür, daß die chemische Form eines Elements ausserordentlich wichtig für seine Toxizität sein kann. Der Mensch kann Hg durch die Lungen, die Haut oder den Magen aufnehmen. Insbesondere Hg-Dämpfe sind sehr giftig. Bekannt sind Quecksilberausschläge (Erythrodermien), Enteritis und Nephritis als Folge von Hg-Inkorporationen. Akute Hg-Vergiftungen äußern sich zunächst durch Erbrechen und Durchfall. Chronische Beschwerden zeigen sich im Mund (Zahnfleischbluten), Magen, Darm, als Katarrh

Hg behindert die Photosynthese.

Hg-Unfälle

Großes Aufsehen erregten insbesondere einige Fälle von Hg-Vergiftungen, die sich an den "Katzen von Minamata", Vögeln in Schweden und Schweinen in New Mexico zeigten. In Nahrungsketten gibt es Anreicherungsfaktoren bis zu 1 000, z.B. bei Thunfisch /Hammond, 1971/.

In Minamata und Nigata (Japan) waren die Vergiftungen auf den Genuß von Fischen und Schalentieren zurückzuführen. In Minamata wurden 1952 397 Menschen vergiftet, 68 davon starben, in 22 Fällen waren auch Foeten vergiftet worden. Ähnlich fanden sich in Nigata 330 Fälle von Vergiftungen, unter diesen 13 Todesfälle.

Vor allem die Behandlung von Reispflanzen in Japan führte zu einer dreifachen Erhöhung der Hg-Konzentration in der japanischen Bevölkerung im Vergleich zu anderen Völkern. Auch die schon oben erwähnte Vergiftung von Schweinen in New Mexico entstand durch mit Quecksilber behandeltes Saatgetreide, das dann fälschlich verfüttert wurde. Noch schlimmer waren die Fälle im Irak, wo es in den Jahren 1956 und 1972 zu mehreren hundert Todesfällen durch den Verzehr von behandeltem Saatgetreide kam. Ähnliches geschah auch in Westpakistan und Guatemala sowie in Schweden, Japan und den USA (ob solche todbringende "Schlamperei" aus Unkenntnis oder aus Not herührte, ist dann letztlich unerheblich). Versuche mit der Verfütterung solchen Saatguts an Hühner ergaben sehr lange Latenzzeiten. Heute ist der Gebrauch dieser Hg-Verbindungen in vielen Ländern verboten. Hg ist also ein typisches Beispiel eines Umweltgiftes, das ein natürlicher Bestandteil der Umwelt ist und erst dann giftig wirkt, wenn es durch menschliche Aktivitäten konzentriert, in seiner chemischen Verbindung verändert oder an bestimmte neue Stellen gebracht wird.

Weitere Literatur zu Hg:

/Clarkson, 1972; Magos, 1975; MAC of Hg-Compounds, 1969; Friberg, 1972; IAEA, 1972/

Cadmium - Cd

Der spektakulärste Fall von Cd-Vergiftungen war das Auftreten der sogenannten Itai-Itai-(Aua-Aua)-Krankheit in Japan, wo Reis mit Cd-haltigem Wasser aus einer "mining and smelting company" bewässert wurde. Unter den 265 Betroffenen kam es zu 47 Todesfällen. In diesem Fall läßt sich nicht ausschließen, daß andere Faktoren in den Lebensumständen der Betroffenen den Schaden vergrößert haben. Cd ist eines der Schwermetalle, für das systematisch untersucht wurde, mit welchen Methoden man es aus dem menschlichen Körper entfernen kann /Catsch, 1964/. Allerdings sind solche Versuche mit Vorsicht zu beurteilen, weil es wie schon gesagt auch hier Verschiebungen in andere Körpergewebe, andere chemische Verbindungen usw. geben kann.

Bemerkenswert ist ein Untersuchungsergebnis, nach dem sich im Ganzkörper von Rauchern im Alter von 60 Jahren 30-40 mg Cd fanden, bei Nichtrauchern dagegen nur 13 mg. Damit gehört Cd auch zu den chemischen Noxen, die durch das Rauchen auf den Menschen einwirken.

Weitere Literatur: /Fleischer, 1974; Itokawa, 1973; Yoshiki, 1975/.

Arsen - As

Der Arsenkrebs hat heute zwar keine große praktische Bedeutung mehr, aber eine umso größere krebstheoretische /Bauer, 1963/. Er ist seit 1820 als Berufskrebs bekannt. Die Bereiche, in denen As verwendet wurde, sind in Abschnitt 3 genannt. Besonders AsH_3 , das sich durch seinen knoblauchartigen Geruch auszeichnet, und As_2O_3 (Arsenik) sind sehr stark giftig. Schon weniger als 0,1 g Arsenik wirken vom Magen aus tödlich. Arsen wirkt als "unerwünschtes Spurenelement" z.B. in Blut, Leber, Milz und Schilddrüse. Arsen wurde seit dem 17. Jahrhundert auch als Medikament gegen Fieber, Malaria, in der Hautmedizin u.a.m. verwendet. Medikamentöser Arsenkrebs ist seit 1896 bekannt. Auch über Trinkwasser und Nahrungsmittel wurde

mancherorts soviel Arsen aufgenommen, daß es zu Erkrankungen kam. So wurde 1937 die "Reichensteiner Krankheit" als Folge der Aufnahme von Wasser mit 15 mgAs/l erkannt. In der Nähe von Erzhütten fand das US National Cancer Institute in einer 20-Jahres-Studie eine Erhöhung der Lungenkrebssterblichkeitsrate um 16 % gegenüber der Normalbevölkerung /Blot, 1975/. Arsen ist wahrscheinlich die Ursache für die anormal hohe Krebshäufigkeit in einigen Regionen Chinas und Argentiniens, wo das Wasser natürlicherweise auch eine relativ hohe Arsenkonzentration aufweist, s. /Jacobi, 1974/. Anzeichen für As-Vergiftungen sind entzündliche Geschwulstbildungen der Mundhöhle, Melanome und Hyperkeratosen der Hände und Füße und Arsenwarzen. As hat eine besondere Affinität zu Haut, Schweißdrüsen, Nägeln und Haaren. Daneben finden sich Zirrhose der Leber, Lebersarkome, Schäden des Respirationstraktes und Bronchialkarzinome. Wiederum finden sich sehr lange Latenzzeiten in der Größenordnung von 20 Jahren. Eine Übersichtsdarstellung der Einwirkung verschiedener As-Verbindungen auf den Menschen findet sich in /Savory, 1977/.

Beryllium - Be

0,1 $\mu\text{gBe}/\text{m}^3$ kann Berylliosis erzeugen. Der Grenzwert für beruflich Exponierte ist seit 1955 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Es könnte sein, daß dieser Wert nur aus folgenden Gründen sicher erscheint:

lange Latenzperiode,
 nicht angemessene Beobachtungszeit,
 fehlerhafte Berichterstattung oder Aufzeichnungen (reporting),
 nicht sachgemäße epidemiologische Untersuchungen.

Andere bekannte giftige Elemente sind:

Fluor, das in Form der Fluorkieselsäure ($\text{H}_2(\text{Si F}_6)$) und ihrer Salze als Mittel gegen Bakterien und Insekten angewandt wird,

Kupfer, das in löslichen Verbindungen für den Menschen zwar nur mäßig giftig, für niedere Organismen aber ein heftiges Gift ist - ein gutes Beispiel für die Schwierigkeit der Übertragung von Ergebnissen von einem auf einen anderen Organismus,

Nickel, das Nasen- und Lungenkrebs hervorrufen kann,

Phosphor, das zu so verschiedenen Krankheiten wie Gastroenteritis, Leberatrophie und Kiefernekrose führen kann,

Thallium, das sich bei Vergiftungen durch vollständigen Haarausfall zu erkennen gibt u.v.a.m..

Ein sehr brauchbares Nachschlagewerk zu den einzelnen, vor allem den in der Industrie vorkommenden Schadstoffen ist/Plunkett, 1976/.

6. Blei als Beispiel eines chemischen Schadstoffs in der Umwelt

Blei steht bei der Untersuchung von Schwermetallen gegenüber anderen Spurenelementen im Vordergrund, weil es weit verbreitet ist, insbesondere in dicht besiedelten Gebieten konzentriert ist, keinem biologisch sinnvollen Zweck dient und bei Aufnahme großer Mengen zu Todesfällen geführt hat.

Ebenso wie bei anderen Spurenelementen ist beim Blei unvorsichtige Verwendung und Verbreitung ein ernsthaftes Umweltproblem. Für alle diese Elemente ist es wichtig, die natürlichen und künstlichen Vorkommen, die Umgebungskonzentrationen, den Transport, Fallout und Rainout in der Biosphäre zu kennen. Vor allem aber interessieren die biologischen Effekte.

Ähnlich wie bei manchen Radionukliden besteht auch beim Blei die Gefahr, daß es in einem ökologischen Pfad angereichert wird.

Auch über möglicherweise schädliche chemische Verbindungen von Blei weiß man (noch zu) wenig.

Vorkommen

Tab. 6.1 gibt eine Übersicht über das natürliche Vorkommen von Blei /Fleishcher,1973/.

Tab. 6.1 Bleikonzentrationen in verschiedenen natürlich vorkommenden Materialien [ppm]

Art des Materials	Üblicher Bereich	Mittelwert
Erdrinde	---	15
Basaltgestein	2-18	6
Kieselgestein	6-30	18
Tonschiefer und Lehm	16-50	20
Schwarzer Schiefer	7-150	30
Tiefseelehm	---	80
Kalkstein	---	9
Sandstein	1-31	
Böden	1-150	15
Phosphorite	10-100	10
Kohlen	2-50	15

Dabei ist zu beachten, daß das Blei aus der Tiefsee, wo es in der höchsten Konzentration vorkommt, kaum an die Oberfläche gelangt. Dagegen bilden sich aus Boden- und Kohlebestandteilen Aerosole, die durch Wind und Verbrennung in die Umwelt gelangen. Messungen im Süden des Michigan-Sees ergaben Bleikonzentrationen zwischen 100 und 7 000 ng Blei/m³ Luft.

Verwendung

Wegen seiner guten mechanischen Eigenschaften und seines niedrigen Schmelzpunktes hat man Blei seit Jahrhunderten für Gefäße, Rohrleitungen und zur Verzierung benutzt. Auch in der Medizin wurde es verwendet; in der Alchimie stand allerdings das Quecksilber im Vordergrund, wenn auch manche versucht haben, aus Blei Gold zu machen. In der Neuzeit fand Blei bei der Abschirmung elektrischer Kabel und Leitungen und vor allem als Bestandteil von Farben Verwendung. Vor allem Bleiweiß ($\text{Pb}(\text{OH})_2 \cdot 2 \text{PbCO}_3$) und Chromgelb (PbCrO_4) sind als giftige Farben bekannt. Besonders als Außenanstrich erwiesen sich solche Farben als sehr beständig, Blei erneuert sich sozusagen selbst durch Bildung von Oxid und wirkt abweisend gegen Pilzbefall. Manche solcher Anstriche enthielten mehr als 50 % Blei, sie sind nicht ungefährlich, wenn z.B. Kinder damit in Berührung kommen und u.U. auch Teile inkorporieren. Seit 1940 wird Blei als Antiklopfmittel verwendet. Diese Benzinzusätze sind die Hauptquellen für atmosphärisches Blei. Gegen den Ersatz von Blei zu diesem Zweck wurde vor allem eingewendet, daß Benzin ohne Blei teurer wäre und der Zusatz aromatischer Kohlenwasserstoffverbindungen möglicherweise größere gesundheitliche Schäden hervorruft.

Besonders auf der nördlichen Erdhalbkugel finden sich Blei-Aerosole praktisch überall, z.B. auch in abgelegenen Gebieten Grönlands; ebenso läßt sich der zunehmende technische Einsatz von Blei aus dem Pb_2 -Gehalt der Eisschichten in der Arktis und Antarktis rekonstruieren. Die Bleikonzentrationen variieren zwischen 0,5 ng Pb/kg Eis für das Jahr 800 v. Christus und 0,2 µg/kg Eis für das Jahr 1965. Von 1940 bis 1970 sind die Werte um etwa einen Faktor 4 gestiegen /NAS, 1972/.

Der Verbrauch von Blei nimmt immer noch zu.

Die Hälfte des verwendeten Bleis wird allerdings rezykliert - nämlich der Teil, der in Batterien und als Drucklettern verwendet wird.

In Tab. 6.2 ist die industrielle Verwendung von Blei für die USA und die Jahre 1966 - 1969 aufgeschlüsselt.

Tab. 6.2 Industrieller Bleiverbrauch in den USA [sh-tn]*

	1966	1967	1968	1969
Batterien	472,492	466,665	513,703	558,121
Raffinerien, Benzin	246,879	247,170	261,897	271,128
Farbstoffe	119,888	103,190	109,734	101,886
Lötzinn	78,898	68,883	74,074	65,126
Munition	78,435	78,766	82,193	77,805
Kabel	66,491	63,037	53,456	54,078
Dichtungen	63,250	48,789	49,718	41,888
Drucklettern	30,421	28,554	27,981	26,469
Summe der bekannten Verwendungsarten	1,156,754	1,105,004	1,172,756	1,196,501
zusätzliche Verwendungsarten	167,123	155,512	156,034	178,699
Total	1,323,877	1,260,516	1,328,790	1,375,200

*1 sh-tn = 0,907 t

Einige Bereiche der Umwelt sind durch Blei besonders stark kontaminiert, nämlich Gebäude mit bleihaltigem Anstrich und Gebiete in der Nähe von verkehrsreichen Straßen. Bei einer Studie über den Bleigehalt von Autoabgasen ergaben sich, daß über 50 % der emittierten Partikel einen Durchmesser von weniger als 1 μm haben. Es wird allgemein angenommen, daß Teilchen mit Durchmessern von weniger als 10 μm leicht eingeatmet werden und die innersten Teile der Lunge erreichen können /Cantwell, 1972/.

Weitere Messungen haben ergeben, daß Straßenstaub eine nicht unwesentliche Quelle der Luftverschmutzung ist.

Etwa die Hälfte der bleihaltigen Staubteilchen haben einen Durchmesser < 100 μm und können deswegen leicht wieder aufgewirbelt und dann auch eingeatmet werden.

Kleine Auswirkungen von Blei auf die Vegetation finden sich vor allem in der Nähe von Straßen, vgl. Tab. 6.3.

Tab. 6.3 Bleigehalt verschiedener Böden in der Nähe von Straßen

Rt. 93, Wilmington, Mass.		Memorial Drive Cambridge, Mass.	
Abstand von der Straße [yd]*	Konzentration (ppm)	Abstand von der Straße [ft]**	Konzentration (ppm)
Straßenrand	380	Straßenrand	1,300
10	85	10	440
45	35	20	320
440	20	60	270

*1 yard = 0,914 m

**1 foot = 0,305 m

Es gibt keine Hinweise, daß luftgetragenes Blei schädliche Einflüsse auf wild lebende Tiere oder Milchvieh hätte oder ein Risiko für Haustiere, Wassertiere oder Pflanzen wäre. Das liegt vor allem an seiner geringen Löslichkeit. Die Parameter für den Bleitransfer in der Atmosphäre, in Luft, Boden, Wasser und verschiedenen Lebewesen und im menschlichen Körper finden sich in /Edwards, 1971; ESP, 1972/.

Ein Übersichtsartikel über die Auswirkungen von Blei, insbesondere aus Benzinmotoren, auf die menschliche Gesundheit findet sich in /Blokker, 1972/.

Bleivergiftung

Blei ist ein Blut-, Nieren und Parenchymgift. Bleivergiftungen kommen in verschiedenen Formen vor:

1. akute manifeste Krankheit.

Spezifische Merkmale sind:

Mattigkeit, Erbrechen, Appetitlosigkeit fortschreitend zu unkontrollierten Körperbewegungen, Zuckungen, Starre, Stupor (Benommenheit, Stumpfheit), Tod. Außerdem Anaemie und Nierenschäden.

2. symptomatisch chronische Krankheit:

oft unspezifisch, sonst

Symptome wie bei 1.

Langzeiteffekte: Fehlfunktion der Nieren, Gehirnschäden mit Verhaltensstörungen, intellektuelle Schäden, Überaktivität

3. asymptomatisch chronische Vergiftung:

Es zeigen sich vor allem psychische Störungen, außerdem leichte Anaemie und Leberzirrhose.

Die Kurzzeiteffekte von luftgetragendem Blei sind relativ gering. Außerhalb der Großstädte wird halb so viel eingeatmet wie verzehrt. Aus zahlreichen Untersuchungen über die Absorption von Blei geht hervor, daß sich wegen des Blei-Metabolismus im menschlichen Körper durch Inhalation kleiner Blei-Aerosole eine erheblich stärkere Belastung ergibt als durch Ingestion der gleichen Blei-Menge /Hicks, 1972/. Wegen des kleinen Durchmessers der meisten Blei-Aerosole ist der Anteil des durch Inhalation absorbierten Bleis genau so groß wie der aus der zweimal größeren Aufnahme durch Ingestion. Wenn der Bleigehalt der Luft über $2 - 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ steigt, zeigt sich auch im Blut eine exponentiell steigende Pb-Konzentration /Lin-Fu, 1972/und/Bryce-Smith, 1972/. Deswegen wurde untersucht, ob ein Grenzwert für luftgetragenes Blei von $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wissenschaftlich begründet werden kann /Goldwater, 1972/. Die Europäische Gemeinschaft will jetzt die Bleibelastung einheitlich überwachen, um dann einheitlich $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Grenzwert festzulegen / Umwelt 60/.

Es scheint synergistische Effekte, z.B. mit Eisenmangelanämie und erhöhtem CO-Gehalt der Luft, zu geben. In diesem Zusammenhang erscheint der Grenzwert von $0,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ des US Institute for Occupational Safety and Health sinnvoll, der sich aus dem oben genannten Wert von $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dividiert durch einen Sicherheitsfaktor 20 ergibt.

Es wurden auch Untersuchungen über möglicherweise synergistische Effekte bei gleichzeitiger Einwirkung von Blei und Tritium vorgenommen /Cahill, 1975/.

Chronische Zeichen von Bleivergiftung zeigten sich bei Konzentrationen von ungefähr $80 \mu\text{gPb}/100 \text{ g Blut}$. Schon unterhalb dieser Werte ist die Bildung roter Blutkörperchen gestört. Solche Werte werden normalerweise aber keineswegs erreicht, sondern nur bei unbedachter Ingestion etwa von bleihaltigen

Nahrungsmitteln, Farbsplittern oder bei anderer unfallbedingter Aufnahme. Unfälle von Kindern, die bleihaltige Farben inkorporiert haben, und Industrieunfälle mit Bleiaufnahme sind stark zurückgegangen.

Die ersten systematischen Studien zur Gesundheitsschädigung durch Blei führte Alice Hamilton 1934 durch. Sie fand heraus, daß Blei bei Frauen die Neigung zu Fehlgeburten hervorruft und auch bei Männern einen schädigenden Einfluß auf die Keimzellen hat. In einem Vergleich fanden sich bei Bleiarbeitern 24,7 % kinderlose Ehen und 8,2 % Früh- und Totgeburten, in der entsprechenden Kontrollgruppe dagegen nur 14,8 % kinderlose Ehen und 0,2 % Früh- und Totgeburten. Bei den Bleiarbeitern fand sich auch eine auffällig höhere Zahl von Todesfällen, die außerdem oft früher auftraten als bei vergleichbaren Gruppen.

Über Langzeitwirkungen fehlen noch genaue Kenntnisse, insbesondere in Bezug auf kleine Kinder. Mit wachsendem Alter wächst zwar der Bleigehalt des Ganzkörpers, nicht aber der des besonders empfindlichen Blutes, so daß Kinder relativ stärker gefährdet sind, wenn sie Blei inkorporieren. 1972 gab es in New York 6 000 Fälle von Bleivergiftungen bei Kindern mit $60 \mu\text{g Pb}/100 \text{ ml Blut}$. Der Mittelwert in der Stadt war $20 \mu\text{g/ml}$. Bei $100 \mu\text{g/ml}$ sind Fälle schwerer Enzephalopathie bekannt, bei ca. $140 \mu\text{g/ml}$ auch Todesfälle. Deshalb wurde der zulässige Blutgrenzwert für Kinder von $80 \mu\text{g/ml}$ auf $40 \mu\text{g/ml}$ herabgesetzt. Dosenmilch ist übrigens für Kleinkinder ziemlich gefährlich. Sie enthält oft 0,3 bis 3,2 ppm Blei gegenüber 0,012 ppm Blei in Muttermilch und 0,28 ppm in Kuhmilch - der WHO-Standard für Trinkwasser ist 0,05 ppm!

Eine Übersicht über die toxischen Wirkungen von luftgetragener Blei gibt /Hicks, 1972/.

7. Grenzwertsetzung für verschiedene Bevölkerungsgruppen

Bei der Festsetzung von Grenzwerten der Luftverunreinigung müssen verschiedene Gesichtspunkte berücksichtigt werden. Deutlich wird das z.B., wenn man die amerikanischen "Threshold Limit Values" (TLV), die für Arbeitsplatzkonzentrationen gelten, mit den "Air Quality Standards" (AQS) vergleicht, die die Luftqualität für die gesamte Bevölkerung erhalten sollen (s. auch Abschnitt 8 und 9). Zwischen den TLV- und AQS-Werten fallen große Unterschiede auf, die sich nicht ohne weiteres erklären lassen, wenn man in beiden Fällen nur davon ausgeht, daß es auf den Schutz der menschlichen Gesundheit ankommt. Es gibt zwar wesentliche Unterschiede zwischen den betroffenen Bevölkerungsgruppen; diese allein reichen jedoch zur Begründung der Differenzen nicht aus. Die AQS-Werte beruhen aber auf einer viel breiteren Basis als die TLV-Werte. Bei den AQS-Werten werden mögliche Schäden an Vegetation und Ernte, Belästigung durch Staub, Sichtbehinderung, Korrosion von Materialien u.v.a.m. mit die Betrachtung einbezogen, d.h. vielerlei Faktoren, die über eine Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit im engeren Sinne hinausgehen. So erklären sich Faktoren bis 100 (NO_2 , SO_2 , Eisenoxid) oder gar 1 000 (Pb) und mehr (HF), um die TLV-Werte über AQS-Werte hinausgehen, siehe Tabellen in Abschnitt 9.

Zum Vergleich der Gefährdung verschiedener Bevölkerungsgruppen s. auch /Kraybill, 1977/. Spezielle Untersuchungen zur Belastung der Luft in Innenräumen wurden 1973 vom Bundesgesundheitsamt angestellt /Kettner, 1973/.

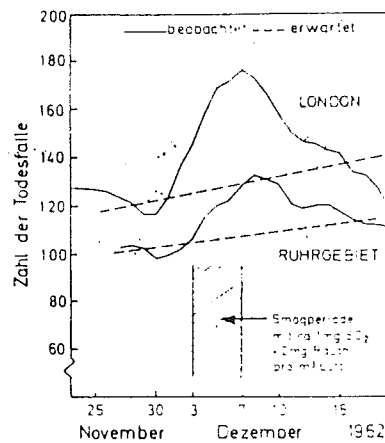
Beim Vergleich der jeweils betroffenen Bevölkerungsgruppen ist vor allem wichtig, daß die Berufstätigen zum normalen, gesunden und erwachsenen, aber noch nicht alten Teil der Bevölkerung gehören, besonders jene Berufstätigen, die u.U. schädlichem Rauch, Staub, Nebel und Dampf ausgesetzt sind. Dies gilt nicht für die gewöhnliche Stadtbevölkerung. Dort sind z.B. alle Altersgruppen vertreten, einschließlich der besonders empfindlichen Kleinkinder und der u.U. "indisponierten" und geschwächten Alten, aber auch derjenigen, die z.B. wegen Erkrankungen der Atemwege besonders geschützt werden müssen. Gerade letztere nehmen am Arbeitsprozeß nicht teil. So schätzt man, daß z.B. bei Asthma ein Sicherheitsfaktor zwischen 5 und 10 in der Belastbarkeit gegenüber der "normalen" Bevölkerung beachtet werden muß. In der Literatur finden sich Sicherheitsfaktoren bis zum Wert von 100 /Epstein, 1976/. Das Vorhandensein von Schwellenwerten wird bezweifelt. Sie könnten allenfalls für die Toxizität eine Rolle spielen, nicht jedoch für Mutagenität und Cancerogenität /Schwarz, 1977/.

7.2

Die Empfindlichkeit als Funktion des Lebensalters ist eine komplizierte Funktion: Man findet eine erhöhte Empfindlichkeit bei Kindern und Jugendlichen. In höherem Alter treten neben der oben erwähnten geringeren Belastbarkeit aber auch Gewöhnungseffekte (Resistenz) auf. Letztlich müssen solche Unterschiede für jeden Schadstoff einzeln untersucht werden.

Ein Beispiel für die starke Einwirkung von Umweltgiften auf die Bevölkerung ist die zeitliche Änderung der Mortalitätsrate in London und im Ruhrgebiet im Verlauf einer Smog-Periode, s. Abb. 7.1 /Jacobi, 1974/.

Abb. 7.1 Zeitliche Änderung der Mortalitätsrate in London und im Ruhrgebiet im Verlauf einer Smog-Periode im Dezember 1962



8. Gesetzlich vorgeschriebene Grenzwerte

(MPL-Werte, TA-Luft, MAK-Werte, MIK-Werte, Lebensmittelgesetz)

Menschliche Gesundheit und Sicherheit sind die Richtschnur für die Arbeit der Toxikologen an Standards zur Luftreinhaltung. Zum Vergleich ist es zwar sehr nützlich, Letaldosen bestimmter Substanzen zu ermitteln, das reicht als Index für den Gesundheitsschutz aber nicht aus. Bestimmend für die Wirkung toxischer Agentien ist die Dauer der Einwirkung und eine Abschätzung der wirksamen Dosis, hierfür benötigt man Kenntnisse über Absorption und Elimination des Stoffes im menschlichen Körper. Die Grenzwerte müssen dann so bestimmt werden, daß man einigermaßen sicher sein kann, daß bei ihrer Einhaltung keine schädlichen Effekte auftreten. Die nationalen und internationalen Kommissionen für den Strahlenschutz haben Richtlinien für die zulässige Belastung durch ionisierende Strahlung festgesetzt. Dabei werden MPL-Werte (alle hier verwendeten Abkürzungen sind im Glossar erklärt) definiert. Hier sind für die einzelnen Radioisotope das kritische Organ, der Radionuklidanteil, der dieses Organ erreicht, die Dosisrate und die biologische Halbwertszeit berücksichtigt. Das Ziel ist, für eine möglicherweise über die ganze Lebenszeit andauernde Belastung eine Schädigung unwahrscheinlich zu machen. Ähnlich verfährt man in der industriellen Toxikologie. Besonders sorgfältig arbeitete die "American Conference of Governmental Industrial Hygienists" und das "Hygienic Guides Committee of the American Industrial Hygiene Association". Die Ergebnisse sind veröffentlicht und werden regelmäßig überarbeitet. Zur Kennzeichnung einer sicheren Grenze wird der Ausdruck MAC verwendet. Die Grenzen sind aus Tierexperimenten und Erfahrungen mit Menschen abgeleitet und bestimmen sich durch bekannte toxische Effekte oder durch Geruchsbelästigung und andere störende Einwirkungen. Schädliche Wirkungen werden als vernachlässigbar betrachtet, wenn die Schadstoffkonzentrationen für 8 Stunden pro Tag, 5 Tage pro Woche und die Dauer eines Arbeitslebens unterhalb der MAC-Werte bleiben. Diese Werte gelten also für "beruflich Exponierte", siehe Abschnitt 7. Für die Gesamtbevölkerung gibt es wesentlich strengere Maßstäbe. Für luftgetragene Schadstoffe gelten die sogenannten AQS-Werte. Hierbei ist von großer Bedeutung, daß es sich häufig um eine kontinuierliche Schadstoffbelastung handelt.

Bei der "Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft", kurz "TA Luft" genannt /TA-Luft, 1974/, handelt es sich um die allgemeine Verwaltungsvorschrift, die zum Bundesimmissionsschutzgesetz erforderlich ist. Beide dienen dem im Grund-

gesetz festgelegten Hauptanliegen, die Luft nicht nur so rein wie nötig, sondern sogar so rein wie möglich zu halten (unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit der Mittel). Die "TA Luft" geht von dem Grundgedanken aus, daß jeder Bundesbürger das Recht hat, unter gleichen Voraussetzungen von den Behörden gleich behandelt zu werden. Das bedeutet in diesem Zusammenhang, daß alle Bürger gleichermaßen vor schädlichen Luftverunreinigungen zu schützen sind. Da es technisch einfacher ist, die Emissionen aus technischen Anlagen zu messen - und zu begrenzen! - als die daraus entstehenden Immissionen am Aufenthaltsort der betroffenen Bürger festzustellen, werden in der "TA Luft" vor allem Emissionsgrenzwerte festgelegt. Die "TA Luft" versucht der Tatsache Rechnung zu tragen, daß es durch mancherlei äußere Einflüsse wie Rauch, Ruß, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe oder Geruchsstoffe zu Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft kommen kann. Damit besteht die Möglichkeit von Einwirkungen solcher Immissionen auf Sachen, Pflanzen, Tiere und Menschen, die in ihrer Bedeutung unterschiedlich zu bewerten sind, aber insgesamt möglichst gering gehalten werden sollen. Man versucht, die Einwirkungen in 1,50 m Höhe über dem Boden, also vor allem für den Menschen, so gering wie möglich zu halten. Dabei soll im Sinne des Grundgesetzes jeweils der "Stand der Technik" ausgenutzt werden. Die natürlichen Einflußparameter, wie etwa austauschbare Wetterlagen, bedürfen besonderer Aufmerksamkeit. Einzelne Stoffe sind im Abgas technischer Anlagen generell verboten, Beispiele sind Öl und Pyridin. Die "TA Luft" enthält u.a. eine Liste von staubförmigen Emissionen, die im Abgas vorkommen können, und ihre jeweilige Klasse des Emissionsgrenzwertes, eine graphische Darstellung zur Begrenzung der Emissionen und eine Liste zur Begrenzung von Emissionen dampf- oder gasförmiger organischer Verbindungen im Abgas sowie auch hierzu eine graphische Darstellung.

Im einzelnen werden in der "TA Luft" Emissionsgrenzwerte für mehr als 50 staubförmige und mehr als 100 gasförmige Stoffe festgesetzt, die jeweils in drei Klassen eingeteilt sind. Die staubförmigen Stoffe dürfen jeweils die folgenden Massen-Konzentrationen nicht überschreiten:

Tab. 8.1 Grenzkonzentration für staubförmige Schadstoffe

Klasse I	:	20 mg/m ³
Klasse II	:	50 mg/m ³
Klasse III	:	75 mg/m ³

8.3

Beim Vorhandensein mehrerer Stoffe gelten besondere Vorschriften, s. § 2.3 der "TA Luft":

Tab. 8.2 Grenzkonzentrationen für organische Verbindungen im Abgas

organische Verbindungen der Klasse I bei einem Massenstrom von 0,1 kg/h und mehr,	20 mg/m ³
organische Verbindungen der Klasse II bei einem Massenstrom von 3 kg/h und mehr,	150 mg/m ³
organische Verbindungen der Klasse III bei einem Massenstrom von 6 kg/h und mehr.	300 mg/m ³

Beim Vorhandensein von organischen Verbindungen mehrerer Klassen darf die Massenkonzentration im Abgas insgesamt 300 mg/m³ nicht überschreiten.

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

Tab. 8.3 Maximal zulässige Immissionswerte

Art der Immission	Massenkonzentration	
	mg/m ³ bei Langzeiteinwirkung	mg/m ³ bei Kurzeiteinwirkung
Chlor	0,10	0,30
Chlorwasserstoff	0,10	0,20
— angegeben als anorganische gasförmige Chlorverbindungen —		
Fluorwasserstoff	0,0020	0,0040
— angegeben als anorganische gasförmige Fluorverbindungen —		
Kohlenmonoxid	10,0	30,0
Schwefeldioxid	0,140	0,40
Schwefelwasserstoff	0,0050	0,010
Stickstoffdioxid	0,10	0,30
Stickstoffmonoxid	0,20	0,60

Durch niedrig festgesetzte Immissionsgrenzwerte werden dann z.B. höhere Schornsteine erzwungen, wenn sich weder die Emissionen (z.B. durch den Einbau geeignete Filter oder Veränderung der Produktionsvorgänge) noch die Immission (z.B. durch geeignete Standortwahl) verändern lassen. Besondere Übergangsvorschriften gibt es für Staubbiederschlag, Fluorwasserstoff, Schwefeldioxid und Schwefelwasserstoff.

Im Gegensatz zur "TA Luft" befaßt sich die toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten speziell mit gesundheitsschädlichen Arbeitsstoffen. /Henschler, 1977/. Hier soll also nicht die Bevölkerung als Ganzes geschützt werden, sondern die Gruppen,

die u.U. einer erhöhten oder besonderen Schadstoffbelastung ausgesetzt sind, vgl. Abschnitt 7.

Die "Kommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe" der Deutschen Forschungsgemeinschaft arbeitet fortlaufend an der toxikologisch-, arbeitsmedizinischen Begründung von MAK-Werten. Bestimmend für die Aufstellung dieser Werte ist jeweils der neueste fundierte Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse unter Berücksichtigung der Bedürfnisse und Verhältnisse in der Bundesrepublik. Als ein Beispiel der zahllosen detaillierten Arbeiten zu diesem Thema sei auf eine Arbeit über die "Geruchsschwellen einiger wichtiger Reizgase und Erscheinungen bei der Einwirkung geringer Konzentrationen auf den Menschen" hingewiesen /Henschler, 1960/. In dieser Arbeit wird auch versucht, Dosis-Wirkungsbeziehungen aufzustellen. Die Abhandlung eines jeden Arbeitsstoffes gliedert sich in der oben angegebenen Ringbuchsammlung in mehrere Hauptabschnitte, nämlich:

Allgemeiner Wirkungscharakter,
Erfahrungen beim Menschen,
tierexperimentelle Befunde und
Begründung des MAK-Wertes.

Zur Zeit sind schon mehr als 400 Stoffe in die MAK-Liste aufgenommen /Fachblatt, 1978/.

Die Begründung von MAK-Werten ist wesentlich schwieriger, es sind bisher nur 18 Stoffe bewertet worden /Renovanz, 1974/. Tab. 8.4 gibt einige Beispiele /Antweiler, 1975/.

Tab. 8.4 Maximale Immissionskonzentrationen

ng/m ³ Stoff	1/2 Std.	24 Std.	1 Jahr
Ammoniak	2	1	0,5
Fluorwasserstoff	0,2	0,1	0,05
Kohlenmonoxid	50	10	10
Schwefeldioxid	1	0,3	0,1
Stickstoffdioxid	0,2	0,1	-
Stickstoffmonoxid	1	0,5	-
Trichloräthylen	16	5	2

Für Lebensmittelzusatzstoffe verlangt das deutsche Lebensmittelgesetz ausgedehnte Untersuchungen. Es ist meist nicht bekannt, daß verdorbene Lebensmittel (z.B. durch Aflatoxin!) u.U. sehr viel gefährlicher sein können als Konservierungsmittel. Es gibt eine Expertenkommission der Weltgesundheitsorganisation WHO, die Empfehlungen für zulässige Mengen von Rückständen in Lebensmitteln erarbeitet, s. auch Whitten-Report (USA).

In der Bundesrepublik Deutschland gibt es eine "Verordnung über Pflanzenschutz-, Schädlingsbekämpfungs- und Vorratsmittel in oder auf Lebensmitteln pflanzlicher Herkunft" vom 1.1.1968. Für die Zulassung von Pflanzenschutzmitteln ist die "Biologische Bundesanstalt" zuständig.

9. Vergleich mit dem Ausland

Zum Vergleich mit den Angaben über die Beschränkungen für Schadstoffe in der Bundesrepublik ist es interessant zu sehen, ob es und welche Einschränkungen es in anderen Ländern gibt.

Die geringe Zahl internationaler Industrie-Luft-Standards (etwa zwei Dutzend) kann man dadurch erklären, daß bei der internationalen Konferenz zur Festsetzung solcher Werte in Genf 1968 die Unterlagen zu den sowjetischen Werten (MPC) nicht vorlagen.

Die internationale Arbeitsorganisation (ILO) hat 1968 Listen offizieller Standards für Arbeitsplätze (TLV, MPC, MAK,), s. Glossar und Abschnitt 8, gesammelt /Permissible Limits, 1968/. Nur wenige der hoch industrialisierten Länder haben in diesem Bereich keine offiziellen Standards, nämlich Italien, Frankreich, die Tschechoslowakei und die skandinavischen Länder. In der westlichen Welt orientieren sich offizielle und inoffizielle Werte an denen der USA. Die Tschechoslowakei, Ungarn, Jugoslawien und Polen haben z.T. inoffizielle "Kompromiß-Standards" für die Substanzen, bei denen große Unterschiede zwischen den Standards der USA und der UdSSR bestehen. Z.B. ist der Standard für Trichloräthylen in der CSSR 250 mg/m^3 , in der UdSSR 10 mg/m^3 und in den USA 535 mg/m^3 .

Entsprechend zu den Arbeitsplatzstandards der ILO hat die Weltgesundheitsorganisation WHO 1970 eine Liste von Umgebungsluftstandards aus 10 Ländern erstellt /Air Quality Criteria, 1970/. Auch hier zeigen sich Unterschiede.

So haben die verschiedenen Staaten jeweils die folgende Zahl von Standards festgelegt: UdSSR: 114, Israel: 44, CSSR: 18, Italien: 13, BRD, USA und Holland: 6, Frankreich und Schweden: 1. Merkwürdigerweise hat Japan, sicher eines der am meisten betroffenen Länder, nur 3 solche Standardwerte.

Dokumentiert sind die folgenden Standards:

- USA: 500 TLV-Werte /Documentation, 1971/, s. Abschnitt 8
 6 AQS-Werte /Air Quality, 1970/ s. Abschnitt 8
 Hier finden sich Angaben über Vorkommen, Eigenschaften, Emissionen, Bildung und Kontrolle, toxikologische Effekte bei Menschen und Tieren, Probenahme und Messungen, epidemiologische Bewertung.
- UdSSR: Zahlreiche Einzelarbeiten in der sowjetischen Literatur; ungefähr 500 TLV-Werte, 114 AQS-Werte /MPC, 1970; MPC, 1971/.
- CSSR: Sammeldokumentation für 93 MAC-Werte /Documentation of MAC, 1969/. Diese "maximal allowable concentrations" in der technischen Industrie werden mit den Standards anderer Länder verglichen.
- Bundesrepublik: Entsprechende Werte finden sich in den Tabellen der ungefähr 400 MAK-Werte; auch die etwa 20 MIK-Werte könnte man heranziehen.

Es fällt zunächst auf, daß es in der UdSSR 114 AQS-Werte gegenüber nur 6 AQS-Werten in den USA gibt. In der UdSSR gibt es keinen TLV-Wert für Äthylen oder Eisenoxid, keinen AQS-Wert für Kohlenwasserstoffe, Eisenoxid, "particulates" oder photochemische Oxidantien. Letzteres ist zu verstehen, wenn man die Dichte des Autoverkehrs und die Intensität des UV-Lichtes in beiden Ländern vergleicht. In der UdSSR gibt es aber trotzdem Grenzwerte für Schwefelwasserstoff und Blei, möglicherweise als Vorsorge für die Zukunft.

Die USA haben ein Antibleigesetz antizipiert.

Tab. 9.1 gibt eine Übersicht über die AQS-Werte verschiedener Länder.

Schadstoff	TLV oder MPC für berufliche Exposition			AQS für Exposition der Gesamtbevölkerung			
	mg/m ³			mg/m ³			
	USA TLV	UdSSR MPC	International (b)	USA (a)		Kalifornien	UdSSR
				primär	sekundär		
Acrolein	0,25	0,7	-	0,025		-	0,03
Kohlenmonoxid	55	20	-	10 (8-h-max.)(ne) 40 (1-h-max.)(ne)		10 (12-h-Mittel)	1 (24-h-Mittel) 3 (max.)
Äthylen	1100	-	-	-	0,05 ländl.Gebiete (8-h-max.) 0,1 Wohngebiete 0,15 Gewerbegebiete 0,2 Industrie- gebiete	-	3 (24-h-Mittel)
Fluoride als HF	2	1	1-2	-	0,0035 (24-h-Mittel)	-	0,005 (24-h-Mittel) 0,2 (max.)
Kohlenwasserstoffe	-	-	-	0,16 (3-h-max.)(ne)		-	
Schwefelwasserstoff	15	10	10-15	-	-	0,05 (1-h-Mittel)	0,008 (max. und 24-h-Mittel)
Eisenoxid	10	-	-	-	0,1 ländl.Gebiete (24-h-max.) 0,15 Wohngebiete 0,2 Gewerbegebiete 0,25 Industrie- gebiete	-	-
Blei	0,2	0,01	-	-	-	0,0015 (30-d-Mittel)	0,0007 (24-h-Mittel)
Stickoxide	9(c)	5	5-9	0,100 arithmetisches Jahresmittel		0,45 (1-h-max.)	0,085 (24-h-Mittel)
Partikelförmige Schadstoffe	-	-	-	0,075 (geom.- Jahresmittel) 0,260 (24-h- max.)(ne)	0,060 (geom.- Jahresmittel) 0,150 (24-h- max.)(ne)	0,060 (geom.- Jahresmittel)	
Photochemische Oxidantien (Ozon)	0,1	0,1	0,1	0,160 (1-h max.)(ne)		0,20 (1-h-Mittel)	
Schwefeldioxid	13	10	10-13	0,080 (arithm.- Jahresmittel) 0,365 24-h- max.)(ne)	0,060 (arithm.- Jahresmittel) 0,260 (24-h- max.)(ne) 1,300 (3-h- max.)(ne)		0,05 (24-h-Mittel) 0,5 (max.)

(a) Gesetzlich definierte Primär- und Sekundärstandards. Die Primärstandards zielen auf die Erhaltung der Gesundheit, die Sekundärstandards beziehen andere Effekte (z.B. auf die Vegetation) mit ein, also das Wohlergehen (welfare) der Bevölkerung.

(ne) - darf nicht mehr als einmal im Jahr überschritten werden.

(b) s./Permissible Limits, 1968 /

Für diese Substanzen unterscheiden sich die Grenzwerte der USA und der UdSSR um weniger als den Faktor 2.

(c) Grenzwert, der nicht überschritten werden darf (bei TLV- und MPC-Werten handelt es sich um Mittelwerte über 8 h).

Tab. 9.1 Grenzwerte für luftgetragene Schadstoffe

Im allgemeinen sind die UdSSR-Grenzwerte eher niedriger, sowohl für industrielle als auch für die "allgemeine" Luft. Am auffälligsten ist der Unterschied beim CO: in der UdSSR werden 20 mg/m^3 gegenüber 55 mg/m^3 für die USA festgesetzt.

Außerdem sind in den USA höhere Kurzzeitwerte erlaubt:

50 mg/m^3 für 1 h
 100 mg/m^3 für 30 min
 200 mg/m^3 für 15 min.

In allen diesen Fällen soll die Unterbrechung der Exposition nach einer Überschreitung nicht kürzer als zwei Stunden sein.

Im Staate Pennsylvanien sind sogar 400 mg CO/m^3 Luft in 15 min erlaubt; auch hier sind ausreichende Erholzeiten vorgeschrieben, und der Grenzwert der TLV (bezogen auf 8 h) darf nicht überschritten werden. Der USA-Grenzwert für beruflich Exponierte hat sich seit seiner Einführung im Jahre 1965 als völlig zufriedenstellend erwiesen, allerdings ist dabei vorausgesetzt, daß nicht gleichzeitig andere schädliche Einwirkungen wie CO_2 , Autoabgase oder extreme Hitze vorkommen. Bei uns ist der Wert wie in den USA (MAK). Man wird also vermuten, daß der UdSSR-Wert einen hohen Sicherheitsfaktor enthält, eine Dokumentation der sowjetischen Werte lag dem Autor der zitierten Arbeit /Stokinger, 1972/ nicht vor.

Auch im Fall der AQS-Werte fällt insbesondere beim CO der sehr niedrige Wert der UdSSR von 1 mg/m^3 für 24 h auf. Dies ist insbesondere deswegen bemerkenswert, weil der Mensch selbst eine Atmosphäre erzeugt, die mehr CO enthält, als die für Umgebungsluft zugelassenen 1 mg/m^3 /Coburn, 1967/. Im übrigen sind die Werte in Tab. 9.1 vergleichbar, die UdSSR-Werte enthalten aber größere Sicherheitsfaktoren.

Ein grundsätzlicher Unterschied zwischen den USA und anderen Ländern besteht in der zusätzlichen Festsetzung von primären und sekundären Standards für die Umgebungsluft in den USA, also bei den AQS-Werten. Die primären Standards gelten der Gesundheit des Menschen, die sekundären auch seinem Wohlbefinden. Nicht für alle Schadstoffe gibt es beide Stan-

dards, weil manche nur die Gesundheit beeinträchtigen. Von den 6 Stoffen, für die in den USA AQS-Werte festgesetzt sind, gelten z.B. nur für "particulates" und SO_2 beide Grenzwerte. Es ist nicht ganz klar, warum nicht auch für fotochemische Oxidantien (die z.B. Tabakblätter schon bei $0,04 \text{ mg/m}^3$ schädigen, für die aber der primäre Standard $0,160 \text{ mg/m}^3$ ist) sekundäre Standards festgesetzt sind. Auch NO_2 korrodiert Metalloberflächen bei weit niedrigeren Werten als dem aus Gesundheitsgründen vorgeschriebenen Standardwert von $0,1 \text{ mg/m}^3$, man hätte also auch hier die Festsetzung eines sekundären Standards erwartet.

Die für Kalifornien festgesetzten Werte sind in Tabelle 9.1 hinzugefügt, weil dieser Staat als erster 1959 AQS-Werte entwickelt hat. Die kalifornischen Standards enthalten darüber hinaus eigene Werte, die den spezifischen Gegebenheiten dieses Staates Rechnung tragen, nämlich hoher Sonnenstrahlung im Zusammenwirken mit hoher Verkehrsdichte.

Zusätzlich gibt es inoffizielle "Community Air Quality Guides", die von einem Expertenkomitee der "American Industrial Hygiene Association" herausgegeben werden.

Es gibt z.B. Empfehlungen für:

Aldehyde, CO , Äthylen, Eisenoxid, Ozon, "particulates",
Phenole, Cresole und Schwefelverbindungen.

Charakteristisch für einige dieser Empfehlungen ist, daß sie die Bevölkerungsdichte in die Betrachtung mit einbeziehen.

Um auch international den Umweltschutz wirksamer betreiben zu können, wurde 1977 in Edinburgh in Auftrag der "International Association of Environmental Mutagen Societies" eine "Commission for Protection Against Environmental Mutagens and Carcinogens" (ICPEMC) gegründet - in Analogie zur ICRP /Sobels, 1977/. Auf die Ergebnisse dieser Kommission darf man gespannt sein.

10. Forschungsprogramme zum chemischen Umweltschutz

Es ist wünschenswert, sich für die Bundesrepublik Deutschland und auch international einen Überblick über die laufenden Forschungsprogramme auf dem Gebiet der "ökologischen Chemie" und hier vor allem zum Thema luftgetragener Schadstoffe zu verschaffen. Auch anhand neuer Konferenzen zu diesem Thema läßt sich zeigen, welche Gebiete z.Zt. im Brennpunkt des wissenschaftlichen Interesses liegen. Anläßlich eines Symposiums über "Aspekte der chemischen und toxikologischen Beschaffenheit der Umwelt" das 1969 vom "Institut für ökologische Chemie" der "Gesellschaft für Strahlenforschung" veranstaltet wurde, wurde die Forderung nach einer solchen Übersicht und auch nach einer Koordinierung der Arbeiten in der Bundesrepublik Deutschland erhoben /Aspekte, 1969/. In diesem Zusammenhang ist es interessant, neben Programmen einzelner Institute insbesondere das Programm der "Arbeitsgemeinschaft der Großforschungszentren" und der "Deutschen Forschungsgemeinschaft" zu betrachten /AGF,1977/; DFG,1975/. Die Arbeiten stehen vor allem im Zusammenhang mit der Krebsvorsorge.

Im Bereich Ökosystemforschung und ökologische Technik arbeiten die Großforschungseinrichtungen zum Teil mit der Industrie zusammen, um negative Auswirkungen der Industrialisierung einzudämmen bzw. ganz zu beseitigen. Dabei müssen krebserzeugende Agentien zunächst als solche erkannt und dann ihre Umwandlungs- und Abbauprozesse sowie ihre Wirkungsmechanismen auf molekularer und zellulärer Ebene erforscht werden. Ziel ist die Weiterentwicklung und Standardisierung von Methoden zur Erfassung und routinemäßigen Kontrolle von Umweltchemikalien sowie die Festlegung von zulässigen Grenzwerten.

Auf diesem Gebiet arbeiten die Großforschungszentren (DFVLR,DKFZ,GSF,HMI,KFA,KfK) mit dem Umweltbundesamt und mit entsprechenden ausländischen und internationalen Gruppen zusammen, wie z.B. mit dem "National Institut of Health", dem "National Cancer Institute" der USA, dem NCRD-Israel, der WHO, IAEA, Euratom, der International Agency for Research on Cancer-Lyon, dem Univ. Inst. contre le Cancer-Schweiz, dem Bhabha ARC-Indien, dem Brookhaven Nat. Lab.-USA.

Die DFG hat mit Hilfe ihrer Senatskommissionen Parlament und Behörden seit Jahren in Fragen der Toxikologie beraten. So gibt es z.B. die folgenden Kommissionen

- Farbstoff-Kommission (seit 1949)
- Kommission zur Prüfung der Lebensmittelkonservierung (1952—1966)
- Kommission für Berufskrebs (1953—1963)
- Kommission zur Untersuchung des Bleichens von Lebensmitteln (1954—1963)
- Kommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (seit 1955)
- Kommission für Pflanzenschutz-, Pflanzenbehandlungs- und Vorratsschutzmittel (seit 1960)
- Kommission zur Prüfung fremder Stoffe bei Lebensmitteln (seit 1961)
- Kommission zur Prüfung der Zusatzstoffe in Tierernährung und Tierhaltung (1963—1972)
- Kommission zur Prüfung von Rückständen in Lebensmitteln (seit 1972).

Von solch einer Kommission werden auch die Grenzkonzentrationen am Arbeitsplatz (MAK-Werte) festgesetzt, und hierher gehören auch die Bestrebungen des VDI zur Festlegung tolerierbarer Grenzwerte schädlicher Stoffe in der freien Atmosphäre (MIK-Werte).

In ihrer Denkschrift /DFG, 1975/ fordert die DFG, daß die Toxikologie mehr als bisher als eigenständiges Gebiet gefördert werden sollte. An den Universitäten war sie bisher meist mit der Pharmakologie verknüpft, sie wird aber auch außerhalb der Hochschulen von Instituten und Laboratorien der chemischen und pharmazeutischen Industrie, des öffentlichen Gesundheitswesens sowie von öffentlich geförderten Institutionen betrieben. All dieses reicht jedoch keineswegs aus, um die vielfältigen und z.T. neuartigen Aufgaben des Umweltschutzes zu bewältigen. Legislative Maßnahmen setzen das Wissen um mögliche Gefahren voraus und müssen sich deshalb auf die Arbeit von Wissenschaftlern stützen, die nach dem neuesten Stand wissenschaftlicher Erkenntnis das Risiko bei Kontakten mit Fremdstoffen (oder natürlichen Stoffen an ungewöhnlichen Orten oder in ungewöhnlichen Konzentrationen) abzuschätzen vermögen.

Neben Human - und Veterinärmedizin werden Methoden aus Biologie, Chemie, Biochemie, Physik und Biophysik für die moderne Toxikologie immer unentbehrlicher.

Auch die "European Medical Research Councils" haben durch eine Arbeitsgruppe den Status der Toxikologie in Westeuropa zu ermitteln versucht /EMRC, 1974/. Eine Liste nennt ca. 40 Stellen an Universitäten oder bei der Regierung in der Bundesrepublik Deutschland, die sich mit toxikologischer Forschung befassen. An manchen dieser Institutionen befaßt sich aber nur ein sehr geringer Prozentsatz der Arbeiten mit Toxikologie.

Das Bundesministerium für Forschung und Technologie fördert Arbeiten zur Umwelttoxikologie in besonderer Weise, z.B.:

- Prüfung von Chemikalien auf Cancerogenität, Mutagenität und Teratogenität /BMFT, 15.3.77, 5.7.77/
- Methoden zur ökotoxikologischen Bewertung von Chemikalien /BMFT, 20.9.77/.

Darüberhinaus wurde kürzlich ein Arbeitskreis "Umweltchemikalien" des Bundes und der Länder gegründet, der bei der Erfassung von Umweltchemikalien und ihrer Bewertung für die Gesamtbelastung des Menschen empfehlend und koordinierend mitwirken soll /Umwelt 56, 1977/.

11. Schlußfolgerungen

Man hört hin und wieder die Meinung, daß unser zivilisatorischer Fortschritt verknüpft ist mit einer Zunahme der Umweltverschmutzung und damit letztlich einer Gefährdung des menschlichen Lebens. Insbesondere in der Kernenergie-debatte spielt diese Einstellung eine entscheidende Rolle. In dieser allgemeinen Form ist diese Auffassung aber sicher nicht richtig. Wir wohnen und arbeiten heute in saubereren und besser belüfteten Räumen, wir essen weniger von Fäulnisprodukten und Bakterien durchsetzte Nahrung, und unser Trinkwasser ist sicher besser als das der Vergangenheit. Zusammen mit den Fortschritten der Medizin haben diese Faktoren dazu beigetragen, daß sich die mittlere Lebenserwartung in Deutschland seit der Jahrhundertwende ungefähr verdoppelt hat. In diesem Kontext hat sich auch die Einstellung gegenüber Schadstoffen grundlegend geändert. Unsere Auseinandersetzung findet nicht mehr vorwiegend mit den seit Jahrhunderten bekannten Giften wie z.B. Blei oder mit natürlichen Verunreinigungen statt, sondern wir sehen uns einer Unzahl zum großen Teil künstlicher Stoffe gegenüber, bei denen Nutzen und Risiko ihrer Anwendung gegeneinander abgewogen werden müssen. Die Methoden dieser Abwägung, etwa in der Mutagenitätsprüfung, werden erst allmählich entwickelt.

Zudem ist das Problem der schädlichen Einwirkung von außen nicht mehr auf lokale Bereiche beschränkt, sondern wir haben es mit einem weltweiten Problem zu tun - manche Schadstoffe machen sich im wahren Sinne des Wortes global bemerkbar. Umso schwerwiegender ist in einem solchen Fall die Störung des ökologischen Gleichgewichts.

Die Kenntnisse in der chemischen Toxikologie sind im Vergleich zu den dem Strahlenschutz zugrundeliegenden Kenntnissen nicht besser, obwohl man das aufgrund der langen Geschichte erwarten würde. Sie sind aber auch nicht viel schlechter, obwohl man dies bei der ungeheuren Vielzahl der Noxen erwarten würde. In beiden Fällen wird versucht, die zugrundeliegenden Mechanismen - mikrobiologische Schädigungen - zu verstehen /Coulston, 1969/. Erst durch dieses Verständnis ließe sich eine gesicherte "Schutzphilosophie" begründen.

Eine entsprechende Theorie fehlt jedoch zum gegenwärtigen Zeitpunkt /Sobels, 1977, Sankaranarayanan, 1977/. Allerdings gibt es vereinzelt Versuche, ein "rad-equivalent" für verschiedene andere, insbesondere chemische

Einflüsse zu definieren, d.h. die Menge eines Schadstoffes zu bestimmen, die nach dem augenblicklichen Kenntnisstand die gleiche Wirkung hervorrufen würde wie 1 rad, s. auch /Bridges, 1977; Latarjet, 1976; Latarjet, 1977; Ehrenberg, 1977a/.

Bei diesem Versuch des Vergleichs kommt es darauf an, die Analogien, aber auch die Unterschiede aufzuzeigen, die zwischen ionisierenden Strahlen und chemischen Stoffen hinsichtlich der Schadenswirkung und der Konzepte zur Festlegung von Dosis- bzw. Konzentrationsgrenzwerten bestehen.

Bei der Diskussion des Schadensrisikos muß zwischen Wirkungen mutagenen Ursprungs, wozu insbesondere die Krebsbildung gehört, und den akuten und chronischen physiologisch- biochemischen Wirkungen unterschieden werden. Alle carcinogenen Substanzen sind auch mutagen, nicht unbedingt auch umgekehrt /Ehrenberg, 1977/.

Ionisierende Strahlen können beide Arten von Wirkungen hervorrufen, wobei der Organismus für Wirkungen nicht mutagenen Ursprungs ein starkes Erholungsvermögen besitzt. Aus diesem Grunde hängen Art und Schwere der akuten Strahlenschädigung stark von der Dosisleistung ab, es gibt eine Schwellendosis für diese Art von Effekten. Entscheidend für die Festlegung von Grenzwerten der Strahlenexposition sind daher die Risiken der Strahlencancerogenese und der genetischen Strahlenschäden.

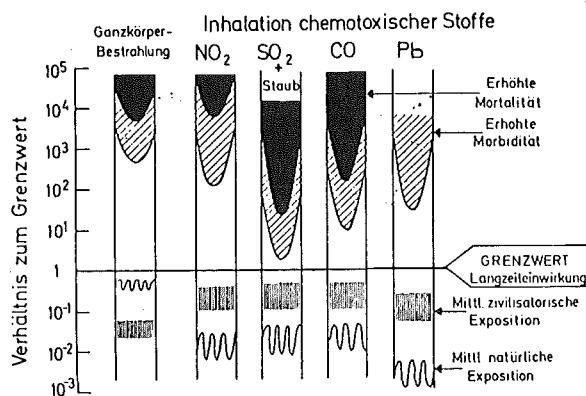
Eine analoge Situation gibt es bei vielen chemischen Schadstoffen. Es gibt aber sicher auch chemische Schadstoffe, die keine oder nur eine geringe cancerogene und mutagene Wirkung haben. Hierzu scheinen die meisten anorganischen Luftverunreinigungen, wie z.B. SO_2 , CO und Stickoxide zu gehören. Bei der Festlegung von Grenzwerten für diese Stoffe geht man von ihren physiologischen bzw. biochemischen Schadenswirkungen aus, wobei man die Existenz einer Schwellenkonzentration annimmt, unterhalb derer keine Schädigungen dieser Art mehr auftreten.

In /Buehring, 1976/ wird versucht, Dosis-Wirkungsbeziehungen für SO_2 bzw. Schwefelsäureaerosole aufzustellen. In dieser Arbeit finden sich zahlreiche Hinweise auf Literatur zu diesem Thema. Für einzelne schädliche Einwirkungen wird versuchsweise ein Schwellenwert angegeben, in anderen Fällen ließ sich kein Schwellenwert feststellen. Kompliziert werden die Untersuchungen durch Synergismus mit Partikeln und katalytische Wirkungen von gleichzeitig vorhandenen Metallen oder fotochemischem Smog.

Für eine Übersicht über nicht mutagen bedingte Schadenswirkungen einzelner Noxen sei auf die Originalarbeiten hingewiesen, z.B. /Schlipköter, 1971; Zimmer, 1973; Henschler, 1973; Meissner, 1973/.

Ein Vergleichsmaß für die Beurteilung des akuten Risikos der Bevölkerung bei der Einwirkung ionisierender Strahlen oder chemischer Schadstoffe ist das Verhältnis zwischen der Dosis bzw. Konzentration, bei der eine erhöhte Morbidität oder Mortalität zu erwarten ist, und der derzeitigen Exposition der Bevölkerung. Dieses Verhältnis ist in Abb. 11.1 in logarithmischem Maßstab aufgetragen /Jacobi, 1974/.

Abb. 11.1 Der akute Wirkungsbereich verschiedener Schadstoffe in Luft im Vergleich zur derzeitigen Exposition der Bevölkerung



Die Konzentrationswerte werden jeweils auf die höchstzulässige Konzentration des Schadstoffs bei Langzeiteinwirkung normiert. Diese Grenzwerte wurden im Rahmen des Immissionsschutzgesetzes 1974 neu festgesetzt /TA-Luft, 1974/. Sie betragen pro m^3 Luft für NO_2 0,1 mg, für SO_2 0,14 mg, für CO 10 mg, für Pb 0,002 mg und für Staub 0,1 mg. Es ist bemerkenswert, daß die Grenzwerte für Kurzeiteinwirkung nur um den Faktor 2 bis 3 über diesen Werten liegen. Zum Vergleich ist in Abb. 11.1 auch das entsprechende Verhältnis für ionisierende Strahlen eingetragen, normiert auf den alten Grenzwert von 0,17 rem/a bzw. 5 rem in 30 Jahren. Die tatsächliche mittlere zivilisatorische Strahlenbelastung in der BRD (ohne Medizin) liegt um mehr als eine Zehnerpotenz unterhalb dieses Grenzwertes und ist erheblich niedriger als die natürliche Strahlenbelastung. Bezieht man die Medizin mit ein, so ist die zivilisatorische Strahlenbelastung etwa halb so groß wie die natürliche.

Der Dosisbereich, in dem akute Strahlenschäden zu erwarten sind, liegt mit Sicherheit mehr als 4 Zehnerpotenzen über der mittleren zivilisatorischen Exposition der Bevölkerung.

Aus Abb. 11.1 geht hervor, daß dieses Verhältnis zwischen dem Bereich signifikanter akuter Wirkungen und der derzeitigen mittleren zivilisatorischen Exposition der Bevölkerung in Bereichen chemischer Schadstoffe erheblich niedriger ist. Dies gilt insbesondere für SO_2 in Verbindung mit Staub.

Bei den chemischen Schadstoffen liegt die zivilisatorische Exposition um etwa eine Zehnerpotenz über dem natürlichen Pegel. Bei der Festlegung der Konzentrationsgrenzwerte für solche nicht-mutagenen Schadstoffe wäre es vom toxikologischen Standpunkt gesehen vernünftiger, dieses so niedrig zu legen, daß mit Sicherheit keine signifikanten akuten Schädigungen beobachtbar wären.

Der Sicherheitsfaktor zwischen dem Grenzwert und dem Beginn des Morbiditätsbereichs in Abb. 11.1 sollte genügend groß und bei allen Schadstoffen annähernd gleich sein. Stattdessen wurde bei der derzeitigen Grenzwertsetzung vor allem auch den technischen Möglichkeiten Rechnung getragen. Berücksichtigt man zudem die starken lokalen Schwankungen der chemischen Schadstoffexposition, so ist nicht auszuschließen, daß in Ballungsgebieten durch kurzzeitiges Überschreiten der Grenzwerte akute Schäden bei bestimmten, relativ großen Gruppen der Bevölkerung auftreten. Für Spätschäden ist die Situation noch ungünstiger, ein Indiz dafür ist die beobachtete starke Zunahme der chronischen Bronchitis; z.B./Buddeberg, 1972/. Die Dosis-Wirkungsbeziehung dieses Effekts ist allerdings noch ungeklärt.

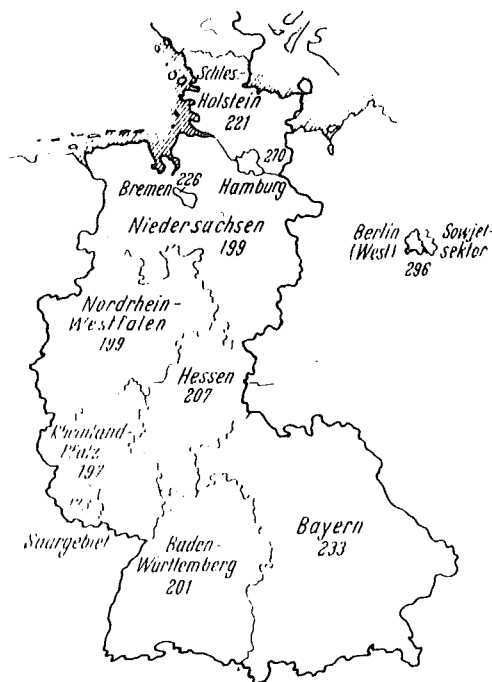
Eine noch größere Bedeutung kommt jedoch dem somatischen Risiko durch mutagene Agentien zu, wobei die wichtigste mutagene Wirkung die Cancerogenese ist. Eine der auffälligsten Tatsachen der letzten 25 Jahre ist die Zunahme des Lungenkrebses. Sie ist sicher z.T. durch die enge Korrelation zwischen Zigarettenrauchen und Lungenkrebsrisiko bedingt. Da jedoch auch bei Nichtrauchern die Lungenkrebshäufigkeit zugenommen hat, sind offensichtlich noch andere Faktoren beteiligt. Es ist wahrscheinlich, daß zu diesen wesentlich cancerogene Stoffe gehören, die bei der Verbrennung fossiler Energieträger entstehen, also z.B. in Autoabgasen enthalten sind.

Bei einer statistischen Untersuchung der Krebshäufigkeit müssen zahlreiche Einflüsse (z.B. Altersverteilung, Heilbarkeit, Latenzzeit) sorgfältig untersucht werden. Verschiedene Untersuchungen weisen darauf hin, daß die Krebshäufigkeit generell in erster Linie durch Einflüsse der Umgebung bestimmt wird /Segi, 1969; Weisburger, 1971; Schmähl, 1972; Maaß, 1969; Bauer, 1963, Hettche, 1971/ s. Abb. 11.2.

Bis jetzt scheint es aber unmöglich, aus der Krebsstatistik quantitative Aussagen über das Krebsrisiko durch radiologische oder chemische Umwelteinflüsse zu gewinnen.

Bei einem Vergleich der Schadstoffbelastung der Bevölkerung durch fossile und Kern-Kraftwerke /Ilyin, 1977/ kommen die Autoren zu dem Schluß, daß das durch Benzpyren verursachte Risiko in der Umgebung von fossilen Kraftwerken wahrscheinlich sehr viel signifikanter ist als das Strahlenrisiko bei allen Typen von Kraftwerken.

Abb. 11.2 Häufigkeit der Krebssterbefälle (1956) in den einzelnen Bundesländern, bezogen auf je 100 000 Einwohner (errechnet nach Angaben des Statist. Bundesamtes 1956)



Hinzu kommt, daß bei Kohle- und Öl-Kraftwerken die Flugasche Eisen- und andere Metalloxide enthalten kann, die sich in Tierversuchen als cancerogen erwiesen haben und zusammen mit Benzpyren cocarcinogen wirken /Hettche, 1971/. Eine andere auf der gleichen Konferenz vorgetragene Arbeit /Ramzaev, 1977/ bestätigt die Ansicht, daß Kernkraftwerke vom Umweltschutzgesichtspunkt her zu bevorzugen sind. Tabelle 11.1 stellt zum Vergleich die Gefahren durch Chemikalien und Radionuklide dar; die Bezugsgrößen ist das Verhältnis der akuten letalen Aufnahme (LI 50/30) zur (erlaubten)täglichen Aufnahme (DI):

Tab. 11.1 Vergleich der Gefährdung durch Ingestion von Chemikalien und radioaktiven Substanzen

Substanz	LI _{50/30} einmalige Aufnahme	DI	Verhältnis von LI _{50/30} zu DI
I. Chemikalien:			
Cyanide des Na, K..	0.12 g	0.2 mg	6.0×10^2
Arsenik (As^{3+})	0.12 g	0.1 mg	1.2×10^3
Antimon	1.00 g	0.1 mg	1.0×10^4
Insektizide (DDT)	6.00 g	0.2 mg	3.0×10^4
Quecksilber (Sublimat)	0.50 g	0.01 mg	5.0×10^4
II. Radionuklide:			
^{137}Cs	210 mCi	$3.3 \times 10^{-9} Ci$	6.4×10^7
3H	70 Ci	$7.0 \times 10^{-7} Ci$	1.0×10^8
^{90}Sr	70 mCi	$2.6 \times 10^{-10} Ci$	2.6×10^8
^{226}Ra	35 mCi	$0.79 \times 10^{-10} Ci$	4.3×10^8

Die Einschätzung der Gefahr durch Benzpyren wird durch /Vohra, 1977/ bestätigt. Nach /Carnow, 1973/ ergibt sich aus einem Anstieg der Benzpyren-Konzentration um 1 ng/m^3 ein Anstieg des Lungen-Krebsrisikos um 5 %.

Bei einem weltweit gemittelten Risiko von $500 \cdot 10^{-6}$, im Laufe des Lebens an Krebs der Lunge und des Respirationstrakts zu erkranken, ergeben sich also für eine Konzentrationszunahme des Benzpyren um 1 ng/m^3 25 zusätzliche Krebsfälle. Schon heute liegen die Benzpyren-Konzentrationen in städtischen Gebieten im Bereich von $1 - 4 \text{ ng/m}^3$.

Bei der früher von der ICRP empfohlenen Dosis von 500 mrem/a /ICRP 15/ kommt man zu einer Lungenkrebsrate von $100 \cdot 10^{-6}$. Das bedeutet, daß das Lungenkrebsrisiko aus einem einzigen chemischen Schadstoff in der gleichen Größenordnung wie das bei der von der ICRP zugelassenen Strahlenbelastung liegt; man könnte also ein "rem dose equivalent" für Benzpyren von 8 ng/m^3 errechnen, bezogen auf eine Krebsrate von $200 \cdot 10^{-6}$, die sich aus der Belastung mit 1 rem ergeben würde.

Ein von der "American Environmental Mutagen Society" eingesetztes "Committee 17" hat die Definition eines "rem equivalent chemical" (REC) vorgeschlagen, um das Risiko chemischer Schadstoffe zu quantifizieren. REC ist die "Dosis oder Konzentration multipliziert mit der Einwirkungszeit", die einen genetischen Schaden hervorruft, der dem durch lebenslange Einwirkung von 1 rem entspricht /Murthy, 1977/. In /Ehrenberg, 1974/ wird abgeschätzt, daß die Belastung mit 5 ppm Äthylen-Oxid in einer 40-Stundenwoche einer Strahlenbelastung von 4 rad entspricht. Da 50 ppm zulässig sind, käme man zu einer Wochendosis von 40 rad!

Das "Committee 17" hat abgeschätzt, daß der augenblickliche menschliche Verzehr von NaNO_2 (Na-Nitrit) einer Generationsbelastung von 8 rem entspricht /Committee 17, 1975/. Von Murthy wird das Strahlenäquivalent aller chemischen Schadstoffe, die auf den modernen Menschen einwirken, mit 4 - 18 rem angegeben, s. Tab. 11.2:

Tab. 11.2 Abschätzung der Gefährdung durch Chemikalien, ausgedrückt in "äquivalenten Strahlendosen" *

Chemische Verbindung	äquivalente Strahlendosis
Äthylen-Oxid 5 ppm/40 h	4 rem
NaNO_2 (augenblicklicher Verbrauch)	8 rem/Generation
Wirkung aller chemischen Schadstoffe in Bezug auf Krebsentstehung	4-18 rem/Generation
Geschätzte Zahl von Todesfällen durch Krebs in der chemischen Industrie	10-30/10.000 Arbeiter

*Aus der chemischen Industrie sind zahlreiche Fälle von Berufskrebs bekannt, während im kerntechnischen Bereich keine Zunahme bösartiger Krankheiten beobachtet wurde, abgesehen von den Fällen der Zifferblattmalerinnen und der Uranminenarbeiter.

Neben künstlichen zivilisationsbedingten cancerogenen Stoffen sind in unserer Umwelt zweifellos auch natürliche cancerogene Stoffe enthalten. Die neueren Ergebnisse von Tierversuchen weisen darauf hin, daß die Bedeutung dieser natürlichen Cancerogene bislang unterschätzt wurde /Schmähl, 1972/. Gerade eines der am stärksten und am weitesten verbreiteten Cancerogene ist natürlichen Ursprungs. Es handelt sich um das Aflatoxin, ein Stoffwechselprodukt bestimmter Schimmelpilzarten. Eine signifikante cancerogene Wirkung des Aflatoxins ist bei langzeitiger Aufnahme bereits bei Tagesdosen im μg -Bereich zu erwarten. Die Bedeutung dieses Befundes wird erkennbar, wenn man berücksichtigt, daß in verschimmelten Lebensmitteln (Brot, Obst, Speck) Aflatoxin-Konzentrationen von 10 bis 1000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Lebensmittel erreicht werden (Wir wissen heute auch, daß einige Pflanzen, wie z.B. Farnkraut, cancerogenen Wirkungen hervorrufen können).

In Analogie zur Strahlung, wo wir die zivilisatorische Strahlenbelastung vergleichen mit dem natürlichen Strahlenpegel, müssen wir auch bei den cancerogenen chemischen Umwelteinflüssen eine sicher nicht unerhebliche natürliche Exposition durch cancerogenen Stoffe in Betracht ziehen. Wir sind aber heute weit davon entfernt, eine genügend sichere, quantitative Aussage über den Anteil des Krebsrisikos durch natürliche und künstliche Cancerogene in unserer Umwelt machen zu können /Jacobi, 1974/. Aus diesem Grunde müssen wir in Zukunft darum bemüht sein, Ähnlichkeiten des Wirkungsmechanismus ionisierender Strahlen und cancerogener Chemikalien aufzudecken und das gleiche Risikokzept bei der Festlegung von Grenzwerten für beide Arten von Agentien anzuwenden. Bei einem solchen Vergleich fällt vor allem die bemerkenswerte Analogie bei der Kinetik der Krebsbildung durch Strahlen und Chemikalien auf.

Beim Strahlenkrebs nimmt die Latenzzeit für Krebsbildung mit sinkender Dosis bzw. Dosisleistung zu /Jacobi, 1972; Rosenblatt, 1971; Bair, 1974/. Zu gleichen Folgerungen führten Tierexperimente zur Krebsbildung durch chemische Stoffe, z.B. die Untersuchungen von Druckrey und Schmähl über die Wirkung einer chronischen Aufnahme von Diäthylnitrosamin (DNA) bei Ratten /Druckrey, 1962/. ..
Übereinstimmend deuten alle Befunde darauf hin, daß die Zunahme der mittleren Krebsinduktionszeit mit fallender Dosis oder Dosisleistung ein genereller Effekt ist, der in gleicher Weise bei der Einwirkung ionisierender Strahlung

oder von Chemocarcinogenen auftritt. Diese Analogie ist verständlich, da sich die carcinogene Wirksamkeit von Strahlen und Chemikalien nur hinsichtlich der Primärreaktion unterscheidet. Die anschließenden, langsam ablaufenden Folgereaktionen in der Zelle und im Organ, die für die Krebsbildung verantwortlich sind, sind in beiden Fällen identisch /Jacobi, 1974/.

Glossar

Medizinische Fachausdrücke

anaphylaktischer Schock:	Besondere Allergie gegen Eiweißkörper aufgrund von Antikörper - Antigen-Wirkung
aplastische Anämie	: Versagen der roten Zellbildung im Knochenmark
Enteritis	: Darmentzündung
Enzephalitis	: Gehirnentzündung
Enzephalopathie	: spezielle Gehirnerkrankung, besonders durch Blei hervorgerufen
Epithelmetaplasien	: Umwandlung des Epithelgewebes in eine verwandte Gewebeart
Erythrodermie	: hochgradige Entzündung der Haut
Hyperkeratose	: Zunahme der Hornschicht vom Arzt erzeugt
iatrogen	: vom Arzt erzeugt
Melanom	: meist außerordentliche bösartige Geschwulst, durch dunkle Pigmente (Melanin) gefärbt
Nephritis	: Nierenentzündung
Parenchym	: spezifische Zellen eines Organs im Gegensatz zum interstitiellen (Zwischengewebe) oder Gerüstgewebe
rezidivierend	: zeitweise wiederkehrend, periodisch

Fachausdrücke im Zusammenhang mit der Krebsentstehung - Carcinogenese

Der Ausdruck "Carcinogenese" ist eigentlich nicht korrekt, weil er Sarkome und frühkindliche Tumoren nicht mit erfaßt.

Carcinome : maligne Tumoren von epithelialen Organen und Geweben einschließlich der Drüsenanhänge

Sarkome : maligne Tumoren von Stütz-, Binde- und Füllgeweben

blastogen : Gewächs-, Geschwulst-, Tumor-erzeugend

Synblastogenese : Zusammenwirken verschiedener Blastogene

praeblastogen : reversibel krebsbegünstigend

cancerogen : irreversibel krebsauslösend

teratogen : Mißbildungen erzeugend

iatrogen : vom Arzt erzeugt

Abkürzungen, die bei der Grenzwertsetzung gebräuchlich sind

adi : acceptable daily intake

AQS : air quality standard

MAC : { maximum atmospheric concentration
 { maximum allowable concentration

MAK : maximale Arbeitsplatz-Konzentration

MIK : maximale Immissions-Konzentration

MPC : maximum permissible concentration

MPL : maximum permissible level

TLV : threshold limit value

Definitionen der "Food and Agriculture Administration" (FAO) und
World Health Organisation" (WHO)

- "Pestizid-Rückstand" Rückstand einer Chemikalie, die zur Kontrolle von Krankheiten und Schädlingen benutzt wird, einschließlich ihrer Derivate in oder auf einem Nahrungsmittel (ppm)
- "unbeabsichtigte Rückstände" z.B. durch Boden übertragen
z.B. in Tieren
z.B. aus nicht landwirtschaftlicher Chemie
- "terminal residues"
(Endrückstände) nach Wechselwirkung im Boden, in der Pflanze, während der Lagerung und Verarbeitung, beim Kochen
- "Toleranz" Maximale Konzentration (ppm) in oder auf einem Nahrungsmittel
gesetzliche obere Grenzkonzentration,
Aufnahme der "Toleranz" darf nicht zu einer Überschreitung des adi (mg Chemikalie/kg Körpergewicht) führen, bezogen auf das ganze Leben
- Kein direkter Zusammenhang zwischen Toleranzdosis und Toxizität. Toleranz wird eher durch die "gute landwirtschaftliche Praxis" bestimmt.

Literatur

(Die Literaturangaben sind für die einzelnen Abschnitte alphabetisch geordnet).

Literatur zu Abschnitt 1:

Einleitung

/Failla, 1977/

Failla, L.;

Comparison between Worker-Deaths in Modern Industries and in Nuclear Activities, (1977) 24 S.

CNEN-RT/PROT(77)15

/Grümm, 1977/

Grümm, H.;

Wissenschaft, Technik und Öffentlichkeit

Bull. d. Schweiz. Elektrotechn. Vereins, Heft 21 (29.10.1977), pp. 1110-1124

/Jahn, 1976/

Jahn, W.;

Das allgemeine Schadensrisiko: Häufigkeit und Erfassung der Schäden in H. Gremmel u.a. (Hrsg.) "Risiko der Gefährdung durch die Strahlenexposition in der Medizin", Thieme-Verlag, Stuttgart (1976)

/ICRP 26/

ICRP Publication 26;

Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, Oxford: New York: Frankfurt (1977)

/Schraufstätter, 1969/

Schraufstätter, E;

Chemische Industrie und ökologisches Risiko in "Aspekte der chemischen und toxikologischen Beschaffenheit der Umwelt",

Internationales Symposium, München 1969, Thieme-Verlag, Stuttgart (1969)

/StrlSchV, 1976/

Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen,

Bundesgesetzblatt, 20.10.1976

Literatur zu Abschnitt 2:

Toxikologie

/Casarett, 1975/

Casarett, L.J. and Doull, J.;
Toxicology - The Basic Science of Poisons
Macmillan Publishing Co, Inc., New York (1975)

/Gershinowitz, 1969/

Gershinowitz, H.; "Die Komplexizität ökologischer Probleme" in
Aspekte der chemischen und toxikologischen Beschaffenheit der Umwelt",
Internationales Symposium, München 1969, Thieme-Verlag, Stuttgart, (1969)

/Müller, 1976/

Müller, R.K.;
Die toxikologisch-chemische Analyse,
Verlag Chemie, Weinheim. New York (1976)

/Schwarz, 1977/

Schwarz, K.;
Essentiality versus Toxicity of Metals in
"Clinical Chemistry and Chemical Toxicology of Metals",
hrsg. von S.S. Brown, Elsevier / North-Holland (1977)

Literatur zu Abschnitt 3:

Krebs

/Bauer, 1963/

Bauer, K.H.;
Das Krebsproblem, 2. Auflage,
Springer, Berlin, (1963)

/Bönig, 1959/

Cancerogene Substanzen in der Wirtschaft,
Mitteilungsblatt der Gesellschaft für Bekämpfung der Krebskrankheiten
Nordrhein-Westfalen e.V.,
Düsseldorf, Heft 3, p. 45 ff. (1959)

/Einbrodt, 1976/

Einbrodt, H.J.;
Synergistic Effects of Air Pollutants on the Lung
Proceedings of the 20th Annual OHOLO Biological Conference,
Ed. by E.F. Aharnonson et al., New York, pp. 160-170 (1976)

/Heineke, 1903/

Heineke, H.;
Münch. Med. Wochsch. 48, 2089 (1903)

/Manstein, 1977/

Manstein, B.;
Strahlen.Gefahren der Radioaktivität und Chemie
S. Fischer, Frankfurt (1977)

/Schlipköter, 1971/

Schlipköter, H.-W.; Bruch, J.; Brockhaus, A.; Fodor, G.G.;
Die Lunge als Aufnahmeorgan für feste, flüssige und gasförmige Immissionen,
Praxis der Pneumologie, 25. Jahrgang, Heft 9, pp. 505-518 (1971)

/WWF, 1974/

Wirtschaft, Wissenschaft und Forschung, Heft 19 (1974)

Literatur zu Abschnitt 4:

Mutagenese

/Auerbach, 1947/

Auerbach, C.; Robson, J.M. and Carr, J.R.;
The Chemical Production of Mutations, Science 105, pp. 243-247 (1947)

/Ehling, 1973/

Ehling, U.H.;
Mutagenitätsprüfung von Fremdstoffen
Schr. Reihe Ver. Wass.-Boden-Lufthyg., Berlin-Dahlem, H. 40,
Stuttgart (1973)

/Ehling, 1975/

Ehling, U.H.;
Methodik der Mutagenitätsprüfung
zusammengestellt von U. H. Ehling
GSF-Bericht B 565 (1975)

/Ehling, 1976/

Ehling, U.H.;
Die Gefährdung der menschlichen Erbanlagen im technischen Zeitalter
Rö Fo: Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der Nuklear-
medizin 124, p. 166-171 (1976)

/Evans, 1977/

Evans, H.J.;
"Molecular Mechanisms in the Induction of Chromosome Aberrations" in
"Progress in Genetic Toxicology", Proceedings of the Second International
Conference on Environmental Mutagens, Edinburgh, 1977, ed. by D. Scott, B.A.
Bridges and F.H. Sobels; Elsevier/North-Holland, Amsterdam . New York . Oxford (1977)

/Fishbein, 1970/

Fishbein L.; Flamm, W.G.; Falk, H.L.;
Chemical Mutagens - Environmental Effects on Biological Systems
New York, Academic Press (1970)

/Hotz, 1977/

Hotz, G.;

Combined Effects of UV-Light and Ethylmethanesulfonate
(EMS) on Mutation Induction in Escherichia Coli WP2

"Progress in Genetic Toxicology"; Proceedings of the Second International
Conference on Environmental Mutagens, Edinburgh, 1977, ed. by D. Scott,
B.A. Bridges and F.H. Sobels; Elsevier/North-Holland, Amsterdam .
New York . Oxford (1977)

/Magee, 1977/

The Relationship between Mutagenesis, Carcinogenesis and Teratogenesis in
"Progress in Genetic Toxicology",

Proceedings of the Second International Conference on Environmental Mutagens,
Edinburgh, 1977, hrsg. von D. Scott; B. A. Bridges; F. H. Sobels;
Elsevier/North-Holland, Amsterdam . New York . Oxford (1977)

/Muller, 1927/

Muller, H.J.;

Artificial transmutation of the gene, Science 66, pp. 84-87 (1927)

/Neubert, 1977/

Neubert, D.;

"Nature and Levels of Chemical Environmental Mutagens, Industrial Exposure
and Population at Risk"

Institut für Toxikologie und Embryonalpharmakologie, FU Berlin, 1977 in
"Progress in Genetic Toxicology"; Proceedings of the Second International
Conference on Environmental Mutagens, Edinburgh, 1977, ed. by D. Scott,
B.A. Bridges and F.H. Sobels; Elsevier/North-Holland, Amsterdam .
New York . Oxford (1977)

/Shaw, 1970/

Shaw, M.;

Am. Rev. Med. 21, p. 409 (1970)

/Vogel, 1974/

Vogel, F.; Röhrborn, G. und Hausmann, I.;

Die Testung von Fremstoffen auf Mutagenität

Arzneimittelforschung 24, Nr. 10, 1665 - 1677 (1974)

Literatur zu Abschnitt 5:Verschiedene Schadstoffe

(Hier sind Arbeiten zu Hg, Cd und AS eigens aufgeführt)

/Bönig, 1959/

Cancerogene Substanzen in der Wirtschaft,
Mitteilungsblatt der Gesellschaft zur Bekämpfung der Krebskrankheiten
Nordrhein-Westfalen e.V.,
Düsseldorf, Heft 3, p. 45 ff. (1959)

/Antweiler, 1975/

Antweiler, H.;
Einwirkung und Grenzwerte gasförmiger Luftverunreinigungen
Öff. Gesundheitswesen 37, 513 - 519 (1975)

/Brocke, 1973/

Brocke, W.;
Die Luftbelastung durch Emissionen konventioneller Kraftwerke in
"Umweltschutz bei nuklearer und konventioneller Energiegewinnung",
Strahlenschutz in Forschung und Praxis XII, hrsg. von H. Braun et al.
Thieme-Verlag, Stuttgart (1973)

/Epstein, 1976/

Epstein, S.S.;
Regulatory Aspects of Occupational Carcinogens:
Contrasts with Environmental Carcinogens in
C. Rosenfeld (Hrsg.) : "Environmental Pollution and Carcinogenic Risks"
World Health Organisation - International Agency for Research of Cancer-
Institut national de la santé et de la recherche médicale. Lyon (1975)

/Feldstein, 1969/

Feldstein, M.;
Toxicity and Analysis of Air Pollutants
Journal of Forensic Sciences 14, 337-351 (1969)

/Guderian, 1973/

Guderian, R.;
Schäden an Vegetation und Nahrung durch Immissionen aus konventionellen
Kraftwerken in
"Umweltschutz bei nuklearer und konventioneller Energiegewinnung",
Strahlenschutz in Forschung und Praxis XII, hrsg. von H. Braun et al.
Thieme-Verlag, Stuttgart (1973)

/Corn, 1971/

Corn, M.;

Dose to the Respiratory Tract from Personal, Occupational and Community
Air Pollutants,

Environ.Lett. 1, pp. 29-39 (1971)

/Dreisbach, 1971/

Dreisbach, R.H.;

Handbook of Poisoning, 7th ed., Los Altos, Calif.: Lange Medical Publications (1971)

/Einbrodt, 1973/

Einbrodt, H.J.; Kinny, H.;

Immissionschäden beim Menschen durch konventionelle Kraftwerke in
"Umweltschutz bei nuklearer und konventioneller Energiegewinnung",
Strahlenschutz in Forschung und Praxis XII, hrsg. von H. Braun et al.
Thieme-Verlag, Stuttgart (1973)

/Harrion, 1973/

Harrion, Paul, R.;

Air Pollution by Lead and other Trace Metals in

"Advances in Experimental Medicine and Biology", Vol. 40, 1973:

Studies of Some Biochemical and Environmental Problems

/Heit, 1977/

Heit, M.;

A Review of Current Information on Some Ecological and Health Related
Aspects of the Release of Trace Metals into the Environment Associated
with the Combustion of Coal (June 1977)

/Löfroth, 1970/

Löfroth, G.;

Methylmercury, Ecological Research Committee, Bulletin No. 4, 2nd ed.,
Stockholm, Swede, Swedish National Science Research Council (1970)

/Mc Kee, 1971/

Mc Kee, J.E. and Wolf, H.W.;

Water Quality Criteria, 2nd ed., Publication 3-A, April, 1971,
The Resources Agency of California

/Pierce, 1972/

Pierce, P.F. et al.;

J. Am. Med. Assoc. 220, 1439 (1972)

/Plunkett, 1976/

Plunkett, E.R.;

Handbook of industrial toxicology. New York, N.Y.: Chemical Publ. Co. (1976)

/Rausch, 1973/

Rausch, L.;

Aktuelle Probleme des Umweltschutzes bei der Stromerzeugung unter Berücksichtigung der Beziehungen zwischen Umweltschutz und Strahlenschutz in "Umweltschutz bei nuklearer und konventioneller Energiegewinnung", Strahlenschutz in Forschung und Praxis XII, hrsg. von H. Braun et al. Thieme-Verlag, Stuttgart (1973)

/Schroeder, 1971/

Schroeder, H.A. and Nason A.P.;

Clin. Chem. 17, 461 (1971)

/US,1969/

United States Department of the Interior
Bureau of Mines, Minerals Yearbook, Vols. I-II,
Metals, Minerals, and Fuels, Washington, D.C.
U.S. Government Printing Office (1969)

/Weaver, 1971/

Weaver, N.K.;

Toxicologic Implications of Motor Gasoline and Auto Emissions
Industrial Medicine 40, 31-34 (1971)

/Windholz, 1977/

Windholz, N.; Budavari, S. (Hrsg.);

The Merck Index. An Encyclopedia of Chemicals and Drugs.

Merck (1977)

/Woolfrich, 1973/

Woolfrich, Paul F.;

Occurrence of Trace Metals in the Environment. An overview

American Industrial Hygiene Association Journal,

Vol. 34, No. 1, pp. 217-226 (1973)

Hg:

/Clerkson, 1972/

Clerkson, T.W.;

The Pharmacology of Mercury Compounds. Annual Review of Pharmacology 12, pp. 375-406 (1972)

/Friberg, 1972/

Friberg, L. and Voster, J. (Editors);

Mercury in the Environment

CRC-Press, Cleveland, Ohio (1972)

/Hammond, 1971/

Hammond, A.L.;

Science 171, 788, (1971)

/IAEA, 1972/

International Atomic Energy Agency: Mercury Contamination in Man and in Environment

Technical Reports Series No.137 (1972)

/MAC of Hg-Compounds, 1969/

Maximum Allowable Concentration of Mercury Compounds

Report of an International Committee, Arch. Environ. Health 19, 891-905 (1969)

/Magos, 1975/

Magos, L.;

Mercury and Mercurials

British Medical Bulletin 31, 241-245 (1975)

Cd:

/Catsch, 1964/

Catsch, A.;

"Radioactive Metal Mobilization in Medicine,

Springfield, Ill. und

Dekorporierung radioaktiver und stabiler Metallionen,

Thiemig, München (1964)

/Fleischer, 1974/

Fleischer, M. et al.;

Environmental Impact of Cadmium:

A Review by the Panel on Hazardous Trace Substances

Environmental Health Perspectives, May 1974, pp. 253-323

/Itokawa, 1973/

Itokawa, Y. et al.;

Bone Changes in Experimental Chronic Cadmium Poisoning

Archives of Environmental Health, 26, pp. 241-244 (1973)

/Yoshiki, 1975/

Yoshiki, S. et al.;

Bone and Kidney Lesions in Experimental Cadmium Intoxication,

Archives of Environmental Health, 30, pp. 559-562 (1975)

As:

/Bauer, 1963/

Bauer, K.H.;

Das Krebsproblem, 2. Auflage,
Springer, Berlin (1963)

/Blot, 1975/

Blot, W.J. et al.;

The Lancet, 7926 (1975)

/Jacobi, 1974/

Jacobi, W.;

Über das somatische Risiko durch radiologische und chemische Umwelteinflüsse
Atomkernenergie, Band 24, No. 4, S. 217-223 (1974)

/Savory, 1977/

Savory, J. and Seder, F.A.;

Arsenic Poisoning in

"Clinical Chemistry and Chemical Toxicology of Metals",

hrsg. von S.S. Brown, Elsevier/North-Holland (1977)

Literatur zu Abschnitt 6:

Blei

/Blokker, 1972/

Blokker, P.C.;

A Literature Survey on Some Health Aspects of Lead Emission from Gasoline Engines
Atmospheric Environment 6, pp. 1-18(1972)

/Cahill, 1975/

Cahill, D.F. et al.;

Biological Assessment of Continuous Exposure to Tritium and Lead in the Rat
International Symposium on Biological Effects of Low Level Radiation
Pertinent to Protection of Man and his Environment, Chicago (1975)

/Cantwell, 1972/

Cantwell, E.N.; Jacobs, E.S.; Kunz, W.G. Jr. and Liberi, V.E.;

SAE Paper No. 720672, Presented at the National Meeting of the Soc.
Automotive Engineers, May 26, 1972

/Edwards, 1971/

Edwards, H.W.; (Principal Investigator)

Impact on Man of Environmental Contamination Caused by Lead, NSF Grant GI-4,
Interim Report, Colorado State University,
Fort Collins, Colorado (1971)

/ESP, 1972/

Environmental Studies Program, An Interdisciplinary Study of Environmental
Pollution by Lead and other Metals, NSF IRPOS GI-26, RANN-GI-31605, Progress
Report from May 1, 1971 to April 30, 1972, Graduate College, University of
Illinois at Urbana-Champaign

/Fleishcher, 1972/

Fleishcher, M.;

Natural Sources of Some Trace Elements in the Environment, Cycling and Control of
Metals, Proceedings of the Environmental Resources Conference Columbus, Ohio,
Oct. 31-Nov. 2, 1972; Cincinnati, Ohio, National Environmental Research Center (1973)

/Goldwater, 1972/

Goldwater, L.J.;

An Assessment of the Scientific Justification for Establishing $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as the Maximum Safe Level for Airborne Lead.

Industrial Medicine 41, 13-18, (1972)

/Hicks, 1972/

Hicks, R.M.;

Air-Borne Lead as an Environmental Toxin. Chem.-Biol. Interactions 5, 361-390 (1972)

/Lin-Fu, 1972/

Lin-Fu, J.S.;

New England J. Med. 286, 702 (1972)

/Bryce, 1972/

Bryce-Smith, D.;

Lancet, Oct. 14, 817 (1972)

/Lutz, 1970/

Lutz et al.;

Lead Model Case Study, Battelle Memorial Institute Research Report (1970)

/NAS, 1972/

National Academy of Sciences, Committee on Biological Effects of Atmospheric Pollutants Lead: Airborn Lead in Perspective, Washington, D.C.

National Academy of Sciences, (1972)

/Umwelt, 60/

Umwelt 60;

Europäische Gemeinschaft will Bleibelastung einheitlich überwachen,

Informationen des Bundesministers des Innern zur Umweltplanung und zum

Umweltschutz (1978)

Literatur zu Abschnitt 7:

Verschiedene Bevölkerungsgruppen

/Epstein, 1976/

Epstein, S.S.;

Regulatory Aspects of Occupational Carcinogens:

Contrasts with Environmental Carcinogens in

C. Rosenfeld (Hrsg.): Environmental Pollution and Carcinogenic Risks".

World Health Organisation - International Agency for Research on Cancer -

Institut national de la santé et de la recherche médicale. Lyon (1975)

/Jacobi, 1974/

Jacobi, W.;

Über das somatische Risiko durch radiologische und chemische Umwelteinflüsse,

Atomkernenergie 24, No. 4, pp. 217-223 (1974)

/Kettner, 1973/

Kettner, H.;

Zur Frage der Normierung physikalisch-chemischer Luftverunreinigungen in Innenräumen

Gesundheits-Ingenieur 94, pp. 44-51 (1973)

/Kraybill, 1977/

Kraybill, Herman F. (Hrsg.);

Environmental cancer. Ed. by Herman F. Kraybill, Myron A. Mehlman.

Hemisphere Publ. Co., Washington,

(Advances in modern toxicology, Vol. 3.) (1977)

/Schwarz, 1977/

Schwarz, K.;

Essentiality versus Toxicity of Metals in

Brown, Starley S. (Hrsg.)

Clinical chemistry and chemical toxicology of metals.

Proc. of the 1st internat. symp. org. by the Commission on Toxicology,

⁺IUPAC sect. on clinical chemistry, held at Monte Carlo, 2-5 March, 1977.

Spons. by the International Union of Pure and Applied Chemistry,

International Federation of Clinical Chemistry and Association of Clinical

Scientists, Elsevier/North-Holland (1977)

Literatur zu Abschnitt 8:

Gesetzliche Grenzwerte

/Antweiler, 1975/

Antweiler, H.;

Einwirkung und Grenzwerte gasförmiger Luftverunreinigungen

Öffentl. Gesundheits-Wesen 37, pp. 513-519 (1975).

/Fachblatt, 1978/

Liste der maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen,

Fachblatt "Arbeitsschutz" des Bundesministers für Arbeit und Sozialordnung (1978)

H.10, S.341-51

/Henschler, 1960/

Henschler, D.; Stier, A.; Beck, H. und Neumann, W.;

Geruchsschwellen einiger wichtiger Reizgase (Schwefeldioxyd, Ozon, Stickstoffdioxyd) und Erscheinungen bei der Einwirkung geringer Konzentrationen auf den Menschen.

Arch. Gewerbepath. Gewerbehyg., Band 17, pp. 547 - 570 (1960)

/Henschler, 1977/

Henschler, D.;

Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe, Toxikologisch - arbeitsmedizinische

Begründungen von MAK-Werten, hrsg. von D. Henschler,

Verlag Chemie, Weinheim (1977)

/Renovanz, 1974/

Renovanz, H. D.;

Inhalative Noxen

Med. Monatsschrift, 28. Jahrgang, pp. 28-30 (1974)

/TA Luft, 1974/

Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, 1. Allgemeine Verwaltungsschrift

zum Bundesimmissionsschutzgesetz, 12.7.1974

Literatur zu Abschnitt 9:

Vergleich mit dem Ausland

/Air Quality, 1970/

Air Quality Criteria Documents;

Nat. Air Pollut. Contr. Admin.; Washington, D.C. Documents available:

Sulfur dioxide, Carbon monoxide, Hydrocarbons, Oxidants, Nitrogen dioxide,
Particulates (1970)

/Air Quality Criteria, 1970/

Air Quality Criteria and Guides;

Rep. Interregional Symp., World Health Organ. Geneva (1970)

/Coburn, 1967/

Coburn, R.F.;

Acta Med. Scand. (Suppl. 472), 269-82 (1967)

/Documentation, 1971/

Documentation of Threshold Limit Values for Substances in Workroom Air,

Am. Conf. of Govt. Industrial Hygienists, 3rd Ed. Cincinnati, Ohio (1971)

/Documentation of MAC, 1969/

Documentation of MAC in Czechoslovakia;

Czechoslovak Comm. MAC, Praha (1969)

/MPC, 1970/

Maximum Permissible Concentrations of Harmful Substances in the Air of a
Working Area. Moscow, USSR (1970)

/MPC, 1971/

Maximum Permissible Concentrations of Pollutants in the Ambient Air.

Moscow, USSR (1971)

/Permissible Limits, 1968/

Permissible Limits for Toxic Substances in the Working Environment and
Criteria for Their Assessment.

Occupational Health and Safety Branch, I.L.O., Geneva, Switzerland (1968)

/Sobels, 1977/

Scott, D.; Bridges, B.A. and Sobels; F.H.; (Editors);

"Progress in Genetic Toxicology"

Proceedings of the Second International Conference on Environmental
Mutagens, Edinburgh, (1977)

/Stokinger, 1972/

Stokinger, H.E.;

Toxicity of Airborne Chemicals:

Air Quality Standards - A National and International View, Annual Review
of Pharmacology, Vol. 12, p. 407-422 (1972)

Literatur zu Abschnitt 10:

Forschungsprogramme

/AGF, 1977/

Programmbudget der Arbeitsgemeinschaft der Großforschungseinrichtungen (AGF); Bonn 1977

/Aspekte, 1969/

Aspekte der chemischen und toxikologischen Beschaffenheit der Umwelt, Dokumentation des 1. Internationalen Symposiums, München
Thieme-Verlag - p. 72 (1969)

/BMFT, 15.3.1977/

/BMFT, 5.7.1977/

/BMFT, 20.9.1977/

BMFT - Mitteilungen, Eine Information des Bundesministeriums für Forschung und Technologie, vom jeweils angegebenen Datum

/DFG, 1975/

Denkschrift "Toxikologie" der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), Harald-Boldt-Verlag, Boppard (1975)

/EMRC, 1974/

Document 74 (19) - Addendum 20 of the European Medical Research Councils (1974)

/Umwelt 56, 1977/

Informationen des Bundesministers des Inneren zur Umweltpflege und zum Umweltschutz, Heft 56, (1977)

Literatur zu Abschnitt 11:

Schlußfolgerungen

/Bair, 1974/

Bair, W.J.; Thompson, R.C.;
Plutonium-Biomedical Research,
Science 183, 715-722 (1974)

/Bauer, 1963/

Bauer, K.H.;
Das Krebsproblem, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg
p. 83 (1963)

/Bridges, 1977/

Bridges, B.A.;
Radiation-equivalent dose of chemical mutagens: problems and perspectives in
"First European Symposium on Rad-Equivalence"; Proceedings of the Seminar on
Radiobiology - Radiation Protection - Orsay 1976, EUR 5725e (1977)

/Buddeberg, 1972/

Buddeberg, D;
Über den Zusammenhang von Lufttemperatur und Atemwiderstand bei chronisch
obstruktiver Bronchitis - Dissertation, Frankfurt, Johann Wolfgang Goethe
Universität, (1972)

/Buehring, 1976/

Buehring, W.A.; Dennis, R.C.; Hölzl, A.;
Evaluation of Health Effects from Sulfur Dioxide Emissions for a Reference
Coal-Fired Power Plant - Research Memorandum RM 76-23
International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, (1976)

/Carnow, 1973/

Carnow, B.W. and Meier, P.;
Arch. Environ. Health 27, 207 (1973)

/Committee 17, 1975/

Environmental Mutagenic Hazards
Report of Committee 17
Science 187, p. 503 (1975)

/Coulston, 1969/

Coulston, F.;

Trends in der modernen Toxikologie am Beispiel von Pestiziden und verwandten Verbindungen in

"Aspekte der chemischen und toxikologischen Beschaffenheit der Umwelt",

Dokumentation des 1. Internationalen Symposiums, München

Thieme-Verlag, p. 143 (1969)

/Druckrey, 1962/

Druckrey, H.; Schmähl, D.;

Quantitative Analyse der experimentellen Krebserzeugung.

Naturwiss. 49, 217-228 (1962)

/Ehrenberg, 1974/

Ehrenberg, L.; Hiesche, K.D.; Osterman-Golkar, S. and I. Wennberg

Evaluation of Genetic Risks of Alkylating Agents:

Tissue Doses in the Mouse from Air Contaminated with Ethylene Oxide,

Mutation Research, 24, pp. 83-103 (1974)

/Ehrenberg, 1977-a/

Ehrenberg, L. and Osterman-Golkar, S.;

Reaction kinetics of chemical pollutants

as a basis of risk estimates in terms of rad-equivalence in

"First European Symposium on Rad-Equivalence", Proceedings of the Seminar on Radiobiology - Radiation Protection - Orsay 1976, EUR 5725e (1977)

/Ehrenberg, 1977-b/

Ehrenberg, L.;

Seminar-Vortrag im Institut für Genetik und für Toxikologie der Spaltstoffe des KfK, 15.12.1977

/Henschler, 1973/

Henschler, D.;

Veränderungen der Umwelt - Toxikologische Probleme.

Angew. Chem. 85, 317-326 (1973)

/Hettche, 1971/

Hettche, H.O.;

Luftverunreinigung und Lungenkrebs

Naturwissenschaften, 58. Jg., Heft 8, p. 409 (1971)

/ICRP 15/

Recommendations of the International Commission on Radiological Protection
- Protection against Ionizing Radiation from External Sources,
ICRP Publication 15, Pergamon Press (1969)

/Ilyin, 1977/

Ilyin, L.A.; Kuizhnikov, V.A.; Barkhudarov, R.M.;
A Relative Risk Estimation of Excessive Frequency of Malignant Tumors in
Population due to Discharge into the Atmosphere from Fossil - Fuel and
Nuclear Power Stations in
IVth International Congress of the International Radiation Protection
Association, Paris, p. 189, (1977)

/Jacobi, 1972/

Jacobi, W.;
Tendenzen der ICRP. Tagungsbericht Fachverband für Strahlenschutz,
Karlsruhe, Mai 1972, S. 91-103

/Jacobi, 1974/

Jacobi, W.;
Über das somatische Risiko durch radiologische und chemische Umwelteinflüsse,
Atomkernenergie 24, No. 4, pp. 217-223 (1974)

/Latarjet, 1976/

Latarjet, R.;
Les risques cancérogènes liés à la pollution par les radiations in
Rosenfeld, Claude (Hrsg.)
World Health Organization. International Agency for Research on Cancer.
Institut national de la santé et de la recherche médicale.
Environmental pollution and carcinogenic risks. Pollution de l'environne-
ment et risques cancerogènes. Lyon, 3-5 Nov. 1975

/Latarjet, 1977/

Latarjet, R.;
Quantitative mutagenesis by chemicals and by radiations:
prerequisites for the establishment of rad-equivalences in
"First European Symposium on Rad-Equivalence," Proceedings of the Seminar on
Radiobiology - Radiation Protection - Orsay 1976, EUR 5725e (1977)

/Maaß, 1969/

Maaß, H.; Sachs, H.; Pauka, B.;

Epidemiologische Untersuchung bösartiger Neubildungen in Hamburg 1960 - 62,
Z. Krebsforsch. 73 (1969), 1

/Meissner, 1973/

Meissner, J.;

Biologische Auswirkungen der Emissionen von Schadstoffen durch technische
Anlagen, insbesondere durch Kraftwerke. VGB-Konferenz
"Kraftwerke und Umwelt", Essen 1973

/Murthy, 1977/

Murthy, M.S.S.;

Radiation and Chemical Mutagenic Agents-Should we have a Single Exposure
Limit ? in
IVth International Congress of the International Radiation Protection
Association, Paris, p. 189 (1977)

/Ramzaev, 1977/

Ramzaev, P.V.; Zasedatelev, A.A.; Kuprianova, V.M.; Mashneva, N.I.;
Negrienko, K.V.; Rodionova, L.F.; Sukalskaya, S.Ya.; Shubik, V.M.;
Relative Biological Effectiveness of Radioactive and Chemical Harmful
Substances in
IVth International Congress of the International Radiation Protection
Association, Paris, p. 189 (1977)

/Rosenblatt, 1971/

Rosenblatt, L.S.; Hetherington, Goldman, M.; Bustad, L.K.;

Evaluation of Tumor Incidence Following Exposure to Internal Emitters by
Application of the Logistic Dose-Response Surface,
Health Phys. 21, 869-875 (1971)

/Sankaranarayanan, 1977/

Sankaranarayanan, K.;

Protection against Genetic Hazards from Environmental Chemical Mutagens:
Experience with Ionizing Radiation in
"Progress in Genetic Toxicology", Proceedings of the Second International
Conference on Environmental Mutagens, Edinburgh, hrsg. von
D. Scott, B.A. Bridges und F. H. Sobels (1977)

/Schlipköter, 1971/

Schlipköter, H.W.; Dolgner, R.;
Gesundheitsgefährdung durch Verunreinigung der Luft,
Atomwirtschaft 16, 188-293 (1971)

/Schmähl, 1972/

Schmähl, D.;
Karzinogene Faktoren in der Umwelt
Umschau 72, 288-289 (1972)

/Segi, 1969/

Segi, M.; Kurihara, M.; Matsuyama, T.;
Cancer Mortality for Selected Sites in 24 Countries;
Vol. 5 (1964-1965); Sendai: Tohoku Univ. School Med. (1969)

/Sobels, 1977/

Sobels, F.H.;
Some Problems in the Evaluation of Environmental Mutagens in
"Conference on Rad Equivalence", Orsay 1976, EUR 5725 e, (1977)

/TA-Luft, 1974/

Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft;
1. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz
v. 12.7.1974

/Vohra, 1977/

Vohra, K.G.;
A Comparative Study of the Risks of Cancer Mortality from Ionizing
Radiation and Chemical Pollutants in
IVth International Congress of the International Radiation Protection
Association, Paris, p. 189 (1977)

/Weisburger, 1971/

Weisburger, J.H.; Weisburger, E.K.;

Chemical Carcinogens, Cancer Research and the Prevention of Cancer.

S. 3-28 in Akt. Probl. a.d. Gebiet d. Cancerologie III

(Hrsg. H. Lettre, G. Wagner), Springer-Verlag 1971

/Zimmer, 1973/

Zimmer, M.;

Dosiswirkungsbeziehungen von Luftverunreinigungen beim Menschen unter besonderer Berücksichtigung von Ballungsgebieten.

GSF-Bericht Ö 70, Januar 1973, S. 228