

- Möglichst hohe Standorttreue
- Ubiquitäres Vorkommen in genügend hoher Populationsdichte
- Definierte, möglichst endnahe Stellung in der Nahrungskette

Diese Kriterien erfüllt am besten die Amsel und mit gewissen Einschränkungen der Fasan.

Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz hat daher in Jahren 1976 und 1977 in Amsel- und Fasaneneiern folgender Biotope den Gehalt ausgewählter Chlorkohlenwasserstoffe und Schwermetalle untersucht.

Stadtgebiet München (Ballungsraum) mit Unterscheidungen nach straßennahen Bereichen und Grünbereichen	= Bereich I
Landwirtschaftliche Bereiche mit überwiegend ackerbaulicher Nutzung	= Bereich II
Landwirtschaftliche Bereiche mit überwiegend Grünlandnutzung	= Bereich III
Naturnahe Bereiche	= Bereich IV

Nach den bisher vorliegenden Ergebnissen könnte insbesondere den PCB und mit gewissen Einschränkungen dem DDE und γ -HCH eine Zeigerfunktion für die Siedlungsdichte zukommen, während eine tendenzielle Korrelation zwischen dem HCB-Gehalt der untersuchten Eier und dem Ausmaß der landwirtschaftlichen Nutzung der Probenahmegebiete abgeleitet werden kann.

Allgemein kann gesagt werden, daß in den Gelegen aller Untersuchungsgebiete – auch im naturnahen Bereich – PCB, der DDT-Metabolit DDE, HCH und HCB nachweisbar waren.

Bei den Schwermetalluntersuchungen erscheint neben den erhöhten Pb- und Cd-Gehalten der Amseleier in den straßennahen Bereichen des Stadtgebiets München insbesondere der relativ hohe Hg-Gehalt der in diesen Bereichen gesammelten Eier bemerkenswert.

Eigenschaften und Verhalten von Schadstoffen in der Umwelt

F. Korte

Wenn man von Schadstoffen oder von Umweltchemikalien spricht, sind die Begriffsinhalte immer noch ein Problem. Ich möchte deshalb betonen, daß ich mich auf global oder überregional vorkommende Umweltchemikalien konzentrieren werde. Diese scheinbare Einschränkung erfolgt aus einem ganz besonderen Grund: Die lokalen Umweltchemikalien kann man wissenschaftlich recht gut beschreiben und schließlich bei Einsatz der erforderlichen Mittel auch fast beliebig intensiv kontrollieren. Dies erfolgte seit Jahren in solchen Fällen, wo Umweltchemikalien zu Schadstoffen geworden waren. Nur bei den Problemen des globalen Vorkommens scheint mir die Situation selbst auf der Forschungsseite noch unsicherer zu sein.

Wir müssen uns die globalen Limitierungen vergegenwärtigen: Unser »immer kleiner werdender Planet« besteht zu 29% aus Festland und zu 71% aus Ozeanen. Wir haben also genügend Wasser. Während wir aber Technologien haben, um Wasser von jedem beliebigen Verschmutzungszustand bis zu jeder beliebigen Reinheit aufzureinigen und wir heute ebenfalls Technologien haben, um Luft zu reinigen, gibt es keine Methodologien, um eventuell verunreinigtes Festland (Boden) chemisch zu handhaben oder zu reinigen. Das ist deshalb sehr merkwürdig, weil es Gesetzgebungen gibt für die Reinhaltung von Wasser und Luft, für den Boden aber, das limitierteste Umweltmedium, von dem ca. 14% für die Landwirtschaft genutzt wird, gibt es keine Reinhaltungsgesetze. Wir tun so, als ob es für dieses Medium »festen Boden« Grenzen gar nicht gäbe.

Die synthetisch durch Menschen hergestellten Chemikalien haben das Umweltbewußtsein im Laufe der letzten 20 Jahre in Gang gebracht.

Für organische Chemikalien ist der Unterschied zwischen natürlich vorkommenden und synthetischen Chemikalien viel leichter zu behandeln als bei anorganischen Substanzen, für die wir generell nicht wissen, welches die natürliche Konzentration auf der Erdoberfläche ist.

Abbildung 1: Entwicklung der Produktion organischer Chemikalien

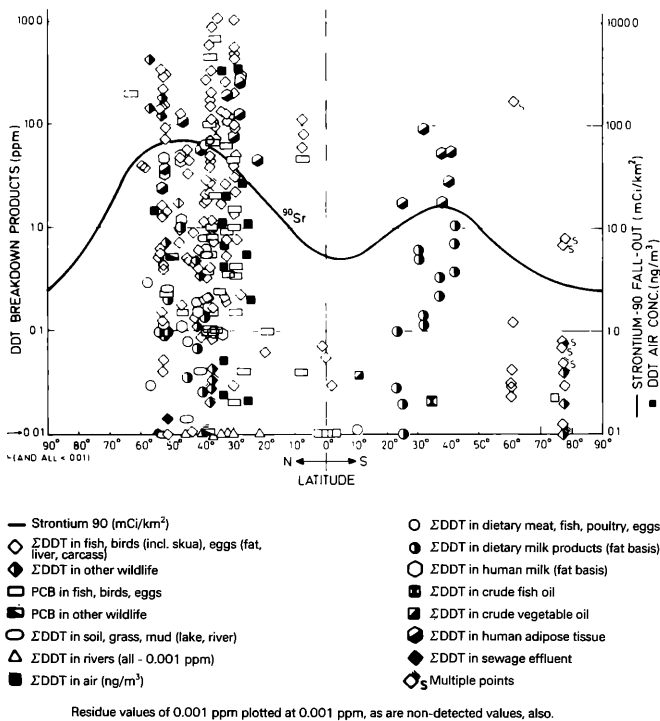
	1950	1970	1985	Release in Env. 1970
grand total 10^6 t	7	63	250	20
<u>Organic Chemicals – World Production</u>				
manufactured 10^6 t	natural sources 10^6 t			
solvents	10	methane		
detergents	1,5	terpene type		
pesticides	1	hydrocarbons		
gaseous base chemicals	1	lubricating and industrial oils		
miscellaneous	7	2-5		

1950 wurden 7 Mill. t organische Chemikalien produziert, 1970 waren es bereits 63 Mill. t und 1985 werden es voraussichtlich 250 Mill. t sein. Wenn man die Menge synthetisch hergestellter mit den natürlich emittierten Stoffen (z.B. aus Wäldern) vergleicht, haben beide ungefähr die gleiche Größenordnung. Die jährliche Nettoproduktion organischer Chemikalien durch Flora und Fauna ist allerdings um Größenordnungen höher. Die Frage, was wir denn eigentlich produzieren, können wir aber nur teilweise beantworten. Pestizide sind einigermaßen gut bekannt, weil ihre Anwendung schon seit langer Zeit gesetzlich geregelt ist. Man weiß aber nur wenig oder fast nichts über Detergenzien, Lösungsmittel und gasförmige Grundchemikalien und, selbstverständlich, haben wir keine Ahnung über die vielen »sonstigen«. Vor einiger Zeit wurde in Tokyo mitgeteilt, daß die Plastikproduktion zur Zeit weltweit bei 40 Mill. t liegt und daß in den Plastikmaterialien Additive in der Größenordnung von 1-6% enthalten sind – immerhin noch eine stattliche Menge von

wenigstens 400.000 t pro Jahr –, von denen niemand etwas über ihr Umweltverhalten weiß.

Die folgende Abbildung von Iliff, einem Mitglied der englischen Royal Society, ist bereits vor 10 Jahren publiziert worden. Auf dem Gebiet der Kenntnis über die mengenmäßige Anwendung von Chemikalien ist in den letzten 10 Jahren nicht sehr viel verbessert worden. Auch aus diesem Grunde wurde ein Umweltchemikaliengesetz notwendig, das in der Zwischenzeit verabschiedet wurde.

Abbildung 2: Rechenbeispiel für Flächenbelastung



Dieses Bild gibt einige Daten zum Unterschied zwischen den regulierten und den nicht-kontrollierten Substanzen. Wir produzieren weltweit Pestizide in der Größenordnung von 1 Mill. t pro Jahr. Ihr Import und ihr Verkauf unterliegt

Genehmigungspflichten. Hier sind also relativ viele und exakte Daten vorhanden. Das ist aber wahrscheinlich auch der Grund dafür, daß sie so häufig in den Medien genannt werden. Die Menge der organischen Chemikalien insgesamt, die nicht reguliert sind und über die man ökotoxikologisch und häufig auch toxikologisch nicht viel weiß, ist 150fach höher. Daraus ergibt sich ein Mißverhältnis in der Art unserer Diskussionen über Umweltchemikalien, wie man es sich klassischer eigentlich nicht vorstellen kann. Wenn man, theoretisch, diese Substanzen global gleichmäßig verteilt, ergeben sich 11,2 kg/ha organische Chemikalien im Vergleich zu nur 0,07 kg/ha Pestizide.

Die deutsche chemische Industrie hat dankenswerterweise vor einigen Jahren versucht, Produktionsziffern und Anwendungsmuster von solchen Chemikalien zusammenzustellen, deren Produktion weltweit 50.000 t/Jahr erreicht. Es wurde schließlich eine Liste mit ungefähr 130 Chemikalien erarbeitet. Diese Aktivität mußte danach leider eingestellt werden, weil sich keine chemische Industrie irgendeines anderen Landes an diesen Arbeiten beteiligen wollte. Nur aus diesem Grund wurde diese Tätigkeit nicht weitergeführt, die ich für die einzig sinnvolle halte, um langsam die »alten« Umweltchemikalien unter Kontrolle zu bekommen. Abb. 3 zeigt z.B. Chlorparaffine mit einer Produktionshöhe von 270.000 t/Jahr. Das sind Mengen, die, wenn sie in die Umwelt gelangen, selbstverständlich in allen biotischen und abiotischen Systemen vorkommen. Es ist deshalb auch nicht verwunderlich, daß wir sie bei Analysen überall finden.

Kann man heute Voraussagen machen, wie die Situation in Zukunft aussehen wird? Wenn man davon ausgeht, daß z.B. PCB, das es vor 100 Jahren noch nicht gab, heute allgemein in ppb-Konzentrationen ($\mu\text{g}/\text{kg}$) gefunden wird, und man ferner annimmt, daß sich unsere Technologie so weiter entwickelt wie bisher und wir weiterhin eine Produktionssteigerung von etwa 2% in der chemischen Industrie haben werden (was mir – mit oder ohne Ölkrise – realistisch zu sein scheint), dann werden wir bei gleichbleibender Produktion in 100 Jahren die Konzentration von ppb auf ppm (mg/kg) erhöht haben. Bisher sind im ppb-Bereich keine nennenswerten biologischen Effekte bekannt geworden; im ppm-Bereich sind aber einige Fälle bekannt, in denen Menschen direkt zu Schaden, im schlimmsten Falle sogar zu Tode ge-

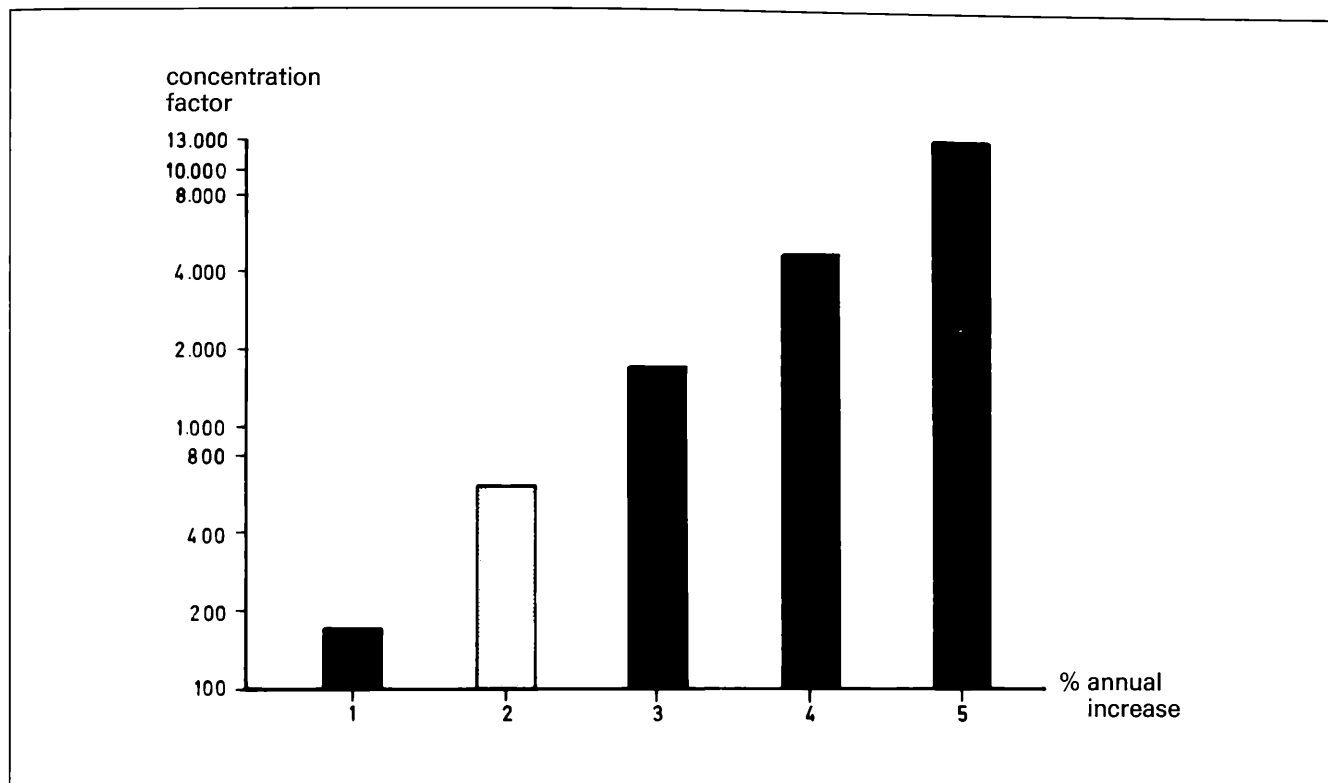
Abbildung 3: Auswahl von Chemikalien, die jährlich weltweit mit mehr als 50.000 t produziert werden (zusammengestellt für die OECD von einer deutschen ad hoc-Gruppe)

Organics		Inorganics	
Name	1000 tons	Name	1000 tons
Acetaldehyde	2400	Aluminium Oxide	17000
Acrylonitrile	2700	Ammonia	40000
Alkylbenzenes	700	Chlorine	24600
Benzene	14400	Iron Sulfate	450
Carbon Tetrachloride	1000	Lead Oxides	363
Chloroparaffins	270	Nitric Acid	23000
Cyclohexane	2800	Phosphoric Acid	13000
Di-butyl Phthalate	230	Sodium Chlorate	600
Phthalic Acid Anhydride	2300	Sodium Chromate + Bichromate	450
Toluene	8500	Sulfuric Acid	108300
Trichloro Ethylene	700	Zinc Oxide	420
Vinyl Chloride	7730		

kommen sind. Es besteht zwar zur Zeit wohl keine allgemeine Gefahr, aber wir sollten bedenken, daß einmal vorhandene

Chemikalien – siehe Beispiel PCB – nicht wieder »eingesammelt« werden können.

Abbildung 4: Voraussage der Umweltkonzentrationen von Chemikalien in 100 Jahren



Die folgende Abbildung (Abb. 5) stammt aus dem Jahre 1966. Es hat damals sehr viel Aufregung gegeben, als Pflanzenschutzmittel, die niemals im Londoner Stadtgebiet angewendet wurden, plötzlich dort meßbar wurden, und zwar in ppb-Konzentrationen. Zunächst wurden deshalb auch Analysenfehler angenommen. Dann besann man sich aber auf die globalen Transportphänomene und man ist sich heute darüber im klaren, daß sich alle Chemikalien durch die Luft verteilen. Abb. 5 zeigt einen Vergleich zwischen der Verteilung von radioaktivem Material nach Atombombenversuchen in der Atmosphäre und Chemikalien vom Typ DDT. Man sieht, daß in der nördlichen Hemisphäre die Konzentration erwartungsgemäß größer ist als in der südlichen Hemisphäre. Es zeigt sich auch, daß organische Chemikalien mit einem chemisch-physikalischen Verhalten wie etwa DDT sich in der Atmosphäre genauso verteilen wie das Strontium 90. Diese wesentliche Erkenntnis, die sich bereits vor 10 Jahren dargestellt hat, zwingt eigentlich, möglichst schnell Daten über Produktionsmengen und Anwendungsmuster von Chemikalien zu erstellen. Hierzu gab und gibt es aber – außer der erwähnten ad hoc-Gruppe – so gut wie keine Aktivitäten. Einer der ersten bekanntgewordenen Fälle, in denen Menschen zu Schaden kamen, ja sogar starben, war der sog. London-Fog im Jahre 1952, bei dem ppm-Konzentrationen von SO₂ und Staub Vergiftungen verursachten. Hierdurch starben innerhalb von 4 Tagen ca. 4000 Menschen. Als Folge von neuen Gesetzen wurden danach sowohl die SO₂ wie auch die Staubkonzentrationen reduziert. Seit der Zeit ist ein solcher Fall nicht mehr vorgekommen.

Die ersten beiden chronischen Intoxikationen sind wahrscheinlich auch allgemein bekannt: die Minamata- und die Itai-Itai-Krankheit. Beide sind in Japan aufgetreten; Minamata, bedingt durch Methylquecksilber, und Itai-Itai, bedingt durch Cadmium.

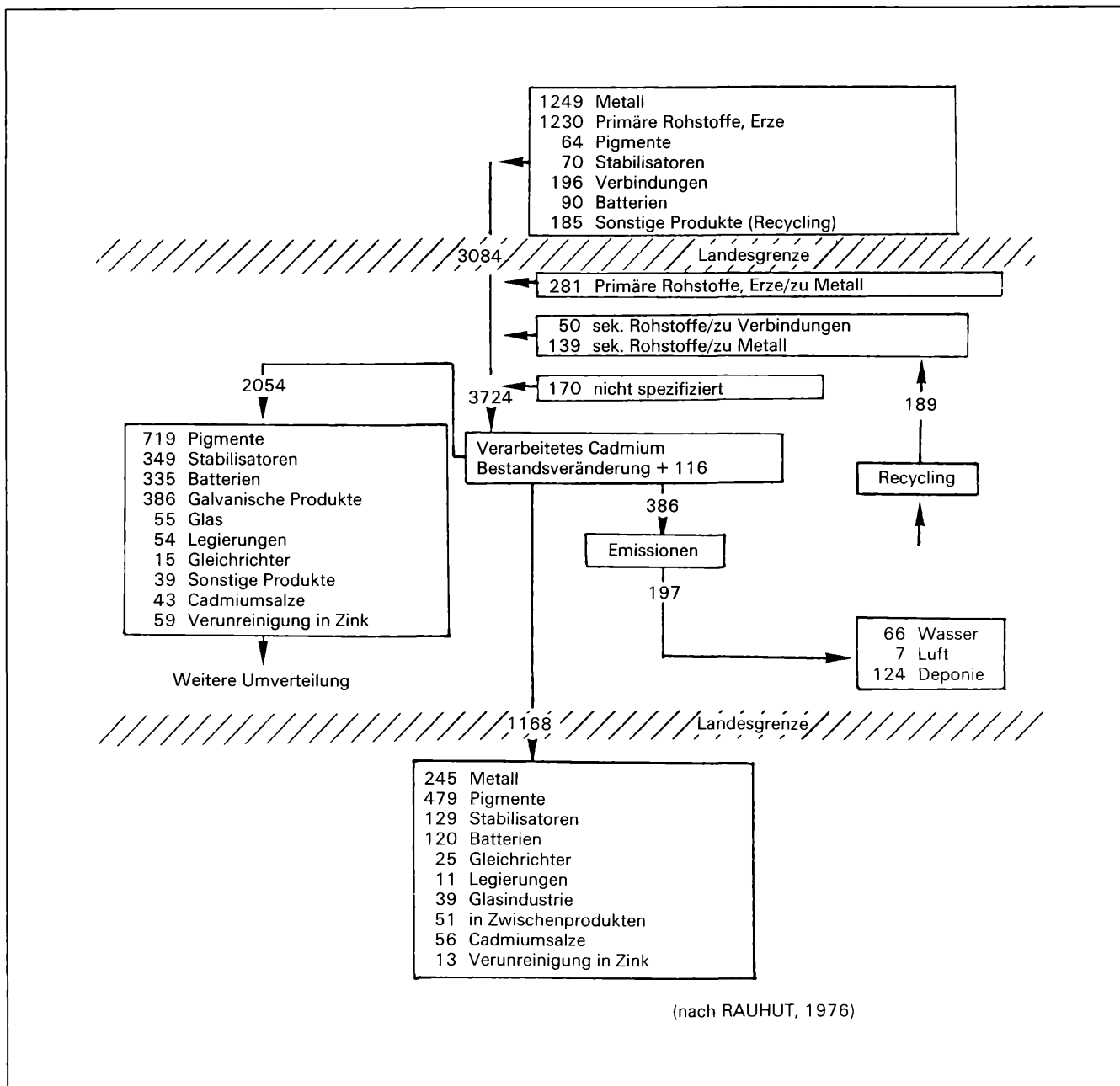
Die Itai-Itai-Krankheit entsteht, wenn die Cadmium-Konzentration in der Nahrung über längere Zeit mindestens ca. 10 mg/kg beträgt. Bei uns liegt die Konzentration generell unter diesem Wert, im Boden z.B. bei 0,1 mg/kg. In Japan wurde jetzt eine Verordnung erlassen, daß Boden, der 10 mg/kg oder mehr Cadmium enthält, für Reiskultivation nicht mehr genutzt werden darf. In Europa wird eine Bodenkonzentration bis zu 5 mg/kg toleriert. Wenn man diese Grenze auf Japan übertragen würde, dann müßten große Reisanbaugebiete stillgelegt werden.

Die Cadmium-Konzentration in Klärschlamm erreicht bzw. übersteigt auch bei uns z.T. schon die Toleranzgrenze. Diese Situation wird in anderen Ländern schon so ernst genommen, daß z.B. nach Schweden ab August 1980 keine cadmiumhaltigen Produkte mehr eingeführt werden dürfen.

Es stellt sich nun die Frage, wo diese hohen Cadmium-Konzentrationen herkommen, d.h., welche cadmiumhaltigen Produkte in Deutschland benutzt werden. Es scheint so, als ob ein Teil der Belastung durch Cadmium von Additiven in Plastikmaterialien herrührt, die als Abfall verbrannt werden. Dadurch gelangt es in die Luft, wird gleichmäßig verbreitet und trägt so auch irgendwann zur Erhöhung der Konzentration im Boden bei. Wenn das der Fall ist, ist es nur logisch, den Cadmium-Gebrauch überall dort, wo es nicht unbedingt notwendig ist, zu limitieren.

Aufgrund von Erfahrungen mit Schwermetallen, Pestiziden, einiger Zufallsentdeckungen – z.B. die Umweltherblichkeit polychlorierter Biphenyle –, der klassischen Luftschadstoffe und ursprünglich in Summenparametern festgelegten Wassergefährdung durch Stoffe wurden die behandelten Kriterien für die Ermittlung der Expositionswahrscheinlichkeit aufgestellt.

Abbildung 5: Cadmium-Flußschema 1973 der Bundesrepublik Deutschland (in t Cd)



Zusammenfassung

Auswirkungen stofflicher Umweltbelastungen auf den Menschen, die Tier- und Pflanzenwelt sowie auf Ökosysteme werden wesentlich durch die substanzspezifischen Eigenschaften der betreffenden Stoffe und ihr Verhalten in der Ökosphäre mitbestimmt.

Die Entwicklung der chemischen Industrie zielte seit ihrem Anfang darauf hin,

- Naturprodukte durch synthetische Stoffe zu ersetzen,
- Chemikalien für die Kontrolle der menschlichen Gesundheit, für Pflanzenschutz, Düngung usw. zu entwickeln mit besseren oder spezifischeren Eigenschaften zur Erreichung des beabsichtigten Zwecks.

Da die produzierten und angewandten Mengen zunächst gering waren, war es ausreichend, nur die technologischen Vorteile zu bewerten. Bei Stoffen, mit denen der Mensch beabsichtigt in Berührung kam, waren natürlich von Anfang

an auch unerwünschte Nebeneffekte in die Beurteilung eingeschlossen. Bedingt durch ständiges Wachstum wurden die Mengen von Chemikalien, welche in die Umwelt gelangten, so groß, daß sie sichtbar bzw. regional oder global analytisch nachweisbar wurden.

Aufgrund von Erfahrungen mit Pestiziden, einiger Zufallsentdeckungen - die Schwermetall-Problematik, die Umwelterheblichkeit polychlorierter Biphenyle -, der klassischen Luftschadstoffe und ursprünglich in Summenparametern festgelegten Wassergefährdung durch Stoffe wurden Kriterien für die Ermittlung der Expositionswahrscheinlichkeit aufgestellt. Diese Kriterien sollen einer prospektiven umwelt-hygienischen Beurteilung von Chemikalien dienen:

- Produktionshöhe
- Anwendungsmuster
- Ausbreitungstendenz
- Persistenz
- biotische und abiotische Umwandlung
- ökotoxikologisches Verhalten.

Produktionshöhe, Produktionsprozesse und Anwendungsmuster bilden die Grundlage dafür, ob ein Stoff eine Umwelterheblichkeit erreichen kann. Sie sind technologisch bzw. wirtschaftlich vorbestimmt. Umweltrelevante Stoffeigenschaften, die Umwandlung bzw. die Abbaubarkeit unter biotischen und abiotischen Bedingungen und das Ausbrei-

tungsverhalten geben Hinweise auf Stabilität bzw. Eliminationsmöglichkeiten und Wahrscheinlichkeit des Vorkommens von Chemikalien in der Umwelt. Unter Hinzuziehung von Daten zur Ermittlung biologischer Effekte ist es das Ziel, eine ökotoxikologische und umwelthygienische Beurteilung durchzuführen.

Wirkungsforschung für eine gesunde Umwelt

W. Mücke

Die ständige Verfeinerung der chemisch-physikalischen Nachweismethoden hat es möglich gemacht, Schadstoffe in der Umwelt relativ genau und zuverlässig zu bestimmen. Gewiß kann das in manchen Fällen recht aufwendig sein, wie die durchgeführten Untersuchungen von Vogeleiern auf Chlorkohlenwasserstoffe gezeigt haben oder auch die Untersuchungen auf Cadmium in Geweben von Schafen. Doch lassen sich heute viele der als umweltrelevant erkannten Stoffe in den meisten Substraten noch im Spurenbereich bestimmen.

Nach der Messung von Substanzen stellt sich dem Umwelthygieniker die entscheidende Frage nach dem Wirkungspotential der festgestellten Menge bzw. Konzentration: Es geht damit um die Beurteilung, ob ein Stoff unter den gegebenen ökologischen Verhältnissen als Umweltschadstoff zu behandeln ist. Eine solche Beurteilung ist besonders schwierig dann, wenn die Umwelt einem chemischen Stoff langfristig exponiert ist, wenn niedrige Konzentrationen vorliegen und wenn Auswirkungsmöglichkeiten auf große Populationen gegeben sind. Und genau das ist bei vielen Umweltchemikalien der Fall.

Die wissenschaftlichen Möglichkeiten der Wirkungsbeurteilung sind, verglichen mit den Möglichkeiten der Meßtechnik, heute noch gering und liegen weit hinter diesen zurück. Man hat sogar den Eindruck, daß sich hier eine Schere geöffnet hat, da in vielen Wirkungsfragen nicht nur Lücken zu schließen sind, sondern erst einmal Erkenntnisgrundlagen geschaffen werden müssen. Die Forderung nach einer gründlichen Erforschung der Wirkungsfragen wird seit Anfang der 70er Jahre drängend gestellt. Sie ist nicht nur ein Appell aus dem Elfenbeinturm der Wissenschaft. Die Chemikaliengesetzgebung hat uns deutlich vor Augen geführt, wie schwer es ist, auf dem gegenwärtigen wissenschaftlichen Fundament tragfähige rechtliche Konstruktionen für eine vorbeugende Kontrolle von chemischen Stoffen zu errichten.

Gegenstand der Wirkungsforschung ist die bekannte oder die vermutete stoffliche Wirkung auf den Menschen, das Tier, die Pflanze sowie die Wirkung auf Ökosysteme und auf Materialien. Ihr Ziel ist, quantitative Beziehungen zwischen der Dosis und der Wirkung zu ermitteln und, darauf aufbauend, Kriterien zu finden für die noch akzeptierbare Belastung durch einzelne Stoffe und Kombinationen von Stoffen. Mit anderen Worten, Ziel der Wirkungsforschung ist die Feststellung von Grenzwerten für Belastungsfaktoren.

Wo stehen wir nun heute in der Wirkungsforschung? Von zahlreichen chemischen Substanzen haben wir bereits *stoffbezogene Daten*, die es erlauben, *Schlüsse auf eine evtl. Umweltgefährlichkeit* zu ziehen. Von Bedeutung ist

1. die Menge des Eintrags in die Umwelt;
2. das Verteilungsverhalten; hier sind physikochemische Daten ausschlaggebend wie z.B. die Löslichkeit und der Dampfdruck;
3. die Persistenz, also die Stabilität gegenüber Abbaumechanismen;

4. die Akkumulation, also die Anreicherung in Lebewesen und der Eintritt in Nahrungsketten. Sie hängt ab von der Persistenz und der Stoffkinetik im Lebewesen.

5. Schließlich hängt die Wirkung von der Art der betroffenen Lebensgemeinschaften ab.

Weitere Anhaltspunkte für die Wirksamkeit geben bestimmte *Kennzeichen der chemischen Reaktivität*. Das ist ja die Wunschvorstellung: aus der Struktur die Umweltrelevanz eines chemischen Stoffes vorherzusagen, um auf experimentelle Prüfungen möglichst ganz verzichten zu können.

Dies ist – zumindest bis heute – nicht möglich. Gewisse Aussagen lassen aber folgende Merkmale durchaus schon zu: die Anwesenheit von reaktiven Gruppen im Molekül (z.B. Doppelbindungen und Halogensubstituenten), bestimmte Reaktionsweisen (z.B. Alkylierungen, Nitrosierung), bestimmte Stoffklassen (siehe die N-Nitroso-Verbindungen, die zu einem größeren Teil cancerogen sind) oder bestimmte metabolische Reaktionen und biochemische Organleistungen (z.B. Darmresorption und Leberstoffwechsel).

Die *stoffbezogenen Daten* können aber *unmittelbar wirkungsbezogene Daten* nicht ersetzen: Entscheidend ist die Kenntnis derjenigen Konzentration, die zu meßbaren Veränderungen im Organismus und in ökologischen Systemen führt. Dazu müssen die Beziehungen zwischen der Dosis, der Wirkung und der Zeit gefunden werden. Das Problem besteht nun darin, daß solche mathematischen Beziehungen besonders im unteren Dosisbereich nicht mehr oder nicht mehr sicher feststellbar sind und sich schon daraus ein Restrisiko ergibt, abgesehen von anderen Unsicherheiten. Ein großes Problem ist allein schon die Wahl der Wirkungsparameter. Wenn z.B. bei der Umwelterheblichkeitsprüfung neuer chemischer Substanzen noch gar keine Anhaltspunkte für Auswirkungen auf biologische Systeme vorhanden sind, muß erst eine breit angelegte Testserie Aufschluß über die wichtigsten pathogenetischen Effekte und die bei niedrigster Dosierung auftretenden Effekte geben.

Betrachten wir die *Prüfungen nach dem Chemikaliengesetz* unter Umweltaspekten, so sagt z.B. die Feststellung der aktuellen Toxizität über die Umweltrelevanz wenig. Die akute Toxizität – die Menge des Stoffes, bei der 50% der Versuchstiere sterben – ist für den Gesundheitsschutz und den Arbeitsschutz wesentlicher als für den Umweltschutz. Dasselbe gilt für die subakute Toxizität, bei der in 28 Tagen der »no-toxic-effect-level« festgestellt wird, wo also noch keine pathologischen Veränderungen auftreten. Im Hinblick auf die Wirkung von Umweltchemikalien bedeutungsvoller sind krebserzeugende, fruchtschädigende, erbgutverändernde und sonstige chronisch schädigende Eigenschaften. Das Chemikaliengesetz faßt die Umweltgefährlichkeit sehr weit, nämlich als Eigenschaft, die natürliche Beschaffenheit von Wasser, Boden oder Luft, von Pflanzen, Tieren oder Mikroorganismen sowie des Naturhaushalts derart zu verändern, daß dadurch erhebliche Gefahren oder erhebliche Nachteile für die Allgemeinheit herbeigeführt werden. Zur Ermittlung des umweltgefährdenden

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge \(LSB\)](#)

Jahr/Year: 1980

Band/Volume: [9_1980](#)

Autor(en)/Author(s): Korte F.

Artikel/Article: [Eigenschaften und Verhalten von Schadstoffen in der Umwelt 21-25](#)