



Martin Scheringer

Persistenz und Reichweite von Umweltchemikalien

 **WILEY-VCH**

Weinheim · New York · Chichester
Brisbane · Singapore · Toronto

Aus technischen Gründen bleibt diese Seite leer

Martin Scheringer

**Persistenz und Reichweite
von Umweltchemikalien**

 **WILEY-VCH**

Aus technischen Gründen bleibt diese Seite leer

Martin Scheringer

Persistenz und Reichweite von Umweltchemikalien

 **WILEY-VCH**

Weinheim · New York · Chichester
Brisbane · Singapore · Toronto

Dr. Martin Scheringer
ETH Zürich
Laboratorium für Technische Chemie
ETH-Zentrum
CH-8092 Zürich

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Scheringer, Martin:

Persistenz und Reichweite von Umweltchemikalien / Martin Scheringer. –

Weinheim ; New York ; Chichester ; Brisbane ; Singapore ; Toronto :

Wiley-VCH, 1999

ISBN 3-527-29752-9

© WILEY-VCH Verlag GmbH, D-69469 Weinheim (Federal Republic of Germany), 1999

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, daß diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form – by photoprinting, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publishers. Registered names, trademarks, etc. used in this book, even when not specifically marked as such, are not to be considered unprotected by law.

Titelbild nach einem Entwurf von Jürg Schmidli, ETH Zürich

Druck: betz-druck GmbH, D-64291 Darmstadt

Bindung: Wilh. Osswald + Co., D-67433 Neustadt

Printed in the Federal Republic of Germany

Für Beatrix

Aus technischen Gründen bleibt diese Seite leer

Vorwort

Zur Zeit wird deutlich, daß die bisherigen Verfahren zur Chemikalienbewertung immer stärker auf eine Reihe von Schwierigkeiten stoßen: Sie sind so aufwendig, daß sie für die Vielzahl aller Stoffe, die zur Bewertung anstehen, nicht praktikabel sind; sie decken neue Effekte wie z. B. die hormonähnliche Wirkung verschiedener Chemikalien nicht ab und müssen daher immer wieder erweitert werden; sie führen aufgrund der Komplexität der untersuchten Systeme vielfach zu uneindeutigen Resultaten, die Raum für verschiedenste Interpretationen lassen.

Zum Teil liegen diese Schwierigkeiten in der Natur des Problems, d. h. in der Komplexität der Umwelt und der Vielzahl der Stoffe. Es gibt jedoch zusätzlich ein wissenschaftsmethodisches Grundproblem, das ebenfalls zu den Schwierigkeiten bei der Chemikalienbewertung beiträgt und bei dem es sich lohnt, nach neuen Ansätzen zu suchen: Dieses Problem liegt im ungeklärten Verhältnis zwischen „objektiven“ naturwissenschaftlichen Resultaten einerseits und ökonomischen, rechtlichen oder ethischen Bewertungen andererseits. Zusätzliche Verwirrung stiftet die Vermischung dieser beiden Ebenen in „naturwissenschaftlichen Bewertungen“, von denen ebenfalls häufig die Rede ist.

Eine Ursache dieses methodischen Problems ist das Prinzip der naturwissenschaftlichen „Wertfreiheit“, welches nach wie vor, auch nach 30 Jahren Umweltforschung, eine umfassende wissenschaftliche Bearbeitung von Umweltproblemen erschwert. Die Frage, in welchem Sinne das Prinzip der naturwissenschaftlichen Wertfreiheit heute in den Umweltwissenschaften revidiert werden muß, bildet die Motivation und den Rahmen der Untersuchungen, die in diesem Buch vorgestellt werden.

Das vorliegende Buch beruht auf der Dissertation, die ich von 1991 bis 1996 an der Abteilung für Umweltnaturwissenschaften der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich durchgeführt habe, und auf meiner weiteren Beschäftigung mit dem Problem der Chemikalienbewertung während meiner Tätigkeit in der Gruppe „Sicherheit und Umweltschutz in der Chemie“ am Laboratorium für Technische Chemie der ETH Zürich.

Um das Problem der Wertfreiheit zu diskutieren, habe ich mich auf eine umweltethische Argumentation gestützt und sie mit der umweltchemischen Untersuchung von Chemikalien verbunden. Daher umfaßt dieses Buch mit Umweltchemie und Ethik zwei Bereiche, die i. a. getrennt behandelt werden. Neben spezifischen Fragen aus beiden Gebieten steht hier die Frage im Vordergrund, wie sich Umweltchemie und Ethik, d. h. die naturwissenschaftliche Beschreibung und die ethische Bewertung von Chemikalienexpositionen, miteinander verbinden lassen.

Schon in jedem einzelnen der beiden Gebiete gibt es heute einen umfangreichen Bestand an Literatur, und im Rahmen eines einzelnen Buches ist es nicht möglich, einen vollständigen Überblick über beide Gebiete zu geben. Das Literaturverzeichnis hat somit keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern die Literaturangaben sollen einerseits die Quellen für konkrete Daten und Aussagen bezeichnen und andererseits einen Einstieg in die angesprochenen Themen ermöglichen, so daß man selbst weitere Arbeiten aufsuchen kann. Ein Glossar am Ende des Buches erläutert die wichtigsten Begriffe aus beiden Teilbereichen.

Das Buch wendet sich zum einen an Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler, die im Bereich der Chemikalienbewertung arbeiten oder sich sonst mit der Bewertung anthropogener Umweltveränderungen beschäftigen. Es enthält konkrete neue Vorschläge zur Chemikalienbewertung und soll darüber hinaus zur Diskussion über Werturteile in der Umweltforschung anregen. Zweitens richtet es sich an Human- und Geisteswissenschaftler, die sich für die konkrete Umsetzung ethischer Kriterien in der Umweltforschung interessieren. In diesem Sinn soll das Buch auch zur stärkeren Verbindung zwischen humanwissenschaftlicher und naturwissenschaftlicher Umweltforschung beitragen.

Ich möchte an dieser Stelle allen meinen Dank aussprechen, ohne deren vielfältige Unterstützung dieses Buch nicht zustande gekommen wäre. Prof. Dr. Konrad Hungerbühler danke ich für neue Einblicke in die Praxis der Chemikalienbewertung, für anregende Diskussionen über die „Chemie der kurzen Reichweiten“ und für die Möglichkeit, dieses Buchprojekt in seiner Arbeitsgruppe zu verwirklichen.

Prof. Dr. Ulrich Müller-Herold und Dr. Marco Berg danke ich für die enge Zusammenarbeit bei der grundsätzlichen Ausarbeitung des Reichweiten-Konzepts und für wertvolle Anregungen zu den hier dargestellten Überlegungen.

PD Dr. Gertrude Hirsch verdanke ich wertvolle Beiträge und Strukturierungsvorschläge zum normativen Teil des Reichweiten-Konzeptes sowie zum Glossar.

Ausdrücklich danken möchte ich Jochen Jaeger für den langjährigen und fruchtbaren Austausch und für seine konkreten Anregungen, die an vielen Stellen in dieses Buch eingeflossen sind.

Mit Kathrin Fenner, Fabio Wegmann und Dr. Hermann Held konnte ich wertvolle Diskussionen über umweltchemische Modelle und ihre Weiterentwicklung führen: ich danke ihnen für Anmerkungen zum Text und für ihre Beiträge zum Modellkapitel.

Viele hilfreiche Kommentare und Hinweise auf Literatur verdanke ich Almut Beck, Dr. Beate Escher, Dr. Michael Esfeld, Peter Flückiger, Dr. Patrick Hofstetter, Christina Jahn, Prof. Dr. Bernd Jastorff, Dr. Stephan Lienin, PD Dr. Karin Mathes, Prof. Hans Primas, Annemarie Scheringer, Isabel Scheringer, Jürg Schmidli, Prof. Dr. René Schwarzenbach, PD Dr. Hansjörg Seiler, Prof. Dr. Gerd Weidemann, Dr. André Weidenhaupt und Prof. Dr. Gerd Winter.

Für wichtige Anregungen danke ich auch den Teilnehmern des SETAC-Workshops *Criteria for Persistence and Long-Range Transport of Chemicals in the Environment* (14. Juli 1998), insbesondere den Mitgliedern der Arbeitsgruppe „*Persistence in Multimedia Models*“, Prof. Dr. Michael Matthies, Prof. Dr. Tom McKone,

Dr. Tom Parkerton, Dr. Richard Purdy, Dr. Dik van de Meent, Dr. Frank Wania, sowie Prof. Dr. Donald Mackay.

Ausdrücklicher Dank gebührt Dr. Pitt Funck für seine Hilfe bei der typographischen Gestaltung mit \LaTeX . Dr. Christina Dyllick und Claudia Grössl von Wiley-VCH danke ich für ihre Unterstützung bei der Realisierung dieses Buches.

Meiner Frau Dr. Beatrix Falch verdanke ich viele inhaltliche Beiträge zum Reichweiten-Konzept. Ich widme ihr dieses Buch und danke ihr herzlich für ihre Geduld und Unterstützung während seiner Fertigstellung.

Martin Scheringer

Zürich, im Januar 1999

Aus technischen Gründen bleibt diese Seite leer

Inhalt

Vorwort	VII
1 Eine Verbindung zwischen Umweltchemie und Ethik	1
1.1 Zu viele Daten – zu wenig Daten?	1
1.2 Beschreibung und Bewertung	4
1.3 Gliederung und Überblick	7
2 Offene Probleme bei der Bewertung von Umweltchemikalien	9
2.1 Frühe Umweltbelastungen durch chemische Produktion	9
2.2 Chlorierte Kohlenwasserstoffe als Universalchemikalien	10
2.3 Umweltchemikalien	14
2.4 Schwierigkeiten bei der Bewertung	17
3 Überkomplexität und normative Unbestimmtheit von Umweltsystemen	23
3.1 Zur Entstehung und Funktion von Schadensbegriffen	23
3.2 Bewertungsprobleme	26
3.3 Überkomplexität	28
3.3.1 Umweltsysteme	28
3.3.2 Technische Systeme	30
3.3.3 Wissenschaftstheoretische und praktische Konsequenzen . . .	31
3.4 Normative Unbestimmtheit	34
3.4.1 Ökologie und Ethik?	34
3.4.2 Normative Unbestimmtheit: Begründungen	38
3.5 Zusammenfassung	43
4 Umweltchemikalien, Reichweite und ökologische Gerechtigkeit	45
4.1 Zum Problem des Werturteils in naturwissenschaftlichen Untersuchungen	46
4.2 Gerechtigkeitsprinzipien und ihre Anwendung auf Umweltprobleme .	49
4.2.1 Das Operationalisierungs-Problem	50
4.2.2 Körperliche Integrität als Indikator	52
4.2.3 Indikatoren zur Messung einer nachhaltigen Entwicklung . . .	53
4.2.4 Syndrome des Globalen Wandels	55
4.2.5 Gerechtigkeitsprinzipien und Reichweite	58

4.3	Räumliche Reichweite bei mehreren Emittenten	62
4.3.1	Kombinierte räumliche Reichweite	62
4.3.2	Normativer Bezug	64
5	Persistenz und Reichweite als Maße für Umweltgefährdung	69
5.1	Umweltgefährdung und Umweltschaden	69
5.2	Methodische Konsequenzen	72
5.2.1	Prävention	72
5.2.2	Komplexitätsreduktion	73
5.2.3	Trennung von Reichweite und Emissionsmenge	75
5.3	Zwischenbilanz und Diskussion	77
5.3.1	Inhalte und Ziele	77
5.3.2	Grenzen	79
5.3.3	Mögliche Mißverständnisse	80
6	Quantitative Bestimmung von Persistenz und Reichweite	83
6.1	Zeitlicher und räumlicher Konzentrationsverlauf	83
6.1.1	Bestehende Persistenz-Definitionen	83
6.1.2	Räumlicher Konzentrationsverlauf	84
6.1.3	Konzentration und Exposition	86
6.2	Emissionsszenarien	87
6.3	Definitionen von Persistenz und Reichweite	88
6.3.1	Verteilungsmaßzahlen	88
6.3.2	Persistenz	90
6.3.3	Räumliche Reichweite	91
6.3.4	Emissionen aus mehreren Quellen	100
6.3.5	Zusammenfassung	101
7	Modellrechnungen für Persistenz und Reichweite	103
7.1	Evaluative Modelle und Simulationsmodelle	104
7.2	Evaluative Modelle ohne Transport	108
7.3	Evaluative Modelle mit Transport	110
7.3.1	Klimazonenmodell	111
7.3.2	Ringmodell	112
7.4	Halbflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe: <i>Persistent Organic Pollutants</i>	120
7.4.1	Umweltchemische Befunde und umweltpolitische Bedeutung	120
7.4.2	Modellrechnungen	122
7.4.3	Interpretation der Resultate	126
7.5	Stoffvergleich mittels Persistenz und Reichweite	132
7.5.1	Graphische Darstellung der Modellresultate	132
7.5.2	Aussagekraft der Resultate	135
7.6	Räumliche Reichweite bei mehreren Emittenten	137

8	Folgerungen für die Bewertung von Umweltchemikalien	141
8.1	Expositionsgestützte und wirkungsgestützte Chemikalienbewertung	141
8.1.1	Vorgehensweise	141
8.1.2	Anwendungsbereiche	146
8.2	Risiko oder Vorsorge?	148
8.3	Umweltwissenschaftliche und chemiepolitische Ziele	151
8.3.1	Umweltchemie	151
8.3.2	Weitere Verteilungsfragen	152
8.3.3	Toxikologie und Ökotoxikologie	153
8.3.4	Chemiepolitik	154
A	Mathematische Struktur des Ringmodells	159
A.1	Übertritt zwischen den Kompartimenten	159
A.1.1	Diffusive Prozesse	160
A.1.2	Advektive Prozesse	162
A.2	Transport in Wasser und Luft	164
A.3	Kombination aller Prozesse	165
A.3.1	Abbau und Transport innerhalb eines Kompartiments	165
A.3.2	Abbau, Transport und Übertritt zwischen den Kompartimenten	166
A.4	Vorgehensweise bei der Berechnung von R und τ	167
A.4.1	Berechnung der Exposition	167
A.4.2	Berechnung der Persistenz	168
A.4.3	Berechnung der Reichweite	169
B	Glossar	171
	Literatur	179
	Register	205

Aus technischen Gründen bleibt diese Seite leer

Kapitel 1

Eine Verbindung zwischen Umweltchemie und Ethik

1.1 Zu viele Daten – zu wenig Daten?

Umweltchemikalien sind seit den 50er Jahren ein wissenschaftliches und umweltpolitisches Thema. Eine breite öffentliche Diskussion setzte 1962 mit dem Erscheinen von Rachel Carsons Buch *Silent Spring* ein (Carson 1962). In *Silent Spring* hat die Biologin Rachel Carson die schwerwiegenden Wirkungen dargestellt, die neue Pestizide wie DDT nach ihrer großflächigen Anwendung in den USA bei einer Vielzahl von Lebewesen ausgelöst hatten. Mit der Vision des stummen Frühlings, in dem keine Vögel mehr singen, keine Bienen mehr fliegen und die Pflanzen am Straßenrand braun und welk am Boden liegen, löste *Silent Spring* starke Reaktionen aus. Unmittelbar nach seinem Erscheinen kam es zu heftigen Kontroversen, und die amerikanische chemische Industrie startete eine regelrechte Kampagne gegen das Buch und auch gegen Carsons Person (Hynes 1989, S. 115ff.). Über diese erste Debatte hinaus hat das Buch dann wesentlich dazu beigetragen, daß Ende der 60er Jahre eine Reihe von Pestiziden, am prominentesten davon DDT, in Europa und den USA verboten wurden, daß in den USA die *Environmental Protection Agency*, EPA, ins Leben gerufen wurde (Marco *et al.* 1987, S. xv), und daß der integrierte Pflanzenschutz, *Integrated Pest Management*, entwickelt wurde (Van Embden u. Peakall 1996). Weiterhin hat *Silent Spring* eine bis heute andauernde Auseinandersetzung mit dem Einsatz von Pestiziden ausgelöst, die mittlerweile von allen Akteuren, auch der chemischen Industrie, mitgetragen wird.¹

Auch über den Bereich der Pestizide hinaus hat sich seit dem Erscheinen von *Silent Spring* vieles geändert: Für FCKW wurden Ersatzstoffe eingeführt; phosphatfreie und deutlich wirksamere Waschmittel wurden entwickelt; für Lösungsmittel wurden die Rückhaltetechniken z. B. in der chemischen Reinigung stark verbessert; Papier wird chlorfrei gebleicht, und zahlreiche Farben und Lacke werden heute auf Wasserbasis hergestellt, um nur einige Beispiele zu nennen. In vielen Ländern und in der EU wurden umfangreiche gesetzliche Regelungen für die Registrierung von

1. „American industry independently and in response to her [R. Carson’s] challenge is now engaged in scientific research and development that no one in the 1960s would have reasonably envisaged.“ (Marco *et al.* 1987, S. 166).

Chemikalien eingeführt, und in Wissenschaft, Verwaltung und Industrie haben sich standardisierte Verfahren zur Chemikalienbewertung etabliert.

Andererseits haben sich neue Problemfelder eröffnet wie z. B. die hormonähnliche Wirkung verschiedener Chemikalien, und zudem hat bei allen Verbesserungen in einzelnen Bereichen die Vielfalt und Menge der Stoffe, die in die Umwelt freigesetzt werden, zugenommen. Gleichzeitig ist der Bestand des naturwissenschaftlichen Wissens über die Auswirkungen von Chemikalien in der Umwelt sehr stark angewachsen. Die Vielzahl der Chemikalien, die Vielzahl der betroffenen Organismen und Ökosysteme und der darin ablaufenden Prozesse führt zu einer stetigen Zunahme der Befunde.

Dennoch fehlen in vielen Fällen immer noch Daten für die Beurteilung von Chemikalien, so daß man, zugespitzt formuliert, sagen kann: Es besteht gleichzeitig Datenüberfluß und Datenmangel. Diese uneindeutige Datenlage führt dazu, daß immer wieder kontrovers darüber diskutiert wird, wie schwerwiegend Umweltbelastungen durch Chemikalien eigentlich einzuschätzen sind, worin geeignete Maßnahmen zur Verminderung solcher Umweltbelastungen bestehen können, und wie dringlich solche Maßnahmen sind.

Daran zeigt sich, daß naturwissenschaftliche Fakten allein nicht für sich sprechen und auch keine hinreichenden Entscheidungsgrundlagen bilden. In dieser Situation ist es das Ziel der vorliegenden Studie, naturwissenschaftliche Resultate und Methoden aus der Umweltchemie mit einer ethischen Argumentation zu kombinieren.² Dadurch soll ein stärkerer Bezug zwischen der naturwissenschaftlichen Beschreibung von Umweltveränderungen einerseits und ihrer nicht-naturwissenschaftlichen Bewertung andererseits hergestellt werden. Ein stärkerer Bezug zwischen Beschreibung und Bewertung, so die Hauptthese dieses Buches, macht die Beurteilung von Umweltveränderungen transparenter und effizienter, und er verbessert ihre normative Grundlage.

Da das Feld sehr umfangreich ist, ist eine Eingrenzung hinsichtlich der betrachteten Stoffe und Methoden erforderlich. Ursprünglich wurden Umweltprobleme der Chemie an der Produktion, an den „rauchenden Schornsteinen“ festgemacht. Das heutige Problem der Umweltchemikalien betrifft jedoch weniger die chemische Produktion als die chemischen Produkte, die während und nach dem Gebrauch in die Umwelt gelangen; sie übertreffen die Emissionen aus der Produktion bei weitem und werden heute (neben den zu deponierenden Abfällen) als die eigentlichen Emissionen der chemischen Industrie angesehen (Weise 1991; Ballschmiter 1992, S. 504; Ayres 1998). Es handelt sich dabei um eine Vielzahl von Gebrauchschemikalien wie Lösungsmittel; Waschmittelinhaltsstoffe; Textilchemikalien; Kunststoff-Zusätze wie Antioxidantien, Stabilisatoren und Weichmacher; Medikamente wie z. B. Antibiotika; Anstrichstoffe sowie Düngemittel und Pestizide.³

-
2. Hier steht die ethische Bewertung im Vordergrund; ebenso relevant sind aber auch rechtliche und ökonomische Bewertungen. Zur rechtlichen Bewertung vergleiche man z. B. Winter (1995).
 3. Von diesen ausgewählten Stoffgruppen werden zur Zeit pro Jahr etwa folgende Mengen verbraucht: 2 Mio. Tonnen aktive Pestizid-Wirkstoffe (1993 weltweit), 3 Mio. Tonnen Lösungs-

Im folgenden werden hier vor allem unpolare organische Substanzen wie Lösungsmittel und halbflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe wie z. B. polychlorierte Biphenyle (PCB) näher betrachtet. Nicht untersucht werden Düngemittel, oberflächenaktive oder komplexbildende Stoffe, saure Gase wie SO_x , NO_x und CO_2 , Schwermetalle und Salze. Diese Einschränkung ist vor allem wegen des in Kapitel 7 verwendeten Modells notwendig, das sich nur auf unpolare organische Substanzen anwenden läßt. Die grundsätzlichen Überlegungen zur Bewertungsproblematik beziehen sich jedoch auf alle Stoffgruppen und vielfach noch allgemeiner auf „anthropogene Umweltveränderungen“.

Bei den Methoden zur Chemikalienbewertung wird hier vor allem auf die Risikobeurteilung für *neue Stoffe* mit den Schritten Expositionsanalyse und Wirkungsanalyse Bezug genommen, wie sie u. a. dem *Technical Guidance Document* (TGD) der EU oder der schweizerischen Stoffverordnung zugrundeliegt. Neue Stoffe sind alle Stoffe, die seit dem 18.9.1981 auf den Markt gebracht wurden; ca. 100 000 *Altstoffe* waren bereits vor diesem Datum im Gebrauch (aufgelistet im *European Inventory of Existing Commercial Chemicals*, EINECS). Eine Auswahl dieser Altstoffe soll im Rahmen des EU-Altstoffprogramms beurteilt werden; bisher wurden allerdings nur zehn dieser Bewertungen abgeschlossen (EEA 1998, S. 9). Über 200 Altstoffe wurden mittlerweile vom Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe der GDCh bewertet (BUA 1986).

Als ein umfassenderes Instrument zur Bewertung chemischer Produkte hat auch die Ökobilanz oder Lebenswegbilanz (*Life Cycle Assessment*, LCA) eine zunehmende Bedeutung erlangt. Die Risikobeurteilung für einzelne Stoffe ist nämlich nur ein erstes Element in der umfassenden Bewertung chemischer Produkte; eine Ökobilanz umfaßt über die toxikologisch orientierte Risikobeurteilung hinaus alle Schritte von der Rohstoffgewinnung über die Produktionsprozesse und die Nutzung des Produkts einschließlich Recycling bis zu seiner Entsorgung durch Deponierung oder Verbrennung.⁴ Dabei sind zusätzlich zum betrachteten Produkt selbst auch

mittel (nur Westeuropa, 1995), 112 000 Tonnen Textilhilfsstoffe (Produktion in Deutschland 1992), 800 000 Tonnen Farbstoffe (weltweiter Verbrauch, annähernd konstant seit 1974), 1,2 Mio. Tonnen Kunststoffadditive (weltweit 1990), 1 Mio. Tonnen Weichmacher, davon 85% Phthalate (nur Westeuropa), 15 Mio. Tonnen Seifen, Tenside etc. (weltweit), 30 000 Tonnen Antibiotika (weltweit 1994), 5 000 Tonnen Enzyme (weltweit 1990). Alle Angaben nach Ullmann, 5. Auflage (1985–1996) und Kirk-Othmer, 4. Auflage (1991–1998).

Insgesamt wurde die weltweite Produktion an organischen Chemikalien von 5 Mio. Tonnen im Jahr 1950 auf ca. 250 Mio. Tonnen im Jahr 1985 gesteigert (Korte 1987, S. 6). Erhebliche Anteile dieser Stoffmengen gelangen in die Umwelt, wo sie jedoch nicht mehr „verarbeitet“ werden können:

„Die globale Allgegenwart vieler anthropogener Chemikalien ist in den letzten 50 Jahren Realität geworden. (...) Selbst der mikrobiologische Abbau (...) zeigt die Grenzen seiner Möglichkeiten auf: sonst hätten die Weltmeere nicht in wenigen Jahrzehnten leicht nachweisbare Mengen eines komplexen Musters von Xenobiotica akkumulieren können.“ (Ballschmiter 1992, S. 525f.)

4. Zur LCA-Methodik vergleiche man z. B. Consoli *et al.* (1993), Curran (1993), White u. Shapiro (1993), Nash u. Stoughton (1994), Barnthouse *et al.* (1997), Hulpke (1998), Hungerbühler *et al.* (1998), Hofstetter (1998).

alle weiteren an seinem Lebenszyklus beteiligten chemischen Substanzen sowie der Wasser-, Energie- und Materialverbrauch zu bewerten. Bei der Bewertung eines solchen vielstufigen und vielfach rückgekoppelten Systems aus Stoff- und Energieflüssen müssen verschiedene Gesundheitsrisiken, Umweltbelastungen, Kostenfaktoren etc. berücksichtigt, bewertet und verglichen werden. Im einzelnen sind die Schritte (1) Zieldefinition (*Goal and Scope Definition*), (2) Inventarisierung (*Life Cycle Inventory*), (3) Wirkungsbeurteilung (*Life Cycle Impact Assessment*) und (4) Interpretation zu unterscheiden (Consoli *et al.* 1993, ISO 1997).

Im Schritt *Life Cycle Impact Assessment* stützt sich die Ökobilanz auf verschiedene Verfahren zur Einzelstoffbewertung, z. B. für die Wirkungskategorien Treibhauswirkung, Ozonabbaupotential, Versauerungspotential oder Human- und Ökotoxizität. Das *Life Cycle Impact Assessment* ist noch bei weitem nicht ausgereift (Owens 1997), sondern kann von Neuansätzen bei der Stoffbewertung erheblich profitieren. In diesem Sinne ist das hier entwickelte Reichweiten-Konzept auch als ein Impuls zur Weiterentwicklung der Stoffbewertung in der Ökobilanz zu verstehen.

1.2 Beschreibung und Bewertung

Damit im folgenden keine Mißverständnisse hinsichtlich der Bedeutung des Begriffs „Bewertung“ auftreten, werden zunächst vier verschiedene Bewertungsformen unterschieden, die im Kontext der Chemikalienbewertung verwendet werden:

1. *Naturwissenschaftliche Bewertung oder Wertzuweisung*: Diese erste Form entspricht dem naturwissenschaftlichen Verständnis des Begriffs „Bewertung“. Ein Stoff wird bewertet, indem ihm Zahlenwerte einer gegebenen physikalischen, chemischen oder toxikologischen Meßgröße zugeordnet werden. Verschiedene Substanzen können dann hinsichtlich dieser Größe verglichen werden. Die Meßgröße kann, muß aber nicht auf eine im Hintergrund stehende ethische Norm bezogen sein; so hat z. B. die Maximale Arbeitsplatz-Konzentration (MAK-Wert) Bezug zur körperlichen Integrität als schützenswertes Gut, während der Dampfdruck keinen solchen normativen Bezug besitzt.
2. *Relevanzeinschätzung*: Im Gegensatz zur ersten Frage – welcher Wert einer gegebenen Meßgröße ist einer Substanz zuzuordnen? – geht es hier um die Frage, hinsichtlich welcher Meßgröße eine Substanz bewertet werden soll.

Über die unmittelbare naturwissenschaftliche Bedeutung hinaus haben viele Meßgrößen eine wertende Bedeutung, die jedoch meistens implizit ist und bei der Verwendung der Meßgrößen als Schadensindikatoren nicht angesprochen wird. Die Relevanz, die ein Indikator für die Umweltdebatte hat, hängt u. a. davon ab, was er über den naturwissenschaftlich zu verstehenden Zahlenwert hinaus besagt. Bei dieser zweiten Bewertungsform wird somit die *wertende Aussagekraft* naturwissenschaftlicher Indikatoren wie z. B. Toxizität, Treibhauspotential oder Persistenz beurteilt. Auf dieser Grundlage können dann die für ein bestimmtes Problem relevanten Meßgrößen ausgewählt werden.

3. *Normatives Urteil*: Vor dem Hintergrund eines Werturteils oder einer ethischen Norm wird beurteilt, ob ein Sachverhalt, z. B. eine Chemikalienexposition und ihre Folgen, einen Wert wie z. B. ein Rechtsgut oder einen moralischen oder ästhetischen Wert beeinträchtigt oder fördert. Damit zwischen Norm und Sachverhalt eine Beziehung hergestellt werden kann, werden geeignete Indikatoren benötigt. Solche Indikatoren bilden einerseits die Dimensionen, in denen der Sachverhalt beschrieben wird, und andererseits die Kriterien, mit deren Hilfe der Sachverhalt hinsichtlich der Norm beurteilt wird.
4. *Umfassende Güterabwägung*: Verschiedene Güter und Güterbeeinträchtigungen, die ihrerseits bereits im Sinne eines normativen Urteils bewertet wurden, werden gegeneinander abgewogen, z. B. in Form einer Kosten-Nutzen-Kalkulation. Dies ist die umfassendste Bedeutung des Begriffs „Bewertung“. Güterabwägungen bilden die Grundlage für eine Entscheidung über Maßnahmen.

Im folgenden wird der Begriff „Bewertung“ überwiegend mit der dritten Bedeutung (normatives Urteil über Umweltveränderungen) und in einigen Fällen mit der zweiten Bedeutung (Relevanzeinschätzung von Indikatoren) verwendet.

Ausgangspunkt für das hier vorgestellte Konzept zur Chemikalienbewertung ist nun das zu Beginn erwähnte Dilemma aus ungenügendem Wissen einerseits und Datenüberfluß andererseits:

- Obwohl mittlerweile eine Fülle von naturwissenschaftlichen Befunden zur Verfügung steht, scheint bei vielen Umweltproblemen immer noch keine genügende Grundlage für eine Bewertung zu bestehen.⁵
- Gleichzeitig ist die Menge der zur Bewertung anstehenden Befunde so umfangreich und uneinheitlich geworden, daß sie nahezu beliebig viele, auch widersprüchliche Folgerungen zuläßt und dadurch das Bewertungsverfahren lähmt, was zum sog. „Gutachtendilemma“ geführt hat (Wandschneider 1989; Höslle 1991, S. 83; Lübke 1997).

Es stellt sich also die Frage, wie der Bedarf für neue Daten besser definiert werden kann als bisher, und wie die bereits vorhandene Datenmenge sinnvoll strukturiert werden kann. Datenmangel und Datenüberfluß sind zwei Aspekte desselben Problems: Es gibt bislang keine genügend klaren Leitlinien für die Datenerhebung im Hinblick auf die Bewertung der Daten. Der Ansatz, mit dem dieses Problem hier ein Stück weit entschärft werden soll, besagt:

Nur wenn die naturwissenschaftliche Beschreibung und die ethische (oder rechtliche) Bewertung von Umweltveränderungen von Beginn an aufeinander

5. „Auch in absehbarer Zeit dürfte eine zuverlässige Abschätzung der Folgen sämtlicher Stoff-Einträge in die Umwelt kaum möglich sein – zu groß sind die unkalkulierbaren Sprünge, zu komplex die Wechselwirkungen und Rückkoppelungsmechanismen. Von einigen Stoffen ist noch nicht einmal die genaue chemische Zusammensetzung bekannt.“ (Wuppertal-Institut 1996, S. 43)

bezogen sind und gemeinsam erarbeitet werden, wird sich die Vielfalt der naturwissenschaftlichen Fakten einerseits und der umweltpolitischen Argumente und Positionen andererseits für die Umweltdebatte fruchtbar machen lassen.

Wie dieser explizite Bezug zwischen Beschreibung und Bewertung hergestellt werden kann, wird konkret an den Indikatoren „räumliche und zeitliche Reichweite“ gezeigt, die im folgenden mit R (Raum) und τ (Zeit) bezeichnet werden. Die zeitliche Reichweite τ entspricht der Persistenz oder Lebensdauer von Umweltchemikalien, die in der Umweltchemie seit ca. 25 Jahren als Bewertungskriterium verwendet wird. Die räumliche Reichweite R wurde bisher nicht verwendet; sie wird hier als Ergänzung der Persistenz für die Raumdimension eingeführt. Sie beschreibt die Größe des Bereichs, über den sich ein Stoff nach seiner Freisetzung in die Umwelt verteilt.

Indikatoren wie R und τ bilden ein Bindeglied zwischen Beschreibung und Bewertung: Einerseits sind sie naturwissenschaftliche Meßgrößen, in denen viele Einzelbefunde zum Umweltverhalten von Chemikalien gebündelt werden. Andererseits haben sie eine anschauliche Bedeutung, mit der sie auch außerhalb der Umweltchemie verwendet werden. Verwendet wird der Begriff „Reichweite“, wie in Kapitel 4 ausführlicher dargestellt, z. B. in philosophischen Überlegungen zum Problem, daß einerseits Dauer und Ausmaß eben die „Reichweite“ – der Folgen von technischen Handlungen und andererseits der Bereich, den die handelnden Akteure in ihrer Verantwortung sehen, immer stärker auseinanderklaffen. Dieses Problem ist ein ethisches Problem, denn es betrifft die Frage nach zulässigen oder unzulässigen bzw. wünschenswerten oder zu vermeidenden Handlungen und nach den Entscheidungskriterien dafür.⁶

Dementsprechend geht es konkret darum, die Indikatoren R und τ einerseits als naturwissenschaftliche Meßgrößen auszuarbeiten, also Verfahren für ihre Berechnung oder Messung anzugeben und die Resultate in übersichtlicher und verwertbarer Form darzustellen. Andererseits müssen die Indikatoren in Bezug zu bestimmten „normativen Prinzipien“ gesetzt werden; dies sind hier vor allem Gerechtigkeitsprinzipien. Dadurch wird diesen Prinzipien eine konkrete Interpretation zugeordnet. Es ist zu betonen, daß der hier vorgestellte Ansatz *eine* mögliche Konkretisierung von Gerechtigkeitsprinzipien für die Umweltdebatte ist. Darüber hinaus ist es notwen-

6. Die Verknüpfung zweier verschiedener wissenschaftlicher Bereiche wie Umweltchemie und Ethik ist charakteristisch für *transdisziplinäre* Forschung. Man vergleiche dazu Mittelstraß (1993, S. 27): „Mit Transdisziplinarität ist (...) im Sinne wirklicher Interdisziplinarität Forschung gemeint, die sich aus ihren disziplinären Grenzen löst, die ihre Probleme disziplinenunabhängig definiert und disziplinenunabhängig löst.“

Ähnlich heißt es bei Jaeger u. Scheringer (1998, S. 24): „Bei Transdisziplinarität ist das erkenntnisleitende Interesse unabhängig von disziplinären Erkenntniszielen auf die wissenschaftliche Bearbeitung lebensweltlicher Probleme ausgerichtet. Die eingesetzten Methoden können neu entwickelt oder aus ihren ursprünglichen disziplinären Kontexten herausgelöst und auf neue Fragen übertragen werden. Dabei können Methoden miteinander kombiniert werden, die ursprünglich für sehr unterschiedliche Erkenntnisinteressen entwickelt worden sind.“