

**Zeitschrift:** Wechselwirkung : Technik Naturwissenschaft Gesellschaft  
**Herausgeber:** Wechselwirkung  
**Band:** 1 (1979)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Schwermetalle : die biologische Zeitbombe  
**Autor:** Endler, Wolfgang  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-652968>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 20.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# CHEMIE und UMWELT

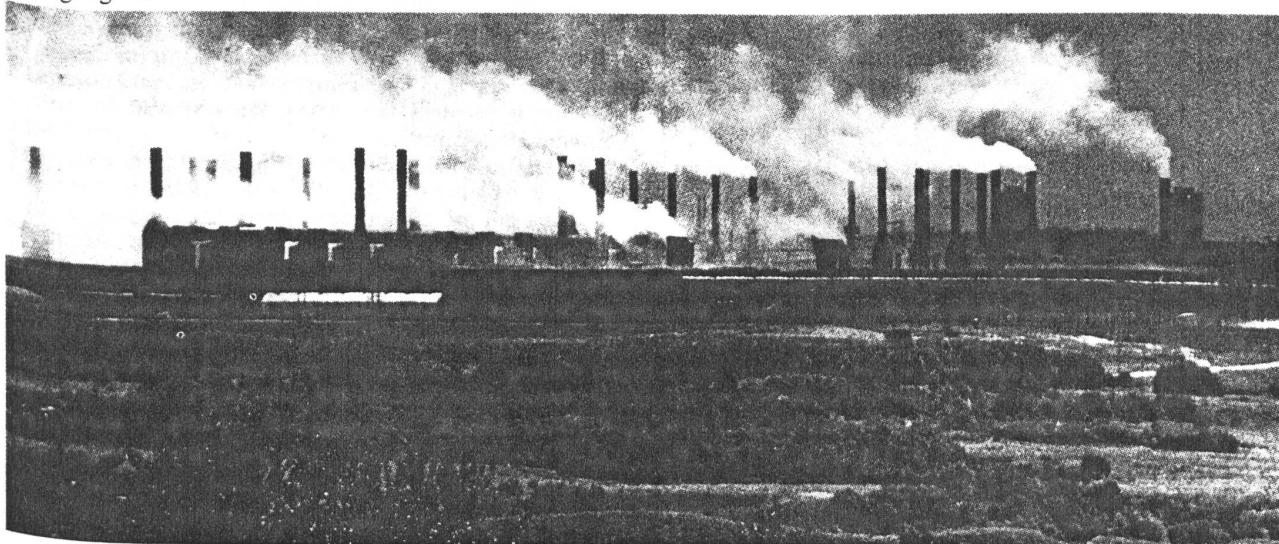
Chemie ist, wenn es kracht und stinkt ... Die Pennälerweisheit wird makaber: Wenn es kracht in der chemischen Industrie, kann das – wie in Seveso – furchtbare Folgen haben; wenn es stinkt – wie unlängst in Bayern – dann hat die Konzentration der Gaswolke die Geruchsschwelle überschritten, und das kann lebensgefährlich sein. Und wie viele ebenso gefährliche Wolken riechen wir nicht? Giftmüllskandale, verseuchtes Vieh und vergiftete Milch, Lösungsmittel im Grundwasser, erhebliche Schwermetallrückstände in den Haaren von Kindern in Industriegebieten – das alles gehört schon zum Zeitungsalltag, und immer mehr Menschen erfahren davon nicht nur aus den Zeitungen, sondern sehen sich selbst plötzlich mit den Gefahren der chemischen Industrie konfrontiert. Die Probleme existieren seit es die chemische Industrie gibt. Im 19. Jahrhundert gab es in der Nähe von Fabriken Flüsse, die man anzünden konnte, aber fast überall sonst war das Wasser klar und die Luft rein. Heute verteilen sich die Pestizidrückstände langsam über die Atmosphäre der ganzen Welt, und es gibt fast keinen Fluß oder Bach mehr ohne „Schadstoffbelastung“. Viele dieser Chemikalien bleiben uns lange erhalten, Sie sind von hoher „Persistenz“, d.h. sie werden nicht oder nur langsam in harmlose Verbindungen umgesetzt. Das geschieht auch in unserem Körper. Die tägliche kleine Dosis sammelt sich langsam zu einer bedrohlichen Menge an – und nicht nur das: wir sind auch das Ende der Nahrungskette, in der diese Akkumulation stattfindet. DDT, dessen Anwendung 1972 verboten wurde (und in den Ländern der Dritten Welt weitergeht), ist ein Beispiel. Wir werden bis zum Jahr 2000 mit den Rückständen zu leben haben. Die PCBs (polychlorierte Biphenyle) sind ein böser Nachfolger. Früher als Weichmacher in Plastikprodukten angewandt, sind sie noch in erheblichen Mengen in unserer Umwelt vorhanden, in arktischen Pinguinen ebenso wie in der deutschen Muttermilch. Dort zum Teil in so großen Mengen, daß die Milch nach amerikanischen Vorschriften nicht mehr zum menschlichen Genuss geeignet wäre. Beständigkeit und Anreicherung gefährlicher Chemikalien sind nicht das einzige Problem. Die Erhöhung der Giftigkeit durch das Zusammenwirken verschiedener Stoffe (Synergismus) und die chemische Umwandlung in der Umwelt und im Körper (Metabolismus) sind weitgehend noch unerforscht.

Wir versuchen, mit dem Schwerpunkt dieses Heftes beizutragen zu Information und Diskussion über die Gefahren der Chemie. Dazu gehört die sachliche Information über die Probleme. Schwermetalle, Pestizide und die Chlorierung von Trinkwasser sind unsere Themen. Die Nachrichten geben darüber hinaus eine Ahnung vom erschreckenden Umfang der Probleme. Die Frage nach Verhalten und Zielen der Wissenschaftler wird im Beitrag der Bremer Trinkwasserguppe gestellt. Ihre Forderung ist, die eifersüchtig gehüteten Fächergrenzen zu überwinden und Untersuchung, Bewertung und die politischen Konsequenzen zu vereinen. Zur Reaktion auf die Aufklärung über die Bedrohungen durch die Chemie haben wir Fritz Vahrenholz befragt, Mitautor des Buches „Seveso ist überall“. Im Gespräch wird auch die Frage gestellt nach den möglichen Aktivitäten der Betroffenen und die nach der Kontrollierbarkeit der Industrie. Der Entwurf eines Umweltchemikaliengesetzes und einer Störfallverordnung haben ihren Weg durch die Gesetzgebungsmaschinerie begonnen. Die Lobby der chemischen Industrie ist an der Arbeit. Einzelne Punkte der durchaus nicht befriedigenden Entwürfe, z.B. die Meldepflicht für Störfälle, werden entschieden bekämpft. Der Milch-Skandal von Gernsheim, über den wir kurz berichten, zeigt den hilflos-hilfreichen Umgang der Behörden mit der Industrie. Die Gefahren der Chemie, der Widerspruch zwischen den Profitinteressen der Industrie und unserem Anspruch auf Gesundheit und eine lebensfähige Umwelt werden uns weiter beschäftigen müssen.

## SCHWERMETALLE:

### Die biologische Zeitbombe

Wolfgang Endler



Spätestens seit den schweren Vergiftungen zahlreicher Menschen durch Quecksilber in Minamata und Niigata oder dem Rindersterben in der Nähe der Bleihütte Nordenham ist die Gefährdung der Umwelt und unseres Lebens durch giftige Schwermetalle größerer Teile der Bevölkerung bewußt geworden. In Zeitungen und Zeitschriften häufen sich in jüngster Zeit die Berichte über immer neue Umweltkandale und durch Vahrenholts Buch: Seveso ist überall, wurde die Komplexität der chemischen Gefährdung unserer Welt systematisch verdeutlicht. In diesem Artikel wird ein Überblick über den Stand der Forschung auf dem Gebiet der Schwermetallverseuchung, die Ursachen und möglichen Entwicklungen gegeben.

### Wie wirken Schwermetalle auf Lebewesen?

Als Schwermetalle (im folgenden SM) werden i.a. Elemente mit metallischen Eigenschaften bezeichnet, deren Dichte größer als 4,6 g/cm<sup>3</sup> ist (Römpf, 1972). Besonders bekannte Beispiele sind Kupfer (Cu), Zink (Zn), Quecksilber (Hg), Cadmium (Cd) und Blei (Pb). Die radioaktiven Metalle wie Uran, Thorium und andere sind ebenfalls SM, sollen aber wegen ihres besonderen Charakters hier nicht weiter behandelt werden.

Während die Ionen von Leichtmetallen, etwa Natrium und Kalium, in biologischen Systemen nun relativ leicht beweglich und deshalb z.B. wichtig für die Nervenleitung sind, sind die SM i.a. schwer beweglich. Dazu kommt, daß sie häufig von organischen Substanzen in Form von Komplexen (Chelatbildung) gebunden werden oder an einem spezifischen Ort des Moleküls stereochemisch festgelegt sind. In dieser Form sind sie häufig wirksamer Bestandteil von Enzymen oder können als Elektronenüberträger bei physiologischen Prozessen fungieren. Außerdem können einige SM in einem bestimmten Konzentrationsbereich spezifische Enzyme aktivieren, ohne selbst vom Molekül fest gebunden zu werden.

Wir wissen, daß einige SM, die dann als essentielle oder physiologische SM bezeichnet werden, für den Stoffwechsel aller Organismen lebensnotwendig sind. Genannt werden sollten hier vor allem Cu, Eisen (Fe) und Mangan (Mn); Zink z.B. ist notwendiger Bestandteil von mehr als 50 verschiedenen Enzymen. Erst in diesem Jahrhundert wurde übrigens die Unent-

### Enzyme

Enzyme sind hochmolekulare Kohlenstoffverbindungen, die jeweils bestimmte biochemische Reaktionen stark beschleunigen, ohne selbst im Endpunkt stofflich zu erscheinen (Biokatalyse). Sie bestehen meist aus einem Eiweißanteil (Apoenzym) und einer sogenannten prosthetischen Gruppe. Letztere kann bei den verschiedenen Enzymen chemisch unterschiedlich sein und enthält oft komplex gebundene SM-Atome, bzw. SM-Ionen. Der Metallanteil eines Enzyms ist sehr gering. In einem Molekül des roten Blutfarbstoffes Hämoglobin (Molekulargewicht 64.550) befindet sich nur ein Atom Eisen mit einem Atomgewicht 56. Enzyme sind weiterhin instabile Substanzen, die z.B. durch Erwärmung, pH-Änderung oder eine Vielzahl von Stoffen inaktiviert werden können.

behrlichkeit dieser SM für das Leben nachgewiesen. Der Haken liegt nun darin, daß für den Stoffwechsel nur sehr geringe Konzentrationen dieser SM erforderlich sind – wenn ihre Menge zunimmt, „überphysiologisch“ wird, wirken die SM giftig und beeinflussen den Stoffwechsel nachteilig, nicht anders als Leichtmetalle auch, wo zuviel Natrium aus dem Kochsalz sich, wie jüngst häufig zu lesen war, schädlich auf die Gesundheit auswirkt.

**Akkumulation oder Kumulation:** Erhöhung der Konzentration einer chemischen Verbindung in den Geweben der einzelnen Pflanzen und Tiere einer Nahrungskette.

**Ames-Test:** Nach seinem Entwickler benannter Labor-Test mit Bakterienkulturen für krebsfördernde und erbschädigende Eigenschaften von chemischen Verbindungen.

**Akute Toxizität:** Gifigkeit bei einmaliger Verabreichung

**Chronische Toxizität:** Gifigkeit bei Verabreichung über einen längeren Zeitraum.

**Chlorierte Kohlenwasserstoffe:** Eine große Zahl von organischen Verbindungen, bei denen mindestens ein Wasserstoffatom eines beliebigen Kohlenwasserstoffs durch Chlor ersetzt ist. Sie sind in der gesamten chemischen Industrie sowie in zahlreichen Gewerben (z.B. chemische Reinigung) als organische Lösungsmittel sehr beliebt; treten aber auch als Endprodukte im Bereich der Pflanzenschutzmittel auf, sowie als Zwischen- und Endprodukte der pharmazeutischen Chemie. Grundsätzlich sind alle Verbindungen dieser Art sowohl als nerven- wie auch als leberschädigend anzusehen. Dabei schwankt die spezifische akute wie chronische Toxizität im Einzelfall ganz erheblich.

**HCH (Hexachlorcyclohexan):** Das Insektizid ist unter dem Namen LINDAN auf dem Markt. Bei der LINDAN-Produktion fällt das eigentlich wirksame Gamma-Isomer nur zu 15% an. Als Nebenprodukt entstehen verschiedene chlorierte Kohlenwasserstoffe, die alle toxikologisch bedenklich sind. Unter anderem auch Trichlorphenol, das sich bei hohen Temperaturen zu dem Seveso-Gift TCDD umsetzt.

**Kanzerogen:** Krebsfördernd

**Metabolismus:** Allgemein Stoffwechsel. Für eine bestimmte chemische Verbindung sind damit die chemischen Um- und Abbauprozesse gemeint, die sie in Lebewesen erfährt.

**Minamata:** Stadt in Japan, die seit 1953 durch die zunächst unerklärliche Häufung von Quecksilbervergiftungen und später Kindesmißbildungen traurige Berühmtheit erlangte. Offiziell forderte dieser berüchtigte Umweltkandal 107 Todesopfer. Die gesamte Anzahl der chronisch Geschädigten geht jedoch in die Tausende. Erst 1968 hörte die dortige chemische Industrie damit auf, Quecksilber in die Bucht von Minamata einzuleiten.

**Mutagen:** Erbgutschädigend

**PCB (Polychlorierte Biphenyle):** Sie wurden früher als Weichmacher in Kunststoffen, Farbstoffen wie Lacken, und als Kabelisolierung verwendet. Heute werden sie nur noch als Kühl- und Isolationsmaterial in geschlossenen Systemen verwendet. Erste Symptome bei PCB-Vergiftungen sind Hautveränderungen wie Dunkelung der Pigmente und Chlorakne. Später kommt es zu schweren Leber-Milz- und Nierenschäden und schließlich zu Krebs. PCB's sind sehr stabile Verbindungen: Ihre Halbwertzeit im Boden beträgt 5 Jahre. Sie reichern sich in der Nahrungskette ein.

**PCP (Pentachlorphenol):** Es wird als Herbizid und Fungizid eingesetzt, kommt aber auch in Farben und Holzschutzmitteln vor. PCP ist ungefähr so giftig wie Arsenik. Es schädigt die Leber und die Atemwege, und ist wahrscheinlich auch krebsfördernd. In PCP findet man auch meistens Spuren von TCDD.

**Pestizide:** Schädlingsbekämpfungsmittel. Je nach Anwendung unterscheidet man Insektizide (gegen Insekten), Fungizide (gegen Pilze) und Herbizide (gegen pflanzliche Schädlinge).

**Persistenz:** Eigenschaft von Chemikalien, in Ökosystemen unverändert „zu überleben“. Quantitativ wird jener Anteil der Ausgangschemikalien angegeben, der gegenüber dem Zeitpunkt der Aufnahme durch das Ökosystem nach einer bestimmten Zeitspanne, z.B. 10 Jahre, noch vorhanden ist.

**Phosphorsäureester:** Oberbegriff für eine Vielzahl von Verbindungen.

Phosphorsäureester sind in großer Zahl als Pflanzenschutzmittel beliebt geworden, da sie biologisch abgebaut werden. Gleichzeitig weisen jedoch alle eine beachtliche Toxizität auf (das bekannte E 605 zählt auch dazu).

**Synergismus:** Ein Prinzip, das in der Biologie wie in der Medizin eine immer weiterschreitende Anwendung erfährt. Es sagt aus, daß die gleichzeitig Einwirkung mehrerer Agentien (z.B. Chemikalien, Strahlen) auf ein Lebewesen (auf Ökosysteme erweiterbar) einen größeren Effekt erzielt, als die Summe der Einzelwirkungen.

**TCDD (Tetrachlordibenzodioxin):** TCDD ist eine der giftigsten Substanzen, die wir kennen (rund 67.000 mal giftiger als Zyankali). Es ruft schwere neurologische Störungen hervor, ist krebsfördernd und schädigt schon in kleinsten Dosen (0,03 Millionstel Gramm/kg Körpergewicht) Embryos. TCDD kann nicht nur bei der LINDAN-Produktion entstehen, sondern kommt als Verunreinigung in vielen Pestiziden auf der Basis chlorierter Kohlenwasserstoffe vor.

**Teratogen:** Den Fötus schädigend.

Neben der essentiellen SM gibt es noch die toxischen SM, die schon in geringsten Konzentrationen giftig wirken. Es ist nicht ausgeschlossen, daß weitere Forschung die Lebensnotwendigkeit auch dieser kleinsten Konzentrationen von toxischen SM nachweist. Doch ist das übliche Angebot der SM z.B. im Trinkwasser meist weitaus größer als diese hypothetische unschädliche Konzentration. Einzelne Lebewesen haben sich im Laufe von Jahrtausenden an hohe SM-Konzentrationen angepaßt. Bakterien z.B. vom Stamm *Thiobacillus ferrooxidans* leben in kupfer- oder uranhaltigen Laugen, die für alle anderen Lebewesen hochgiftig sind; doch dauert eine solche Anpassung Zeiträume, die unsere Geschichte um Größenordnungen übersteigen.

Von welchen Faktoren ist nun die Giftigkeit der SM abhängig? Als besonders gefährlich werden Hg, Cd, Pb, Zn, Cu, Ni und Cr angesehen, ohne daß allerdings Gesetzmäßigkeiten bekannt wären, aus denen man eine strenge Abfolge in der Toxizität ableiten könnte. Außer von Art und Menge des SM ist seine Giftigkeit abhängig von:

- der chemischen Form. In Ionenform oder als Komplex wirken die SM am giftigsten, während sie als reines Metall relativ ungefährlich sind. Metallisches Hg ist ungefährlich, als Methylquecksilber hochgiftig — wie aus der Debatte um quecksilbergespritzte Organe allgemein bekannt wurde.
- der physikalischen Form. Ein Gift wirkt stärker, je größer mit anderen Stoffen und Lebewesen reagierende Oberfläche ist. Dämpfe, Gase, Stäube, Aerosole und Lösungen gelangen eher in den Körper und werden über Darm oder Lunge leichter in den Stoffwechsel eingeschleust als etwa ein gleichschwerer massiver Brocken des Metalls.

Die Toxizität hängt auch davon ab, inwieweit ein Organismus einen Stoff ausscheiden oder im Körper in unschädlicher Form lagern kann. Da SM vom menschlichen Organismus nur zum Teil ausgeschieden werden können, lagert sich der „Rest“ bevorzugt in inneren Organen oder auch im Knochen ab — häufig als Karbonat so, daß das SM auch noch nach Jahren wieder physiologisch aktiviert werden kann und toxisch wird. So tickt in uns unbemerkt eine biologische Zeitbombe.

Die Anhäufung von SM in Pflanzen und Tieren kann zu extremen Konzentrationen führen. So können Quallen Kobalt bis zum 21.000-fachen, einige Tunicate (Manteltiere) Vanadium bis zum 280.000-fachen der Konzentration des umgebenden Meerwassers anreichern. In der biologischen Nahrungskette wird diese Anreicherung meist weiter verstärkt, bis wir Menschen als Endglied der Kette unser Essen auf dem Tisch zu stehen haben.

### Toxische Wirkung der SM auf den Menschen

Die toxische Wirkung der SM auf den Menschen wollen wir am Beispiel von Cadmium (Cd) und Blei (Pb) näher betrachten. Man unterscheidet zwischen akuter und chronischer Vergiftung. Eine einmalige Aufnahme von größeren Bleimengen führt zur akuten Vergiftung und kann innerhalb weniger Tage den Tod hervorrufen. Üblicher ist jedoch die dauernde Aufnahme kleiner Mengen, die sich im Lauf der Zeit im Körper akkumulieren und zu einer chronischen Vergiftung führen. Die ersten Anzeichen (Appetitlosigkeit, Müdigkeit, Konzentrationsschwäche usw.) sind so unspezifisch, daß sie kaum als beginnende Bleivergiftung diagnostiziert werden können. Nach einiger Zeit bildet sich ein Saum um die Zahnhälfte, das erste typische Symptom. Da Pb wichtige Enzyme hemmt, kommt es zu verschiedenen Störungen des Stoffwechsels. Die Beeinträchtigung der Blutbildung sowie die Blockierung der Zellatmung sind die Ursachen für eine Schädigung zahlreicher Gewebs-

und Organfunktionen. Schmerzhafte Störungen des Magen-Darm-Trakts, der Leber, der Geschlechtsorgane, des Gehirns und des peripheren Nervensystems führen letztlich zu einer wesentlichen Herabsetzung der Lebenserwartung.

### Bleivergiftung durch Nahrung

Wissenschaftler der Aston University in Birmingham haben an Ratten festgestellt, daß mit Nahrung aufgenommenes Blei im Darm außer durch Bindung an die Oberfläche von Darmzellen auch durch passiven Transport in das Körperinnere aufgenommen wird. Das ist insofern interessant, als ein passiver Transportmechanismus (Diffusion) im Gegensatz zu vielen anderen nicht gesättigt werden kann — d.h. wenn im Darm sehr viel Blei vorliegt, dann gibt es eine sehr hohe Intoxikation des ganzen Körpers mit dem Schwermetall. Geringe Bleikonzentrationen hingegen führen nur zu einem kleinen Konzentrationsgradienten und damit zu geringerer Diffusion durch die Darmoberfläche. Das meiste Blei wird dabei an die Oberfläche des Darms gebunden und dort von Zeit zu Zeit wieder herausgewaschen. Jede Erhöhung der Bleikonzentration in der Nahrung, die die Bindefähigkeit der Darmzellen übersteigt, wird so eine gefährliche Vergiftung bewirken. Blei führt zur Störung des Stoffwechsels im Gehirn und beeinflußt die Lernfähigkeit nachteilig. Die britische Forschergruppe arbeitet zur Zeit an weiteren Experimenten über die Bleiaufnahme von Säugetieren, um die Gefährdung des Menschen noch genauer bestimmen zu können.

(NEW SCIENTIST)

Erste Anzeichen einer Cd-Vergiftung sind gelbe Ringe um die Zahnhälfte und ein Nachlassen des Geruchssinnes. In der Folgezeit wird das Knochenmark zerstört, die Zahl der roten Blutzkörperchen nimmt stark ab und die Nieren werden geschädigt. Durch die Verarmung der Knochen an Kalzium kommt es zu Skelettschrumpfungen, die äußerst schmerhaft sind. Von den Schmerzensschreien der Kranken hat diese erstmals in Japan auftretende Krankheit ihren Namen: Itai-Itai (= au-au).



**Itai-Itai Krankheit**

Schädliche Cd-Konzentrationen sind äußerst gering. Schon 20 Cd-Ionen auf 1 Milliarde Wassermoleküle (20 ppb) werden für Trinkwasser als schädlich angesehen. Die Problematik solcher Grenzwerte und ihrer Festlegung soll hier nicht weiter diskutiert werden. Außerdem soll hier die unterschiedliche Empfindlichkeit einzelner Organe und die Bedeutung des Zeitpunkts, an dem die Intoxikation stattfindet, nur am Rande erwähnt werden.



Rhein-Main Industrielandschaft



Autobahnen als „Bleiumverteiler“

### Wie kommen die SM in unsere Umwelt?

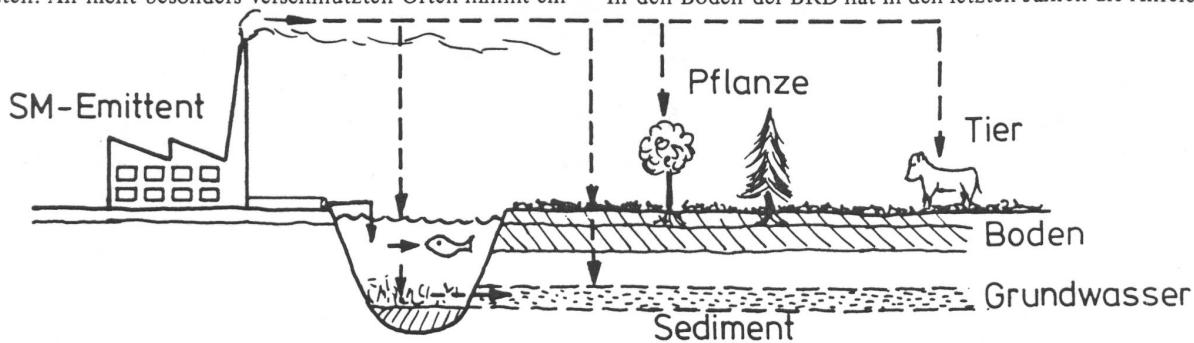
In der „unberührten“ Natur kommen die SM in konzentrierter Form vorwiegend in räumlich begrenzten Erzlagerstätten vor. In Luft, Boden, Wasser und Lebewesen kommen die SM meist nur in Spuren vor. Durch flachliegende Lagerstätten können jedoch auch ohne menschliche Einwirkung ober- und unterirdische Wässer sowie der Boden verseucht werden. Während normalerweise nur 2 mg Cd oder zwischen 20 und 200 mg Zn in 1 kg trockenen Bodens enthalten sind, gibt es Extremwerte von 80 mg Cd und 100.000 mg Zn pro kg trockenen Bodens. Speziell an diese Standorte angepaßte Pflanzen (Galmei- oder SM-Pflanzen) sind in der Lage, diese üblicherweise tödlichen Konzentrationen zu verkraften – andere Lebewesen meiden diese Zonen.

Wie werden nun SM durch die menschliche Tätigkeit in die Umwelt gebracht? Im Unterschied zu Kunststoffen sind die

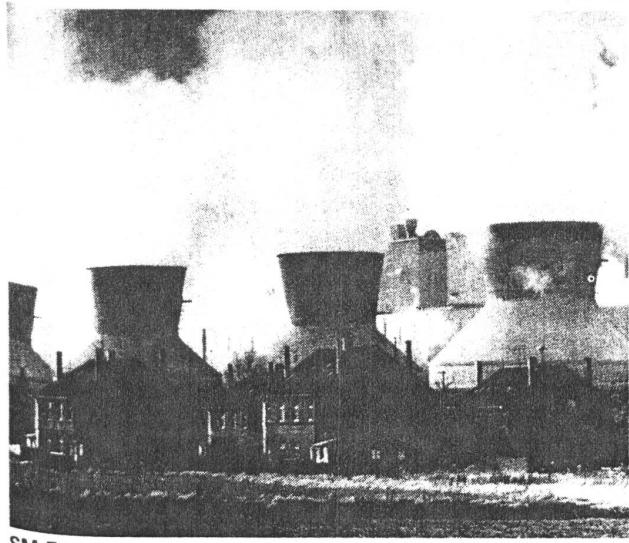
SM in der Natur schon vorhanden und werden durch den Abbau oder die Wiedergewinnung des SM und seiner Verbindungen im Bergbau, Metallhütten, in der Chemie- und Farbenindustrie, wo SM häufig als Katalysatoren benutzt werden, nur umverteilt. Erwähnt werden muß auch die Metall-Verarbeitung (z.B. Galvanotechnik), Energiewirtschaft und Verkehrswesen, da Kohle und Benzin relativ große Mengen Cd und Pb enthalten. In der Landwirtschaft werden SM als Insektizide und Fungizide (Insekten- und Pilzbekämpfungsmittel) sowie als Beizmittel eingesetzt. Größere Mengen von SM gelangen über den Einsatz von Müllklärschlammkomposten (s. Nachrichten) oder über Berieselung und künstliche Beregnung von Siedlungsabfällen in den Boden und z.T. auch in Gewässer. Die Vielseitigkeit technischer Verwendung von SM sieht man am Beispiel Cd, das als Korosionsschutz, in Fotozellen und Leuchtstoffen, bei Tarnfarben und als Material für Regelstäbe in Atomkraftwerken Verwendung findet.

### Verschmutzung der Biosphäre durch SM

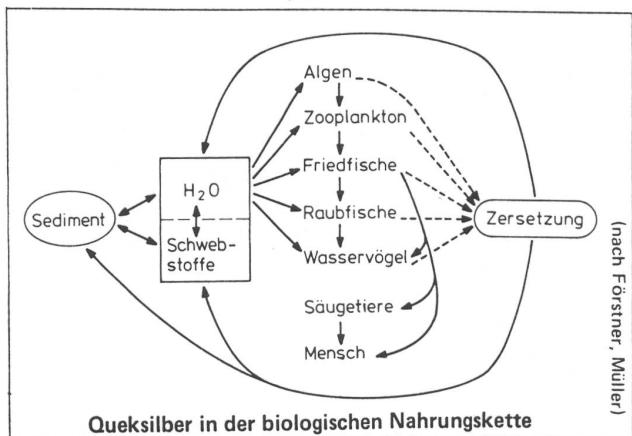
Wie verbreiten sich die SM in unserem Lebensraum, der Biosphäre? Ein Großteil der z.B. von Metallhütten freigesetzten SM gelangt über den Schornstein erst einmal in die Luft. Während 1 m<sup>3</sup> reine Luft nur ca. 1 ng Cd enthält, sind es in Ballungsgebieten 5–25 ng. In Städten wie Duisburg, Nordenham und Stolberg werden im Jahresmittel Werte von 25 ng überschritten. An nicht besonders verschmutzten Orten nimmt ein



Mensch über die Atemluft maximal 1 µg Cd pro Tag auf. Das tägliche Rauchen von 20 Zigaretten führt zusätzlich zur Inhalation von etwa 3 µg Cd. Dazu kommt die Aufnahme von SM über die Nahrung: Aus der Luft herunterrieselnde Metallstäube setzen sich auf Pflanzen ab und werden z.T. von ihnen



aufgenommen. So stammen 25–50% des Cd-Gehaltes von Pflanzen aus der Luft! Pflanzliche und tierische Nahrungsmittel enthalten i.a. weniger als 0,05 ppm Cd (bezogen auf die Frischsubstanz), Muscheln und Fische sowie Leber und Nieren von Nutzvieh oft mehr als 1 ppm. Täglich nimmt jeder Bürger der BRD durchschnittlich etwa 30–60 µg Cd durch die Nahrung auf, von denen 2,3 µg aus dem Trinkwasser stammen.



Quecksilber in der biologischen Nahrungskette

Ernähren sich Menschen allerdings ausschließlich von Lebensmitteln aus der unmittelbaren Umgebung von spezifischen SM-Staub-Produzenten (Emittenten), verdoppelt sich diese Menge. In den Böden der BRD hat in den letzten Jahren die Anreiche-

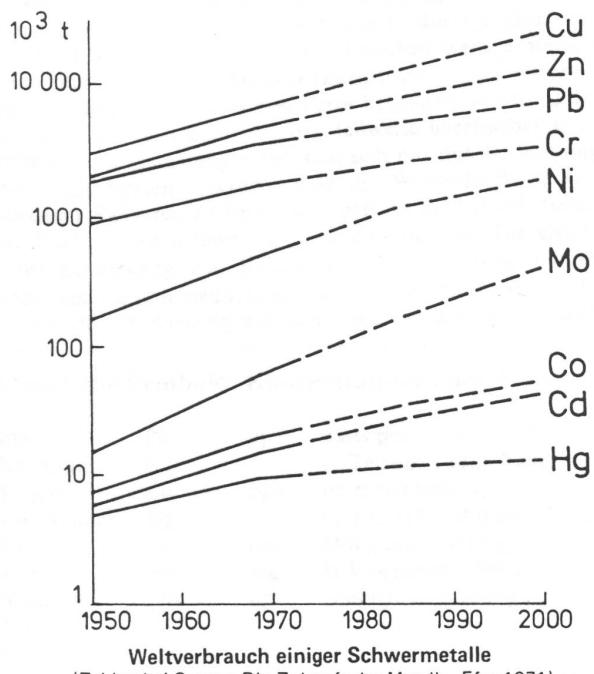
lung von SM durch Stäube aus der Luft, Düngung, Bewässerung und Pestizideinsatz stark zugenommen. Wenn auch die unmittelbare Umgebung bestimmter Fabriken besonders stark verseucht ist, gibt es bereits Beispiele für großflächigere Verschmutzungen. Im westlichen Ruhrgebiet enthielt die oberste Bodenschicht von über 50% der Grünlandflächen zwischen 1,5 und 37,7 ppm Cd („Normal“ wären weniger als 1 ppm). Zusätzlich waren noch größere Mengen von Pb und Zn im Boden. Nur ein gewisser Teil der SM kann durch Wurzel oder auch Blatt aufgenommen werden, ist also pflanzenverfügbar. Der andere Teil ist im Boden „festgelegt“ und wird abhängig von Feuchtigkeit, pH-Wert, Durchlüftung, Bakterienaktivität und anderen Faktoren oft wieder mobilisiert und kann dann wieder giftig wirken. Stark kontaminierte Böden sind also nicht nur eine akute, sondern auch eine latente Gefahr – eine weitere Zeitbombe.

Schließlich soll auf die SM-Belastung unserer Flüsse und anderer Gewässer durch die Abwässer von Galvanisierbetrieben, Stahlwerken, Chemiefabriken und anderen eingegangen werden. Im Wasser bundesdeutscher Flüsse treten lokale Extremwerte von 220 ppb Cd (bei Besigheim, Enzmündung) auf, fast das 1000-fache des Normalwerts von 0,2 ppb. Wenn die Wasseranalyse sozusagen eine Momentaufnahme der Verschmutzung liefert, so gibt die Untersuchung des Bodensatzes (Sediment) Aussagen über den langfristigen Zustand eines Gewässers, denn hier sind die Schadstoffe praktisch in einer natürlichen Müllde-

ponie angereichert. Durchschnittlich enthalten die Sedimente aller größeren Flüsse der BRD 50mal mehr Cd als ein Vergleichsstandard aus Tongestein mit einem Cd-Gehalt von 0,3 ppm. Im Niederrhein ist Cd und Zn 40-mal stärker und Blei 3mal stärker angereichert. Jährlich werden allein durch den Rhein etwa 230 t Cd, 2.525 t Pb, 95 t Hg und 18.085 t Zn (sowie beträchtliche Mengen anderer SM) in die Nordsee transportiert. Das entspricht bei Hg, Cd und Zn etwa 1% der Jahresproduktion und stellt einen Wert von ca. 100 Mill DM dar. Es ist deshalb verständlich, daß amerikanische Forscher den ernstgemeinten Vorschlag machten, bei einer Rohstoffverknappung an eine Rückgewinnung dieser Substanzen zu denken.

### Ursachen und Tendenzen

Im Zuge der Industrialisierung ist es zu einem immer stärkeren Verbrauch verschiedener SM gekommen, der von einer steigenden Umweltbelastung begleitet ist. In Sedimenten der Kieler Bucht läßt sich für die letzten 100 bis 160 Jahre nachweisen, daß die Gehalte von Cd und Pb in diesem Zeitraum um das 7- bzw. 4fache zugenommen haben, die Gehalte von Zn und Cu im gleichen Zeitraum um das 3- bzw. 2-fache.

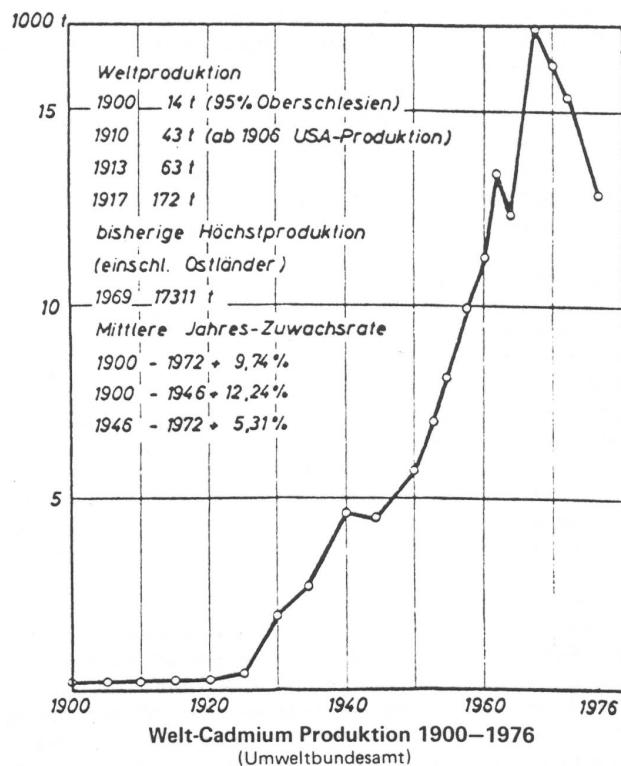


Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß etwa 70% des bisher gewonnenen Cd in den letzten 20 Jahren produziert wurden.

Der gegenwärtige Welt-Jahresverbrauch beträgt: bei Cu – 6.400.000 t, bei Pb – 3.500.000 t, bei Hg – 10.000.

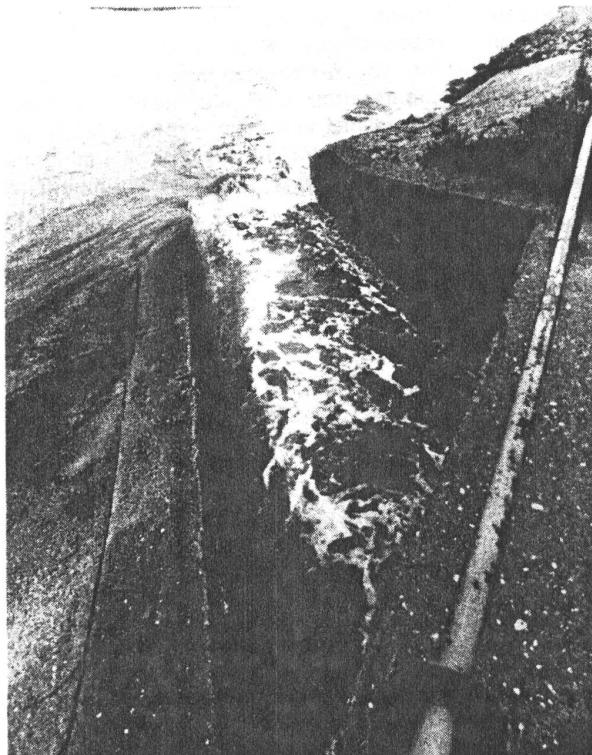
Produktion und Verbrauch der wichtigsten SM werden im Weltmaßstab – wenn alles seinen üblichen Gang geht – auch in Zukunft weiter steigen. Der Verbrauch an Cd, Co und Ni z.B. würde sich demnach verdreifachen. Die Prognose für Hg geht dagegen von einer Zunahme von „nur“ 25% aus, da in einigen Staaten durch verschärfte Umweltschutzbestimmungen ein gewisser Zwang zum Ersetzen dieses Stoffes durch einen unschädlichen(re)n bzw. zur grundsätzlichen Änderung der entsprechenden Technologie besteht.

Da die Hauptmenge der genannten SM über kurz oder lang in die Biosphäre gelangt, muß mit einer dramatischen Verschärfung der bereits gegenwärtig bedrohlichen Situation der bundesdeutschen Gewässer (aber auch der Luft) gerechnet werden.



Dies kann z.B. heißen:

- Zusammenbruch des Ökosystems Binnengewässer in besonders belasteten Bereichen (Ein Überblick über die gegenwärtige Lage bei Förstner und Müller)
- Weitere Verschlechterung der Trinkwasserqualität, so daß die Gefahr der chronischen Vergiftung durch mehrjährigen Normalverbrauch steigt.



Industrieabwasser bei Mannheim

## Wert und Unwert der offiziellen Grenzwerte

Seit einigen Jahren gibt es von der Weltgesundheitsbehörde (WHO) und von einigen Staaten Grenzwerte für den SM-Gehalt in Luft, Boden, Wasser, in Lebensmitteln oder am Arbeitsplatz, bei deren Einhaltung – angeblich – keine Gefahren für den Menschen bestehen. Sind diese Werte nun objektive, dem neuesten Stand der Wissenschaft entsprechende Kenngrößen, die den Bürger beruhigen können? Problematisch ist bereits der Begriff „Normalgehalt“, der häufig mit „industriefern“ oder „gesundheitlich unbedenklich“ gleichgesetzt wird. Wenn ein Gift in einem Organismus vorhanden ist, kann man aber noch nicht folgern, daß dieser Stoff auch für den normalen Stoffwechsel benötigt wird. Den natürlichen „Normalgehalt“ von z.B. Cd in Pflanzen kann man heute nur noch in Fossilien feststellen, da die von menschlicher Tätigkeit freigesetzten SM-Mengen durch Luft- und Wasserströmungen über die ganze Welt verstreut sind. Fazit: die „unnormalen“ Konzentrationen werden heute oft an der falschen Elle gemessen. Zu kritisieren ist an den Grenzwerten weiter, daß durch unterschiedliche Analyseverfahren und verschiedene Methoden bei der Probenentnahme nicht die real vorhandenen Konzentrationen verglichen werden. Untersuchungen über Giftwirkung auf Pflanzen und Tiere werden oft nicht als Langzeitversuche durchgeführt, sondern die Erkenntnisse aus Kurzzeitversuchen werden einfach extrapoliert. Über die Dosis-Wirkungsbeziehungen auf den Menschen liegen nur wenig gesicherte Erkenntnisse vor, da die Ergebnisse aus Tierversuchen nur teilweise übertragbar sind. Zahlreiche Untersuchungen befassen sich nur mit der Wirkung eines schädigenden Faktors, ohne die Wechselwirkung verschiedener Faktoren zu berücksichtigen. In der Umwelt treten aber häufig verschiedene SM nebeneinander auf. Die gleichzeitige Einwirkung von Kohlenwasserstoffen, anorganischen Ionen und unterschiedlichsten Mischungsverhältnissen, kann die tatsächliche Wirkung auf den Organismus unterschiedlich

von zwei verschiedenen Wirkstoffen auftreten. Die Wachstums-hemmung von Maissämlingen durch Pb und Cd ist bei gleichzeitiger Verabreichung größer als die Summe der Effekte bei einzelner Verabreichung der beiden SM. Das Ergebnis der Schädigung ist hier nicht durch Addition einzelner toxischer Faktoren, sondern als deren Potenzierung aufzufassen. Für die Praxis noch bedeutsamer wäre die synergistische Wirkung von Cd und Schwefeldioxid (das über Kohle- und Ölverbrennung nicht nur in Ballungsgebieten auftritt) auf die Blätter von Gemüsepflanzen.

Untersuchungen, die nur die speziellen Effekte eines SM zum Thema haben, sind auch heute nicht sinnlos, doch wären Untersuchungen, die synergistische Effekte miteinbeziehen, in stärkerem Maße zu fördern. Positives Beispiel wären die Arbeiten von Kloke, der als Ergebnis seiner Arbeiten für Böden eine Summenbegrenzung von 300 ppm vorschlägt, sofern Zn, Pb und Cd gleichzeitig auftreten. Auch bei der Festsetzung von Grenzwerten durch die staatlichen Behörden sollten mögliche synergistische Effekte stärker einbezogen werden als bisher und entsprechende Forschungen über additive oder potenziell toxisch wirksame SM – und andere Stoffe – gefördert werden.

Eine gewissenhafte Erarbeitung von Grenzwerten und ihre gesetzliche Festschreibung sind sinnvoll und notwendig. Macht aber eine unwirksame Kontrolle diese Arbeiten und Gesetze nicht zu Makulatur? Nach dem neuen Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen, das vom Bundesumweltamt erarbeitet wurde, sollen alle neu auf den Markt kommenden Stoffe – in der BRD jährlich ca. 3000 – vom Hersteller (!) auf akute und chronische Giftigkeit getestet werden. Die derzeit auf dem Markt befindlichen 60.000 Substanzen sind davon nur betroffen, wenn ein konkreter Verdacht auf Gefährlichkeit besteht. Von Seiten der Gewerkschaften und einiger Wissenschaftler wurde darauf hingewiesen, daß durch Drängen der Industrie auf das sogenannte Vorsorglichkeitsprinzip verzichtet wurde und die Grenzwerte mehr nach ökonomischen als toxikologischen Erwägungen festgelegt worden sind.

Daran wird sich meines Erachtens grundsätzlich nur etwas ändern lassen, wenn unser Wirtschaftssystems nicht mehr am Profit einiger weniger orientiert ist. Bis dahin kann aber der gemeinsame Widerstand der Betroffenen durchaus respektable Teilerfolge erzielen – auch über Ländergrenzen hinweg – wie sich beim Kampf gegen die SM-Umweltverschmutzung durch das Bleiwerk Marckolsheim gezeigt hat: es konnte nicht gebaut werden.

## Chemische Symbole Konzentrationen und Mengen

Blei	Pb	ppm	parts per million, 10 <sup>-6</sup>
Kadmium	Cd		(1 Teil auf 1 Mill. Teile)
Kupfer	Cu	ppb	parts per billion, 10 <sup>-9</sup>
Quecksilber	Hg		(1 Teil auf 1 Milliarden Teile)
Zink	Zn	mg	Milligramm, 10 <sup>-3</sup> g
Eisen	Fe	µg	Mikrogramm, 10 <sup>-6</sup> g
Mangan	Mn	ng	Nanogramm, 10 <sup>-9</sup> g
Nickel	Ni		
Chrom	Cr		

und wechselseitig beeinflussen. Behindern die Substanzen einander, so spricht man von antagonistischer Wirkung. Spielt sich die Konkurrenz in bestimmten Stoffwechselstufen eines Organismus ab, so heißen die Stoffe Antimetaboliten. Ein Beispiel: Cd setzt die Ablagerung von Zn in Leber, Nieren und Zwölffingerdarm herab. Wird mehr Zn verabreicht, so sinkt die Cd-Konzentration in Organen und Geweben, Cd-verursachter Bluthochdruck kann durch Zn gesenkt werden. Doch wäre es falsch, zu glauben, daß seelenruhig größere Mengen Cd geschluckt werden können, wenn nur immer genügend Zn dabei ist. Cd kann zwar Zn im Gewebe ersetzen – aber nicht umgekehrt. Beide Substanzen verteilen sich unterschiedlich auf die Organe, da sie in verschiedenen Stoffwechselprozessen wirksam sind. Selbst bei „richtigem“ Verhältnis von Cd/Zn bricht das biochemische System ab einer bestimmten Gesamtkonzentration zusammen.

Neben einer antagonistischen (hemmenden) Wirkung können auch synergistische (steigernde) Wirkungen bei Verabreichung

ERNST, WILFRIED (1974): Schwermetallvegetation der Erde. Geobotanica selecta Band V; G. Fischer Verlag Stuttgart

FÖRSTNER, U.; MÜLLER, G. (1974): Schwermetalle in Flüssen und Seen als Ausdruck der Umweltverschmutzung. Springer Verlag Heidelberg

KLOKE, A. (1977): Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden. Mitteilungen des VDLUFA, Heft 2

UMWELTBUNDESAMT (Hrsg./1977): Luftqualitätskriterien für Cadmium. Berichte des Umweltbundesamtes 4/77, Berlin/West

WILLIAMS, R.J.P. (1967): Schwermetalle in biologischen Systemen. Endeavour (deutsche Ausgabe) 26, 96–110