

Umgang mit Risikofaktoren

Die moderne Gesellschaft hängt stark von den verschiedensten Chemikalien ab. Dass viele von ihnen schwere Umwelt- und Gesundheitsschäden verursachen, wurde jedoch erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts erkannt. Erste Massnahmen bestanden darin, das Umweltrisiko für ausgewählte Chemikalien zu überprüfen, und je nach Ergebnis wurden in verschiedenen Staaten gesetzliche Regelungen eingeführt. Heute ist man sich einig, dass prinzipiell alle verwendeten Chemikalien beurteilt werden müssen. Dies ist jedoch aufgrund der grossen Anzahl von Stoffen nicht möglich. Deshalb wählt man mittels geeigneter Priorisierungsverfahren die besonders gefährlichen Chemikalien aus und unterzieht sie einer umfassenden Risikoanalyse. Seit einigen Jahren werden vermehrt Anstrengungen unternommen, das Schadstoffproblem auf internationaler Ebene zu lösen.

Im Jahr 1775 berichtete der englische Arzt Sir Percival Pott in seinem Buch «Chirurgische Beobachtungen» über die Häufung von Hautkrebs bei Londoner Schornsteinfegern. Er sprach von einer Berufskrankheit, die auf den häufigen Kontakt der Kaminfeger mit Russ zurückgeführt werden müsse. Erst anderthalb Jahrhunderte später gelang es, den chemischen Risikofaktor im Russ als Benz(a)pyren zu identifizieren. Benz(a)pyren gehört zu der Substanzklasse der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe.

In den frühen 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts warnten die Chemiker Crutzen, Molina und Rowland vor der Verwendung von Fluorchlorkohlenwasserstoffen. Sie wiesen darauf hin, dass diese auch als Freone bezeichneten Substanzen, die vor allem als Treibgase und Kühlmittel einge-

setzt wurden, die stratosphärische Ozonschicht schädigen könnten. Im Jahr 1985 wurde das so genannte «Ozonloch» in der Antarktis erstmals gemessen und bereits zwei Jahre später kam es zum weltweiten Verbot der Freone durch das Protokoll von Montreal. Seither ist der Montreal-Vertrag mehrmals um andere ozonabbauende Stoffe erweitert worden. Crutzen, Molina und Rowland erhielten für ihre vorausschauende Umweltrisikobeurteilung 1995 den Chemie-Nobelpreis.

Benz(a)pyren und Freone sind Beispiele für Umweltrisikofaktoren, die frühzeitig erkannt wurden (Tab. 1). Ziel dieses Artikels ist es, einen Überblick zum gegenwärtigen Stand der Chemikalienpolitik zu geben. Es wird dargestellt, wie das Umweltrisiko einzelner Chemikalien beurteilt wird, wie man aus der grossen Menge von Chemikalien durch

Priorisierung diejenigen auswählt, für die sofortiger Verbots- oder Reduktionsbedarf besteht, und wie die Umweltschutzpolitik die Chemikalienproblematik erfasst.

Kategorien von Risikofaktoren

Die moderne Zivilisation produziert ca. 100 000 Chemikalien in unterschiedlich grossen Mengen (siehe Kasten). Es ist unvermeidlich, dass bei der Herstellung, beim Gebrauch und bei der Entsorgung der Zivilisationschemikalien auch Anteile in die Umwelt gelangen. Daneben gibt es aber auch Risikofaktoren, die natürlicherweise in der Umwelt auftreten, wie zum Beispiel Trinkwasserverunreinigungen durch Arsen und verschiedenste krankheitsauslösende Mikroorganismen.

Tabelle 1 teilt die heute bekannten Umweltrisikofaktoren in 15 Kategorien ein, wobei einzelne Faktoren oft mehreren Kategorien zugeordnet werden können. Je nachdem, wo und wie die Chemikalien verwendet werden, aber auch aufgrund ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften, sind die Eintragswege und das Verhalten in der Umwelt unterschiedlich. Die Auswirkungen von akut eingetragenen Stoffen infolge von Katastrophen oder Unfällen sind meist besonders verheerend und offensichtlich. Schwieriger erkennbar sind Umweltschäden, die durch chronische Belastungen verursacht werden.

Beurteilung der Umweltverträglichkeit und Festlegung von Grenzwerten

Um das Umweltrisiko von Stoffen abzuschätzen, muss einerseits bekannt sein, wie die Stoffe in die Umwelt gelangen und wie sie sich dort verhalten. Andererseits müssen die Effekte auf die verschiedenen Organismen beurteilt werden. Man stützt sich dabei auf die Expositionsanalyse und die Effektbeurteilung (Abb. 1). In der Expositionsanalyse werden sowohl Art und Menge möglicher Einträge erfasst als auch das Umweltverhalten aufgrund chemodynamischer Stoffeigenschaften abgeschätzt. Wichtige in die Expositionsanalyse einflies-

Technisch hergestellte chemische Stoffe

- 18 Mio. Stoffe sind in den «Chemical Abstracts» aufgeführt und beschrieben.
- 400 Mio. Tonnen Chemikalien wurden weltweit im Jahr 2000 produziert. Vergleiche mit 1 Mio. Tonne im Jahr 1930.
- 100 000 Stoffe waren 1981 in der EU gemeldet und werden als so genannte Altstoffe bezeichnet.
- 2700 Stoffe wurden in der EU seit 1981 neu gemeldet (Neustoffe).
- 30 000 Stoffe sind in Mengen von mehr als 1 Tonne auf dem Markt.
- 5000 Stoffe werden in Mengen von mehr als 100 Tonnen produziert.
- 720 Stoffe wurden zwischen 1988 und 2000 im Rahmen der Schweizerischen Stoffverordnung neu gemeldet.
- 8700 verschiedene Nahrungsmittelzusätze sind bekannt.
- 3300 Stoffe werden als Arzneimittel in der Humanmedizin eingesetzt.

Kategorie	Beispiele: Substanzen, Einträge
I. Früh erkannte Stoffe	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW, Freone)
II. Akut eingetragene Stoffe	Dioxine (Seveso, 1978), Radioaktivität (Tschernobyl, 1986), Agrochemikalien (Schweizerhalle/Rhein, 1986), Erdöltankerunfälle (z.B. Torrey Canyon, Amoco Cadiz)
III. Stoffe mit erkennbaren Effekten bei chronischem Eintrag	verzweigt-kettige Alkylbenzensuslfonate, anionische Tenside in Waschmitteln (Schaumberge), Waschmittelposphate (Gewässereutrophierung)
IV. Stoffe, die sich in biologischen Systemen anreichern	DDT, polychlorierte Biphenyle (PCB), Persistent Organic Pollutants (POP), Schwermetalle (Blei, Cadmium, Quecksilber)
V. Stoffe für spezifische Anwendungen	Wasch- und Reinigungsmittel (Detergentien), Pestizide, Herbizide, Betonzusatzmittel, Antifoulings (zinnorganische Verbindungen)
VI. Ersatzstoffe	Lineare Alkylbenzensuslfonate (LAS), Nitrioltriacetat (NTA), Zeolith A, Organophosphor-Insektizide
VII. Zwischenprodukte des biologischen Abbaus (Metaboliten)	Methylquecksilber, Nitrosamine, Nonylphenol
VIII. Analytische Nebenresultate («Geisterpeaks»)	PCB, Perchlorethylen, Clofibrinsäure
IX. Produktverunreinigungen	Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane (Dioxine)
X. Wassertechnologische Nebenprodukte	Chlorphenole, Trihalomethane, Haloessigsäuren, Nitrosodimethylamin (NDMA), Bromat
XI. Spät erkannte Stoffe	Arsen (siehe Artikel von M. Berg auf S. 12 und H.-R. Pfeifer und J.Zobrist auf S. 15)
XII. Falsch beurteilte Stoffe	Methyl-tert-butylether (MTBE, siehe Artikel von T. Schmidt auf S. 18), Atrazin
XIII. Schwierig zu beurteilende Stoffe	Hormonaktive Stoffe (Bisphenol A, β -Estradiol, siehe Artikel von M. Suter auf S. 24), Arzneimittel
XIV. Neu auftauchende Verunreinigungen («emerging contaminants»)	Antibiotika (siehe Artikel von C. McArdell auf S. 21), bromierte Flammenschutzmittel, fluorierte Sulfonat-Tenside
XV. Immer wieder aktuelle Risikofaktoren	Klärschlamm (siehe Artikel von P. Stadelmann auf S. 9), Krankheitserreger im Trinkwasser (siehe Artikel von W. Köster auf S. 26)

Tab. 1: Die 15 Kategorien von Umweltrisikofaktoren.

sende Parameter sind die PEC-Werte («predicted environmental concentrations», vorausgesagte Umweltkonzentrationen) und die MEC-Werte («measured environmental concentrations», gemessene Umweltkonzentrationen), die Informationen über zu erwartende oder tatsächliche Umweltkonzentrationen geben. MEC-Werte sind allerdings oft nur schwer und unter grossem Aufwand zu bestimmen und liegen deshalb nur für eine kleine Anzahl von Chemikalien vor. Ziel der Effektbeurteilung ist es, mög-

liche Schädwirkungen einer Substanz in Abhängigkeit von der Schadstoffkonzentration zu ermitteln («dose-response assessment»). Daraus wird der sogenannte PNEC-Wert («predicted no effect concentration») abgeleitet, der als Wirkungsschwellenwert, d.h. als niedrigste, noch einen Effekt auslösende Konzentration definiert wird. Für die Gefahrenabschätzung werden schliesslich PEC- und MEC-Werte mit den PNEC-Werten verglichen. Sind die Umweltkonzentrationen höher als der PNEC-Wert, so müssen Mass-

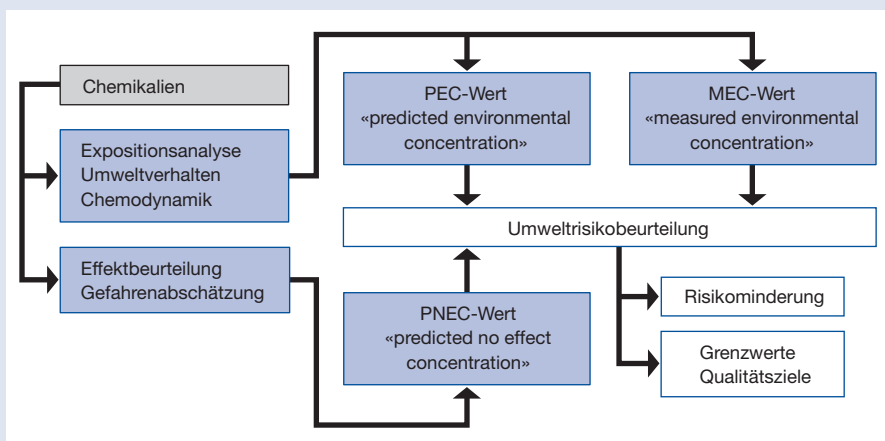


Abb. 1: Umweltrisikobeurteilung von Chemikalien.

nahmen zur Risikominderung in Betracht gezogen werden.

Die Politik der prioritären Schadstoffe

Prinzipiell müsste das Gefahrenpotenzial aller im Gebrauch befindlichen Chemikalien bestimmt werden. Aufgrund der ausserordentlich grossen Zahl der potenziellen Schadstoffe ist dies jedoch unmöglich. Deshalb verfolgt man mittelfristig die Strategie, aus der Gesamtheit der Stoffe zunächst die wichtigsten auszuwählen und diese gründlich zu beurteilen. Beispielsweise wurde im Rahmen der OSPAR-Konvention zum Schutz von Meeresökosystemen ein Auswahl- und Priorisierungsverfahren entwickelt (siehe Artikel von H.-J. Poremski und S. Wiandt auf S. 6).

Ein weiteres Priorisierungskonzept wurde von der amerikanischen Wissenschaftsakademie vorgeschlagen [1]. Darin geht es um die Identifizierung der wichtigsten chemischen und biologischen Verunreinigungen im Trinkwasser. In den USA ist die Umweltschutzbehörde vom Gesetz verpflichtet, alle fünf Jahre eine neue Liste von prioritären Trinkwasserverunreinigungen zu publizieren (Abb. 2). Im ersten Schritt werden potenzielle Verunreinigungen vier verschiedenen Stofftypen zugeordnet (Abb. 3) und diejenigen Stoffe, die den Schnittmengen I–IV angehören, werden in eine provisorische Kandidatenliste aufgenommen. In einem zweiten Schritt beurteilt man die Gefährlichkeit der Stoffe und identifiziert schliesslich die Verunreinigungen, die in die endgültige Kandidatenliste aufgenommen werden. Dabei stützt man sich sowohl auf ein mathematisches Modell als auch auf Beurteilungen durch Experten («expert judgement»).

Konzertierte Aktionen auf internationalem Niveau

In der Vergangenheit war es üblich, dass jedes Land eigene Risikobeurteilungen durchgeführt und eigene Massnahmen zur Regelung des Chemikaliengebrauchs erlassen hat. Beispiele sind die Schweizerische Verordnung über umweltgefährdende Stoffe und die von der amerikanischen Umweltschutzbehörde erstellte Liste der prioritären Trinkwasserverunreinigungen.

Angesichts der riesigen Wissenslücken auf dem Gebiet der Risikofaktoren und der Tatsache, dass Ursache und Auswirkungen von Chemikalien zeitlich und örtlich weit auseinander liegen können, sind indes Anstrengungen auf internationaler Ebene unerlässlich. Bereits seit mehr als vierzig Jahren engagiert sich die OECD im Bereich

Risikobeurteilung und Risikomanagement von Chemikalien. Ein zentrales Anliegen der OECD ist die Ausarbeitung international anerkannter Testmethoden. In der OSPAR-Kommission setzen sich die Anrainerstaaten des Nordost-Atlantiks gemeinsam für den Schutz der Meere ein. Mit der Konvention von Sintra (1997) hat sich die OSPAR das wichtige Ziel gesetzt, den Eintrag von Schadstoffen in die Nord- und Ostsee innerhalb einer Generation zu stoppen.

Auch die Europäische Union ist in den 90er Jahren zunehmend aktiv geworden. Beispielsweise koordiniert das der EU unterstehende Europäische Chemikalienbüro mit Sitz in Ispra, Italien, Datenbanken und Risikobeurteilungen. Zu Beginn des neuen Jahrtausends hat die EU ausserdem zwei Schlüsseldokumente vorgelegt: die Wasser-Rahmenrichtlinie [2] und das Weissbuch – Strategie für eine zukünftige Chemikalienpolitik [3]. In der Wasser-Rahmenrichtlinie geht es um den länderübergreifenden Schutz der Binnengewässer. Als Ergänzung der Wasser-Rahmenrichtlinie hat die EU im Januar 2001 eine Liste von 32 prioritären Stoffen vorgelegt, von denen 12 gefährliche Stoffe schrittweise aus dem Verkehr zu ziehen sind.

Zukünftige EU-Chemikalienpolitik

Mit dem Ziel, die menschliche Gesundheit und die Umwelt zu schützen, veröffentlichte die EU im Februar 2001 das Weissbuch – Strategie für eine zukünftige Chemikalienpolitik in der Europäischen Gemeinschaft [3]. Das Konzept basiert auf der Absicht, die gefährlichsten Stoffe – krebserzeugende, im Körper und in der Umwelt akkumulierende und die Fortpflanzung gefährdende Stoffe – vom Markt zu nehmen und zu ersetzen. Als Handlungsgrundlage gilt das Vorsorgeprinzip. Es geht davon aus, Massnahmen bereits dann zu treffen, wenn ein gewisses Risiko überschritten ist, auch wenn Ursachen und Wirkungen noch nicht eindeutig festgelegt werden können. Ein wesentliches Element der zukünftigen EU-Chemikalienpolitik ist der Aufbau eines transparenten Bewertungssystems. Das so genannte REACH-System setzt sich aus drei Bestandteilen zusammen: Registrierung («**R**egistration»), Bewertung («**E**valuation») und Genehmigungspflicht («**A**uthorisation») von Chemikalien.

- Bei der *Registrierung* sollen grundlegende Informationen von rund 30 000 Alt- und Neustoffen, die in Mengen von mehr als 1 Tonne hergestellt werden, in einer zentralen Datenbank erfasst werden.

- Die *Bewertung* des Risikopotenzials wird für alle Stoffe durchgeführt, die in Mengen von mehr als 100 Tonnen hergestellt werden oder auch für Stoffe mit niedrigeren Produktionsmengen, wenn erhöhter Anlass zur Besorgnis besteht.

- Die *Genehmigungspflicht* gilt für Krebs erregende, Erbgut gefährdende und fortpflanzungsgefährliche Stoffe sowie für persistente organische Schadstoffe.

Als weiteres sehr wichtiges Element fordert die EU die Umkehr der Beweislast. Künftig soll die Industrie – und nicht die Behörden – Informationen über herzustellende oder zu importierende Stoffe und deren Unschädlichkeit liefern müssen. Aufgabe der Behörden wird es sein, die von der Industrie vorgelegten Daten und die dabei angewandten Prüfprogramme zu bewerten und über weitere Schritte zu entscheiden.

In der Schweiz wurde Ende 2000 ein neues Chemikaliengesetz beschlossen, das im Jahre 2005 in Kraft gesetzt werden soll. Dabei wird eine starke Abstimmung mit den Europäischen Gesetzen angestrebt [4].

Ganzheitliches Konzept

Eine ganzheitliche Erfassung und Bearbeitung der Schadstoffproblematik ist eine grosse Herausforderung für Wissenschaft, Behörden und chemische Industrie sowie für Umweltschutz- und Verbraucherorga-

nisationen. Neben den naturwissenschaftlichen und technischen Aspekten müssen bis zu einem gewissen Grad auch sozio-ökonomische Gesichtspunkte berücksichtigt werden wie beispielsweise die Verbraucherakzeptanz oder die Wirtschaftlichkeit von Ersatzstoffen. Aus Umweltschutzsicht muss jedoch eine risikobasierte Beurteilung höchste Priorität haben, und sozio-ökonomische Aspekte dürfen nur eine sekundäre Rolle spielen.

Übergeordnetes Ziel der Chemikalienpolitik ist eine nachhaltige Entwicklung, in der die negativen Auswirkungen der Verwendung von Chemikalien auf einem akzeptablen Mass gehalten werden, so dass auch zukünftige Generationen in einer intakten Umwelt leben und gesunde Wasserressourcen nutzen können. Die momentan laufenden Bemühungen müssen auf verschiedenen Ebenen noch verbessert werden, wobei der Früherkennung von Problemstoffen eine grosse Bedeutung zukommt. Für einen optimalen Schutz muss deshalb das Vorsorgeprinzip zur Anwendung kommen. Fatalerweise ist dieses Prinzip im Fall der eingangs erwähnten Freone nicht angewandt worden. Der Mensch muss sich wohl der Tatsache stellen, dass es letztlich unmöglich ist, das Schadstoffrisiko verlässlich und abschliessend einzuschätzen.



Walter Giger, Chemiker und Titularprofessor für Umweltchemie an der ETH Zürich und der Universität Karlsruhe, Leiter der Abteilung «Chemische Problemstoffe» an der EAWAG. Forschungsgebiet: Auftreten und Verhalten chemischer Problemstoffe im Abwasser, Gewässer und Trinkwasser.

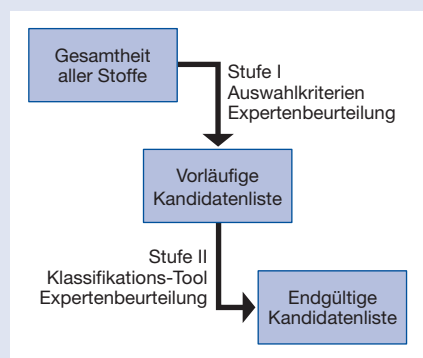


Abb. 2: Priorisierungsverfahren für Trinkwasserverunreinigungen in den USA [1].



Abb. 3: Stufe 1 aus dem Priorisierungsverfahren für Trinkwasserverunreinigungen in den USA [1].

[1] National Research Council (2001): Classifying drinking water contaminants. National Academy Press, 113 pp. Bestelladresse: www.nap.edu

[2] Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2000): Wasser-Rahmenrichtlinie. Dokument verfügbar unter: http://europa.eu.int/comm/environment/water/water-framework/index_en.html

[3] Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2001): WEISSBUCH. Strategie für eine zukünftige Chemikalienpolitik. Dokument verfügbar unter: http://www.europa.eu.int/comm/environment/chemicals/0188_de.pdf

[4] Schweizerisches Chemikaliengesetz (2001). Dokument verfügbar unter: <http://www.bag.admin.ch/chemikal/gesetz/d/index.htm>