

Entwicklung schadstoffbezogener Bewertungs- instrumente: Anwendungsgebiet Konsum- und Investitionsgüter für private Haushalte

Habilitationsschrift zur Erlangung der Venia legendi des Fachbereiches 09 der
Justus-Liebig-Universität Giessen „Agrarwissenschaften, Ökotrophologie und
Umweltmanagement“

Vorgelegt von Dr. rer. nat. Dipl. Chem. Dirk Bunke, Diplom Umweltwissenschaften,
im Mai 2002

Entwicklung schadstoffbezogener Bewertungsinstrumente: Anwendungsgebiet Konsum- und Investitionsgüter für private Haushalte

Habilitationsschrift zur Erlangung der Venia legendi des Fachbereiches 09 der Justus-Liebig-Universität Giessen „Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und Umweltmanagement“

Vorgelegt von Dr. rer. nat. Dipl. Chem. Dirk Bunke, Diplom Umweltwissenschaften, im Mai 2002

Kurzfassung

Private Haushalte haben einen maßgeblichen Anteil an den Stoffströmen und Umweltbelastungen in Deutschland. Konsum- und Investitionsgüter, die in privaten Haushalten verbraucht bzw. gebraucht werden, sind in den letzten Jahrzehnten in vielfältiger Hinsicht ökologisch optimiert worden. Dennoch kann es im Haushalt zu gesundheitlichen Belastungen durch Schadstoffe kommen, die entweder gezielt als Haushaltschemikalien eingesetzt werden oder Bestandteil von komplex aufgebauten Haushaltsgeräten sind, aus denen sie austreten können.

Für die Entwicklung ökologisch optimierter Produkte stehen eine Reihe von Bewertungsinstrumenten zur Verfügung. Ihr Schwerpunkt liegt bei ökobilanzieller Strukturierung in der Regel auf der Bewertung des Energie- und Materialverbrauches, des Abfallaufkommens und der Freisetzung von Massenschadstoffen. In Ökobilanzen finden produktspezifische Schadstoffe mit toxischen und ökotoxischen Eigenschaften bisher wenig Berücksichtigung.

In der vorgelegten Arbeit wird ein spezieller Aspekt der ökologischen Optimierung von Konsum- und Investitionsgütern privater Haushalte dargestellt: die Verringerung des Schadstoffgehaltes - in Produkten und bei ihrer Produktion. Hierzu werden Instrumente für die Schadstoff-Bilanzierung und -Bewertung entwickelt und angewendet. Es werden vier Schwerpunkte gesetzt:

- Übersicht über Schadstoffe, die im privaten Haushalt auftreten können
- Schadstoff-Reduktionspotenziale am Beispiel von Fernsehgeräten
- Bilanzierung von Gefahrstoffen in Produkten und Prozessen
- Analyse und Optimierung von Produktsortimenten

Die Arbeiten zeigen, dass es möglich ist, in klassische, ökobilanziell ausgerichtete Bewertungsinstrumente produktspezifische Schadstoff-Bewertungen zu integrieren. Durch eine gezielte Verringerung des Schadstoffgehaltes von Konsum- und Investitionsgütern für den privaten Haushalt sind erhebliche Umweltentlastungen erreichbar.

Auch in Zukunft wird dem privaten Haushalt für die nachhaltige Entwicklung der Gesellschaft eine große Bedeutung zukommen. In ihm werden letztlich eine ganze Reihe zentraler Bedürfnisfelder zusammengeführt und gestaltet: Bauen und Wohnen, Bekleidung, Ernährung, Information und Kommunikation. Die Erweiterung von klassischen Bewertungsinstrumenten um produktspezifische Schadstoffmodule, wie sie in dieser Arbeit vorgestellt werden, kann wesentliche Hilfestellungen bei der Entwicklung ökologisch optimierter Produkte für den privaten Haushalt geben.

Danksagung

Ich möchte an dieser Stelle allen danken, die es mir durch ihre Mitarbeit und Unterstützung erst ermöglicht haben, die hier vorgestellten Ergebnisse zu erzielen.

Mein besonderer Dank gilt dabei Herrn Prof. Dr.-Ing. Elmar Schlich für seine fachliche Begleitung und ausgezeichnete Unterstützung meiner Arbeit am Institut für Landtechnik, Professur für Haushaltstechnik, der Justus-Liebig-Universität Giessen.

Für ihre begleitende Betreuung danke ich Herrn PD Dr. Klaus Kümmerer, Universitätsklinik Freiburg, Institut für Umweltmedizin und Krankenhaushygiene, und Frau Dr. Dietlinde Quack, Öko-Institut e.V., Freiburg, von denen ich wertvolle Anregungen und die notwendige konstruktive Kritik für die Erstellung der Arbeit bekommen habe.

Dieser Arbeit liegen viele Projekte angewandter ökologischer Forschung zugrunde. Sie sind möglich gewesen durch die Mitarbeit, das Wissen und die Unterstützung durch meine Kolleginnen und Kollegen aus dem Bereich Produkte und Stoffströme und aus dem Bereich Chemie des Öko-Institutes. Hier möchte ich insbesondere danken Edeltraud Buffler, Günther Dehoust, Dr. Ulrike Eberle, Frank Ebinger, Carl-Otto Gensch, Kathrin Graulich, Dr. Rainer Griesshammer, Ruth Haas, Christine Henseling, Ina Rüdener, Hildis Strigl, Dr. Volker Strubel und Hans-Georg Viereck.

Für den intensiven fachlichen Austausch und die gute Zusammenarbeit danke ich ausserdem im Besonderen Frau Ismene Jäger, Hydrotox GmbH/Ökologische Netze, Freiburg, Herrn Dr. Klaus Schneider und Dr. Fritz Kalberlah vom Forschungs- und Beratungsinstitut Gefahrstoffe, FoBIG, Freiburg sowie Frau Prof. Dr. Anne-Marie Grundmeier, Pädagogische Hochschule Freiburg, Institut für technische, haushaltsbezogene und wirtschaftliche Bildung.

Im Rahmen der hier vorgestellten Forschungen konnte ich eine Reihe von Diplom- und Masterarbeiten betreuen. Ich möchte mich an dieser Stelle ausdrücklich für die erfolgreiche Zusammenarbeit bedanken bei Sharon Heymann, Kathrin Graulich, Mechthild Naschke und Sibylle Wursthorn.

Diese Arbeit ist auf einem langjährigen Weg entstanden, der natürlich auch seine Durststrecken hatte. Ich danke an dieser Stelle meinen Freunden und Begleitern, die mich auf diesem Weg in unterschiedlicher Weise unterstützt haben und ihren Teil zu dieser Arbeit beigetragen haben: Herrn Dr. Heino Meessen, Clint, Mick, Ron, Keith, Charlie, Erin, George und Pfefferminz. Mein besonderer Dank gilt hier meiner Frau Heike Bunke für ihre Begleitung, ihre Unterstützung und ihre Anregungen – und unseren Kindern Josefine, Maja und Theodor.

Für

Clint und Pfefferminz

Inhaltsverzeichnis

1	Das Themenfeld: Private Haushalte, Produkte und Schadstoffe	3
2	Ziele, Methodik und Schwerpunktsetzungen.....	5
2.1	Ziele und Methodik.....	5
2.2	Ökologische Optimierung von Haushaltsprodukten: Schwerpunktsetzungen.....	6
3	Ergebnisse: Schadstoffe im privaten Haushalt, Instrumenten- Entwicklung und Anwendung.....	12
3.1	Schadstoffe im privaten Haushalt.....	15
3.1.1	Chemikalien im privaten Haushalt	17
3.1.2	Gesundheitsbelastungen durch Haushaltschemikalien	18
3.1.3	Systematik der Haushaltschemikalien	22
3.1.4	Vergiftungen durch Haushaltschemikalien und Gefährdungsklassen.....	24
3.1.5	Chronische Belastungen durch Haushaltschemikalien	27
3.1.6	Problemstoffe in Haushaltschemikalien	28
3.1.7	Heterogenität der Produktgruppen.....	34
3.1.8	Zielsetzungen und Hilfsmittel für die Produktoptimierung beim Produzenten	35
3.1.9	Produktbezogene Bewertungssysteme für den Verbraucher	36
3.1.10	Weiterführende Informationen über Produktgruppen und Einzelprodukte	37
3.1.11	Entwicklungsziel schadstoffarme Produkte im privaten Haushalt.....	38
3.2	Schadstoff-Reduktionspotenziale am Beispiel von Fernsehgeräten.....	39
3.2.1	Fernsehgeräte in privaten Haushalten	41
3.2.2	Umweltverträgliche Technologien für Haushaltselektronik.....	42
3.2.3	Schadstoffe im Fernseher.....	43
3.2.4	Schritte auf dem Weg zum schadstoffarmen Fernseher	45
3.2.5	Realisierbare Schadstoffreduktionen	46
3.2.6	Entlastungspotenziale und Voraussetzungen zur Umsetzung	50
3.2.7	Weiterentwicklung: Schadstoffreduktion bei Fertigungsprozessen.....	50

3.3	Bilanzierung von Gefahrstoffen in Produkten und Prozessen	51
3.3.1	Gefahrstoffe in Zubereitungen und Produkten	53
3.3.2	Bilanzierung von Gefahrstoffen in Ökobilanzen	54
3.3.3	Das Gefahrstoffpotenzial HSP, angegeben in MEG-Äquivalenten	55
3.3.4	Die Methodik zur Bestimmung des Gefahrstoffpotenzials HSP	56
3.3.5	MEG-Äquivalente in der Anwendung	63
3.3.6	Die Integration der MEG-Äquivalente in Ökobilanzen	67
3.3.7	Möglichkeiten und Grenzen des MEG-Äquivalent-Ansatzes	67
3.4	Analyse und Optimierung von Produktsortimenten	69
3.4.1	Prozesschemikalien und ökologische Optimierung	71
3.4.2	EDV-gestützte Produkt- und Stoffverzeichnisse als betriebliche Informations-Instrumente	74
3.4.3	Die Struktur von Dialog ^{PLUS}	76
3.4.4	Nutzung von Dialog ^{PLUS} als produktbezogenes Informationszentrum und Entscheidungshilfe	77
3.4.5	Access-gestützte Produktinformationssysteme im Alltag des Unternehmens	78
3.4.6	Erweiterungsmöglichkeiten produktbezogener Informationssysteme	79
3.4.7	Stand und Verfügbarkeit von Dialog ^{PLUS}	80
4	Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung schadstoff-bezogener Bewertungsinstrumente für Produkte des privaten Haushaltes	82
5	Ausblick Umsetzung: Schadstoff-Verminderung als Teil einer nachhaltigen Produktentwicklung	88
	Zusammenfassung	92
	Literatur	95
	Anhang: Vertiefungen	113
Exkurs 1	Das toxikologische und ökotoxikologische Risikoprofil von organischen halogenierten Flammschutzmitteln	115
Exkurs 2	Hormonell wirksame Umweltchemikalien	134
Exkurs 3	Polyzyklische und Nitro-Moschusverbindungen	139
Exkurs 4	Vom Einzelstoff zum Stoffstrommanagement: Stoffstromanalysen in Unternehmen	146

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Arbeitsschritte zur Quantifizierung des Gesamt-Schadstoffgehaltes elektronischer Produkte	47
Abbildung 2:	Die Methodik der Berechnung der MEG-Äquivalente für die Gefahrstoffbilanzierung	57
Abbildung 3:	Funktion der Datenbank Dialog ^{PLUS}	75

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zuordnung von Mitteilungen bei Vergiftungen zu Obergruppen.....	20
Tabelle 2:	Einzelgruppen von Haushaltschemikalien und Zahl der mäßig bis schweren Gesundheitsbeeinträchtigungen.....	21
Tabelle 3:	Produktgruppen zur Körperpflege und körpfernah genutzte Produkte.	23
Tabelle 4:	Produktgruppen zur Verwendung im Haus.....	23
Tabelle 5:	Produktgruppen zum Verbrauch außerhalb von Innenräumen.	24
Tabelle 6:	Produktbereiche, Produktgruppen und ihr Gefährdungspotenzials.	25
Tabelle 7:	Beispiele für Produktgruppen mit einem erheblichen Gefährdungspotenzial.	26
Tabelle 8:	Beispiele für Produktgruppen, bei denen von keiner Gefährdung auszugehen ist.	26
Tabelle 9:	Problemstoffe, die in Haushaltsprodukten auftreten können, und Zuordnung zu Produktgruppen	29
Tabelle 10:	Holzschutzmittel – Schadstoffgehalt und Wirkfaktor W.....	34
Tabelle 11:	Haushaltschemikalien, für die ein deutsches Umweltzeichen vergeben wurde	37
Tabelle 12:	Fernsehgeräte als Wirtschaftsgut und als Abfallquelle	42
Tabelle 13:	Schadstoffe in einem konventionellen Fernsehgerät	44
Tabelle 14:	Optionen für die Schadstoffreduktion	48
Tabelle 15	Schadstoffgehalt und Gefahrstoffpotenzial HSP verschiedener Holzschutzmittel.....	54
Tabelle 16:	Die Zuordnung von R-Sätzen und Stoffeigenschaften zu Wirkfaktoren.....	58

Tabellenverzeichnis - Fortsetzung -

Tabelle 17:	Bedeutung der R-Sätze und Zuordnung zu Wirkfaktoren W	59
Tabelle 18:	Inhaltsstoffe von Holzschutzmitteln, R-Sätze und Wirkfaktoren (W-Faktoren).....	60
Tabelle 19:	Die Bestimmung des Wirkfaktors für eine Zubereitung.....	61
Tabelle 20:	Berechnung der MEG-Äquivalente für zwei Holzschutzmittel.....	64
Tabelle 21:	Gefahrstoffbilanzierung für ein Wohnhaus.	66
Tabelle 22:	Strukturierung von Sicherheitsdatenblättern.....	76
Tabelle 23:	Struktur der access-Datenbank Dialog ^{PLUS}	77

- 1 Das Themenfeld: Private Haushalte, Produkte und Schadstoffe**

- 2 Ziele, Methodik und Schwerpunktsetzungen**

1 Das Themenfeld: Private Haushalte, Produkte und Schadstoffe

Private Haushalte tragen einen großen Teil zu den Umweltbelastungen in Deutschland bei. Nachhaltigem Haushalten kommt daher auf dem Weg in eine langfristig tragfähige Zukunft eine hohe Bedeutung zu (Umweltbundesamt 1997). Umweltbelastungen entstehen im Haushalt speziell bei der Nutzung und bei der Entsorgung von Konsum- und Investitionsgütern. Bereits vor der Nutzungsphase entstehen Umweltbelastungen bei der Produktion dieser Güter. Vom Anrufbeantworter bis zur Zitruspresse sind in deutschen Haushalten über eine Milliarde Elektrogeräte im Einsatz. Jährlich fallen in Privathaushalten 1,1 Millionen Tonnen ausgedienter Elektro- und Elektronikgeräte an – damit mehr als im gewerblichen Bereich (0,7 Millionen Tonnen) (BVSE 2000).

Eine vergleichende Betrachtung der Entwicklung der Haushaltstechnik in den letzten Jahrzehnten zeigt, dass gerade hinsichtlich der Rohstoff- und Energieeffizienz bei vielen Geräten deutliche Fortschritte erzielt werden konnten. Der Gesamtenergieverbrauch der privaten Haushalte nahm indes nicht ab, sondern steigt kontinuierlich durch die immer weiter zunehmende Gesamtzahl der Geräte in privaten Haushalten. Für die kommenden Jahre werden bedeutende Entlastungsmöglichkeiten durch die Integration von Haustechnik, Haushaltstechnik und Informations- und Kommunikationstechniken gesehen (Schlich 2001a). Im Mittelpunkt stehen hierbei bereits heute verfügbare Techniken – nicht das medienwirksame „Smart Home“ (Kollmann 2002, Schlich 2001b). Energieautarken Passivhäusern mit Solartechnik und Brennstoffzellen und der Senkung des Flottenverbrauches im Mittel auf unter 3 Liter pro 100 Kilometern kann hierbei eine bedeutende Rolle zukommen (Schlich 2001a)..

Die ökologische Bilanz von Haushalten und zugehörigen Haushaltsgeräten wird von vielen Faktoren bestimmt. Für die Entwicklung ökologisch optimierter Konsum- und Investitionsgüter für den Haushalt stehen eine Reihe von Bewertungsinstrumenten zur Verfügung. Eine zentrale Stellung nimmt hierbei die Ökobilanz ein, die die systematische Erfassung der entlang der Lebenslinie mit den Produkten verbundenen Umweltauswirkungen erleichtert und in ihren wesentlichen Elementen inzwischen international normiert ist.

Der Schwerpunkt der Ökobilanz liegt auf der Bilanzierung und Bewertung des Energie- und Materialverbrauches, des Abfallaufkommens und der Freisetzung von Schadstoffen. Eine Bestandsaufnahme der derzeit in Ökobilanzen angewendeten Bewertungssysteme für Schadstoffe zeigt, dass in der Regel ausgewählte problematische Stoffeigenschaften bilanziert werden. Hierzu zählen Aspekte der Ökotoxizität von globaler Bedeutung (Treibhaus-, Versauerungs-, Ozonerstörungs-, Photooxidantienbildungs- und Eutrophierungspotential) (Schmitz und Paulini 1999, Braunschweig 1999, Klöpffer und Renner 1994).

Bislang liegt keine Methodik vor, die es erlaubt, die unterschiedlichen Aspekte der Humantoxizität (akute und chronische Toxizität von Stoffen) differenziert im Rahmen von Ökobilanzen zu erfassen. Dadurch kann ein für die ökologische Optimierung von

Haushaltsgeräten wichtiger Aspekt in Ökobilanzen ohne zusätzliche Bewertungsmodule nicht angemessen erfasst werden: der Einsatz von produktspezifischen Schadstoffen mit toxischen und ökotoxischen Eigenschaften¹.

Gerade bei diesen Schadstoffen weisen viele Konsum- und Investitionsgüter privater Haushalte ein erhebliches Optimierungspotenzial auf. Dies bezieht sich sowohl auf den Gehalt der fertigen Produkte an problematischen Inhaltsstoffen – z.B. an halogenorganischen Verbindungen in Geräten der Informations- und Kommunikationstechnik - als auch auf den Einsatz gefährlicher Stoffe in der Produktion.

Schadstoffe in Haushaltsprodukten können zu Gesundheitsbelastungen während der Nutzung oder bei der Entsorgung führen. Der Einsatz von Gefahrstoffen in der Produktion kann zu Gesundheitsbelastungen am Arbeitsplatz führen. In beiden Fällen sollten Möglichkeiten der Belastungsverringerung systematisch umgesetzt werden. Dies setzt aber eine Erfassung und Bewertung des Schadstoffgehaltes bzw. Einsatzes voraus.

Schadstoffbewertungen sind ein wesentlicher Bestandteil vieler Entscheidungssysteme – z.B. bei der Altlastensanierung (Mathews et al. 1999). In Ökobilanzen werden produktspezifische Schadstoffe trotz der Bedeutung des Schadstoffgehaltes in Produkten und des Gefahrstoffeinsatzes in der Produktion derzeit selten berücksichtigt. In Unternehmen werden gefahrstoffbezogene Kennzahlensysteme bisher in der Praxis nur in Einzelfällen eingesetzt (Bunke 2002a, Bullinger et al. 2002). Auch die Hinweise auf gefährliche Inhaltsstoffe, die sich in den Sicherheitsdatenblättern von Produkten wiederfinden, werden nur selten zur gezielten Auswahl von ökologisch verträglicheren Produkten eingesetzt werden. Der Weg von der Entwicklung angemessener Bewertungssysteme bis zu ihrer Umsetzung in die unternehmerische Praxis ist in den meisten Fällen sehr weit.

Hier setzt diese Forschungsarbeit an. Im Mittelpunkt steht die Entwicklung von Bewertungsinstrumenten und Entscheidungshilfen für schadstoff-arme Produkte. Anwendungsgebiet sind Konsum- und Investitionsgüter für private Haushalte.

¹ Das Umweltbundesamt weist in der Darstellung seiner Ökobilanz-Bewertungsmethodik darauf hin, dass derzeit keine Verfahren zur Verfügung stehen, um im Rahmen von Ökobilanzen die Umweltwirkungskategorien „Direkte Schädigung der menschlichen Gesundheit“ und „Direkte Schädigung von Ökosystemen“ mit Hilfe eines Indikators zu bilanzieren und zu bewerten (Schmitz und Paulini 1999).

2 Ziele, Methodik und Schwerpunktsetzungen

2.1 Ziele und Methodik

Ziel der hier vorgestellten Arbeit ist es, schadstoffbezogene Bewertungsinstrumente zu entwickeln. Sie sollen eine praxisnahe Bilanzierung und Bewertung des Gefahrstoffgehaltes von Haushaltsprodukten und des Gefahrstoffeinsatzes bei der Produktion dieses Produkte ermöglichen. Die Instrumente sollen an konkreten Produktbeispielen erprobt werden.

Den Forschungsarbeiten liegen folgende Thesen zugrunde:

- **These 1:** Konsum- und Investitionsgüter für private Haushalte zeichnen sich durch eine hohe Bandbreite ihres Schadstoffgehaltes aus.
- **These 2:** Durch eine gezielte Stoffauswahl ist es möglich, bei für private Haushalte relevanten Produkten zu einer erheblichen Schadstoff-Reduzierung zu gelangen.
- **These 3:** Es ist möglich, in klassische, ökobilanziell ausgerichtete Bewertungsinstrumente produktspezifische Schadstoff-Bewertungen zu integrieren. Die hieraus entstehenden Bewertungssysteme können von Unternehmen in der Produktentwicklung zeitnah zur Produktoptimierung eingesetzt werden.

Aus der oben geschilderten, derzeitigen Praxis der ökologischen Produktbewertung im Rahmen von Ökobilanzen lässt sich zur These 3 die entsprechende Antithese ableiten:

- **Antithese:** Es ist nicht möglich, mit einem vertretbaren Aufwand ökobilanzielle Bewertungssysteme um produktspezifische Schadstoff-Bewertungen zu erweitern. Dies liegt an der Vielzahl der in Produkten eingesetzten Einzelstoffe und der Komplexität der von ihnen ausgehenden Wirkungen. Schadstoffspezifisch erweiterte Bewertungssysteme können daher von Unternehmen nicht eingesetzt werden.

Die Überprüfung der Thesen und der Antithese geschieht in einer Reihe von Forschungsprojekten, in denen systematisch Möglichkeiten und Grenzen der Schadstoff-Bewertung und der Schadstoff-Reduktion bei der Produktentwicklung untersucht worden. Hierbei können methodisch folgende Schritte unterschieden werden:

- Untersuchung des Vorkommens von Schadstoffen in Konsum- und Investitionsgütern für private Haushalte.
- Analyse der Bandbreite der Konzentrationsbereiche und Ableitung von Optimierungspotenzialen.
- Entwicklung und Anwendung von Bewertungsinstrumenten für Gefahrstoffe in Produkten.
- Analyse der Integrierbarkeit in ökobilanzielle Bewertungssysteme

- Überprüfung der Umsetzbarkeit in Unternehmen.

Diese methodischen Schritte finden sich auch in der Strukturierung der hier vorgelegten Arbeit wieder. Sie führt anhand ausgewählter Beispiele aus dem Bereich der Haushaltsprodukte die wesentlichen Ergebnisse aus unterschiedlichen Forschungsprojekten zusammen. Die Beispiele sind so ausgesucht worden, dass eine Verifikation oder Falsifikation der Thesen möglich ist.

Die Inhalte der Arbeit orientieren sich an den Schwerpunkten der eigenen Forschungen in den zurückliegenden Jahren 1992 –2002. In diese Arbeit sind die Erfahrungen einer langjährigen, projektbezogenen Tätigkeit in der wissenschaftlichen Beratung von Ministerien und Unternehmen eingeflossen. Als ein Ergebnis dieser angewandten Forschung wird in der Arbeit auch die Datenbank Dialog^{PLUS} vorgestellt. Sie ist als Entscheidungshilfe für Unternehmen konzipiert. Sie erleichtert die systematische Produktauswahl auf der Grundlage von Sicherheitsdatenblättern (Stufe I) und zusätzlichen produktbezogenen Informationen (Stufe II). Sie bietet ausserdem die Möglichkeit einer effektiven Kommunikation mit Lieferanten und Vorlieferanten².

2.2 Ökologische Optimierung von Haushaltsprodukten: Schwerpunktsetzungen

Im Bereich der Konsum- und Investitionsgüter für den privaten Haushalt gibt es viele Beispiele für erfolgreiche ökologische Produkt-Optimierungen:

- Aspekt Energieeinsparung, Investitionsgüter: Bei Kühlgeräten im Haushalt konnte die Gesamtenergiebilanz (Energieeinsatz bei der Produktion und Energieverbrauch in der Nutzungsphase) um den Faktor 4 gesenkt werden (Schlich 2001) (wobei die gesteigerte Effizienz der Einzelgeräte allerdings nicht zu einer Senkung des Gesamtenergieverbrauches der bundesdeutschen Haushalte geführt hat).
- Aspekt Ressourceneinsparung, Investitionsgüter: Es gibt viele Haushaltsgeräte, die sich durch eine recyclinggerechte Konstruktion auszeichnen. Auch bei der Vergabe des deutschen Umweltzeichens (der „Blaue Engel“) für Personalcomputer und andere Investitionsgüter für Haushalt und professionelle Anwendungen wird auf dieses Kriterium geachtet (RAL 2000, Umweltbundesamt 1999a).
- Aspekt Schadstoffe mit ökotoxischem Schädigungspotenzial, Investitionsgüter: Fluorierte Chlorkohlenwasserstoffe (FCKW) wurden aufgrund ihres ozonschichtzerstörenden Potentials im Bereich der Kühlgeräte für private und gewerbliche Anwendungen durch weniger umweltbelastende Stoffe ersetzt. Die Diskussion um teilhalogenierte Ersatzstoffe (R134a, Propan/Butan-Gemische u.a.) hat hierbei gezeigt, dass für die Ersatzstoffbeurteilung neben dem

² Die Datenbank DIALOGPLUS wurde im Zeitraum 6/2000 – 08/2001 im Projekt EcoMTex (Betreuung: Prof. Dr. Uwe Schneidewind) entwickelt. Siehe hierzu auch Kap. 3.4

ozonzerstörenden Potential noch weitere Kriterien herangezogen werden müssen (Enquete 1994, Bunke 1992).

- Aspekt Schadstoffe mit humantoxikologischem Schadstoffpotenzial, Investitionsgüter: kurzkettenige Chlorparaffine werden aufgrund einer freiwilligen Selbstverpflichtung der Hersteller in Deutschland als Flammschutzmittel für Kunststoffe (Einsatzgebiete u.a. Personalcomputer und Fernsehgeräte) nicht mehr verwendet. Zu den eingesetzten Ersatzstoffen zählen allerdings nach wie vor Verbindungen, die u.a. aufgrund ihrer Anreicherung (Bioakkumulation) als kritisch einzustufen sind (siehe hierzu Exkurs 1, IPCS 1995).
- Aspekt Schadstoffe mit humantoxikologischem Schadstoffpotenzial, Konsumgüter: Gefärbte und parfümierte Lampenöle haben in den letzten Jahren bei versehentlichem Verschlucken zu einigen Todesfällen bei Kindern geführt. Inzwischen sind entsprechende Produktverbote in Kraft (BggVV 2000a).

In dem vielfältigen Produktbereich, der im Haushalt zum Einsatz kommt, sind die ökologischen Entlastungspotenziale derzeit auch nicht annähernd ausgeschöpft. Selbst bei einem Standardprodukt wie dem Fernseher sind durch technologische Innovationen erhebliche Einsparungen beim Rohstoffeinsatz, beim Energieverbrauch, beim Schadstoffgehalt und beim Gefahrstoffeinsatz erreichbar, verglichen mit dem heutigen Stand der Technik (Strubel et al. 1999, siehe hierzu auch Kap. 3.2 dieser Arbeit).

Der Bereich der produktbezogenen ökologischen Optimierung ist sehr umfangreich. In den in dieser Arbeit vorgestellten Forschungen zu diesem Gebiet werden daher zwei Schwerpunkte gesetzt.

1. Innerhalb der Gesamtheit ökologisch bedeutender Themen wird der erste Schwerpunkt auf die Schadstoff-Bewertung und –Verminderung gelegt. Sie sind für viele Produkte im Haushalt von hoher Bedeutung. Im Kapitel 3.1 wird ein Überblick über Chemikalien gegeben, die im Haushalt auftreten können. Unabhängig von kurzlebigen Diskussionen um „Schadstoffe des Monats“ kann die mangelnde Berücksichtigung schadstoffbezogener Bewertungskriterien zu gesundheitlichen Belastungen beim Verbraucher (siehe hierzu auch den Überblick in Kapitel 3.1). und zu erheblichen Problemen beim Produzenten führen. Hierzu zwei aktuelle Beispiele:

- Aufgrund zu hoher Cadmium-Werte in den Kabeln wurde im Dezember 2001 die Lieferung der Spielkonsole Playstation one des japanischen Elektronik Konzerns Sony nach Europa gestoppt (N.N. 2001a, N.N. 2001b);
- Aufgrund des Nachweises von Peroctansulfonsäure-Derivaten in Blut und Fettgewebe von Arbeitern und Tieren wurden von dem Chemieunternehmen 3 M im Jahre 2000 alle Textilveredelungsmittel der Produktreihe Scotchgard vom Markt genommen, in denen diese Stoffe enthalten waren (Wursthorn 2001, Sanderson 2001, USEPA 2000).

2. Im Anschluß an den Überblick in Kapitel 3.1 werden produktbezogenen Schwerpunkte gesetzt werden. Die ausgewählten Beispiele, die in den Kapiteln 3.2 –

3.4 dargestellt werden, beziehen sich auf Konsum- und Investitionsgüter privater Haushalte aus folgenden Bereichen:

- Unterhaltungselektronik: das Fernsehgerät als Beispiel für ein komplex aufgebautes Elektronikgerät.
- Produkte zum Bauen und Renovieren: Baustoffe als Beispiel für chemikalienhaltige Produkte, die im Innenraum und ausserhalb des Hauses eingesetzt werden.
- Bekleidung für private Nutzung, die sowohl innerhalb als auch ausserhalb des Hauses getragen wird. Auf spezielle Aspekte von Berufsbekleidung wird an dieser Stelle nicht eingegangen (siehe hierzu z.B. Fuchs et al.2001).

Durch diese Themenfestlegung werden sowohl Produkte für Anwendungen innerhalb des Hauses („indoor“-Anwendungen) als auch ausserhalb des Hauses („outdoor“-Anwendungen) abgedeckt. Für die Thematik Schadstoffbewertung ist diese Unterscheidung in mehrfacher Hinsicht sinnvoll:

- Bei Produkten für Anwendungen im Haushalt stellt die Möglichkeit der Freisetzung von problematischen, flüchtigen Inhaltsstoffen aus dem Produkt in den Innenraum ein wichtiges Prüfkriterium dar. Dies gilt nicht nur für den in dieser Hinsicht „klassischen“ Bereich von Möbellacken (Fischer und Böhm 1994), sondern z.B. auch für Ausgasungen von Flammenschutzmitteln aus Personalcomputern und anderen elektronischen Geräten (Lazaroff 2000).
- Wenn Produkte ausserhalb des Haushalts eingesetzt werden, ergeben sich hieraus in vielen Fällen zusätzliche funktionale Anforderungen. Outdoor-/ Adventure-Sportbekleidung ist hier ein treffendes Beispiel aus dem Bereich der Bekleidungstextilien. Vom Verbraucher gewünscht sind Bekleidungsstücke, die zum einen wasserabweisend, zugleich aber auch atmungsaktiv sind und das Verdunsten von Körperfeuchtigkeit und Körperschweiss nicht behindern. Dieses Set von Eigenschaften hat zur Entwicklung spezieller Nässesperrmembranen und spezieller Textilhilfsmittel (Hydrophobierungs- und Oleophobierungsmittel) geführt (Hofer 1994). In einigen dieser Textilhilfsmittel sind ökologisch problematische Inhaltsstoffe eingesetzt worden (Sanderson 2001, USEPA 2000, Wursthorn 2001).

Auf den Bereich der Lebensmittel, die ein elementares Verbrauchsgut in privaten Haushalten darstellen, kann in dieser Arbeit in den ausgewählten Beispielen nicht eingegangen werden – auch wenn Nahrungsmittel für manche Schadstoffgruppen den für den Menschen bedeutendsten Eintragspfad darstellen (zur PCB-Belastung siehe z.B. Bleeker et al. 1999). Der Lebensmittelbereich zeichnet sich aber durch eine Besonderheit aus, die für die Thematik „Entwicklung schadstoffbezogener Bewertungsinstrumente“ von genereller Bedeutung ist: in ihm ist es Stand von Wissenschaft und Technik, die gesamte Produktionskette einschließlich von der Primärproduktion einschließlich aller Vorlieferanten untersucht zu haben (stellvertretend für die zahlreichen Veröffentlichungen zu dieser Thematik sei hier Pierson und Corlett 1995 genannt). Diese Datengrundlage über die ganze Produktkette

ist in vielen anderen Produktbereichen des privaten Haushaltes die Ausnahme. In den Kapiteln 4 und 5, Schlussfolgerungen und Ausblick, wird dieser Aspekt nochmals aufgegriffen werden.

Die im Rahmen dieser Arbeit anhand der ausgewählten Beispiel entwickelten Instrumente zur Schadstoffbilanzierung und –bewertung können vielfältig angewendet worden.

Exkurs: Weitere Anwendungsbeispiele

Bei der Bilanzierung, Bewertung und Optimierung von Produkten, Prozessen und Dienstleistungen kann der Umgang mit Schadstoffen ein wichtiges Bewertungskriterium sein. Entsprechend vielfältig sind die Einsatzmöglichkeiten schadstoffbezogener Bewertungsinstrumente. Bevor für die weitere Darstellung die Schwerpunktsetzung auf ausgewählte Bereiche der Konsum- und Investitionsgüter für Haushalte erfolgt, soll die Bandbreite der angesprochenen Fragestellungen an vier zusätzlichen Beispielen aufgezeigt werden. Sie können in der hier vorgelegten Arbeit nicht weiter vertieft werden - deshalb wird hier auf weiterführende Referenzen hingewiesen. Drei der Beispiele beziehen sich auf Haushaltsgeräte und Haushaltsprodukte:

- Fußbodenheizungen in Haushalten können unter ökologischen und speziellen medizinischen Gesichtspunkten mit Flächenheizkörpern verglichen werden. Durch den gezielten Einsatz schadstoffarmer Bauelemente beim Produktdesign kann die ökologische Bilanz von Fußbodenheizungen weiter verbessert werden (Bundesverband 1997, Bunke et al. 1998a).
- Zum Transport von Haushaltsgeräten werden Einweg- und Mehrwegsysteme eingesetzt. Ökobilanzielle Bewertungssysteme, die um schadstoffbezogene Bewertungen ergänzt werden, ermöglichen es, die eingesetzten Mehrwegtransportverpackungen ökologisch zu optimieren (Gensch et al. 1993).
- Ökologisch vorteilhafte Bauprodukte können nicht nur mit dem deutschen Umweltzeichen, dem Blauen Engel, sondern auch mit dem europäischen Umweltzeichen ausgezeichnet werden. Hierfür ist im Auftrag des Umweltbundesamtes eine spezifische Bewertungsmethodik entwickelt worden. In ihr werden ökobilanzielle Kriterien, aber auch der Schadstoffgehalt von und die Schadstofffreisetzung durch Produkte berücksichtigt (Kohler et al. 2001).
- Von der Deutschen Bahn AG werden zur Vegetationskontrolle im Gleisbereich unterschiedliche Behandlungsverfahren eingesetzt – von der chemischen Vegetationskontrolle bis zur mechanischen Pflanzenentfernung. Mit Hilfe eines integrierten Bewertungssystems ist es möglich gewesen, die verschiedenen Verfahren miteinander zu vergleichen und Anwendungsempfehlungen für die Praxis zu geben (Bunke 1999a, Bunke et al. 1997a, Bunke et al. 1997b).

3 Ergebnisse: Schadstoffe im privaten Haushalt, Instrumentenentwicklung und Anwendung

3 Ergebnisse: Schadstoffe im privaten Haushalt, Instrumenten-Entwicklung und Anwendung

Das Kapitel 3 ist in vier Unterkapitel gegliedert. Ausgewählte Aspekte der Themenfelder werden anschließend in mehreren Exkursen vertieft.

- **Kapitel 3.1 Schadstoffe im Haushalt**

Im Haushalt und beim Haushalten werden im umfangreichen Maße schadstoffhaltige Produkte eingesetzt bzw. genutzt. Es stehen in vielen Fällen bereits schadstoff-reduzierte Produktalternativen zur Verfügung.

Das Kapitel 3.1 gibt eine Übersicht über Schadstoffe, die im Haushalt auftreten können, über mögliche Gesundheitsbelastungen, Unterschiede in den Schadstoffgehalten und Möglichkeiten der Produktbewertung.

- **Kapitel 3.2 Schadstoff-Reduktionspotenziale am Beispiel von Fernsehgeräten**

Durch die systematische Substitution problematischer Bauteile und durch technologische Innovationen sind im Bereich der Haushaltselektronik erhebliche Schadstoff-Einsparungen möglich. Hierzu sind genaue Quantifizierungen des Schadstoffgehaltes erforderlich.

Im Kapitel 3.2 werden Entlastungs-Potenziale am Beispiel des Fernsehgerätes aufgezeigt. Die Entwicklung und Anwendung des Bewertungs-Indikators „Gesamt-Schadstoffgehalt“ wird beschrieben.

- **Kapitel 3.3 Bilanzierung von Gefahrstoffen in Produkten und Prozessen**

Bisher fehlten Indikatoren, die im Rahmen von Produkt-Entwicklungen und Produkt-Bilanzierungen eine direkte Gefahrstoffbilanzierung ermöglichen und auch von Unternehmen anwendbar sind. Auf der Grundlage der Technischen Regel Gefahrstoffe 440 ist eine neue Methode entwickelt und erprobt worden, in der als Bezugssubstanz der Gefahrstoff Monoethylenglykol verwendet wird.

Im Kapitel 3.3 wird die Methodik der Gefahrstoffbilanzierung unter Einsatz der MEG-Äquivalente beschrieben. Die Methodik ist an Bauprodukten ausgearbeitet worden, die im Haushalt als Konsumgüter im Innen- und Aussenbereich eingesetzt werden. Sie ist auch in anderen Produktbereichen einsetzbar, in denen mit Gefahrstoffen umgegangen wird.

- **Kapitel 3.4 Analyse und Optimierung von Produktsortimenten**

Für die Herstellung von komplex aufgebauten Produkten wird in vielen Fällen eine große Zahl von Prozesschemikalien eingesetzt. So sind für die Produktion von Kleidung Textilhilfsmittel und Farbmittel wichtig. Für Unternehmen ist bei der ökologischen Optimierung der Produktion auch eine Bewertung des Gesamtsortimentes der eingesetzten Prozesschemikalien wichtig. Hier können spezielle Bewertungsinstrumente eingesetzt werden.

In Kapitel 3.4 wird die Aufgabenstellung der Sortimentsoptimierung am Beispiel des Bekleidungsgebietes dargestellt. Hierfür wurde als Hilfsmittel das Datenbankmanagementsystem Dialog^{PLUS} entwickelt. Es ist auch für Produktionsprozesse aus anderen Branchen anwendbar.

3.1 Schadstoffe im privaten Haushalt

Im privaten Haushalt und beim Haushalten werden im umfangreichen Maße schadstoffhaltige Produkte eingesetzt bzw. genutzt. Es stehen in vielen Fällen bereits schadstoff-reduzierte Produktalternativen zur Verfügung.

Das Kapitel 3.1 gibt eine Übersicht über Schadstoffe, die im privaten Haushalt auftreten können, über mögliche Gesundheitsbelastungen, Unterschiede in den Schadstoffgehalten und Möglichkeiten der Produktbewertung. Im Mittelpunkt stehen hierbei Chemikalien, die als Konsumgüter im privaten Haushalt verbraucht werden.

Schadstoffe im privaten Haushalt

Chemikalien kommen in sehr vielfältiger Weise im privaten Haushalt vor: als Wasch- und Reinigungsmittel, Kosmetika, in Produkten für Haus und Garten. Hinzu kommen Inhaltsstoffe, die aus Haushaltsgegenständen zu Beginn oder während der Nutzung austreten können: Formaldehyd aus Möbeln, Flammenschutzmittel aus elektronischen Geräten, Biozide aus Teppichböden. Sie können als sekundäre Haushaltschemikalien bezeichnet werden.

In diesem Kapitel wird in einer Übersicht die Bedeutung von Haushaltschemikalien als Belastungsquelle dargestellt. Akute Vergiftungen durch Verwechslungen (und Missbrauch) von Haushaltschemikalien werden von zentralen Erfassungsstellen dokumentiert. Einzelne Produktgruppen haben durchaus zu schweren Gesundheitsbeeinträchtigungen geführt. Wesentlich schwieriger ist die Bewertung von Beeinträchtigungen durch die ungewollte Emission sekundärer Haushaltschemikalien. Ihr Anteil an chronischen Belastungen und an multikausal bedingten Krankheitsbildern ist derzeit nicht abschätzbar.

Für viele Anwendungen stehen inzwischen optimierte Einzelprodukte zur Verfügung. Produktkennzeichnungen können bei der Produkt-Auswahl helfen. Zielvorgabe für die Produktentwicklung müssen schadstoff- und emissionsarme Haushaltschemikalien sein. Stoffe mit hoher akuter Toxizität, mit chronischem Schädigungspotenzial, langlebige und bioakkumulative Verbindungen sollten in Haushaltsprodukten überhaupt nicht zur Anwendung kommen (Bunke und Augspurger 2001, Bunke et al. 2001a).

Schadstoffe im privaten Haushalt

3.1.1	Chemikalien im privaten Haushalt	17
3.1.2	Gesundheitsbelastungen durch Haushaltschemikalien	18
3.1.3	Systematik der Haushaltschemikalien	22
3.1.4	Vergiftungen durch Haushaltschemikalien und Gefährdungsklassen.....	24
3.1.5	Chronische Belastungen durch Haushaltschemikalien.....	27
3.1.6	Problemstoffe in Haushaltschemikalien	28
3.1.7	Heterogenität der Produktgruppen.....	34
3.1.8	Zielsetzungen u. Hilfsmittel für die Produktoptimierung beim Produzenten	35
3.1.9	Produktbezogene Bewertungssysteme für den Verbraucher	35
3.1.10	Weiterführende Informationen über Produktgruppen und Einzelprodukte	37
3.1.11	Entwicklungsziel schadstoffarme Produkte im Haushalt	38

3.1.1 Chemikalien im privaten Haushalt

Chemikalien können im privaten Haushalt „versteckt“ vorhanden sein – als Bestandteile komplex zusammengesetzter Produkte, aus denen sie – bei ausreichend hoher Flüchtigkeit – austreten können. Sie können aber auch gezielt verwendet werden – als Bestandteile von Haushaltschemikalien. Waschmittel, Farben und Lacke im Freizeit- und Hobbybereich, Bodenpflegemittel und Haarshampoo deuten als Beispiele die Spannweite der hier vertretenen Produktgruppen an. 1999 waren allein für Kosmetika, die auch zur Gruppe der Haushaltschemikalien zu zählen sind, mehr als 54.000 Rezepturen beim Bundesinstitut für Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV) gespeichert (Hahn et al. 2000).

Die in den Giftinformationszentralen von Deutschland und der Schweiz dokumentierten Fälle von Gesundheitsbeeinträchtigungen bzw. –schäden zeigen, dass Haushaltschemikalien zu den bedeutenden Verursachergruppen für Vergiftungen im privaten Bereich zählen. Akute Belastungen können dann auftreten, wenn die Produkte unsachgemäß eingesetzt oder verwechselt werden. Chronische Belastungen können sich aber auch bei bestimmungsgemäßer Anwendung der Produkte ergeben. Gefahrstoffhaltige Haushaltschemikalien können zu Belastungsquellen nicht nur für Kleinkinder, sondern auch für Erwachsene und speziell für ältere Personen werden (BgVV 1998 a und BgVV 2000 b).

In diesem Kapitel soll die Bedeutung von Haushaltschemikalien als Belastungsquelle übersichtsartig aufgezeigt werden.

3.1.2 Gesundheitsbelastungen durch Haushaltschemikalien

Schadstoffe, die in Haushaltsgeräten enthalten sind, und Stoffe mit gefährlichen Eigenschaften, die gezielt als Inhaltsstoffe von chemikalienhaltigen Haushaltsprodukten Verwendung finden, können in unterschiedlichen Situationen zu Gesundheitsbelastungen führen. An neun Beispielen wird das Spektrum der Problemstellungen deutlich:

- In Muttermilch in Deutschland ist erfreulicherweise die Konzentration an einigen Gruppen von bioakkumulativen Verbindungen (u.a. polychlorierte Biphenyle, Dioxine und Furane³) in den letzten Jahrzehnten aufgrund von Stoffverboten und prozessbezogenen Maßnahmen deutlich zurückgegangen (DGE 2000, Bunke und Gröger 1993). Ein kontinuierlicher Anstieg wird allerdings bei der Belastung von Muttermilch durch bromierte Flammschutzmittel festgestellt, die in unterschiedlichen elektronischen Geräten für die Nutzung im privaten und professionellen Bereich enthalten sind (BgVV 2002, Wursthorn 2001, Norén et al. 1999).
- Bei Elektroherden in privaten Haushalten kam es während der ersten Betriebszyklen zur Ausgasung von Formaldehyd, weiteren Aldehyden und Kohlenwasserstoffen in die Umgebungsluft (Naumann 1993).
- In Einzelfällen sind in Verbrauchsgütern immer noch hohe Benzol-Konzentrationen festgestellt worden, z.B. in Klebstoffen (Öko-Test 2000, Eikmann et al. 2000). Benzol ist ein krebserzeugender Gefahrstoff.
- In Spielzeug und Babyartikeln aus Weich-PVC können gesundheitlich kritische Phthalate zu einer Belastung von Kleinkindern führen, die an diesen Artikeln saugen. Potenziell schädliche Wirkungen auf Leber, Niere und Hoden werden befürchtet bei Exposition gegenüber Bis-(2-ethylhexyl)-phthalat (DEHP) und gegenüber Diisononylphthalat (DINP) (Kommission der EU 2000, Umweltbundesamt 1999b).
- In Abbeizmitteln ist in einzelnen Produkten Dichlormethan enthalten. Ein 33-jähriger Angestellter arbeitete den ganzen Tag am Ablaugen der Wände in seiner Küche. Der Raum war durch einen Petroleumofen geheizt. Er konnte in der Nacht nicht schlafen, litt unter Atemnot. Eine Krankenhauseinweisung und eine einmonatige intensive Behandlung waren zur Therapie eines Lungenödems erforderlich. Ursache war Phosgen, das aus Methylchlorid durch Kontakt mit offener Flamme entstand (Velvart 1993).
- Durch die versehentliche Einnahme tensidhaltiger Haushaltsprodukte, z.B. Spülmittel und Duschgel, kam es von 1990 – 1998 in Deutschland zu wenigstens 9 Todesfällen von Menschen im Alter von 65 bis 90 Jahren. Während Kinder meist nur einen kleinen Schluck aufnehmen und diesen auch wieder ausspucken, werden von älteren Menschen wesentlich größere

³ „Dioxine und Furane“ wird in dieser Arbeit als gebräuchliche Abkürzung für die Stoffgruppe der polyhalogenierten Dibenzop-dioxine und Dibenzofurane benutzt.

Mengen versehentlich aufgenommen (BgVV 2000 b).

- Der jahrelange Umgang mit Reinigungsmitteln, in denen konzentrierte Säuren enthalten sind, führt bei beruflicher Anwendung zu Hautekzemen an Händen und Unterarmen (GISBAU 2001).
- Ein zweieinhalbjähriger Junge nahm ein Feuerzeug in den Mund und atmete das Gas ein. Er war etwa 5 Minuten bewusstlos und hatte Krämpfe am ganzen Körper. Er erholte sich anschließend rasch, es gab keine neurologischen Ausfälle bei zwölfstündiger Überwachung (Velvart 1993).
- Gefärbte und parfümierte Lampenöle sind von Kindern in den vergangenen Jahren immer wieder aufgrund der attraktiven Farbe und des angenehmen Geruchs getrunken worden. Schwerste Gesundheitsschäden waren die Folge, die im Falle chemisch-induzierter Lungenentzündungen in Einzelfällen zum Tod geführt haben (BgVV 1998 b und BgVV 2000 a).

Die hier aufgeführten Beispiele lassen erkennen, dass Anwendungssituation und Benutzergruppe entscheidend ein eventuelles Gefahrenpotenzial von Schadstoffen in Haushaltsgeräten und von Haushaltschemikalien mitbestimmen.

Anhaltspunkte für eine Einschätzung der Bedeutung von Chemikalien als Belastungsquelle im privaten Haushalt können aus Meldungen zu Vergiftungen abgeleitet werden. Im Mittelpunkt stehen hierbei akute Gesundheitsbelastungen. In der zentralen Erfassungsstelle für Vergiftungen des Bundesinstitutes für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV) sind die Mitteilungen bei Vergiftungen aus Deutschland systematisch dokumentiert und ausgewertet worden (Hahn et al. 2000). Unterschieden wird hierbei zwischen verschiedenen sog. „Obergruppen“ von Verursachern, z.B. chemischen Produkten, Kosmetika, Arzneimittel. In der Tabelle 1 wird gezeigt, welchen Anteil einzelne Produktbereiche an der Zahl der Mitteilungen und an der Zahl der Fälle von mäßig bis schweren Gesundheitsbeeinträchtigungen besitzen.

Tabelle 1: Zuordnung von Mitteilungen bei Vergiftungen nach §16e Abs. 2 ChemG zu Obergruppen (Daten für Deutschland, Zeitraum 1.8.1990-31.12.1998). Zusammenstellung auf der Grundlage von Daten aus Hahn et al. 2000.

Obergruppe	Zahl der Mitteilungen Aug. 1990-Dez.1998	Zahl der schweren beeinträchtigungen 1990 – Dez. 1998	mäßig bis schwere Gesundheitsbeeinträchtigungen Aug. 1990-Dez.1998	Prozentualer Anteil (mäßig bis schwere Beeinträchtigungen)
Chemische Produkte	1537	473		24%
Pestizide	1214	423		21%
Arzneimittel	1178	360		18%
Grundsubstanzen	1320	310		15%
Industriestörfälle	959	193		10%
Speisen und Getränke, Waffen, Sonstiges	539	166		8%
Kosmetika /Hygieneprodukte	152	33		2%
Drogen, Pflanzen, Pilze, Tiere	134	34		2%
Agrochemikalien	37	8		Unter 1%
Tierarzneimittel	19	6		Unter 1%

Chemische Produkte weisen mit 24% einen sehr hohen Anteil an der Gesamtzahl der Meldungen auf. Zu diesem Produktbereich zählen als Untergruppe auch die Haushaltschemikalien. Kosmetika/Hygieneprodukte – die ebenfalls zu den Haushaltschemikalien gezählt werden können - führten in 33 gemeldeten Fällen zu mäßig bis schweren Gesundheitsbeeinträchtigungen.

Arzneimittel stellen aufgrund der Vielzahl der Stoffe und aufgrund ihrer Wirkungen bedeutende Gruppe von „Konsum“-Gütern im privaten Haushalt dar. In Deutschland sind über 50.000 Human-Arzneimittel registriert. 2700 von ihnen machen etwa 90% des Gesamtverbrauches an Arzneimitteln aus, in ihnen sind etwa 900 verschiedene aktive Substanzen enthalten (Glaeske 1998; Kümmerer 2001a). In dieser Arbeit kann auf Arzneimittel nicht weiter eingegangen werden. Eine gute Übersicht zu Arzneimitteln und ihren Auswirkungen auf die Umwelt findet sich in Kümmerer 2001b.

In der Tabelle 2 ist im Einzelnen aufgeführt, wie viele Fälle von mäßig bis schweren Vergiftungen durch Haushaltschemikalien in Deutschland 1990-1998 gemeldet wurden. Hierbei ist von einer erheblichen Dunkelziffer auszugehen. In der Tabelle wird die Systematik der Zentralen Erfassungsstelle für Vergiftungen verwendet (Hahn et al. 2000). Genannt wird jeweils die zugehörige Obergruppe (z.B. Chemische Produkte), die Mittelgruppe (z.B. Anstrichstoffe) und zu ihr gehörende Untergruppen (z.B. Abbeizmittel) mit der Zahl der gemeldeten Fälle.

Tabelle 2: Einzelgruppen von Haushaltschemikalien und Zahl der vom 1.8.1990 – 31.12.1998 in Deutschland gemeldeten, von ihnen verursachten mäßig bis schweren Gesundheitsbeeinträchtigungen. Diese Tabelle wurde aus Daten erstellt, die im Spektrum der Mitteilungen bei Vergiftungen des BgVV veröffentlicht wurden (Hahn et al. 2000, Anhang 6.1, 57f.)

	Zahl der Fälle von mäßig bis schweren Gesundheitsbeeinträchtigungen 1.8.1990 – 31.12.1998
Chemische Produkte	
Anstrichstoffe	61
Abbeizmittel	4
Lacke	9
Verdünnungsmittel	13
Anzündprodukte	6
Brennstoffe, flüssig	122
Benzin	7
Brennspiritus	2
Lampenöl	103
Desinfektionsmittel	22
Klebstoffe	18
Heizkostenverteiler	1
Reinigungsmittel	92
Abflussreiniger	18
Allzweckreiniger	4
Entkalker	4
Geschirr-Reiniger manuell	7
Geschirr-Reiniger maschinell	8
Sanitär-Reiniger	7
Kosmetika und Hygieneprodukte	
Haarpflegemittel	14
Haarfärbemittel	8
Hautpflegemittel	11
Creme/Salbe	5
Seifen	4
Mund-/Zahnpflegemittel	7

Anstrichstoffe und Reinigungsmittel weisen aufgrund ihres oft erheblichen Gefahrstoffgehaltes erwartungsgemäß einen hohen Anteil an den Vergiftungsmeldungen auf. Die auf den ersten Blick ungewöhnlich erscheinende Bedeutung von Lampenölen als Belastungsquelle ist speziell auf gefärbte und aromatisierte Produkte zurückzuführen, die bei Kindern zu Verwechslungen mit erheblichen Gesundheitsschäden geführt haben (BgVV 2000 a). Seit dem 1. Januar 1999 sind diese Produkte in der Bundesrepublik verboten.

Neben den akut auftretenden Belastungen, die bei gemeldeten Fällen in den Giftinformationszentren dokumentiert werden, können Haushaltschemikalien und Schadstoffe in Haushaltsgeräten zu chronischen Belastungen im Niedrigdosisbereich

führen. Aus der Unterscheidung zwischen akut auftretenden Belastungen und chronischen Belastungen ergibt sich eine Systematisierungsmöglichkeit für Haushaltschemikalien, auf die im Folgenden eingegangen wird.

Im Anschluss hieran werden unter Bezugnahme auf diese Systematisierung die Aspekte Vergiftungen und chronische Belastungen durch Schadstoffe im Haushalt dargestellt (Kap. 3.1.4 und 3.1.5).

3.1.3 Systematik der Haushaltschemikalien

Es gibt derzeit weder eine einheitliche Definition noch eine einheitliche Systematik der Haushaltschemikalien. In der Dokumentation des Schweizerischen Toxikologischen Informationszentrums (Velvart 1993, Velvart 1999) wird von Haushaltsprodukten ausgegangen, zu denen neben Chemikalien aber auch komplex zusammengesetzte Erzeugnisse wie Fieberthermometer und Filzschreiber gehören. In der Systematik des Bundesinstituts für Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV) (Hahn et al. 2000) finden sich Haushaltschemikalien verteilt auf die Hauptgruppen „Chemische Produkte“, „Kosmetika/Hygieneprodukte“, „Pestizide“ und „Sonstiges“.

Eine vergleichende Analyse bestehender Systematiken, der zugehörigen Produktgruppen und der Belastungsart lässt es sinnvoll erscheinen, zwischen primären und sekundären Haushaltschemikalien zu unterscheiden.

- **Primäre Haushaltschemikalien** werden gezielt als Chemikalien eingesetzt. Die Funktionalität dieser Produkte liegt in ihrer chemischen Wirkung bzw. ihrem Reaktionsvermögen. Wasch- und Reinigungsmittel sind ein typisches Beispiel für diese Gruppe. Bei Produkten, in denen gefährliche Inhaltsstoffe enthalten sind, kann es bei unsachgemäßer Anwendung oder im Verwechslungsfall zu akuten Gesundheitsbelastungen und Vergiftungen kommen.
- **Sekundäre Haushaltschemikalien** werden im Haushalt nicht als Chemikalien eingesetzt. Sie sind Bestandteil von Haushaltsprodukten aus Verbundwerkstoffen, oftmals ohne spezifische Kennzeichnung. Hierzu zählen z.B. Phthalate in Produkten aus Weich-PVC oder Flammenschutzmittelausrüstungen in elektrischen Geräten. Während der Nutzung können diese Stoffe aus den Produkten in die Umgebung emittieren und hier zu gesundheitlichen Belastungen führen.

In den folgenden Tabellen werden primäre und sekundäre Haushaltschemikalien und zugehörige Produktgruppen genannt. Zur weiteren Gliederung wird zwischen drei Anwendungsbereichen unterschieden: Produkte zur Körperpflege (einschließlich körpernah genutzter Produkte), Produkte zur Verwendung im Haus und Produkte zum Verbrauch außerhalb von Innenräumen.

Tabelle 3: Produktgruppen zur Körperpflege und körpernah genutzte Produkte.

Primäre Haushaltschemikalien zur Körperpflege

Produktobergruppe	Produktuntergruppe
Haarpflegemittel	Dauerwellen- und Glättungsmittel, Enthaarungsmittel, Haarbleichmittel, Haarfärbemittel, Haarfestiger und Haarlacke, Haarshampoos, Haarwasser
Nagelpflegemittel	Nagelhärter, Nagellack, Nagellackentferner
Hautpflegemittel	After-Shave, Antitranspiranzen, Body-Lotions, dekorative Kosmetik, Deodorants, Desinfektionsmittel, Hautcremes, Hautöle, Insekten- u. Milbenrepellents, Parfüm und Duftwasser, Rasierhilfsmittel, Säuglingsbäder, Schaumbäder, Seifen, Selbstbräunungsmittel, Sonnenschutzmittel, Syndets, Talk-Pulver, Wasserparfümierungsmittel
Zahn-, u. Mundpflegemittel	Mundwasser, Zahncremes, Zahnprothesenmittel
Sonstiges	Kontaktlinsenpflegemittel

Produktgruppen mit sekundären Haushaltschemikalien: körpernah genutzte Produkte

Produktobergruppe	Produktuntergruppe
Textilien und Bekleidung	Textilien aus Natur-, Synthetik und Mischfasern
Sonstige Bekleidung	Gummi, Latex, Leder, Mischgewebe
Verschiedenes	Armbanduhren, Schmuck, Heftpflaster, feuchtes Toilettenpapier, Babyschnuller, Beißringe

Tabelle 4: Produktgruppen zur Verwendung im Haus

Primäre Haushaltschemikalien zur Verwendung im Haus

Produktobergruppe	Produktuntergruppe
Reinigungs-, Putzmittel	Abbeizmittel, Abflussreiniger, Ablaugemittel, Antibeschlagmittel für Brille und Scheiben, Backofen- und Grillreiniger, Badewannenreiniger, Sanitärreiniger, Bleichmittel, Bügeleisenreiniger, Desinfektionsmittel, Entfärber für Textilien, Entfettungsmittel, Entkalkungsmittel, Fleckenentferner, Geschirreinigungsmittel manuell und maschinell, Glasreiniger, Metallreinigungsmittel, Metallreinigungsmittel, Pinselreiniger, Rostentferner, Universalreiniger, Wäschestärke, Waschmittel, WC-Desodorierungsmittel, WC-Reiniger, Scheuerpulver, Weichspüler
Pflege-, Schutzmittel	Bodenpflegemittel, Farben und Lacke, Holzbeizmittel, Holzgrundiermittel, Holzimprägniermittel, Holzöle u. -wachse, Holzschutzmittel, Klebstoffe, Lasuranstriche, Lederimprägniermittel, Schuhcreme, Schuhpflegemittel, Textilimprägniermittel, Textilveredler
Brennstoffe	Benzin, Brennspritus, Brennstofftabletten u. -pasten, Kerzen, Lampenöle, Petroleum, Zündhölzer
Verschiedenes	Luftverbesserer

Produktgruppen mit sekundären Haushaltschemikalien zur Verwendung im Haus

Produktobergruppe	Produktuntergruppe
Elektrische Geräte	Personalcomputer, Fernseher, Kopierer u.a.
Büromaterialien	Radiergummi, Filzschreiber, Kugelschreiber, Batterien
Wohnungsdekoration	Kerzen, Räucherstäbchen, Schnittblumen
Kinderspielzeug	Modelliermasse, Spielzeug, Fingerfarben, Babyflaschen
Verschiedenes	Pfannen, Töpfe

Tabelle 5: Produktgruppen zum Verbrauch außerhalb von Innenräumen.

Primäre Haushaltschemikalien zum Verbrauch außerhalb von Innenräumen	
Produktobergruppe	Produktuntergruppe
Reinigungs-, Putzmittel	Abbeizmittel, Ablaugemittel, Entfettungsmittel, Universalreiniger u.a.
Pflege-, Schutzmittel	Bodenpflegemittel, Farben und Lacke, Holzbeizmittel, Holzgrundiermittel, Holzimprägniermittel, Holzöle u. -wachse, Holzschutzmittel, Klebstoffe, Lasuranstriche, Lederimprägniermittel, Schuhcreme, Schuhpflegemittel, Textilimprägniermittel, Textilveredler
Brennstoffe	Benzin, Brennspritus, Brennstofftabletten u. -pasten, Kerzen, Lampenöle, Petroleum, Zündhölzer
Gartenmittel	Molluskizide, Pestizide, Herbizide, Fungizide, Rodentizide, Düngemittel
Verschiedenes	Skiwachs, Schwimmbadchemikalien

Akute Vergiftungsgefahren bestehen vor allem bei primären Haushaltschemikalien. Die Gruppe der sekundären Haushaltschemikalien ist von Bedeutung, weil aus ihnen problematische Inhaltsstoffe emittieren und langfristig zu Belastungen führen können. Eine akute Vergiftungsgefahr besteht bei diesen Produkten in der Regel nicht.

3.1.4 Vergiftungen durch Haushaltschemikalien und Gefährdungsklassen

In den Giftinformationszentren sind über Jahrzehnte Vergiftungsfälle mit Haushaltschemikalien registriert und ausgewertet worden. Hieraus ergibt sich eine spezielle, epidemiologische Basis für die Charakterisierung von Haushaltsprodukten nach Gefährdungsklassen. Vom Schweizerischen Toxikologischen Informationszentrums wird eine Einteilung von Haushaltsprodukten in drei Klassen vorgenommen, die sich auf den Fall der versehentlichen Einnahme durch ein Kind beziehen (Velvart 1993):

- **Keine Gefährdung:** Leichte, unspezifische, lokale Erscheinungen in weniger als 10% der Fälle.
- **Mäßige Gefährdung:** Leichte Symptome in weniger als 50% der Fälle und/oder schwere Vergiftungen in weniger als 5% der Fälle (ohne Dauerschäden).
- **Erhebliche Gefährdung:** leichte Symptome in mehr als 50% der Fälle

und/oder schwere Vergiftungen in mehr als 5% der Fälle und/oder Dauerschäden.

Insgesamt sind in der Veröffentlichung von Velvart (Velvart 1993) 196 Produktgruppen entsprechend klassifiziert worden. In der nachfolgenden Tabelle wird gezeigt, in welcher Häufigkeit die entsprechenden Gefährdungsstufen in den einzelnen Produktbereichen vorkommen. Unterschieden wird hierbei zwischen den Anwendungsbereichen Haushaltsreinigung und Pflege, Körperpflege, Gartenpflege (incl. Pflanzenschutz und Schädlingsbekämpfungsmittel) sowie Freizeit und Hobby (Velvart 1993).

Tabelle 6: Charakterisierung von Produktbereichen und Produktgruppen anhand ihres Gefährdungspotenzials. Zusammenstellung auf der Grundlage von (Velvart 1993).

Gesamtzahl an Produktgruppen im Bereich Haushaltsprodukte: 196

69 Produktgruppen ohne Gefährdung

85 Produktgruppen mit mäßiger Gefährdung

32 Produktgruppen mit erheblicher Gefährdung

5 Produktgruppen mit keiner bis mäßiger Gefährdung

5 Produktgruppen mit mäßiger bis erheblicher Gefährdung

Bereich Haushaltsreiniger und –Pfleagemittel: 46 Produktgruppen

18 Produktgruppen mit mäßiger Gefährdung

11 Produktgruppen mit erheblicher Gefährdung

Bereich Körperpflege: 31 Produktgruppen

15 Produktgruppen mit mäßiger Gefährdung

Bereich Gartenpflege, Pflanzenschutz, Schädlingsbekämpfung: 37 Produktgruppen

13 Produktgruppen mit mäßiger Gefährdung

11 Produktgruppen mit erheblicher Gefährdung

Bereich Hobby und Freizeit: 82 Produktgruppen

39 Produktgruppen mit mäßiger Gefährdung

10 Produktgruppen mit erheblicher Gefährdung

Die Übersicht zeigt, dass gerade im Bereich der Haushaltsreinigung und Pflege fast die Hälfte der erfassten Produktgruppen sich durch ein erhebliches Gefährdungspotenzial auszeichnen. Dies deckt sich mit Veröffentlichungen des BgVV zur Zahl der gemeldeten Vergiftungen (Hahn et al. 2000).

In den beiden folgenden Tabellen werden exemplarisch in einer detaillierteren Aufstellung Produktgruppen genannt, die sich durch ein erhebliches Gefährdungspotenzial auszeichnen, und solche, bei denen aufgrund des bisher gesammelten Erfahrungswissens von keiner Gefährdung auszugehen ist.

Tabelle 7: Beispiele für Produktgruppen mit einem erheblichen Gefährdungspotenzial. Eigene Zusammenstellung auf der Grundlage von (Velvart 1993). Weitere Produktgruppen mit erheblichem Gefährdungspotenzial werden in (Velvart 1993) genannt.

Bereich Haushaltsreiniger und -Pflege

Beispiele für Produkte mit erheblichem Gefährdungspotenzial

Abbeizmittel, Ablaugemittel, Abflussmittel
 Backofenreiniger, flüssige Produkte
 Bleichmittel, natriumhypochlorithaltig
 Bodenpflegemittel, petroldestillathaltig
 Fleckenentferner, flüssige Produkte
 Holzschutzmittel, wasserlösliche Produkte / ölhaltige Produkte / kombinierte Produkte
 Holzveredelungsmittel

und andere, siehe Velvart 1993

Bereich Körperpflege: keine Produktgruppen mit erheblichem akutem Gefährdungspotenzial

Bereich Gartenpflege, Pflanzenschutz, Schädlingsbekämpfung

Erhebliche Gefährdung

Ameisenvertilgungsmittel
 Herbizide, Bipyridyliumverbindungen / Insektizide, Carbamate u. Phosphoräureester
 Mottenschutzmittel, Naphthalin / Rhodentizide, thalliumhaltig

und andere, siehe (Velvart 1993)

Bereich Hobby und Freizeit

Erhebliche Gefährdung

Algenvertilgungsmittel für Schwimmbäder
 Anzüdemittel, Petrodestillate flüssig, Lötwasser
 Auto-Akkumulatoren, Auto-Polituren, Bremsflüssigkeiten, Frostschutz für Autokühler
 Lampenöle, Fassaden- und Steinreiniger

und andere, siehe (Velvart 1993)

Tabelle 8: Beispiele für Produktgruppen, bei denen von keiner Gefährdung auszugehen ist. Zusammenstellung auf der Grundlage von (Velvart 1993).

Haushaltsreinigung und -Pflegemittel: Produktgruppen ohne Berichte zu Vergiftungen

Nähmaschinenöl, Schuhcremes, Wäschestärke

Körperpflege: Produktgruppen ohne Berichte zu Vergiftungen

Lippenstifte, Zahnpasten

Gartenpflege, Pflanzenschutz, Schädlingsbekämpfung: Produktgruppen ohne Berichte z.V.

Düngemittel für Schnittblumen, flüssige Produkte

Hobby und Freizeit: Produktgruppen ohne Berichte zu Vergiftungen

Christbaum- und Dekorationsschnee, Engelshaar für Christbäume
 Fieberthermometer-Inhalt
 Filzschreiber, Kugelschreiberminen, Ostereierfarben

3.1.5 Chronische Belastungen durch Haushaltschemikalien

Bei den oben aufgeführten Dokumentationen der Giftinformationszentren stehen akute Vergiftungen im Vordergrund. Wesentlich schwieriger zu dokumentieren sind Gesundheitsbeeinträchtigungen, bei denen Personen passiv, ohne eigene Aktivität, mit Chemikalien in Berührung kommen. Im Mittelpunkt stehen hier im häuslichen Bereich nicht Vergiftungen durch Missbrauch oder Verwechslungen, sondern Expositionen durch die Emission von Chemikalien aus Produkten, z.B. Textilien und Möbeln. Diese Fälle sind weit schwieriger abzuschätzen, da in der Regel nur wenig Angaben zur genauen Expositionslage vorliegen und in der Mehrzahl der Fälle chronische Expositionen im Niedrigdosisbereich vorliegen. Auch hier können ganz unterschiedliche Produkte zu Belastungen führen:

- Lacke und weitere flüssige Beschichtungsstoffe, Kleber und feste Beschichtungsmaterialien bestimmen maßgeblich das Emissionsverhalten von Möbeln in Innenräumen. Die Art und die Intensität des Emissionsspektrums von Möbeln an leichtflüchtigen organischen Verbindungen sind hierbei sehr unterschiedlich (Fischer und Böhm 1994).
- In Kinderspielzeug aus Weich-PVC können gesundheitlich problematische Phthalate eingesetzt werden, die beim Saugen und Nuckeln an den Produkten freigesetzt und vom Kind aufgenommen werden (Kommission der EG 2000 und Umweltbundesamt 1999b).
- In vielen Kunststoffen, die in Haushaltsgeräten Anwendung finden, werden halogenorganische Flammschutzmittel eingesetzt. Polybromierte Diphenylether, eine der hier bedeutendsten Chemikaliengruppen, können im Brandfall zur Belastung des Innenraumes durch polybromierte Dioxine und Furane führen (Bunke 1996a) (siehe hierzu auch den Hinweis 3 im Kapitel 3.1.6 und den hierzu gehörenden Exkurs 1 im Anhang).

Welchen Anteil Belastungen dieser Art durch Haushaltschemikalien im Niedrigdosisbereich an multikausal bedingten Krankheitsbildern, z.B. Erkrankungen des Immunsystems und der multiplen chemischen Sensitivität haben, ist derzeit nicht abschätzbar. Angesichts der Mehrfachexposition gegenüber stofflichen und physikalischen Noxen im Haushalt wird es im Einzelfall auch sehr schwierig sein, einen Kausalzusammenhang zwischen der Nutzung eines bestimmten Produktspektrums und chronischen Gesundheitsbeschwerden herzustellen. Gerade vor diesem Hintergrund ist es unter Vorsorgegesichtspunkten erforderlich, möglichst schadstoff- und emissionsarme Haushaltschemikalien zu entwickeln bzw. einzusetzen. Stoffe mit hoher akuter Toxizität, Stoffe mit chronischem Schädigungspotenzial, langlebige und bioakkumulative Verbindungen sollten in Haushaltsprodukten überhaupt nicht zur Anwendung kommen (siehe hierzu auch Kapitel 3.1.8).

Hinweis 1: Beispiele für schlecht abbaubare, bioakkumulative Stoffe, die in Produkten für den Haushalt eingesetzt werden, sind synthetische Moschusverbindungen. Sie können als Duftstoffe u.a. in Parfüms, Haarshampoos und anderen Produkten für die Körperpflege verwendet werden. Diese Stoffe und ihre Problematik ist im Exkurs 2 im

Anhang dargestellt (Brunn und Rimkus 1997, Rimkus und Brunn 1996).

Hinweis 2: Beispiele für Stoffe mit chronischem Schädigungspotenzial sind hormonell aktive Chemikalien, die in das Hormonsystem bei Menschen und Tieren eingreifen können. Für den Haushalt können diese Stoffe von Bedeutung sein, wenn sie Inhaltsstoffe primärer Haushaltschemikalien sind oder als ungewollte Rückstände. So wurde z.B. in der Innenbeschichtung von Konservendosen in Einzelfällen der hormonell aktive Stoff Bisphenol-A-diglycidylether (BADGE) gefunden. Auf die Problematik dieser Stoffe wird im Exkurs 3 im Anhang eingegangen (siehe S.132ff.).

3.1.6 Problemstoffe in Haushaltschemikalien

In der nicht-öffentlichen Produktdatenbank des BgVV waren im Mai 1999 mehr als 76.000 Produktdokumente mit Rezepturen enthalten, darunter 3089 gefährliche Zubereitungen (Hahn et al. 2000). Vor dem Hintergrund dieser Produktfülle erstaunt es nicht, dass es keine prägnante Übersicht über alle in Haushaltschemikalien anzutreffenden Problemstoffe gibt. Neben den Hauptwirkstoffen finden sich in den Produkten auch Trägersubstanzen, Stabilisatoren, Emulgatoren und weitere Hilfsstoffe, die die Zahl der Einzelsubstanzen noch erhöhen.

In der nachfolgenden Übersichtstabelle (Tab. 9) sind die Dokumentation des Schweizerischen Toxikologischen Informationszentrums und weitere Referenzen zu den häufigsten in Haushaltsprodukten vorkommenden Problemstoffen ausgewertet und zusammengefasst worden, ergänzt um eigene Studien (Gisbau 2001, Kommission der EG 2000 und Velvart 1993). Diese Übersicht kann nicht vollständig sein. Sie vermittelt aber einen ersten Überblick über die vorkommenden Problemstoffe und die zugehörigen Produktgruppen. Sie lässt auch erkennen, dass auf Grund der Komplexität der Produkte zentrale Informationsstellen für Haushaltsprodukte und die in ihnen enthaltenen Inhaltsstoffe notwendig sind.

Die Zuordnung eines Problemstoffes in der nachfolgenden Tabelle zu einem Haushaltsprodukt bedeutet, dass in der jeweiligen Produktgruppe bei einzelnen Produkten dieser problematische Inhaltsstoff gefunden worden ist. Dies heißt aber nicht, dass in jedem Einzelprodukt der Produktgruppe tatsächlich der Stoff enthalten sein muss. Bei vielen Haushaltschemikalien sind die Einzelprodukte, die zu einer Produktgruppe gehören, von ihrer Rezeptur her sehr unterschiedlich. Zwei Einzelprodukte derselben Produktgruppe – z.B. zwei Abbeizmittel – können sich erheblich im Problemstoffgehalt unterscheiden. Zur Auswahl wenig bzw. nicht gesundheitsbelastender Produkte sind daher spezifische Informationen zum Einzelprodukt und zu Produktalternativen erforderlich.

Hinweis 3: In vielen elektrischen und elektronischen Geräten des privaten Haushalts sind unterschiedliche Flammschutzmittel enthalten. Einige mengenmäßig bzw. aufgrund ihrer Stoffeigenschaften bedeutende Vertreter werden in der Tabelle 9 genannt. Innerhalb der Gesamtgruppe der Flammschutzmittel stellen halogenierte organische Flammschutzmittel eine Untergruppe dar. Zu dieser Untergruppe gehören einige Einzelstoffe und Stoffgemische, die human- und ökotoxikologisch problematisch

sind. Seit Jahren wird hier nach weniger umweltbelastenden Substituenten gesucht (Leisewitz et al.2001, Leisewitz und Schwarz 2001, Kruse et al.2001, Schramm et al. 1996). Im Anhang wird im Exkurs 1 das Risikopotential organischer halogenerter Flammenschutzmittel dargestellt.

Tabelle 9: Problemstoffe, die in Haushaltsprodukten auftreten können, und Zuordnung zu Produktgruppen. Quelle: Eigene Zusammenstellung (GISBAU 2001, Kommission der EG 2000 und Velvart 1993, eigene Studien, Bunke et al. 2001a).

Problemstoff	Haushaltsprodukt, in denen der Problemstoff auftreten kann (aber nicht notwendigerweise auftreten muss)
Aceton	Nagellackentferner, Fassaden- und Steinreiniger, Klebemittel
Alkylbenzolsulfonat	Geschirrspülmittel; WC-Reiniger
Alkylphenolpolyglykoether	Entkalkungsmittel für Haushaltsapparate; Geschirrspülmittel für manuelle Reinigung; Waschmittel; Badezusätze
Aluminiumchlorid	Alkoholische Kosmetika
Ameisensäure	Abbeizmittel; Bügeleisenreiniger; Entkalkungsmittel für Haushaltsapparate; Fassaden- und Steinreiniger
Amidosulfonsäure	Badewannenreiniger; Entkalkungsmittel für Haushaltsapparate; Feste Entkalker; WC-Reiniger
Ammoniumacetat	Rostfleckenentferner für Textilien
Ammoniumchlorid	Batterien für Haushaltsgeräte; Lötwasser; Entrüßer für Ölöfen
Ammoniumhydrogenfluorid	Rostentferner für Metalle; Rostfleckenentferner für Textilien
Ammoniumnitrat	Düngemittel für Schnittblumen; Gartendüngemittel
Ammoniumthioglykolat	Dauerwellenwasser
Amylacetat	Fleckenentferner; Nagellackentferner
Antimontrioxid	Bestandteil von halogenorganischen Flammenschutzmittel-Systemen in Kunststoffen von Elektro- und Elektronikgeräten
Arsentrioxid	Ameisenvertilgungsmittel
Azofarbstoffe	Farben und Lacke
Bariumnitrat	Wunderkerzen für Christbäume
Bariumsulfat	Nähmaschinenöle; Farben und Lacke
Benzalkoniumchlorid	Schwimmbadchemikalien, Desinfektion; Algenvertilgung; Reiniger von Kontaktlinsen
Benzin	Farben und Lacke; Metallschutzlacke
Bleimennige-Bleitetroxid	Farben und Lacke; Metallschutzlacke
Borsäure	Lötwasser; Fotoentwickler;
Butylacetat	Imprägniermittel für Textilien; Möbelpflegemittel; Schuhpflegesprays
Carbaryl	Holzschutzmittel
Carboxymethylcellulose	Waschmittel; Kühlelemente;
Cellosolve	Holzschutzmittel; Flüssige Schuhpflegemittel
Cetylalkohol	Metallreinigungsmittel; Ostereierfarben; Salben
Chlor	Abflussreiniger; Schwimmbadchemikalien
Chloracetamid	Harnstoff- und Melaninharze; Konservierungsmittel
Chloralhydrat	Düngemittel für Schnittblumen
Chloralose	Rodentizide

Chloramin-T	Desinfiziens
Chlordioxid	Schwimmbadchemikalien, Desinfektion
Chlorparaffine	Flammschutzmittel für Kunststoff-Teile von elektronischen und elektrischen Geräten
Chlorpyrifos	Mottenschutzmittel
Crimidin	Rodentizide
Cumolsulfonat	Geschirrspülmittel für manuelle Reinigung; Universalreiniger im Haushalt
Cyanoacrylat	Klebstoffe
Cyclohexan	Klebstoffe
Diacetonalkohol	Ameisenvertilgungsmittel
4,4'-Diaminodiphenylmethan	Epoxidharzprodukte
Diazinon	Holzschutzmittel; Ameisenvertilgungsmittel; Insektizide
Dibutylphthalat	Insektenvertreibungsmittel
Dichlofluanid	Holzschutzmittel
Dichlorvos (DDVP)	Insektenbekämpfungsmittel im Hausinneren
Diethylenglykolmono-ethylenether	Holzschutzmittel
N,N-Diethyl-m-Toluamid	Insektenvertreibungsmittel
Difenacoum	Rodentizide, Coumarin- und Indandiaderivate
Dimethylaminopropylamin	Klebstoffe
Dimethylphthalat	Insektenvertreibungsmittel
2,4-Dinitrophenol	Holzschutzmittel
Dioctylphthalat	Klebstoffe
Diphenylthioharnstoff	Ameisenvertilgungsmittel
Dipropylenglykol	Geschirrspülmittel für Automaten, Glanzrockner; Haarshampoos
Dodecylbenzolsulfonat	Autoshampoos
Endosulfan	Holzschutzmittel
Epoxidharze	Insektenvertreibungsmittel
Ethanolamin	Bodenpflegemittel
Etherische Öle	Luftverbesserer für Wohnräume; Möbelpflegemittel
Ethylacetat	Nagellackentferner; Klebstoffe; Reinigungsöl für elektrische Kontakte;
Ethylbenzol	Abbeizmittel
Ethylenglykol	Frostschutz für Autokühler; Autoshampoos; Lötwasser
Ethylenglykolmono-butylether	Glasscheibenreiniger
Ethylenoxid-Kondensationsprodukte	Haarshampoos
Ethylenpropylenoxid	Geschirr-Reinigungsmittel für Automaten, Glanzrockner
Fettalkoholpolyglykoether	Geschirr-Reinigungsmittel für manuelle Reinigung; Glasscheibenreiniger; Waschmittel
Fettalkoholethersulfat	Geschirrspülmittel für manuelle Reinigung; Glasscheibenreiniger; Badezusätze, Schaumbäder; Badezusätze, Wasserparfümierungsmittel;
Fettalkoholsulfate	Geschirrspülmittel für manuelle Reinigung; Teppich- und Polsterreiniger
Fettsäurealkylolamide	Badezusätze, Schaumbäder
Fettsäurediethanolamid	Autoshampoos; Waschmittel; Shampoos; Reinigungsmittel; Hautcremes; Rostschutzmittel; Schmiermittel; Abbeizmittel
Flussäure HF	Metallreinigungsmittel; Rostfleckenentferner für Textilien; Fassaden- und Steinreiniger

Folpet (N-Trichlormethylthiophthalimid)	Fungizide, Phthalimide
Formaldehyd	Bodenpflegemittel; Büromaterialien
Harnstoff	Universalreiniger im Haushalt (Oberflächenreiniger), flüssige Produkte; Gartendüngemittel; Autoshampoos; Feuerlöschmittel
Hexachlorophen	Deodorants für Körper; Rasierwasser; Kühlelemente
Hexamethylentetramin	Anzündtabletten mit Hexamethylentetramin; Entrüßer für Öfen
Hydrochinon	Fotoentwickler
Hydroxychinolinzitat	Düngemittel für Schnittblumen
Isopropylalkohol	Fleckenentferner; Geschirrspülmittel für manuelle Reinigung; Glasscheibenreiniger; Luftverbesserer für Wohnräume; Metallreinigungsmittel; Rostentferner für Metalle; flüssige Schuhpflegemittel; Teppich- und Polsterreiniger; Veredler für Textilien; Haarfestiger und Haarlacke; Haarfärbemittel; Autoshampoos; Insektenvertreibungsmittel
Isopropylmyristat	Schuhpflegesprays; Hautöle
Jodfenphos	Mottenschutzmittel; Fliegenbekämpfung in Milchviehställen
Kaliumantimonyltartrar	Ameisenvertilgungsmittel
Kaliumchlorat	Knallkörper
Kaliumdichromat	Holzschutzmittel; Zündholzschachtelreibflächen
Kaliumferrocyanid	Streusalz
Kaliumhydroxid	Badethermometer; Nagelhautentferner
Kaliumpersulfat	Desinfektionsmittel für Windeln;
Kalziumhypochlorit	Schwimmbadchemikalien
Kampfer	Rasierwasser; Mottenschutzmittel; Niespulver
Kupferacetat	Badethermometer
Kupferchlorid	Entrüßer für Öfen
Lindan	Insektizide; Mottenschutzmittel
Metaldehyd	Schneckenkörner; Anzündtabletten
Methylacetat	Nagellackentferner; Klebemittel
Methylalkohol	Abbeizmittel; Schallplattenreiniger
Methylethylketon	Klebmittel
Methylenchlorid	Abbeizmittel; Fleckenentferner; Schuhpflegesprays; Christbaum- und Dekorationsschnee
Methylisobutylketon	Klebmittel
Methyl-o-Silikat	Fassaden- und Steinreiniger
Methylviolett	Stempelfarben; Tintenstifte
Metol	Fotoentwickler
Monochlorbenzol	Fleckenentferner; Teerentferner
Naphthalin	Mottenschutzmittel;
Natriumbenzoat	Luftverbesserer für Wohnräume;
Natriumdechlorisocyanurat	Abwaschmittel für Automaten
Natriumdithionit	Haarfärbemittel; Entfärber für Textilien
Natriumhydrogensulfid	Fotoentwickler
Natriumhydroxid	Abbeizmittel; Abflussreiniger; Backofen- und Grillreiniger; Teppich- und Polsterreiniger; Fassaden- und Steinreiniger
Natriumhypochlorid	Bleichmittel für Textilien; Desinfektionsmittel für Windeln; Schwimmbadchemikalien
Natriumnitrit	Abflussreiniger
Natriumperborat	Bleichmittel für Textilien; Abwaschmittel für Automaten; Universalreiniger im

	Haushalt; Waschmittel; Zahnprothesenreiniger
Natriumsulfit	Dauerwellenwasser; Fotoentwickler
Natriumthiosulfat	Badesalz; Bleichmittel für Textilien; Fotoentwickler; Entfärber für Textilien
Nikotin	Zigaretten; Niespulver
Nitritotriessigsäure-Trinatriumsalz	Universalreiniger im Haushalt
Nitro-Moschusverbindungen	Kosmetikartikel, Seifen, Shampoos, Wasch- und Reinigungsmittel
Nonylphenoethoxylat	Abwaschmittel für Automaten; Glanzrockner; Autosshampoos
Ölsäuremethyltaurid	Geschirrspülmittel für manuelle Reinigung
Oxalsäure	Rostfleckenentferner für Textilien; Tinte
Paradichlorbenzol	WC-Desodorierungsmittel; Mottenschutzmittel
Pentachlorphenol	Holzschutzmittel; Holzveredelungsmittel
Petroldestillate	Bodenpflegemittel; Fleckenentferner; Holzschutzmittel; Imprägniermittel für Textilien; Möbelpflegemittel; Mottenschutzmittel; Kunststoffreiniger
Phenol	Abbeizmittel; Tinte
Phenol-Formaldehyd-Harze	Klebstoffe
Phenolphthalein	Badethermometer
Phenthoat	Holzschutzmittel
p-Phenylendiamin	Fotoentwickler
Phosalone	Holzschutzmittel
Phosphor, Roter Phosphor	Gartendüngemittel; Feuerwerkskörper; Zündholzreibflächen
Phosphorsäure	Entkalkungsmittel für Haushaltsapparate; Metallreinigungsmittel; Rostentferner für Metalle; Fassaden- und Steinreiniger
Phosphorsesquisulfid	Zündholzköpfchen
Piperonylbutoxid	Ameisenvertilgungsmittel; Insektizide, Pflanzenextrakte
Polyacrylderivate	Bodenpflegemittel; Flüssige Schuhpflegemittel; Farben und Lacke; Reinigungsöl für elektrische Kontakte
Polybromierte Biphenyle	Flammschutzmittel für Kunststoff-Teile von elektronischen und elektrischen Geräten
Tetrabrombisphenol A	Flammschutzmittel für Kunststoff-Teile von elektronischen und elektrischen Geräten
Polybromierte Diphenylether (PBDE)	Flammschutzmittel für Kunststoff-Teile von elektronischen und elektrischen Geräten
Polycyclische Moschusverbindungen	Kosmetikartikel, Seifen, Shampoos, Wasch- und Reinigungsmittel
Polyethylenglykole	Abbeizmittel; Holzschutzmittel; WC-Desodorierungsmittel
Polyfluorierte Kohlenwasserstoffe	Imprägniermittel für Textilien
Polystyrol	Flüssige Schuhpflegemittel; Farben und Lacke; Klebstoffe
Polyvinylacetat	Farben und Lacke
Polyvinylalkohol	Klebstoffe; Reiniger für Kontaktlinsen
Polyvinylpyrrolidon	Haarfestiger und Haarlacke; Reiniger für Kontaktlinsen
Propan	Imprägniermittel für Textilien; Schuhpflegesprays; Teppich- und Polsterreiniger
Propoxur	Holzschutzmittel
Propylenglykol	Badewannenreiniger; Haarfärbemittel; Handcremes; Body-Lotions; Schallplattenreiniger
Pyrethrum	Insektizide, Pflanzenextrakte
Pyrogallol	Fotoentwickler
Resorcin	Fotoentwickler

Ricinusöl	Autoscheibenteiser; Filzschreiber Stempelfarben; Farben und Lacke
Salmiakgeist	Ablaugemittel; Teppich- und Polsterreiniger
Salzsäure	Entkalkungsmittel für Haushaltsapparate; Rostentferner für Metalle; WC-Reiniger; Fassaden- und Steinreiniger
Schellack	Möbelpolituren; Spritz- und Elektroisolierlacke; Lederappreturen; Tusche
Schwefel	Feuerwerkskörper; Zündholzköpfchen
Schwefelsäure	Auto-Akkumulatoren; Tinten
Scillaren A und B	Rodentizide
Tenside	Backofen- und Grillreiniger; Bodenpflegemittel; Abwaschmittel für Automaten; Geschirrspülmittel für manuelle Reinigung; Entkalkungsmittel für Haushaltsapparate; Luftverbesserer; Metallreinigungsmittel; Teppich- und Polsterreiniger, Universalreiniger im Haushalt; Veredler für Textilien; WC-Desodorierungsmittel; Tinten
Terpentinöl	Bodenpflegemittel; Holzschutzmittel; Holzbeizmittel; Möbelpflegemittel; Schuhpflegemittel; Farben und Lacke; Klebemittel
Tetrabrombisphenol A	Flammschutzmittel für Kunststoff-Teile von elektronischen und elektrischen Geräten
Tetrachlorethen	Fleckenentferner; Imprägniermittel für Textilien
Tetrakaliumpyrophosphat	Lebensmittelherstellung Backofen- und Grillreiniger; Teppich- und Polsterreiniger
Thallium	Rodentizide
Thioharnstoff	Metallreinigungsmittel
Toluol	Möbelpflegemittel; Nagellackentferner; Korrekturflüssigkeiten; Farben und Lacke; Klebemittel
Triarylmethanfarbstoffe	Tinte; Tusche
Tributylzinnoxid	Holzschutzmittel
1,1,1-Trichlorethan	Imprägniermittel für Textilien; Schuhpflegesprays; Mottenschutzmittel; Korrekturflüssigkeiten; Typenreiniger für Schreibmaschinen
Trichlorethylen	Fleckenentferner; Möbelpflegemittel; Flüssige Schuhpflegemittel; Typenreiniger für Schreibmaschinen; Teerentferner
Trichlorisocyanursäure	Schwimmbadchemikalien
Triethanolamin	Metallreinigungsmittel; Schaumbäder; Haarfestiger und Haarlacke; Haarfärbemittel; Handcremes; Teerentferner
Triethanolaminfettalkohol-sulfat	Tenside
Trinatriumphosphat	Backofen- und Grillreiniger
Tripolyphosphate	Waschmittel
Tris(2-chlorethyl)-phosphat, Tris(1,3-dichlor-2-propyl)-phosphat, Tris(1-chlor-2-propyl)phosphat	Flammschutzmittel für Kunststoff-Teile von elektronischen und elektrischen Geräten
Warfarin	Rodentizide
Weinsäure	Entkalkungsmittel für Haushaltsapparate; Glanztrockener; Metallreinigungsmittel
Xylol	Fleckenentferner; Holzschutzmittel; Möbelpflegemittel; Filzschreiber; Farben und Lacke
Zinkchlorid	Batterieinhalt; Lötwasser
Zinkchromat	Metallschutzlacke
Zinkoxid	Farben und Lacke; Zündköpfchen
Zinkphosphid	Rodentizide
Zitronensäure	Entkalkungsmittel für Haushaltsapparate; Glanztrockner; Dauerwellenwasser

3.1.7 Heterogenität der Produktgruppen

Im bisherigen Text ist stets von Produktgruppen gesprochen worden. Dieses Hilfsmittel zur Systematisierung lässt mitunter vergessen, dass innerhalb einer Produktgruppe Einzelprodukte zusammengefasst werden, die sich hinsichtlich ihres Gefährdungspotenzials erheblich unterscheiden können. Für viele Anwendungsbereiche sind inzwischen optimierte Produkte entwickelt worden, die einen weitestgehend gefahrlosen Einsatz ermöglichen: z.B. schadstoffarme Lacke, die keine gefährlichen, nach Chemikaliengesetz kennzeichnungspflichtigen Inhaltsstoffe mehr enthalten, lösemittelarme Klebstoffe, biozidfreie Schädlingsbekämpfungsmittel für Innenräume, emissionsarme Dispersionswandfarben, Kopiergeräte-Toner ohne problematische Schwermetalle und ohne Azo-Farbstoffe auf der Basis kanzerogener Amine. Dennoch sind für dieselben Anwendungsgebiete Produkte erhältlich, die diese Anforderungen an Schadstoffarmut nicht erfüllen.

An dieser Stelle soll nur exemplarisch die Spannweite der Zusammensetzungen verdeutlicht werden. In der nachfolgenden Tabelle 10 sind aus der Produktgruppe der Holzschutzmittel drei Einzelprodukte aufgeführt mit zwei zusätzlichen Angaben: dem prozentualen Anteil an Gefahrstoffen im Produkt und den zugehörigen Wirkfaktoren „W“. Die Wirkfaktoren W stellen eine Maßzahl dar, die eine differenzierte Quantifizierung und Beurteilung der in einem Produkt enthaltenen Gefahrstoffe erlaubt. Die Methodik der Wirkfaktoren ist im Rahmen des gesetzlichen Arbeitsschutzes entwickelt worden. Je gefährlicher ein Stoff ist, desto höher liegt sein Wirkfaktor W. Auf den Einsatz des Wirkfaktorenmodells zur Bilanzierung von Gefahrstoffen wird detailliert im Kapitel 3.3 eingegangen.

Tabelle 10: Holzschutzmittel – Schadstoffgehalt und Wirkfaktor W im Handel erhältlicher Einzelprodukte. Auszug einer Zusammenstellung aus (Bunke und Graulich 2001).

Produktbezeichnung	Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen* [%]	Wirkfaktor W
Adolit TA 100 (Flüssigsalz HSM-W40)	7	0,7
Adolit CKB-P (Flüssigsalz HSM-W 70)	94	30.000
Aidol Grund / Bläuesperre (Holzschutzöl HSM-LV 20)	100	10

* Gefährliche Inhaltsstoffe besitzen eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz.

Die Zusammenstellung zeigt, dass innerhalb der oben aufgeführten Produktgruppe der prozentuale Gefahrstoffgehalt um einen Faktor 15 variieren kann. Noch größer ist die Spannweite beim Wirkfaktor, der bei den betrachteten Produkten zwischen 0,7 und 30.000 liegt.

3.1.8 Zielsetzungen und Hilfsmittel für die Produktoptimierung beim Produzenten

Die dokumentierten Vergiftungsfälle mit Haushaltschemikalien zeigen, dass heute bei gefahrstoffhaltigen Produkten ein erheblicher Optimierungsbedarf besteht. Dies wird auch durch die auffallend hohe Bandbreite des Gefahrstoffgehaltes auf dem Markt erhältlicher Produkte für denselben Einsatzbereich deutlich. Zielvorgabe sollte bei Erhalt der Funktionalität der Produkte eine weitestgehende Reduktion des Gefahrstoffgehaltes sein. Im Vordergrund steht hierbei der Ersatz von Stoffen, die gemäß der Gefahrstoffverordnung als sehr giftig, giftig, krebserzeugend, erbgutverändernd bzw. fortpflanzungsgefährdend gekennzeichnet werden müssen bzw. bei denen der Verdacht auf solche Wirkungen besteht, ferner Stoffe, die sich durch eine sensibilisierende oder eine andere chronisch schädigende Wirkung auszeichnen. Darüber hinaus sollten in Haushaltschemikalien und in Haushaltsprodukten keine Stoffe enthalten sein, die aufgrund ihrer Persistenz und/oder ihrer Fähigkeit zur Bioakkumulation ein besonderes Risiko darstellen bzw. aus denen im Brandfall problematische Verbrennungsprodukte entstehen können. Letzteres ist z.B. bei einigen halogenorganischen Flammschutzmitteln der Fall, die dioxin- und furanbildend wirken können. Neben diesen stoffbezogenen Vorgaben können ergänzend Verbesserungen der Anwendungssicherheit das Gefahrenpotenzial der Produkte verringern.

Die im vorigen Abschnitt 3.1.7 vorgestellten Wirkfaktoren ermöglichen eine gezielte Auswahl weniger gefahrstoffhaltiger Produkte. In den Wirkfaktoren sind die Einsatzmengen der Produkte noch nicht berücksichtigt worden. Durch Bezugnahme auf eine Referenzsubstanz (Monoethylenglykol (MEG)) kann aus dem Wirkfaktor eines Produktes für eine vorgegebene Produktmenge als weitere Kennzahl das MEG-Äquivalent berechnet werden. Durch Berücksichtigung der Verbrauchsmenge ermöglicht diese Kennzahl einen direkten Produktvergleich und eine Produktoptimierung im jeweiligen Anwendungszusammenhang. Die Methodik und Anwendung dieses Bewertungsinstrumentes (Bunke und Graulich 2001) werden in Kapitel 3.3 dargestellt.

Sicherheitsdatenblätter sind für produzierende Unternehmen die primäre Informationsquelle über gefährliche Inhaltsstoffe der von ihnen eingesetzten Materialien. Zur systematischen Auswertung der in ihnen enthaltenen, gesundheitsrelevanten Informationen steht seit kurzem das access-gestützte Datenbanksystem Dialog^{PLUS} zur Verfügung. Es ermöglicht auch eine rasche, vergleichende Beurteilung von Substitutionsoptionen und kann Grundlage für EDV-gestützte Produktentwicklungssysteme werden (Bunke et al. 2002a, Bunke et al. 2002b). Es ist im Detail in Kapitel 3.4 dieser Arbeit beschrieben.

Die für die Bewertung des Gefahrstoffgehaltes, der toxikologischen und der ökotoxikologischen Eigenschaften erforderlichen Einzelinformationen werden aus dem Sicherheitsdatenblatt in Dialog^{PLUS} übertragen. Dort können auch über das Sicherheitsdatenblatt hinausgehende, zusätzliche Produktinformationen dokumentiert und bearbeitet werden.

3.1.9 Produktbezogene Bewertungssysteme für den Verbraucher

Die Auswahl schadstoffarmer Einzelprodukte stellt ein wichtiges Element zur Verringerung der Belastung durch Haushaltschemikalien dar. Angesichts der Vielzahl und der Bandbreite der verfügbaren Produkte ist diese Auswahl für den Verbraucher nicht einfach. Eine wesentliche Hilfe können hier veröffentlichte, vergleichende Produktbewertungen geben.

Vom Umweltbundesamt ist als Entscheidungshilfe das deutsche Umweltzeichen - der „Blaue Engel“ - entwickelt worden. Das Umweltzeichen soll als freiwillige Auszeichnung weniger belastende Produkte kennzeichnen. Die Vergabekriterien werden von einer unabhängigen Jury erarbeitet (RAL 2000). In der Tabelle 11 werden die Haushaltschemikalien genannt, für die bereits Produktauszeichnungen bestehen. Hinzu kommen Umweltzeichen für Arbeitsplatzcomputer, Drucker, Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen, Kopier- und Fernsehgeräte: Elektrogeräte, aus denen im privaten Haushalt bei schadstoffreichen Produkten Inhaltsstoffe ausgasen und zu Belastungen führen können. Für jede dieser Produktgruppen ist ein spezifisches Set von Bewertungsindikatoren erarbeitet worden. In vielen Fällen sind hierbei auch die Gehalte an gefährlichen Inhaltsstoffen berücksichtigt.

In Planung sind Umweltzeichen u.a. für Wandfarben in Mehrweggebinden, Graffiti-Reiniger, Bodenbelagsklebstoffe, Silicondichtstoffe auf Wasserbasis und biologische Schädlingsbekämpfungsmittel (für die jeweils aktuelle Aufstellung siehe www.blauer-engel.de).

Umweltzeichen sind auch in anderen Ländern entwickelt worden. Neben den nationalen Umweltzeichen gewinnt zunehmend das europäische Umweltzeichen an Bedeutung. Eine detaillierte Übersicht, in der auch auf das europäische Umweltzeichen eingegangen wird, wird in (Umweltbundesamt 1999a) gegeben. Hier werden auch länderübergreifende Projekte zur Produktkennzeichnung und Produktauswahl aufgeführt.

Tabelle 11: Haushaltschemikalien, für die ein deutsches Umweltzeichen vergeben wurde. Eigene Zusammenstellung auf der Grundlage von (RAL 2000).

Produktgruppe	Umweltzeichen
Farbbandkassetten und Tonerkartuschen	RAL-UZ 55a
Haarsprays, Deosprays und Rasierseifenschäume	RAL-UZ 3
Hartlote	RAL-UZ 68
Hygienepapier aus Altpapier	RAL-UZ 5
Lacke	RAL-UZ 12a
Nagellacke	RAL-UZ 74
Rohrreiniger, mechanische	RAL-UZ 24
Schädlingsbekämpfungsmittel für Innenräume	RAL-UZ 34
Streumittel, abstumpfend	RAL-UZ 13
Textmarker	RAL-UZ 69
Waschmittel	RAL-UZ 70
Alkali-Mangan-/Lithium-/Zink-Luft-Batterien	RAL-UZ 92,50,16

3.1.10 Weiterführende Informationen über Produktgruppen und Einzelprodukte

Eine gute Darstellung der Problematik einzelner Haushaltschemikalien bieten die Dokumentationen von Velvart (Velvart 1993, Velvart 1999). Ihnen liegen die Erfahrungen aus der Kasuistik des Schweizerischen Toxikologischen Informationszentrums zugrunde. Regelmäßig werden vergleichende Produktbewertungen in der Zeitschrift Ökotest veröffentlicht (Öko-Test 1992 – 1999, Ökotest 2002). Umfangreiche vergleichende Informationen und Bewertungen zu einzelnen Produktgruppen findet sich im Handbuch der umweltfreundlichen Beschaffung des Umweltbundesamtes (Umweltbundesamt 1999a). Hier ist auch eine weiterführende Bibliographie enthalten. Die Kriterien des deutschen Umweltzeichens und die mit ihm ausgezeichneten Produkte mit Herstellerangaben finden sich in der Publikation des Deutschen Institutes für Gütesicherung und Kennzeichnung (RAL 2000). Die aktuelle Zusammenstellung der Produktgruppen kann unter www.blauerengel.de im Internet recherchiert werden.

Zur Beurteilung eines Einzelproduktes sollte in allen Fällen das Sicherheitsdatenblatt beim Hersteller angefordert werden. In ihm sind per Gesetz Angaben zu evtl. vorhandenen gefährlichen Inhaltsstoffen enthalten, die oftmals eine erste Einschätzung des Gefahrenpotenzials ermöglichen. Zu Haushaltschemikalien, die auch im Baubereich eingesetzt werden, sind detaillierte Informationen im Gefahrstoffinformationssystem GISBAU der Bauberufsgenossenschaften zusammengestellt (GISBAU 2001).

In den Veröffentlichungen des Bundesinstitutes für den gesundheitlichen Verbraucherschutz finden sich zusammenfassende Auswertungen der ärztlichen Mitteilungen bei Vergiftungen (Hahn et al. 2000). In ihnen wird auch auf besonders problematische Produktgruppen eingegangen (BgVV 1998a, BgVV 1998b, BgVV 2000a, BgVV 2000b, BgVV 2000c und Hahn et al. 2000).

3.1.11 Entwicklungsziel schadstoffarme Produkte im privaten Haushalt

Auch heute sind Haushaltschemikalien im Handel, die aufgrund ihres Gefahrstoffgehaltes zu akuten oder chronischen Gesundheitsbelastungen führen können. Angesichts verfügbarer gefahrstoffärmerer Produktalternativen, die den gleichen Verwendungszweck erfüllen, ist hier seitens der Hersteller eine konsequente Produktoptimierung erforderlich. Spezifische Kriterien können für viele Produktgruppen aus bereits bestehenden Umweltzeichen-Systemen entnommen oder abgeleitet werden. Diese Kennzeichnungen ermöglichen dem Verbraucher auch eine gezielte Auswahl wenig belastender Produkte. Die wesentlichen Zielsetzungen sind bereits im Kapitel 3.1.8 genannt worden.

Die Hersteller sollten auch über das Sicherheitsdatenblatt hinausgehende Informationen dem Verbraucher bei Bedarf zur Verfügung stellen. Im Umweltzeichen Blauer Engel für Dispersionswandfarben vom Dezember 1999 sind hier neue Maßstäbe gesetzt worden: das Zeichen erhalten nur schadstoffarme Produkte, die auf den Gebinden Hinweise für Allergiker aufweisen und bei denen ein Hinweis auf eine Hotline erfolgt, bei der die Verbraucher nähere Auskünfte über die Inhaltsstoffe der Farben erhalten können (RAL 2000). Beim Umgang mit Haushaltschemikalien kann allerdings auch der Anwender nicht aus seiner Verantwortung entlassen werden, die Produkte sachgemäß anzuwenden und aufzubewahren.

Analytisch und von ihrer gesundheitlichen Bedeutung besonders schwer zu bewerten ist die Freisetzung flüchtiger Schadstoffe aus Haushaltsgeräten in den Innenraum. Ein wichtiges Entwicklungsziel sind daher schadstoffarme Geräte. Hier bestehen derzeit noch erhebliche Verbesserungspotenziale. Im nachfolgenden Kapitel wird am Beispiel von Fernsehgeräten aufgezeigt, wo diese Potenziale liegen und welche Umsetzungen möglich sind.

3.2 Schadstoff-Reduktionspotenziale am Beispiel von Fernsehgeräten

Durch die systematische Substitution problematischer Bauteile und durch technologische Innovationen sind im Bereich der Haushaltselektronik erhebliche Schadstoff-Einsparungen möglich. Zur Schwerpunktsetzung sind genaue Quantifizierungen des Schadstoffgehaltes erforderlich.

In diesem Kapitel werden Entlastungs-Potenziale am Beispiel des Fernsehgerätes aufgezeigt. Die Entwicklung und Anwendung des Bewertungs-Indikators „Gesamtschad-Stoffgehalt“ wird beschrieben. Die Methodik und Schlussfolgerungen sind auch auf andere, elektronische Investitionsgüter des privaten Haushaltes übertragbar.

Schadstoff-Reduktionspotenziale am Beispiel von Fernsehgeräten

Im privaten Haushalt übliche elektronische Geräte können in ökologischer Hinsicht auf vielfache Weise optimiert werden. Neben der Senkung des Energie- und Rohstoffverbrauches ist auch die Schadstoffreduktion ein wichtiges Ziel.

Am Beispiel von Fernsehgeräten kann beispielhaft gezeigt werden, dass durch die systematische Substitution von problematischen Bauteilen und durch technologische Innovationen weitreichende Umweltentlastungen möglich sind. Erforderlich sind hierfür nicht nur die Identifizierung und mengenmäßige Erfassung schadstoffhaltiger Materialien, sondern auch die Kenntnis der verfügbaren schadstoffärmeren Bauteilalternativen (Bunke et al. 2001b).

Schadstoff-Reduktionspotenziale am Beispiel von Fernsehgeräten

3.2.1	Fernsehgeräte in privaten Haushalten	41
3.2.2	Umweltverträgliche Technologien für Haushaltselektronik	42
3.2.3	Schadstoffe im Fernseher.....	43
3.2.4	Schritte auf dem Weg zum schadstoffarmen Fernseher	45
3.2.5	Realisierbare Schadstoffreduktionen	46
3.2.6	Entlastungspotenziale und Voraussetzungen zur Umsetzung.....	50
3.2.7	Weiterentwicklung: Schadstoffreduktion bei Fertigungsprozessen.....	50

3.2.1 Fernsehgeräte in privaten Haushalten

Im privaten Haushalt hat sich das Fernsehgerät seit Jahrzehnten einen sicheren Platz erobert. Neue technologische Entwicklungen, die vom Videorecorder über den Flachbildschirm, Kabel- und Satellitenempfang bis zum Digitalfernsehen reichen, festigen die Bedeutung des Fernsehers im Bereich der Unterhaltungselektronik zusätzlich.

Der „Sättigungsgrad“ der deutschen Haushalte mit TV-Geräten hat seit langem die 100-Prozent-Marke überschritten: 1996 lag der Gerätebestand in Deutschland bei über 44 Millionen Geräten, ein Viertel der Haushalte hatte ein Zweitgerät. Der Trend hin zu immer neuen Gebrauchseigenschaften, zu größeren Bildschirmen (16:9, 80-cm-Bildschirmdiagonale) und zu höheren Frequenzen (100-Hz-Geräte) und das gleichzeitig enorm angestiegene Senderangebot lassen erwarten, dass auch in den kommenden Jahren die Zahl der Neuanschaffungen von Fernsehgeräten auf hohem Niveau konstant bleiben wird. Es ist abzusehen, dass viele ältere Geräte als Zweit- und Drittgeräte genutzt und dann – noch funktionsfähig – ausgemustert werden. Nur in zwei Prozent aller Haushalte in Deutschland findet sich gar kein Fernseher.

Schon aus den oben genannten Zahlen und Trends ist erkennbar, dass auch unter sozialen, ökonomischen und ökologischen Aspekten die Produktgruppe Fernseher von hoher Bedeutung ist. Die durchschnittliche Einschaltdauer wird 1998 von Darschin mit über 5 Stunden pro Tag ermittelt; hierbei liegt die durchschnittliche Sehdauer (Einschaltdauer pro Person) für Erwachsene bei 3 Stunden, 20 Minuten - für Kinder bei 1 Stunde, 40 Minuten (Darschin und Bernward 1998). Die TV-Nutzung macht etwa 5% des Stromverbrauches eines Haushaltes aus – etwa 150 kWh/ Haushalt und Jahr (wobei diese Zahlen stark von der Ausstattung der Geräte abhängig sind). Einige Eckdaten zur Bedeutung von TV-Geräten als Wirtschaftsgut und – nach der Nutzung! – zum Abfallaufkommen sind in Tabelle 12 zusammengestellt.

Tabelle 12: Fernsehgeräte als Wirtschaftsgut und als Abfallquelle. Zum Vergleich: Jährlicher Gesamtanfall an Elektronikschrott: 1,8 Millionen Mg (Umweltbundesamt 1999c). Alle Angaben beziehen sich auf ein Kalenderjahr.

Anzahl der verkauften Farbfernsehgeräte, Deutschland, 1998 (gfu 1999)	5,59 Millionen Stück
Umsatz Farbfernsehgeräte Deutschland (gfu 1997)	5,5 Milliarden DM
Anfall Elektronikschrott, Fernsehgeräte (ZVEI 1999)	10.000 Mg/Jahr

Fernsehgeräte sind komplex aufgebaute Elektronikprodukte. Angesichts der Bandbreite der im Handel erhältlichen Produkte ist es ausserdem nicht einfach, ein „typisches“ Fernsehgerät zu definieren. Im Marktsegment der unteren Mittelklasse besteht ein typisches 28-Zoll-Gerät aus mehr als 1200 Einzelkomponenten mit einer Masse von mehr als 30 Kilogramm. Bei der Herstellung des Gerätes werden in vielen Prozessschritten am Arbeitsplatz problematische Gefahrstoffe eingesetzt. Im Endgerät selber können in den Bauelementen giftige Schwermetalle und problematische Flammschutzmittel in unterschiedlichen Konzentrationen enthalten sein.

3.2.2 Umweltverträgliche Technologien für Haushaltselektronik

Im Bereich der Haushaltselektronik ist es in den letzten zwanzig Jahren zu enormen technischen Veränderungen gekommen (siehe hierzu auch den Übersichtsartikel von Schätzke zur Haushaltstechnik (Schätzke 2000)). Unter Umweltschutzaspekten sind im Bereich der Unterhaltungselektronik bereits in der Vergangenheit erhebliche Anstrengungen unternommen worden, z.B. hinsichtlich der Senkung des Energieverbrauches. Durch die Miniaturisierung der Schaltungsträger sind spürbare Materialeinsparungen erzielt worden. Dennoch zeigt zum einen die Analyse des auf dem Markt verfügbaren Produktspektrums erhebliche Unterschiede in den ökologisch relevanten Eigenschaften, zum anderen gehören aufgrund des Schadstoffgehaltes Platinen und Elektronikkomponenten aus Fernsehgeräten nach wie vor zu Sondermüll, der aufwändig entsorgt werden muss.

Vor diesem Hintergrund werden im Verbundforschungsvorhaben „Grüner Fernseher“ und in den Folgeprojekten seit 1996 mit Förderung durch das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) neue Konzepte für eine umweltverträgliche Elektronik entwickelt und exemplarisch an einem Fernsehgerät realisiert. Das TV-Gerät wurde als Beispiel ausgewählt, da hier nahezu alle in der Elektronik vorkommenden Probleme vereint sind. Mit der Herstellung, der Nutzung und der Entsorgung konventioneller Fernsehgeräte sind deutliche Umweltbelastungen verbunden. Die neuen Technologien sollen hier zukunftsweisende Lösungen hinsichtlich Umweltentlastungen bieten und zugleich wirtschaftlich sein. Im Einzelnen sollten im Projekt „Grüner Fernseher“ die folgenden Ziele, bezogen auf das gesamte Farbfernsehgerät oder einzelne Bauelemente, erreicht werden:

- Senkung des Energie- und Rohstoffverbrauchs,
- Senkung des Abfallaufkommens,

Verringerung der Emission von Massenschadstoffen:

Spurengase, Säurebildner, Photooxidantienbildner

Verringerung der am Arbeitsplatz bei der Produktion eingesetzten Gefahrstoffe

Verringerung des Schadstoffgehaltes im Endprodukt Fernsehgerät

Konkret konzentriert sich die technologische Forschung der Partner u.a. auf die Bereiche: Ersatz der herkömmlichen Leiterplatte durch wiederverwertbare und schadstoffarme Schaltungsträger, Optimierung und Verkleinerung der elektronischen Bauelemente, Entwicklung eines Lautsprecherkonzeptes mit höherem Wirkungsgrad, Initiierung und Optimierung des Einsatzes von Altgläsern bei der Bildröhrenherstellung, Entwicklung von energiesparenden Schaltungskonzepten.

Zur ökologischen Bewertung der von den Projektpartnern entwickelten technologischen Innovationen ist im Projekt eine eigene Bewertungsmethodik entwickelt worden: die integrierte ökologische Bewertung „EcoGrade“. Aufbauend auf ökobilanziellen Untersuchungen, ermöglicht EcoGrade durch den Einbezug weiterer toxikologischer und ökotoxikologischer Informationen eine praxismgerechte Bewertung von Produkten und Technologien hinsichtlich ökologischer Kriterien (Bunke et al. 2000).

Die Minimierung toxischer Substanzen ist ein wichtiges Element der ökologischen Produktoptimierung (Küster 2000). Bei Fernsehgeräten kann gezeigt werden, dass durch den konsequenten Einsatz bereits heute verfügbarer, schadstoffarmer Bauteile bei Fernsehgeräten erhebliche Schadstoff-Einsparungen und dadurch Umweltentlastungen erreichbar sind.

3.2.3 Schadstoffe im Fernseher

Infolge des Schadstoffgehaltes vieler Komponenten müssen Fernsehgeräte als Sondermüll entsorgt werden. Die wichtigsten Schadstoffe, die in Fernsehgeräten (und in vielen anderen elektronischen Geräten) enthalten sind, sind toxische (giftige) Schwermetalle, toxische Halbmetalle (Arsen), toxische organische Verbindungen und Materialien, die organisch gebundene Halogene (Brom bzw. Chlor) enthalten (xyz Literatur Schadstoffe in Elektronikgeräten, Baunemann o.ä.).

Die hier genannten Schadstoffe verteilen sich auf die unterschiedlichen Bauelemente eines Fernsehgerätes. In den **Bildröhren** ist in jedem Falle Blei enthalten, in Einzelfällen auch Cadmium. Die **Leiterplatten**, die die elektronischen Bauelemente tragen, sind oft mit problematischen halogenierten Flammschutzmitteln ausgerüstet, aus denen bei der Verbrennung Dioxine und Furane entstehen können⁴. Diese Flammschutzmittel sind auch in vielen **elektronischen Bauteilen**, in Vergussmassen und in Kunststoffteilen enthalten. Zur Wirkungsverstärkung werden Flammschutzmittel vielfach in Verbindung mit dem krebserzeugenden Antimontrioxid eingesetzt. In Einzelfällen kann nicht ausgeschlossen werden, dass in **Kondensatoren** noch

⁴ Aufgrund ihrer hohen Giftigkeit und ihrer Anreicherung im Organismus zählen Dioxine und Furane zu den problematischsten Schadstoffen (Ballschmitter 1999, Bunke und Gröger 1993).

polychlorierte Biphenyle (PCB) enthalten sind. **Kunststoffe** im Fernsehgerät können zudem giftige Schwermetalle als Stabilisatoren enthalten. Bei konventioneller Löttechnik sind im Gerät für den **Schaltungsaufbau bleihaltige** Lote eingesetzt worden. Die für die Verbindung zwischen den einzelnen Bauelementgruppen erforderlichen **Kabel**, das **Netzkabel** und die zugehörigen **Steckverbindungen** und **Stecker** enthalten in den meisten Fällen als Ummantelung bzw. Gehäusematerial PVC, das im Brandfalle aufgrund seines hohen Chlorgehaltes zur Dioxinbildung beitragen kann. In **elektronischen Bauelementen** können die giftigen Schwermetalle Antimon, Blei, Cadmium, Kobalt und Nickel enthalten sein, in Spuren auch das Halbmetall Arsen.

In der Tabelle 13 wird für ein konventionelles TV-Gerät (technische Ausstattung: Mittelklasse) gezeigt, welchen Massenanteil einzelne Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen an der Gesamt-Schadstoffmasse besitzen.

Tabelle 13: Schadstoffe in einem konventionellen Fernsehgerät. Quelle: eigene Analysen, siehe Strubel et al. 1999.

Schadstoff Benennung	Bindungsarten/ Vorkommen	Massenanteil	
		In Gramm	In %
Schwermetalle			
- Antimon aus Bauelementen	Antimontrioxid	0,1	< 1
- Antimon US Flammschutzmittelausrüstung	Antimontrioxid	19	10
- Blei		34	18
- Kobalt	Kobaltoxid	1,1	1
- Nickel	Nickeloxid	0,8	1
Organisch gebundene Halogene	Organische Verbindungen		
- Brom	Flammschutzmittel	45	25
- Chlor	PVC	86	46
Insgesamt		187	100

Die genaue Quantifizierung der Schadstoffe und ihre Zuordnung zu einzelnen Bauteilen eines Fernsehgerätes ist mit einem ganz erheblichen Arbeitsaufwand verbunden. Im Falle des Referenzgerätes konnten in detaillierten Materialbilanzen 1256 Einzelkomponenten identifiziert, gewogen und 110 Bauteilegruppen zugeordnet werden. Für die einzelnen Bauteilgruppen sind typische Materialzusammensetzungen („Bauteilrezepturen“) erarbeitet worden. Auf dieser Grundlage können für einzelne Geräteteile, aber auch für Gesamtgeräte Materialbilanzen und auch Schadstoffbilanzen erarbeitet werden (siehe hierzu Strubel et al. 1999, Kap. 5.1).

In einem konventionellen Fernsehgerät eines deutschen Markenherstellers ist insgesamt die beachtliche Menge von größenordnungsmäßig 200 Gramm Schadstoffen enthalten. Diese Zahl bezieht sich auf ein Gerät mit mittlerer technischer

Ausrüstung. In einem technisch hochgerüsteten High-End-Gerät mit wesentlich mehr technischen Möglichkeiten kann der Schadstoffgehalt – bedingt durch die zusätzliche elektronische Ausrüstung - auf den doppelten Wert ansteigen.

Für 1997 ist der Bestand an Fernsehgeräten in Deutschland mit 44,5 Millionen Geräten beziffert werden (Umweltbundesamt 1999c). Hochgerechnet auf einen Bestand an TV-Geräten in Deutschland von 40 Millionen, ergibt sich aus den Werten für ein Mittelklasse-Gerät eine Schadstofffracht von 8.000 Mg, die die Entsorgung der Geräte erschweren und deren langfristiger Eintrag in die Umwelt nur schwierig zu verhindern ist.

3.2.4 Schritte auf dem Weg zum schadstoffarmen Fernseher

Die Vermeidung oder Verringerung von Schadstoffen gewinnt bei der Produktentwicklung im Konsumelektronikbereich zwar zunehmend an Bedeutung, konzentriert sich aber in den meisten Fällen auf einzelne besonders problematische Schadstoffgruppen. Hierzu zählen auch die Bemühungen, möglichst vollständig auf den Einsatz halogener, organischer Flammschutzmittel zu verzichten (Bunke 1996aa). Polybromierte Diphenylether, polybromierte Biphenyle und Chlorparaffine gehören zu den „prominenten“ problematischen Flammschutzmitteln, die zumindest in Deutschland nicht mehr eingesetzt werden. In der oben genannten Schadstoffmenge von knapp 200 g sind solche Verbindungen auch gar nicht mehr enthalten. Hier besitzen Schwermetalle (aus der Löttechnik und aus den Bauelementen) einen Anteil von knapp 30 Prozent. 70 Prozent der Schadstofffracht resultieren aus dem Einsatz des halogenierten Flammschutzmittels Tetrabrombisphenol A (TBBA) und aus dem Einsatz von PVC.

Die vergleichende Untersuchung der auf dem Markt verfügbaren Bauelemente und technologischen Innovationen zeigt allerdings, dass es eine ganze Reihe von Handlungsoptionen gibt, die zu einer deutlichen Senkung des Schadstoffgehaltes führen können:

- Die als Schaltungsträger einsetzbaren Materialien unterscheiden sich hinsichtlich ihres Schadstoffgehaltes deutlich. Leiterplatten auf der Basis von Phenolharz (FR-2) bzw. Epoxidharz (FR-4) werden bei konventioneller Ausführung halogenhaltig flammgeschützt eingesetzt. Ein erster Schritt zur Schadstoffreduktion liegt hier in der Verwendung verfügbarer halogenfrei flammgeschützter Leiterplatten (z.B. FR-2 Materialien mit Diphenylkresylphosphat als Flammschutzmittel).
- Von dem Unternehmen Loewe Opta wurde im Projekt eine neuartige Leiterplattentechnologie auf der Grundlage einer Polysiloxan-Folie entwickelt. Bei diesem Material kann auf den Einsatz von Flammschutzmitteln verzichtet werden. Außerdem können bei diesem Konzept in hohem Umfang konventionell PVC-haltige Verbindungen durch Silikonkabel ersetzt werden (Strubel et al. 1999).
- Bei vielen Bauelementen stehen schadstoffärmere Produkte zur Verfügung. Elektrolytkondensatoren sind halogenfrei zumindest als Kleinserien bzw. als Prototypen erhältlich. Bei den Zeilentransformatoren gibt es Typen, in denen

toxikologisch unbedenkliche Aluminiumhydroxide als Flammenschutzmittel eingesetzt werden. Vom Unternehmen Thomson wurde im Projekt ein neuartiger Schalt-Netztrafo entwickelt, der nicht nur wesentlich kleiner und leichter ist, sondern auch komplett ohne Flammhemmer und Isolierlacke produziert werden kann.

- Für PVC-haltige Kabel und Stecker werden von einigen Herstellern halogenfreie Produkte angeboten. Sie können sowohl für interne Verbindungen im Geräteinnern als auch für die Verbindung mit dem Netz eingesetzt werden.
- Beim von Loewe Opta im Projekt realisierten Prototyp wurde auch auf den Einsatz von bleihaltigen Loten verzichtet. Stattdessen werden Lote auf Silber/Zinnbasis eingesetzt, die toxikologisch weniger bedenklich sind.
- In manchen Fällen handelt es sich um trivial erscheinende Veränderungen, die sich dennoch aufgrund mangelnder Nachfrage noch nicht durchgesetzt haben: so weisen viele der relativ großen Elektrolytkondensatoren noch immer eine Gehäuseummantelung aus PVC auf, die der leichteren Bauteilkennzeichnung dient. Sie kann einfach durch einen weniger umweltproblematischen Druck ersetzt werden.

3.2.5 Realisierbare Schadstoffreduktionen

Im Rahmen der Begleitung der Geräteentwicklungen ist versucht worden, möglichst viele der oben genannten Handlungsoptionen zur Schadstoffminderung umzusetzen. Hierbei gibt es zwei Schwerpunkte: die Realisierung innovativer Technologien, die zu einer Schadstoffreduktion führen (z.B. das Polysiloxan-Folienkonzept von Loewe Opta) und die systematische Substitution problematischer Bauteile.

Durch diese Neuentwicklungen können an vielen Stellen Schadstoffverringerungen vorgenommen werden. Um sie quantitativ erfassen und bewerten zu können, werden für die einzelnen Handlungsoptionen der resultierende Gesamt-Schadstoffgehalt im Detail analysiert und vergleichend dargestellt. Bilanziert werden in dieser Aufstellung humantoxische Schwermetalle, chronisch toxische organische Verbindungen und organisch gebundene Halogene (Chlor und Brom).

Die methodischen Schritte für die Quantifizierung des Schadstoffgehaltes werden in der Abbildung 1 gezeigt.

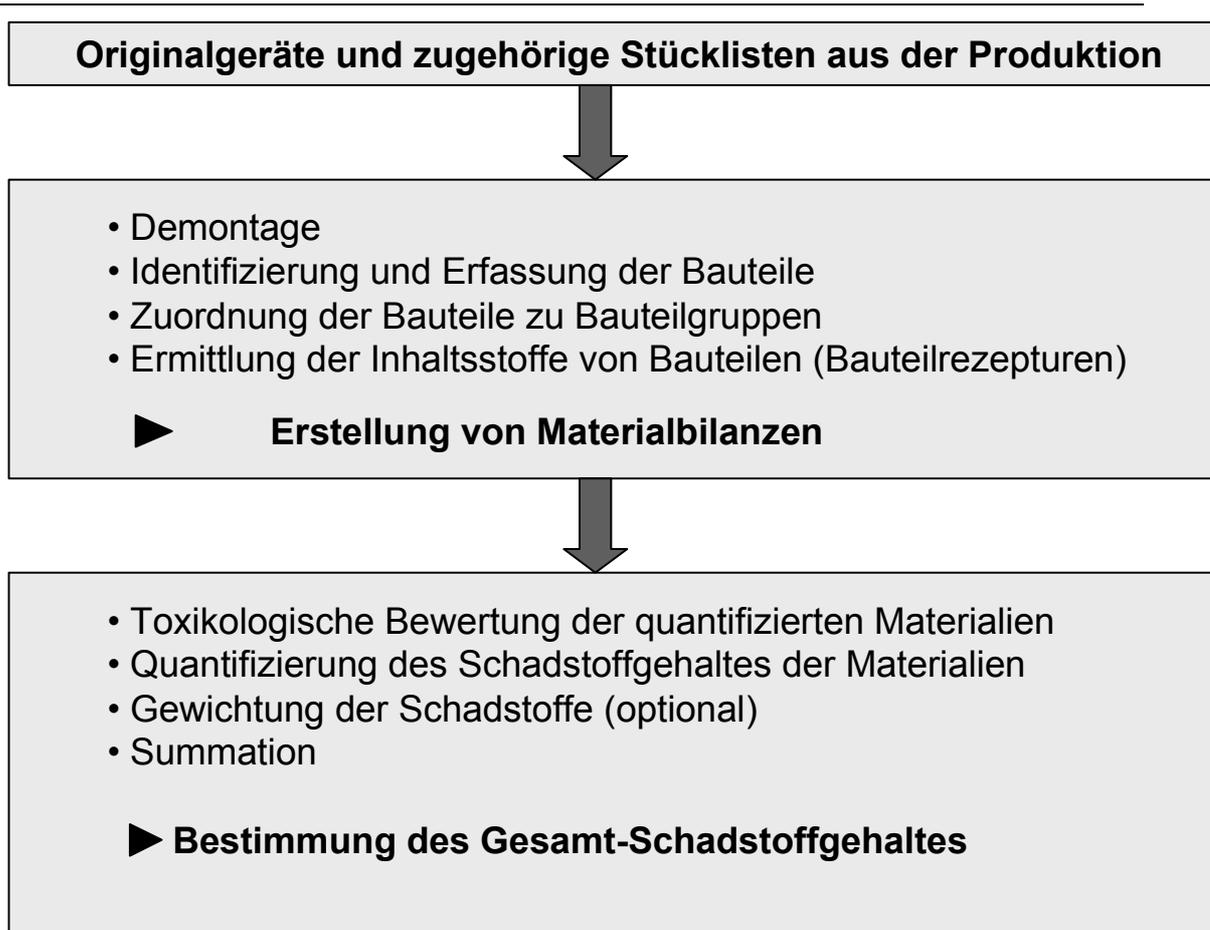


Abbildung 1 Arbeitsschritte zur Quantifizierung des Gesamt-Schadstoffgehaltes elektronischer Produkte

Grundlage der Auswertungen sind Originalgeräte bzw. Geräteteile und die zu ihnen gehörenden Schaltbilder und Stücklisten – aus den produzierenden Unternehmen. Der Gesamt-Schadstoffgehalt wird in folgenden Schritten ermittelt (Bunke 1999):

- Die Geräte werden demontiert. Die einzelnen Bauelemente werden Bauteilgruppen zugeordnet. Für jede Bauteilgruppe werden charakteristische Zusammensetzungen (Rezepturen) ermittelt. Diese Rezepturen sind die Grundlage für die anschließende massenmäßige Bilanzierung der Materialien und der Inhaltsstoffe in Form von Materialbilanzen.
- Die einzelnen Materialien und Inhaltsstoffe werden toxikologisch bewertet. Bei Stoffgemischen und Verbundmaterialien wird der Schadstoffgehalt quantifiziert. Bei Schwermetalloxiden werden die Mengenangaben zu den Verbindungen (z.B. Kobaltoxid) umgerechnet in Angaben zum Gehalt am jeweiligen toxischen Schwermetall (hier Kobalt)⁵. Bei halogenierten organischen Verbindungen wird

⁵ Blei, das als Bleioxid im Bildröhrenglas vorliegt, wird nicht in der Schadstoffbilanz berücksichtigt, da von einer ausreichenden Immobilisierung in der Glasmatrix ausgegangen wird. Analog wird mit Nickel in Nickellegierungen verfahren.

rechnerisch der Gehalt an Brom und Chlor bestimmt.

- In einem zusätzlichen Vertiefungsschritt können die einzelnen Schadstoffgruppen auch untereinander gewichtet werden. Zur Gewichtung werden hierbei z.B. die für die Einzelschadstoffe bestimmten duldbaren Aufnahmekonzentrationen, bzw. bei krebserzeugenden Schadstoffen die zur Charakterisierung ihrer krebserzeugenden Wirkung vorliegenden Stoffgrößen, (unit-risk-Werte respektive Slope-Faktoren) verwendet. Im Projekt wurde auf einen Gewichtungsschritt verzichtet, da die Stoffe in sehr unterschiedlichen Situationen zu Belastungen führen können (organisch gebundene Halogene im Brandfall, leicht ausgasende Stoffe bei der Nutzung der Geräte) und daher nur bedingt miteinander vergleichbar sind.
- Der Gesamt-Schadstoffgehalt wird berechnet als Summe der toxischen Schwermetalle, kanzerogenen, mutagenen und teratogenen organischen Schadstoffe sowie organisch gebundenem Brom bzw. Chlor.

In der nachfolgenden Tabelle 14 sind die zentralen Ergebnisse der vergleichenden Untersuchung des Gesamt-Schadstoffgehaltes zusammenfassend wiedergegeben. Gezeigt werden verschiedene Produkt-Entwicklungsmöglichkeiten und die mit ihnen verbundenen Schadstoff-Minderungspotenziale. Angegeben ist als „Schadstoff-Index“ (S-Index) die Gesamtmasse der im Fernsehgerät enthaltenen Schadstoffe.

Tabelle 14: Optionen für die Schadstoffreduktion. Quelle: eigene Analysen, siehe Strubel et al. 1999. S-Index: Schadstoff-Index.

Entwicklungsoptionen		Schadstoffmasse			
		Reduktion je Option		Reduktion summiert	Rest (S-Index)
Option	Einsatz folgender Bauelemente:	g	%	%	g
1	schadstoffarme Bauelemente	75	40	40	112
2	halogenfreie Kabel	37	20	60	75
3	bleifreie Lote	34	18	78	41
4	halogenfreie flammgeschützte Leiterplatten	6	3	81	35
5	halogenfreie Abmagnetisierereinheiten, halogenfreie lymere Werkstoffe	30	16	97	5
1 bis 5	alle Optionen (Produktoptimierung)	182	97	97	5

Die Bilanzierung des Schadstoffgehalts lässt die folgenden Schlussfolgerungen zu:

- Ausgehend von einem Prototyp, der Schadstoffe in der Größenordnung von 200 g enthält, können durch die gezielte Auswahl schadstoffarmer elektronischer Bauelemente Verringerungen des Schadstoffgehaltes von bis zu 40 Massenprozent erreicht werden. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass es bei einigen Bauteilen noch zu gezielten Weiterentwicklungen kommt. Hierzu gehören insbesondere die Abmagnetisierungseinheit (bei der eine halogenfreie

Isolierung erforderlich ist), und der Spulenkörper der Ablenkeinheit der Bildröhre.

- Der konsequente Einsatz bereits verfügbarer halogenfreier Kabel und Stecker für interne und externe Verbindungen und Anschlüsse führt zu einer weiteren Verringerung des Schadstoffgehaltes um bis zu 20 Massenprozent. Dies bezieht sich speziell auf den Gehalt an organisch gebundenem Chlor im Gerät.
- Eine vergleichbar hohe zusätzliche Minderung (18 Massenprozent) ergibt sich durch die Verwendung von bleifreien Lotsystemen. Der Schwermetallgehalt im Gesamtgerät sinkt hierdurch um 60 Massenprozent. Der verbleibende Schwermetallgehalt wird dominiert von Antimon aus der Flammenschutzmittelausrüstung.
- Durch den Einsatz der Polysiloxan-Folienleiterplatte kann auch bei der Leiterplatte auf Flammhemmer verzichtet werden. Dies ergibt eine weitere Schadstoffreduktion um 3 Massenprozent.

Insgesamt ergibt sich bei Nutzung aller Optimierungsmöglichkeiten eine sehr weitgehende Schadstoffreduktion um mehr als 90 Massenprozent. Wie bei den elektronischen Bauelementen oben vermerkt, sind in dieser Berechnung allerdings einige Optionen berücksichtigt, die noch nicht marktgängig sind. Hierzu zählen ausser speziellen Einzelbauteilen auch ausgewählte Fertigungsprozesse, etwa das bleifreie Löten, welches voraussichtlich mittelfristig zur Verfügung steht. In dem Richtlinienvorschlag der Europäischen Union für die Beschränkung der Verwendung gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten ist das Verbot der Verwendung von Blei bis spätestens 1. Januar 2007 vorgesehen (BMU 2001).

In der Praxis ist zu erwarten, dass die in Tabelle 14 aufgeführte angestrebte Maximalreduktion nur in mehreren Stufen umgesetzt werden kann. Für einige vorgelagerte Stufen sind daher ebenfalls die Schadstoff-Reduktionspotenziale bestimmt worden. Diese Berechnungen zeigen, dass schon allein durch die systematische Nutzung heute verfügbarer, schadstoffarmer Bauteile und durch die Umsetzung eines fortschrittlichen Leiterplattenkonzeptes der Schadstoffgehalt des Gesamtgerätes um fast die Hälfte auf etwa 100 Gramm gesenkt werden kann. Bezogen auf jährlich 5 Millionen neu verkaufte TV-Geräte entspräche allein dieser vorsichtige Ansatz einer Schadstoffeinsparung von 500 Mg pro Jahr in Deutschland. Diese Ergebnisse gewinnen zusätzlich an Bedeutung, weil sie auch auf viele andere Elektronik-Anwendungen übertragbar sind.

Auf einige Schadstoffe kann im Fernsehgerät auf absehbare Zeit aus technisch-funktionalen Gründen nicht verzichtet werden. Ein Beispiel: Solange im Fernsbereich die Kathodenstrahlröhre eingesetzt wird, ist der Einsatz des toxikologisch kritischen Bleis im Glas erforderlich, um die NutzerInnen vor Röntgenstrahlung zu schützen. Die Einsatzmenge an Blei und die Arbeitsplatzbelastung bei der Kathodenstrahlglas-Produktion können aber durch die Schaffungen der technologischen und infrastrukturellen Voraussetzungen für ein closed-loop-recycling des Kathodenglases bedeutend reduziert werden.

3.2.6 Entlastungspotenziale und Voraussetzungen zur Umsetzung

Nachhaltiges Wirtschaften stellt neue Anforderungen auch an die Produkte. Neben überzeugender Funktion, Qualität und ansprechendem Design wird zu Recht auch eine geringe Belastung der Umwelt von der Herstellung bis zur Entsorgung gefordert. Dies betrifft auch die Güter des privaten Haushaltes.

Das Fernsehgerät gehört hier zu den Klassikern. Die Analyse des derzeitigen Gerätestandes zeigt, dass es auch bei dieser Produktgruppe noch vielfältige Ansatzmöglichkeiten für eine ökologische Optimierung gibt. Grundlage hierfür ist eine umfassende, den gesamten Lebensweg berücksichtigende ökologische Bilanzierung und produktlinienorientierte Optimierung.

Die gezielte Überprüfung der Optionen für die Schadstoff-Reduktion hat gezeigt, dass bereits mit heute verfügbarer Technologie erhebliche Umweltentlastungen möglich sind. Weitere Entlastungen sind auf der Grundlage technologischer Innovationen erreichbar, die in Grundzügen heute bereits erkennbar sind. Sie haben über das Fernsehgerät hinaus Bedeutung für viele Produkte im Elektro- und Elektronikbereich, die auch im privaten Haushalt genutzt werden. Die Lösung der hier anstehenden Aufgaben ist dabei nicht von einzelnen Unternehmen im Alleingang zu realisieren. Erforderlich ist eine intensive Zusammenarbeit mit Zulieferern, insbesondere bezogen auf die Entwicklung schadstoffärmerer Bauteile und hinsichtlich der Entwicklung von Prozess- und Entsorgungstechnologien. Von staatlicher Seite sind flankierend geeignete Rahmenbedingungen hinsichtlich der Elektronikschrott-Entsorgung zu schaffen.

Auch Handel und Verbraucher können durch ihr Engagement und durch entsprechende Nachfrage dazu beitragen, die Bemühungen der Hersteller zur Entwicklung umweltgerechter Produkte zu unterstützen.

3.2.7 Weiterentwicklung: Schadstoffreduktion bei Fertigungsprozessen

Der Schwerpunkt der bisher dargestellten Arbeiten liegt auf einer **produktbezogenen Optimierung** der eingesetzten Bauelemente. Ergänzend hierzu können Schadstoffminderungen auch durch eine systematische Prozessoptimierung erreicht werden, in der Einzelprozesse zur Herstellung des Fernsehgerätes untersucht werden. Der prozessbezogene Ansatz bietet die Möglichkeit, zusätzlich zur Vorhersage des Schadstoffgehaltes im Endprodukt (Erzeugnis) auch Aussagen zur Gefahrstoffsituation am Arbeitsplatz zu machen und Verbesserungsoptionen zu erkennen. Hierzu sind geeignete Indikatoren erforderlich, die eine Bilanzierung des Gefahrstoffeinsatzes bei der Produktion ermöglichen. Die Entwicklung eines solchen Indikators ist im folgenden Kapitel 3.3 dargestellt.

3.3 Bilanzierung von Gefahrstoffen in Produkten und Prozessen

Bisher fehlten Indikatoren, die im Rahmen von Produkt-Entwicklungen und Produkt-Bilanzierungen eine direkte Gefahrstoffbilanzierung ermöglichen und auch von Unternehmen anwendbar sind. Auf der Grundlage der Technischen Regel Gefahrstoffe 440 ist eine Methode entwickelt und erprobt worden, in der als Bezugssubstanz der Gefahrstoff Monoethylenglykol ('MEG') verwendet wird.

In diesem Kapitel wird die Methodik der Gefahrstoffbilanzierung unter Einsatz sogenannter 'MEG-Äquivalente' beschrieben (Bunke und Graulich 2001). Die Methodik ist an Bauprodukten ausgearbeitet worden, die im Haushalt als Konsumgüter im Innen- und Aussenbereich eingesetzt werden. Sie ist auch in anderen Produktbereichen einsetzbar, in denen mit Gefahrstoffen umgegangen wird.

3.3 Bilanzierung von Gefahrstoffen in Produkten und Prozessen

Im Rahmen ökobilanzieller Untersuchungen wird in der Regel der Gefahrstoffgehalt der eingesetzten Prozesschemikalien nicht berücksichtigt. Wenn Prozesschemikalien überhaupt erfasst werden, erfolgt in der Regel eine rein mengenmäßige Bilanzierung ohne Bewertung des Gefahrstoffgehaltes.

Der Rahmen der hier vorgelegten Arbeit entwickelte Indikator der 'Monoethylenglykol('MEG')-Äquivalente' ermöglicht einen direkten, schadstoffbezogenen Prozess- und Produktvergleich (Bunke und Graulich 2001). Die Bewertung basiert auf den R-Sätzen (Gefahrenhinweise) der Inhaltsstoffe. Die Methodik der MEG-Äquivalente stellt eine Weiterentwicklung und Anwendung des Wirkfaktorenmodells der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 440 dar (AGS 2001). Die zur Bewertung erforderlichen Daten sind im Unternehmen vorhanden (Sicherheitsdatenblätter) bzw. öffentlich leicht zugänglich (Gefahrstoffdatenbanken).

Die Bilanzierung von Gefahrstoffen mit Hilfe der hier vorgestellten Methode ermöglicht es auch, in ökobilanziellen Untersuchungen systematisch den Gefahrstoffeinsatz zu berücksichtigen. Die Methodik ist am Beispiel von Wohngebäuden erprobt worden.

Anmerkung: Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in dieser Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach § 3 Chemikaliengesetz besitzen.

3.3 Bilanzierung von Gefahrstoffen in Produkten und Prozessen

3.3.1	Gefahrstoffe in Zubereitungen und Produkten	53
3.3.2	Bilanzierung von Gefahrstoffen in Ökobilanzen	54
3.3.3	Das Gefahrstoffpotenzial HSP, angegeben in MEG-Äquivalenten	55
3.3.4	Die Methodik zur Bestimmung des Gefahrstoffpotenzials HSP	56
3.3.4.1	Der Wirkfaktor W eines Einzelstoffes bzw. einer Zubereitung	57
3.3.4.2	Referenzsubstanz und stoffspezifischer Gewichtungsfaktor HSP_i	61
3.3.4.3	Bilanzierung: das Gefahrstoffpotenzial HSP eines Prozesses	62
3.3.5	MEG-Äquivalente in der Anwendung	63
3.3.5.1	MEG-Äquivalente zum Produktvergleich	64
3.3.5.2	Das gefahrstoffbedingte Risikopotenzial von Prozessen	65
3.3.6	Die Integration der MEG-Äquivalente in Ökobilanzen	67
3.3.7	Möglichkeiten und Grenzen des MEG-Äquivalent-Ansatzes	67

3.3.1 Gefahrstoffe in Zubereitungen und Produkten

Bei vielen gewerblichen und industriellen Fertigungsprozessen werden Stoffe und Zubereitungen unterschiedlichster Art eingesetzt: organische und anorganische Grundchemikalien, Additive, Betriebsmittel, Hilfsmittel, Katalysatoren. Die für einzelne Anwendungen zur Verfügung stehenden Produkte unterscheiden sich in vielen Fällen erheblich in ihrem Gehalt an humantoxikologisch bzw. ökologisch problematischen Inhaltsstoffen: Malerarbeiten können mit wasserverdünnbaren, gefahrstoffarmen Dispersionsfarben, aber auch mit aromatenreichen Lackfarben ausgeführt werden; bei Maurerarbeiten kann chromatarmer Zement (gemäß der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 613) oder stark chromathaltiger Zement verwendet werden. Vergleichbare Beispiele lassen sich für viele andere Anwendungsfelder aufzeigen. Tabelle 15 gibt ein Beispiel für die hohen Unterschiede im Gefahrstoffgehalt innerhalb einer Produktgruppe. Genannt werden in Spalte 2 der Tabelle die Gefahrstoffgehalte für Holzschutzmittel.

Tabelle 15 Schadstoffgehalt und Gefahrstoffpotenzial HSP verschiedener Holzschutzmittel. Das Gefahrstoffpotenzial bezieht sich auf eine Einsatzmenge von 1 kg und wird in Monoethylenglykol-Äquivalenten ('MEG-Äq. ') angegeben. Eigene Zusammenstellung auf der Grundlage von Daten aus Graulich 2000.

Produktbezeichnung	Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen [%]	Gefahrstoffpotenzial HSP / kg Produkt (in kg MEG-Äq.)
Adolit TA 100	6,7	0,07
Adolit Holzbau B	10,0	0,1
Adolit Bor flüssig	25,0	0,3
Aidol Carbolin	62,5	0,3
Adolit CKO flüssig	64,4	2.500
Adolit CKB-P	94,5	3.000
AidolGrund Bläuesperre	100	0,5
Aidol Imprägnierlasur	100	0,5
Aidol VR echtbraun	100	0,6
Aidol Fertigbau 100	100	0,6
Aidol Imprägniergrund	100	0,6

Der Gefahrstoffgehalt der in Tabelle 15 aufgeführten Holzschutzmittel liegt zwischen 7 und 100 %. Wichtiger als der Gesamtgehalt an Gefahrstoffen ist für eine vergleichende Produktbewertung allerdings die genaue Charakterisierung der einzelnen Gefahrstoffe hinsichtlich ihrer gesundheitsschädigenden Eigenschaften.

Unter Arbeitsschutzgesichtspunkten kommt der Auswahl gefahrstoffarmer Produkte eine hohe Bedeutung zu. Der Gesetzgeber schreibt in den „Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 440“ die systematische Suche nach weniger problematischen Ersatzstoffen vor (AGS 2001, BIA 1996). In Anlage 2 der TRGS 440 (in der Fassung vom März 2001) sind zwei Modelle beschrieben, die für den Produktvergleich das Abwägen der gesundheitlichen Risiken ermöglichen sollen: das Spaltenmodell und das Wirkfaktorenmodell (AGS 2001). Das Wirkfaktorenmodell bezieht sich ausschließlich auf die toxischen Eigenschaften von Gefahrstoffen, die in Produkten enthalten sein können.

3.3.2 Bilanzierung von Gefahrstoffen in Ökobilanzen

Bei der Behandlung der Toxizität von Chemikalien im Rahmen der Wirkungsabschätzung in Ökobilanzen sind in jüngster Zeit Fortschritte gemacht worden (Beck et al. 2000, Huijbregts et al. 2000, Snyder et al. 2000). Sie können derzeit in Unternehmen zur vergleichenden Produktauswahl aus mehreren Gründen nicht effektiv umgesetzt werden:

- die Zahl der bereits bewerteten Substanzen ist vergleichsweise gering;
- der Schwerpunkt der Arbeiten liegt auf der Öko-, nicht auf der Humantoxizität;
- die Bewertungssysteme sind hoch komplex (siehe hierzu z.B. Berding et al. 1999);
- die verwendete Begrifflichkeit ist für Nichtfachleute in Unternehmen nur mit hohem Aufwand nachvollziehbar (siehe z.B. Goedkoop et al. 1998).

In Unternehmen stellen im Normalfall Sicherheitsdatenblätter die Hauptinformationsquelle zu gefährlichen Inhaltsstoffen der eingesetzten Prozesschemikalien dar. Nur in Ausnahmefällen liegen zusätzliche Informationen zum Gefahrstoffgehalt vor. Begrenzt ist die Zahl der Unternehmen, die im Rahmen eigener EingangsfILTER gezielt Produktinformationen bei den Zulieferern einfordern (Bunke et al. 1998b). Vom Fraunhofer Institut für Toxikologie und Aerosolforschung (ITA), Hannover, ist 1998 ein Bewertungsansatz veröffentlicht worden, in dem zur Berücksichtigung der Humantoxizität in Ökobilanzen auf die (in Sicherheitsdatenblättern genannten) Gefahrenhinweise (R-Sätze) verwiesen wird (Keller et al. 1998). Die Autoren betonen, dass ihre Methode nicht ohne zusätzliches Expertenwissen anwendbar ist. Auf diesen Ansatz wird vergleichend in den Kapiteln 3.3.7 und 4.2 noch eingegangen werden.

3.3.3 Das Gefahrstoffpotenzial HSP, angegeben in MEG-Äquivalenten

Auf der Grundlage praxisbezogener Projekte ist eine Kenngröße entwickelt worden, die eine direkte Bilanzierung und Bewertung des Gefahrstoffgehaltes eines Produktes ermöglicht: das Gefahrstoffpotenzial HSP (hazardous substance potential), angegeben in MEG-Äquivalenten (Bunke 1999, Graulich 2000, Bunke und Graulich 2001) (siehe Gleichung 4, Kapitel 3.4.3). MEG steht als Abkürzung für den Gefahrstoff Monoethylenglykol, der für die Berechnungen als Referenzsubstanz ausgewählt wurde. Grundlage für die Berechnung des Gefahrstoffpotenzials HSP ist der Bewertungsansatz, der im Wirkfaktorenmodell der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 440 beschrieben ist (AGS 2001).

Das Wirkfaktorenmodell stellt eine Weiterentwicklung und Vereinfachung der Methodik dar, die in der TRGS 440 aus dem Jahre 1996 beschrieben wurde (BMA 1996). Im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin erarbeitete das Forschungs- und Beratungsinstitut für Gefahrstoffe (FoBiG) in Freiburg Vorschläge für die Weiterentwicklung der Methodik (Kalberlah et al. 1998).

Die Methodik der MEG-Äquivalente ist so aufgebaut, dass Produkte und Prozesse mit einem hohen Gefahrstoffpotenzial auch hohe Werte bei den MEG-Äquivalenten aufweisen, Produkte mit niedrigem Gefahrstoffpotenzial niedrige Werte. Stehen unterschiedliche Produkte für dasselbe Anwendungsgebiet zur Verfügung, ist unter Arbeitsschutzgesichtspunkten das Produkt mit dem niedrigsten MEG-Äquivalentwert zu bevorzugen. Das Gefahrstoffpotenzial HSP kann für ein Produkt, aber auch für einen Einzelstoff angegeben werden. Es bezieht sich immer auf eine vorgegebene Einsatzmenge an Gefahrstoffen.

In Tabelle 15 sind in der letzten Spalte die Gefahrstoffpotenziale HSP für zwölf Holzschutzmittel errechnet worden, bezogen auf eine Einsatzmenge von 1 kg. Die Werte zeigen, dass sich die Produkte sehr deutlich hinsichtlich ihres Gefahrenpotenzials am Arbeitsplatz unterscheiden. Die Werte für das Gefahrstoffpotenzial liegen im Bereich von 0,07 bis 3.000 kg MEG-Äquivalenten.

Produkte, deren Gefahrstoffgehalt einen vergleichbaren Wert aufweisen (z.B. Aidol Carbolin, Gefahrstoffgehalt 63 %, und Adolit CKO flüssig, Gefahrstoffgehalt 64 %), können erhebliche Unterschiede in ihrem Gefahrstoffpotenzial zeigen. Sein Wert für Adolit CKO liegt um den Faktor 8.300 über dem für Aidol Carbolin (Aidol Carbolin = 0,3 kg MEG-Äquivalente, Adolit CKO flüssig = 2.500 kg MEG-Äquivalente, jeweils bezogen auf 1 kg Produkt).

Neben dem direkten Vergleich **einzelner Produkte** kann der Gefahrstoffeinsatz in industriellen **Prozessen** und bei der Produktion komplexer Güter – z.B. Häuser – durch Bilanzierung der MEG-Äquivalente erfasst werden. Vorteilhaft ist hierbei, dass die als Eingangsdaten erforderlichen R-Sätze in den Sicherheitsdatenblättern der Produkte angegeben werden müssen und damit vergleichsweise gut zugänglich sind.

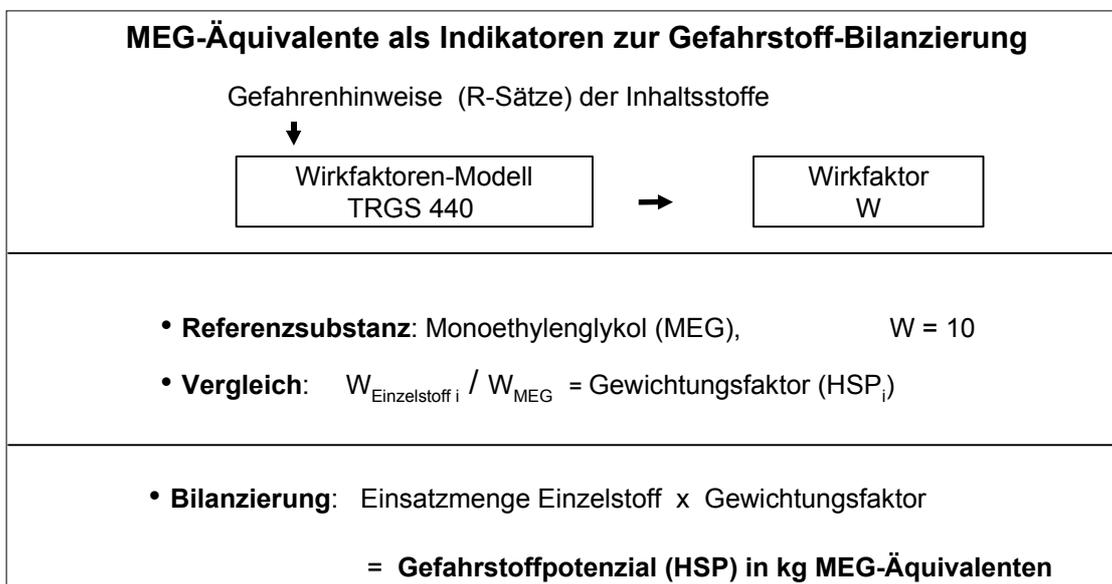
Im folgenden Kapitel wird die Vorgehensweise zur Bestimmung des Gefahrstoffpotenzials für Einzelstoffe, Produkte und Prozesse beschrieben.

3.3.4 Die Methodik zur Bestimmung des Gefahrstoffpotenzials HSP

Im Wirkfaktorenmodell der TRGS 440 wird jeder Gefahrstoff hinsichtlich seines Arbeitsplatzgefährdungspotenzials durch eine Kennzahl charakterisiert: den **Wirkfaktor W**. Dieser kann direkt ermittelt werden anhand der R-Sätze, die in standardisierter Form die wesentlichen gefährlichen Eigenschaften von Stoffen beschreiben. In der TRGS 440 ist eine Tabelle enthalten (siehe auch weiter unten, Tabelle 16), die den einzelnen R-Sätzen Wirkfaktoren zuordnet.

Der Ansatz der MEG-Äquivalente ist eine Weiterentwicklung des Wirkfaktorenmodells, die die Anwendung und Ergebnisdarstellung vereinfacht. Der Wirkfaktoren-Ansatz und die Zuordnung von Wirkfaktoren zu R-Sätzen werden hierbei aus der TRGS 440 übernommen. Die Gefahrstoffe werden mit einer Bezugssubstanz verglichen. Als Bezugssubstanz wird Monoethylenglykol (1,2-Ethandiol, 'Glykol', CAS-Nr. 107-21-1) ausgewählt, eine Flüssigkeit, die u.a. als Gefrierschutzmittel und als organische Grundchemikalie von Bedeutung ist. Monoethylenglykol (MEG) ist giftig und wird mit dem R-Satz 22 gekennzeichnet ('Gesundheitsschädlich beim Verschlucken'). Der Wirkfaktor W von Monoethylenglykol (MEG) hat den Wert 10.

Abbildung 2: Die Methodik der Berechnung der MEG-Äquivalente für die Gefahrstoffbilanzierung



Aus dem Vergleich eines zu bewertenden Einzelstoffes mit Monoethylenglykol ergibt sich für diesen ein Gewichtungsfaktor ('Charakterisierungsfaktor'). Anhand dessen können verschiedene Stoffe miteinander verglichen werden – die Ergebnisdarstellung geschieht einheitlich durch Angabe der MEG-Äquivalente. Die methodische Vorgehensweise ist in Abbildung 2 dargestellt.

Das Gefahrstoffpotenzial wird in drei Schritten bestimmt:

- Bestimmung des Wirkfaktors W für den Gefahrstoff;
- Vergleich des Stoffes mit einer Bezugssubstanz (Monoethylenglykol) und Bestimmung des stoffspezifischen Gewichtungsfaktors HSP_i (Gefahrstoffpotenzialfaktor des Einzelstoffes i);
- Bilanzierung der eingesetzten Mengen unter Verwendung des Gewichtungsfaktors HSP_i.

Bei Zubereitungen, die mehrere Gefahrstoffe enthalten, wird ganz entsprechend vorgegangen – siehe hierzu auch Kapitel 3.3.4.1.

3.3.4.1 Der Wirkfaktor W eines Einzelstoffes bzw. einer Zubereitung

Die Vorgehensweise zur Bestimmung des Wirkfaktors W ist in der TRGS 440 beschrieben (AGS 2001, S. 20). Er kann einfach bestimmt werden, wenn bekannt ist, mit welchen R-Sätzen der Stoff gekennzeichnet ist. Jedem R-Satz wird in der TRGS 440 ein Wirkfaktor W zugeordnet. Je gefährlicher ein Stoff ist, desto größer ist W. Mit dem Wirkfaktor sind auch Gesundheitsgefahren beschrieben, die noch nicht mit einem R-Satz gekennzeichnet sind (z.B. leichte Aufnahme durch die Haut (Hautresorptivität))

bzw. Gesundheitsgefahren, die sich aus physikalisch-chemischen Eigenschaften ergeben (z.B. aus dem pH-Wert). Nicht ausreichend geprüfte Stoffe sind mit $W = 100$ bewertet.

Die W-Faktoren sind im Rahmen der TRGS 440 aus den Einstufungskriterien für die einzelnen R-Sätze abgeleitet worden und aus der Höhe von Luftgrenzwerten, die für in gleicher Weise eingestufte Stoffe vorliegen (Kalberlah et al. 1998).

Der Wertebereich des Wirkfaktors beträgt 0 bis 50.000. Stoffe mit bekanntermaßen geringem Gesundheitsrisiko sind mit $W = 0$ bewertet, Stoffe mit einem nachgewiesenen hohen chronischen Schädigungspotenzial (z.B. krebserzeugende und erbgutschädigende Stoffe) mit $W = 50.000$

Die Zuordnungstabelle von Wirkfaktoren zu R-Sätzen aus der TRGS 440 ist in Tabelle 16 wiedergegeben:

Tabelle 16: Die Zuordnung von R-Sätzen und Stoffeigenschaften zu Wirkfaktoren. Auszug aus dem Wirkfaktorenmodell der Technischen Regel für Gefahrstoffe 440 (AGS 2001, S. 20).

Wirkfaktoren (W)	
R45, R46, R49, M1, M2, K1, K2	50.000
R26, R27, R28, Luftgrenzwert ³⁾ < 0,1 mg/m ³	1.000
R32, R60, R61, R _E 1, R _E 2, R _F 1, R _F 2	
R35, R48/23, R48/24, R48/25, R42, R43	500
R23, R24, R25, R29, R31, R34, R41, H ²⁾	100
R33, R40, K3, M3, pH < 2 bzw. > 11,5 ¹⁾	
Nicht ausreichend geprüft und kein Luftgrenzwert	
R48/20, R48/21, R48/22, R62, R _E 3, R _F 3	50
R20, R21, R22	10
R36, R37, R38, R65, R67	5
R66, eingestuft (aber keines der genannten Kriterien) oder mit Luftgrenzwert ³⁾ > 100 mg/m ³	1
Stoffe mit bekanntermaßen geringem Gesundheitsrisiko	0

1) Wenn $W < 100$ ist das Wirkpotenzial bei einem pH-Wert ≤ 2 bzw. $\geq 11,5$ mit 100 anzunehmen, sofern nicht geprüft.

2) Bei einer H-Einstufung in der MAK-Liste oder der TRGS 900 ohne entsprechenden R-Satz; liegt einer der R-Sätze 20, 21 oder 22 vor, ist das Wirkpotenzial entsprechend diesem R-Satz zu wählen.

3) Liegt der Luftgrenzwert zwischen 0,1 und 100 mg/m³ ist $W = 100/\text{Grenzwert}$.

Um die Anwendung in der Bewertungspraxis zu erleichtern, sind in Tabelle 17 auf der Grundlage der oben angegebenen Zuordnung die humantoxikologisch bedeutenden R-Sätze numerisch geordnet und die zugehörigen Wirkfaktoren W aufgeführt.

Tabelle 17: Bedeutung der R-Sätze und Zuordnung zu Wirkfaktoren W auf der Grundlage der TRGS 440. Zusammenstellung auf der Grundlage der Tabelle in AGS 2001, S. 20.

R-Satz	Bedeutung der R-Sätze	Wirkpotenzial W
1 bis 19	Nicht humantoxikologisch begründete R-Sätze	0,5
20	Gesundheitsschädlich beim Einatmen	10
21	Gesundheitsschädlich bei Berührung mit der Haut	10
22	Gesundheitsschädlich beim Verschlucken	10
23, 24	Giftig beim Einatmen / bei Berührung mit der Haut	100
25	Giftig beim Verschlucken	100
26	Sehr giftig beim Einatmen	1.000
27, 28	Sehr giftig bei Berührung mit der Haut / beim Verschlucken	1.000
29	Entwickelt bei Berührung mit Wasser giftige Gase	100
30	Nicht humantoxikologisch begründeter R-Satz	0,5
31	Entwickelt bei Berührung mit Säure giftige Gase	100
32	Entwickelt bei Berührung mit Säure sehr giftige Gase	1.000
33	Gefahr kumulativer Wirkungen	100
34	Verursacht Verätzungen	100
35	Verursacht schwere Verätzungen	500
36, 37, 38	Reizt die Augen / Reizt die Atmungsorgane / Reizt die Haut	5
40	Irreversibler Schaden möglich	100
41	Gefahr ernster Augenschäden	100
42, 43	Sensibilisierung durch Einatmen / durch Hautkontakt möglich	500
45	Kann Krebs erzeugen	50.000
46	Kann vererbare Schäden verursachen	50.000
48/23	Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition /Giftig beim Einatmen	500
48/24	Gefahr ernster Gesundheitsschäden b. längerer Exp. /Giftig bei Berührung mit der Haut	500
48/25	Gefahr ernster Gesundheitsschäden b. längerer Exposition /Giftig beim Verschlucken	500
48/20	Gefahr ernster Gesundheitsschäden b. längerer Exp. /Gesundheitsschädlich b. Einatmen	50
48/21	Gefahr ernster Gesundheitsschäden b. längerer Exp. /G. bei Berührung mit der Haut	50
48/22	Gefahr ernster Gesundheitsschäden b. längerer Exp. /G. b. Verschlucken	50
49	Kann Krebs erzeugen beim Einatmen	50.000
50 bis 59	Nicht humantoxikologisch begründete R-Sätze	0,5
60	Kann die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen	1.000
61	Kann das Kind im Mutterleib schädigen	1.000
62	Kann möglicherweise die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen	50
63	Kann das Kind im Mutterleib möglicherweise schädigen	50
64	Kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen	100

65	Gesundheitsschädlich; kann beim Verschlucken Lungenschäden verursachen	5
66	Wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen.	1
67	Dämpfe können Schläfrigkeit u. Benommenheit verursachen	5

Der Wirkfaktor W ist umso höher, je höher das humantoxische Potenzial des Gefahrstoffes ist.

In Tabelle 18 sind exemplarisch für Gefahrstoffe, die in Bauprodukten enthalten sind, die R-Sätze und die zugehörigen Wirkfaktoren angegeben.

Tabelle 18: Inhaltsstoffe von Holzschutzmitteln, R-Sätze und Wirkfaktoren (W-Faktoren). Eigene Zusammenstellung auf der Grundlage von Daten aus Graulich 2000.

Stoffbezeichnung	CAS-Nr.	R-Sätze	W-Faktor TRGS 440
1,2,4-Trimethylbenzol	95-63-6	20-36/37/38-51/53	10
Diglycol	111-46-6	22	10
Butylglykol	111-76-2	20/21/22-37	10
2-Amino-ethanol	141-43-5	20-36/37/38	10
Kupferoxid	1317-38-0	22	10
Chromtrioxid	1333-82-0	49-8-25-35-43-50/53	50.000
Natriumhydrogensulfat	7681-38-1	34-37	100
Kupfersulfat	7758-98-7	22-36/38-50/53	10
Cocosfettsäurediethanolamid mit Diethanolamin	61790-63-4	36/38	5
Kristallöl 60	64742-82-1	65	5

Bei Zubereitungen, in denen mehrere Gefahrstoffe enthalten sind, wird der Wirkfaktor grundsätzlich durch Addition der Wirkfaktoren der Inhaltsstoffe unter Berücksichtigung ihres Anteiles nach Gleichung 1 ermittelt:

Gleichung 1: Berechnung des Wirkfaktors einer Zubereitung

$$W_{\text{Zubereitung } i} = W_A \times P_A + W_B \times P_B + \dots$$

mit $W_{\text{Zubereitung } i}$ Wirkfaktor der Zubereitung i
 W_A, W_B, \dots Wirkfaktoren der einzelnen Inhaltsstoffe A, B,.....
 P_A, P_B, \dots Gewichtsanteile der einzelnen Inhaltsstoffe A, B,....

Am Beispiel eines Holzschutzmittels, das im Wohnungsbau eingesetzt wird, wird in Tabelle 19 die Bestimmung der Wirkfaktoren für Zubereitungen verdeutlicht.

Tabelle 19: Die Bestimmung des Wirkfaktors für eine Zubereitung, am Beispiel des Holzschutzmittels Aidol Carbolin. Eigene Berechnung auf der Grundlage von Daten aus Graulich 2000.

Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt P	R-Sätze	Bedeutung der R-Sätze	Wirkpotenzial W	W x P Einzelstoff
Kristallöl 60	25 %	R 65	Gesundheitsschädlich;	5	1,25
Kristallöl 30	25 %	R 65	Kann beim Verschlucken Lungenschäden verursachen	5	1,25
Cocosfettsäure-Diethanolamin	10 %	R 36/38	Reizt die Augen und die Haut	5	0,5
Isonolyphenol, ethoxyliert	2,5 %	R 36/38		5	0,125
Wirkpotenzial der Zubereitung =				$W_{\text{Zubereitung}}$	= 3,1

3.3.4.2 Referenzsubstanz und stoffspezifischer Gewichtungsfaktor HSP_i

Um die Bilanzierung von Gefahrstoffen mit unterschiedlichem Wirkfaktor W zu erleichtern, wird der Wirkfaktor eines Gefahrstoffes mit dem Wirkfaktor der Referenzsubstanz Monoethylenglykol verglichen. Dadurch wird über den Ansatz der TRGS 440 hinaus eine neue stoffspezifische Kenngröße bestimmt: der Gewichtungsfaktor (Charakterisierungsfaktor) HSP_i :

Gleichung 2: Berechnung des Gewichtungsfaktors HSP_i einer Einzelsubstanz i

$$HSP_i = \frac{W_i}{W_{\text{MEG}}}$$

mit

HSP_i	Gewichtungsfaktor der Einzelsubstanz i (Hazardous substance potential factor of single compound i)
W_i	Wirkfaktor der Einzelsubstanz
W_{MEG}	Wirkfaktor der Bezugssubstanz Monoethylenglykol

Der Gewichtungsfaktor HSP_i der Einzelsubstanz ist eine dimensionslose Größe. Er gibt an, ob, und wenn ja, um wieviel der Wirkfaktor der Einzelsubstanz höher oder niedriger ist als der Wirkfaktor der Referenzsubstanz Monoethylenglykol.

Im Beispiel: Natriumhydrogensulfat kann Verätzungen verursachen und die Atmungsorgane reizen. Es wird daher mit den R-Sätzen R34 und R37 ausgezeichnet. Hieraus ergeben sich Wirkfaktoren von 100 (für R34) bzw. 5 (für R37). In die Bewertung geht der höhere Wirkfaktor $W = 100$ ein. Verglichen mit der Referenzsubstanz Monoethylenglykol ($W = 10$), hat Natriumhydrogensulfat in vergleichbaren Anwendungssituationen ein zehnfach höheres Arbeitsplatzgefährdungspotenzial. Hieraus ergibt sich ein Gewichtungsfaktor $HSP_{\text{Natriumhydrogensulfat}}$ mit dem Wert 10.

Entsprechend kann für Zubereitungen ein produktspezifischer Gewichtungsfaktor $HSP_{\text{Zubereitung}}$ angegeben werden:

Gleichung 3: Berechnung des Gewichtungsfaktors einer Zubereitung i

mit

$HSP_{\text{Zubereitung i}}$ Gewichtungsfaktor der Zubereitung i (Hazardous

$$HSP_{\text{Zubereitung i}} = \frac{W_{\text{Zubereitung i}}}{W_{\text{MEG}}}$$

substance potential factor of product i)

$W_{\text{Zubereitung i}}$ Wirkfaktor der Zubereitung i

W_{MEG} Wirkfaktor der Bezugssubstanz Monoethylenglykol

Für das exemplarisch in Tabelle 19 behandelte Holzschutzmittel Aidol Carbolin ergibt sich so ein Gewichtungsfaktor von 0,3.

3.3.4.3 Bilanzierung: das Gefahrstoffpotenzial HSP eines Prozesses

Sind bei einem Prozess die Einsatzmengen von Gefahrstoffen bekannt, ermöglicht die Kenntnis ihrer Gewichtungsfaktoren HSP_i die Berechnung des zugehörigen Gefahrstoffpotenzials HSP. Es wird angegeben in Monoethylen-Äquivalenten, entsprechend der Gleichung 4:

Gleichung 4: Bestimmung des Gefahrstoffpotenzials HSP für einen Prozess mit mehreren Gefahrstoffen

$$HSP = \sum_i (m_i \cdot HSP_i)$$

mit

HSP	Gefahrstoffpotenzial [kg MEG-Äquivalente],
m_i	Menge des Einzelstoffes i [kg],
HSP_i	Gewichtungsfaktor des Einzelstoffes i.

Im Beispiel: Natriumhydrogensulfat weist einen zehnfach höheren Wirkfaktor als Monoethylenglykol auf ($W_{\text{Natriumhydrogensulfat}} = 100$, $W_{\text{Monoethylenglykol}} = 10$). Hieraus ergibt sich für Natriumhydrogensulfat der Gewichtungsfaktor $HSP_{\text{Natriumhydrogensulfat}}$ von 10.

Der Einsatz von 80 kg Natriumhydrogensulfat ($HSP_{\text{Natriumhydrogensulfat}} = 10$) entspricht unter Arbeitsschutzgesichtspunkten in der Gefahrstoffbilanz dem Einsatz von 800 kg Natriumhydrogensulfat ($HSP_{\text{Monoethylenglykol}} = 1$). Für einen Prozess, in dem eine Menge von 80 kg Natriumhydrogensulfat eingesetzt wird, ergibt sich ein Gefahrstoffpotenzial HSP von 800 kg MEG-Äquivalenten.

Bei Prozessen, in denen gefahrstoffhaltige Zubereitungen eingesetzt werden, kann bei der Bilanzierung ganz entsprechend vorgegangen werden. Das Gefahrstoffpotenzial des Prozesses wird aus den Einsatzmengen und den zubereitungsspezifischen Gewichtungsfaktoren berechnet (siehe Gleichung 5).

Gleichung 5: Bestimmung des Gefahrstoffpotenzials HSP für einen Prozess mit mehreren Zubereitungen

$$HSP = \sum_i (m_{\text{Zubereitung } i} \cdot HSP_{\text{Zubereitung } i})$$

mit

HSP	Gefahrstoffpotenzial [kg MEG-Äquivalente],
m_i	Menge der Zubereitung i [kg],
$HSP_{\text{Zubereitung } i}$	Gewichtungsfaktor der Zubereitung i.

3.3.5 MEG-Äquivalente in der Anwendung

Die Bilanzierung von Gefahrstoffen mit Hilfe der MEG-Äquivalentwerte vereinfacht sowohl den gefahrstoffbezogenen Produktvergleich als auch die gefahrstoffbezogene Prozessbilanzierung. Dies soll an zwei Beispielen verdeutlicht werden.

3.3.5.1 MEG-Äquivalente zum Produktvergleich

Der Einbezug der R-Satz-Bewertung der TRGS 440 vereinfacht die Auswahl gefahrstoffarmer Produkte. In Tabelle 15 (Kapitel 3.3.1) sind bereits in der letzten Spalte die Gefahrstoffpotenziale HSP für Holzschutzmittel errechnet worden. Hier weisen die Produkte große Unterschiede auf. Unter Arbeitsschutzgesichtspunkten sind die Produkte mit den niedrigsten Gefahrstoffpotenzialen vorteilhaft.

Durch die Umsetzung der R-Sätze in Wirkfaktoren von 0 bis 50.000 wird auch für die Anwender in den Unternehmen die Interpretation der Daten aus den Sicherheitsdatenblättern vereinfacht. Zudem liefert dieser Übersetzungsschritt die notwendigen Zusatzinformationen, die für den Vergleich von Produkten mit mengenmäßig gleichem Gefahrstoffgehalt erforderlich sind. Dies wird am Beispiel von zwei Holzschutzmitteln in Tabelle 20 deutlich:

Tabelle 20: Berechnung der MEG-Äquivalente für zwei Holzschutzmittel. Zusammenstellung auf der Grundlage von Daten aus Graulich 2000.

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt	R-Sätze*	Bedeutung der R-Sätze	Wirkpotenzial W
Aidol Carbolin	Kristallöl 60	25%	R 65	Gesundheitsschädlich; kann beim Verschlucken Lungenschäden verursachen	5
	Kristallöl 30	25%	R 65	Gesundheitsschädlich; kann beim Verschlucken Lungenschäden verursachen	5
	Cocofettsäure-Diethanolamin	10%	R 36/38	Reizt die Augen und die Haut	5
	Isononylphenol, ethoxyliert	2,5%	R 36/38	Reizt die Augen und die Haut	5
Aidol Carbolin, Gesamt-Gefahrstoffgehalt		62,5 %	1 kg = 0,31 kg MEG-Äquivalente		
Adolit CKO flüssig	Chromtrioxid	50 %	R 25	Giftig beim Verschlucken	100
			R 35	Verursacht schwere Verätzungen	500
R 43			Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich	500	
R 49			Kann Krebs erzeugen beim Einatmen	50.000	
	Kupferoxid	14,4%	R 22	Gesundheitsschädlich beim Verschlucken	10
Adolit CKO fl., Gesamt-Gefahrstoffgehalt		64,4 %	1 kg = 2.500 kg MEG-Äquivalente		

*Bei den R-Sätzen werden nur die humantoxikologisch begründeten R-Sätze angegeben.

Die zwei Holzschutzmittel Aidol Carbolin und Adolit CKO flüssig zeichnen sich durch einen fast identischen Gesamtgefahrstoffgehalt aus (63 % bzw. 64 %). Aus dem Sicherheitsdatenblatt geht aber hervor, dass sie in der Zusammensetzung sehr

unterschiedlich sind. Im Produkt 1 (Aidol Carbolin) sind Gefahrstoffe enthalten, die ein geringes Gefährdungspotenzial aufweisen. Dies wird auch durch die entsprechend niedrigen Wirkpotenziale ausgedrückt. Für den Einsatz von 1 kg Aidol Carbolin ergibt sich hieraus in der Gefahrstoffbilanz ein Indikatorwert von 0,31 kg MEG-Äquivalenten. Im Produkt 2 (Adolit CKO flüssig) wird die Gesundheitsgefahr im Wesentlichen durch den Inhaltsstoff Chromtrioxid bestimmt. Chromtrioxid kann schwere Verätzungen hervorrufen, außerdem nach Einatmen Krebs erzeugen und bei Hautkontakt zu Sensibilisierungen führen. Entsprechend hoch ist der Wirkfaktor für Chromtrioxid mit einem Wert von 50.000. Für den Einsatz von 1 kg Adolit CKO flüssig ergibt sich hieraus in der Gefahrstoffbilanz ein Indikatorwert von 2.500 kg MEG-Äquivalenten.

Anhand der MEG-Äquivalentwerte ist ein erster, einfacher Vergleich von Produkten hinsichtlich ihres Gefahrenpotenzials am Arbeitsplatz möglich. Voraussetzung für diesen Vergleich ist, dass die Produkte in vergleichbaren Anwendungen und Verfahren eingesetzt werden (siehe hierzu auch AGS 2001).

3.3.5.2 Das gefahrstoffbedingte Risikopotenzial von Prozessen

Die Methodik der MEG-Äquivalente ermöglicht auch die Bilanzierung des Gefahrstoffeinsatzes für komplexe Prozessfolgen. Erforderlich ist lediglich die Kenntnis der eingesetzten Produkte, der Produktmengen und das Vorhandensein der zugehörigen Sicherheitsdatenblätter. Diese Voraussetzungen sind in der Regel bei produzierenden Unternehmen gegeben. In Einzelfällen können Detailnachfragen zum Gefahrstoffgehalt beim Hersteller erforderlich sein.

Als Beispiel für eine komplexe Prozessbilanzierung ist im Rahmen eines Forschungsprojektes der Gefahrstoffeinsatz für Wohngebäude bilanziert und bewertet worden (Graulich 2000). Ausgangspunkt sind Ökobilanzen von zwei Doppelhäusern (Quack 2000). In ihnen werden auch einige Bauprodukte wie Farben und Lacke mengenmäßig bilanziert, die aufgrund ihres möglichen Gefahrstoffgehaltes von Bedeutung sind. Der Gefahrstoffgehalt der eingesetzten Produkte ist aber nicht Gegenstand der Ökobilanzierung in Quack 2000 gewesen.

Im Rahmen der Gefahrstoffbilanzierung sind systematisch die eingesetzten Bauprodukte mengenmäßig erfasst worden. In Tabelle 21 sind typische Verbrauchsmengen für ein Wohnhaus in konventioneller Leichtziegelbauweise (177 m² Wohnfläche, Heizwärmebedarf 98 kWh/m²/a, Details siehe Graulich 2000) wiedergegeben. Anschließend wird für die Produktgruppen Dispersions- und Deckfarben, Lacke, Holzschutzmittel, Klebstoffe, Dichtungsmittel und Zement die Bandbreite des Gefahrstoffgehaltes ausgehend von auf dem Markt verfügbaren Produkten bestimmt. Die Gefahrstoffbilanzierung wird anhand der Berechnung der MEG-Äquivalente durchgeführt.

Tabelle 21: Gefahrstoffbilanzierung für ein Wohnhaus. Zusammenstellung aus Graulich 2000.

Produktgruppe	Einsatzmenge [kg]	I: Gefahrstoffarme Produkte		II: Gefahrstoffreiche Produkte	
		Schadstoffe [kg]	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	Schadstoffe [kg]	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]
Dispersions- und Deckfarben	323,7	7,8	3,2	121,4	162.000
Holzfensterlacke	46,7	11,8	8,4	10,1	3
Heizkörperlacke	7,5	0,17	0,08	2,97	1.880
Holzschutzmittel	8,9	0	0	8,4	6.645
Klebstoffe für Linoleumbeläge	79,0	0	0	73,1	198.000
Klebst. für textile Bodenbeläge	70,0	0	0	64,8	175.000
Klebstoffe für Steinzeugplatten	144,0	0	0	54,4	2.600
Dichtungsmittel	13,0	0	0	2,6	6.565
Zement	31.725	0,0032	0,16	1,11	55,5
Summe aller betrachteten Produktgruppen		20	12	340	572.000

Die Angaben in den Spalten 4 und 6 der Tabelle 21 machen deutlich, welches hohe Gefahrstoffeinsparpotenzial durch die gezielte Auswahl gefahrstoffarmer Produkte (Spalten 3 und 4 der Tabelle 21, Gefahrstoffarme Produkte, „Best-Case-Szenario“) erzielt werden kann. Bei der Verwendung gefahrstoffarmer Produkte liegt der Gesamtgefahrstoffeinsatz mit knapp 20 kg um das 17-fache unter dem Wert, der bei Verwendung gefahrstoffreicher Produkte erreicht wird (340 kg). Noch deutlicher wird das Einsparpotenzial, wenn eine detaillierte Bewertung der einzelnen Gefahrstoffe und eine Bilanzierung mit Hilfe der MEG-Äquivalente vorgenommen wird.

Durch die Auswahl gefahrstoffarmer Produkte kann das Gefahrstoffpotenzial HSP für das Haus von 572.000 kg MEG-Äquivalenten auf 12 kg MEG-Äquivalente gesenkt werden. Dieser enorm hohe Unterschied ist u.a. darin begründet, dass zum Teil Bauprodukte mit krebserzeugenden Gefahrstoffen eingesetzt werden, die in die Gefahrstoffbilanz mit einem sehr hohen Gewichtungsfaktor eingehen.

Die Bilanzierung des Gefahrstoffeinsatzes für ein komplettes Haus hat gezeigt, dass die Methodik der MEG-Äquivalente aufgrund der in ihr enthaltenen differenzierten Gefahrstoffbewertung für die Gefahrstoffbilanzierung gut geeignet ist. Sie lässt beim Vergleich verschiedener Produktoptionen Optimierungsmöglichkeiten direkt deutlich werden.

3.3.6 Die Integration der MEG-Äquivalente in Ökobilanzen

In der Wirkungsbilanz von Ökobilanzen⁶ werden für die betrachteten Umweltproblemfelder die Ergebnisse als Indikatorwerte angegeben. So charakterisiert z.B. der Wert für das Treibhauspotenzial (in kg CO₂-Äquivalenten) die Höhe des Treibhauseffektes, der potenziell mit dem betrachteten Produktsystem verbunden ist.

In Ökobilanzen ist bislang kein Indikator für die Bilanzierung des Einsatzes von Gefahrstoffen bei der Produktion entwickelt worden. MEG-Äquivalentwerte ergänzen in dieser Hinsicht bestehende Indikatorsätze. Durch die Verwendung von Referenzsubstanz und Gewichtungsfaktor („Charakterisierungsfaktor“) ist die Methodik der MEG-Äquivalente so strukturiert, dass sie direkt als Indikator genutzt werden kann. Dies ermöglicht es, beim Produktvergleich auch den Gefahrstoffeinsatz in die Wirkungsabschätzung, in die Auswertung und in die anschließende Bewertung mit einfließen zu lassen. Für Ökobilanzen von Wohngebäuden ist dies bereits durchgeführt worden. Ausgangspunkt waren hier Ökobilanzen, in denen der Gefahrstoffeinsatz noch nicht berücksichtigt wurde (Quack 2000, Graulich 2000)⁷.

Die Methodik der MEG-Äquivalente ist ein Bestandteil der integrierten ökologischen Bewertung (EcoGrade), die zur Produktoptimierung und zum Produktvergleich entwickelt worden ist (Bunke et al. 2000, Strubel et al. 1999).

3.3.7 Möglichkeiten und Grenzen des MEG-Äquivalent-Ansatzes

Hinsichtlich ihres Gefahrstoffgehaltes bestehen bei vielen Produktgruppen erhebliche Unterschiede zwischen Einzelprodukten. Dies macht es sinnvoll, in vergleichende Produktbewertungen den Gefahrstoffgehalt mit einzubeziehen. In den MEG-Äquivalenten liegt hierfür jetzt ein Indikator vor, der auf der Grundlage leicht zugänglicher Daten ermittelt werden kann. Durch den Einbezug des Wirkfaktorenmodells der TRGS 440 ermöglicht dieser Indikator wesentlich aussagekräftigere Produktvergleiche als die alleinige Berechnung der absoluten Schadstoffgehalte.

Auf methodisch bedingte Grenzen des MEG-Ansatzes wird in dieser Arbeit im Kapitel 4.2 eingegangen. Hier wird auch eine Einordnung zum Bewertungsansatz von Keller und Mitarbeitern (Keller et al. 1998) vorgenommen.

Die Gefahrstoffbilanzierung anhand der MEG-Äquivalente ist im Baubereich erprobt worden. Hierbei konnten bereits durchgeführte Ökobilanzen sinnvoll ergänzt werden. In Zukunft wird die Methode der MEG-Äquivalente auch für den Textilbereich und für die gezielte Prozessoptimierung im Bereich der Elektronikindustrie eingesetzt werden. Ziel ist es hierbei, MEG-Äquivalente als Kennzahlen in vorhandene betriebliche Prozessinformationssysteme und Umweltinformationssysteme einzugliedern.

Bei Prozessen, in denen eine große Anzahl von Prozesschemikalien eingesetzt

⁶ Hierbei wird von einem Aufbau der Ökobilanzen entsprechend der DIN ISO 14040 ausgegangen.

⁷ Für eine Kurzfassung der Ergebnisse siehe Graulich 2001.

werden, liegt oft ein erhebliches ökologisches Optimierungspotenzial in der gezielten Auswahl wenig umweltbelastender Chemikalien. Hierfür ist eine vergleichende Bewertung der zur Verfügung stehenden Produkt-Alternativen erforderlich. MEG-Äquivalente können hier als einer von mehreren bewertungsrelevanten Indikatoren eingesetzt werden. Die systematische Auswertung der im Unternehmen vorhandenen Produktinformationen anhand eines Indikatoren-Satzes wird durch DV-gestützte Datenverarbeitungssysteme wesentlich unterstützt (Bunke et al. 2002a). Im folgenden Kapitel wird diese Aufgabenstellung der Produktsortiments-Optimierung am Beispiel der Textilproduktion für Bekleidung beschrieben und auch das hierfür entwickelte Datenbankmanagementsystem Dialog^{PLUS} vorgestellt.

3.4 Analyse und Optimierung von Produktsortimenten

Für die Herstellung von komplex aufgebauten Produkten wird in vielen Fällen eine große Zahl von Prozesschemikalien eingesetzt. So sind für die Produktion von Kleidung Textilhilfsmittel und Farbmittel wichtig. Für Unternehmen ist bei der ökologischen Optimierung der Produktion auch eine Bewertung des Gesamtsortiment der eingesetzten Prozesschemikalien wichtig. Hier sind spezielle Bewertungsinstrumente erforderlich.

In diesem Kapitel wird die Aufgabenstellung der Sortimentsoptimierung (bezogen auf Prozesschemikalien – diese werden im folgenden Kapitel kurz „Produkte“ genannt) am Beispiel des Bekleidungsgebietes dargestellt. Hierfür wurde als Hilfsmittel das Datenbankmanagementsystem Dialog^{PLUS} entwickelt. Es ist auch für Produktionsprozesse aus anderen Branchen und die dort eingesetzten Chemikalien anwendbar (Bunke et al. 2002a, Bunke et al. 2002b).

3.4 Analyse und Optimierung von Produktsortimenten

Im Rahmen einer aktiven Umweltschutzpolitik von Unternehmen kommt der Optimierung der eingesetzten Prozesschemikalien ein hoher Stellenwert zu. Die gezielte Substitution problematischer Produkte⁸ durch weniger belastende Alternativen ist ein typisches Beispiel produktionsintegrierten Umweltschutzes. Im Einzelfall können durch eine Produktionsänderung aufwendige nachgeschaltete Umweltschutzmaßnahmen nicht mehr notwendig werden. Angesichts der Vielzahl der als Prozesschemikalien eingesetzten Einzelprodukte ist der Überblick und der systematische Vergleich der im Unternehmen eingesetzten – und der auf dem Markt verfügbaren – Produkte keine einfache Aufgabe.

Produktbezogene Informationssysteme ermöglichen hier eine kontinuierliche Sortimentsanalyse und –optimierung mit ökologischen und ökonomischen Vorteilen für das Unternehmen. Sie tragen dadurch zu ökologisch optimierten Produkten bei.

Bekleidung ist eine für private Haushalte bedeutende Produktgruppe. Die Optimierung der eingesetzten Textilhilfsmittel und Farbmittel ist seit Jahren ein wichtiges Thema in textilveredelnden Unternehmen (Bunke et al. 1998b, Bunke et al. 1999, Bunke et al. 2002a, Bunke et al. 2002b).

⁸ In diesem Kapitel stehen Prozesschemikalien und Zubereitungen für die Produktion von Erzeugnissen im Mittelpunkt. Die Begriffe „Produkt“ und „Produktsortiment“ beziehen sich in diesem Zusammenhang auf in Produktionsprozessen eingesetzte Prozesschemikalien und Zubereitungen.

3.4 Analyse und Optimierung von Produktsortimenten

3.4.1	Prozesschemikalien und ökologische Optimierung	71
3.4.2	EDV-gestützte Produkt- und Stoffverzeichnisse als betriebliche Informations-Instrumente.....	74
3.4.3	Die Struktur von Dialog ^{PLUS}	76
3.4.4	Nutzung von Dialog ^{PLUS} als produktbezogenes Informationszentrum und Entscheidungshilfe.....	77
3.4.5	Access-gestützte Produktinformationssysteme im Alltag des Unternehmens	78
3.4.6	Erweiterungsmöglichkeiten produktbezogener Informationssysteme	79
3.4.7	Stand und Verfügbarkeit von Dialog ^{PLUS}	80

3.4.1 Prozesschemikalien und ökologische Optimierung

In der Textilveredelung werden Stoffe und Zubereitungen unterschiedlicher Art eingesetzt: als Textilhilfsmittel, als Farbmittel oder als Basischemikalien. Abhängig vom Einzelprozess, finden sich diese Prozesschemikalien in unterschiedlichem Anteil entweder in den Produkten oder in der Abluft, im Abwasser bzw. in Prozessabfällen wieder.

Für Unternehmen gibt es seit langem gute Argumente, die Art und Zahl der eingesetzten Prozesshilfsmittel zu optimieren. Dies gilt nicht nur hinsichtlich ihrer funktionalen Eigenschaften und ihres Preises, sondern auch hinsichtlich ihrer ökologischen und humantoxikologischen Eigenschaften. Sind in den Prozesschemikalien gefährliche Inhaltsstoffe enthalten, ergeben sich hieraus Anforderungen an erhöhte Arbeitsschutzmaßnahmen während der Produktion. Darüber hinaus können im Anschluss aufwendigere Aufarbeitungs- und Entsorgungsschritte notwendig werden. Bei Prozesschemikalien, die zumindest zu einem Teil im fertigen Produkt verbleiben, stellt sich die Frage nach humantoxikologischen Risiken für die Produkthanwender. Der Gesetzgeber schreibt zudem in den technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 440) die systematische Suche nach weniger problematischen Ersatzstoffen vor (AGS 2001, BIA 1996).

Die Textilveredelung ist ein gutes Beispiel für einen Industriezweig, in dem zum einen Prozesschemikalien eine bedeutende Rolle für die Produktion spielen, zum anderen in den letzten Jahren erhebliche produktbezogene Optimierungen zur Verringerung des Schadstoffgehaltes vorgenommen wurden (BgVV 1996a, BgVV 1996b, Platzek 1997, Balzer 2000, Schmidt 1999, Platzek 2001).

In Deutschland werden aktuell mehr als 7000 unterschiedliche Textilhilfsmittel

eingesetzt – die Farbstoffe und Pigmente sind in dieser Aufzählung noch gar nicht enthalten (THK 2000). Die Zahl der in ihnen enthaltenen Inhaltsstoffe wird auf 400 – 600 geschätzt. Für die industrielle Herstellung eines Futterstoffes können z.B. ca. zwanzig Textilhilfsmittel und 3-4 Farbstoffe erforderlich sein. In mittelgroßen Textilveredelungsbetrieben sind mehrere Hundert Prozesschemikalien im Einsatz. Allein das Aktualisieren der Sicherheitsdatenblätter ist hier mit einem erheblichen Zeitaufwand verbunden, der in vielen Fällen dazu führt, dass in den Betrieben keine aktuellen Sicherheitsdatenblätter strukturiert abgelegt zur Verfügung stehen.

Im Textilbereich gibt es eine Vielzahl von Bewertungssystemen, Umweltzeichen, Produktkennzeichnungen und Gütesiegeln: das europäische Umweltzeichen für Textilien, Ökotex Standard 100, Ökotex Standard 1000, bluesign, die Richtlinien des Internationalen Verbandes der Naturtextilienhersteller (IVN), die Anforderungskriterien von Unternehmen wie OTTO, Klaus Steilmann, migros – um nur einige zu nennen (Bunke et al. 1998b). In all diesen Systemen sind Vorgaben an den Schadstoffgehalt im Produkt enthalten, zum Teil ergänzt um prozessbezogene Vorgaben und Ausschlussbedingungen für bestimmte Veredelungsverfahren.

Hinweis 4: Die Anwendung eines mehrstufig aufgebauten Bewertungssystems zum Stoffstrom-Management ist im Unternehmen Triumph International AG, München, zur Schwerpunktsetzung für Umweltschutzmaßnahmen eingesetzt worden. Die Anwendung und die Ergebnisse werden im Anhang dieser Arbeit im Exkurs 4 dargestellt (Bunke et al. 1998b, Bunke et al. 1999).

Für Textilveredelungsbetriebe in Deutschland gehören prozessbedingte Vorgaben seitens der Abnehmer durchaus zum Alltag. Die Umsetzung in den Unternehmen im laufenden Betrieb ist aber nicht einfach, sondern erfordert zusätzlichen Zeitaufwand. Im Produktionsprozess bleibt in vielen Unternehmen – nicht nur in der Textilbranche – nicht die Zeit, sich mit den neueren Entwicklungen in der Produktbewertung auseinanderzusetzen.

In der Textilbranche gilt dies auch für das Bewertungssystem, das 1997 vom Verband TEGEWA (Verband der Textilhilfsmittel-, Lederhilfsmittel-, Gerbstoff- und Waschrohstoff-Industrie e.V.) zur Klassifizierung von Textilhilfsmitteln entwickelt wurde (TEGEWA 1997, TEGEWA 1999, TEGEWA 2000).

In diesem Bewertungssystem werden Textilhilfsmittel entsprechend ihrer Abwasserrelevanz in drei Kategorien (Abwasserrelevanzstufen, abgekürzt ARS) eingeteilt:

- | | |
|---------|-------------------------|
| ARS I | wenig abwasserrelevant |
| ARS II | abwasserrelevant |
| ARS III | stark abwasserrelevant. |

Der Verband TEGEWA hat in seiner freiwilligen Selbstverpflichtung zugesagt, seinen Mitgliedsfirmen zu empfehlen, die von ihnen hergestellten und in Deutschland in Verkehr gebrachten Textilhilfsmittel in Eigenverantwortung bis zum 31. Dezember 2000 einzustufen. Der Gesamtverband der deutschen Textilveredelungsindustrie (TVI) hat

im Rahmen der Selbstverpflichtung seinen Mitgliedsfirmen empfohlen, in Zukunft nur noch solche Textilhilfsmittel einzusetzen, die anhand dieses Klassifizierungsschemas eingestuft sind. Bevorzugt werden sollten dabei Produkte, die weniger abwasserrelevant sind (TVI 1997).

Inzwischen liegen für fast alle Textilhilfsmittel die Einstufungen vor. Durch die Nennung der Abwasserrelevanzstufe in den Sicherheitsdatenblättern (neueren Datums!) sind diese Einstufungen außerdem für den Anwender leicht zugänglich – vergleichbar mit der Wassergefährdungsklasse, die ebenfalls für viele abwasserrelevante Produkte im Sicherheitsdatenblatt angegeben wird (TEGEWA 1999, TEGEWA 2000).

Auch wenn die Einstufungen der Textilhilfsmittel seitens der Herstellerfirmen inzwischen vorgenommen wurden und auch erhebliche Informationsarbeit von der TEGEWA und dem TVI zur Umsetzung des Konzeptes in den Veredelungsbetrieben geleistet wurde, zeigen die Erfahrungen in einigen Textilveredelungsbetrieben, dass bei der Textilproduktion in den allermeisten Fällen von der TEGEWA-Bewertungskonzeption bisher keine umsetzungsrelevante Kenntnis genommen worden ist.

Umsetzungsschwierigkeiten dieser Art sind nicht ungewöhnlich. Als zweites Beispiel für ein an sich wertvolles Entscheidungsinstrument zur Produktauswahl, das aber bislang weitestgehend ungenutzt bleibt, kann die seitens der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BauA) veröffentlichte Liste an empfehlenswerten Farbmitteln (Stand 1. März 1998) genannt werden (BAuA 1998). Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin ist u.a. für die Prüfung von Chemikalien nach dem Chemikaliengesetz zuständig, die neu in den Handel gebracht werden sollen. Hier ist – abhängig von der geplanten Stoffmenge – eine stufenweise Bewertung nach öko- und humantoxikologischen Kriterien erforderlich. Für Stoffe, für die diese Anmeldung durchgeführt wurde, liegen gleichzeitig wesentlich genauere und fundiertere Daten zur Ökologie und Gesundheitsrelevanz vor als für die meisten der sog. Altstoffe, die vor dem Inkrafttreten des Anmeldeverfahrens in den Verkehr gebracht wurden und nicht vergleichbar intensiv geprüft wurden.

Die Bundesanstalt für Arbeitsmedizin und Arbeitsschutz hat eine Liste von mehr als 150 Farbmitteln veröffentlicht, die bis zum März 1998 im Rahmen des Anmeldeverfahrens überprüft wurden und bei denen sich keine Hinweise auf gefährliche, kennzeichnungspflichtige Eigenschaften gefunden haben (BAuA 1998). Sowohl unter Umwelt-, als auch unter Arbeitsschutzgesichtspunkten ist es wünschenswert, dass solchermaßen geprüfte Produkte verstärkt zum Einsatz kommen und problematischere Produkte ersetzen. Untersuchungen in Textilveredelungsunternehmen zeigen allerdings, dass aktuell trotz leichter Verfügbarkeit über das Internet diese Stoffempfehlungen bisher in den textilveredelnden Betrieben nicht bekannt sind. Es gibt keine Hinweise, dass sie in der Produktion im laufenden Betrieb umgesetzt werden.

3.4.2 EDV-gestützte Produkt- und Stoffverzeichnisse als betriebliche Informations-Instrumente

Eine systematische ökologische Optimierung des Sortimentes an eingesetzten Textilhilfsmitteln und Farbmitteln ist in Textilveredelungsbetrieben bisher die Ausnahme. Einzelne Unternehmen (z.B. BorgMannConcepts) bieten EDV-gestützte Datenbanken zur Produkterfassung und –auswahl an (Bunke et al. 2002a). Differenzierte Eingangsfiler, wie sie z.B. bei der Kunert AG und bei BMW in mehrjähriger Arbeit erstellt wurden, sind nur in wenigen Unternehmen vorhanden (Bunke et al. 1998). Gleichzeitig ist in den untersuchten Unternehmen durchaus bekannt, dass eine systematische Erfassung der eingesetzten Produkte und Produktmengen im Rahmen eines betrieblichen Umweltinformationssystems in mehrfacher Hinsicht von Vorteil sein kann. Von textilveredelnden Unternehmen, die hier aus eigenem Interesse seit Jahren aktiv sind, werden folgende Vorteile genannt:

- Behördliche Anfragen zum Einsatz problematischer Inhaltsstoffe lassen sich schneller und leichter beantworten;
- Anfragen der Kunden und der Öffentlichkeit zur Verwendung von Problemstoffen, z.B. mutagenen Farbstoffen, allergisierenden Farbstoffen oder Schwermetallen können systematisch beantwortet werden;
- Problematische Abwasserteilströme lassen sich durch die Zuordnung von Produkten zu Prozessen identifizieren und hinsichtlich ihrer Maximalfrachten abschätzen;
- Die im Zuge des Anhangs 38 der Änderung der Abwasserverwaltungsvorschrift erforderliche Produktdokumentation macht ohnehin ein Stoff- und Teilstromkataster erforderlich;
- Angesichts der hohen Zahl eingesetzter Produkte und in ihnen enthaltender Inhaltsstoffe ermöglichen EDV-gestützte Dokumentationssysteme einen schnellen Datenzugriff und geben betriebsinterne Sicherheit. Auch auf aktuell aufkommende Themen, etwa den Einsatz hormonell wirkender Substanzen und ihren Verbleib in der Bekleidung, kann kurzfristig und fundiert eingegangen werden.

Mit Unterstützung des Forschungsministeriums und unter Beteiligung der Unternehmen OTTO Versand, Hamburg und Klaus Steilmann, Wattenscheid, wird aktuell das Forschungsprojekt „EcoMTex: Von der Öko-Nische zum ökologischen Massenmarkt im Bedürfnisfeld Textilien“ unter Leitung von Prof. Schneidewind, Lehrstuhl Produktion und Umwelt, Universität Oldenburg, durchgeführt⁹. Im ökologischen Modul dieses

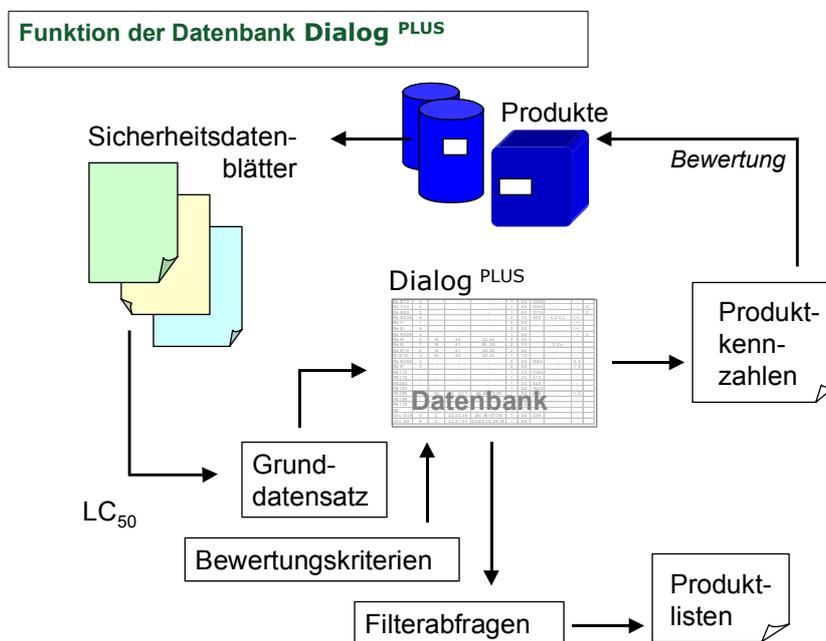
⁹ In diesem Projekt werden außerdem ökonomische, technologische, marketingrelevante und designrelevante Arbeiten durchgeführt. Forschungspartner sind hierbei das Institut für Wirtschaft und Ökologie, St. Gallen (Prof. Thomas Dyllick, Dr. Arnt Meyer), der Fachbereich Design und Medien, Fachhochschule Hannover (Prof. Christiane Wöhler, Susanne Behnke-Pfuhl, Nina Derakhshani), der Lehrstuhl für Produktion und Umwelt (Maria Goldbach, Stefan Seuring, Prof. Uwe Schneidewind), der Lehrstuhl für Unternehmensführung und betriebliche Umweltpolitik (Dirk Fischer, Prof. Reinhard Pfriem), sowie für das ökologische Modul das Öko-Institut e.V. (Dr. Dirk Bunke, Mechthild Naschke, Dr. Ulrike Eberle) sowie die Hydrotox GmbH (Ismene Jäger). Der OTTO Versand arbeitet zur Umsetzung der ökologischen Optimierungen mit dem Unternehmen Borgmann Concepts, Soest

Forschungsprojektes geht es um die ökologische Optimierung der eingesetzten Textilhilfsmittel und Farbmittel. In diesem Zusammenhang sind Einzeldaten zu mehreren Hundert Textilhilfsmitteln und Farbmitteln zusammengestellt und ausgewertet worden. Hierfür ist im Projektkontext für die Universität Oldenburg die access-97-gestützte Datenbank Dialog^{PLUS} entwickelt worden.

Es handelt sich bei dieser Datenbank um ein relationales Datenbankmanagementprogramm: bewertungsrelevante Einzelinformationen aus unterschiedlichen Quellen werden miteinander verknüpft. Grundlegend ist der Gedanke, dass in diesem access-gestützten System Einzeldaten zu den im Unternehmen eingesetzten Produkten in einer übersichtlichen Weise gespeichert werden, Im Mittelpunkt stehen hierbei Daten, die eine Bewertung der Produkte unter Umwelt- bzw. Arbeitsschutzaspekten ermöglichen. Die Daten können aus den zugehörigen Sicherheitsdatenblättern stammen, aber ergänzt werden um Informationen aus technischen Merkblättern oder produkt- bzw. stoffbezogenen wissenschaftlichen Publikationen.

Die Struktur von Dialog^{PLUS} ist in der Abbildung 3 wiedergegeben.

Abbildung 3: Funktion der Datenbank Dialog^{PLUS} (Bunke et al. 2002).



(Karl Borgschulze) zusammen.

3.4.3 Die Struktur von Dialog^{PLUS}

Dialog^{PLUS} soll ein komfortables Datenmanagement ermöglichen. Aufgrund dieser Zielstellung wurde ein strukturiertes Hauptformular entwickelt. Es ermöglicht nicht nur eine einfache Datenübernahme aus Sicherheitsdatenblättern und anderen Informationsquellen. Beim Daten-Eintrag findet gleichzeitig eine Überprüfung der Vollständigkeit der vorhandenen Daten statt.

Von der Abfolge her entsprechen die Registerkarten von Dialog^{PLUS} den Textabschnitten des Sicherheitsdatenblattes (siehe Tabelle 22).

Tabelle 22: Strukturierung von Sicherheitsdatenblättern nach EU-Richtlinie 91/155 EWG in 16 Abschnitte.

1. Stoff-/Zubereitungs- und Firmenbezeichnung	9. Physikalische und chemische Eigenschaften
2. Zusammensetzung, Angaben zu den Bestandteilen	10. Stabilität und Reaktivität
3. Mögliche Gefahren	11. Angaben zur Toxikologie
4. Erste-Hilfe-Maßnahmen	12. Angaben zur Ökologie
5. Maßnahmen zur Brandbekämpfung	13. Hinweise zur Entsorgung
6. Maßnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung	14. Angaben zum Transport
15. Handhabung und Lagerung	16. Vorschriften
17. Expositionsbegrenzung und persönliche Schutzausrüstung	18. Sonstige Angaben

Gleichzeitig sind die Formulareinheiten in den Bereichen „Toxikologie“ und „Ökotoxikologie“ stark aufgegliedert, um eine genaue Erfassung und Charakterisierung der Informationen zu unterstützen, die in vielen Sicherheitsdatenblättern vorhanden sind. Der parallele Aufbau des Eingabeformulars von Dialog^{PLUS} und der Sicherheitsdatenblätter erleichtert die Datenübernahme wesentlich.

Das Hauptformular von Dialog^{PLUS}, das für die Dateneingabe auf der Grundlage von Sicherheitsdatenblättern konzipiert wurde, weist folgende „Registerkarten“ auf (Tab.23):

Tabelle 23: Struktur der access-Datenbank Dialog^{PLUS}

1. Registrierung	8. Angaben zur Toxikologie III
2. Identifikation	9. Angaben zur Ökotoxikologie I
3. Charakterisierung	10. Angaben zur Ökotoxikologie II
4. Angaben zu Inhaltsstoffen	11. Angaben zur Ökotoxikologie III
5. Physikalisch-chemische Eigenschaften	12. Vorschriften, Teil 1
6. Angaben zur Toxikologie I	13. Vorschriften, Teil 2
7. Angaben zur Toxikologie II	14. Anwendungsbezogene Daten

Der Schwerpunkt der Datenerfassung liegt auf den toxikologischen und ökotoxikologischen Eigenschaften der Produkte – und damit auf dem betrieblichen Umwelt- und Arbeitsschutz sowie dem produktbezogenen Verbraucherschutz.

3.4.4 Nutzung von Dialog^{PLUS} als produktbezogenes Informationszentrum und Entscheidungshilfe

Dialog^{PLUS} ist zwar im Kontext eines spezifischen Projektes entwickelt worden. Es ist in seiner Struktur aber so angelegt, dass es bei entsprechendem Ausbau den Kern eines betrieblichen Umweltinformationssystems verschiedener Branchen bilden kann.

Dialog^{PLUS} ermöglicht derzeit die systematische Dokumentation von Informationen zu Textilhilfsmitteln und Farbmitteln. Dialog^{PLUS} hat darüber hinaus Schnittstellen zu betrieblichen prozessbezogenen Daten. Für die einzelnen Produkte können die Prozesse aufgeführt werden, in denen sie eingesetzt werden, samt den zugehörigen Einsatzmengen. Auf der Basis zusätzlicher Module ist es zudem möglich, Gesamtprozesse und Einzelprozesse hinsichtlich ökologisch bedeutsamer Kenngrößen vorherzuberechnen, z.B. in Bezug auf die zu erwartenden, hilfsmittelbedingten Abwasserbelastungen.

In Dialog^{PLUS} können vom Anwender unterschiedliche Bewertungssysteme bzw. die zu ihnen gehörenden Kennzahlen integriert werden. Hierzu zählen:

- Die Abwasserrelevanzstufen nach dem TEGEWA / TVI-Konzept;
- Die potenziellen Risiken zur Bewertung der Arbeitsplatzrelevanz nach dem erweiterten Bewertungsmodell der TRGS 440 (BIA 1996, Kalberlah et al. 1998, Smola et al. 1997). Als methodische Weiterentwicklung ist hieraus die Methodik der MEG-Äquivalentwerte zur Kennzeichnung des Gefahrstoffeinsatzes in Prozessen entwickelt worden, die im vorherigen Kapitel beschrieben wurde (Kap. 3.3)(Bunke 1999a, Bunke 2001, Bunke und Graulich 2001).
- Die von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin empfohlenen

Farbmittel (BAuA 1998).

Um die Anwenderrelevanz der Entscheidungshilfe Dialog^{PLUS} zu erhöhen, ist zur Produktkennzeichnung die Nomenklatur des Textilhilfsmittel-Kataloges übernommen worden. Der Textilhilfsmittel-Katalog wird von der Redaktion *melliand* in Zusammenarbeit mit der TEGEWA herausgegeben (THK 2000). In der Ausgabe 2000 wurden 7.000 Handelsprodukte sieben Gruppen und 70 Untergruppen zugeordnet. Im betrieblichen Alltag ermöglicht diese Zuordnung, durch eine gezielte Abfrage z.B. alle im Unternehmen eingesetzten optischen Aufheller nach Verbrauchsmengen, Produzenten und Abwasserrelevanzstufen automatisch in Berichtsform darstellen zu lassen.

Bereits heute sind einige Elemente der Datenbank branchenunabhängig von Bedeutung: die Wassergefährdungsklassen, die Einzelangaben zu Inhaltsstoffen und die Beschreibungen der standardisierten Hinweise auf besondere Gefahren (Gefahrenhinweise, R-Sätze). Die R-Sätze sind mit den zugehörigen Hinweisen auf Sicherheitsmaßnahmen (S-Sätze) hinterlegt und dadurch in Dialog^{PLUS} direkt verfügbar.

3.4.5 Access-gestützte Produktinformationssysteme im Alltag des Unternehmens

Als Produktinformationssystem stellt Dialog^{PLUS} für das Unternehmen eine Organisations- und Entscheidungshilfe dar, die mehrfach genutzt werden kann:

- Die im Unternehmen eingesetzten Prozesschemikalien (Textilhilfsmittel, Farbmittel, Maschinenbetriebsmittel etc.) können bequem und klar gegliedert dokumentiert werden.
- Für einzelne Produktionsschritte kann systematisch geprüft werden, ob es bereits Produktempfehlungen gibt (z.B. seitens der Bundesanstalt für Arbeitsmedizin und Arbeitsschutz).
- Innerhalb eines Anwendungsgebietes (z.B. optische Aufheller) kann eine unternehmensspezifische Sortimentsanalyse durchgeführt werden. Hier können auch die Verbrauchsmengen berücksichtigt werden.
- Für die Gesamtheit der im Betrieb eingesetzten Substanzen (Betriebsmittel, Textilhilfsmittel, Farbmittel u.a.) kann eine Analyse hinsichtlich ökologisch relevanter Kriterien (z.B. Wassergefährdungsklassen) durchgeführt werden.
- Unter Arbeitsschutzgesichtspunkten kann eine Schwerpunkt-Analyse nach Gefahrstoffen mit besonders kritischen Eigenschaften durchgeführt werden. Unter Einbezug der Verbrauchsmengen lässt sich dann eine Prioritätenliste für die Produktsubstitution erstellen.
- Dialog^{PLUS} ermöglicht die rasche Identifikation von Produkten, in denen unter Verbrauchersichtspunkten relevante Inhaltsstoffe (z.B. mit einem

sensibilisierenden Potenzial) eingesetzt werden.

- Sicherheitsdatenblätter von Produkten zeichnen sich auch heute noch durch eine z.T. sehr unterschiedliche Qualität aus. Die systematisierte Dateneingabe in Dialog^{PLUS} ergibt gleichzeitig ein klares Bild von der Qualität der im Sicherheitsdatenblatt zur Verfügung gestellten Informationen. Eine eventuell notwendige Nachfrage beim Hersteller wird durch die in Dialog^{PLUS} verankerte Strukturierung wesentlich erleichtert.

3.4.6 Erweiterungsmöglichkeiten produktbezogener Informationssysteme

Bei der im Rahmen des EcoMTex-Projektes entwickelten Datenbank Dialog^{PLUS} liegt der Schwerpunkt auf der Erfassung ökologisch und humantoxikologisch bedeutender Daten aus Sicherheitsdatenblättern. Aufgrund des modularen Aufbaus der Datenbank ist aber schon bei der Strukturierung Wert darauf gelegt worden, dass in Weiterentwicklungen ein Einbezug weiterer Daten auch aus anderen Quellen (z.B. toxikologischen Datenbanken) bzw. aus den vorhandenen betrieblichen Informationssystemen möglich ist:

- Betriebsintern können ökonomische Daten in einem eigenständigen Modul abgelegt und in Abfragen einbezogen werden.
- Es können weitere Bewertungssysteme berücksichtigt werden, die für spezielle Branchen von Bedeutung sind. Hierzu zählen bei Textilien z.B. das vom Umweltbundesamt entwickelte Verfahren zur integrierten Bewertung von Textilhilfsmitteln (Lepper und Schönberger 1997, Lepper und Schönberger 1998) und die Empfehlungen des Arbeitskreises „Textilchemikalien“ beim Bundesinstitut für den gesundheitlichen Verbraucherschutz und für Veterinärmedizin (BgVV 1996a, BgVV 1996b, Platzek 1997). Es können darüber hinaus Problemstofflisten berücksichtigt werden, z.B. zu hormonell wirksamen Stoffen bzw. zu schlecht abbaubaren, bioakkumulativen Stoffen. (Wursthorn 2001)
- Wenn das Einverständnis der Hersteller vorliegt, ist eine systematische Aufnahme von Produkten vorstellbar, die sich im Rahmen der TEGEWA-Klassifizierung bzw. vergleichbarer Klassifizierungen als besonders empfehlenswert erwiesen haben.
- In der Registerkarte „Anwendung“ des Hauptformulars von Dialog^{PLUS} sind derzeit Eingabeoptionen für prozessbezogene Daten angelegt. Hierzu gehören u.a. die für den Veredler wichtigen Echtheiten, aber auch Verbrauchsmengen und Fixiergrade. An dieser Stelle sind prozessbezogene Erweiterungen möglich, z.B. um Maschinenlaufzeiten, Färbezeiten und Färbetemperatur, Energie- und Wasserverbräuche zu integrieren. Alternativ können die aus Dialog^{PLUS} abrufbaren produktbezogenen Kenndaten in Prozessdatenbanken einfließen, die bereits im Unternehmen verankert sind. Hierdurch wird es möglich, unterschiedliche Prozessoptionen nicht nur hinsichtlich „typischer prozessbezogener Kenngrößen“, wie Energie- und Rohstoffverbrauch, sondern auch hinsichtlich spezieller ökologisch

relevanter Kenngrößen (etwa der zu erwartenden Abwasserbelastung) zu bilanzieren und zu vergleichen. Bei Bedarf ist auch die Integration zusätzlicher ökobilanzieller Informationen möglich, die die vor- und nachgelagerten Prozesse miteinbeziehen.

3.4.7 Stand und Verfügbarkeit von Dialog^{PLUS}

Der Prototyp von Dialog^{PLUS} ist access-97-gestützt im Rahmen des EcoMTex-Projektes entwickelt worden und wird derzeit in Textilveredelungsunternehmen erprobt und optimiert. Er wird im Anschluss an das Projekt auch für andere Unternehmen verfügbar sein. Die Verwertungsrechte liegen bei der Universität Oldenburg. Im Rahmen der jetzt laufenden Test- und Optimierungsphase findet ein intensiver Erfahrungsaustausch mit Unternehmen statt, die ihrerseits bereits betriebliche produktbezogene Informationssysteme aufgebaut haben.

4 Möglichkeiten und Grenzen

4 Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung schadstoffbezogener Bewertungsinstrumente für Produkte des privaten Haushaltes

4.1 Forschungsansatz und Ergebnisse

Die hier vorgestellten Forschungsarbeiten orientieren sich an den drei Thesen, die im Kapitel 2.1 genannt wurden und die an dieser Stelle wieder aufgegriffen werden:

- **These 1:** Konsum- und Investitionsgüter für private Haushalte zeichnen sich durch eine hohe Bandbreite ihres Schadstoffgehaltes aus.
- **These 2:** Durch eine gezielte Stoffauswahl ist es möglich, bei für private Haushalte relevanten Produkten zu einer erheblichen Schadstoff-Reduzierung zu gelangen.
- **These 3:** Es ist möglich, in klassische, ökobilanziell ausgerichtete Bewertungsinstrumente produktspezifische Schadstoff-Bewertungen zu integrieren. Die hieraus entstehenden Bewertungssysteme können von Unternehmen in der Produktentwicklung zeitnah zur Produktoptimierung eingesetzt werden.

Aus der in der Einleitung (Kap. 1) genannten derzeitigen Praxis der ökologischen Produktbewertung im Rahmen von Ökobilanzen ist zur These 3 die entsprechende Antithese abgeleitet worden.

- **Antithese:** Es ist nicht möglich, mit einem vertretbaren Aufwand ökobilanzielle Bewertungssysteme um produktspezifische Schadstoff-Bewertungen zu erweitern. Dies liegt an der Vielzahl der in Produkten eingesetzten Einzelstoffe und der Komplexität der von ihnen ausgehenden Wirkungen. Schadstoffspezifisch erweiterte Bewertungssysteme können daher von Unternehmen nicht eingesetzt werden.

Die im vorherigen Kapitel 3 dargestellten Ergebnisse ermöglichen jetzt zusammenfassend die folgende Bewertung der Thesen:

Zur These 1: „Konsum- und Investitionsgüter für private Haushalte zeichnen sich durch eine hohe Bandbreite ihres Schadstoffgehaltes aus“.

Die systematische Auswertung von produktbezogenen Informationen und von Dokumentationen der Vergiftungszentralen (siehe Kap. 3.1) zeigt, dass in vielen Konsum- und Investitionsgütern, die im privaten Haushalt genutzt werden, Stoffe mit gefährlichen Eigenschaften für Mensch und Umwelt enthalten sein können. Es gibt zahlreiche Produkte, die sich durch ein Gesundheitsbelastungs- bzw. Gesundheitsgefährdungspotenzial auszeichnen.

Zwischen den auf dem Markt verfügbaren Einzelprodukten lässt sich bei den untersuchten Produktgruppen ein zum Teil erheblicher Unterschied im Schadstoffgehalt erkennen. Bei den näher untersuchten Holzschutzmittel wird ein Unterschied im prozentualen Gehalt an Gefahrstoffen um den Faktor 15 gefunden (siehe Tabelle 10). Noch deutlicher werden die Unterschiede, wenn die im Produkt

vorhandenen Gefahrstoffe anhand ihrer Toxizität gewichtet werden (siehe Kapitel 3.1.7). Für viele Produktgruppen stehen inzwischen Einzelprodukte zur Verfügung, die weitgehend gefahrstoff-frei sind (siehe Kapitel 3.1.7).

Zur These 2: „Durch eine gezielte Stoffauswahl ist es möglich, bei für private Haushalte relevanten Produkten zu einer erheblichen Schadstoff-Reduzierung zu gelangen.“

Die Untersuchung einzelner Konsum- und Investitionsgüter des Haushalts macht deutlich, dass seitens der Hersteller durch eine gezielte Produkt-Optimierung, seitens der VerbraucherInnen durch eine bewußte Produkt-Auswahl erhebliche Schadstoff-Einsparungen möglich sind. Entsprechende Zielsetzungen für die Produktoptimierung werden im Kap. 3.1.8 genannt. Exemplarisch werden Entlastungspotenziale durch Einsatz neuer Technologien am Beispiel von Fernsehgeräten untersucht. Auch hier sind bedeutende Schadstoff-Verminderungspotenziale vorhanden: der Gesamt-Schadstoffgehalt kann für ein konventionelles Fernsehgerät (technische Ausstattung: Mittelklasse) von etwa 200 Gramm auf 5 Gramm gesenkt werden (siehe Kapitel 3.2.5). Die Ergebnisse sind in vielen Aspekten auch auf andere Elektronikgeräte des privaten Haushaltes übertragbar.

Zur These 3: Es ist möglich, in klassische, ökobilanziell ausgerichtete Bewertungsinstrumente produktspezifische Schadstoff-Bewertungen zu integrieren. Die hieraus entstehenden Bewertungssysteme können von Unternehmen in der Produktentwicklung zeitnah zur Produktoptimierung eingesetzt werden.

Aus der Analyse des Schadstoffgehaltes von Konsum- und Investitionsgütern des privaten Haushaltes und der hier bestehenden Optimierungsmöglichkeiten ergibt sich die Bedeutung von Bewertungsinstrumenten, die im Rahmen des Produkt-Entwicklungsprozesses oder im Rahmen der Auswahl von Produkten eine Beurteilung des Schadstoffgehaltes von Haushaltsprodukten ermöglichen.

Es ist im Rahmen der hier vorgestellten Arbeiten möglich gewesen, spezifische Bilanzierungs- und Bewertungshilfen für den Schadstoffgehalt von Produkten zu entwickeln. Sie werden an Produkten getestet, die im privaten Haushalt eingesetzt werden. Für die vorgelagerten Produktionsprozesse liegt ein eigener Indikator vor.

- Der am Beispiel der Fernsehgeräteelektronik erarbeitete Indikator „Gesamt-Schadstoffgehalt“ ergänzt die in Ökobilanziellen Untersuchungen enthaltenen Schadstoffdaten. Er ermöglicht auch die Berücksichtigung produktgruppenspezifischer Schadstoffe – etwa halogenorganischer Flammenschutzmittel oder schwermetallhaltiger Lote. Datengrundlage sind die Rezepturen der Bauelemente.
- Mit der Methodik der MEG-Äquivalente ist es gelungen, arbeitsschutzbezogene rechtliche Regelungswerke, die in Unternehmen bekannt sein sollten, für (öko-)bilanzielle Berechnungen zu verwenden. Die vorgenommene Weiterentwicklung des Wirkfaktoren-Modells der TRGS 440 ermöglicht die Umsetzung von Gefahren-Hinweisen (R-Sätzen) in Bewertungskennzahlen. Die Auswahl einer Referenzsubstanz erlaubt

prozessbezogene Gefahrstoffbilanzierungen auf der Grundlage leicht zugänglicher Daten. Durch den Einbezug der Wirkfaktoren der TRGS 440 sind jetzt wesentlich aussagekräftigere Produktvergleiche durchführbar als im Falle der alleinigen Berechnung der absoluten Schadstoffgehalte.

In ökobilanziellen Bewertungssystemen sind produktspezifische Schadstoffe und der Gefahrstoffeinsatz bei der Produktion bisher in der Regel nicht berücksichtigt worden. Sowohl der Indikator „Gesamt-Schadstoffgehalt“ als auch die MEG-Äquivalente können direkt als Indikatoren in Ökobilanzen Verwendung finden.

Schadstoffbezogene Bewertungssysteme können von Unternehmen für die Produktentwicklung eingesetzt werden. In Einzelfällen findet eine Umsetzung von Instrumenten zur ökologischen Produktbewertung in Form von Eingangsfiltern tatsächlich statt (Bunke et al. 1998b). Mit Hilfe des im Forschungsprojekt entwickelten relationalen Datenbankmanagementsystems Dialog^{PLUS} sollte die Sortimentsoptimierung noch vereinfacht werden.

Die Anwendung dieser Instrumente ist in vielen Fällen nicht einfach. Die Anwendung wird erleichtert, wenn die Bewertungssysteme auf der Grundlage von Daten arbeiten, die im Unternehmen bereits aus anderen Gründen verankert sind. Hierzu gehören z.B. produktbezogene Informationen aus Sicherheitsdatenblättern, gesetzliche Vorgaben zum Gefahrstoffmanagement und betrieblich vorliegende Prozessinformationen aus Umweltmanagement-/informationssystemen bzw. Prozesssteuerungssystemen.

Zusammenfassend ergibt sich hieraus, dass durch die vorgestellten Arbeiten die Thesen 1 bis 3 verifiziert und die zugehörige Antithese falsifiziert werden. Bei den Arbeiten ist allerdings auch deutlich geworden, dass mit der Umsetzung der entwickelten Instrumente zur Schadstoffverminderung einige Schwierigkeiten verbunden sind, die in der Antithese angesprochen wurden. Hierauf wird im folgenden Kapitel eingegangen.

4.2 Kenntnislücken und Begrenzungen

Die Untersuchungen haben auch eine Reihe von Schwierigkeiten, Kenntnislücken und Begrenzungen deutlich werden lassen:

- **Beurteilung der Gesamtbelastung:** Aufgrund der Vielzahl der im privaten Haushalt eingesetzten Produkte ist eine Beurteilung der Gesamtbelastung schwierig. Dies gilt insbesondere beim Einbezug eines chronischen Belastungspotenzials durch leichtflüchtige Inhaltsstoffe, die aus Gegenständen im Haus ausgasen und zu Innenraumbelastungen führen können. Hier muss vorbeugend das Vorsorgeprinzip und das Minimierungs- bzw. Vermeidungsgebot zum Tragen kommen. Zielvorgabe für die Produktentwicklung müssen schadstoff- und emissionsarme Produkte sein. Stoffe mit hoher akuter Toxizität, mit chronischem Schädigungspotenzial, langlebige und bioakkumulative Verbindungen sollten in Haushaltsprodukten überhaupt nicht zur Anwendung kommen.

-
- **Ermittlung von Rezeptur-Daten:** Bei komplex aufgebauten Produkten ist die Ermittlung der Rezeptur der Komponenten für den Produzenten nicht einfach. Erforderlich ist hier seitens der Produzenten in vielen Fällen eine gezielte Kommunikation mit den Lieferanten, die die eingesetzten Prozesschemikalien bzw. Hilfsmitteln liefern. Diese Kommunikation kann schwierig sein, da in vielen Fällen Angaben zu Inhaltsstoffen und Rezepturen vom Lieferanten nicht weitergegeben werden möchten. Die bestehenden Projekterfahrungen zeigen, dass hier durch Vertraulichkeitsvereinbarungen und durch eine systematisierte, auf Gefahrstoffe zielende Nachfrage die Schwierigkeiten in vielen Fällen ausgeräumt werden können.
 - **Transparenz in der Produktkette:** Schadstoffbezogene Produktoptimierungen könnten in dieser Hinsicht wesentlich erleichtert werden, wenn für die gesamte Produktlinie die eingesetzten Chemikalien bekannt wären. Wie in der Einleitung bereits kurz angeführt, zeichnet sich der Lebensmittelbereich hier dadurch aus, dass diese Voraussetzung in vielen Fällen bereits erfüllt ist. In ihm ist es Stand von Wissenschaft und Technik, die gesamte Produktionskette beginnend mit der Primärproduktion einschließlich aller Vorlieferanten untersucht zu haben. Gesetzlich vorgeschriebene Managementinstrumente zur Kontrolle und Qualitätsoptimierung sind hier bekannt und international erprobt. Das Risikomanagement entsprechend dem Hazard Analysis Critical Control Point (HACCP) schließt hierbei in einer produkt- und prozessbezogenen Risikoanalyse biologische, chemische und physikalische Risiken ein (Schlich 2000, Pierson und Corlett 1995). Für viele andere Produktbereiche besteht eine solche Datengrundlage über die gesamte Produktkette überhaupt nicht.
 - **Begrenzungen des Ansatzes der MEG-Äquivalente:**
 - 1. Im Wirkfaktorenmodell der TRGS 440 werden die humantoxischen Eigenschaften von Gefahrstoffen berücksichtigt. Bei der konkreten Ersatzstoffsuche im Unternehmen sind darüber hinaus physikalisch-chemische Eigenschaften (z.B. Explosionsgefahr), Umweltgefahren, Expositions- und Anwendungsbedingungen, technische und ökonomische Argumente zu berücksichtigen. Dies wird detailliert in der TRGS 440 beschrieben (AGS 2001, S. 19, S. 21, S. 22 ff).
 - 2. MEG-Äquivalente ermöglichen eine Gefahrstoffbilanzierung auch bei komplexen Prozessen. Sie ermöglichen außerdem einen ersten Produktvergleich, auch bei sehr umfangreichen Produktsortimenten. Der Schwerpunkt des Wirkfaktorenmodells der TRGS 440 liegt eindeutig auf arbeitsplatzrelevanten gesundheitsgefährdenden Eigenschaften der Inhaltsstoffe. Die Methodik der MEG-Äquivalente wertet Informationen aus, die in Form der Gefahrenhinweise (R-Sätze) über ein Produkt vorliegen. Sie kann daher hinsichtlich ihrer toxikologischen Aussagekraft nicht über den Informationsgehalt dieser gesetzlich vorgeschriebenen Kennzeichnung hinaus gehen. Hieraus ergibt sich auch, dass die vorgestellte Methodik nicht den Anspruch hat, eine umfassende human- und ökotoxikologische Produktprüfung vorzunehmen. Für umweltmedizinische Fragestellungen, bei denen es um die Auswirkungen des Produkteinsatzes für Verbraucher geht, sind andere

Informationen erforderlich. Zumindest kann hier festgestellt werden, dass in den meisten Fällen unter Arbeitsschutzgesichtspunkten vorteilhafte, gefahrstoffarme Produkte auch unter Umwelt- und Verbraucherschutzgesichtspunkten empfehlenswerter sind, als gefahrstoffhaltige Produkte.

- 3. Der von Keller et al. entwickelte Bewertungsansatz (Keller et al. 1998) unterscheidet sich von der hier vorgestellten Methodik in mehreren Punkten. Er hat als Ziel primär nicht die Produkt- und Prozessbewertung unter Arbeitsschutzgesichtspunkten, sondern eine Beurteilung der umfassenderen Kategorie Humantoxizität in Ökobilanzen. Entsprechend wird hier auch stärker differenziert, beispielsweise zwischen Außen- und Innenraumbelastungen. Es werden zusätzliche Daten einbezogen, gleichzeitig ist toxikologisches Fachwissen erforderlich, das aber in produzierenden Unternehmen oft nicht verfügbar ist. Im Ansatz von Keller et al. 1998 werden die untersuchten Emissionen Bewertungsklassen von A bis E zugeordnet. Hier liegt ein wesentlicher Unterschied zur Methodik der MEG-Äquivalente: durch den Einbezug der aktuellen Fassung der TRGS 440 ist eine toxikologisch begründbare Zuordnung von R-Sätzen zu Bewertungszahlen (den Wirkfaktoren) über eine breite Skala möglich. Auf Gruppenbildungen kann verzichtet werden, die Zahlenwerte können auch in betriebliche Kennzahlensysteme von Unternehmen eingebunden werden. Transportprozesse von Schadstoffen, die im Bewertungsansatz von Keller et al. 1998 Berücksichtigung finden können, werden bei der Methodik der MEG-Äquivalente derzeit nicht untersucht. Im Rahmen einer methodischen Weiterentwicklung der MEG-Äquivalente erscheint hier ein Austausch zwischen den Bewertungsansätzen sinnvoll.

5 Ausblick

5 Ausblick Umsetzung: Schadstoff-Verminderung als Teil einer nachhaltigen Produktentwicklung

Neben den „klassischen“ ökologischen Optimierungsfeldern Energieeinsparung und Ressourcenschonung sind Verringerungen des Schadstoffgehaltes wichtige Ziele auf dem Weg zu nachhaltigen Haushaltsprodukten.

Die Gefahrstoffbilanzierung anhand der MEG-Äquivalente ist im Rahmen der hier vorgestellten Forschungsarbeiten im Bereich der Bauchemikalien erprobt worden. Bereits durchgeführte Ökobilanzen konnten sinnvoll ergänzt werden. In Zukunft wird die Methode der MEG-Äquivalente auch für den Textilbereich und für die gezielte Prozessoptimierung im Bereich der Haushaltselektronik-Geräte eingesetzt werden. Ziel ist es, MEG-Äquivalente als Kennzahlen in vorhandene betriebliche Prozessinformationssysteme und Umweltinformationssysteme einzugliedern. Hierzu werden die vorgestellten accessgestützte Datenverarbeitungssysteme weiterentwickelt, die die systematische Auswertung der im Unternehmen vorhandenen Produktinformationen unterstützen.

Im Rahmen des Forschungsprogrammes „Betriebliches Energie- und Stoffstrommanagement“ der Landesanstalt für Umweltschutz, Karlsruhe, liegen umfangreiche Erfahrungen mit dem betrieblichen Einsatz von Kennzahlensystemen in Unternehmen vor (LfU 2000a, LfU 2000b, Bullinger et al. 2002). In einem Pilotprojekt mit dem Unternehmen Gütermann erfolgt auch die Integration des MEG-Indikator-Ansatzes und des Datenmanagementsystems Dialog^{PLUS} in einen Produktionsbetrieb, der neben industriell angewendeten Nähgarnen auch Nähgarne für private Haushalte herstellt.

Produktbezogene Bewertungszahlen können einen wesentlichen Beitrag auch zu branchenspezifischen Umweltentlastungen leisten. Im Textilbereich konnten nach einigen Jahren die ersten Erfahrungen mit der Kennzahl der „Abwasser-Relevanzstufen“, die von den Textilhilfsmittelherstellern auf Verbandsebene entwickelt und gemeinsam mit den textilveredelnden Betrieben umgesetzt wurden (TEGEWA 1997, TEGEWA 1999, TEGEWA 2000, TVI 1997).

Die vorgestellten Forschungsergebnisse zeigen: Es ist möglich, schadstoffbezogene Bewertungssysteme bei der Produktentwicklung in Unternehmen anzuwenden. Hierdurch sind erhebliche Verringerungen der Umweltbelastung erreichbar. Notwendig ist allerdings eine wesentlich stärkere Verankerung der Bewertungssysteme im Alltag der Unternehmen, um ihre Anwendung bei der Produkt- und Prozessoptimierung sicherzustellen.

Die Arbeiten lassen auch weiteren Forschungsbedarf auf mehreren Ebenen erkennen:

1. **Entwicklung von Indikatoren für spezifische, problematische Stoffeigenschaften.** Bei einer Reihe von problematischen Stoffeigenschaften gibt es bisher nur Ansätze zu einer Instrumentalisierung. Hierzu zählen insbesondere die allergene Wirkung, die akkumulierende Wirkung, die endokrine Wirkung und die fehlende Abbaubarkeit, die sich in der Persistenz eines Stoffes ausdrückt. Es handelt sich hierbei um Stoffeigenschaften, die aufgrund ihrer besonderen ökologischen Bedeutung international in zunehmendem Masse diskutiert und auch in internationalen Übereinkommen zu persistenten, organischen Schadstoffen (POPs, „persistent organic pollutants“) behandelt werden (Richter et al. 2001, OSPAR 2001, Wursthorn 2001).¹⁰

Es liegen umfangreiche Dokumentationen zu persistenten und bioakkumulativen Stoffen vor (Paasivirta 1999, Beek 2000). Es sind ausserdem eine Reihe von Bewertungssystemen für diese Stoffe entwickelt worden (Scheringer 1999, eine Zusammenstellung liegt vor in Wursthorn 2001 sowie Pirntke und Ahrens 1999). Bislang existieren aber noch keine Hilfsmittel, die Unternehmen anhand von leicht zugänglichen Kennzahlen eine Stoffbewertung hinsichtlich dieser Eigenschaften ermöglichen. Ein erster Vorschlag hierfür ist vor kurzem fertiggestellt worden (Wursthorn 2001).

2. **Praxisgerechte Weiterentwicklung der vorgestellten Bewertungssysteme.** Im Rahmen unternehmensbezogener Projekte konnten die vorgestellten Indikatoren und Datenmanagementsysteme in der Praxis getestet werden. Hierbei ist auch deutlich geworden, dass für eine eigenständige Anwendung im Unternehmen ausserhalb von Forschungsprojekten eine praxisgerechte Weiterentwicklung erforderlich ist. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die enge Anbindung an in den Unternehmen bereits vorliegende, betriebliche Prozess- und Umweltinformationssysteme (DECHEMA 2002, Bullinger et al. 2002).

Ein bedeutendes Hemmnis für eine rasche Verringerung des Schadstoffgehaltes in der

¹⁰ Zu den POPs zählen insbesondere Chlororganika, die vor allem wegen ihrer globalen Verteilung, ihrer Toxizität und ihrer Persistenz zu Umweltbelastungen führen. (siehe z.B. Bleeker et al. 1999 zur Bewertung von PCB-Konzentrationen im menschlichen Blut). In anderen Zusammenhängen (z.B. beim Schutz aquatischer Lebensgemeinschaften) ist Persistenz in Kombination mit Toxizität und Bioakkumulation (TBP) eine Eigenschaft, die das Risiko einer Belastung von Mensch und Umwelt deutlich erhöht. Bei Beachtung zeitlicher Aspekte wird hierbei deutlich, dass schon Persistenz alleine für Stoffe einen Risikofaktor darstellt, der mit den Zielsetzungen einer nachhaltigen Entwicklung nicht zu vereinbaren ist (Umweltbundesamt 1999b, Franke et al. 1994). Gerade unter Vorsorgegesichtspunkten gewinnt diese Einstufung an Bedeutung, da die langfristigen Auswirkungen von Chemikalieneinträgen in vielen Fällen nicht vorhersehbar sind und in die Umwelt eingetragene Stoffe in der Regel nicht rückholbar sind (OSPAR 2001, Richter et al. 2001, Wursthorn 2001).

Produktion ist in vielen Projekten deutlich geworden: die notwendigen Informationen über die eingesetzten Prozesschemikalien, Katalysatoren und Hilfsmittel sind im Regelfall für Konsum- und Investitionsgüter des privaten Haushaltes nicht verfügbar und können in aufwendigen Recherchen oft nur lückenhaft ermittelt werden.

Durch eine stärkere Kooperation in der Produktkette – unter Wahrung des notwendigen Schutzes betriebsinterner Informationen – sind hier wesentliche Fortschritte zu erwarten. Die Transparenz der eingesetzten Chemikalien ist im Lebensmittelbereich inzwischen international in vielen Fällen erfolgreich für die gesamte Produktkette umgesetzt worden (siehe hierzu z.B. Schlich 2000 zum Managementinstrument des Hazard Analysis Critical Control Point, ausserdem Pierson und Corlett 1995). Dies sollte prinzipiell auch auf andere Konsum- und Investitionsgüter übertragbar sein, die für den privaten Haushalt von Bedeutung sind. In der Automobilbranche gibt es Beispiele, dass produzierende Unternehmen (bei ausreichender Nachfragemacht) von ihren Lieferanten detaillierte Rezepturen im Rahmen von Vertraulichkeitserklärungen erhalten (Spengler et al. 2002). Dieser Austausch bleibt dann allerdings in den meisten Fällen begrenzt auf den Hersteller und den Lieferanten. Im Rahmen der Neuordnung der Chemikalienpolitik in der Europäischen Union (EU 2001) wird derzeit an der Umsetzung des Konzeptes der „geteilten Produktverantwortung“ gearbeitet. Hier ist ebenfalls eine Intensivierung des Informationsflusses in der Produktkette erforderlich – auch hinsichtlich des Einsatzes problematischer Inhaltsstoffe (Bunke et al. 2002c).

Die Erweiterung von klassischen Produktentwicklungs-Zielen um das Ziel der Schadstoff-Reduktion ist ein wesentlicher Element einer umfassenden ökologischen Optimierung (Lewis et al. 2001). Sie sollte ihrerseits Teil einer nachhaltigen Produktentwicklung sein, in der neben den ökologischen Aspekten auch die ökonomischen und die sozialen Fragen berücksichtigt werden, die für das untersuchte Produkt von Bedeutung sind. Hier stehen eigene Bewertungssysteme zur Verfügung bzw. sind in Entwicklung (Tischner et al. 2000, Ewen et al. 1997).

Auf dem Nürnberger Kongress zur Integrierten Produktpolitik vom Dezember 2001 wurde ein Staubsauger präsentiert: als erster Prototyp eines nach den Kriterien der integrierten Produktpolitik vorgestellten Produktes. Diese Auswahl ist nicht zufällig. Sie verdeutlicht, dass dem privaten Haushalt auch in Zukunft für die nachhaltige Entwicklung eine große Bedeutung zukommt. In ihm werden letztlich eine ganze Reihe zentraler Bedürfnisfelder zusammengeführt und gestaltet: Bauen und Wohnen, Mobilität, Bekleidung, Ernährung, Information und Kommunikation. In einer vor kurzem veröffentlichten Gesamtschau der bisherigen und der zukünftigen Entwicklung der Haushaltstechnik von 1951 bis 2051 (Schlich 2001a) wird deutlich herausgestellt, dass angesichts der Bevölkerungsprognosen die extrem hohen Energieumsätze unserer Gesellschaft radikal gesenkt werden müssen. Haushaltstechnisch ist dies ohne weiteres möglich – auch mit heute bereits bekannten Techniken, allerdings unter erheblichem finanziellen Aufwand (Schlich 2001a).

Bedauerlich ist hierbei, dass trotz dieser Potenziale das Forschungsfeld „Privater Haushalt“ und in ihm der Bereich der Haushaltstechnik als interdisziplinäre Arbeitsfelder aktuell in Deutschland praktisch fehlen. Einzelne hier wichtige Aspekte

werden zwar durchaus bearbeitet – z.B. Fragen der Hausgerätetechnik, der Energieversorgung, der haustechnischen Planung, der Architektur, der Textilwissenschaft, der Entsorgung und der Innenraum-Toxikologie, zum Teil auch mit einer deutlichen Stärkung des internationalen Austausches, etwa im Bereich der Umweltmedizin (Eikmann und Exner 2000). Ein systematischer Austausch und eine gezielte Zusammenarbeit im Sinne eines interdisziplinären oder gar transdisziplinären Ansatzes (Brand 2000, BMBF 2001) findet aber derzeit noch nicht statt. Hier sind für die Entwicklung nachhaltiger Produkte viele Möglichkeiten zu einer stärkeren fachübergreifenden Kooperation erkennbar, die genutzt werden sollten.

Nachhaltige Produktentwicklung, verstanden als Teil der integrierten Produktpolitik von Unternehmen, kann auch im Bereich der Konsum- und Investitionsgüter für private Haushalte zu deutlich optimierten Produkten führen. Diese stellen ein Element auf dem Weg in eine nachhaltige Gestaltung unserer Gesellschaft dar. Schadstoffbezogene Bewertungssysteme, wie sie im Rahmen der hier vorgestellten Arbeit entwickelt und erprobt wurden, sind hier ein wichtiger Baustein.

Zusammenfassung

Private Haushalte haben einen maßgeblichen Anteil an den Stoffströmen und Umweltbelastungen in Deutschland. Konsum- und Investitionsgüter, die in privaten Haushalten verbraucht bzw. gebraucht werden, sind in den letzten Jahrzehnten in vielfältiger Hinsicht ökologisch optimiert worden. Dennoch kann es im Haushalt zu gesundheitlichen Belastungen durch Schadstoffe kommen, die entweder gezielt als Haushaltschemikalien eingesetzt werden oder Bestandteil von komplex aufgebauten Haushaltsgeräten sind, aus denen sie austreten können.

Für die Entwicklung ökologisch optimierter Produkte stehen eine Reihe von Bewertungsinstrumenten zur Verfügung. Ihr Schwerpunkt liegt bei ökobilanzieller Strukturierung in der Regel auf der Bewertung des Energie- und Materialverbrauches, des Abfallaufkommens und der Freisetzung von Massenschadstoffen. In Ökobilanzen finden produktspezifische Schadstoffe mit toxischen und ökotoxischen Eigenschaften bisher wenig Berücksichtigung.

In der vorgelegten Arbeit wird ein spezieller Aspekt der ökologischen Optimierung von Konsum- und Investitionsgütern privater Haushalte dargestellt: die Verringerung des Schadstoffgehaltes - in Produkten und bei ihrer Produktion. Hierzu werden Instrumente für die Schadstoff-Bilanzierung und -Bewertung entwickelt und angewendet. Es werden vier Schwerpunkte gesetzt:

- Übersicht über Schadstoffe, die im privaten Haushalt auftreten können
- Schadstoff-Reduktionspotenziale am Beispiel von Fernsehgeräten
- Bilanzierung von Gefahrstoffen in Produkten und Prozessen
- Analyse und Optimierung von Produktsortimenten

Die wesentlichen Ergebnisse der Arbeiten können folgendermaßen zusammengefasst werden (siehe auch Kap. 4):

1. In vielen Konsum- und Investitionsgütern, die im privaten Haushalt genutzt werden, können Stoffe mit gefährlichen Eigenschaften für Mensch und Umwelt enthalten sein.

Es gibt zahlreiche Produkte, die sich durch ein Gesundheitsbelastungs- bzw. Gesundheitsgefährdungspotenzial auszeichnen (siehe Kap. 3.1). Zwischen den auf dem Markt verfügbaren Einzelprodukten lässt sich bei den untersuchten Produktgruppen ein zum Teil erheblicher Unterschied im Schadstoffgehalt erkennen. Bei den näher untersuchten Holzschutzmittel wird ein Unterschied im prozentualen Gehalt an Gefahrstoffen um den Faktor 15 gefunden (siehe Tabelle 10). Noch deutlicher werden die Unterschiede, wenn die im Produkt vorhandenen Gefahrstoffe anhand ihrer Toxizität gewichtet werden (siehe Kapitel 3.1.7). Für viele Produktgruppen stehen inzwischen Einzelprodukte zur Verfügung, die weitgehend gefahrstoff-frei sind (siehe Kapitel 3.1.7).

2. Durch eine gezielte Stoffauswahl ist es möglich, bei für Haushalte relevanten Produkten zu einer erheblichen Schadstoff-Reduzierung zu gelangen.

Die Untersuchung einzelner Konsum- und Investitionsgüter des Haushalts macht deutlich, dass seitens der Hersteller durch eine gezielte Produkt-Optimierung, seitens der VerbraucherInnen durch eine bewußte Produkt-Auswahl erhebliche Schadstoff-Einsparungen möglich sind. Entsprechende Zielsetzungen für die Produktoptimierung werden im Kap. 3.1.8 genannt. Der Gesamt-Schadstoffgehalt kann für ein konventionelles Fernsehgerät (technische Ausstattung: Mittelklasse) von etwa 200 Gramm auf 5 Gramm gesenkt werden (siehe Kapitel 3.2.5). Die Ergebnisse sind in vielen Aspekten auch auf andere Elektronikgeräte des privaten Haushaltes übertragbar.

3. Es ist möglich, in klassische, ökobilanziell ausgerichtete Bewertungsinstrumente produktspezifische Schadstoff-Bewertungen zu integrieren.

Trotz der Bedeutung von Schadstoffen für Konsum- und Investitionsgüter privater Haushalte sind in ökobilanziellen Bewertungssystemen produktspezifische Schadstoffe und der Gefahrstoffeinsatz bei der Produktion bisher in der Regel nicht berücksichtigt worden. Im Rahmen der hier vorgestellten Arbeiten werden zwei spezifische Bilanzierungs- und Bewertungshilfen für den Schadstoffgehalt von Produkten entwickelt und an Produkten getestet, die im privaten Haushalt eingesetzt werden: der Gesamt-Schadstoffgehalt und das produkt- bzw. prozessbezogene Gefahrstoffpotenzial (HSP), angegeben in MEG-Äquivalenten.

- Der am Beispiel der Fernsehgeräteelektronik erarbeitete Indikator „Gesamt-Schadstoffgehalt“ ergänzt die in ökobilanziellen Untersuchungen enthaltenen Schadstoffdaten. Er ermöglicht auch die Berücksichtigung produktgruppenspezifischer Schadstoffe – etwa halogenorganischer Flammenschutzmittel oder schwermetallhaltiger Lote. Datengrundlage sind die Rezepturen der Bauelemente (siehe Kap. 3.2).
- Der Gefahrstoffeinsatz bei vorgelagerten Produktionsprozessen und der Gefahrstoffgehalt von Produkten kann durch die Berechnung des Gefahrstoffpotenzials (HSP) beurteilt werden (siehe Kap. 3.3). Mit der Methodik der MEG-Äquivalente werden arbeitsschutzbezogene rechtliche Regelungswerke berücksichtigt. Die vorgenommene Weiterentwicklung des Wirkfaktoren-Modells der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 440 ermöglicht die Umsetzung von Gefahren-Hinweisen (R-Sätzen) in Bewertungskennzahlen. Die Auswahl einer Referenzsubstanz erlaubt prozessbezogene Gefahrstoffbilanzierungen auf der Grundlage leicht zugänglicher Daten. Durch den Einbezug der Wirkfaktoren der TRGS 440 sind jetzt wesentlich aussagekräftigere Produktvergleiche durchführbar als im Falle der alleinigen Berechnung der absoluten Schadstoffgehalte.

Schadstoffbezogene Bewertungssysteme können von Unternehmen für die Produktentwicklung eingesetzt werden. In Einzelfällen findet eine Umsetzung von Instrumenten zur ökologischen Produktbewertung in Form von Eingangsfiltern tatsächlich statt (Bunke et al. 1998b). Im Rahmen des Forschungsprojekt „EcoMTex“ ist ein relationales Datenbankmanagementsystem entwickelt worden - Dialog^{PLUS} -, das die Auswahl und Bewertung von Prozesschemikalien und Betriebsmitteln im Rahmen einer Sortimentsoptimierung wesentlich erleichtern kann (siehe Kap. 3.4).

Die Anwendung dieser Instrumente ist in vielen Fällen nicht einfach. Die Anwendung wird erleichtert, wenn die Bewertungssysteme auf der Grundlage von Daten arbeiten, die im Unternehmen bereits aus anderen Gründen verankert sind. Hierzu gehören z.B. produktbezogene Informationen aus Sicherheitsdatenblättern, gesetzliche Vorgaben zum Gefahrstoffmanagement und betrieblich vorliegende Prozessinformationen aus Umweltmanagement-/informationssystemen bzw. Prozesssteuerungssystemen.

Auch in Zukunft wird dem privaten Haushalt für die nachhaltige Entwicklung der Gesellschaft eine große Bedeutung zukommen. In ihm werden letztlich eine ganze Reihe zentraler Bedürfnisfelder zusammengeführt und gestaltet: Bauen und Wohnen, Bekleidung, Ernährung, Information und Kommunikation. Bei der Entwicklung ökologisch optimierter Produkte für den privaten Haushalt kann die Erweiterung von klassischen Bewertungsinstrumenten um produktspezifische Schadstoff-Bewertungsmodule, wie sie in dieser Arbeit vorgestellt werden, wesentliche Hilfestellungen geben.

Literatur

BgVV 1998b	Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin: Verwechslungen von Haushaltschemikalien mit Lebensmitteln ausschließen! Pressemitteilung 23/98 des BgVV, Berlin 1998
BgVV 2000a	Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin: BgVV und ESPED führen Studie zu Vergiftungen mit Lampenölen durch. Pressemitteilung 09/2000, BgVV, Berlin 2000
BgVV 2000b	Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin: Haushalts-Chemikalien: Auch ältere Mitbürger sind verstärkt gefährdet. Pressemitteilung 01/2000 des BgVV, Berlin 2000
BgVV 2000c	Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin: Bericht über die 60.Sitzung der Kommission/Expertengruppe für kosmetische Mittel des Bundesinstituts für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV) am 29./30. Mai 2000 in Berlin. BgVV, Berlin 2000
BgVV 2002	Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin: BgVV startet Studie zum Vorkommen von bromierten Flammschutzmitteln in Muttermilch. Pressemitteilung 01/2002, BgVV, Berlin 2002
BIA 1996	Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit (BIA); Gefahrstoffe ermitteln und ersetzen. Eine Anleitung zur Gefahrstoffermittlung und Ersatzstoffsuche. BIA-Report 13/96, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften. Sankt Augustin 1996
Bleeker et al. 1999	Bleeker, I.; Fischer, A.; Tilkes, F.; Eikmann, T.; PCB-Konzentrationen im menschlichen Blut. Umweltmedizin in Forschung und Praxis 4 (2), S. 84 – 96, 1999
BLU 1996	Die Stoffe, aus denen unsere Kleider sind. Umweltorientierte Unternehmenspolitik in der textilen Kette. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, München, 1996
Blum et al. 1977	Blum, A.; Gold, M.; Ames, B.; Kenyon, C.; Thenol, J.; Children absorb Tris-BP flame retardant from sleepwear: urine contains the mutagenic metabolite, 2,3-dibromopropanol. Science, 201, p. 1.020-1.023, 1978
Blum und Ames 1978	Blum, A.; Ames, B.; Flame retardant additives as possible cancer hazards. Science, 195, p. 17-23, 1977
BMA 1996	BMA (Bundesministerium für Arbeit) (1996): Technische Regeln für Gefahrstoffe, TRGS 440; Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen durch Gefahrstoffe am Arbeitsplatz; Vorgehensweise (Ermittlungspflichten). Bekanntmachung des BMA vom 03.09.1996. IIIb4-35125-5. Bundesarbeitsblatt Heft 109, 1996. Kohlhammer W, S. 88-127, 1996
BMBF 2001	Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Richtlinien zur Förderung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben in ausgewählten Themenschwerpunkten sozial-ökologischer Forschung (I. Teil). BMBF, Berlin, 26. Juli 2001

BMBF/UBA 2001	Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.); Second Statusseminar Endocrine Disruptors, Berlin, 2.-4. April 2001, Abstracts. GSF, München, 2001.
BMU 1992	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Konzeption der Bundesregierung zur Verbesserung der Luftqualität in Innenräumen. BMU, Bonn 1992
BMU 2001	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Europäische Regelungen zu Elektro- und Elektronikgeräten. Umwelt, 9/2001, S. 620 – 624, 2001
Brand 2000	Brand, K.-W. (Hrsg.); Nachhaltige Entwicklung und Transdisziplinarität. Besonderheiten, Probleme und Erfordernisse der Nachhaltigkeitsforschung. Analytica, Berlin 2000
Braunschweig 1999	Braunschweig, A.; Bewertung in Ökobilanzen. Projektbericht und Projektdokumentation. Umweltbundesamt, UFO-Plan Nr. 101 02 165, Berlin 1999
Bruhn et al. 1999	Bruhn, T.; Gülden, M.; Ludewig, S.; Seibert, H.; Einstufung von Schadstoffen als endokrin wirksame Substanzen. Reihe „Texte“ des Umweltbundesamtes, Band 65/99. Umweltbundesamt, Berlin 1999
Brunn und Rimkus 1997	Brunn, H.; Rimkus, G.; Synthetische Moschusduftstoffe - Anwendung, Anreicherung in der Umwelt und Toxikologie. Teil II. Ernährungs-Umschau 44, Heft 1, S. 4 - 9, 1997
BUA 1987	Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe (BUA); Tris(2-chlorethyl)-phosphat. BUA-Stoffbericht 20. VCH-Verlag, Weinheim 1987
BUA 1992	Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe (BUA); Chlorparaffine. BUA-Stoffbericht 93. VCH-Verlag, Weinheim 1992
Bullinger et al. 2002	Stoffstrommanagement. Effizient produzieren nach Umwelt- und Kostenzielen. Viertes Managementsymposium Produktion und Umwelt, 20. Februar 2002. Fraunhofer Institut Arbeitswirtschaft und Organisation, Stuttgart 2002
BUND 1993	BUND; BUND-Position Innenraumlufte. Arbeitskreis Umweltchemikalien/Toxikologie, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, Bonn 1993
Bundesverband 1997	Bundesverband Flächenheizungen; Neue Richtlinie zur Wärme- und Trittschalldämmung. Fußbodenheizungen richtig dämmen. sbz, Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik, Gentner Verlag Stuttgart, Heft 21 (2), 1997
Bunke 1996a	Bunke, D.; Risikopotentiale von halogenorganischen Flammenschutzmitteln. Forschungskoooperation Ökoforum; Stoffflüsse ausgewählter umweltrelevanter chemischer Stoffe: Produktliniencontrolling. Texte 80/96, Umweltbundesamt Berlin 1996, Kapitel 2.4, S. 73 – 90

-
- Bunke 1996b
Bunke, D.; Strategien zur Vermeidung von persistenten, akkumulierenden Umweltschadstoffen. In: Belastung von Säugetieren mit Umweltschadstoffen. Analytik, Ergebnisse und Konsequenzen. Tagungsband zum Workshop 15./16. November 1995, S. 3-13. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 1996
- Bunke 1999a
Bunke, D.; Vegetationskontrolle im Gleisbereich. Ursachen- und Symptombehandlung als Elemente eines integrierten Vegetationsmanagements. Tagungsbeitrag auf der Tagung „Bahnen und Umwelt“, 23. –24. 9. 1999. VDI-Berichte Band 1488, 1999, S. 203-221.
- Bunke 1999b
Bunke, D.; Toxikologische Bewertung produktions- und produktspezifischer Schadstoffe. In Strubel, V. et al. 1999; Beiträge zur Entwicklung einer Kreislaufwirtschaft am Beispiel des komplexen Massenkonsumproduktes TV-Gerät : Teilvorhaben 1: Ökologische und ökonomische Begleitforschung "Grüner Fernseher". Endbericht, Öko-Institut e.V., Freiburg/Darmstadt/Berlin 1999, S. 114 - 120.
- Bunke 1999c
Bunke, D.; From individual materials to material flow management. *Melliand international textile reports*. Vol 7-8/1999, p.E. 167 – E 170, 1999
- Bunke et al. 1992
Bunke, D.; Griesshammer, R.; Pfeiffer, R.; Hoechst beantragt R134a-Produktion. Informationsdienst Chemie und Umwelt 1/92, S. 10, 1992
- Bunke et al. 1997a
Bunke, D.; Eberle, U.; Griebhammer, R.; Bewertung und Entwicklung von Methoden zur Vegetationskontrolle im Gleisbereich - Projektbegleitung mit Akteurskonferenzen. Projekt im Auftrag der Deutschen Bahn AG. Öko-Institut, Freiburg/Darmstadt/Berlin 1997
- Bunke et al. 1997b
Bunke, D.; Eberle, U.; Vegetation Control on Railway Track Installations - Assessment and Developments of Methods. Report for the Conference „Weed Control“, 23./24. September 1997, Berlin
- Bunke et al. 1998a
Bunke, D.; Fromme, J.; Dettenkofer, M.; Vergleichende ökologische Bewertung zu in Fußbodenheizungen eingesetzten Dämmelementen; Studie im Auftrag der D.F. Liedelt VELTA GmbH, Norderstedt, Endbericht; Öko-Institut e.V., Freiburg/Darmstadt/Berlin 1998
- Bunke et al. 1998b
Bunke, D.; Reichart, I.; Heymann, S.; Gensch, C.-O.; Eberle, U.; Both, G.; Griebhammer, R.; Jäger, I.; Stoffstrommanagement und Bewertung im Textilbereich. Studie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr, Baden-Württemberg, und der Triumph International AG, Heubach. Öko-Institut e.V., Freiburg/Darmstadt/Berlin 1998
- Bunke et al. 1999
Bunke, D.; Reichart, I.; Heymann, S.; Vom Einzelstoff zum Stoffstrommanagement. *melliand Textilberichte* 7-8/99, S. 630-633, 1999

-
- Bunke et al. 2000
Bunke D, Griesshammer R, Gensch C-O, Quack D, Ebinger F, Strubel V, Hochfeldt C (2000): Die integrierte ökologische Bewertung: EcoGrade. Version 1/2000. Methodik der Wirkungsabschätzung, Auswertung und Bewertung unter Einbezug von Umweltzielen. Öko-Institut e.V., Freiburg/Darmstadt/Berlin 2000
- Bunke et al. 2001a
Bunke, D.; Wursthorn, S.; Augspurger, L.; Haushaltschemikalien als gesundheitliche Belastungsquelle – Problemstoffe, Produktgruppen und Reduktionsmöglichkeiten. Umweltmedizin in Forschung und Praxis, 6 (6), S. 323 – 335, 2001
- Bunke et al. 2001b
Bunke, D.; Viereck, H.-G.; Peters, H.; Strubel, V.; Der „Grüne Fernseher“; Ein Beispiel für die Schadstoffreduktion in der Haushaltselektronik. Hauswirtschaft und Wissenschaft, 49 (3), S. 139 – 144, 2001
- Bunke et al. 2002a
Bunke, D.; Goldbach, M.; Schneidewind, U.; Naschke M, Jäger I : Produkt und Sortimentsoptimierung durch produktbezogene Umweltinformationssysteme. Melliand Textilberichte 3/2002, S. 176 – 179, 2002
- Bunke et al. 2002b
Bunke, D.; Naschke, M.; Jäger, I.; Goldbach, M.; Schneidewind, U.; Product-related environmental information systems for the optimisation of products and product-ranges. Melliand Textilberichte, International Textile Reports, 3/2002, p. E38-E40, 2002
- Bunke et al. 2002c
Bunke, D.; Ebinger, F.; Jäger, I.; Schneider, K.; Das Weißbuch zur Neuordnung der Chemikalienpolitik: vom Konzept zur Umsetzung. Anforderungen, Erfahrungen und Perspektiven für den Informationsfluß. Öko-Institut e.V., Freiburg/Darmstadt/Berlin 2002
- Bunke und Augspurger 2001
Bunke, D.; Augspurger, L.; Haushaltschemikalien. Kapitel VIII-1.12 im Handbuch der Umweltmedizin, ecomed-Verlag, Landsberg, 2001
- Bunke und Graulich 2001
Bunke D, Graulich K (2001): Ein Indikator für den Einsatz gefährlicher Stoffe in Produkten und Prozessen: Monoethylenglykol-Äquivalente. UWSF - Z. Umweltchem. Ökotox , online first, 2001
- Bunke und Gröger 1993
Bunke, D.; Gröger, J.; Dioxine und Furane, Schadwirkung und Vorbeugung. Dokumentation des 2.- Frankfurter Fachgespräches "Dioxine". Öko-Institut e.V., Freiburg/Darmstadt/Berlin 1993
- Butte et al. 1988
Butte, W.; Paul, C.; Willig, A.; Zauke, G.-P.; Beziehungen zwischen der Struktur von Phenolen und ihrer Akkumulation gemessen im Flow-Through Fisch Test (OECD No. 305 E). Forschungsbericht FKZ 196 02 053, Umweltbundesamt Berlin 1988.
- BVSE 2000
Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung (BVSE); Elektro- und Elektronikschrottverwertung. Das RECYCLING-Netz. BVSE, Rheinbach 2000

-
- Carlson et al. 1976
Carlson, D.; Konyha, K.; Wheeler, W.; Marshall, G.; Zaylskie, R.; Mirex in the Environment: its degradation to kepone and related compounds. *Science*, 194, S. 939-941, 1976
- Carr und Rosenkranz 1978
Carr, H.; Rosenkranz, H.; Mutagenicity of derivatives of the flame retardant tris-(2,3-dibrompropyl)phosphate: halogenated propanols. *Mutat. Res.* 57, p. 381-384
- Colborn et al. 1993
Colborn, T.; vom Saal, F.; Soto, A.; Developmental effects of endocrine –disrupting chemicals in wildlife and humans. *Environmental Health Perspectives* 101, p. 378 – 384, 1993
- Darschin und Bernward 1998
Darschin, W.; Bernward, F.: Tendenzen im Zuschauerverhalten. *Media Perspektiven* Nr. 4, 1998
- de Man et al. 1997
de Man, R.; Claus, F.; Völke E.; Ankele, K.; Fichter, K. Aufgaben des betrieblichen und betriebsübergreifenden Stoffstrommanagements. Berlin: Umweltbundesamt, 1997
- DECHEMA 2002
DECHEMA; Material- und Energieflußanalyse als Instrument zur ökonomischen und ökologischen Optimierung von Produktionsabläufen in der chemischen Industrie. Workshop, 23./24. Januar 2002, Tagungshandbuch. DECHEMA, Frankfurt 2002
- DFG 2001
Deutsche Forschungsgemeinschaft: MAK- und BAT-Werte-Liste: Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und biologische Arbeitsplatztoleranzwerte. Senatskommission zur Prüfung gesundheitlicher Arbeitsstoffe. 37. Mitteilung. WILEY-VCH-Verlag, Weinheim 2001
- DGE 1996
Deutsche Gesellschaft für Ernährung; Ernährungsbericht 1996. DGE, Frankfurt 1996, S. 170
- DGE 2000
Deutsche Gesellschaft für Ernährung; Ernährungsbericht 2000. DGE, Frankfurt 2000, S. 200 - 206
- Eikmann et al. 2000
Eikmann, T.; Eikmann, S.; Göen, T.; Benzol – Exposition und Risikoabschätzung. *Umweltmedizin in Forschung und Praxis* 5 (6), S. 309 – 318, 2000
- Eikmann und Exner 2000
Eikmann, T.; Exner, M.; Kooperation zwischen ISEM und GHU. *Umweltmedizin in Forschung und Praxis* 5 (3), S. 125 – 126, 2000
- Enquete 1994
Enquete-Kommission. Die Industriegesellschaft gestalten: Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen. Report of the Parliamentary Commission of Inquiry. Bonn: Economica Verlag, 1994
- Ewen et al. 1997
Ewen, C.; Ebinger, F.; Gensch, C.-O.; Gießhammer, R.; Hochfeld, C.; Wollny, V.; HoechstNachhaltig. Sustainable Development: Vom Leitbild zum Werkzeug. Öko-Institut e.V., Freiburg/Darmstadt/Berlin 1997
- Fischer und Böhm 1994
Fischer T.M.; Böhm E.: Erkennung und Bewertung von Schadstoffemissionen aus Möbellacken. Erich Schmidt-Verl., Berlin, 1994
- Franke et al. 1994
Franke, C.; Studinger, G.; Berger, G.; Böhling, S.; Bruckmann, U.; Cohors-Fresenborg, D.; Jöhncke, U.; The assessment of bioaccumulation. *Chemosphere*, Vol 29, Nr.7, S. 1.501-1.514, 1994

-
- Fuchs et al. 2001 Fuchs, H.; Vogel, C.; Haase, J.; Hitze- und Feuerschutztextilien – Neue Entwicklungen. Textilveredlung 9/10 (36), 2001, S. 5 – 14
- Gensch et al. 1993 Gensch, C.-O.; Pfeifer, R.; Bunke, D.; Deininger, G.; Vergleich von Transportverpackungssystemen für Gasheizgeräte unter ökologischen Gesichtspunkten, Öko-Institut e.V., Freiburg/Darmstadt/Berlin 1993
- Gensch et al. 1995 Forschungskoooperation Ökoforum; Gensch, C.-O.; Bunke, D.; Schramm, E.; Zundel, S.; Englert, M.; Henseling, K.; Beckenbach, F.; Brendle, U.; Justen, M.; Geißler, C.; Gesamtökologische Betrachtung der Herstellung und Anwendung chemischer Produkte - Bausteine für ein strategisches Stoffstrommanagement. Reihe „Texte“ des Umweltbundesamtes, Band 7/95, Umweltbundesamt, Berlin 1995.
- gfu 1997 Gesellschaft für Unterhaltungs- und Kommunikationselektronik (gfu): Der deutsche Markt für Unterhaltungselektronik, 1997
- gfu 1999 Gesellschaft für Unterhaltungs- und Kommunikationselektronik (gfu): Presseinformation: Konsumelektronik 1998 mit deutlichem Plus: Zuwächse in der privaten Telekommunikation, bei Home-PCs und in der klassischen Unterhaltungselektronik; Internet-Information: Rubrik 'News' (29.3.99), <http://www.gfu.de/Pages/newshe/jahr98.htm>, eingesehen am 6.7.99
- Gies et al. 1998 Gies, A.; Wenzel, A.; Gahr, M.; Effects of Endocrine Disrupters in the Environment on Neuronal Development and Behaviour – Current Knowledge, Assessment, Gaps. Workshop-Dokumentation, Berlin, 17.18.2.1997. Reihe „Texte“ des Umweltbundesamtes, Band 50/98. Umweltbundesamt, Berlin 1998
- GISBAU 2001 Gefahrstoffinformationssystem der Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft (GISBAU): Gefahrstoffe beim Bauen, Renovieren und Reinigen. Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, Frankfurt 2001
- Glaeske 1998 Glaeske, G.; Arzneimittel in Gewässern – Risiko für Mensch, Tier und Umwelt? – Konsequenzen unter Berücksichtigung des Arzneimittelverbrauches. In: Hessische Landesanstalt für Umweltschutz (Hrsg.); Arzneimittel in Gewässern. HLFU Schriftenreihe Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz, Nr. 254, Wiesbaden, S. 97 - 104
- Goedkoop et al. 1998 Goedkoop, M.; Hofstetter, P.; Müller-Wenck, R.; Spriemsma, R.; The Eco-Indicator 98 Explained. Int. J. LCA 3 (6); p. 352- 360, Landsberg 1998
- Graulich 2000 Graulich, K.; Integration von schadstoffbezogenen Bilanzierungen in die Ökobilanzen von Wohngebäuden. Vom Niedrig-Energiehaus zum Niedrig-Schadstoffhaus. Diplomarbeit im Studiengang Technisches Gesundheitswesen, Fachhochschule Lübeck, 2000.
- Graulich 2001 Graulich, K.; Bauen mit Verstand: Wie aus einem Niedrigenergiehaus auch ein Niedrigschadstoffhaus werden kann. Öko-Mitteilungen (1) 2001, S. 12 - 15, Freiburg 2001

-
- Greenpeace 1995
Greenpeace; Chlorparaffin - Untersuchungsprogramm "Lebensmittel, Muttermilch, Meerestiere". Greenpeace e.V., Hamburg 1995
- Grießhammer et al. 1997
Grießhammer, R.; Bunke, D.; und Gensch, C.-O. Produktlinienanalyse Waschen und Waschmittel. Texte 1, 1997. Berlin: Umweltbundesamt, 1997
- Gülden et al. 1997
Gülden, M.; Turan, A.; Seibert, H.; Substanzen mit endokriner Wirkung in Oberflächengewässern. Reihe „Texte“ des Umweltbundesamtes, Band 46/97. Umweltbundesamt, Berlin 1997
- Gustafsson 1994
Gustafsson, K.; Short ecotoxicological reviews and hazard analyses of some flame retardants. The flame retardants projekt. Report PM Nr. 10/94. National Chemicals Inspectorate, Sweden 1994
- Hahn et al 2000
Hahn A; Michalak H; Begemann K; Preußner K; Heinemeyer G; Gundert-Remy U.: Ärztliche Mitteilungen bei Vergiftungen nach § 16 Chemikaliengesetz 1998. Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV), Berlin 2000
- Hallett et al. 1978
Hallett, D.; Khera, K.; Stoltz, D.; Chu, I.; Villeneuve, D.; Trivett, G.; Photomirex: synthesis and assessment of acute toxicity, tissue distribution and mutagenicity. Journal agric. Food Chem., 26, S. 388 - 391, 1978
- Henseling 1996
Henseling, K.-O.; Kleidung und Mode - ein Umweltthema? Zur Bedeutung der textilen Kette für eine nachhaltige Wirtschaftsweise. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, München, 1996
- Huijbregts et al. 2000
Huijbregts, M.; Thissen, U.; Guinée, J.; Jager, T.; Kalf, D.; van de Meent, D.; Ragas, A.; Sleeswijk, A.; Reijnders, L.; Priority assessment of toxic substances in life cycle assessment. Part I: Calculation of toxicity potenzials for 181 substances with the nested multi-media fate, exposure and effects model USES-LCA. Chemosphere 41 (2000), p. 541 – 573, 2000
- IARC 1979
International Agency for Research on Cancer; Some halogenated hydrocarbons. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 20. IARC, Lyon/Frankreich 1979
- IARC 1987
International Agency for Research on Cancer; Overall evaluations of carcinogenicity: an updating of IARC monographs volume 1-42. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Supplement 7. IARC, Lyon/Frankreich 1987
- IARC 1989
International Agency for Research on Cancer; Some organic solvents, resin monomers and related compounds, pigments and occupational exposures in paint manufacture and painting. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 47. IARC, Lyon/Frankreich 1989

IARC 1990	International Agency for Research on Cancer; Some flame retardants and textile chemicals, and exposures in the textile manufacturing industry. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 48. IARC, Lyon/Frankreich 1990
IPCS 1994a	International Programme on Chemical Safety; Polybrominated Biphenyls. Environmental Health Criteria 152. WHO, Genf 1994
IPCS 1994b	International Programme on Chemical Safety; Brominated Diphenyl Ethers. Environmental Health Criteria 162. First Draft prepared by G. Esch. WHO, Genf 1994
IPCS 1995	International Programme on Chemical Safety; Tetrabromobisphenol A and Derivatives. Environmental Health Criteria 172. WHO, Genf 1995
Jäger 1999	Jäger, I.; Biologische Wirkungstests als Instrument zum ökologischen Stoffstrommanagement. Melliand Textilberichte 7-8/1999, 1999, S. 634-637
Janssen et al. 1997	Janssen, I.; Reichart, I.; Bunke, D., unter Mitwirkung von Waechter, F.; Ruffli, H.; Phyto-estrogens and hormonally active environmental chemicals. Possibilities and limitations of comparative risk evaluations. Xeno-estrogen Dialogue Group (Österreichisches Ökologie Institut, Öko-Institut, Ciba-Geigy Basel). Öko-Institut e.V., Freiburg/Darmstadt/Berlin 1997
Kalberlah et al. 1998	Kalberlah, F.; Wriedt, H.; Bewertung und Fortentwicklung der Regelungsetzung: Anwendbarkeit der TRGS 440. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund/Berlin 1998.
Keller et al. 1998	Keller D, Wahnschaffe U, Rosner G, Mangelsdorf I (1998): Considering Human Toxicity as an Impact Category in Life Cycle Assessment. Int. J. LCA 3 (2) 80-85, 1998
KEMI 1990	KEMI - Swedish National Chemicals Inspectorate; Workshop on brominated aromatic flame retardants, 24.-26. October 1990. Proceedings from the Workshop. KEMI, Sweden 1990
Klingenberg 1988	Klingenberg, A.; Fire retardants - Substances, environmental aspects, toxicology. Stichting Natuur en Milieu, Niederlanden 1988
Klöpffer und Renner 1994	Klöpffer, W.; Renner, I.; Methodik der Wirkungsbilanz im Rahmen von Produkt-Ökobilanzen unter Berücksichtigung nicht oder nur schwer quantifizierbarer Umwelt-Kategorien. Bericht zum Projekt des Umweltforschungsplanes Nr. 101 01 102, Umweltbundesamt, Berlin 1994
Kohler et al. 2001	Kohler, Niklaus; Eiermann, O.; Bunke, D.; Quack, D.; Jeske, U.; Möller, R.; Breiter, H.-P.; Linden, W.; Hinkes, R.; Umweltzeichen für ökologische Bauprodukte. Reihe „Texte“, Band 34/01. Umweltbundesamt, Berlin 2001
Kollmann 2002	Kollmann, K.; Entwicklungen der Kommunikationstechnik und ihre Folgen für Haushalte. Hauswirtschaft und Wissenschaft, 50 (1), S. 6 – 14, 2002

-
- Kommission der EU 2000
Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Ed: Grünbuch zur Umweltproblematik von PVC. Dok.-Nr. KOMM (2000) 469 endgültig, Brüssel 2000
- Kommission der EU 2001
Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Ed: Weißbuch. Strategie für eine zukünftige Chemikalienpolitik. Kom (2001) 88, Brüssel, 27. Februar 2001
- Kruse et al. 2001
Kruse, H.; Paulsen, O.; Schau, C.; Wieben, M.; Böhde, U.; Erarbeitung von Bewertungsgrundlagen zur Substitution umweltrelevanter Flammschutzmittel. Band III: Toxikologisch-ökotoxikologische Stoffprofile ausgewählter Flammschutzmittel. Reihe „Texte“ des Umweltbundesamtes, Band 26/01, Umweltbundesamt, Berlin 2001
- Kümmerer 2001a
Kümmerer, K. (Hrsg.); Pharmaceuticals in the Environment. Sources, Fate, Effects and Risks. Springer, Berlin, 2001
- Kümmerer 2001b
Kümmerer, K.; Drugs in the environment: emission of drugs, diagnostic aids and disinfectants into wastewater by hospitals in relation to other sources – a review. Chemosphere (45) 2001, p. 957 – 969
- Küster 2000
Küster, C.:Nutzen statt besitzen: Chancen und Grenzen haushaltsnaher Dienstleistungen. Hauswirtschaft und Wissenschaft, 48, Vol.3, 123 – 128, 2000
- Lazaroff 2000
Lazaroff, C.; Chemical in Computer Monitors triggers Allergies, Illnes. www.ens.lycos.com/ens/sep2000/2000L-09_19_07.html
- Leisewitz et al. 2001
Leisewitz, A.; Kruse, H.; Schramm, E.; Erarbeitung von Bewertungsgrundlagen zur Substitution umweltrelevanter Flammschutzmittel. Band I: Ergebnisse und zusammenfassende Übersicht. Reihe „Texte“ des Umweltbundesamtes, Band 25/01, Umweltbundesamt, Berlin 2001
- Leisewitz und Schwarz 2001
Leisewitz, A.; Schwarz, W.; Erarbeitung von Bewertungsgrundlagen zur Substitution umweltrelevanter Flammschutzmittel. Band II: Flammhemmende Ausrüstung ausgewählter Produkte – anwendungsbezogene Betrachtung: Stand der Technik, Trend, Alternativen. Reihe „Texte“ des Umweltbundesamtes, Band 26/01, Umweltbundesamt, Berlin 2001
- Lepper und Schönberger 1997
Lepper, P.; Schönberger, H.; Auswahl von Textilhilfsmitteln nach gewässerökologischen Gesichtspunkten. Klassifizierungskonzept mit Beispielen. In: Institut für Umweltverfahrenstechnik (IUV) (Hrsg.); Colloquium Produktionsintegrierter Umweltschutz, Abwässer der Textilindustrie/Wollverarbeitung und Nahrungsmittelindustrie. Tagungsband 1997. IUV, Bremen 1997
- Lepper und Schönberger 1998
Lepper, P.; Schönberger, H.; Konzipierung eines Verfahrens zur Erfassung und Klassifizierung von Textilhilfsmitteln, Abschlußbericht (FKZ 109 01 210) im Auftrag des Umweltbundesamtes, 1988
- Lewis et al. 2001
Lewis, H.; Gertsakis, J.; Grant, T.; Morelli, N.; Sweatman, A.; Design + Environment. A Global Guide to Designing Greener Goods. Greenleaf Publishing, Sheffield, Großbritannien 2001

LfU 2000a	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU); Betriebliche Energie- und Stoffstrommanagementsysteme. Methoden, Praxiserfahrungen, Software – eine Marktanalyse. LfU, Karlsruhe 2000
LfU 2000b	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU); Symposium Betriebliches Energie- und Stoffstrommanagement, 16. November 2000, Karlsruhe. Vortragsunterlagen. LfU, Karlsruhe 2000
Lindquist 1994	Lindquist, I.-M.; A survey of brominated alternatives to brominated diphenylethers. The flame retardants projekt. Report PM Nr. 3/94. National Chemicals Inspectorate, Sweden 1994
Mandelatz 1994	Mandelatz, K.; Chemische Emissionen und ihre Bewertung. Labor 2000, S. 102-105, 1994
Mathews et al. 1999	Mathews, T.; Fischer, A.; Eikmann, T.; ECORISK-Verfahren zur Expositions- und Risikoabschätzung in der Gefährdungsabschätzung und Sanierungsplanung von Altlasten. Umweltmedizin in Forschung und Praxis 4 (5), S. 289 – 300, 1999
N.N. 2001a	N.N.; Gift in den Kabeln. Holland stoppt den Europa-Import der Playstation One. Spiegel Online, 5. 12. 2001, www.spiegel.de/netzwelt/technologie/0,1518,171147,00.html
N.N. 2001b	N.N.; „Nur“ eine Gefahr für die Umwelt. Spiegel Online, 6. 12. 2001, www.spiegel.de/netzwelt/technologie/0,1518,171385,00.html
Naumann et al. 1993	Naumann, G.; Früh, D.; Töppe, S.: Schadstoffe aus neuen Elektroherden – ein gelöstes Problem? Hauswirtschaft und Wissenschaft, 5/1993, S. 197 – 201, 1993
Norén et al. 1999	Norén, K.; Meironyté, D.: Contamination in Swedish human milk. Decreasing levels of organochlorine and increasing levels of organobromine compounds. Organohalogen compounds Vol. 38, p. 1 –4, 1998
NTP 1991	National Toxicology Program; Toxicology and carcinogenesis studies of tris(2-chloroethyl)phosphate in F344/N rats and B6C3F1 mice. U.S.-Department of Health and Human Services (DHHS); Public Health Service, 1991
Nylund et al. 1992	Nylund, K.; Asplund, L.; Jansson, B.; Jonsson, P.; Litzen, K.; Sellstrom, U.; Analysis of some polyhalogenated organic pollutants in sediment and sewage sludge. Chemosphere 24 (12), S. 1.721-1.730, 1992
Öberg 1994	Öberg, T.; Brominated aromatics from waste handling and recycling processes. The flame retardants projekt. Report PM Nr. 14/94. National Chemicals Inspectorate, Sweden 1994
OECD 1994	OECD Environment Monograph Series No. 97; Risk Reduction Monograph No. 3: Selected brominated flame retardants. Background and national experience with reducing risk. Organisation for economic co-operation and development, Paris 1994

- Oehlmann und Markert 1999 Oehlmann, J.; Markert, B. (Hrsg.); Ökotoxikologie: ökosystemare Ansätze und Methoden. Ecomed Verlagsgesellschaft Landsberg/Lech, 1999
- Öko-Test 1999 Öko-Test CD. Das ganze Wissen von Öko-Test 1992-1999. Öko-Test Verlag, Frankfurt, 1999
- Öko-Test 2000 Öko-Test Verlag: Der Fall eines Falles. Öko-Test Magazin, Heft 3/2000, S. 34-35, 2000
- Öko-Test 2002 Öko-Test-Verlag: Öko-Test. Aktuelle Ausgaben, Öko-Test-Verlag, Frankfurt, 2002
- OSPAR 2001 OSPAR Sekretariat London, <http://www.ospar.org>; 2001
- Paasivirta 1999 Paasivirta, J. (Hrsg.); New types of persistent halogenated compounds. Handbook of environmental Chemistry, Vol. 3K: Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1999
- Parlar und Angerhöfer 1991 Parlar, H.; Angerhöfer, D.; Chemische Ökotoxikologie. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York 1991
- Petajan et al. 1975 Petajan, J.; Voorhees, K.; Packham, S.; Extreme toxicity from combustion products of a fire-retarded PUR-foam. Science 187, p. 742-744, 1975
- Pierson und Corlett 1995 Pierson, M.; Corlett, D. (Hrsg.); HACCP. Grundlagen der produkt- und prozessspezifischen Risikoanalyse. Behr's Verlag, Hamburg, 1995
- Pirntke und Ahrens 1999 Pirntke, U.; Ahrens, A.; Leitfaden für Formulierer und andere Anwender chemischer Stoffe. Reihe „Texte“ des Umweltbundesamtes. Umweltbundesamt, Berlin 1999
- Platzek 1997 Platzek, Th.: Gesundheitsgefährdung durch Bekleidungstextilien. Bundesgesundheitsblatt, Heft 7, 1997, S. 238 – 240
- Platzek 2001 Platzek, Th.: Stellungnahme zu optischen Aufhellern in Textilien. Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin, Berlin, 2001
- Pohle 1990 Pohle, H.; Polybromierte Diphenylether - Verbot als Flammschutzmittel. "UWSF-Z. Umweltchem. Ökotox." 2 (3), S. 148-150, 1990
- Quack 2000 Quack, D.; Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden anhand des Demonstrationsprojektes Niedrigenergiehäuser Heidenheim – eine Ökobilanz. Dissertation an der Fakultät für Architektur der RWTH Aachen. Aachen 2000
- RAL 2000 RAL: Umweltzeichen – Produktanforderungen, Zeichenanwender und Produkte. Deutsches Inst. Für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., St. Augustin 2000
- Rebmann et al. 1997 Rebmann, A.; Wauschkuhn, C.; Waizenegger, W.; Bedeutung der Moschusduftstoffe im Wandel der Zeit. Deutsche Lebensmittelrundschau 8, 1997, S. 251 - 255
- Richter et al. 2001 Richter, S.; Steinhäuser, K.-G.; Fiedler, H.: Beitragsserie POPs: Globaler Vertrag zur Regelung von POPs: Die Stockholm Konvention. Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung, 13, S. 1-6, 2001

-
- Rimkus 2000
Rimkus, G.: Unerwünschte Kontamination von Frauenmilch. In: Deutsche Gesellschaft für Ernährung (Hrsg.): Ernährungsbericht 2000, Frankfurt am Main, 2000
- Rimkus und Brunn 1996
Rimkus, G.; Brunn, H.; Synthetische Moschusduftstoffe - Anwendung, Anreicherung in der Umwelt und Toxikologie. Teil I. Ernährungs-Umschau 43, Heft 12, S. 442 - 449, 1996
- Sanderson 2001
Sanderson, H.; PFOS in Scotchgard by 3M to be phased out 2003. Chemical Awareness, Issue 15, 2001
- Schätzke 2000
Schätzke, M.: Haushaltstechnik im Wandel der Zeiten. Hauswirtschaft und Wissenschaft, 48, Vol. 2, S. 75-81, 2000
- Scheringer 1999
Scheringer, M.; Persistenz und Reichweite von Chemikalien. Wiley-VCH, Weinheim, 1999
- Schlich 1988
Schlich, E.; Verunreinigung der Luft in Innenräumen – eine Übersicht. Hauswirtschaft. Wiss. 36, 1999, S.
- Schlich 2000
Schlich, E.; Technik des Haushalts. Vorlesungs-Dokumentation. Justus-Liebig Universität Giessen, Professur des Haushalts. 11. Auflage, Giessen 2000
- Schlich 2001a
Schlich, E.: Haushaltstechnik: Technik des Haushalts 1951 – 2001 – 2051. Vortragsmanuskript, Bonn 20.09.2001. Justus-Liebig-Universität Giessen, Professur des Haushalts, Giessen 2001
- Schlich 2001b
Schlich, E.; Smart Home: Technik – Thesen – Trends. Hauswirtschaft und Wissenschaft, 49 (4), S. 173 – 177, 2001
- Schlumpf und Lichtensteiger 1993
Schlumpf, M.; Lichtensteiger, W.; Humanmilch. Daten zur Belastung mit PCB, Dioxinen, Pestiziden und Moschus-Xylol. Pharmakologisches Institut der Universität Zürich, 1993
- Schlumpf und Lichtensteiger 1996
Schlumpf, M.; Lichtensteiger, W.; Hormonaktive Xenobiotika. Störungen von Fortpflanzungs- und Entwicklungsprozessen. UWSF-Z. Umweltchem. Ökotox. 8 (6) S. 321-332, 1996
- Schmidt 1999
Schmidt, K.; Zur ökologischen Produktbewertung in der Textil und Bekleidungsindustrie – theoretische Grundlagen und praktische Umsetzung. Schriftenreihe Umwelttechnik und Umweltmanagement, Band 21. Private Universität Witten/Herdecke, 1999
- Schmitz und Paulini 1999
Schmitz, S.; Paulini, I.; Bewertung in Ökobilanzen. Methode des Umweltbundesamtes zur Normierung von Wirkungsindikatoren, Ordnung (Rangbildung) von Wirkungskategorien und zur Auswertung nach ISO 14042 und 14043, Version '99. Reihe UBA-Texte, Band 92/99, Umweltbundesamt Berlin 1999
- Schramm et al. 1996
Forschungskooperation Ökoforum; Schramm, E.; Buchert, M.; Bunke, D.; Lehmann, S.; Reifenhäuser, I.; Steinfeldt, M.; Strubel, V.; Weller, I.; Zundel, S.; Stoffflüsse ausgewählter umweltrelevanter chemischer Stoffe: Produktliniencontrolling. Reihe „Texte“ des Umweltbundesamtes, Band 80/96, Umweltbundesamt Berlin 1996
- Smola et al. 1997
Smola T.; Piringer, T.; Rühl, R.; Vergleich der Risikofaktorenmodelle in Deutschland nach TRGS 440 und in Österreich nach Piringer. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 57, 289-293

-
- Snyder et al. 2000 Snyder, E.; Snyder, S.; Giesy, J.; Blonde, S.; Hurlburt, G.; Summer, C.; Mitchell, R.; Bush, D.; SCRAM: A Scoring and Ranking System for Persistent, Bioaccumulative and Toxic Substances for the North American Great Lakes. Environmental Science and Pollution Research, Vol. 7, No.1;p. 51-61, 2000
- Soto et al. 1995 Soto, A.; Sonnenschein, C.; Chung, K.; Fernandez, M.; Olea, N.; Olea-Serrano, F.; The E-screen Assay as a tool to identify estrogens: an update on estrogenic environmental pollutants. Environmental Health Perspectives 103, Suppl. 7, p. 113-122, 1995
- Spengler et al. 2002 Spengler, T.; Ploog, M.; Schröter, M.; Stölting, W.; Stoffstrom-basiertes Supply Chain Management zur kosteneffizienten Schließung von Kreisläufen am Beispiel der Elektronikindustrie. In: Bullinger et al. (Hrsg.) 2002; Stoffstrommanagement. Effizient produzieren nach Umwelt- und Kostenzielen. Viertes Managementsymposium Produktion und Umwelt, 20. Februar 2002. Fraunhofer Institut Arbeitswirtschaft und Organisation, Stuttgart 2002, S. 121 – 144
- SRU 1987 SRU - Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen; Luftverunreinigungen in Innenräumen. Sondergutachten vom Mai 1987. Deutscher Bundestag, Drucksache 11/613 vom 15. Juli 1987
- Stamm 1993 Stamm, E.; Toxizitätszunahme bei Kunststoffbrandgasen durch Flammenschutzmaßnahmen. Staub - Reinhaltung der Luft, 53, S. 17-20, 1993
- Stiftung Warentest 1997 Stiftung Warentest; Gefährliche Dosen? test, 6/1997. Stiftung Warentest, Berlin, 1997, S. 97-100
- Strubel et al. 1999 Strubel, V.; Gensch, C.-O.; Buchert, M.; Bunke, D.; Ebinger, F.; Heber, E.; Hochfeld, G.; Grießhammer, R.; Quack, D.; Reichart, I.; Viereck, H.-G.; Beiträge zur Entwicklung einer Kreislaufwirtschaft am Beispiel des komplexen Massenkonsumproduktes TV-Gerät : Teilvorhaben 1: Ökologische und ökonomische Begleitforschung „Grüner Fernseher“. Endbericht, Öko-Institut e.V., Freiburg/Darmstadt/Berlin, 1999
- TEGEWA 1997 Verband der Textilhilfsmittel-, Lederhilfsmittel-, Gerbstoff- und Waschrohstoff-Industrie (TEGEWA); Selbstverpflichtung zur Klassifizierung von Textilhilfsmitteln (THM) nach ihrer Gewässerrelevanz. TEGEWA, Frankfurt, 1997
- TEGEWA 1999 Verband der Textilhilfsmittel-, Lederhilfsmittel-, Gerbstoff- und Waschrohstoff-Industrie (TEGEWA); Jahresbericht 1998/1999. TEGEWA, Frankfurt, 1999
- TEGEWA 2000 Verband der Textilhilfsmittel-, Lederhilfsmittel-, Gerbstoff- und Waschrohstoff-Industrie (TEGEWA); Jahresbericht 1999/2000. TEGEWA, Frankfurt, 2000
- THK 2000 Redaktion *melliand* Textilberichte; Verband der Textilhilfsmittel-, Lederhilfsmittel-, Gerbstoff- und Waschrohstoff-Industrie (TEGEWA); Textilhilfsmittelkatalog (THK) 2000. Deutscher Fachverlag, Frankfurt am Main, 2000

Tischner et al. 2000	Tischner, U.; Schmincke, E.; Rubik, F.; Prösler, M.; Was ist EcoDesign? Ein Handbuch für die ökologische und ökonomische Gestaltung. Verlag form, Frankfurt am Main, 2000
Toppiari et al. 1995	Toppiari, J.; Larsen, J.C.; Christiansen, P.; Giwermann, A. et al.; Male reproductive health and environmental chemicals with estrogenic effects. Draft of the Danish Environmental Agency, Denmark 1995
TVI 1997	Gesamtverband der deutschen Textilveredelungsindustrie (TVI); Selbstverpflichtung zur Klassifizierung von Textilhilfsmitteln (THM) nach ihrer Gewässerrelevanz. TVI, Eschborn, 1997
Ulsamer et. al 1980	Ulsamer, A.; Osterberg, R.; McLaughlin, J.; Flame-retardant chemicals in textiles. Clin. Toxicol., 17, p. 101-131, 1980
Umweltbundesamt 1995	Umweltbundesamt (Hrsg.); Fachgespräch Umweltchemikalien mit endokriner Wirkung, Berlin, 9.-10. März 1995, Dokumentation. Reihe „Texte“ des Umweltbundesamtes, Band 65/95. Umweltbundesamt, Berlin 1995
Umweltbundesamt 1997	Umweltbundesamt; Nachhaltiges Deutschland: Wege zu einer dauerhaft-umweltgerechten Entwicklung. Umweltbundesamt, Berlin, 1997
Umweltbundesamt 1999a	Umweltbundesamt (Hrsg.): Handbuch umweltfreundliche Beschaffung: Empfehlungen zur Berücksichtigung des Umweltschutzes in der öffentlichen Verwaltung und im Einkauf. 4., völlig neu bearb. Aufl. Verlag Franz Vahlen, München, 1999
Umweltbundesamt 1999b	Umweltbundesamt (Hrsg.): Handlungsfelder und Kriterien für eine vorsorgende nachhaltige Stoffpolitik am Beispiel PVC. Beiträge zur nachhaltigen Entwicklung 1, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1999
Umweltbundesamt 1999c	Umweltbundesamt (UBA): Elektronikschrott, Daten und Fakten; Internet-Information (20.02.1999): http://www.umweltbundesmat.de/uba-info-daten/daten/elektronikschrott.htm
USEPA 2000	United States Environmental Protection Agency (US EPA); Headquarter Press: EPA and 3M. Press Release 16. 5. 2000, Washington, 2000
Velvart 1993	Velvart J.: Toxikologie der Haushaltsprodukte. Verlag Hans Huber, Bern; Stuttgart; Toronto, 1993
Velvart 1999	Velvart, J.: Gifte im Haushalt. Soforthilfe bei Unfällen. Lizenzausgabe für Gondrom Verl., Bindlach, 1999
Walsh et al. 1987	Walsh, G.; Yoder, M.; McLaughlin, L.; Lores, E.M.; Responses of Marine Unicellular Algae to Brominated Organic Compounds in Six Growth Media. Ecotoxicol. Environ. Saf. 14; S. 215 - 222, 1987
Wursthorn 2001	Wursthorn, S.; Persistente, bioakkumulative Schadstoffe – Stand, Entwicklung und Bewertung. Masterarbeit, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2001
Zitko 1980	Zitko, V.; Chlorinated alkylbenzenes in C12 chlorinated paraffins. Chemosphere 9, p. 139-142, 1980

-
- Zundel et al. 1998 Zundel, S.; Bunke, D.; Schramm, E.; Steinfeldt, M.; Stoffstrommanagement. Zwischenbilanz einer Diskussion. Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht, 3/98, S. 317-339, 1998
- ZVEI 1999 Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI): Presseerklärung vom 01.07.1999: Elektroindustrie signalisiert trotz einiger Bedenken Kompromissbereitschaft bei Elektro-Altgeräte-Entsorgung, Frankfurt a.M., 1999

Anhang

Vertiefungen: Exkurse 1 - 4

Anhang: Vertiefungen

Exkurse 1 - 4

In den folgenden Exkursen 1 – 3 werden wichtige Gruppen von Umweltchemikalien charakterisiert, die in Produkten des privaten Haushalts vorkommen oder als Ausgangsverbindungen bei der Produktion von Produkten für den Haushalt von Bedeutung sein können: Flammschutzmittel, hormonell wirksame Chemikalien und synthetische Moschus-Verbindungen.

Im Exkurs 4 wird die Anwendung ökologisch ausgerichteter Bewertungssysteme am Beispiel eines Unternehmens gezeigt, das Bekleidung herstellt.

Exkurs 1:**Das toxikologische und ökotoxikologische Risikoprofil von organischen halogenierten Flammschutzmitteln**

In vielen elektrischen und elektronischen Geräten des privaten Haushalts sind unterschiedliche Flammschutzmittel enthalten. Innerhalb der Gesamtgruppe der Flammschutzmittel stellen halogenierte organische Flammschutzmittel eine Untergruppe dar. Zu dieser Untergruppe gehören einige Einzelstoffe und Stoffgemische, die human- und ökotoxikologisch problematisch sind. Seit Jahren wird hier nach weniger umweltbelastenden Substituenten gesucht (Klingenberg 1988, KEMI 1990, Nylund et al. 1992, Öberg 1994, Lindquist 1994, Leisewitz et al. 2001).

Im folgenden Exkurs wird aufgezeigt, welche problematischen Stoffeigenschaften einzelne Verbindungen dieser Stoffgruppe auszeichnen (Bunke 1996a).

Im Rahmen des Forschungsprogrammes des Umweltbundesamtes zu halogenierten Flammschutzmitteln sind detaillierte Stoffbeschreibungen und Klassifizierungen einiger Flammschutzmittel vorgenommen worden. Die Ergebnisse sind in drei Berichten des Umweltbundesamtes veröffentlicht worden (Leisewitz et al. 2001, Leisewitz und Schwarz 2001, Kruse et al. 2001).

Das toxikologische und ökotoxikologische Risikoprofil von organischen halogenierten Flammschutzmitteln

1	Flammschutzmittel und ökologische Risiken.....	117
2.	Risikopotentiale halogenorganischer Flammschutzmittel.....	118
2.1	Problemfeld: toxische Verbrennungsgase/Verbrennungsprodukte	118
2.2	Problemfeld: Innenraumbelastungen.....	120
2.3	Problemfeld: Persistenz	121
2.4	Problemfeld Geo- und Bioakkumulation	122
2.5	Problemfeld: Gefahrstoffaufnahme durch direkten Produktkontakt	124
2.6	Problemfeld: Humantoxische Stoffeigenschaften, chronische Toxizität.....	124
2.6.1	Wirkungsendpunkt Krebs.....	124
2.6.2	Wirkungsendpunkt Reproduktionstoxizität	126
2.7	Problemfeld Ökotoxikologie: Schädigung von Lebensgemeinschaften	127
2.8	Risiken durch Rohstoffe und Zwischenprodukte.....	128
2.9	Risikofaktor Stoffgemische	128
2.10	Risikofaktor Verunreinigungen	129
2.11	Risikofaktor Untersuchungslücken	130
2.12	Risikofaktor Mehrfachbelastung (Kombinationsexposition).....	131
2.13	Risikofaktor Bewertungsunsicherheiten.....	132
3	Die Risikostruktur halogenorganischer Flammschutzmittel	132

1 Flammschutzmittel und ökologische Risiken

Die Optimierung des Einsatzes halogenorganischer Flammschutzmittel in elektronischen und elektrischen Geräten setzt die Kenntnis der Risiken voraus, die mit diesen Stoffen verbunden sind. Die Freisetzung umweltrelevanter Schadstoffe, die Anreicherung in der Geo- und Biosphäre, Schädigungen von Organismen und die gesundheitliche Gefährdung bzw. Schädigung des Menschen werden hier in einem erweiterten Begriffsverständnis als "ökologische" Risiken bezeichnet.

In diesem Exkurs werden mögliche Risiken (Risikopotentiale) halogenorganischer Flammschutzmittel aufgezeigt. Es wird analysiert, welche Probleme gesundheitlicher und ökologischer Natur von ihnen ausgehen können. Die unterschiedlichen Problemfelder werden zusammengestellt und charakterisiert; diese Zusammenstellung

wird als Risikostruktur bezeichnet.

Die hier gewählte Darstellungsweise orientiert sich an Problemfeldern, die beim bisherigen Umgang mit halogenorganischen Flammschutzmitteln deutlich geworden sind. Aussagen zu ökologischen Optimierungspotentialen lassen sich durch diese Vorgehensweise gezielter gewinnen als durch die Darstellung toxikologisch und ökologisch relevanter Eigenschaften einzelner Flammschutzmittel. Bei einer rein einzelstofflichen Herangehensweise bleiben zum einen Problemfelder unberücksichtigt, die sich aus dem "Umfeld" des Flammschutzmittels ergeben (Rohstoffe, Verunreinigungen etc.), zum anderen ermöglicht die problemfeldbezogene Strukturierung von Einzelstoffdaten auch Aussagen über gemeinsame Gefährdungspotentiale.

Daten zur Human- und Ökotoxizität von einzelnen Flammschutzmitteln liegen in unterschiedlicher Vollständigkeit in der für diesen Exkurs ausgewerteten Literatur vor. Auf Schwierigkeiten durch Untersuchungslücken und offene Bewertungsfragen wird in den Unterkapiteln 2.11 und 2.13 dieses Exkurses eingegangen.

2. Risikopotentiale halogenorganischer Flammschutzmittel

Flammschutzmittel gelangen über verschiedene Wege und in unterschiedlicher Form in die Umwelt. Für eine Belastung (Exposition) ergeben sich hieraus verschiedene Möglichkeiten:

- Kontakt am Arbeitsplatz bei der Herstellung von Flammschutzmitteln, beim Einsatz zur Produktion flammgeschützter Materialien, bei deren Verarbeitung zu Produkten, bei ihrer Wiederverwendung und Entsorgung.
- Kontakt beim Gebrauch flammschutzmittelhaltiger Produkte.
- Kontakt durch das Vorhandensein von Flammschutzmitteln in den Umweltmedien: im Wasser, im Boden, in der Luft, in der Nahrung, in Ökosystemen.
- Belastung durch Gefahrstoffe, die im Brandfall aus Flammschutzmitteln gebildet werden können.

Aus diesen Belastungssituationen haben sich in der Vergangenheit Probleme unterschiedlicher Art gezeigt, die mit dem Einsatz von Flammschutzmitteln verbunden sind. Sie sind die Elemente, aus denen sich die Risikostruktur halogenorganischer Flammschutzmittel aufbaut.

2.1 Problemfeld: toxische Verbrennungsgase/Verbrennungsprodukte

Bei nicht flammgeschützten Kunststoffen entstehen im Vollbrand aus dem Kohlenstoffanteil Kohlendioxid und Kohlenmonoxid, aus dem Chloranteil Chlorwasserstoff, aus dem Stickstoffanteil Stickoxide und Cyanwasserstoff und aus dem Wasserstoffanteil Wasser. Todesfälle bei Bränden durch Rauchgasentwicklung werden in der Mehrzahl der Fälle ursächlich auf eine Kohlenmonoxidvergiftung zurückgeführt.

Eine vollständige Verbrennung von Kunststoffen bei ausreichender Sauerstoffzufuhr führt zu einer weitgehenden Entgiftung von Brandgasen, da Kohlenmonoxid zum ungiftigen Kohlendioxid umgesetzt wird.

Durch den Zusatz von Flammschutzmitteln kann die Entflammbarkeit von Kunststoffen herabgesetzt werden. Flammgeschützte Kunststoffe entflammen seltener und nur bei genügend starkem Aufheizen durch eine Fremdflamme (Stamm 1993). Aufgrund ihres hohen Kohlenstoffgehaltes sind allerdings auch flammgeschützte Kunststoffe brennbar. Bei genügend hoher Hitzeeinwirkung kommt es zu Materialbränden. Bei den entstehenden hohen Temperaturen können sich die im Kunststoff enthaltenen Flammschutzmittel zersetzen. Abhängig von den Brandbedingungen und den eingesetzten Materialien, können Flammschutzmittel im Brandfall zu einer höheren Giftigkeit der Brandgase führen. Durch die Schwerentflammbarkeit des Kunststoffes kommt es zu einer Verlängerung der Schwelphase. In dieser Phase ist aufgrund mangelnder Sauerstoffzufuhr eine vollständige Verbrennung der Kunststoffmatrix und Kunststoffadditive nicht gewährleistet. Die unvollständige Verbrennung kann vermehrt zur Bildung toxischer Verbrennungsgase führen.

Toxische Verbrennungsprodukte können auch aus Flammschutzmitteln entstehen, die selber eine geringe Giftigkeit aufweisen. Die Bildung von toxischen Verbrennungsprodukten ist für verschiedene halogenorganische Flammschutzmittel nachgewiesen worden.

Aus **polybromierten Diphenylethern** entstehen im Brandfall in hohen Konzentrationen polybromierte Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane (PBDD/PBDF). Sie wurden sowohl bei realen Bränden als auch in Laborversuchen nachgewiesen. Es wurden Konzentrationen von bis zu mehr als 100 Milligramm pro Kilogramm gemessen (IPCS 1994b; Pohle 1990).

Bei der Verbrennung von **Chlorparaffinen** sind mehr als sechzig verschiedene Pyrolyseprodukte nachgewiesen worden (Bergman et al. 1984), hierunter polychlorierte Biphenyle und chlorierte Naphthaline, Mono- bis Hexachlorbenzole, Mono- und Dichlortoluole, Mono- und Dichlordibenzofurane. Abhängig von den Verbrennungsbedingungen entstanden polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und polychlorierte Dibenzofurane in Summenwerten von bis zu 760 Mikrogramm pro Kilogramm (BUA 1992, S. 21). Überschreitungen der in der Gefahrstoffverordnung genannten Höchstwerte wurden festgestellt.

Tetrabrombisphenol A und mit ihm ausgerüstete Polymere können im Brandfall ebenfalls zur Bildung polybromierter Dibenzodioxine und Dibenzofurane führen. Die Verbrennung von Polymeren mit TBBP A mit und ohne Antimon führt bei verschiedenen Temperaturen mit und ohne Sauerstoff zur Bildung polybromierter Dibenzofurane und - in geringerem Umfang - zur Bildung polybromierter Dibenzo-p-dioxine. Maximaltemperatur: 600 Grad Celsius. Der Schwerpunkt liegt auf der Bildung niedriger bromierter Kongeneren. Die Höchstwerte für die in der Gefahrstoffverordnung genannten Isomere wurden nicht erreicht (IPCS 1995).

Bei der thermischen Zersetzung **polybromierter Biphenyle** ist die Bildung von

Brombenzolen, bromierten Dibenzofuranen und gemischt-halogenierten (bromiert-chlorierten) Biphenylen nachgewiesen worden (IPCS 1994b). Gemischt halogenierte Biphenyle sind toxikologisch und ökotoxikologisch nicht charakterisiert.

Im Mittelpunkt der Diskussion um die Bildung toxischer Verbrennungsprodukte stehen bisher polyhalogenierte Dioxine und Furane. Andere, bei der Verbrennung halogenorganischer Flammschutzmittel bereits nachgewiesene Verbindungen (Chlorbenzole, Brombenzole, gemischt-halogenierte Biphenyle u.a.) werden bislang noch nicht ausreichend genug bei der Risikobetrachtung von Flammschutzmitteln mitberücksichtigt.

Es überwiegen Arbeiten, die analytisch Verbrennungsprodukte nachweisen, die als Einzelstoffe eine hohe Toxizität aufweisen. In Einzelfällen ist die abgeleitete erhöhte Toxizität der Brandgase auch tierexperimentell gezeigt worden. Die ursächliche Rückführung auf einzelne in den Brandgasen enthaltene Verbindungen ist nur selten durchgeführt worden. Im Falle von PUR-Hartschäumen, die mit einem halogenfreien Flammschutzmittel geringer Toxizität auf Phosphorbasis ausgerüstet waren (0,0-Diethyl-N,N'-bis(2hydroxyethyl)aminomethylphosphonat), wurde als Ursache der hohen Toxizität eine organische Phosphorverbindung identifiziert, die sich im Brandfall bildet: Trimethylol-propanphosphat (TMPP). Eine Reaktion zwischen den Kunststoffkomponenten und dem Flammschutzmittel wird als Ursache der Bildung von TMPP vermutet (Stamm 1993; Petajan et al. 1975).

2.2 Problemfeld: Innenraumbelastungen

Luft in Innenräumen ist in vielen Fällen von schlechterer Qualität als die Umgebungsluft oder Außenluft. In der Außenluft konnte aufgrund technischer Fortschritte und gesetzlicher Regelungen in den letzten Jahren für viele Schadstoffe ein Belastungsrückgang festgestellt werden. Bei der Innenraumqualität ist eine zunehmende Verschlechterung feststellbar. Dies kann mit zwei Entwicklungen im Bau- und Wohnbereich in Zusammenhang gebracht werden: Verringerung des Luftaustausches in Innenräumen und Erhöhung der Schadstoffbelastung von Produkten.

An die Luftqualität von Innenräumen sind besonders hohe Anforderungen zu stellen. Menschen in industrialisierten Ländern verbringen 50 bis 80 Prozent ihres Lebens in Innenräumen. Zehn bis 25 Liter Luft pro Minute werden je nach Konstitution und Alter vom Menschen eingeatmet. Kranke, Alte, Schwangere und Kinder leben oft ausschließlich in Innenräumen. Gleichzeitig sind sie gegenüber bestimmten gesundheitsgefährdenden Stoffen in besonderer Weise empfindlich (BMU 1992, Schlich 1988).

Die Vielzahl nachgewiesener Schadstoffe, die noch höhere Zahl von potentiellen, aber noch nicht analytisch bestimmten Innenraumverunreinigungen, das Zusammenwirken mit nicht-stofflichen Einflußfaktoren biologischer, physikalischer und psychischer Art, die besonders langandauernde Belastung und besonders empfindliche Personengruppen zeichnen die Innenraumproblematik aus. Mit ihr werden bereits konkrete Krankheitsbilder in Zusammenhang gebracht (Sick Building-Syndrom,

Infektionen der Atemwege, Inhalationsallergien, Multiple Chemical Sensitivity u.a.). Diese Krankheitsbilder zeigen - über die Innenraumproblematik hinaus - die grundlegende Bedeutung, die der Problematik von Chemikalieneinwirkungen im Niedrigdosisbereich zukommt.

Die Verbesserung der Luftqualität in Innenräumen als eine vordringliche Aufgabe wird von verschiedenen Seiten gefordert (SRU 1987; BMU 1992; BUND 1993). Die Vermeidung von Gesundheitsbelastungen im Innenraumbereich erfordert auch den weitestgehenden Verzicht auf problematische Chemikalien in Produkten, die in Innenräumen benutzt werden, falls diese Chemikalien beim Gebrauch freigesetzt werden können.

Neben Lösemitteln, bioziden Inhaltsstoffen und Bauchemikalien bilden Kunststoffadditive eine Chemikaliengruppe, die zu Innenraumbelastungen durch Produktausgasungen beitragen kann (Mandelatz 1994). Innerhalb der Gruppe der halogenorganischen Flammschutzmittel ist bei einigen Verbindungen eine Innenraumbelastung nachgewiesen worden.

Für **polybromierte Diphenylether** konnte eine Freisetzung aus Fernsehgeräten, Computerbildschirmen und Druckern gemessen werden. Bei Versuchsanordnungen über drei Tage wurden Stoffmengen zwischen 1,4 und 889 Nanogramm pro Gerät bestimmt, die in die Luft abgegeben wurden. Diese Additive können vom Benutzer eingeatmet (inhalativ aufgenommen) werden (Ball et al. 1991).

Bei Geräten, die mit polybromierten Diphenylethern als Flammschutzmittel ausgerüstet wurden, wurde neben der Ausgasung dieser Additive auch eine Ausgasung von polybromierten Dibenzo-p-dioxinen und Dibenzofuranen in mehreren Arbeiten nachgewiesen. Es entstanden Raumlufkonzentrationen je nach Versuchsanordnung zwischen 0,1 und 143 Pikogramm pro Kubikmeter (Bruckmann et al. 1990; Ranken et al. 1990). In den Untersuchungen von Ball et al. wurden pro Gerät bis zu 1,8 Nanogramm polybromierter Dibenzofurane emittiert (Ball et al. 1991).

2.3 Problemfeld: Persistenz

Chemikalien, die in die Umwelt eingetreten sind, können durch biologische, physikalische und chemische Prozesse wieder abgebaut werden. Mikrobieller Abbau durch Enzyme, Zerstörung durch Wärmeeinwirkung und Hydrolyse sind Beispiele von Abbaumechanismen. Bei der Anwendung von Chemikalien ist in vielen Fällen eine hohe Stabilität der Stoffe zum Funktionserhalt erwünscht. Nach einer Freisetzung in die Umwelt werden gut abbaubare organische Stoffe mineralisiert, das heißt in Kohlendioxid, Wasser und andere anorganische Substanzen zerlegt. Rascher vollständiger Abbau bedeutet auch, dass ein bestehendes Gefährdungspotential eines Stoffes für die Umwelt in kurzer Zeit eliminiert wird.

Viele halogenorganische Flammschutzmittel werden in der Umwelt nicht, nur sehr langsam bzw. unvollständig abgebaut: sie sind persistent. In Einzelfällen findet ein teilweiser Abbau statt; die gefundenen, ihrerseits stabilen Abbauprodukte weisen zum Teil ebenfalls ökologisch problematische Eigenschaften auf.

Tetrabrombisphenol A (TBBA) wird in der Umwelt teilweise abgebaut, ein Teil

verbleibt unverändert. In Abbautests unter Kläranlagenbedingungen kann kein Abbau nachgewiesen werden. Das in der Umwelt nachgewiesene TBBA-dimethyl wird als Abbauprodukt von TBBA in der Umwelt angesehen. Es ist seinerseits ökotoxikologisch nur sehr wenig charakterisiert und in unterschiedlichen Lebewesen nachgewiesen worden (IPCS 1995). Beim Abbau unter Lichteinwirkung (Photodegradation) sind acht unterschiedliche Folgeprodukte nachgewiesen worden (IPCS 1995).

Polybromierte Diphenylether und **polybromierte Biphenyle** sind unter Umweltbedingungen stabil. Eine Metabolisierung ist nur in sehr geringem Umfang nachgewiesen worden. Sie führte nicht zu einem vollständigen Abbau der Chemikalien, sondern zur Bildung geringer bromierter Verbindungen. Bei bromierten Biphenylen ist die Bildung hydroxylierter Biphenyle nachgewiesen worden (OECD 1994; IPCS 1994b).

Chlorparaffine erweisen sich in Standardtests als biologisch nicht abbaubar. Ein chemischer Abbau in der Umwelt durch Hydrolyse bzw. Photolyse in nennenswertem Umfang ist nicht bekannt. Es gibt keine Hinweise auf eine vollständige Mineralisierung dieser Chemikalien und keine Untersuchungen zur biologischen Abbaubarkeit von Hydrolyseprodukten (BUA 1992).

Tris(2-chlorethyl)-phosphat, **Tris(1,3-dichlor-2-propyl)phosphat** und **Tris(1-chlor-2-propyl)phosphat** zeigen in Abbautests praktisch keine bzw. nur eine sehr geringe Abbaubarkeit (null bis vier Prozent) (Gustafsson 1994). Tris(2-chlorethyl)-phosphat ist biologisch nicht abbaubar, ein eventueller Abbau durch Hydrolyse wird sehr langsam verlaufen (BUA 1987, S. 46).

Dechlorane ist biologisch sehr schlecht abbaubar mit Halbwertszeiten von mehreren Jahren. Der Abbau führt zu stabilen Folgeprodukten, unter Bildung von Chlordecone und anderen Verbindungen (Carlson et al. 1976). Der Abbau unter Lichteinfluß (Photodegradation) führt zu 8-Monohydromirex (Photomirex, Hallett et al. 1978).

2.4 Problemfeld Geo- und Bioakkumulation

Chemikalien können sich unerwünscht in einzelnen Bereichen der Umwelt (zum Beispiel Böden, Sedimenten) und in Lebewesen anreichern. Die Stoffaufnahme in den Organismus kann hierbei über die Nahrung erfolgen (Biomagnifikation), über die umgebenden Umweltmedien (Biokonzentration) bzw. über mehrere Aufnahmepfade gemeinsam.

Die gezielte Aufnahme und Anreicherung von einzelnen Stoffen, etwa Nährstoffen und Vitaminen, aus der Umgebung ist ein notwendiger Vorgang zur Aufrechterhaltung der Lebensvorgänge. Viele Stoffe werden nach ihrer gezielten Aufnahme im Stoffwechsel umgesetzt bzw. in veränderter Form aus dem Körper ausgeschieden.

Problematisch wird die Anreicherung von Stoffen, die keine physiologische Funktion im Organismus erfüllen. Bioakkumulation zeigt hier an, dass die aufgenommene Stoffmenge nicht mehr vollständig wieder aus dem Lebewesen ausgeschieden werden kann. Stoffe von hoher Akkumulierbarkeit können lokal im Lebewesen Konzentrationen erreichen, die um Größenordnungen über den Konzentrationen in der Umgebung

liegen. Mehr als einhunderttausendfache Anreicherungen treten zum Beispiel bei einzelnen fettlöslichen halogenorganischen Chemikalien auf (Parlar und Angerhöfer 1991). Durch Bioakkumulation können in Lebewesen Schadstoffanreicherungen auftreten, die zur Schädigung führen.

Die Bioakkumulierbarkeit stellt einen besonderen Risikofaktor einer Chemikalie dar. Bioakkumulative Chemikalien reichern sich in Lebewesen an, verbleiben in ihnen, können über lange Zeit wirksam bleiben und aus Körperdepots in bestimmten Situationen freigesetzt werden. Die Bioakkumulierbarkeit von Stoffen ohne physiologische Funktion ist auch dann problematisch, wenn keine Hinweise auf eine akut oder chronisch toxische Wirkung vorliegen. Das Wissen um chronische Effekte von Chemikalien im Niedrigdosisbereich ist so lückenhaft, dass unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips jede zusätzliche Belastung mit Fremdstoffen vermieden werden sollte. Für einzelne bioakkumulative Chemikalien werden Langzeitauswirkungen auf das Immunsystem und auf das endokrine System beschrieben, die in den derzeitigen Testverfahren nur schwer experimentell voraussagbar sind (Franke et al. 1994).

Die Anreicherung in Umweltkompartimenten und in Lebewesen ist für viele halogenorganische Flammschutzmittel nachgewiesen worden. In den folgenden Beispielen wird der Bereich der Anreicherung in Lebewesen (Bioakkumulation) vertieft.

Tetrabrombisphenol A kann nach Eintritt in die Umwelt zu Dimethoxy-Tetrabrombisphenol A durch Methylierung der Phenolgruppen umgewandelt werden. Dieser Metabolit ist stärker lipophil und kann sich daher besser in Fettgewebe anreichern. Er ist in Fischen und Muscheln nachgewiesen worden (OECD 1994, S. 50, 71). In Bioakkumulationsstudien mit Tetrabrombisphenol A in aquatischen Organismen wurden Anreicherungsfaktoren zwischen 20 und 3.200 bestimmt (IPCS 1995, S. 25, 40 ff), in einer vergleichenden Studie zur Bioakkumulation von Phenolen ein Bioakkumulationsfaktor von 464 (Butte et al. 1988). Das aufgenommene Tetrabrombisphenol A wurde mit einer Halbwertszeit von wenigen Tagen wieder ausgeschieden (IPCS 1995, S. 40 ff).

Polybromierte Diphenylether (PBDE) reichern sich in Nahrungsketten an und sind bereits in Humanmilch (Muttermilch) und Humangewebe (Fettgewebe) nachgewiesen worden. Für Humanmilch wurden Gehalte bis zu 2,6 Mikrogramm PBDE pro Kilogramm Milchfett gefunden. Ausgasungen von diesen Stoffen aus der Polymermatrix werden als eine Belastungsursache angesehen (IPCS 1994a; OECD 1994).

Polybromierte Biphenyle sind in Fischen, Vögeln und Säugetieren gefunden worden. In Humanmilch in Deutschland wurden wesentlich höhere Konzentrationen an polybromierten Biphenylen gefunden als in Kuhmilch. Die tägliche Aufnahmemenge an polybromierten Biphenylen wird für den Erwachsenen bei einem Kuhmilchkonsum von 0,5 Liter pro Tag auf 1,2 Nanogramm geschätzt (IPCS 1994b).

Chlorparaffine reichern sich sehr stark in unterschiedlichen Umweltbereichen an. In Belebtschlamm wurden in Kläranlagen Konzentrationen von 30 Milligramm pro Kilogramm, in Laborversuchen Konzentrationen bis zu 68 Gramm pro Kilogramm

Belebtschlamm gefunden. Chlorparaffine sind in Muscheln, Fischen, Vögeln, Säugetieren und Menschen nachgewiesen worden (BUA 1992). Jüngere Untersuchungen an Nordseefischen und Meeressäugetieren zeigten Konzentrationen bis zu 963 Mikrogramm pro Kilogramm Fettgewebe. Nachgewiesen wurden kurzkettige, mittelkettige und langkettige Chlorparaffine (Greenpeace 1995).

Dechlorane ist in zahlreichen Vogel-, Wildtier- und Säugetierarten nachgewiesen worden. Es ist beim Menschen in Fettgewebeproben und in Humanmilch gefunden worden (IARC 1979, S. 287 ff).

2.5 Problemfeld: Gefahrstoffaufnahme durch direkten Produktkontakt

Chemikalien, die in Textilien eingesetzt werden, können bei direktem Kontakt von der Haut aufgenommen werden und so in den Körper gelangen. Die aufgenommene Menge hängt von den chemisch-physikalischen Stoffeigenschaften, der Einsatzmenge, der Art der Anwendung im Textil, dem Nutzungsverhalten des Verbrauchers und anderen Faktoren ab (Ulsamer et al. 1980).

Für Flammschutzmittel ist die Aufnahme durch die Haut beim Menschen bisher am Beispiel des **Tris-(2,3-dibrompropyl)phosphats** nachgewiesen worden. Im Urin von Kindern, die mit diesem Flammschutzmittel ausgerüstete Textilien getragen hatten, ist auch 2,3-Dibrompropanol gefunden worden. 2,3-Dibrompropanol ist ein mutagener Stoff, der bei der Verstoffwechslung (Metabolisierung) von Tris-(2,3-dibrompropyl)phosphat gebildet wird (Blum et al. 1978; Blum und Ames 1977, Carr und Rosenkranz 1978).

2.6 Problemfeld: Humantoxische Stoffeigenschaften, chronische Toxizität

2.6.1 Wirkungsendpunkt Krebs

Bösartige Gewebeneubildungen (Krebs) gehören zu den chronischen Gesundheitsschädigungen, denen durch das Konzept der Grenzwertfestsetzung in vielen Fällen nicht angemessen begegnet werden kann. Bei Chemikalien, die das genetische Material direkt schädigen, ist experimentell gezeigt worden, dass es keine Konzentrationen gibt, die nicht mit der Gefahr der Krebsentstehung verbunden sind. Bei der überwiegenden Zahl der Chemikalien, die nicht über eine direkte Genschädigung wirken, ist der molekulare Mechanismus der Krebsentstehung in vielen Fällen noch nicht ausreichend bekannt, um begründete Aussagen über mögliche Wirkungsschwellen zu machen.

Schäden durch die Einwirkung kanzerogener Chemikalien zeigen sich erst nach Jahren bzw. Jahrzehnten. Einzelschädigungen summieren sich, der Umfang von Reparaturprozessen ist derzeit nicht bekannt. Für kanzerogene Schadstoffe werden daher auch keine gesundheitlich unbedenklichen Konzentrationen zum Beispiel für den Arbeitsplatz angegeben.

Für einige halogenorganische Flammschutzmittel ist eine krebserzeugende Wirkung

tierexperimentell nachgewiesen worden.

Bei **Decabromdiphenylether**, dem bedeutendsten polybromierten Diphenylether, gibt es begrenzte Hinweise auf eine Kanzerogenität in Tieren. Es liegen keine Daten zur Humankanzerogenität vor. Von der Weltgesundheitsorganisation wird es als nicht klassifizierbar hinsichtlich seines kanzerogenen Risikos für den Menschen eingestuft (IARC 1990, S. 73 ff).

Tris-(2,3-dibrompropyl)phosphat erzeugt bei oraler Aufnahme Tumore des Vormagens und der Lunge in der Maus in beiden Geschlechtern, gutartige und bösartige Lebertumoren in den weiblichen Tieren und gutartige und bösartige Nierentumore bei den männlichen Tieren. Bei Ratten wurden in geschlechtsspezifischer Ausprägung Nieren-, Haut-, Lungen-, Vormagen- und Mundhöhlentumore erzeugt (IARC 1979, S. 548 f).

Chlorparaffine unterschiedlicher Kettenlänge haben in Tierversuchen bösartige Tumore hervorgerufen. Chlorparaffine mit einer durchschnittlichen Kettenlänge von zwölf Kohlenstoffatomen und einem Chlorierungsgrad von 60 Prozent werden von der IARC als mögliches Kanzerogen für den Menschen eingestuft (IARC 1990, S. 55). Nach der Beurteilung der Deutschen Forschungsgemeinschaft liegt für Chlorparaffine mit einer Kettenlänge von zehn bis dreißig Kohlenstoffatomen und einem Chlorgehalt von 20 bis 70 Prozent aus in vitro- oder aus Tierversuchen Anhaltspunkte für eine krebserzeugende Wirkung vor, die jedoch zur Einordnung in eine andere Kategorie nicht ausreichen. Sie werden deshalb in die Gruppe 3B eingestuft (DFG 2001).

Mit **Tris(2-chlorethyl)-phosphat** wurden bei männlichen und weiblichen Ratten bösartige Geschwüre der Nierentubuli hervorgerufen. Auch in männlichen und weiblichen Mäusen wurden bösartige Tumore erzeugt (NTP 1991).

Durch die Verabreichung von **HET-Säure** wurden in Versuchen mit Ratten und Mäusen bösartige Tumore erzeugt. Nach Einstufung der Weltgesundheitsorganisation liegen ausreichende Belege für eine krebserzeugende Wirkung von HET-Säure bei Versuchstieren vor. Es ist als mögliches Karzinogen für den Menschen eingestuft (IARC 1990, S. 45).

Das zusammen mit halogenorganischen Flammschutzmitteln als Synergist eingesetzte **Antimontrioxid** ist ein Arbeitsstoff, dessen krebserzeugende Wirkung eindeutig erwiesen ist (Einstufung in die Gruppe II, DGF 2001). Bei weiblichen Ratten wurden durch Einatmen von Antimontrioxid in mehreren Studien Lungentumore hervorgerufen (IARC 1989, S. 299). Die Bedingungen, bei denen Antimontrioxid im Tierversuch Krebs erzeugt hat, sind denen vergleichbar, unter denen in der Industrie mit Antimontrioxid gearbeitet wird. Es gibt keine Möglichkeit, ein Gesundheitsrisiko an diesen Arbeitsplätzen vollständig auszuschließen. Angaben zum Arbeiten mit Antimontrioxid beziehen sich auf die Herstellung von Antimontrioxid, die Herstellung von Antimontrioxid-Masterbatches, das Pasten (Wiegen und Mischen von Antimontrioxidpulver) und weitere Arbeiten mit Antimontrioxid (DFG 2001).

2.6.2 Wirkungsendpunkt Reproduktionstoxizität

Innerhalb der Gruppe der halogenorganischen Flammschutzmittel gibt es Chemikalien, die bei unterschiedlichen Organismen Schädigungen der Fortpflanzungsfähigkeit hervorrufen können.

Die Giftwirkung von Stoffen auf den Gesamtbereich der Fortpflanzung wird als Reproduktionstoxizität bezeichnet. Schädigungen der Fortpflanzung durch Schadstoffe sind für verschiedene Angriffspunkte dokumentiert. Die Einwirkung von reproduktionstoxischen Chemikalien kann die Fruchtbarkeit (Fertilität), die Entwicklung der Fortpflanzungsorgane und die Entwicklung der Leibesfrucht zu unterschiedlichen Zeitpunkten vor der Geburt schädigen.

Embryotoxische Stoffe sind giftig für den Embryo; bei ihrer Einwirkung kann es zu Entwicklungsbeeinträchtigungen, zum Tod des Embryos oder zu Mißbildungen kommen. Fruchtschädigende (teratogene) Stoffe können Mißbildungen von Embryonen hervorrufen. Durch Einwirkung von Teratogenen während der Embryonalentwicklung können sich irreversible Schädigungen ausbilden. Es können Mißbildungen entstehen, die sofort nach der Geburt oder erst im späteren Leben ausgeprägt werden.

Bei **Chlorparaffinen** unterschiedlicher Kettenlänge ist die Reproduktionstoxizität im Tierexperiment eindeutig nachgewiesen. Für einzelne Chlorparaffine ist bei Mäusen der Übergang vom mütterlichen Blut zum embryonalen Blut (transplazentarer Übergang) nachgewiesen worden (BUA 1992, S. 172). **Kurzkettige Chlorparaffine** (zehn bis zwölf Kohlenstoffatome) führten bei Ratten zu signifikant erhöhten Absterberaten von Föten (mit anschließender Rückbildung - Resorption), zu erniedrigten Nachkommenraten, zum Fehlen einzelner Finger bzw. Zehen (Adaktylie) bzw. Verkürzungen von Zehen (Brachydaktylie) (BUA 1992, S. 173). Bei Kaninchen werden für **kurzkettige und langkettige Chlorparaffine** Rückbildungen ganzer Würfe beschrieben.

Die **Chlorparaffine mittlerer Kettenlänge** (Kohlenstoffkettenlänge 14 bis 17 C-Atome, 52 Prozent Chlor) führten bei Kaninchen in einer Mehrgenerationenstudie in der höchsten Dosisgruppe beim Fehlen von Vergiftungserscheinungen der Elterntiere zum Tod aller Nachkommen in der höchsten Dosisgruppe und zu einer leichten Verringerung der Überlebensrate bei der mittleren Dosisgruppe. Innere Blutungen während der Stillzeit werden als Ursache angegeben. Sie werden auf eine Störung der Vitamin-K-abhängigen Blutgerinnung durch die Aufnahme von Muttermilch belasteter Elterntiere zurückgeführt (BUA 1992, S. 200).

Polybromierte Biphenyle führten in tierexperimentellen Studien bei Ratten, Nerzen und Rhesusaffen zur Schwächung der Föten und zu einer verringerten Überlebensrate der Nachkommen. Bei Nagetieren wurde ein schwaches teratogenes Potential bei hohen Dosen gefunden (IPCS 1994, S. 26 f).

In Tierversuchen mit **Antimontrioxid** ist bei Ratten eine erhöhte Embryosterblichkeit, ein erhöhter Embryonenverlust vor der Implantation und sind Wachstumsverzögerungen hervorgerufen worden (IARC 1989, S. 299).

2.7 Problemfeld Ökotoxikologie: Schädigung von Lebensgemeinschaften

Schädigungen des Menschen stellen nur einen Teil der Gefahren da, die von Stoffen ausgehen können. Daten zur Humantoxikologie können daher nur einen Teil der Fragen beantworten, die zur Klärung der Umweltrelevanz eines Stoffes gestellt werden müssen. Aussagen zur "Ökotoxikologie" eines Stoffes sollten letztlich eine Abschätzung ermöglichen, welche Auswirkungen von einem Stoffeintrag auf die Struktur und Funktion der Lebensgemeinschaften (Biozöosen) mit ihren vielfältigen Wechselwirkungen ausgehen können.

Experimentelle Anordnungen zu diesem Fragenkomplex bestehen aus Untersuchungen zur Schadwirkung an einzelnen Arten, Experimenten in künstlichen Ökosystemen im Labormaßstab und Freilandstudien. Sie können aufgrund der Komplexität der Lebenszusammenhänge nur Detailfragen herausgreifen. Entsprechend eingeschränkt ist damit auch ihre Aussagekraft (Oehlmann und Markert 1999).

Auf die ökologisch bedeutenden Problemfelder der fehlenden Abbaubarkeit (Persistenz) und der Anreicherung (Akkumulation) ist weiter oben bereits eingegangen worden. An dieser Stelle soll auf die Giftigkeit gegenüber Organismen und Ökosystemen, die im Umweltmedium Wasser oder in enger Beziehung zu ihm leben, die aquatische Toxizität, näher eingegangen werden. Vereinfachend werden Bakterien, Algen, Wasserflöhe (Daphnien), andere wirbellose Organismen und Fische als Vertreter der unterschiedlichen Nahrungsebenen dieser Ökosysteme als Versuchsorganismen eingesetzt. Die Datenlage ist hier weitaus besser als bei der Untersuchung der Giftigkeit gegenüber landbewohnenden Organismen (terrestrische Toxizität).

Bei **Tetrabrombisphenol A** wurden Beeinträchtigungen des Schalenwachstums von Austern bei Konzentrationen von 32 Mikrogramm TBBA pro Liter beobachtet. Für die Regenbogenforelle wird die TBBA-Konzentration, bei der kein schädigender Effekt mehr beobachtet wird, mit 0,18 Milligramm pro Liter angegeben (IPCS 1995, S. 60 f). In einer vergleichenden Untersuchung zur aquatischen Toxizität bromorganischer Verbindungen auf einzellige Meeresalgen wurden für Tetrabrombisphenol A EC₅₀-Konzentrationen zwischen 80 Mikrogramm pro Liter und 1.500 Mikrogramm pro Liter bestimmt (Walsh et al. 1987).

Eine sehr hohe Giftigkeit gegenüber Wasserorganismen ist für einzelne **Chlorparaffine** unterschiedlicher Kettenlänge nachgewiesen worden. Dies gilt sowohl für Schädigungen, die bei einmaliger Belastung sofort auftreten (akute Toxizität), als auch bei Schädigungen nach lang andauernder, wiederholter Belastung (chronische Toxizität). Wirksame Konzentrationen liegen hier im Bereich von weniger als einem Milligramm pro Liter. Mit kurzkettigem Chlorparaffin (Kohlenstoffkettenlänge 10 bis 12 C-Atome, Chlorgehalt 58 Prozent) wurden bei einer marinen Schwebgarnele bei Konzentrationen von 14 bis 16 Mikrogramm pro Liter innerhalb von 96 Stunden die Hälfte der Tiere getötet. Für Störungen der sexuellen Reifeentwicklung, der Reproduktion und des Wachstums wurde in chronischen Studien die Konzentration, bei

der noch keine Schädwirkungen auftreten, mit sieben Mikrogramm pro Liter bestimmt. Schädwirkungen bei der Miesmuschel traten in noch geringeren Konzentrationsbereichen auf (BUA 1992, S. 112, 114).

2.8 Risiken durch Rohstoffe und Zwischenprodukte

Bei der Produktion von Flammschutzmitteln werden Chemikalien eingesetzt, die sich im Einzelfall durch ein erhebliches ökologisches Risikopotential auszeichnen. Bei der Beurteilung von Flammschutzmitteln sind diese vorgelagerten Stoffe in der Literatur bisher nicht berücksichtigt worden. Der Schwerpunkt lag hier bisher auf den Flammschutzmitteln selber bzw. auf Folgeprodukten, die aus ihnen entstehen können, zum Beispiel bei thermischer Belastung.

Bei einer gesamtökologischen Betrachtung von Stoffen, wie sie im Rahmen von Produktstammbaumanalysen durchgeführt wird (Gensch et al. 1995, Schramm et al. 1996, Zundel et al. 1998), sind vor- und nachgelagerte Prozesse in die Bewertung hineinzunehmen. Hier ergeben sich zusätzliche bewertungsrelevante Informationen für einzelne Flammschutzmittel. So entsteht bei der Herstellung von Tetrabrombisphenol A unter Einsatz von Alkohol als Koppelprodukt Methylbromid - ein Stoff, der sich durch ein sehr hohes ozonzerstörendes Potential auszeichnet. Diese Koppelproduktion stellt ein Risikoelement dar, das zur Risikostruktur von Tetrabrombisphenol A dazugehört.

2.9 Risikofaktor Stoffgemische

Einschätzungen eines möglichen Gefahrenpotentials einer Chemikalie setzen Kenntnisse ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften, ihres humantoxikologischen und ökologischen Wirkungsprofils voraus. Die experimentelle Ermittlung dieser Kenndaten wird erschwert, wenn es sich bei der Chemikalie nicht um einen eindeutig charakterisierbaren Einzelstoff handelt, sondern um ein Gemisch unterschiedlicher Stoffe in variabler Zusammensetzung. Unterschiede in der chargenspezifischen Zusammensetzung bedingen dann auch Unterschiede im Wirkungsprofil und im Risikopotential. Hieraus resultiert eine zusätzliche Unsicherheit in der Chemikalienbewertung.

Einige zum Einsatz kommende halogenorganische Flammschutzmittel sind ausgesprochen kompliziert aufgebaute Stoffgemische, die nur schwer hinsichtlich ihrer genauen Wirkungseigenschaften charakterisiert werden können.

Polybromierte Diphenylether als Handelsprodukte sind Isomerenmischungen. Decabromdiphenylether-Präparationen enthalten - verglichen mit anderen Diphenylethern - hohe Anteile an Decabromdiphenylether (97 bis 98 Prozent). Nonabromdiphenylether unterschiedlicher Struktur bilden die Hauptverunreinigungen (IPCS 1994a). Handelsprodukte mit der Benennung "Octabromdiphenylether" bestehen nur zu etwa 31 bis 35 Prozent aus Octabromdiphenylethern, der verbleibende Anteil sind Penta-, Hexa-, Hepta-, Nona- und Decabromdiphenylether (IPCS 1994a).

Polybromierte Biphenyle als Handelsprodukte stellen Mischungen verschiedener bromierter Biphenyle dar. Charakterisiert werden sie nicht durch die genaue Angabe

des Mengenanteiles einzelner Verbindungen, sondern durch Nennung des Bromgehaltes. Jede Charge zeichnet sich durch eine individuelle Zusammensetzung aus. In Octabrombiphenyl-Handelsprodukten können mengenmäßig Nonabrombiphenyle gegenüber Octabrombiphenylen überwiegen. In Handelsprodukten wurden wenigstens 60 unterschiedliche Einzelverbindungen detektiert, zwölf als Hauptkomponenten mit mehr als einem Prozent (IPCS 1994b).

Chlorparaffine als Handelsprodukte sind Mischungen aus mehreren strukturell verwandten Kohlenwasserstoffen in jeweils unterschiedlichem Chlorierungsgrad und unterschiedlichen Chlorierungsmustern. Die stoffliche Charakterisierung geschieht durch Angaben zur Anzahl der Kohlenstoffkettenlänge und des Chlorgehaltes. In beiden Fällen werden die in den Mischungen vertretenen Bereiche genannt. Die Chlorgehaltsangabe für ein Produkt stellt einen Mittelwert dar, um den sich die individuellen Chlorgehalte der in der Mischung vorhandenen Verbindungen statistisch verteilen. Dichlor- und Monochlorverbindungen konnten ebenfalls nachgewiesen werden (Zitko 1980; BUA 1992).

2.10 Risikofaktor Verunreinigungen

Chemikalien werden in vielen Fällen als technische Produkte mit unterschiedlichem Reinheitsgrad eingesetzt. Neben der gezielt hergestellten Chemikalie sind auch andere Stoffe als Nebenprodukte oder Verunreinigungen enthalten. Diese können das gesundheitliche bzw. ökologische Risiko, das von der Chemikalie als technischem Produkt ausgeht, wesentlich mitbestimmen.

Bei der Diskussion um gesundheitliche Auswirkungen durch Chemikalien im Niedrigdosisbereich werden Verunreinigungen in zunehmendem Maße beachtet. Im Problemfeld Innenraumbelastung werden unreine Rohstoffe als eine Ursache für die Belastung durch sehr viele unterschiedliche Komponenten angesehen. So wurden mehr als hundert Einzelverbindungen aus synthetischen Teppichböden emittiert, die ihrerseits lediglich aus Butadien, Styrol und Latex aufgebaut waren. Verunreinigungsfreie Ausgangsstoffe sind daher eine wichtige Qualitätsnorm für Produkte. Auch bei der einzelstoffbezogenen Diskussion von Versuchsergebnissen wird des öfteren auf die Möglichkeit verwiesen, die gefundenen Effekte seien nicht auf den untersuchten Reinstoff, sondern auf Verunreinigungen oder Zusatzstoffe zurückzuführen (N.N. 1995).

Gesetzlich reglementiert sind Maximalgehalte an ausgewählten Dioxinen und Furanen. Wenig beachtet in der öffentlichen Diskussion werden weitere, strukturell andersartige Verunreinigungen mit einem chronischen Schädigungspotential. Das Vorkommen solcher Verunreinigungen ist für einige halogenorganische Flammschutzmittel gut belegt und wird im folgenden beispielhaft aufgezeigt.

Chlorparaffine werden als technische Produkte verkauft. In ihnen sind neben Isoparaffinen und Metallen als Verunreinigungen auch aromatische Verbindungen enthalten. Für westeuropäische Chlorparaffine wird der Aromatengehalt mit unter 100 Milligramm pro Kilogramm angegeben (BUA 1992). In Chlorparaffinen wurden

polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane in unterschiedlichen Konzentrationen nachgewiesen (BUA 1992).

Tris-(2,3-dibrompropyl)phosphat ist in mehreren Reinheitsgraden erhältlich ("high purity grade", "lower purity grade"). Als Verunreinigungen sind 2,3-Dibrompropanol, 1,2-Dibrom-3-chlorpropan und 1,2,3-Tribrompropan nachgewiesen worden. 1,2-Dibrom-3-chlorpropan ist kanzerogen bei Mäusen und Ratten. Es ist als mögliches Karzinogen für den Menschen eingestuft (IARC 1987).

Antimontrioxid ist in verschiedenen Reinheitsgraden erhältlich. Eine häufige Verunreinigung ist neben Blei und Eisen (in Mengen von ≤ 2 und $\leq 0,01$ Gewichtsprozent) Arsen (IARC 1989, S. 292). Arsentrioxid, Arsenpentoxid, arsenige Säure und weitere Arsenverbindungen gehören zu den Stoffen, die beim Menschen erfahrungsgemäß bösartige Geschwüre hervorrufen. Sie werden innerhalb der krebserzeugenden Arbeitsstoffe als eindeutig beim Menschen krebserzeugende Arbeitsstoffe eingestuft, „bei denen davon auszugehen ist, dass sie einen nennenswerten Beitrag zum Krebsrisiko leisten“ (Gruppe I) (DFG 2001).

2.11 Risikofaktor Untersuchungslücken

Zur Abschätzung des Risikos, das mit einem Flammschutzmittel verbunden ist, ist eine möglichst umfangreiche Kenntnis seiner akuten und chronischen Toxizität und seines Umweltverhaltens wünschenswert.

Experimentell vergleichsweise leicht zugänglich sind Aussagen zur akuten Humantoxizität. Diese bezieht sich auf eine sofort eintretende Giftwirkung auf den Menschen bei einmaligem Kontakt mit einem Stoff. Bei mengenmäßig bedeutenden halogenorganischen Flammschutzmitteln werden diese Eigenschaften tierexperimentell systematisch geprüft.

Untersuchungslücken erheblichen Umfangs sind bei den Problemfeldern chronischer Toxizität und Umweltverhalten (Persistenz, Akkumulation, Schädigung von Lebensgemeinschaften) feststellbar (Unterkapitel 2.3, 2.4 und 2.6 dieses Exkurses). Dies gilt für die Mehrzahl industriell hergestellter Chemikalien, auch für halogenorganische Flammschutzmittel. Heute verwendete halogenorganische Flammschutzmittel unterscheiden sich zum Teil erheblich in der Vollständigkeit, mit der Kenntnisse zur chronischen Toxizität und zum Umweltverhalten vorliegen. Unvollständige Datensätze sind als zusätzlicher Risikofaktor bei einer Stoffbewertung anzusehen. Einige Beispiele, die Auswahlcharakter haben, werden nachfolgend genannt.

Für Verbindungen, die aus **Tetrabrombisphenol A (TBBA)** hergestellt werden bzw. in der Umwelt aus diesem Stoff entstehen, ist die Datenlage so unzureichend, dass seitens der Weltgesundheitsorganisation weder Bewertungen noch Empfehlungen vorgenommen werden. Hierzu gehören TBBA-Dibrompropylether, TBBA-bis(allylether), TBBA-bis(2-hydroxyethylether), TBBA-carbonatoligomere und TBBA-bromierte Epoxyoligomere (IPCS 1995).

Decabromdiphenylether ist hinsichtlich seines krebserzeugenden Potentials von der WHO als nicht klassifizierbar eingestuft worden. Für **Octabromdiphenylether** wird die

derzeitige toxikologische Datenbasis als unzureichend bewertet, um die Risiken durch kommerziell erhältliche Produkte für Mensch und Ökologie beurteilen zu können (IPCS 1995). Für die anderen polybromierten Diphenylether ist die Datenlage noch schlechter als bei Decabrom- bzw. Octabromdiphenylether (IPCS 1995).

Für **Tris(1,3-dichlor-2-propyl)phosphat**, **Tris(1-chlor-2-propyl)phosphat** und **Tris(2-chlorethyl)-phosphat** liegen nur wenige Daten zu Auswirkungen auf die Umwelt vor (Gustafsson 1994).

2.12 Risikofaktor Mehrfachbelastung (Kombinationsexposition)

Bei der Untersuchung der unterschiedlichen Probleme, die sich aus dem Einsatz von Flammschutzmitteln ergeben haben, wird ein weiterer Risikofaktor deutlich: Belastungen durch Flammschutzmittel stellen in vielen Fällen keine Einzelstoffbelastungen dar. Es treten typische Kombinationsbelastungen auf. Dies gilt in mehrfacher Hinsicht:

- Flammschutzausrüstungen bestehen oftmals aus mehreren Flammschutzmitteln, die gezielt gleichzeitig angewendet werden.
- Einzelne Flammschutzmittel stellen Stoffgemische von strukturell ähnlichen, in ihrer Wirkung mitunter aber sehr unterschiedlichen Einzelverbindungen dar. Verunreinigungen im technischen Produkt erhöhen diese Stoffvielfalt noch.
- Flammschutzmittel tragen zur Belastung von Innenräumen bei. Dieses Problemfeld ist charakterisiert durch die gleichzeitige Anwesenheit und Einwirkung sehr unterschiedlicher Belastungsfaktoren.
- Im Brandfall entstehen aus flammgeschützten Kunststoffen und Flammschutzmitteln eine Vielzahl unterschiedlicher Verbrennungs- bzw. Zersetzungsprodukte. Toxische Brandgase stellen ein kompliziert aufgebautes Vielstoffgemisch dar.
- Persistente und akkumulierende Flammschutzmittel sind bereits im Gewebe von Organismen nachgewiesen worden. Sie liegen hier nicht isoliert vor, sondern erweitern qualitativ und quantitativ bereits bestehende Vorbelastungen durch andere Chemikalien.

Erkenntnisse zum humantoxischen und ökologischen Risiko eines isolierten Flammschutzmittels erlauben keine ausreichenden Aussagen über die im Falle einer Vielfachbelastung zu erwartenden Probleme. Dies gilt insbesondere für den Bereich der chronischen Schädigungen durch kleine Konzentrationen über lange Zeiträume. Für einige halogenorganische Flammschutzmittel wurde weiter oben gezeigt, dass ihr chronisches Schädigungspotential, ihre Anreicherungsfähigkeit und ihre schlechte Abbaubarkeit eindeutig belegt sind. Bei solchen Verbindungen muß ihre Einwirkung in Kombination mit anderen Schadnoxen als zusätzlicher, schwer einschätzbarer Risikofaktor bewertet werden.

2.13 Risikofaktor Bewertungsunsicherheiten

Für einige Problemfelder, die sich beim Einsatz halogenorganischer Flammschutzmittel gezeigt haben, stehen zur Zeit keine angemessenen Bewertungsmethoden zur Verfügung. Hierzu zählen:

- Die Exposition durch Vielkomponentengemische insbesondere im Brandfall und bei der Innenraumbelastung.
- Die Auswirkung von im Körper gespeicherten Schadstoffen auf komplexe Lebensvorgänge (Franke et al. 1994).
- Das Potential einiger halogenorganischer Flammschutzmittel (zum Beispiel polybromierter Biphenyle) bzw. ihrer Folgeprodukte (Dioxine und Furane), auf das hormonelle System störend einzuwirken. Hormonell wirksame Umweltchemikalien werden seit einiger Zeit verstärkt für das Auftreten von Störungen der Fortpflanzungsfähigkeit verantwortlich gemacht. Bei Tieren ist der ursächliche Zusammenhang zwischen beobachteten Schädigungen in der Natur und hormonell wirksamen Umweltchemikalien auch experimentell gut belegt. Beim Menschen ist die Datenlage zur Beurteilung zur Zeit noch unzureichend (BMBF/UBA 2001, siehe hierzu auch Exkurs 2 in dieser Arbeit).

Diese Problemfelder können qualitativ beschrieben werden, eine Quantifizierung der Risiken ist derzeit nicht möglich. Der Einsatz von Stoffen, die zu den oben genannten Problemfeldern beitragen können, ist mit dem Risiko verbunden, dass bei einer veränderten Bewertung dieser Problemfelder auch unter Einbezug des Vorsorgeprinzipes nach Substitutionsmöglichkeiten gesucht werden muß. Bewertungsunsicherheiten haben dann ein besonderes Gewicht, wenn sie bei schlecht abbaubaren und sich anreichernden Stoffen auftreten, bei denen von einer Belastung von Lebewesen über die gesamte Lebensspanne auszugehen ist. Dies trifft für viele halogenorganische Flammschutzmittel zu.

3 Die Risikostruktur halogenorganischer Flammschutzmittel

Halogenorganische Flammschutzmittel sind in den Kunststoffteilen und in den Bauelementen vieler elektrischen und elektronischer Investitionsgütern des privaten Haushaltes enthalten. Sie gehören zu strukturell sehr unterschiedlichen Verbindungsklassen. Aussagen zu ökologischen Risiken sind daher zunächst einzelstoffspezifisch zu treffen. In diesem Exkurs werden solche einzelstoffspezifischen Daten unter dem Aspekt "Zugehörigkeit zu Problemfeldern" geordnet. Diese Vorgehensweise erlaubt es jetzt im Rückblick - unter Beachtung der Bewertungsschwierigkeiten aufgrund von Datenlücken bzw. fehlenden systematischen Untersuchungen zu einzelnen Problemfeldern - einige allgemeine Aussagen über das Vorkommen und die Häufung von Risiken bei halogenorganischen Flammschutzmitteln aus stoffspezifischen Befunden abzuleiten:

1. Schlechte bzw. fehlende Abbaubarkeit (Persistenz) ist ein gemeinsames Kennzeichen der heute mengenmäßig dominierenden halogenorganischen

Flammschutzmittel (siehe Unterpunkt 2.3 in diesem Exkurs).

2. Bioakkumulation ist für die chlorierten und bromierten, phosphorfreien organischen halogenierten Flammschutzmittel ein gemeinsames Kennzeichen (siehe Unterpunkt 2.4 in diesem Exkurs).
3. Chronische Toxizität ist bei einigen halogenorganischen Flammschutzmitteln nachgewiesen, die jeweiligen Wirkungsendpunkte sind hierbei stoffspezifisch unterschiedlich.
4. Der Einsatz von Stoffgemischen anstelle eindeutig charakterisierbarer Einzelstoffe und das Auftreten von problematischen Verunreinigungen ist für einige halogenorganische Flammschutzmittel kennzeichnend.
5. Halogenorganische Flammschutzmittel besitzen das Potential zur Bildung besonders problematischer Folgeprodukte bei thermischer Belastung.

Bei heute eingesetzten halogenorganischen Flammschutzmitteln liegt in Einzelfällen eine hohe Toxizität gegenüber aquatischen Lebensgemeinschaften vor. Sie sind von geringer akuter Toxizität für den Menschen. Für die Risikoeinschätzung halogenorganischer Flammschutzmittel in der Literatur und in der öffentlichen Diskussion stehen daher nicht akut-toxische Eigenschaften im Vordergrund, sondern die Langzeitauswirkungen (chronische Toxizität), das Vorliegen der ökologisch unerwünschten Stoffeigenschaften Persistenz und Akkumulation sowie die Verknüpfung mit problematischen Folgeprodukten.

Exkurs 2: Hormonell wirksame Umweltchemikalien

Reproduktionsstörungen bei Mensch und Tieren sind ein bedeutendes Umweltproblemfeld. Hier stellen hormonell wirksame Umweltchemikalien einen von mehreren Belastungsfaktoren dar. Sie sind Beispiele für Stoffe mit einem chronischem Schädigungspotenzial.

Im privaten Haushalt können diese Stoffe als Inhaltsstoffe verschiedener Haushaltschemikalien oder als ungewollte Rückstände in Produkten. So wurde z.B. in der Innenbeschichtung von Konservendosen in Einzelfällen der hormonell aktive Stoff Bisphenol-A-diglycidylether (BADGE) gefunden. Auf die Problematik dieser Stoffe wird im folgenden Exkurs eingegangen.

<p>Der aktuelle Wissensstand zu hormonell wirkenden Stoffen ist auf dem 2. Statusseminar des Bundesforschungsministeriums und des Umweltbundesamtes diskutiert und zusammengestellt worden (BMBF/UBA 2001). In zwei Veröffentlichungen sind Bewertungen und Klassifizierungen endokrin wirkender Stoffe veröffentlicht worden (Gülden et al. 1997, Bruhn et al. 1999). Siehe ausserdem zu dieser Thematik Gies et al. 1998, Umweltbundesamt 1995, Janssen et al. 1997.</p>
--

Hormonell wirksame Umweltchemikalien

1	Bedeutung körpereigener Hormone.....	135
2	Auswirkungen hormonell wirksamer Umweltchemikalien	135
3	Einsatzgebiete hormonell wirksamer Umweltchemikalien	136
4	Bewertung	137
5	Schlußfolgerungen.....	138

1 Bedeutung körpereigener Hormone

Körpereigene Hormone steuern unterschiedlichste Lebensvorgänge: Fortpflanzung, Entwicklung und Verhalten sind einige von ihnen. Fein aufeinander abgestimmt, sind Hormone schon in sehr frühen Stadien des Lebens auch für eine ungestörte Embryonalentwicklung verantwortlich. Hormone sind Botenstoffe, die aus speziellen Drüsen freigesetzt werden. Wenn sich Produktionsort und Zielzellen im Körper räumlich unterscheiden, bezeichnet man sie als endokrine Hormone. Beim Menschen sind bestimmte Gehirnregionen (Hypothalamus und Hypophyse), die Nebennierenschilddrüsen, die Schilddrüse, die Nebenniere, die Bauchspeicheldrüse, die Niere, die Eierstöcke und die Hoden die wichtigsten Bestandteile des endokrinen Systems. Von ihnen werden eine Vielzahl von Hormonen freigesetzt. Zu diesen gehören die Sexualhormone: Östrogene, Androgene und Gestagene. Die Freisetzung der Sexualhormone steht unter komplexer, stark untereinander vernetzter Regulation. Die primäre Funktion der Sexualhormone ist die Steuerung der sexuellen Entwicklung und der Fortpflanzungsfähigkeit.

2 Auswirkungen hormonell wirksamer Umweltchemikalien

Vom Menschen in die Umwelt eingebrachte Chemikalien können als Hormone wirken und bei der Aufnahme in den Organismus zu empfindlichen Störungen des Hormonsystems führen. Bei der Fortpflanzung von Wildtierpopulationen werden seit einigen Jahren Schäden von zum Teil massivem Ausmaß unter anderem durch sogenannte „Xenoöstrogene“ beobachtet, Auswirkungen auf den Menschen werden kontrovers diskutiert (Colborn et al.1993, Soto et al. 1995, Toppari et al. 1995, BMBF/UBA 2001, Schlumpf und Lichtensteiger 1996).

1. Im Apopka-See (USA) wurden in den späten siebziger Jahren Alligatoren mit sehr kurzen Penisen beobachtet. Die Geschlechtsbestimmung der Tiere war zum Teil nur durch Entnahme von Gewebeproben möglich. Daneben zeigte sich eine erhöhte Sterblichkeit der embryonalen und jungen Alligatoren sowie ein stark erhöhtes Konzentrationsverhältnis des weiblichen Sexualhormons Östrogen im Vergleich zum männlichen Sexualhormon Testosteron. Als

auslösende Substanzen kamen die in den See eingeleiteten Pestizide Dicofol und DDT sowie Schwefelsäure und Abwässer in Frage.

2. Im Nordwesten der USA, in Großbritannien, in Alaska sowie in Südostasien traten weibliche Meeresschnecken mit männlichen Genitalien (= Imposexphänomen) auf. In Zusammenhang mit diesen globalen Phänomenen werden Tributylzinnverbindungen (TBT) gebracht, die vorwiegend als Unterbootsanstriche verwendet werden. Der Effekt wird möglicherweise durch eine indirekte Erhöhung des männlichen Sexualhormonspiegels bei weiblichen Tieren ausgelöst. Die Folge sind das Verschwinden der Spezies in den betroffenen Gebieten durch weibliche Sterilität. Auch in deutschen Salzwässern und Süßgewässern liegen die TBT-Belastungen sehr deutlich über der Effektschwelle.
3. In Klärteichen in England und Wales wurde bei in Käfigen gehaltenen, männlichen Regenbogenforellen eine stark erhöhte Plasma-Vitellogeninproduktion festgestellt. Vitellogenin ist ein Eiweiß, das normalerweise nur von weiblichen Tieren unter der Kontrolle des weiblichen Sexualhormons Östrogen produziert wird. Vitellogenin wird für den Aufbau des Eidotters verwendet und ist somit ein typisch weibliches Protein. Unter den oben genannten Bedingungen entsprach der Vitellogeninspiegel der männlichen Tiere dem der weiblichen Tiere. Der beobachtete Effekt deutet auf eine östrogenartig wirkende Substanz in den Abwässern hin, da die Vitellogeninsynthese durch Östradiol kontrolliert wird. Auslösende Substanzen sind höchstwahrscheinlich die in den Abwässern vorkommenden Abbauprodukte der Alkylphenoethoxylate, die in großen Mengen als Oberflächenhilfsmittel Anwendung finden. Daneben kommen die synthetischen Östrogene, die aus den „Pillen“ stammen, als mit verursachende Agentien in Frage.
4. Beim Menschen wird derzeit der Rückgang der Spermakonzentration und der Spermabewegungsfähigkeit sowie eine mögliche Erhöhung der Brustkrebsrate in einigen Industrienationen in Zusammenhang mit einer erhöhten Belastung durch hormonell wirksame Umweltchemikalien diskutiert.

3 Einsatzgebiete hormonell wirksamer Umweltchemikalien

Einige Chemikalien, die zum Teil in großindustriellem Maßstab hergestellt und in unterschiedlichen Anwendungsbereichen eingesetzt werden bzw. wurden, sind hormonell aktiv. Hierzu zählen einige Pestizide, polychlorierte Biphenyle als Kühlflüssigkeiten und Isolierflüssigkeiten, Holzschutzmittel (PCP), Unterbootsanstriche (Tributylzinnverbindungen), innenseitige Lackierungen von Lebensmittelkonserven (Bisphenol A), Additive in Gummiprodukten oder Plastikprodukten und Farben (zum Teil mit weitem Anwendungsfeld) (Dithiocarbamate, Mirex, Alkylphenoethoxylate, Phthalate), Antioxidantien (butyliertes Hydroxyanisol). Auch bei Schwermetallen und Dioxinen wurden hormonelle Wirkungen nachgewiesen. Kläranlagenabflüsse,

Papiermühlenabflüsse und Rohöl sind Beispiele komplexer Stoffgemische mit nachgewiesener hormoneller Wirksamkeit. Einige dieser Anwendungen führen zu einem direkten Eintrag, andere zu einem verzögerten Eintrag in die Umwelt.

4 Bewertung

Bei Tieren sind schädigende Effekte durch hormonell aktive Umweltchemikalien in Tierexperimenten eindeutig nachgewiesen worden und stehen zum Teil in einem klaren Zusammenhang mit den bei Wildtierpopulationen beobachteten Schädigungen und der dort beobachteten Umweltbelastung. Die Embryonalentwicklung und die Zeit kurz nach der Geburt erwiesen sich als extrem störanfällig gegenüber hormonell aktiven Umweltchemikalien. Zu diesen Zeitpunkten stattfindende Eingriffe in die komplexen, sich noch entwickelnden hormonellen Steuerungsprozesse haben bei Tierpopulationen in der Natur zu irreversiblen Schädigungen geführt.

Ob beim erwachsenen Menschen ein Zusammenhang zwischen hormonell aktiven Umweltchemikalien und Gesundheitsschädigungen - wie dem diskutierten Rückgang der Spermakonzentration und der Spermamobilität sowie der Zunahme der Brustkrebsrate - besteht, ist derzeit noch offen. Die diesbezügliche Datenlage ist extrem fragmentarisch. Dagegen ist die Belastung von heranwachsenden Kindern während der Schwangerschaft und die Belastung von Säuglingen durch hormonell aktive Umweltchemikalien sehr kritisch zu bewerten. Aufgrund der komplexen hormonellen Entwicklung handelt es sich hier um eine hochsensible Phase gegenüber schädigenden hormonellen Einflüssen - analog der bei Tieren beschriebenen Situation.

Auch pflanzliche Inhaltsstoffe können hormonell aktiv sein. In der öffentlichen Diskussion um die Risikobewertung hormonell aktiver Umweltchemikalien wird oft ein Vergleich der täglichen Aufnahme dieser Phytoöstrogene mit den hormonell aktiven Umweltchemikalien vorgenommen. Diskutiert wird dabei, ob hormonell aktive Umweltchemikalien gegenüber Pflanzenstoffen mit hormoneller Wirkung hinsichtlich Aufnahmemenge und Wirkung vernachlässigt werden können. Bei diesen Vergleichen handelt es sich derzeit lediglich um erste Abschätzungen, die wissenschaftlich wenig belastbar sind: Es fehlen genaue Quantifizierungen der Aufnahmemengen. Die Kenntnisse zur Toxikologie und Ökotoxikologie der beiden Substanzgruppen sind sehr lückenhaft. Daher können fundierte Vergleiche derzeit nur für Einzelstoffe der Pflanzenstoffe und Umweltchemikalien untereinander gezogen werden. Hierbei hat es sich gezeigt, dass bei den Abbauprozessen und bei den Ausscheidungsprozessen sowie der damit verbundenen Bioverfügbarkeit erhebliche Unterschiede zwischen den Einzelstoffen bestehen. Außerdem werden für einige der pflanzlichen Östrogene neben einer potentiell schädigenden Wirkung auf den Organismus andere positive Effekte (zum Beispiel Verringerung bestimmter Krebsraten) auf den Organismus diskutiert (Janssen et al. 1997).

Problematische Belastungssituationen für Natur und Mensch treten - bei sehr unterschiedlichen Aufnahmemengen für einzelne hormonell aktive Stoffe - sowohl bei Phytoöstrogenen als auch bei hormonell wirksamen Umweltchemikalien auf. Diese

Belastungssituationen sind hierbei stoffspezifisch sehr unterschiedlich. Die Auswirkungen hormonell wirksamer Umweltchemikalien können daher gegenüber den Effekten von Phytohormonen nicht vernachlässigt werden. Hinzu kommt, dass es bisher sehr viele Beispiele akkumulierender und persistenter hormonell wirksamer Umweltchemikalien gibt, wohingegen diese problematischen Stoffeigenschaften bisher bei den näher untersuchten Phytoöstrogenen nicht gefunden wurden.

Hormonell aktive Umweltchemikalien weisen generell ein erhebliches ökotoxikologisches Schädigungspotential auf - insbesondere unter Berücksichtigung additiver Effekte durch die vorhandene Mehrfachbelastung.

5 Schlußfolgerungen

Auch wenn bei einigen Gruppen hormonell aktiver Substanzen derzeit noch Forschungsbedarf hinsichtlich des Ursache-Wirkungs-Zusammenhanges besteht, sollten aufgrund der vorliegenden Daten zur Schädigung von Lebewesen durch hormonell wirksame Stoffe alle Möglichkeiten durch Belastungsreduktion genutzt werden. Störungen hormoneller Steuerungen durch Chemikalien im Niedrig-Dosis-Bereich können Schädigungen bewirken, die irreversibel sind und sich über mehrere Generationen auswirken.

Bei einigen Stoffgruppen hat die Exposition in der Umwelt bereits ein solches Niveau erreicht, dass die Effektkonzentrationen für die beschriebenen Schädigungen überschritten wurden. Hier ist unmittelbarer Handlungsbedarf gegeben, um die Belastung zu senken. Zu diesen Stoffgruppen zählen Alkylphenoethoxylate (APEOs) und Organozinnverbindungen (TBT).

Es bestehen zwar bei beiden Substanzgruppen bereits (geringfügige) Reduktionsanstrengungen, die aber bei weitem nicht ausreichen. Bei den Phthalaten, die als Weichmacher in großen Mengen eingesetzt werden, besteht ein sehr großes Verdachtsmoment, schädigend in den Hormonhaushalt einzugreifen. Letzte Untersuchungen zur Absicherung der Effekte bei Tieren stehen für diese Stoffgruppe noch aus.

Exkurs 3:**Polyzyklische und Nitro-Moschusverbindungen**

Einzelne synthetische Moschusverbindungen sind Beispiele für schlecht abbaubare, bioakkumulative Stoffe. Sie werden in Konsum-Produkten für den Haushalt eingesetzt: als Duftstoffe u.a. in Parfüms, Haarshampoos und anderen Artikeln für die Körperpflege. Diese Stoffe und ihre Problematik werden im folgenden Exkurs dargestellt.

Literatur zum Exkurs 3: Brunn und Rimkus 1997, Bunke 1996b, DGE 1996, DGE 2000, Rebmann et al. 1997, Rimkus und Brunn 1996, Schlumpf und Lichtensteiger 1993, Schlumpf und Lichtensteiger 1996, Umweltbundesamt 1999a.
--

Polyzyklische und Nitro-Moschusverbindungen

1	Vom Naturstoff zum synthetischen Duftstoff	140
2	Einsatzgebiete und Produktionsmengen synthetischer Moschusduftstoffe.....	140
3	Struktur synthetischer Moschusverbindungen.....	141
4	Problematische Eigenschaften synthetischer Moschusverbindungen	141
5	Grund zur Besorgnis und offene Fragen zur Toxikologie	142
6	Nitro-Moschusverbindungen und polycyclische Moschusverbindungen in Muttermilch und Fettgewebe.....	143

1 Vom Naturstoff zum synthetischen Duftstoff

Moschus, das Drüsensekret des in Ostasien und im östlichen Rußland lebenden Moschustieres, ist ein seit Jahrhunderten begehrter Grundstoff für die Parfümzubereitung. Moschus harmonisiert und verstärkt die Parfümkompositionen. Da der Naturstoff selten ist, werden Moschus-Duftstoffe in großen Mengen synthetisch hergestellt und als Duftstoffe eingesetzt. Der erste Moschusduftstoff wurde -eher zufällig- bereits 1888 entdeckt. Aufgrund ihrer Struktur und ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften werden synthetische Moschusverbindungen heute in der Muttermilch und im Fettgewebe des Menschen und von Tieren analytisch nachgewiesen. Die schlechte Abbaubarkeit (Persistenz) und die Fähigkeit der Anreicherung (Bioakkumulation) im Fettgewebe sind aus human- und ökotoxikologischer Sicht problematische Eigenschaften einiger synthetischer Moschusverbindungen. Notwendig sind synthetische oder natürliche Duft-Grundstoffe, die im Produkt oder auf der Haut ihren Dienst erfüllen und dann die Umwelt nicht langfristig belasten. Dies ist bei einigen der heute eingesetzten Nitro-Moschusverbindungen und polycyclische Moschusverbindungen nicht der Fall (Brunn und Rimkus 1997, Rimkus und Brunn 1996).

2 Einsatzgebiete und Produktionsmengen synthetischer Moschusduftstoffe

Synthetische Nitro-Moschusverbindungen und polycyclische Moschusverbindungen sind großtechnisch relativ einfach herstellbar - und deshalb auch billig. Sie werden weltweit als Ersatzstoff für das seltene und teure natürliche Moschus in der Riechstoffindustrie eingesetzt. Sie sind inzwischen Bestandteil vieler Kosmetikartikel, Seifen, Shampoos, Wasch- und Reinigungsmittel.

Es sind etwa 1.000 Chemikalien mit einer moschusähnlichen Duftnote bekannt. Ökonomisch bedeutsam sind hiervon lediglich rund 30 Verbindungen. Der industrielle

Verbrauch an synthetischen Moschusverbindungen wird weltweit auf 7.000 bis 8.000 Tonnen geschätzt mit einem Marktwert von 215 Millionen US \$ (Bezugsjahr 1987).

Für Nitromoschusverbindungen wurde das Produktionsvolumen weltweit 1987 mit etwa 2.500 Tonnen beziffert, für polycyclische Moschusverbindungen (s.u.) mit 4.300 Tonnen. Die Produktionsmengen für einzelne bedeutende synthetische Moschusverbindungen liegen bei mehreren hundert Jahrestonnen: In der EG wurde der jährliche Verbrauch an Moschus Xylol 1993 auf 500 Tonnen/Jahr geschätzt; von der polycyclischen Moschusverbindung HHCB wurden weltweit 1987 mehr als 1.000 Tonnen/Jahr produziert.

3 Struktur synthetischer Moschusverbindungen

Viele synthetische Moschusverbindungen sind von ihrer Struktur her nicht mit natürlichem Moschus vergleichbar, sondern anders aufgebaut. Es können mehrere Klassen unterschieden werden. Die **Nitromoschusverbindungen**¹¹ und die **polycyclischen Moschusverbindungen**¹² sind die von der Produktionsmenge her besonders wichtigen Klassen. Auf sie wird in diesem Exkurs näher eingegangen.

Zu den Nitromoschusverbindungen gehören u.a. Moschus Ambrette, Moschus Keton, Moschus Mosken und Moschus Xylol. Mengenmäßig bedeutende Stoffe bei den polycyclischen Moschusverbindungen sind u.a. HHCB, AHTN, ADBI und AHDI. (Bei diesen Verbindungen findet sich das Kennwort "Moschus" nicht mehr im Namen. In der Regel werden hier Abkürzungen angegeben).

In der Abbildung 1 am Ende dieses Exkurses sind die Strukturformeln von wichtigen synthetischen Moschusverbindungen dieser beiden Klassen wiedergegeben.

4 Problematische Eigenschaften synthetischer Moschusverbindungen

Nitro-Moschusverbindungen und polycyclische Moschusverbindungen aus Waschmitteln und Kosmetika kommen bei der Anwendung dieser Produkte in das Abwasser. Sie sind biologisch schlecht abbaubar. In Kläranlagen werden sie nur teilweise zurückgehalten und gelangen dadurch in Gewässer. Sie können sich in Wasserorganismen und im Fettgewebe sehr stark anreichern, da sie ein hohes Bioakkumulationspotential besitzen. Auch kleine in die Umwelt abgegebene Stoffmengen können über die Nahrungsketten angereichert werden und sich in

¹¹ Nitromoschusverbindungen sind aromatische Verbindungen, die zwei oder drei Nitrogruppen (NO₂-Gruppen) enthalten. Sie werden durch Nitrierung benzolhaltiger Ausgangsverbindungen produziert.

¹² Polycyclische Moschusverbindungen enthalten nicht nur einen Benzolring, sondern eine komplizierter aufgebaute Ringstruktur mit Indan- und Tetralinstrukturen. Sie enthalten keine Nitrogruppen.

vergleichsweise hohen Konzentrationen in Tieren und im Menschen wiederfinden¹³.

Die weltweite Produktion und Verwendung dieser synthetischen Moschusverbindungen hat inzwischen aufgrund ihrer schlechten Abbaubarkeit und der Anreicherungsfähigkeit auch zu einer weltweiten Belastung von Gewässern und Lebewesen mit diesen Stoffen geführt. Synthetische Moschusverbindungen finden sich inzwischen in Muscheln, in Krabben und in verschiedenen Fischarten. Regenbogenforellen, Stör und Aale sind hier nur einige Beispiele. Auch beim Menschen können sie analytisch nachgewiesen werden.

5 Grund zur Besorgnis und offene Fragen zur Toxikologie

Für viele synthetische Moschusverbindungen liegen derzeit noch keine vollständigen Bewertungen ihrer Giftigkeit für den Menschen vor. Einzelne Verbindungen können zu allergischen Reaktionen führen. Hierzu zählen Moschus Xylol und Moschus Keton sowie Moschus Ambrette. Die polycyclischen Verbindungen AHTN und HHCB können unter Lichteinwirkung zu Hautschädigungen führen. Moschus Ambrette und AHTN führten bei Ratten zu Schädigungen des Nervensystems. Moschus Ambrette führte bei männlichen Ratten zu krankhaften Veränderungen der Hoden¹⁴. Dies weist auf Einwirkungen auf die hormonelle Steuerung hin. Derzeit ist für viele Moschusverbindungen nicht geklärt, ob sie eine hormonelle Wirksamkeit besitzen, östrogen oder antiandrogen wirken. Moschus Xylol und Moschus Keton scheinen nicht östrogen wirksam zu sein.

Moschus Xylol kann bei der Ratte verschiedene Enzymsysteme aktivieren, die in die Abbauege von Fremdstoffen eingreifen. Es ist derzeit noch unklar, ob die aus Moschus Xylol gebildeten aromatischen Amine eine krebserzeugende Wirkung ausüben können.

Moschus Ambrette bewirkte in verschiedenen Testsystemen Schädigungen der Erbsubstanz. Der Einsatz in Kosmetika ist inzwischen verboten worden. Bei Moschus Xylol traten in Fütterungsversuchen mit Ratten bei relativ hohen Konzentrationen verstärkt Lebertumore auf. Auf den Einsatz dieses Stoffes wird inzwischen in Deutschland bei Haushaltswasch- und Reinigungsmitteln und Kosmetika freiwillig verzichtet.

Für viele andere synthetische Moschusverbindungen ist derzeit eine belastbare Einschätzung der Langzeit-Giftigkeit für den Menschen (chronische Toxizität) nicht möglich. Das gilt speziell für Auswirkungen auf das sich entwickelnde Kleinkind bei der Aufnahme dieser Stoffe über die Muttermilch.

¹³ Die polycyclischen Moschusverbindungen weisen hierbei eine wesentlich stärkere Anreicherung auf als die Nitro-Moschusverbindungen. Auch die in der Literatur berichteten Konzentrationen im Wasser sind für polycyclische Verbindungen in der Regel höher als für die Nitromoschusverbindungen.

¹⁴ Hodenatrophie: krankhafte Veränderungen der Hodenkanälchen, die zu Störungen bei der Reifung der Spermazellen führen können.

6 Nitro-Moschusverbindungen und polycyclische Moschusverbindungen in Muttermilch und Fettgewebe

Viele synthetische Moschusverbindungen können vom Menschen über belastete Nahrungsmittel, speziell Fische, aufgenommen werden. Die gute Fettlöslichkeit dieser Verbindungen läßt aber auch vermuten, dass sie direkt über die Haut in den Körper des Menschen gelangen können, wenn kosmetische Präparate mit diesen Verbindungen eingesetzt oder Kleider getragen werden, die mit moschushaltigen Waschmitteln bzw. Weichspülern gewaschen wurden. Die gute Aufnahme über die Haut wurde für Moschus Xylol im Tierversuch bereits nachgewiesen.

Einige synthetische Moschusverbindungen werden auch seit einigen Jahren regelmäßig in Muttermilch und in menschlichem Fettgewebe gefunden. 1993 wurden erstmals sowohl Nitromoschusverbindungen als auch polycyclische Moschusverbindungen beim Menschen nachgewiesen. Es handelt sich hierbei u.a. um Moschus Xylol und Moschus Keton, Moschus Ambrette und Moschus Mosken, außerdem um HHCB, AHTN, ADBI und ATII. Die Konzentrationen einiger polycyclischen Verbindungen liegt dabei in Einzelproben deutlich über den Konzentrationen der Nitro-Moschusverbindungen Moschus Xylol und Moschus Keton. In der folgenden Tabelle werden für einige Moschusverbindungen die in Muttermilch gefundenen Konzentrationen genannt.

Tabelle 1: Konzentrationen einiger synthetischer Moschusverbindungen in Muttermilch und menschlichem Fettgewebe

Material	Verbindung	Gehalt in Milligramm /kg Fett, Spannweite
Muttermilch	Moschus Xylol	0,005 - 1, 22 Milligramm / kg Fett
	Moschus Keton	< 0,001 - 0,69 Milligramm/ kg Fett
Humanfett u. Muttermilch	HHCB	0,016 - 0,189 Milligramm/ kg Fett
	AHTN	0,008 - 0,058 Milligramm/ kg Fett
	ADBI	<0,001 - 0,018 Milligramm/ kg Fett
	AHDI	>0,001 - 0,005 Milligramm/ kg Fett

Quelle: verändert nach Rimkus und Brunn 1996, Brunn und Rimkus 1996

Das Auftreten dieser Verbindungen in der Muttermilch ist unter Vorsorgegesichtspunkten nicht akzeptabel (Schlumpf und Lichtensteiger 1993, Schlumpf und Lichtensteiger 1996). Die Stoffe werden beim Stillen vom Säugling aufgenommen. Jede Verunreinigung der Muttermilch mit potentiell schädigenden Substanzen muß vermieden werden. Aufgrund der ungenügenden Datenlage zur chronischen Toxizität dieser synthetischen Moschusverbindungen kann derzeit nicht ausgeschlossen werden, dass erhöhte Konzentrationen von ihnen in die Entwicklung des Säuglings schädigend eingreifen. Das Vorsorgeprinzip gilt in vergleichbarer Weise auch für andere persistente, bioakkumulierende Substanzen (Umweltbundesamt 1999a, Bunke 1996b).

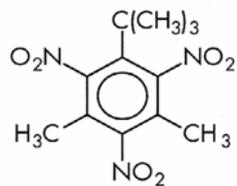
7 Schlußfolgerungen und Forderungen

Duftstoffe spielen in der zwischenmenschlichen Kommunikation eine große Rolle. Dies wird auch in Zukunft so sein. Der Einsatz synthetischer Stoffe kann hier durchaus vorteilhaft sein, wenn dadurch nur begrenzt vorhandene Naturstoffe geschont werden. Von Duftstoffen, gleich welcher Herkunft, ist allerdings zu fordern, dass sie unter gesundheitlichen und Umweltschutz-Aspekten unbedenklich sind. Dies bedeutet auch, dass sie ausreichend toxikologisch untersucht sind, in der Umwelt gut abgebaut werden und sich nicht in Organismen anreichern.

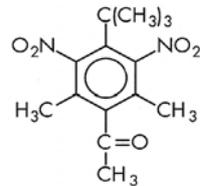
Bedeutende Vertreter der Nitro-Moschusverbindungen und der polycyclischen Moschusverbindungen erfüllen diese Anforderungen nicht. Das Auftreten dieser Verbindungen in Tieren und in Muttermilch ist ein eindeutiges Warnsignal. Diese Stoffe sollten nicht weiter verwendet werden. An ihrer Stelle sind Duftstoffe einzusetzen, die sich nicht anreichern, die gut und leicht abbaubar sind und deren Ungiftigkeit ausreichend geprüft ist - eine klare Herausforderung auch für die zukünftige Weiterentwicklung synthetischer Moschusverbindungen.

In mehreren Untersuchungen der Zeitschrift „ÖKOTEST“ sind Kombiduschgele, Shampoos, Parfüms und andere Produkte auf den Gehalt an Moschusverbindungen hin untersucht worden (Öko-Test 1999).

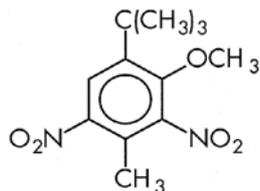
Nitro-Moschusverbindungen



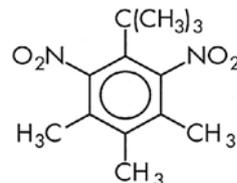
Moschus Xylol



Moschus Keton

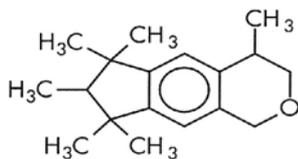


Moschus Ambrette

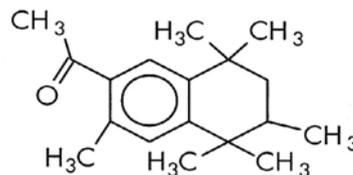


Moschus Tibeten

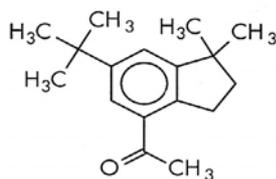
Polycyclische Moschusverbindungen



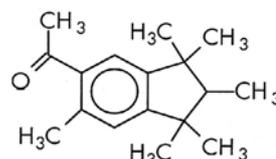
HHCB



AHTN



ADBI



AHDI

HHCB: 1,3,4,6,7,8-Hexahydro-4,6,6,7,8,8-hexamethylcyclopenta[g]-2-benzopyran

AHTN: 7-Acetyl-1,1,3,4,4,6-hexamethyltetrahydronaphthalin

ADBI: 4-Acetyl-1,1-dimethyl-6-tert.butylidihydroinden

AHDI: 6-Acetyl-1,1,2,3,3,5-hexamethyldihydroinden

Strukturformeln von Nitromoschus-Verbindungen und polycyclischen Moschusverbindungen

Exkurs 4:**Vom Einzelstoff zum Stoffstrommanagement: Stoffstromanalysen in Unternehmen am Beispiel der Triumph International AG, Heubach****From individual materials to materials-flow management: Effective corporate environmental protection in the textile industry**

Companies in the textile and garment industry generate environmentally significant flows of materials. A forward-looking company environmental policy includes deliberately structuring these flows of materials, and focusing on certain points. This requires an environmental assessment of the company's activities. The materials-flow survey and the assessment system described below provide valuable assistance for this.

Dieser Exkurs erschien als Veröffentlichung in der Zeitschrift <i>melliand international textile reports</i> , vol. 7-8 1999, p. E167 – E170 (Bunke 1999c).

From individual materials to materials-flow management: Effective corporate environmental protection in the textile industry

1	Introduction.....	147
2	Materials-flow management – a challenging model for targeted environmental protection measures	147
3	Customized materials-flow management for individual firms.....	148
4	Materials-flow management in the textile chain.....	148
5	Choosing focal points for an individual actor: The example of Triumph International AG of Munich	150
6	Integrated environmental assessment in the textile and garment industry.....	152
7	The company materials-flow survey: a helpful reference system	154
8	Possible applications of the assessment system.....	155
9	Prospects	157

1 Introduction

This chapter is intended to demonstrate the potential of a materials-flow survey and an environmental assessment system as corporate management instruments for a company. The basis is the work done by the Öko-Institut with Triumph International AG of Munich in the pilot project “Environmental Assessment System for Material Flows, Products, and Wastes in the Textile Field” commissioned by the Baden-Württemberg State Ministry of the Environment and Transport (Bunke et al. 1998b) – in co-operation with Hydrotox GmbH of Freiburg.

2 Materials-flow management – a challenging model for targeted environmental protection measures

Materials-flow management – this signifies targeted, holistic, and efficient influencing of flows of materials by the actors involved. The objectives of such management are derived from the ecological and economic spheres, with consideration to social aspects (Enquete 1994).

Manufacturing companies are very important for the deliberate directing of materials flows, since they influence these directly by means of production and can structure a large number of fields of activity relevant to flows of materials on their own accord and without being compelled by law. These include product design, marketing, plant design, the decisions as to what semi-finished products will be outsourced, etc.

3 Customized materials-flow management for individual firms

A wide range of options for environmental-protection measures is available to an individual company, most of which can be assigned to the classical fields of medium-specific (liquid, solid, and gaseous wastes) and product-specific environmental policy. "Customized materials-flow management" means identifying and implementing focal points specific to a company within the multitude of possibilities. Certain special features of this are:

- a focus on those environmental problem areas that have priority for the respective industry (these include liquid-waste burdens and transport-related environmental burdens in the textile and garment industry, for example);
- the assessment incorporates socially determined and/or discussed environmental objectives (such as the German government's CO₂ reduction target); the choice of focal points takes account of upstream and downstream activities of the material flows which the company induces – whether elsewhere or on its own sites;
- it includes the options for action of the other actors, and thus extends beyond the company's own activities. Co-operation within the industry, or vertical co-operation among actors, e.g. with subcontractors and waste-disposal organizations, are revealed as new options for action.

Individual steps of this "tailoring" to a company's situation are illustrated in the following by the example of the textile chain and of one actor in it – the garment manufacturer.

4 Materials-flow management in the textile chain

Textiles and garments are one of the central sets of needs in our society. Due also to the relatively short life of most of the textiles manufactured today, the production, use and disposal of textiles (what is called the "textile chain") involves very large throughputs of materials and consumption of energy, and a large number of environmental burdens of different qualities (BLU 1996).

As part of the work of the Bundestag's commission of inquiry on "Protection of Humanity and the Environment", the flows of materials in the textile chain were examined in more detail as an example. Figure 1 shows the essential elements of this chain. Besides the individual stations in the life of a garment, this is also intended to make clear that textiles and garments often involve a substantial amount of transportation. Until now, the materials flows resulting from marketing and packaging associated with the textile chain have received little attention.

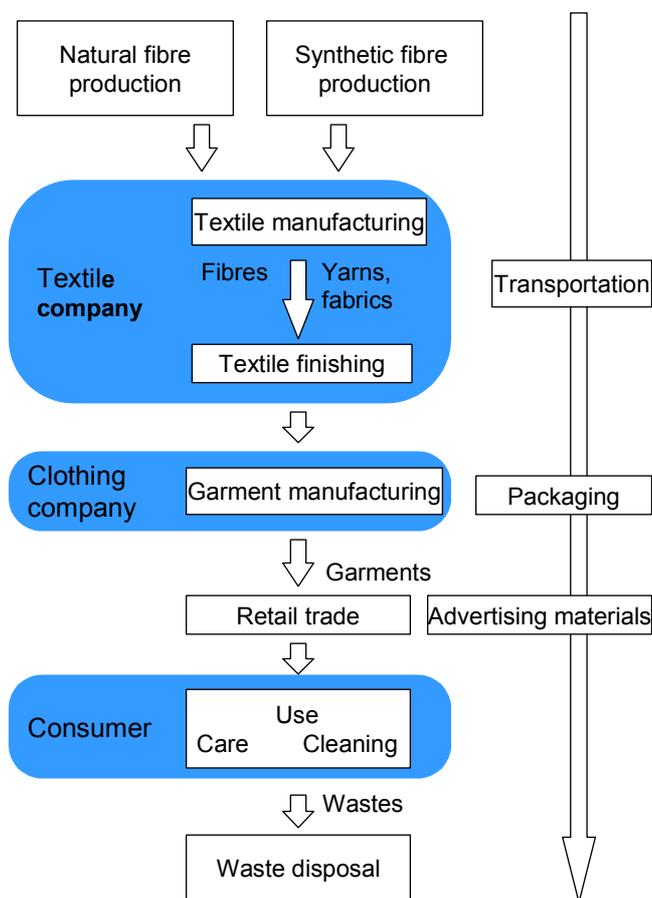


Fig. 1: Elements of the textile chain

In Figure 1, only the “main line” of the textile chain is represented, for the sake of clarity. If we take into account the fact that, besides the elements listed here, the winning, production and provision of the respective raw materials, feedstock chemicals, textile chemicals, and detergents and dry-cleaning agents must be included, it is easy to see why the textile chain involves a very large number of environmentally relevant questions. In Figure 2, environmentally-related focal points for action are named, which have been derived from the analysis of the individual stations of the textile chain (as part of the work of the parliamentary commission of inquiry).

Primary production for natural fibres: <ul style="list-style-type: none"> • Utilization of land for fibre-plant cultivation • Use of insecticides, herbicides, and defoliantes • Use of preservatives during transportation and storage of natural fibres • Large water demand, with negative environmental consequences • Use of fertilizers (nitrification of the soil) • Use of nonrenewable resources for transportation and for synthesis of the materials employed (fertilizers & pesticides). 	Finishing: <ul style="list-style-type: none"> • Use of large quantities of textile auxiliary and finishing chemicals • Emissions into water and air • Energy consumption • Water demand and generation of sewage sludge
Primary production for synthetic fibres: <ul style="list-style-type: none"> • Use of nonrenewable resources as raw materials and for generating process heat • Emissions from the production of synthetic fibres • Use of catalysts, some of which contain heavy metals • Waste water pollution from production of the synthetic fibres • Formation of byproducts 	Transportation between individual stages of the textile chain: <ul style="list-style-type: none"> • Consumption of nonrenewable resources • Carbon-dioxide emissions (greenhouse effect)
Production of fibres, yarns, and fabrics: <ul style="list-style-type: none"> • Energy consumption for spinning and weaving or knitting • Use of textile auxiliaries that result in emissions of pollutants in subsequent steps in processing • Dust and noise pollution • Textile wastes 	Use: <ul style="list-style-type: none"> • Possible toxic effects of the textile chemicals on consumers • Use of detergents and dry-cleaning agents • Spread of environmentally significant substances by washing out (diffuse emissions in sewage) • Use of ecotoxic substances in dry cleaning • High energy inputs into garment care (washing, drying, ironing)
	Disposal: <ul style="list-style-type: none"> • Space occupied in landfills • Emissions of pollutants from incineration and from landfill sites

Fig. 2: Environmentally relevant activities in the textile chain (from Henseling 1996)

5 Choosing focal points for an individual actor: The example of Triumph International AG of Munich

Where to start? This question, which arises immediately from the multitude of environmentally relevant questions in the textile chain, will be answered differently according to the specific actor. It is also important for each individual company within this chain.

For certain “environmentally conspicuous” stages of the textile chain, i.e. ones featuring

recognizable, specific pollution focal points, the focal points are easy to specify. One of these is textile finishing. Here, environmental optimization of the textile auxiliaries and processes employed is an objective that is already reflected in corresponding voluntary commitments by firms and industry associations.

For other actors, defining the focal points is not such an obvious matter. Thus, garment manufacture was explicitly not examined in detail as part of the work of the Commission of Inquiry. Yet the garment industry plays a central role in the textile chain, due to its interfaces with commerce and consumers, on the one hand, and textile manufacturers, on the other.

Triumph International AG of Munich is an important garment manufacturer. Figure 3 shows typical materials flows (inputs and outputs) and fields of action of the company studied. Shifting individual steps in production abroad (in this case, outward job processing in Eastern Europe), and including finished goods from the Far East or other European countries may be considered as typical features of the garment industry, while marketing, logistics, shipping, administration, and transportation are important for companies in other industries, too.

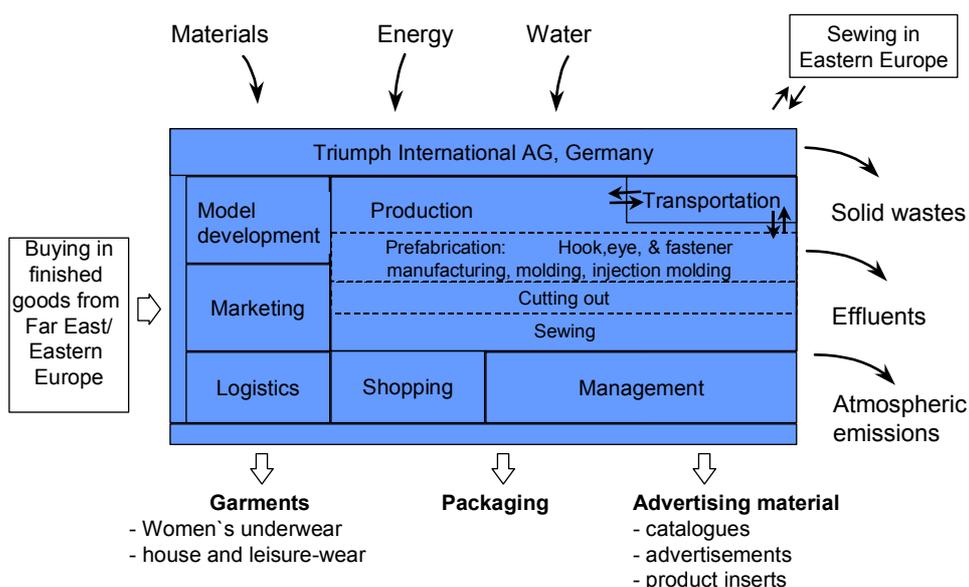


Fig. 3: The garment manufacturer as an actor in the textile chain.

The study of this company, as a typical example, shows that very considerable flows of materials are initiated and influenced by a garment manufacturer of such a size. These include purchases of materials, products, and packaging and advertising material amounting to several thousand tons per year each.

In the first stage of the study, a detailed, site-related and function-related allocation of

the materials flows and part flows, in the sense of an input-output statement, was performed. This makes it clear to the firm what company activities are associated with the materials flows that take priority from the volume and environmental aspects. This requires an environmental assessment of the materials flows recorded.

6 Integrated environmental assessment in the textile and garment industry

A holistic environmental assessment in the field of the textile chain needs to deal with the differences among the relevant sets of problems. Figure 2 makes the complexity of this project apparent. On the other hand, decision aids already exist for certain questions relevant to the assessment, such as the draft classification of textile auxiliaries that has been drawn up by TEGEWA¹⁵.

For an individual company in the garment industry, converting these environmental questions into individual assessment criteria and a holistic assessment system as a pragmatic decision-making instrument is no simple matter. As part of the current project undertaken by the Öko-Institut e.V., such an environmental assessment system has been developed, which can be employed within the company for integrated materials-flow management, for product development, and for options for action within the context of the Closed Substances Cycle and Waste Management Act [*Kreislaufwirtschaftsgesetz*]. It is designed to cover a variety of products – against the background of an overview of the major materials flows initiated by a garment manufacturing plant. Some special features of this system are:

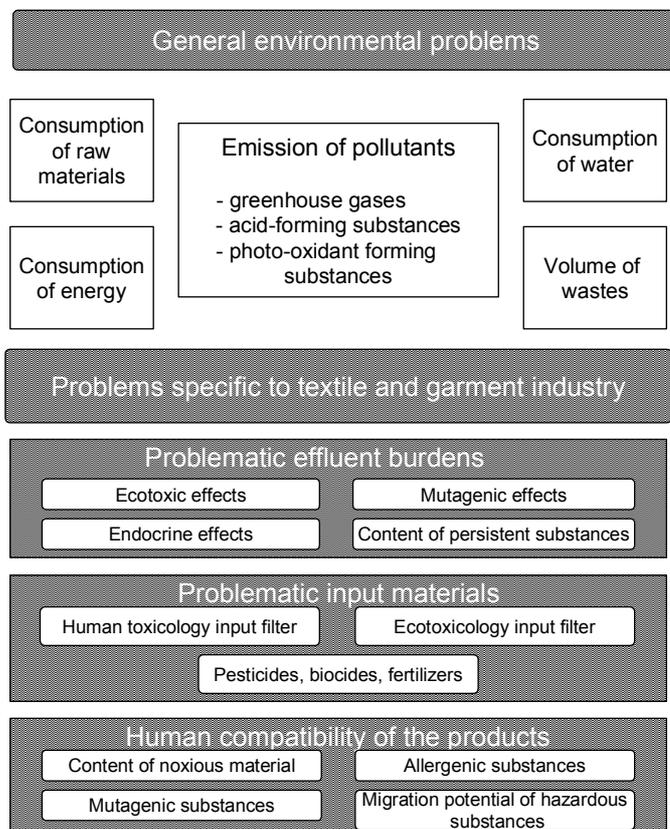
- various groups of environmental problems (liquid effluent burdens, product burdens, transportation-caused burdens, etc.) are considered jointly;
- transactions outside the textile industry are also included, such as washing and disposal of the garments;
- external requirements (from the Materials Recycling and Waste Management Act, for example) are taken into account;
- objectives set by government or society, such as environmental targets of the Federal government, are allowed for.

The structure of this assessment system is depicted in Figure 4. In assessing materials flows and products, a distinction is made between

- criteria that relate to the emission of mass pollutants (e.g. carbon dioxide), consumption of natural resources, and the volume of wastes, and
- criteria that relate to textile-specific and garment-specific sets of problems.

¹⁵ TEGEWA: Verband der Textilhilfsmittel-, Lederhilfsmittel-, Gerbstoff- und Waschrrohstoff-Industrie e.V. (the trade association of the textile and leather auxiliaries, tanning agents, and detergent raw materials industry)

These include environmentally problematic effluent burdens and inputs, as well as the human compatibility of the finished product.



Potential extensions: exhaust-air emissions at textile finishers

Fig. 4: Structure and elements of the integrated ecological assessment system for the textile and garment industry.

The assessment system is of modular design. Each module is intended to enable the materials flows and products relevant to the respective set of problems to be weighted with respect to their environmental priority, and thus focal points for action to be recognized.

In certain elements of the assessment system, qualitatively different environmental burdens are compared to one another. In the assessment, reference is made to existing environmental objectives in weighting these (such as the German Federal government's energy-reduction target). This approach has also proven itself for assessments in the garment usage (washing and dry-cleaning) phase (Grießhammer et al. 1997). Also taken into account in the assessment system are textile-specific

objectives from the discussion on sustainability (UBA 1997), external requirements, from the Materials Recycling and Waste Management Act, for example, and textile labeling as already existing product-based assessments.

Biological test methods are very useful in detecting problematic effluent treatments reliably and obtaining indications of problematic ingredients in the product. Therefore, such test systems have also been considered in the environmental assessment system, in co-operation with the firm of Hydrotex GmbH. These systems and their use in the context of materials-flow management are described in a separate article (Jäger 1999).

7 The company materials-flow survey: a helpful reference system

Thanks to the project carried out with Triumph International AG of Munich, a survey of which “flows” flow where is now available for the first time for an important garment manufacturer. These include materials and energy media, effluents and products, advertising material and packaging – and the associated environmental burdens. On the basis of such a “materials-flow survey”, corporate decisions in the field of environmental protection can be made in the future.

In this materials-flow survey, not only the “materials flows” acquired or emitted by the company directly (materials, energy media, products, wastes) are represented, which would also be covered by a pure company input-output statement. In addition, upstream processes, such as the materials flows needed for manufacturing the textile materials processed by the garment manufacturer are included in the balance sheet, on the one hand. And, on the other, downstream processes such as the washing of the products during use, and their final disposal, are also considered.

In a further stage, the materials flows considered here are “translated” into environmental impacts associated with them – using the assessment system described above. In Figure 5, this approach is summarized again.

Phase I: Input - output analysis at Triumph

—> Survey of materials, wastes, products, flows of energy and part flows

Phase II: Interlinking with data on material composition

—> Survey of direct flows of materials and part flows

Phase III: Inclusion of the precursor chains

—> Survey of direct and indirect flows of materials and part flows

Phase IV: Inclusion of eco-audit data on environmental impacts

—> Materials flows analysis: survey of material flows of Triumph International AG, Germany, and of associated environmental impacts

Fig. 5: Methodical approach to drafting initial materials flow survey

For an individual company, Phase I, the detailed consideration of the company materials flows and part flows, is especially important. A survey of the energy flows, the effluent part flows, and of the materials input flows in the various divisions of the company can often show where environmental protection measures will be particularly effective. It often also uncovers surprising facts: for example, it turned out that, at Triumph, the advertising material represents a very significant “materials flow”. Then a targeted search for potentials for environmental optimization can be made. In the materials-flow survey presented here, very many different fields of action have been taken into account. In order to give them a clearly comprehensible structure, they have been subdivided:

“Product-related” materials flows arise directly in the manufacture, use, and disposal of the products, from packaging, and from goods transportation processes.

“Non-product-related” materials flows arise from the company infrastructure facilities needed for production and marketing (e.g. offices, plumbing, canteens), as well as from advertising material for marketing and from passenger transportation.

8 Possible applications of the assessment system

The application of the assessment system to the materials-flow survey permits numerous useful computer-assisted analyses of a company’s options for action. To name but a few examples:

1. **Separate representation of the environmental impacts associated with the individual fields of activity**
 - **Example 1: field of activity primary products.** What CO₂ emissions are “purchased” together with the products for further processing?
 - **Example 2: field of activity production:** What SO₂ emissions are associated with production or with individual steps in production?
 - **Example 3: field of activity transportation:** What NO_x emissions are associated with traffic caused by Triumph? Is goods transportation more important in this respect than passenger transportation?
2. **Summing up over all the fields of activity**
 - **Example:** representation of the total energy consumption of the company – for one year’s production, for example
3. **Representation of the shares of individual fields of activity**
 - **Example:** Share of transportation in the total CO₂ emissions of Triumph International AG

In the following two figures, typical individual results are presented, which can be obtained from the combination of the assessment system and the materials-flow survey.

Figure 6 shows plant input-output parameters that are directly accessible to auditing, and examples of materials flows that can only be recognized by including upstream and downstream processes. This makes it apparent, for example, that besides the effluent flows that can be allocated directly to Triumph International AG of Munich, additional effluent flows arise from textile finishing and from washing. They are several orders of magnitude larger than the directly allocatable effluent flows.

Direct input-output balance, Triumph		Balance with pre- /subsequent chains ¹	
Textile precursor products	2.454 t	Raw cotton	t
Finished goods	751 t	Fertilizers	250 t
Consumables	149 t	Pesticides	3 t
Packaging	1.100 t	Finishing chemicals	61 t
		Dyes	35 t
		Textile auxiliaries	565 t
Advertising material	1.004 t	Printing ink	8 t
		Printing chemicals	16 t
Products sold	2.900 t	Detergents	5.000 t
Power supply to Triumph (electricity, gas, fuel oil)	$2,6 \cdot 10^{11}$ kJ	Total energy	$1,49 \cdot 10^{12}$ kJ
Water consumption	15.800 m ³	Total water	40.500.000 m ³
Sewage	15.800 m ³	Waste water, finishing	422.000 m ³
		Waste water, washing	1.960.000 m ³
		CO ₂	83.300 t
		NO _x	181 t
		VOC	267 t
		SO ₂	111 t
Triumph wastes	1.406 t	Total wastes	6.225 t

¹ The data were selected as individual examples from the materials-flows-overview.

Fig. 6: Materials flows associated with a year's output of garments from Triumph International AG, Deutschland

Figure 7 depicts the amounts of wastes generated in the various fields of activity, differentiated according to different types of waste. Here, too, it is apparent that only by including upstream and downstream chains a holistic view of the environmental impacts (associated with a company's annual production of textiles) can be obtained.

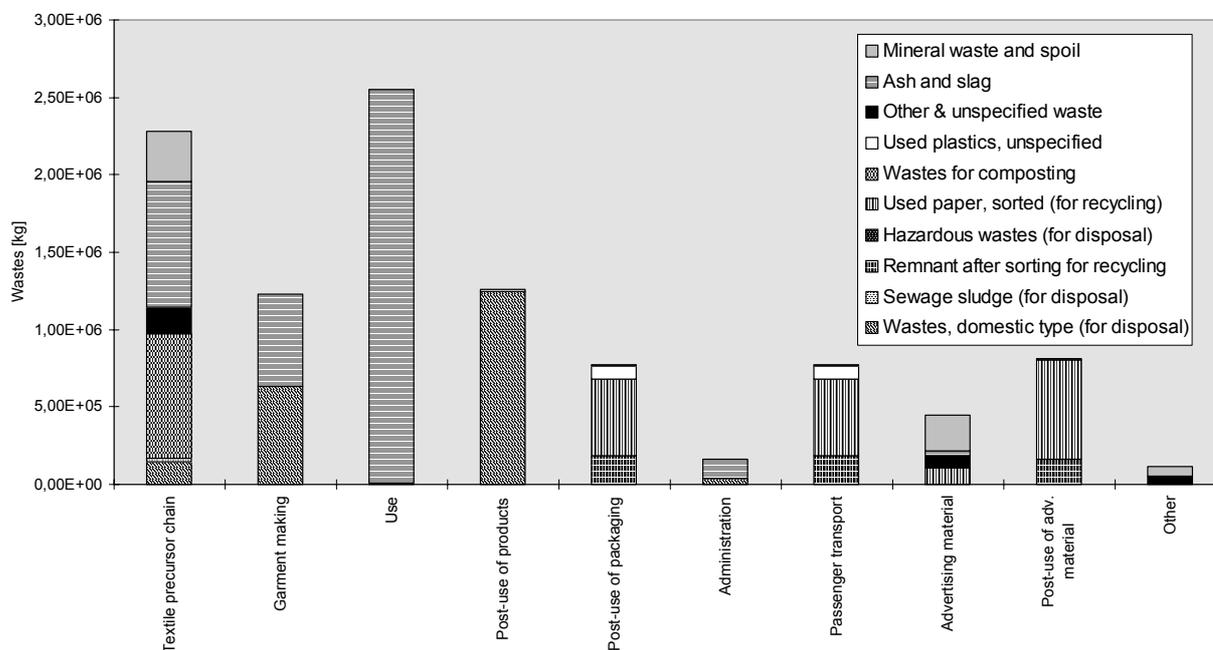


Fig. 7: Quantities and types of waste for various fields of activities

The shares of the various categories of transportation in the emissions of pollutants, such as nitrogen oxides, can be represented clearly by the materials-flow survey. It becomes very apparent that, for Triumph, passenger transportation is considerably more important than the transportation of the finished products.

9 Prospects

Effective corporate environmental protection requires effective analysis and assessment instruments. Useful approaches to this can be adopted from materials-flow management. For the example of an important garment manufacturer, an environmental assessment system has been developed that is intended to be applicable to other companies in the textile and garment industry, as well. In combination with a materials-flow survey, it reveals which fields of activity and materials flows of a company have priority from an environmental point of view. This permits effective medium-term and long-term orientation of environmental protection measures.

The focus of attention is no longer only on those matters that can be dealt with within the company. The assessment system enlarges the perspective involved. The entire textile chain can be included into an overview of the materials flows which the company

causes: from extracting raw materials for synthetic fibres or growing natural fibres, to the reuse or disposal of the garments. From this, there also result possible activities in which the companies cooperate: with suppliers, with wholesalers and retailers, and with consumer organizations. Communication and cooperation can thus result in environmental protection measures that provide substantial relief and are agreed upon by different “actors”.