

# IZT

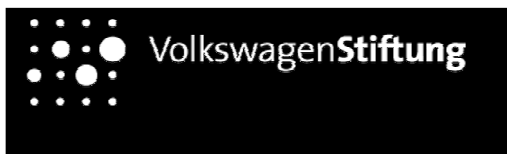
**Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung**  
Institute for Futures Studies and Technology Assessment

## **Nachhaltige Bestandsbewirtschaftung nicht erneuerbarer knapper Ressourcen**

Handlungsoptionen und Steuerungsinstrumente  
am Beispiel von Kupfer und Blei

Lorenz Erdmann, Volker Handke, Dr. Stefan Klinski,  
Siegfried Behrendt, Dr. Michael Scharp

**Werkstattbericht Nr. 68**



Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln der Volkswagen-Stiftung gefördert (FKZ: II/75 514). Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Berlin, Dezember 2004

**ISBN 3-929173-68-9**

© 2004 **IZT**

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

(WerkstattBerichte / IZT, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung ; Nr. 68)

ISBN 3-929173-68-9

© 2004 **IZT** by Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Printed in Germany

## Vorwort

Die Knappheit von nicht erneuerbaren Ressourcen und Umweltbelastungen ihrer Gewinnung sind bislang vorwiegend unter der Aspekt der Nachfrage nach Primärressourcen diskutiert worden. Das Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT), Berlin, hat anhand der beiden knappen Massenmetalle Kupfer und Blei systematisch die Perspektive einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung eingenommen und untersucht. Im Konzept der nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung wird die Wiedergewinnung von Ressourcen am Ende der Nutzungsphase in den Vordergrund gestellt. Das Hauptinteresse galt der Analyse von fördernden und hemmenden Faktoren, insbesondere für die Schlüsselstrategien Recycling und Substitution. Dabei ist es gelungen einen politisch-rechtlich geprüften Instrumentenmix zur Förderung einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei zu erarbeiten, der beispielhaft auch für die Schonung der Primärressourcen anderer knapper nicht erneuerbarer Ressourcen steht.

An dem Forschungsprojekt, das von der Volkswagen Stiftung gefördert wurde, beteiligten sich zahlreiche Unternehmen, Behörden, Forschungsinstitute und Verbände. Sie haben nicht nur dazu beigetragen, dass die entwickelten Ideen und Konzepte einer eingehenden Praxisprüfung unterzogen werden konnten, sondern auch zu einer beispiellosen Erhebung und Zusammenführung von Daten zu den Stoffströmen von Kupfer und Blei.

Dankend hervorheben möchten wir insbesondere die mehr als 50 Interviewpartner, die mit ihrem Sachverstand wesentlich zum Gelingen dieses Werkes beigetragen haben: Herr Ant (KRV – Fachverband Kunststoffrohr Industrie), Herr Dr. Bannick (Umweltbundesamt), Herr Batz (Umweltbundesamt), Herr Baunemann (VKE), Frau Behnke (Umweltbundesamt), Herr Behrendt (Fa. BEWAG – Bereich Netzplanung), Herr Dr. Bögel (Fa. Wieland Werke AG Ulm – Zentrallabor und Entwicklung), Herr Bross (Deutsches Lack Institut), Frau Bruun (European Environment Agency – Information Centre), Herr Burgdorf (Fa. Siemens-Fujitsu – Leiter Computer Recycling Center Paderborn), Herr Cohrs (BDSV – stellvertretender Geschäftsführer), Herr Deubzer (FHG-IZM), Herr Dr. Döring (Fa. Schott Glas), Herr Dr. Eggers (Umweltbundesamt), Herr Fidalgo (Fa. LG Philips Displays – Abteilungsleiter Ökologie), Herr Friese (Fa. Pries & Friese – Autoverwertungcenter), Herr Gotzen (JSM-Verband), Herr Greubing (AK Bildröhrenrecycling), Herr Hamich (KWD – Informationsdienst für Kunststoffe im Bauwesen), Herr Handke (Fa. Interschalt GmbH Hamburg – Anlagenplanung und Automatisierung), Herr Dr. Harant (Bayrisches Landesamt für Umweltschutz), Frau Held (Umweltbundesamt), Herr Hennen (Fa. Ford – Umweltabteilung), Herr Holzapfel (Ingenieurbüro Hantschel Fahrzeugtechnik und Verkehr), Herr Höppner (Fa. BEWAG – Netzinformationssysteme), Herr Klatt (bvse – Umweltabteilung), Herr Köhler (Fa. Rohr-Stolberg), Herr Dr. Lammel (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft), Herr Leggatt (Global Mining Initiative), Herr Leuning (BDSV – Geschäftsführer), Herr Lindenberger (Fa. Siemens), Herr Martinek (Fa. Nachtmann), Frau Müller (Energieseminar TU Berlin), Frau Dr. Müller (FHG-IZM), Herr Dr. Nann (Fa. Hoppecke – Batterieentwicklung), Herr Dr. Oberle (Fa. Schott Glas), Herr Otto (Ministry of Environment and Energy Denmark – Information Officer), Herr Pankrath (Fa. PSINet – Sales Manager Berlin), Herr Petersen (Federal Environmental Agency of Denmark), Herr Puder (Umweltbundesamt), Herr Quade (Fa. Schott Glas – Process Engineering), Herr Schischke (FHG-IZM), Herr Dr. Schmidt (Fa. Ford – Umweltabteilung), Herr Schomberg (Fa. Dynamit Nobel – Betriebsleiter Nürnberg), Herr Schumacher (VDEh – Umweltschutz Stahlrecycling), Herr Schwarzbach (stellv. Vorsitzende Fachgruppe Shredder im BDSV), Herr Siepenkort

(Klempner), Herr Smuck (Bundesamt für Wirtschaft), Herr Stark (Fa. DaimlerChrysler – Entwicklungsabteilung), Herr Steil (Fa. Berzelius Metall – Leiter Umweltschutz), Herr Sprotte (Hamburger Stadtentwässerung HSE KOM – Projektingenieur), Herr Streitberger (Bundesverband Schießstätten), Herr Tenamberg (KITEC e.G. – Kabelinstallateur), Herr Dr. Tobias (BITKOM-Umweltabteilung), Herr Dr. Türpe (Deutsches Kupfer Institut – Beratung industrielle Anwendungen), Herr Dr. Weissmann (Universität Erlangen) und Herr Dr. Wilden (Wirtschaftsvereinigung Metalle).

Darüber hinaus danken wir den Teilnehmern des Workshops, Herr Dr. Baukloh (KM Europa Metall AG), Herr Buchholz (WVM), Herr Prof. Brandt (Universität Lüneburg), Herr Dr. Ellmies (BGR), Herr Flint (KM Europa Metall AG), Herr Prof. von Gleich (FH Hamburg), Herr Dr. Henseling (Umweltbundesamt), Herr Dr. Kuckshinrichs (Forschungszentrum Jülich), Frau Müller (Bundesministerium für Wirtschaft), Herr Sander (Ökopol), Herr Steil (Berzelius Metall GmbH), Herr Dr. Wagner (BGR), Herr Widmer (EAWAG) und Herr Wohlberedt (BGR), für ihre fachkundigen Beiträge zur abschließenden Diskussion der Ergebnisse.

Bei der Volkswagen Stiftung bedanken wir uns für die Förderung, ohne die das Projekt nicht hätte durchgeführt werden können. Besonderer Dank gebührt schließlich Herrn Hof, der das Projekt von seiten der Volkswagen Stiftung betreut und unterstützt hat.

Lorenz Erdmann

Volker Handke

Dr. Stefan Klinski

Siegfried Behrendt

Dr. Michael Scharp

## **Kurzfassung**

Das Forschungsprojekt untersucht Handlungsoptionen und Steuerungsinstrumente zur Förderung einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung nicht erneuerbarer knapper Ressourcen anhand der Beispiele Kupfer und Blei. Diese gehören im Vergleich zu anderen Massenmetallen zu den außerordentlich knappen natürlichen Ressourcen. Die Sekundärstoffeinsatzquoten von Kupfer und Blei in der Gesamtproduktion liegen jedoch nur bei jeweils rund 55 %. Stoffstammbäume geben über Verwendungsmuster, Wertschöpfungsketten und Akteursschnittstellen Auskunft. Für zehn prioritäre Handlungsfelder, darunter elektrische und elektronische Geräte, Kraftfahrzeuge und Gebäude, sind in über 50 Experteninterviews, u.a. mit Produktentwicklern, Umweltbeauftragten und Vertretern von Verbänden und Umweltbehörden, die Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung ermittelt worden. Basierend auf einer Analyse hemmender und fördernder Faktoren für Recycling und Substitution wurden erfolgversprechende Maßnahmen abgeleitet. Als Ergebnis liegt ein politisch-rechtlich geprüfter Instrumentenmix zur Förderung einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei vor.

## **Abstract**

The research project investigates options and instruments to support a sustainable usage of non-renewable scarce resources with a focus on copper and lead. Compared to other mass metals they are outstandingly scarce. However, the average input rates of secondary copper and lead in total production achieve only about 55 %. Mass flow diagrams display usage patterns, value chains and interfaces between main actors. For ten areas of main interest, among them electric and electronic equipment, motor vehicles and buildings, the potentials for sustainability have been identified in interviewing more than 50 experts, e.g. product developers, environmental managers and representatives from environmental agencies and organisations. Based on an analysis of impediments and success factors for recycling and substitution promising measures have been derived. The project resulted in a mix of instruments for sustainable use of copper and lead, which has been approved under political and judicial aspects.

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	5
Kurzfassung / Abstract .....	7
1 Einleitung.....	16
1.1 Problemaufriss.....	16
1.2 Grundlegende Forschungsarbeiten .....	19
1.3 Aufbau dieser Arbeit .....	24
2 Nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei und Kupfer .....	26
2.1 Wirtschaften mit Blei und Kupfer .....	26
2.2 Blei und Kupfer als nicht erneuerbare knappe Ressourcen.....	31
2.3 Nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von nicht erneuerbaren knappen Ressourcen ..	38
3 Die Stoffströme von Blei .....	41
3.1 Primärproduktion .....	43
3.2 Verarbeitung und Verwendung .....	46
3.3 Nutzungsphase und Bestand.....	52
3.4 Recycling und Entsorgung .....	53
3.5 Stoffstrombezogene Defizite.....	56
4 Die Stoffströme von Kupfer.....	59
4.1 Primärproduktion .....	61
4.2 Verarbeitung und Verwendung .....	63
4.3 Nutzungsphase und Bestand.....	69
4.4 Recycling und Entsorgung .....	70
4.5 Stoffstrombezogene Defizite.....	73
5 Akteure, Rahmenbedingungen und Instrumente der Stoffpolitik .....	76
5.1 Initiativen der Marktbeteiligten.....	78
5.2 Institutionelle Stoffpolitik .....	79
5.3 Instrumente der Grobsteuerung für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei.....	95
6 Vertiefende Betrachtung einzelner Handlungsfelder .....	99
6.1 Handlungsfeld Kraftfahrzeuge .....	100
6.2 Handlungsfeld Akkumulatoren .....	123
6.3 Handlungsfeld elektrische und elektronische Geräte .....	144
6.4 Handlungsfeld Bleiglas in Bildschirmröhren .....	164
6.5 Handlungsfeld Weichlote in elektrischen und elektronischen Geräten.....	184
6.6 Handlungsfeld Gebäude .....	191
6.7 Handlungsfeld Bleistabilisatoren in PVC.....	205

---

6.8	Handlungsfeld Kabel und Leitungen außerhalb von Gebäuden.....	226
6.9	Handlungsfeld Wirtschafts- und Kristallglas .....	239
6.10	Handlungsfeld Munition.....	245
6.11	Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung.....	255
6.12	Instrumente der Feinsteuerung für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei.....	266
7	Instrumentenmix für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei.....	272
7.1	Einleitung .....	272
7.2	Dokumentations- und Bilanzierungspflichten.....	277
7.3	Branchenorientierte Akteurskooperationen.....	281
7.4	Weiterentwicklung des produktbezogenen Rechts.....	283
7.5	Verwendungsbeschränkungen im Rahmen der integrierten Produktpolitik.....	301
7.6	Getrennthaltungspflichten und Ablagerungsanforderungen.....	313
7.7	Globale Ressourcensteuerung .....	315
7.8	Fazit.....	325
8	Zehn Thesen für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von nicht erneuerbaren knappen Ressourcen.....	330
8.1	Steigende ökologische Rucksäcke durch abnehmende Erzgehalte .....	330
8.2	Die Dissipation von heute ist die Exposition von morgen .....	330
8.3	Langlebige Bestandslager als Minen der Zukunft.....	331
8.4	Variable Systemgrenzen: von lokal bis global .....	332
8.5	Nachhaltigkeitsstrategien auf dem Prüfstand .....	332
8.6	Innovation und Diffusion nachhaltiger Modelllösungen.....	333
8.7	Von der Feinsteuerung zur Grobsteuerung?.....	334
8.8	Der Nationalstaat als Global Player .....	336
8.9	Forschungs- und Handlungsbedarf.....	337
8.10	Vision Nachhaltige Bestandsbewirtschaftung nicht erneuerbarer knapper Ressourcen im Jahre 2030.....	339
9	Literatur .....	340

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Verwendungsmuster von Vorräten in der Technosphäre.....	18
Abbildung 1-2: Forschungsdesign .....	25
Abbildung 2-1: Preisentwicklung von Blei an der London Metal Exchange(1998-2001).....	29
Abbildung 2-2: Preisentwicklung von Kupfer an der London Metal Exchange (1998-2001) ....	29
Abbildung 2-3: McKelvey-Diagramm für Rohstoffe.....	31
Abbildung 2-4: Entwicklung der weltweiten Bleiproduktion und –konsumption .....	34
Abbildung 2-5: Weltproduktion an Primärblei (1900-2000) .....	35
Abbildung 2-6: Weltproduktion an Primärkupfer (1900-2000) .....	37
Abbildung 2-7: Entwicklung des weltweiten Verbrauchs an Raffinadekupfer.....	37
Abbildung 2-8: Systematisierung von Nachhaltigkeitsstrategien .....	39
Abbildung 2-10: Strategien einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung am Beispiel von Blei in Kathodenstrahlröhren.....	40
Abbildung 3-1: Der Stoffstrom von Blei in Deutschland.....	42
Abbildung 3-2: Flussschema der Primärproduktion von Blei.....	43
Abbildung 3-3: Verwendung von Blei in Europa .....	47
Abbildung 3-4: Berichteter Verbrauch von Blei in Deutschland .....	48
Abbildung 3-5: Aufkommen, Außenhandel und Einsatz von Bleischrott in Deutschland.....	53
Abbildung 3-6: Flussschema des Bleirecyclings.....	54
Abbildung 4-1: Der Stoffstrom von Kupfer in Deutschland.....	60
Abbildung 4-2: Flussschema der Primärproduktion von Kupfer .....	61
Abbildung 4-3: Verwendung von Kupfer weltweit.....	66
Abbildung 4-4: Verwendung von Kupfer in Europa.....	66
Abbildung 4-5: Flussschema des Kupferrecyclings.....	70
Abbildung 4-6: Aufkommen, Außenhandel und Einsatz von Kupferschrott in Deutschland.....	71
Abbildung 5-1: Instrumentelle Stränge einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung.....	77
Abbildung 6-1: Verteilung des Einsatzes von Kupfer in Kraftfahrzeugen .....	101
Abbildung 6-2: Verteilung des Einsatzes von Blei in Kraftfahrzeugen .....	102
Abbildung 6-3: Stoffströme von Kupfer und Blei in Kraftfahrzeugen in Deutschland .....	104



---

Abbildung 6-4: Entwicklung von Neuzulassungen, Bestand und Löschungen von Kraftfahrzeugen in Deutschland .....	105
Abbildung 6-5: End of Life-Phase von Kraftfahrzeugen .....	109
Abbildung 6-6: Stoffströme von Kupfer in der Altabbehandlung in Deutschland .....	111
Abbildung 6-7: Stoffströme von Blei in der Altabbehandlung in Deutschland .....	112
Abbildung 6-8: Prozentualer Kupfergehalt von Korngrößenklassen der Shredderleichtfraktion .....	116
Abbildung 6-9: Stoffströme von Blei in Akkumulatoren in Deutschland.....	127
Abbildung 6-10: Szenarien für den Rückfluss von Blei in Akkumulatoren aus dem Bestand in Deutschland .....	138
Abbildung 6-11: Szenarien zum Einfluss der Sammelquoten von Akkumulatoren auf den Bleiverluststrom.....	139
Abbildung 6-12: End of Life-Phase von elektrischen und elektronischen Geräten .....	155
Abbildung 6-13: Stoffströme von Blei in Kathodenstrahlröhrenglas in Deutschland.....	168
Abbildung 6-14: Szenarien für den Rückfluss von Kathodenstrahlröhrenglas in Deutschland	176
Abbildung 6-15: Szenarien für die Entsorgung von End-of-Life-Glas aus Kathodenstrahlröhren in Deutschland.....	177
Abbildung 6-16: Roadmap zum Recycling von Kathodenstrahlröhrenglas in Deutschland.....	183
Abbildung 6-17: Lebenszyklus eines Gebäudes .....	193
Abbildung 6-18: Stoffströme von Blei in PVC in Deutschland .....	211
Abbildung 6-19: Szenarien für den Rückfluss von Blei in PVC-Produkten aus dem Bestand in Deutschland .....	222
Abbildung 6-20: Einsatzgebiete für bleihaltige Munition.....	247
Abbildung 6-21: Szenarien für die Entwicklung des weltweiten Primärbleiverbrauchs.....	256
Abbildung 6-22: Szenarien für die Entwicklung des weltweiten Primärkupferverbrauchs .....	258
Abbildung 6-23: McKelvey-Diagramm für Kupfer im Bestand .....	263
Abbildung 6-24: McKelvey-Diagramm für Blei im Bestand.....	263

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Klassifizierungen von Kupfer- und Bleischrott .....	31
Tabelle 2-2: Kennzahlen für die Knappheit von Nichteisen-Metallen.....	33
Tabelle 2-3: Entwicklung der Reserven, Reservebasis und Ressourcen von Blei .....	33
Tabelle 2-4: Indikatoren für die Knappheit von Blei .....	35
Tabelle 2-5: Entwicklung der Reserven, Reservebasis und Ressourcen von Kupfer.....	36
Tabelle 2-6: Indikatoren für die Knappheit von Kupfer.....	38
Tabelle 3-1: Vorstoffeinsatz der Bleihütten und -legierungshersteller in Deutschland .....	43
Tabelle 3-2: Produktion und errechneter Verbrauch von Blei in Deutschland .....	45
Tabelle 3-3: Hauptproduzenten und –verbraucher von Raffinadeblei weltweit.....	46
Tabelle 3-4: Entwicklung der Verwendung von Blei weltweit .....	47
Tabelle 3-5: Verwendung von Blei in Deutschland .....	48
Tabelle 3-6: Produktion von Bleichemikalien und -halbzeugen in Deutschland .....	49
Tabelle 3-7: Verbleib von Bleiprodukten in Deutschland.....	50
Tabelle 3-8: Verwendungsprofil von Bleiprodukten der 1. Verarbeitungsstufe .....	51
Tabelle 3-9: Typische Rücklaufzeiten von bleihaltigen Produkten .....	52
Tabelle 3-10: Material- und Energiebedarf für die Primär- und Sekundärproduktion von Blei .	55
Tabelle 3-11: Grobschätzung des Eintrages von Blei in Altproduktströme in Deutschland.....	57
Tabelle 4-1: Vorstoffeinsatz der Kupferhütten und –legierungshersteller in Deutschland .....	61
Tabelle 4-2: Produktion und errechneter Verbrauch von Kupfer in Deutschland.....	62
Tabelle 4-3: Hauptproduzenten und –verbraucher von Raffinadekupfer weltweit .....	63
Tabelle 4-4: Verwendung von Kupfer in Deutschland .....	64
Tabelle 4-5: Marktversorgung mit Kupferhalbzeug in Deutschland.....	65
Tabelle 4-6: Produkte aus Gießereien in Deutschland nach Abnehmergruppen.....	65
Tabelle 4-7: Abschätzung der Verwendung von Kupfer für Kabel in Deutschland nach japanischem Maßstab.....	67
Tabelle 4-8: Abschätzung der Verwendung von Kupfer in Deutschland nach US-Maßstab .....	67
Tabelle 4-9: Typische Rücklaufzeiten von kupferhaltigen Produkten .....	69
Tabelle 4-10: Recyclingquoten für Kupfer in Deutschland .....	72

Tabelle 4-11: Material- und Energiebedarf für die Primär- und Sekundärproduktion von Kupfer .....	72
Tabelle 4-12: Kupferverwendungen und Recyclingprobleme .....	73
Tabelle 4-13: Grobschätzung des Eintrags von Kupfer in Altproduktströme in Deutschland ....	74
Tabelle 5-1: Regelungen zur produktbezogenen Kreislaufwirtschaft in der EU.....	81
Tabelle 5-2: Fristen für den Import und die Vermarktung bleihaltiger Produkte in Dänemark - Chemische Verbindungen.....	85
Tabelle 5-3: Fristen für den Import und die Vermarktung bleihaltiger Produkte in Dänemark - Metallisches Blei .....	86
Tabelle 5-4: Grenzwertkonzentrationen für Metalle im Abfall nach Versatzverordnung.....	92
Tabelle 6-1: Einsatzmengen an Kupfer und Blei für die ausgewählten Handlungsfelder in Deutschland .....	99
Tabelle 6-2: Verteilung des Einsatzes von Kupfer in Kraftfahrzeugen im Detail.....	101
Tabelle 6-3: Verteilung des Einsatzes von Blei in Kraftfahrzeugen im Detail .....	102
Tabelle 6-4: Kupfer- und Bleiverbrauch der Kraftfahrzeugproduktion in Deutschland .....	106
Tabelle 6-5: Kupfer- und Bleimengen in den neu zugelassenen Kraftfahrzeugen in Deutschland .....	107
Tabelle 6-6: Kupfer- und Bleimengen im Kraftfahrzeugbestand in Deutschland.....	107
Tabelle 6-7: Kupfer- und Bleimengen in gelöschten Kraftfahrzeugen in Deutschland .....	109
Tabelle 6-8: Typische Verteilung und Zusammensetzung der Shredderfraktionen .....	110
Tabelle 6-9: Ausnahmen vom Bleiverbot gemäß Altfahrzeugverordnung .....	119
Tabelle 6-10: Entsorgungspflichten gemäß Altfahrzeugverordnung .....	119
Tabelle 6-11: Demontagepflichten gemäß Altfahrzeugverordnung.....	120
Tabelle 6-12: Beseitigungsquoten für Abfälle aus Altkraftfahrzeugen gemäß Selbstverpflichtung der Deutschen Automobilindustrie.....	121
Tabelle 6-13: Hütten zum Recycling von Akkumulatoren in Deutschland .....	134
Tabelle 6-14: Typische Zusammensetzung gebrauchter Starterbatterien aus Kraftfahrzeugen	135
Tabelle 6-15: Input und Output beim MRU-Batterierecycling-Verfahren.....	135
Tabelle 6-16: Strategien für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei in Starterbatterien .....	137
Tabelle 6-17: Gerätegruppen, Gerätekategorien und Produktbeispiele von elektrischen und elektronischen Geräten.....	146
Tabelle 6-18: Typische Zusammensetzung von elektrischen und elektronischen Geräten.....	147

Tabelle 6-19: Kupfermengen in den verkauften elektrischen und elektronischen Geräten in Deutschland .....	148
Tabelle 6-20: Kupfermengen im Bestand ausgewählter elektrischer und elektronischer Gerätegruppen in deutschen Haushalten .....	149
Tabelle 6-21: Abschätzung der End-of-Life-Stoffströme in Deutschland gemäß Klassifizierung nach WEEE-Richtlinie .....	151
Tabelle 6-22: Abschätzung der End-of-Life-Stoffströme in Deutschland gemäß Klassifizierung nach WEEE-Richtlinie im Detail .....	151
Tabelle 6-23: Kupfermengen in elektrischen und elektronischen Altgeräten in Deutschland ..	152
Tabelle 6-24: Ergebnisse einer Elementaranalyse von Leiterplatten aus Taschenrechnern .....	153
Tabelle 6-25: Ergebnisse eines Eluatversuches mit elektronischen Leiterplatten .....	154
Tabelle 6-26: Verwertungs- sowie Wiederverwendungs- und Recyclingquoten gemäß WEEE-Richtlinie .....	162
Tabelle 6-27: Anteil von Kathodenstrahlröhrenglas in Fernsehern und Desktop-Monitoren ...	166
Tabelle 6-28: Bleigehalte in Fernsehern und Desktop-Monitoren .....	166
Tabelle 6-29: Verwertungsoptionen für Altkonus- und -mischglas in Deutschland .....	173
Tabelle 6-30: Strategien für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei in Kathodenstrahlröhrenglas .....	175
Tabelle 6-31: Initiativen zum Recycling von End-of-Life Kathodenstrahlröhrenglas .....	178
Tabelle 6-32: Wichtige umweltrechtliche Regelungen für Displays .....	179
Tabelle 6-33: Bleifrei-Roadmaps in der Elektro- und Elektronik-Branche .....	189
Tabelle 6-34: Einsatzgebiete von Kupfer, Blei und bleistabilisiertem PVC in Gebäuden .....	192
Tabelle 6-35: Abschätzung des Kupferbedarfs für die Heizungsinstallation in einem Mehrfamilienhaus .....	194
Tabelle 6-36: Verteilung des Einsatzes von Kupfer im Außenbereich von Gebäuden in Deutschland .....	195
Tabelle 6-37: Materialbedarf im Hoch- und Ausbau in Deutschland .....	198
Tabelle 6-38: Verschiedene Schätzungen des Bauabfallaufkommens in Deutschland .....	199
Tabelle 6-39: Typische Zusammensetzung von Baustellenabfällen .....	200
Tabelle 6-40: Rezepturen für PVC-Produkte mit Bleistabilisatoren .....	206
Tabelle 6-41: Verwendung von Bleistabilisatoren für PVC in Deutschland .....	207
Tabelle 6-42: Verwendung von Stabilisatorsystemen für PVC in Europa .....	208
Tabelle 6-43: Verwendung von PVC für die Kabelherstellung in Deutschland .....	209

Tabelle 6-44: Abschätzung des Einsatzes von Bleistabilisatoren für PVC in Deutschland .....	210
Tabelle 6-45: Einsatzgebiete von PVC-Stabilisatorsystemen .....	213
Tabelle 6-46: Substitute für PVC Produkte.....	214
Tabelle 6-47: Anschaffungskosten für PVC-Produkte und deren Substitute .....	216
Tabelle 6-48: Verwertungs- und Entsorgungsoptionen für PVC-haltige Abfallfraktionen in der EU .....	218
Tabelle 6-49: Recycling-Potenziale für Alt-PVC in der EU .....	219
Tabelle 6-50: Strategien für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei in PVC- Produkten .....	221
Tabelle 6-51: Regelungen des Danish Lead Ban für bleistabilisierte PVC-Produkte .....	224
Tabelle 6-52: Typologisierung von Kabeln.....	227
Tabelle 6-53: Kupfer- und Bleibedarf für die Erschließung von Wohnsiedlungen mit Strom- und Telefonkabeln .....	230
Tabelle 6-54: Blei- und Kupfereinsatz im Stromnetz der Schweiz.....	231
Tabelle 6-55: Ausdehnung von Stromnetzen in Deutschland .....	231
Tabelle 6-56: Hersteller von Wirtschafts- und Kristallglas in Deutschland.....	241
Tabelle 6-57: Abschätzung des Bleiverbrauchs in der Wirtschafts- und Kristallglas- produktion in Deutschland .....	242
Tabelle 6-58: Mengenangaben zu Herstellung, Märkten und Verwendung von Blei für Munition in Deutschland in der Literatur .....	247
Tabelle 6-59: Regelungen zu Bleischrot für die Jagd in verschiedenen Ländern .....	252
Tabelle 6-60: Abschätzung der weltweiten Verwendung von Kupfer nach deutschem Maß- stab sowie der Lebensdauer und des Kupfergehaltes der Anwendungen .....	257
Tabelle 6-61: Kernstrategien und Handlungsbedarf für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung .....	259
Tabelle 6-62: Abschätzung des Eintrages an Blei in identifizierte Bestandslager der Technosphäre nach McKelvey-Klassifikation in Deutschland .....	264
Tabelle 6-63: Abschätzung des Eintrages an Kupfer in identifizierte Bestandslager der Technosphäre nach McKelvey-Klassifikationen in Deutschland .....	265
Tabelle 7-1: Zentrale Rechtsfragen der Bestandsbewirtschaftung.....	277

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemaufriss

Die Anzeichen für eine Verknappung der nicht erneuerbaren Ressourcen Blei<sup>1</sup> und Kupfer mehrten sich, wie es die abnehmenden statischen Reichweiten in Höhe von etwa 20 bzw. 30 Jahren signalisieren. Die wissenschaftliche und politische **Knappheitsdiskussion** hat jedoch in den vergangenen Jahrzehnten einen Wandel vollzogen. Bis zum Anfang der siebziger Jahre stand die Sicherheit der nationalen Rohstoffversorgung im Vordergrund (vgl. Sames 1971), als 1972 der Club of Rome anhand eines Weltmodells die Dimension der globalen Erschöpfung nicht erneuerbarer Ressourcen in den Vordergrund rückte (Meadows et al. 1972). 20 Jahre später lag der Schwerpunkt des zweiten Berichtes des Club of Rome auf der Knappheit der Senken, also der Belastbarkeit der Ökosysteme (Meadows et al. 1992). Im gleichen Jahr 1992 haben sich 178 Staaten auf der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung (UNCED) zum **Leitbild der nachhaltigen Entwicklung** bekannt. Nachhaltige Entwicklung wird im Bericht der Brundtland Kommission für Umwelt und Entwicklung als eine Entwicklung verstanden, „die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen“ (Hauff 1987). Das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung beruht auf der Erkenntnis, dass die Lösung der Probleme einer wachsenden Weltbevölkerung, auseinander klaffender Entwicklungen in Industrie- und Entwicklungsländern und steigender Umweltbelastung Strategien erfordert, die die ökologische, ökonomische und soziale Dimensionen integrieren (vgl. Enquete 1994, Huber 1995, IZT 1996).

Die Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 12. und des 13. Deutschen Bundestages hat die Managementregeln von Daly weiter konkretisiert. Die **Managementregeln für die ökologische Dimension**<sup>2</sup> lauten (Enquete 1994, S.28-32):

1. „Die Abbaurate erneuerbarer Ressourcen soll ihre Regenerationsrate nicht überschreiten. Dies entspricht der Forderung nach Aufrechterhaltung der ökologischen Leistungsfähigkeit, d.h. (mindestens) nach Erhaltung des von den Funktionen her definierten ökologischen Realkapitals.
2. Nicht-erneuerbare Ressourcen sollen nur in dem Umfang genutzt werden, in dem ein physisch und funktionell gleichwertiger Ersatz in Form erneuerbarer Ressourcen oder höherer Produktivität der erneuerbaren sowie der nicht-erneuerbaren Ressourcen geschaffen wird.
3. Stoffeinträge in die Umwelt sollen sich an der Belastbarkeit der Umweltmedien orientieren, wobei alle Funktionen zu berücksichtigen sind, nicht zuletzt auch die „stille“ und empfindlichere Regelungsfunktion.

---

<sup>1</sup> Streng genommen ist die Menge von Blei auf der Erde nicht konstant, da Blei als stabiles Endprodukt von radioaktiven Zerfallsketten (Uran 235, Uran 238, Thorium 232) neu gebildet wird. Das gemeinsame Auftreten mit radioaktiven Zerfallsprodukten schließt gegenwärtig allerdings eine wirtschaftliche Nutzung aus.

<sup>2</sup> Konnte für die ökologischen Managementregeln ein Ergebnis erzielt werden, bestand über die ökonomischen und sozialen Regeln keine Einigkeit. Zu den Vorschlägen für ökonomische Regeln gehört u.a., dass Preise „weitestgehend die Knappheit der Ressourcen, Senken, Produktionsfaktoren, Güter und Dienstleistungen wiedergeben“ sollen (Enquete 1998, S. 48). Ebenfalls nicht abschließend diskutiert wurden die Vorschläge für soziale Regeln, die zwar Bezüge zur Gerechtigkeit innerhalb einer Gesellschaft, aber nicht zwischen verschiedenen Gesellschaften (z.B. zwischen den Ländern des Nordens und des Südens) aufweisen.

4. Das Zeitmaß anthropogener Einträge bzw. Eingriffe in die Umwelt muss im ausgewogenen Verhältnis zum Zeitmaß der für das Reaktionsvermögen der Umwelt relevanten natürlichen Prozessen stehen.“

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen hat zu diesen Prinzipien eine fünfte Regel hinzugefügt (SRU 1994):

5. „Gefahren und unvermeidbare Risiken für die menschliche Gesundheit durch anthropogene Einwirkungen sind zu vermeiden.“

Auch das Wirtschaften mit Blei und Kupfer muss sich an diesen Managementregeln messen lassen, wobei insbesondere die **zweite Managementregel** von Bedeutung ist. Ziele sind die Senkung der Abhängigkeit von nicht-erneuerbaren Primärressourcen und die Gewährleistung intergenerativer Gerechtigkeit, d.h. zukünftigen Generationen wird gleichfalls ein Anspruch auf natürliche Ressourcen zugesprochen. Diese Ziele können sowohl durch eine **Substitution von Ressourcen**, als auch durch **Innovationen**, die eine **Effizienzsteigerung** der Ressourcen bewirken, erreicht werden. Somit wird die zeitliche Verfügbarkeit nicht-erneuerbarer Ressourcen erhöht. Bei der Suche nach Substituten auf der Werkstoffebene müssen Gebrauchs- und Fertigungseigenschaften ebenso berücksichtigt werden wie die Verfügbarkeit, der Preis und die Umweltverträglichkeit. Da häufig die metallischen Eigenschaften von Blei und Kupfer für ihre Verwendung ausschlaggebend sind, ist die Substituierbarkeit durch regenerative Ressourcen auf werkstofflicher Ebene eingeschränkt. Vor dem Hintergrund, dass alle Metalle erschöpfbare Ressourcen sind, erstreckt sich die Suche nach Substituten dann auf weniger knappe und „umweltverträglichere“ Metalle. Bei der Bewertung von Substituten sind deshalb auch die ökologischen und ökonomischen (Opportunitäts-) Kosten zu berücksichtigen. Sollen erneuerbare Substitute verwendet werden, muss beispielsweise geklärt werden, inwieweit sie im Sinne der ersten Managementregel unterhalb ihrer Regenerationsrate gewonnen werden können. Auf der Metaebene sind technische, soziale und institutionelle Innovationen zur Förderung einer nachhaltigen Entwicklung notwendig (Enquete 1998).<sup>3</sup> Die Ressourcenproduktivität kann durch alle Maßnahmen, die den Bedarf an Rohstoffen, Hilfsstoffen und Energie pro Prozessprodukt verringern erhöht werden. Die Entstehung von Abfällen und Emissionen ist als unerwünschte Kuppelproduktion auffassbar, die die Prozessausbeute bezogen auf die Einsatzstoffe schmälert. Über die Prozessebene hinaus kann die Ressourcenproduktivität durch prozessübergreifende Kreislaufführung erhöht werden.

Die Managementregeln drei bis fünf beziehen sich auf die Outputseite von anthropogenen Eingriffen in den Naturhaushalt. Die dritte und die vierte Regel stellen den Schutz der Ökosysteme in den Vordergrund, die fünfte die Gesundheit des Menschen. Stärker noch als die Verfügbarkeit stehen die Öko- und Humantoxizität von Schwermetallen im Mittelpunkt wissenschaftlicher Debatten. Zahlreiche Blei- und Kupferverbindungen werden aufgrund ihrer Persistenz, Akkumulierbarkeit und toxikologischer Eigenschaften kritisch beurteilt.

Die Managementregeln der Enquete-Kommission zielen vorwiegend auf konsistente und effiziente Wirtschaftsweisen ab, die Suffizienzstrategie wird nur mittelbar adressiert. Der Studie der Enquete-Kommission kommt das Verdienst zu, die Grundlagen für ein nachhaltiges Wirtschaft-

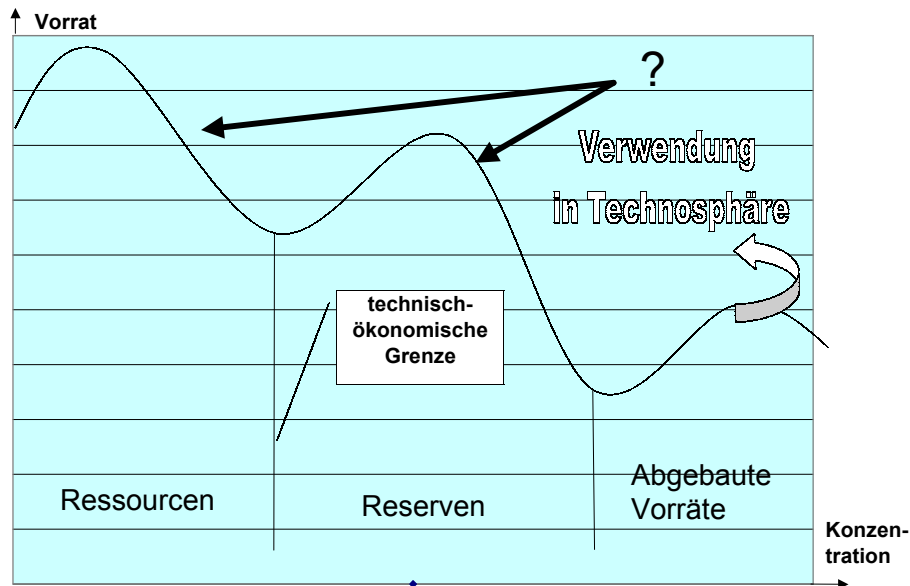
---

<sup>3</sup> Ziel des Forschungsgebietes „Rahmenbedingungen für Innovationen zum nachhaltigen Wirtschaften“ des BMBF ist es, „nicht nur die Innovationsfähigkeit zu unterstützen, sondern zusätzlich die Richtung von Innovationen in Richtung Nachhaltigkeit zu unterstützen“ (Hintergrundpapier zur Bekanntmachung vom 20. Dezember 1999).

ten weiter operationalisiert zu haben. Nahezu alle weiteren Studien in Deutschland beziehen sich auf die Studie der Enquete-Kommission.

Eine **nachhaltige Bestandsbewirtschaftung** kann nur für die Bestände von Blei und Kupfer erfolgen, die einer technisch-ökonomischen Nutzung zugänglich sind. Dazu gehören die natürlichen Lagerstätten der Lithosphäre und zunehmend auch die in Materialien und Produkten der Technosphäre gespeicherten Bestände. Dissipative Verwendungen setzen einer Bestandsbewirtschaftung Grenzen. Dazu zählen einerseits offene Anwendungen, bei denen die Metalle quasi irreversibel in die Umwelt eingetragen werden. Auch dazu zu rechnen sind fein verteilte Anwendungen, bei denen Kupfer oder Blei in geringer Menge in einer Matrix vorliegen, aus der sie technisch-ökonomisch nicht wiedergewinnbar sind. Die technisch-ökonomische Nutzbarkeit von Erzen geringer Konzentration und Mächtigkeit sowie von dissipiertem Blei oder Kupfer wird durch den immensen **Energieaufwand**, den ihre Gewinnung erfordern würde begrenzt. Obwohl die Menge an Blei und Kupfer auch bei dissipativen Verwendungen auf der Erde konstant bleibt, wird von einem irreversiblen Verbrauch gesprochen. In diesem Falle führt die Verwendung dazu, dass die Blei- oder Kupferbestände in der Technosphäre lediglich zu den Ressourcen zählen. Diese Einstufung kann sich jedoch infolge veränderter technisch-ökonomischer Rahmenbedingungen ändern, so z.B. bei der Wiedergewinnung von Blei oder Kupfer aus vormals deponiertem Abraum. Dann gehören die Blei- oder Kupferbestände in der Technosphäre - ebenso wie jetzt schon technisch-ökonomisch gewinnbare Sekundärrohstofflager - zu den Reserven:

**Abbildung 1-1: Verwendungsmuster von Vorräten in der Technosphäre**



Quelle: Eigene Darstellung.

Im Laufe der Geschichte des Abbaus von Blei- und Kupfererzen musste zunehmend auf Vorräte mit geringen Konzentrationen zurückgegriffen werden. So ist beim Kupferabbau der ökologische Rucksack in Form von Abraum in den letzten 100 Jahren etwa um einen Faktor 10 gestiegen. Die sulfidischen Kupfererze gehen zur Neige, so dass in Zukunft verstärkt auf oxidische Kupfererze zurückgegriffen werden muss. Diese mineralogische Barriere zieht voraussichtlich einen deutlich erhöhten Energiebedarf für die Kupfergewinnung nach sich. Die nicht globali-



sierbaren Lebensstile in den reichen Ländern mit ihrem hohen Pro-Kopf-Verbrauch an Blei und Kupfer durch die Nutzung von Endprodukten und Dienstleistungen erfordern Strategien zur nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung, um für ärmere Länder Entwicklungsspielräume zu schaffen, ohne dass die ökologischen Rücksäcke der Rohstoffgewinnung und –aufbereitung explodieren.

## 1.2 Grundlegende Forschungsarbeiten

Die Forschung über die Nutzung und Emissionen von nicht erneuerbaren Ressourcen war lange Zeit vorwiegend in der Ökonomie angesiedelt. In der neoklassischen Konzeption verursachen Blei- und Kupferemissionen externe Kosten, z. B. im Gesundheitswesen und im Fischereigewerbe. Durch die realen Nutzungsmuster von Blei und Kupfer werden andere mögliche Nutzungen erschwert. **Allokationsfragen** im Zusammenhang mit der nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung von Ressourcen werden in den Disziplinen der Ressourcenökonomie (intertemporale Allokation, „optimale Erntepfade“) und der Umweltökonomie (optimale Allokation unter Berücksichtigung externer Umwelteffekte) behandelt. Hauptprobleme für die nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Ressourcen sind aus der ressourcenökonomische Perspektive Informationsdefizite (Nichtexistenz vollkommener Zukunfts- und Risikomärkte und die Beurteilung von Opportunitätskosten) und aus der umweltökonomischen Perspektive Marktmacht und externe Effekte (vgl. u.a. Endres, Querner 1993; Messner 1999). Aus normativ-ethischer Perspektive stellt sich für das Wirtschaften mit nicht-erneuerbaren Ressourcen die Frage, in welchem Maße und für welche Anwendungen sie vor dem Hintergrund einer wachsenden Weltbevölkerung genutzt werden sollen (vgl. u.a. Birnbacher 1988, Leisinger 2000, Sarkar 2001). In neoklassischen Ansätzen erfolgt eine Diskontierung des Rohstoffnutzens in der Zukunft, was mit Trendextrapolationen der Ressourcenproduktivität und Substitution begründet wird. Auch die Annahme von einem bestimmten Pro-Kopf-Verbrauch an Blei und Kupfer zur Abschätzung der Ressourcenverfügbarkeit (DIW 1999) hat erhebliche ethische Implikationen.

Die Enquete-Kommission konstatiert erheblichen **Forschungsbedarf** in der Operationalisierung der Leitbilder einer nachhaltigen Entwicklung und nennt unter anderem (Enquete 1994, S. 39):

- Fragen der Kompensationsfähigkeit für nicht-erneuerbare Ressourcen
- Forschungen über anthropogen verursachte Stoffströme und deren Kopplung mit und in natürliche Stoffströme
- wirtschafts- und sozialgeographische Untersuchungen der Nutzung des natürlichen Kapitals
- Entwicklung von weiteren Methoden und Instrumenten des Stoffstrommanagements
- im Bereich der neuen Werkstoffe die verstärkte Ausrichtung auf die Erhaltung des natürlichen und künstlichen Realkapitals

Zahlreiche andere Studien knüpfen an die Enquete-Kommission und deren Grundsätze an. Über eher punktuelle Vorhaben hinaus, wie z.B. der Bestimmung des Kupferrückflusses aus dem Gebäudebestand, sind folgende sieben Forschungsprojekte aufgrund ihrer grundsätzlichen Vorgehensweise hervorzuheben:<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Auch andere Studien wie z.B. „Handlungsinstrumentarium zur Effizienzverbesserung bei der Gewinnung und Verarbeitung mineralischer Rohstoffe im Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung am Beispiel Kupfer“ von der Prognos AG (2000b) i.A. des Bundesministeriums für Wirtschaft erbringen wichtige Beiträge, gehen methodisch aber nicht wesentlich über die hier aufgeführten Arbeiten hinaus.

### **Nachhaltiges Wirtschaften mit nicht-erneuerbaren Ressourcen (Messner 1999)**

Messner (1999) hat in seiner Dissertation ein Vier-Ebenen-Konzept für ein nachhaltiges Wirtschaften mit nicht-erneuerbaren materiell nutzbaren Ressourcen entwickelt und anhand von vier Fallstudien zu jeder Ebene am Beispiel von Kupfer vertieft.

- Auf der ersten Ebene stellt Messner Kupfer generell als einen von vielen international gehandelten Massenrohstoffen dar und definiert nach seiner Analyse der Rohstoffmärkte zentrale Politikbereiche einer nachhaltigen Ressourcenpolitik, darunter auch das Einschlagen eines Transformationspfades der Ressourcennutzung, „der sukzessive zu einer auf erneuerbaren Ressourcen basierenden Wirtschaftsweise führt“ (Messner 1999, S. 454).
- Auf der zweiten Ebene entwirft Messner aufbauend auf einer ökonomisch-technischen Analyse der Kupferindustrie und –verwendung Ansätze für eine lebenszyklusorientierte Rohstoff- und Stoffpolitik. Er kommt zu dem Schluss, dass der „Politikschwerpunkt auf den Lebenszyklusstadien Kupferbergbau bis -raffination liegen“ sollte (Messner 1999, S. 518). Er begründet dies mit der außergewöhnlichen Umweltbelastung, den Umweltentlastungspotenzialen und der Verlagerung dieser Prozessstufen in die 3. Welt.
- Die preisinduzierte Werkstoffsubstitution (Dritte Ebene) exemplifiziert Messner am Beispiel von Kupfer und Aluminium als elektrische Leitmaterialien. Als Politikoptionen zur umweltentlastenden Werkstoffsubstitution werden u.a. die Forcierung von Grundlagenforschung im Bereich der Werkstoffsubstitution und die Schaffung von Rahmenbedingungen für eine grundsätzlich umweltentlastende Werkstoffsubstitution vorgeschlagen.
- Die vierte Ebene behandelt als Beispiel einer innovationsinduzierten Substitution den Einsatz von Glasfaser anstelle von Kupferkabeln im Bereich der Telekommunikation. Als Ansatz einer nachhaltigen Innovationspolitik differenziert Messner zwei Innovationsstadien. „Im ersten Innovationsstadium, der Erforschung von neuen Werkstoffen und der Entwicklung von anwendungsbezogenen Produkten“ (Messner 1999, S. 565) sollte der Staat dafür sorgen, dass Umweltaspekte als integraler Bestandteil der F&E Berücksichtigung finden. Das zweite Innovationsstadium ist die Diffusion neuer Werkstoffe und Technologien. Aufgabe des Staates sei es, die Umweltwirkungen des massenhaften Einsatzes des neuen Werkstoffes oder Produktes abzuschätzen.

Das Vier-Ebenen-Konzept bietet eine grundlegende Einteilung für das nachhaltige Wirtschaften mit nicht erneuerbaren knappen Ressourcen. Messner schlägt zwar politische Ansatzpunkte einer nachhaltigen Materialnutzung vor, die vorgeschlagenen Lösungswege und Instrumente sind jedoch nicht stringent abgeleitet und bewertet.

### **Nachhaltige Metallwirtschaft Hamburg (von Gleich et al. 2001)**

Im Projekt „Effizienzgewinne durch Kooperation bei der Optimierung von Stoffströmen in der Region Hamburg“ bilden die Metalle Eisen und Stahl (inkl. Nickel und Chrom) sowie Kupfer den Schwerpunkt. Drei Sichtweisen charakterisieren das Vorhaben:

- Metallstoffströme über den gesamten Lebenszyklus
- Akteure der Metallkette, insbesondere Unternehmen
- Fokussierung auf die Region Hamburg

Übergeordnetes Ziel war die nachhaltigkeitsoptimierte Optimierung von Stoffströmen, Produkten und Prozessen. Insbesondere die Einbindung der Norddeutschen Affinerie als Europas größter Kupferhersteller ist auch für den gesamten Kupferstoffstrom interessant. Betriebsübergreifende Verwertungskaskaden und Kupfer im Stahlkreislauf gehörten zu den Arbeitsschwerpunkten. Das Projekt wurde von einem Forschungsverbund im Programm „Modellprojekte für nachhaltiges Wirtschaften“ des BMBF bearbeitet, der die Fachhochschule Hamburg, die Universität Hamburg, Ökopol sowie das Ingenieurbüro für Sozial- und Umweltbilanzen einschließt.

Die Fokussierung auf Akteurskooperationen und die Region Hamburg ermöglicht die Berücksichtigung auch weicher Faktoren wie z.B. das Vieraugengespräch bei Kooperationen, deren Bedeutung häufig unterschätzt wird. Die Einnahme verschiedener Blickwinkel wie stoffstrom-, prozess- und produktorientierte Ansätze sowie die Beteiligung zahlreicher Praxispartner trägt dazu bei, dass Problemlagen und Strategien für eine nachhaltige Metallwirtschaft nicht isoliert, sondern integriert gesehen werden können. Grenzen des regionalen Ansatzes liegen vor allem in externen Trends und den beschränkten Handlungsmöglichkeiten der regionalen Akteure.

### **Ressourcenorientierte Gesamtbetrachtung von Stoffströmen metallischer Rohstoffe SFB 525 (FZ Jülich 2001)**

Dieser Sonderforschungsbereich 525 wird seit 1997 von der DFG gefördert und fokussierte zunächst auf Aluminium. Seit kurzem wird jedoch auch der Kupferstoffstrom einbezogen. Übergeordnetes Ziel ist es „Handlungsempfehlungen für Politik, Industrie und weitere Interessengruppen hinsichtlich einer ressourcenschonenden Nutzung metallischer Rohstoffe [...] zu entwickeln.“ Das Projekt führen die RWTH Aachen und das Forschungszentrum Jülich durch. Es soll dabei ein Instrumentarium für eine ganzheitliche Beschreibung und Analyse des Stoffstroms entwickelt werden. Das Instrumentarium wird auf EDV implementiert und umfasst neben ökonomischen auch ökologische Indikatoren. Mit Hilfe dieses integrierten Modells werden verschiedene Szenarien berechnet.

Zwar liegen insbesondere für die soziale Dimension einer nachhaltigen Metallwirtschaft nur wenig geeignete Indikatoren vor, für die ökonomischen und ökologischen Zusammenhänge konnte mit dem EDV-Tool eine innovative Integrationsleistung erlangt werden. Im weiteren Verlauf sollen die Indikatoren für den Aluminiumstoffstrom qualitativ und quantitativ konsolidiert und ihre Übertragbarkeit auf andere Stoffströme überprüft werden.

Im Rahmen des Projektes wurden zahlreiche Ökobilanzen für die Kupferproduktion und einzelne Anwendungen erstellt, die sich als eine wichtige Grundlage für die Beurteilung von Maßnahmen zur nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung von Kupfer etabliert haben.

### **Gebäude im Umbau urbaner Kulturlandschaften (EAWAG/ETH 2001)**

Anfang 2001 begann an der EAWAG/ETH<sup>5</sup> in der Schweiz das Projekt ARK 04 „Gebäude im Umbau urbaner Kulturlandschaften“. Ausgehend von zunehmender Dominanz urbaner Lebensformen, der damit verbundenen großen Materiallager und Energieverbräuche sowie ihrer ökonomischen Bedeutung, wird gefolgert, dass der geschwindigkeitsbestimmende Schritt zu einem „nachhaltigen Ressourcenhaushalt“ in der Veränderung des Bauwerkes liegt. Der Begriff Gebäude bzw. Bauwerk beinhaltet die gesamte Technosphäre und ist als anthropogenes Zwischenlager physischer und ökonomischer Ressourcen zu verstehen.

Ziel des Projektes ist die Erstellung eines dynamischen Modells über den Ressourcenhaushalt einer urbanen Region zwischen Eigenversorgung und Austausch mit seinem Hinterland<sup>6</sup>, wobei eine Lebenszyklusbetrachtung eingenommen wird. Das Teilprojekt „Anorganische Ressourcen und ihre Genesepfade“ beinhaltet auch Stahl und Kupfer im regionalen Umbau.

---

<sup>5</sup> Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwassersanierung und Gewässerschutz. Die EAWAG ist eine öffentlich-rechtliche Forschungsinstitution des Bundes und dem Rat der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich unterstellt.

<sup>6</sup> Im Sinne von „Das weltweite Hinterland“.

Die Auffassung der urbanen Kulturlandschaft als Bestandslager von Metallen ist eine wichtige Perspektive für das Wirtschaften mit Sekundärrohstoffen. Das Verteilungsmuster der Metalle und ihr Dissipationsgrad in der Technosphäre sind möglicherweise geeignete Indikatoren für ihre Rückholbarkeit, die eng mit dem Energie-, Arbeits- und Logistikaufwand korrespondieren.

### **Stoffmengenflüsse und Energiebedarf ausgewählter mineralischer Rohstoffe - Empfehlungen für eine umweltschonende nachhaltige Entwicklung (UBA/BGR 1998)**

Ausgangspunkt der Studie ist die wachsende globale Rohstoffnachfrage, die in ihrer jetzigen Form einem nachhaltigen Wirtschaften im Sinne der 2. und 3. Managementregel der Enquete-Kommission zu wider läuft. Zum einen wird der Forderung nach Aufrechterhaltung des ökologischen Realkapitals nicht genüge geleistet, zum anderen gefährden die Stoffeinträge beim Bergbau die Funktionsfähigkeit der Umweltmedien. In Rahmen der Studie wurden die weltweiten Stoffmengenflüsse von acht ausgewählten mineralischen Rohstoffen (Aluminium, Chrom, Kupfer, Mangan, Nickel, Eisen, Phosphat und Steinkohle) erfasst, die Reduktionspotentiale der Rohstoffherzeugung und der damit verbundenen Umweltbelastungen durch technische Innovationen und Substitutionsmöglichkeiten untersucht sowie konkrete Maßnahmen vorgeschlagen.

Als wesentliches Hindernis bei der Ermittlung der Stoffmengenflüsse hat sich die hohe Komplexität der globalen Stoff- und Energieflüsse entlang der Wertschöpfungskette erwiesen. Vor dem Hintergrund der jeweiligen Akteurskonstellationen und ihrer spezifischen Interessenslagen hat sich die Anzahl der ausgewählten mineralischen Rohstoffe für eine fundierte Betrachtung als zu hoch herausgestellt. Eine direkte und valide Ableitung von Maßnahmen und Instrumenten ist deshalb im Rahmen des Projektes nicht zu Stande gekommen.

Gleichwohl konnten im Bezug auf einzelne Mengeströme wichtige Informationen ermittelt und Maßnahmen mit dem Ziel einer umweltschonenden nachhaltigen Entwicklung vorgeschlagen werden. Dazu zählen methodische Erkenntnisse zur Abbildung der Stoffflüsse, grundlegende Regeln bei der Nutzung von Umweltindikatoren, die Anwendung von Vorsorgestrategien für nicht erneuerbare Rohstoffe, die Ermittlung von Entwicklungstendenzen auf den Weltrohstoffmärkten und die Darstellung der grundlegenden Akteursstrukturen sowie die Einschätzung der geltenden internationalen Rahmbedingungen im Hinblick auf den Welthandel, für Akteurskooperation, für umweltorientierte Rohstoffvereinbarungen und für Formen der Selbstregulierung.

### **Machbarkeitsstudie für eine stoffstrombezogene Abfallwirtschaftspolitik (IZT et al. 2000)**

Das IZT untersuchte zusammen mit ARGUS und RA. Stefan Klinski im Auftrag des Umweltbundesamtes die Machbarkeit einer stoffstrombezogenen Abfallwirtschaftspolitik am Beispiel der Massensubstanzen Kupfer und Polypropylen. Über die Analyse stoffstrombezogener Defizite hinaus wurden die rechtlichen Möglichkeiten und Notwendigkeiten für stoffstrombezogene abfallwirtschaftliche Maßnahmen analysiert. Insbesondere die Abgrenzung zu produktbezogenen Maßnahmen der Abfallwirtschaftspolitik stand dabei im Vordergrund. Dabei wurden unter anderem folgende Instrumente einer rechtlichen Beurteilung unterzogen:

- Stoffsteuer auf Primärmaterial (Kunststoffe und /oder Metalle)
- Rückholbarkeitsanforderungen für Kabel im Bauwesen

Wichtiges Ergebnis war, dass es keinen Sinn macht, einzelne Stoffe isoliert als Regulierungsobjekte herauszugreifen. Es muss eine stringente sachliche Begründung, dass die Problemlage

dies im spezifischen Falle rechtfertigt, vorliegen. Deshalb ist der Fokus auf Stoffgruppen auszurichten.

Die Grenzen stoffstrombezogener Ansätze zeigten sich sowohl auf der globalen als auch auf der nationalen Ebene: Im Weltmaßstab fehlt es an institutionellen Voraussetzungen für eine Inputsteuerung, im nationalen Maßstab ist aufgrund des Gleichheitsgebotes nach Art 3 GG die Diskriminierung eines Stoffes nur unter sehr engen Voraussetzungen mit materiell stichhaltigen Begründungen möglich.

### **Konzeption für ein Stoffstromrecht (Brandt et al. 2000)**

Ziel des Vorhabens war die Konzeption eines Instrumentariums zur Steuerung von Stoff- und Energieströmen. Es wurde zwischen der Steuerung von Massenstoffen und Schadstoffen differenziert. Für folgende Stoffströme wurden Instrumente, untermauert durch eine Analyse der Stoffströme und Strategien für eine nachhaltige Entwicklung, rechtlich untersucht:

- **Gebäude**

- Steuernde rechtliche Rezeption privater technischer Regeln für ressourcenschonende Baustoffe und Arten
- Pflicht des Bauherrn zur Vorlage eines Baustoffstromkonzepts
- Input-Lizenzpflicht für besonders ressourcenintensive Baustoffe

- **Kraftfahrzeuge**

- Pflicht des Pkw-Herstellers zur Finanzierung der Entsorgung seiner Pkw
- Primärrohstoff-Input-Quote für Neu-Pkw
- Neuorientierung der Kfz-Steuer an der Ressourcenintensität der Pkw-Nutzung und Pkw-Konstruktion

Über die Verankerung im geltenden Umwelt- und Baurecht hinaus wurden die Instrumente im Hinblick auf den Entwurf eines Umweltgesetzbuches der Sachverständigenkommission und auf Eigenschaften wie Effizienz und Effektivität untersucht.

Die Studie schließt vorsichtig, dass „die Strategie- und Instrumentenauswahl [...] wegen der Vielgestaltigkeit der Ströme für jeden Stoffstrom neu überdacht werden“ muss. Im bestehenden Recht wurden zahlreiche Anknüpfungspunkte für die untersuchten Instrumente gefunden, langfristig jedoch sei der Schritt zu einem einheitlichen Stoffrecht zu empfehlen.

### **Fazit**

Insgesamt ist der Stand der jüngeren Forschung dadurch gekennzeichnet, dass neue Perspektiven eingenommen werden -urbane Bestandslager (EAWAG/ETH 2001), Region (von Gleich et al. 2001), vier Ebenen-Modell (Messner 1999)-, integrierende Modelle entwickelt (FZ Jülich 2001) und instrumentelle Schwerpunkte gesetzt werden (IZT et al. 2000, UBA/BGR 1999, Brand et al. 2000). Liegen zu Kupfer bereits übergreifende Studien zum nachhaltigen Wirtschaften vor, so sind systematische Gesamtbeurteilungen des Bleistoffstroms unter Nachhaltigkeitsaspekten nicht bekannt. Als problematisch haben sich in den genannten Studien vor allem die Komplexität der Stoffströme und die Heterogenität der Akteurskonstellationen herausgestellt. Deshalb ist es lediglich punktuell gelungen stoffstrombezogenen Defiziten durch konkrete politische oder rechtliche Maßnahmen zu begegnen. Eine Gesamtkonzeption für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei und Kupfer harret deshalb noch ihrer Entwicklung.

### 1.3 Aufbau dieser Arbeit

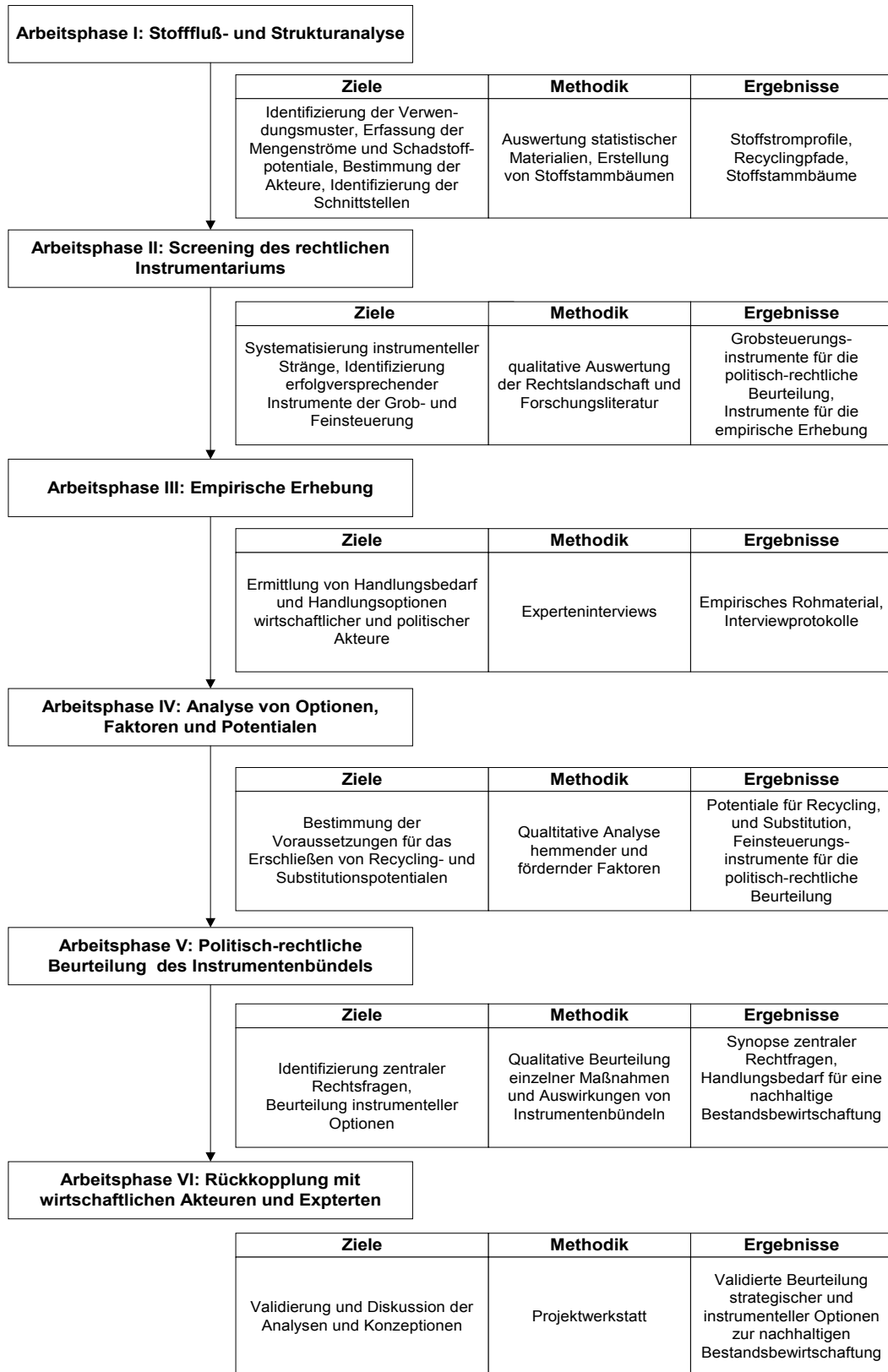
Der gewählte **Untersuchungsrahmen** zieht den Stand der Forschung mit ein, ermöglicht aber auch eine substantielle Weiterentwicklung. Der Fokus der nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung liegt in diesem Projekt auf der Knappheitsdimension der Ressourcen. Ökologische und ökonomische Perspektiven werden in größerem Maße integriert als soziale Aspekte. Die Systemgrenzen werden zumeist auf Deutschland bezogen, problembezogen sind jedoch auch andere Perspektiven – regional, europäisch, global - einzunehmen. Die hier dokumentierte Studie geht über die bisherigen Arbeiten hinaus, indem zwei knappe Metalle Blei und Kupfer betrachtet werden. Dem liegt die Hypothese zugrunde, dass es verallgemeinerbare Problemlagen und Nachhaltigkeitsstrategien für knappe Massenmetalle gibt.

Die **Hauptziele** des Projektes sind im einzelnen:

- Die Erstellung von Stoffstammbäumen (Stoff-, Produkt-, Verwendungs-, und Recyclingdaten) zur Erfassung von Wertschöpfungsketten, Akteursschnittstellen, Recyclinglücken und -möglichkeiten.
- Aufzeigen von Optionen zur Erhöhung der Recyclingquoten für die ausgewählten Metalle (Vermeidung von dissipativen Verwendungen, Rückführung von potentiell dissipativen Verwendungen, Schließen von Kreisläufen, umweltverträgliche Substitute oder kreislauffähige Verwendungsmuster);
- Analyse der Mechanismen, Rahmenbedingungen und Hemmnisse, die eine optimierte Kreislaufführung verhindern;
- Entwicklung einer kreislaufwirtschaftlichen Grundkonzeption für einen Instrumentenmix zur Bestandsbewirtschaftung und Bewertung von Steuerungsinstrumenten zur Optimierung der Recyclingquoten nach politisch-rechtlichen Kriterien;
- Ableitung von Empfehlungen für Politik und wirtschaftliche Akteure zum nachhaltigen Umgang mit den Metallen Kupfer und Blei im Sinne einer Bestandsbewirtschaftung.

Basierend auf dem Forschungsdesign (Abbildung 1.2) ist der **Bericht** wie folgt aufgebaut: Zunächst werden Blei und Kupfer als knappe, aber volkswirtschaftlich bedeutende Metalle charakterisiert und prinzipielle Nachhaltigkeitsstrategien dargestellt (**vgl. Kap. 2**). Daran schließt sich eine systematische Stoffstromanalyse an, um im Stoffstrom von Blei (**vgl. Kap. 3**) und Kupfer (**vgl. Kap. 4**) Defizite zu identifizieren. In **Kapitel 5** werden wesentliche Rahmenbedingungen und Instrumente für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung skizziert und bewertet. Zum einen liefert das Kapitel erfolgversprechende Grobsteuerungsinstrumente für die politisch-rechtliche Beurteilung, zum anderen Feinstuerungsinstrumente zunächst für die empirische Beurteilung. In **Kapitel 6** erfolgt die Analyse stoffstrombezogener Defizite, Strategien und Instrumente in 10 Handlungsfeldern auf Grundlage von über 50 Experteninterviews. Zur Identifizierung übergreifender Recycling- und Substitutionshemmnisse werden Horizontalbetrachtungen der Handlungsfelder durchgeführt, um Nachhaltigkeitsstrategien auf ihre Potenziale hin zu untersuchen. Im Anschluss steht eine Grundkonzeption für die nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei durch ein Instrumentenbündel, das von Dr. Jur. Klinski politisch-rechtlich beurteilt wird (**vgl. Kap. 7**). Die Studie schließt mit einem Ausblick und Handlungsempfehlungen in Form von 10 Thesen (**vgl. Kap. 8**), die auch dem **eiligen Leser** eine grobe Orientierung bieten dürften.

**Abbildung 1-2: Forschungsdesign**



## 2 Nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei und Kupfer

Ein Konzept für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei und Kupfer muss sowohl die spezifischen technisch-ökonomisch genutzten Eigenschaften von Blei und Kupfer und deren Knappheit berücksichtigen, als auch systematisch Nachhaltigkeitsstrategien beurteilen.

### 2.1 Wirtschaften mit Blei und Kupfer

#### 2.1.1 Technisch-ökonomisch genutzte Eigenschaften

Die vielfältigen Eigenschaften von Blei und Kupfer führen dazu, dass sie in zahlreichen Endprodukten vorkommen: Gebäude, Maschinen und Anlagen, Kabel und Rohre für die Ver- und Entsorgungsinfrastruktur, Fahrzeuge, elektrische und elektronische Geräte sowie Haushaltswaren. In einigen Bereichen konkurrieren sie miteinander (z.B. Halbzeug im Bau), in anderen treten sie zusammen auf (z.B. auf Platinen).

Für die technisch-ökonomische Verwendung von **Blei und Bleiverbindungen** sind folgende Eigenschaften maßgeblich:

- Blei ist ein **Schwermetall** der vierten Hauptgruppe (Molmasse 207 g/mol, Dichte 11,35 g/mol). Durch die hohe Dichte bestimmte Eigenschaften sind u.a. gute Schallabsorptionseigenschaften, die Verwendung als Gewicht und in Munition. Die hohe Massenzahl von Blei wird technisch zur Abschirmung von ionisierender Strahlung, vor allem von Röntgenstrahlen genutzt.
- Durch den Zusatz von härtenden oder schmelzpunktniedrigenden Metallen können bei **Legierungen** die Eigenschaften gezielt verändert werden, bzw. die spezifische Eigenschaften von Blei in Legierungen genutzt werden. Reines Blei hat einen Schmelzpunkt von nur 327,5°C und einen Siedepunkt von 1.740 °C.
- Die **Duktilität** von Blei wird zur besseren Verarbeitbarkeit von Legierungen genutzt, aber auch zur Fertigung von Formguss, Halbzeug im Bauwesen und für Verschlusssteile wie z.B. Plomben.
- Hohe ökonomische Bedeutung erlangen die Blei-II/IV-Oxide in Akkumulatoren durch ihr **Redoxverhalten**, bei dem vierwertiges Blei als Oxydationsmittel Elektronen aufnimmt und zu zweiwertigem Blei reduziert wird. Diese Reaktion kann auch umgekehrt werden, so dass man den Elektronenfluss für die Speicherung und spätere Erzeugung von Strom in Akkumulatoren nutzbar machen kann.
- Metallisches Blei ist unedel. Blei ist aufgrund von Deckschichtbildung (Oxid, Sulfat und Carbonat) an der Luft, in hartem (nicht zu kohlenstoffhaltigem) Wasser und auch gegen Schwefelsäure und Salzsäure sehr beständig. Die **Korrosionsbeständigkeit** von Blei wird zur Kabelummantelung, als Rostschutzpigment und im chemischen Apparatebau ausgenutzt.
- Bleioxid vermag zudem wie viele andere Oxide Gläser zu bilden. **Bleigläser** zeichnen sich durch ihre hohe Lichtbrechung zum einen, und durch ihr Absorptionsvermögen von Röntgenstrahlen andererseits aus. Die hohe Lichtbrechung wird in Kristallglas genutzt, die Fähigkeit zur Abschirmung von Röntgenstrahlen in Bildschirmröhren.
- Blei hat in verschiedenen **chemischen Verbindungen** sehr spezifische Funktionen, so als Stabilisator in Kunststoffen, als Stabilisator und Pigment in Schutzanstrichen, in piezoelektrischer Keramik, als Antiklopfmittel in Treibstoffen und in verschiedenen anderen Anwendungen, die v.a. als Zwischenprodukte in der chemischen Industrie genutzt werden.

Für die technisch-ökonomische Verwendung von **Kupfer und Kupferverbindungen** sind folgende Eigenschaften maßgeblich:

- Kupfer ist ein **Schwermetall** aus der 1. Nebengruppe mit der Ordnungszahl 29, einer relativen Atommasse von 63,546, einer Dichte von 8,96 kg/cm<sup>3</sup>, einem Schmelzpunkt von 1083,4°C und einem Siedepunkt von 2.567 °C.



- Die wichtigsten Eigenschaften von Kupfer sind die hohen **Leitfähigkeiten für Wärme** (395W/mK bei 20°C) **und Elektrizität** (60m/Ωmm<sup>2</sup>). Letztere bedingt das dominierende Einsatzgebiet in der Elektroindustrie.
- Kupfer besitzt hinsichtlich seiner **Festigkeitseigenschaften** eine hohe Zugfestigkeit, die durch Kaltumformung auf über 400 N/mm<sup>2</sup> erhöht werden kann. Der Verlauf der Festigkeitskennwerte ist wenig temperaturabhängig. Insbesondere findet keine Kaltversprödung statt, was den Einsatz in Tieftemperaturanwendungen, wie der Kältetechnik, begünstigt. Hinzu kommen Dauerschwingfestigkeiten, die den Einsatz von Kupfer für schwingende Beanspruchungen ermöglichen.
- Kupfer weist eine gute **Korrosionsbeständigkeit** auf, die sich aus seiner geringen Reaktionsenthalpie ergibt. Kupfer bildet an der Atmosphäre eine Passivierungsschicht aus (Patina). In wässrigen Lösungen zeigt Kupfer als einziges Gebrauchsmetall ein Normalpotential, das edler ist als dasjenige von Wasserstoff. Hieraus ergibt sich der Einsatz von Kupfer im Apparatebau.
- Kupfer ist gut giessbar und beliebig oft umschmelzbar. Kupferguss lässt sich sehr gut umformen und in fast allen **Formgebungsverfahren** einsetzen. Plastische Verformungen erhöhen die Härte und die Festigkeit. Für die spanende Bearbeitung ist reines Kupfer wegen seiner großen Zähigkeit bei großer Dehnung nur wenig geeignet. Kupfer wird überwiegend gelötet, lässt sich aber auch schweißen und kleben.
- In **Kupferlegierungen** nehmen bereits bei geringen Fremdatomanteilen Härte und Festigkeit zu, während die thermische und elektrische Leitfähigkeit nur gering abnimmt. Wichtige Legierungen sind Kupfer-Zink (**Messing**) und Kupfer-Zinn (**Zinnbronze**).<sup>7</sup> Durch das Legieren von Kupfer können sehr spezifische Werkstoffeigenschaften herbeigeführt werden.
- Eine wichtige **Kupferverbindung** ist das Kupfer(II)sulfat (Kupfervitriol), das als Fungizid und Algizid sowie in der Galvanotechnik eingesetzt wird. Kupferoxide (Cu<sub>2</sub>O und CuO) werden zum Färben von Glas, Emaille und in synthetischen Schmucksteinen eingesetzt und finden als Katalysator sowie zur Entschwefelung von Erdöl Verwendung. Kupfercarbonat wird für Malerfarben und Porzellan glasuren benutzt. Kupferhydroxidchlorid wird im Weinbau gegen Schadpilze eingesetzt.

### 2.1.2 Endprodukte

Blei und Kupfer finden sich als Massenmetalle in einer unüberschaubaren Produktvielfalt wieder. Über einzelne spezifische Teilmärkte hinaus hängt die Nachfrage nach Blei und Kupfer auch stark von der Weltkonjunktur und der Einkommenssituation der privaten Haushalte ab. Die Hauptmärkte für blei- und kupferhaltige Endprodukte sind Kraftfahrzeuge, Wohnungsbau, EE-Geräte, Telekommunikations- und Energiedienstleistungen, Investitionsgüter und sonstige Infrastrukturen. Darüber hinaus gibt es zahlreiche Nischenmärkte, wie die für Jagdmunition, Haushaltswaren, Angelzubehör etc. Basierend auf der Studie eines Unternehmensberaters hat Ayres et al. (2001) die zukünftige globale Nachfrage nach Kupferprodukten abgeschätzt, für die globale Nachfrage nach Bleiprodukten liegen keine quantitativen Daten vor. Allerdings sind auch die Angaben für Kupferprodukte mit großen Unsicherheiten behaftet und die Extrapolation der Wachstumsraten in die Zukunft mit großen Unsicherheiten behaftet:

- Während es bei der **Nachfrage nach Kfz** in Deutschland Sättigungserscheinungen gibt, versucht die Automobilindustrie ihre Wertschöpfung durch Nischenfahrzeuge, die aufwendige Elektronik und starke Akkumulatoren (Geländewägen, Cabrios mit elektrischem Verdeck, etc.) erfordern, zu steigern. Darüber hinaus ist sie stark exportorientiert und baut vor allem in den großen Wachstumsmärkten in Ostasien (z.B. China) Produktionskapazitäten und Händlernetze aus. Solange kein Substitut für die bleihaltigen Starterbatterien gefunden wird, dürfte die Nachfrage nach Blei für diese Anwendung weiter steigen. Der Kupferbedarf für Elektrokabel in Kfz und Maschinen soll um 13 % pro Jahr steigen (Ayres et al. 2001).

---

<sup>7</sup> Darüber hinaus sind noch Nickel-Zink, Nickel, Aluminium, Zinn-Zink und Blei-Zinn als Legierungssysteme mit Kupfer von Bedeutung.

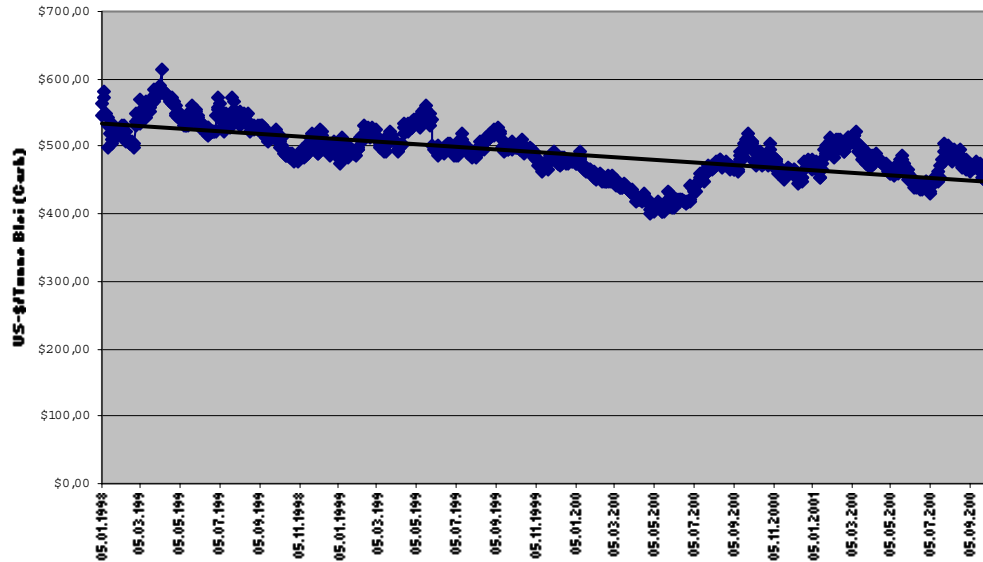
- Zahlreiche Blei- und Kupferanwendungen hängen an der **Baukonjunktur**: Bleidächer, Kupferrohre für die Trinkwasserinstallation, Verkabelung etc. Die Baukonjunktur wiederum wird von der privaten Bautätigkeit und öffentlichen Bauvorhaben bestimmt. Die private Bautätigkeit wird durch Finanzierungskonditionen vom Staat entscheidend geprägt. Die großen Bauunternehmen sind zunehmend auch auf europäischer Ebene aktiv. Der globale Kupferrohrbedarf soll um ca. 13 % pro Jahr, vor allem durch die erhöhte Nachfrage nach Klimaanlageanlagen in Südasien ansteigen, wohingegen Kupferrohre für die Wasserversorgung Marktanteile an PVC verlieren. Das Gebäudeverkabelungssegment soll aufgrund steigender Anzahl elektrischer Verbraucher stärker, um 27 % pro Jahr, wachsen (Ayres et al. 2001).
- Bei den **elektrischen und elektronischen Geräten** sind die Märkte für weiße Ware in Deutschland weitgehend gesättigt. Im Bereich der braunen und der grauen Ware ist trotz kurzfristiger konjunktureller Einbrüche langfristig mit weiteren großen Wachstumspotenzialen zu rechnen, da Fernseher billiger werden und im Vergleich zu anderen europäischen Ländern die Ausstattung der Haushalte in Deutschland mit Personal-Computern noch gering ist. Die Nachfrage nach Blei für Kathodenstrahlröhrenglas dürfte weiter auf hohem Niveau bestehen bleiben. Die Nachfrage nach Kupferfolien und -bändern soll vor allem durch elektronische Produkte um ca. 10 % pro Jahr wachsen, bei Wicklungen für Elektromotoren sind es 8 % pro Jahr (Ayres et al. 2001).
- Die Liberalisierung der **Strom- und Telekommunikationsmärkte** hat zu neuen Versorgungsinfrastrukturen geführt. Neben dem Auf und Ab der Aktienmärkte spielen staatliche Rahmenbedingungen für die Investitionstätigkeit der Unternehmen eine große Rolle. Insbesondere beim Kampf um die letzte Meile ist noch unklar, ob Telekommunikationsdienste über die alten Trassen der Telekom, über das Stromnetz, per Funk oder über andere Infrastrukturen abgewickelt werden. In naher Zukunft soll die globale Kupfernachfrage für Telekommunikationskabel noch um 7 % steigen, aber dann durch die Glasfaserkabelkonkurrenz abnehmen. Bei Elektrokabeln hoher Spannung und Kapazität bremst die Konkurrenz durch Aluminium das Wachstum der Kupfernachfrage auf geschätzte 5 % pro Jahr (Ayres et al. 2001).
- An der Gesamtkonjunktur richtet sich auch das **Investitionsgütergewerbe** wie der Maschinen- und Anlagenbau aus, wohingegen staatliche **Infrastrukturmaßnahmen** wie z.B. Straßenbau und Erschließung von Bauland auch häufig bei schlechter Konjunktur durchgeführt werden, um diese durch eine erhöhte Nachfrage anzuheizen. Auch private Infrastrukturen wie z.B. Eisenbahnlinien haben längere Planungshorizonte und sind deshalb weniger von kurzfristigen Konjunkturschwankungen abhängig.

### 2.1.3 Metallhandel

Die Metallhütten beziehen Primär- und Sekundärrohstoffe über Metallhandelsunternehmen oder sie treten selbst als Händler auf. Zu den Sekundärrohstoffen zählen sowohl Neu- als auch Altschrotte. Wichtige Akteure des Metallhandels sind vor allem die London Metal Exchange LME, Sekundärrohstofflogistikfirmen und zunehmend Betreiber Internet-basierter Handelsplattformen. Die **London Metal Exchange Ltd. (LME)** ist die wichtigste internationale Metallhandelsbörse für europäische Unternehmen. Die LME hat folgende Kernfunktionen:

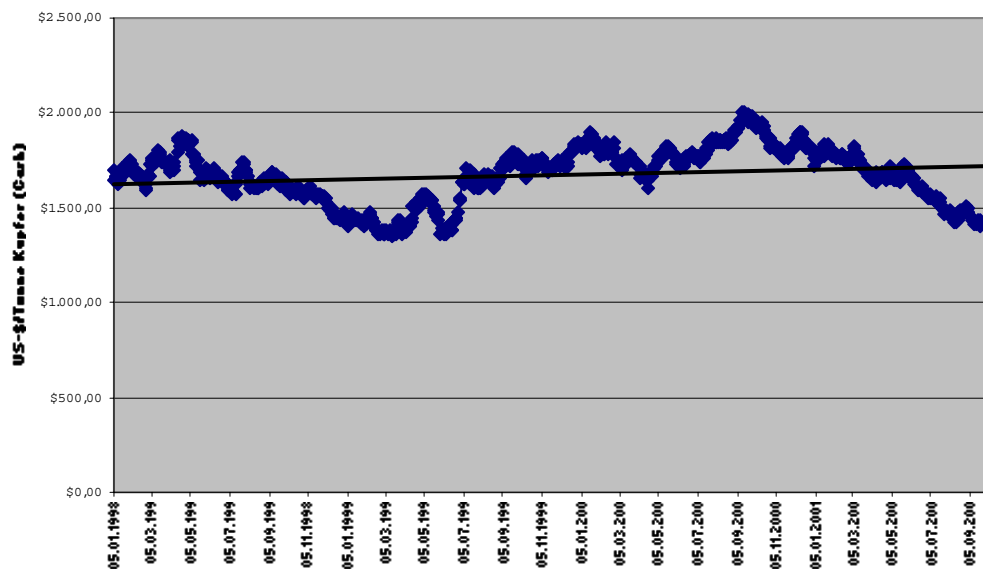
- Preisbildungsfunktion
- Hedging (Preisrisiko jederzeit auf ein Minimum reduzieren)
- Lagerhaus-Service (Verfügbarkeit der an den Börsen gehandelten Metalle).

Durch den expandierenden online-Handel ist für die LME eine grundlegend neue Situation entstanden. Die noch nicht absehbaren Konsequenzen haben zu intensiven Diskussionen über organisatorische und strukturelle Veränderungen geführt. Folgende Abbildungen zeigen die Preisentwicklung von Blei und Kupfer an der LME (1998-2001):

**Abbildung 2-1: Preisentwicklung von Blei an der London Metal Exchange(1998-2001)**

Quelle: London Metal Exchange.

Anmerkung: Preisentwicklungen unter [http://www.lme.co.uk/data\\_prices/historical\\_data.asp](http://www.lme.co.uk/data_prices/historical_data.asp) abrufbar

**Abbildung 2-2: Preisentwicklung von Kupfer an der London Metal Exchange (1998-2001)**

Quelle: London Metal Exchange.

Anmerkung: Preisentwicklungen unter [http://www.lme.co.uk/data\\_prices/historical\\_data.asp](http://www.lme.co.uk/data_prices/historical_data.asp) abrufbar.

Ist bei Blei in den letzten Jahre eine leicht fallende Preistendenz festzustellen, so ist sie bei Kupfer leicht steigend. Der Preis für Blei ist dabei von etwa 550 US-\$/t auf etwa 450 US-\$ pro Tonne gesunken, der von Kupfer lag zwischen einem Maximum von über 2.000 US-\$ pro Tonne

und einem Minimum von etwa über 1.300 US-\$ pro Tonne. Inzwischen hat er sich bei etwa 1.500 US-\$ pro Tonne eingependelt.

Im Deutschland werden verschiedene Aktivitäten des Metallhandels auf einer Internet-Plattform „Metallhandel-Online“ gebündelt.<sup>8</sup> Zentraler Akteur ist der **Verein Deutscher Metallhändler e.V.** VDM, der als Bundesverband des NE-Metallgrosshandels und der NE-Metallrecyclingwirtschaft seinen über 130 Mitgliedsunternehmen ein breites Leistungsangebot zur Verfügung stellt.<sup>9</sup> Etwa 20 Prozent der Unternehmen sind Hütten-, Umschmelzbetriebe oder Halbzeugwerke mit einer bedeutenden Handelsabteilung, der Großteil der Mitgliedsfirmen sind jedoch reine Handelsbetriebe.

Der VDM nimmt in erster Linie strategische Aufgaben für ihre Mitglieder auf Bundesebene, in EU-Gremien und an der LME in London wahr. Zusammen mit der BDSV (Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e.V.) bildet VDM den Gesamtverband der Stahl- und NE-Metall-Recyclingwirtschaft. Der Wirtschaftsverband Großhandel Metallhalbzeug e.V. wird z.Zt. integriert.<sup>10</sup> VDM ist Mitglied im "Bureau of International Recycling" (B.I.R.) und in der "European Metal Trade and Recycling Federation" (EUROMETREC). Die Mitarbeit in internationalen Gremien zur grenzüberschreitenden Verbringung von sekundären Rohstoffen im Rahmen der Baseler Konvention gewinnt zunehmend an Bedeutung. Ein wichtiger Fokus der Arbeit sind e-commerce B2B-Lösungen.

Neben den fachbezogenen Arbeitsausschüssen Nebenmetalle/Ferrolegerungen; EE-Schrott; Kabelzerleger und dem Arbeitsausschuss Metallbörse ist vor allem der Arbeitsausschuss Geschäftsbedingungen (AGB) von Bedeutung für die Sekundärrohstoffwirtschaft. Aluminium, Blei, Kupfer, Nickel, Zink und Zinn sowie deren Blocklegierungen müssen bestimmte Qualitätsvorgaben erfüllen. Die aktuelle Fassung der UKM ("Usancen und Klassifizierungen des Metallhandels") aus dem Jahre 1988 beschreibt die mit der einsetzenden Industrie abgestimmten Qualitäten für Altmetalle. Die Usancen regeln Vertragsklauseln, Mengen, Verpackung, Lieferung, Liefertermine, Zahlung, Qualitätsreklamation und Streitfälle. Die Klassifizierungen von NE-Metallschrott weisen für Blei und Kupfer die in Tabelle 2-1 aufgelisteten Untergruppen auf.

Der AGB sieht die Notwendigkeit die Fortentwicklung der bestehenden Klassifikationen zu Normen (DIN, CEN), die Spurenelemente und Legierungskomponenten in engsten Grenzen festlegen, und dadurch zahlreiche Reklamationsmöglichkeiten beim Handel eröffnen, kritisch zu begleiten. Die freie Vertragsgestaltung zwischen den Partnern soll aufrechterhalten bleiben. Die bestehenden Klassifikationen (UKM 1988) sollten auf europäischer Ebene fortgeschrieben und so unverändert der Branche als Alternative zu den geplanten Schrottnormen zur Verfügung stehen.

---

<sup>8</sup> Siehe <http://www.metallhandel-online.com/>.

<sup>9</sup> U.a. Rundschreiben; wöchentliche Preisübersichten; DER METALLMARKT - die wöchentliche Kurzanalyse der internationalen Metallmärkte; DER METALLHANDEL - Informationen über Steuer, Recht, Wirtschaft, den VDM und über die Metallwelt; Schulungen; regionale Treffen der Metallhändler; Schiedsgericht und Schlichtungsverfahren; Beratung in Einzelfragen; Zertifizierungshilfe und -vorbereitung (Qualitätsmanagement, Entsorgungsbetrieb).

<sup>10</sup> Der WGM ist ein Zusammenschluss von NE-Metallhalbzeug-Großhandelsfirmen. Der Verband sieht seine Aufgabe darin, Marktentwicklungen zu erkennen, "Know-how" von Mitgliedern zu bündeln und für die Branche nutzbar zu machen. Im Zuge der Globalisierung der Märkte kommen auch auf den Halbzeughandel neue Aufgaben zu. Handelslager dienen als Puffer für Produktions- und Bedarfsschwankungen. Aus EDV-gestützten Lagern kann auf über 10.000 Artikel und Abmessungen aus Aluminium, Kupfer, Messing, Rotguss, Bronze und Neusilber zugegriffen werden.

**Tabelle 2-1: Klassifizierungen von Kupfer- und Bleischrott**

<b>Blei</b>	<b>Kupfer</b>		
	Kupfer und Kupferlegierungen	Rotguss und Bronze	Messing
Weichbleischrott Altbleischrott Bleiakkuschrott in Platten Bleiakkubatterien Bleiaschen	Blanker Kupferdrahtschrott Kupferoberleitungsdraht Nicht legierter Kupferdrahtschrott (I und II) Gemischter Kupferschrott Kupferdrahtschrott gehäckselt (Ia, Ib, II) Neuer Kupferblech- und -rohrschrott Schwerkupferschrott Leichtkupferschrott Sonstiger Kupferschrott Kupferrückstände	Rotgusschrott (I und II, -gemischt III) Rotgusspäne Bronzesiebe Rotguss- und Bronzerückstände	Neuer Walzmessingschrott Messingstangen-, Press- und Walzschrott Messingstangenspäne Messing-Kondensatorrohrschrott Messingkartuschenhülsen (I und II) Messingpatronenhülsen Geglühte Messingpatronenhülsen Messingschrott Leichtmessingschrott Messingspäne verschiedener Art Messingschredderschrott Kupfer-Messing-Kühlerschrott Messingrückstände

Quelle: UKM 1988.

## 2.2 Blei und Kupfer als nicht erneuerbare knappe Ressourcen

Parameter zur Beschreibung der Verfügbarkeit von Rohstoffvorkommen sind einerseits die Möglichkeit der technisch wirtschaftlichen Nutzung (derzeit wirtschaftlich gewinnbar: Reserven, wirtschaftlich gewinnbar zu zukünftigen Preisen: Reservebasis, technisch wirtschaftlich nicht gewinnbar) und andererseits die Ungewissheit der Lagerstätte (sicher und wahrscheinlich identifizierte Vorräte, nicht identifizierte Vorräte in bekannten und unbekanntem Gebieten) und werden im Mc-Kelvey-Diagramm abgebildet. Als Ressourcen werden die derzeit nicht wirtschaftlich gewinnbaren Rohstoffe bezeichnet (Grau unterlegt).

**Abbildung 2-3: McKelvey-Diagramm für Rohstoffe**

	<b>Identifizierte Vorräte</b>		<b>Nicht identifizierte Vorräte</b>	
	<b>sicher</b>	<b>Wahrscheinlich</b>	<b>Bekannte Gebiete</b>	<b>Unbekannte Gebiete</b>
<b>Derzeit wirtschaftlich gewinnbar</b>	Reserven		Hypothetische Ressourcen	Spekulative Ressourcen
<b>Wirtschaftlich gewinnbar zu zukünftigen Preisen</b>	Ressourcen	Ressourcen		
<b>Technisch-wirtschaftlich nicht gewinnbar</b>	Ressourcen	Ressourcen		

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

Als **Maß für die Knappheit** von nicht-erneuerbaren Ressourcen gibt es verschiedene Indikatoren, die diese jedoch nur unvollkommen abbilden (vgl. u. a. Endres, Querner 1993). In der Praxis sind vor allem folgende Indikatoren von Bedeutung:

- statische Reichweite (Verhältnis von Reserven zu Verbrauch für einen Zeitpunkt),<sup>11</sup>
- dynamische Reichweite (Verhältnis von Reserven zu zukünftigem Verbrauch),
- der zeitliche Verlauf der Reserven
- der zeitliche Verlauf der Ressourcenkonzentration im Bergbau und
- der zeitliche Verlauf des Ressourcenoutputs pro eingesetzter Energieeinheit

Auch die Rohstoffpreise werden als Indikatoren für deren Knappheit herangezogen, obwohl sie von zahlreichen anderen Faktoren abhängen. Die statischen Reichweiten von etwa 20 Jahren für Blei bzw. etwa 30 Jahren für Kupfer weisen auf deren Knappheit hin. Die wahre Reichweite ist unbekannt, der Indikator signalisiert jedoch vordringlichen Innovations- und Handlungsbedarf. Tendenziell ist die statische Reichweite für die meisten NE-Metalle bei steigendem Verbrauch in den letzten drei Jahrzehnten in etwa konstant geblieben. Da in der Reichweite die Reserven als Rechengröße enthalten sind, muss streng genommen auch der zugrunde gelegte Preis angegeben werden. Einflussgrößen auf die Reichweite sind u.a.

- die Bevölkerungsentwicklung,
- die weltwirtschaftliche Entwicklung (inkl. Finanzmärkte und –politik),
- die technische Entwicklung der Rohstoffnutzung,
- die politische Verfügbarkeit der Rohstoffe,
- die relative Preisentwicklung konkurrierender Rohstoffe,
- die Realisierung einer rationellen Rohstoffnutzung (Effizienz, Kreislaufwirtschaft),
- die technische Erschließung neuer Quellen (u.a. Infrastruktur) und der Fortschritt in Exploration und Fördertechnik.

Der Anteil von Blei in der festen Erdkruste wird auf ca. 0,0018 Gew.-%, der von Kupfer auf 0,006 Gew.-% geschätzt. Damit steht Blei an der 35ten Stelle der Häufigkeit der terrestrischen Elemente, Kupfer an der 23sten Stelle. Charakteristisch für die Lagerstättenverteilung von knappen Metallen ist, dass es wenige Lagerstätten mit großen Vorkommen gibt, jedoch viele Lagerstätten mit Vorkommen geringer Mächtigkeit. Dazu sind auch die Lagerstätten in der Technosphäre zu zählen, wie z.B. der Hochbau und Deponien. In den letzten Jahrzehnten ist eine Verschiebung der Bezugsstruktur von Erzen hin zu Entwicklungsländern, eine Konzentration der Bergbauunternehmen und auf wenige Lieferländer zu beobachten. Andererseits werden die verarbeiteten Produkte zunehmend wieder in Schwellenländer exportiert, so dass in begrenztem Umfang ein indirekter Rohstoffrückfluss erfolgt.

Blei und Kupfer zählen im globalen Maßstab hinsichtlich ihres Verbrauches zu den Massenmetallen.

---

<sup>11</sup> Auch als statischer Reserveindex (Verhältnis von Weltreservezahl zu Weltproduktion) formuliert.

**Tabelle 2-2: Kennzahlen für die Knappheit von Nichteisen-Metallen**

	Weltminen- produktion		Reser- ven	Reserve- basis	Ressour- cen	statische Reichweite	Preis
	1999	2000	2000	2000	identifiziert	2000	Nov 2001
	Mio. t	Mio. t	Mio. t	Mio. t	Mio. t	Jahre	US-\$
<b>Massenmetalle</b>							
Pb	3,02	2,98	64	130	1500	21	486,09
Cu	12,6	12,9	340	650	1600	26	1.427,42
Zn	8,04	8	190	430	1900	24	772,49
Ni	1,112	1,23	49	150	150	40	
<b>Mittlere Gruppe</b>							
Mo	0,122	0,12	5,5	12	k.A.	46	
Sb	0,122	0,121	2,1	3,2	k.A.	17	
Sn	0,198	0,2	9,6	12	k.A.	48	4.038,75
<b>Nischenmetalle</b>							
Ag	0,0177	0,0179	0,28	0,42	k.A.	16	412,77
Au	0,00254	0,002445	0,048	0,077	0,1	20	
Ba	0,00566	0,0057	0,15	0,49	0,55	26	
Bi	0,00362	0,00378	0,11	0,26	k.A.	29	
Cd	0,0191	0,0193	0,6	1,2	6	31	
W	0,031	0,0315	2	3,2	k.A.	63	

Quelle: USGS 2001; LME 2001.

Bei Konkurrenz von Nischenmetallen zu einzelnen Blei- und Kupferverwendungen ist darauf zu achten, dass ausreichende Produktionskapazitäten und Reserven zur Verfügung stehen. Andererseits trüge die Substitution von Blei und Kupfer signifikant zur Verknappung anderer Metalle bei. Neben den nicht knappen Massenmetallen Eisen und Aluminium kommen als Substitute für Blei und Kupfer aus Gründen der Ressourcenknappheit vor allem die Metalle Zinn, Molybdän und Nickel in Frage. Zink und Zinn sind ähnlich knapp wie Blei und Kupfer. Gleiches gilt für Kunststoffe aus Erdöl oder Erdgas.

### 2.2.1 Blei

Die Entwicklung der **Reserven**, **Reservebasis** und **Ressourcen** von **Blei** zeigt folgende Tabelle:

**Tabelle 2-3: Entwicklung der Reserven, Reservebasis und Ressourcen von Blei**

Quelle	Bezugs- jahr	Reserven [Mio. t]	Reservebasis [Mio. t]	Ressourcen [Mio. t]
Meadows et al. 1992	1970	91		
BGR	1984	87		
World Resources Institute	1990	70	120	
World Resources Institute	1994	63	130	
U.S. Geological Survey	1996	69	120	1.500
U.S. Geological Survey	1998	66	140	1.500
U.S. Geological Survey	2000	64	130	1.500

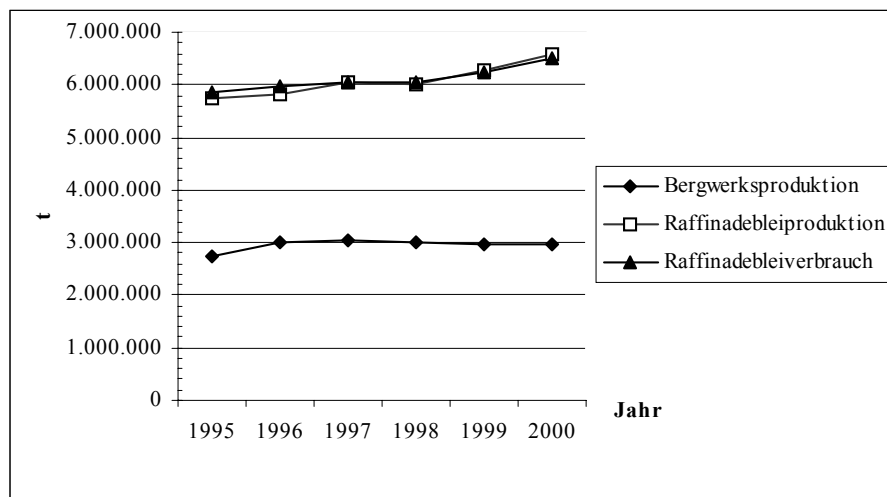
Quelle: Eigene Zusammenstellung verschiedener Quellen.

Die Reservebasis für Blei ist ca. doppelt so groß wie die Reserven. Die Ressourcen liegen eine Größenordnung über der Reservebasis. Aufgrund verstärkter Exploration in den traditionellen Erzeugerländern, u.a. USA, Kanada, Australien, Südafrika, wurden in den letzten Jahren neue Bleiressourcen in Vergesellschaftung mit Kupfer, Zink und Silber gefunden, so dass sich die sicheren Ressourcen ausweiteten. Dabei wurden auch Reserven entdeckt, so dass die Reserven durch die Minenproduktion von Blei insgesamt nur geringfügig abnahmen. Die bedeutendsten **Vorratsländer** für Blei sind Australien (über 27 % der Reserven), VR China (ca. 14 %), USA (ca. 10 %) und Kanada (ca. 5 %). Weitere Länder mit größeren Reserven sind Kasachstan, Südafrika, Peru (je ca. 3 %) sowie Mexiko, Marokko und Schweden (BGR 2000).

Die **Bergwerksproduktion** von Blei betrug im Jahr 2000 weltweit 2.977.000 t. Zwei Drittel der Bergwerksproduktion (1,98 Mio. t) stammen aus Amerika und Asien. China mit 710.000 t Blei (23 %), Australien mit 583.000 t Blei (18,9 %) und die USA mit 458.000 t Blei (14,8 %) waren 1998 die größten drei Produzenten (3.030.000 t gesamt). Die EU-Produzenten stellten 6,6 % der Weltförderung bereit, wovon allein Schweden mit 115.000 t Blei einen Anteil von 3,7 % beisteuerte (BGR 1999, S. 3-6).

Die **Produktion von Raffinadeblei** lag im Jahr 2000 bei 6.580 Mio. t. Die Herstellung erfolgte zu 66 % in Amerika und Asien, 19 % des Raffinadebleis wurden in Europa produziert (ILZSG 2001). Diese Verhältnisse spiegeln sich auch in etwa beim **Verbrauch** wieder. Amerika und Asien verbrauchen zwei Drittel und Europa ein Drittel des Raffinadebleis. In der folgenden Abbildung sind für die Jahre 1995 bis 2000 die Bergwerksproduktion, die Raffinadebleiproduktion sowie der Verbrauch von Raffinadeblei aufgeführt.

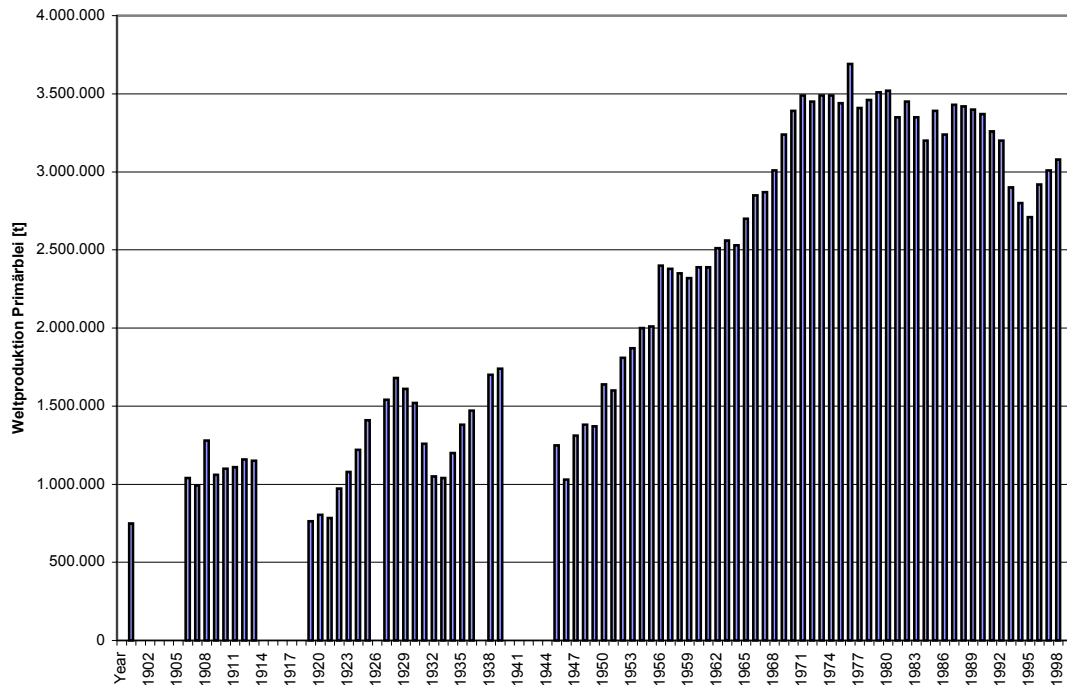
**Abbildung 2-4: Entwicklung der weltweiten Bleiproduktion und –konsumtion**



Quelle: IZLSG 2001.

Abbildung 2-4 verdeutlicht die Sättigung der weltweiten Bergwerksproduktion und das Wachstum der Produktion und des Verbrauchs von Raffinadeblei in den letzten Jahren. Produktion und Verbrauch von Raffinadeblei liegen eng beieinander. Die große Differenz zwischen Bergwerksproduktion und Raffinadebleiproduktion ist auf den Einsatz von Sekundärmaterialien in der Raffinadebleiproduktion zurückzuführen.



**Abbildung 2-5: Weltproduktion an Primärblei (1900-2000)**

Quelle: <http://minerals.usgs.gov/product.html>, 26.10.2001.

Die Bleiprimärproduktion stieg nach dem 2. Weltkrieg bis Ende der siebziger Jahre auf ein Niveau von ca. 3,5 Mio. t an, ist dann bis Mitte der neunziger Jahre auf etwa 2,75 Mio. t gesunken und seit dem wieder auf etwa 3 Mio. t gestiegen. Ausgewählte Indikatoren für die Knappheit von Blei stehen in folgender Tabelle:

**Tabelle 2-4: Indikatoren für die Knappheit von Blei**

Indikator	Quelle	Kennzahl
Reserveänderung 1972-2000	Reserven 2000 – Reserven 1970	-27 Mio. t
statische Reichweite 2000	U.S. Geological Survey 2001	21,3 Jahre
Erzkonzentration im US-Bergbau 1991	Warhurst 1994, zitiert nach Messner 1999, S. 427	2,5 %
Ressourcenoutput pro eingesetzter Energieeinheit in USA	Cleveland 1991, zitiert nach Messner 1999, S. 427	1960: 0,87 1980: 1,13

Quelle: Eigene Zusammenstellung verschiedener Quellen.

Insbesondere die Reserveänderung 1972-1998 und die statische Reichweite deuten auf die Knappheit von Blei hin. Für die Erzkonzentrationen und den Ressourcenoutput pro eingesetzter Energieeinheit liegen keine aussagekräftigen Zeitreihen vor. Zur Bildung von dynamischen Reichweiten müssen zukünftige Blei-Verbräuche angesetzt werden. Da heutzutage etwa 70 % der weltweiten Bleiproduktion in die Herstellung von Akkumulatoren, v.a. Starterbatterien, gehen, ist angesichts der prognostizierten Motorisierungsgrade bei fehlenden Substituten für Blei mit einer weiteren Verknappung von Blei zu rechnen. Bei steigenden Preisen gehen jedoch Bleierze aus der Reservebasis in die Reserven über. Durch steigende Preise besteht auch ein höherer Anreiz zu weiterer Exploration und Erschließung von Bleivorkommen.

### 2.2.2 Kupfer

Einen Überblick über die geschätzten **Reserven**, die **Reservebasis** und die **Ressourcen** von **Kupfer** gibt folgende Tabelle:

**Tabelle 2-5: Entwicklung der Reserven, Reservebasis und Ressourcen von Kupfer**

Quelle	Bezugs-jahr	Reserven [Mio. t]	Reservebasis [Mio. t]	Ressourcen [Mio. t]
Meadows et al. 1972	1970	308		
U.S Bureau of Mines	1979	494		
U.S Bureau of Mines	1985/86	337		
World Resources Institute	1990/92	310		
U.S Bureau of Mines	1992	321	552	1.650
WRI 94	1992		590	
Bau- und Umweltchemie Schweiz	2000	330	552	1.500 (700) <sup>a)</sup>
US Geological Survey	2000	340	650	1.600 (700)

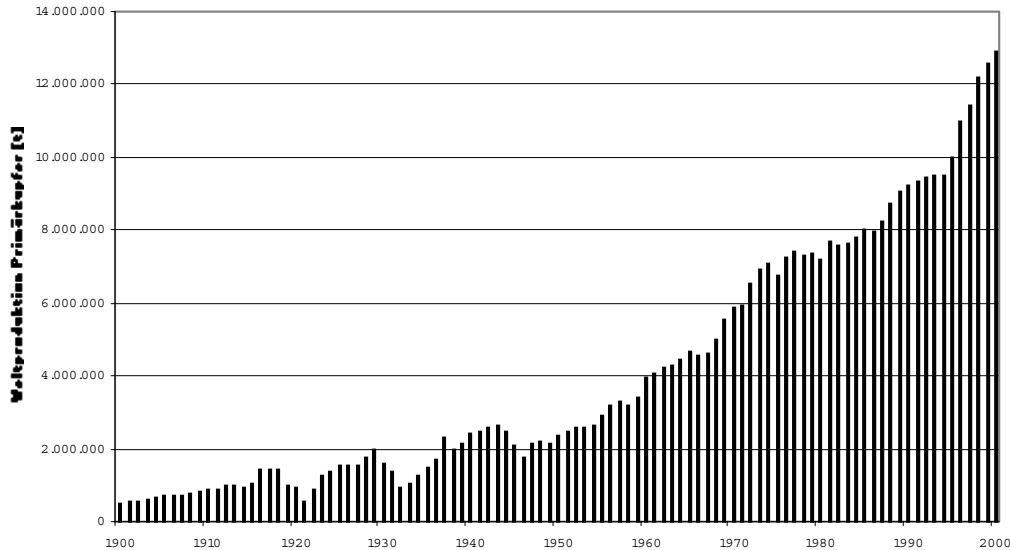
Quelle: Eigene Zusammenstellung verschiedener Quellen.

Anmerkung: a) Geschätzte maritime Lagerstätten (Manganknollen).

Die Reservebasis liegt um den Faktor 1,7 über den Reserven und die Ressourcen um den Faktor 3. Auffällig ist die in etwa gleichbleibende Größenordnung der Reserven. Der wichtigste Grund dafür liegt in der Preisveränderung von Kupfer. Aufgrund der gestiegenen Preisniveaus gegen Ende der 70er Jahre waren bei der Neueinschätzung der Reservezahlen eine größere Anzahl von Lagerstätten wirtschaftlich ausbeutbar. Mit dem Preisverfall in den 80er Jahren mussten diese Bewertungen jedoch wieder revidiert werden. Auch sinkende Ausbeutungskosten, v. a. aufgrund neuer Technologien, haben die Wirtschaftlichkeit der Lagerstätten maßgeblich verbessert und damit zur Erhöhung der Reservebasis beigetragen. Dagegen schlugen sich Explorationsfolge erst mittelfristig in der Erhöhung der Reservebasis nieder. Für Kupfer kommen perspektivisch die maritimen Lagerstätten in Manganknollen als Ressource hinzu. Die bedeutendsten **Vorratsländer** bezüglich der Reservebasis sind Chile mit 24%, die USA mit 14%, gefolgt von Peru, China, Polen und Russland mit je 5-6% sowie Mexiko, Indonesien, Kanada, Australien und Kasachstan mit je 3-4% (BGR 2000).

Die **Bergwerksproduktion** betrug im Jahr 2000 12,9 Mio. t und lag damit um 2,3 % über dem Vorjahr. Bei Kupfer dominieren 20 Abbaustätten über 50 % der Bergwerksproduktion. Bedeutende Förderländer sind Chile mit 35% und die USA mit 11%, gefolgt von Indonesien, Australien und Kanada mit je 5-7 % sowie Peru, China, Russland, Polen und Kasachstan mit je 3-4%. Förderländer von Kupfererz in der EU sind Portugal, Schweden, Finnland und Spanien mit zusammen 232.000 t und einem Weltmarktanteil von 1,8 % (BGR 2000).

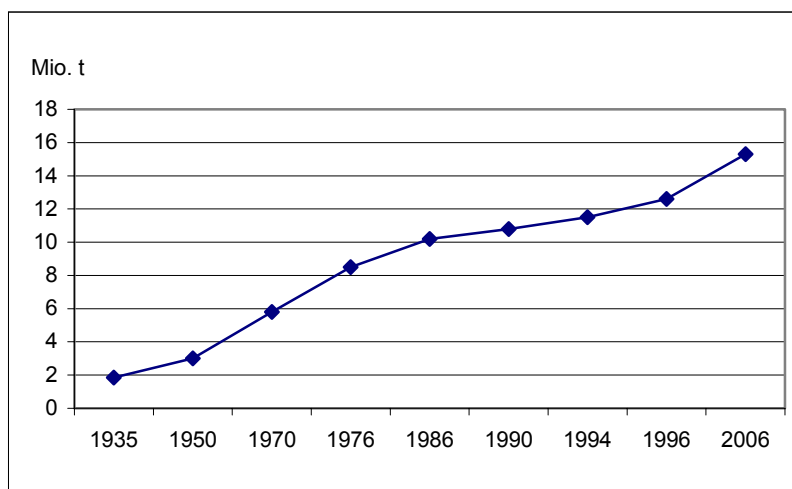
Trotz weltweit breit gestreuter Erzvorkommen wird mehr als die Hälfte der Kupferproduktion von sechs Unternehmen kontrolliert. In der jüngeren Vergangenheit nahm die Angebotskonzentration weiter zu. Dennoch sind Versuche des Kartells staatlicher Anbieter (Conseil Intergouvernemental des Pays Exportateurs de Cuivre - CIPEC) höhere Preise durchzusetzen, an der eigenen Überproduktion und am Einfluss unabhängiger Anbieter gescheitert. Den führenden Produzenten gelang es nicht, den fallenden Börsenpreis für Kupfer zu stabilisieren. Weltweites Überangebot, ein bedeutendes Schrottaufkommen sowie die Substitutionskonkurrenz anderer Werkstoffe haben dies verhindert (DIW 1999).

**Abbildung 2-6: Weltproduktion an Primärkupfer (1900-2000)**

Quelle: <http://minerals.usgs.gov/product.html>, 26.10.2001.

Die **Primärproduktion** an Kupfer weist nach dem 2. Weltkrieg ein stetiges Wachstum auf und liegt bei knapp 13 Mio. t Kupfer im Jahr. Über den Zeitraum von 1950-2000 wuchs die Kupferproduktion von 2 Mio. t mit einer Wachstumsrate von 3,8 %/a.

Der **Verbrauch** von Raffinadekupfer wird mit 23% von den USA dominiert. Der Verbrauch von Raffinadekupfer ist in Deutschland 1999 gegenüber dem Vorjahr leicht zurückgegangen und lag bei rund 1,1 Mio. t. Weltweit lag Deutschland mit einem Anteil von 8% auf dem vierten Platz hinter den USA, der VR China und Japan (BGR 2000). In der EU ist Deutschland der mit Abstand größte Verbraucher. Die folgende Abbildung stellt den Verlauf der weltweiten Konsumtion von Raffinadekupfer dar:

**Abbildung 2-7: Entwicklung des weltweiten Verbrauchs an Raffinadekupfer**

Quellen: DIW99, Verschiedene Jahrgänge von BGR; DKI; USGS.

Obige Abbildung verdeutlicht die Steigerung des weltweiten Kupferverbrauchs. Die Entwicklung der Wachstumskurve folgt in etwa der sogenannten sigmodialen Lernkurve: zuerst ein flacher Anstieg, dann nach dem „Tipping Point“ eine Zunahme der Steigung und dann im „reifen“ Wachstumsstadium ein Verflachen der Kurve. Kupfer zählt zusammen mit Blei, Zink und Zinn zu den „alten“ Metallen mit relativ geringen Wachstumsraten im Vergleich zu den „jungen“ Metallen wie Aluminium oder Stahlveredlern. Da bisher ca. 80% der Rohstoffe von den Industrienationen verbraucht werden, wurde die Wachstumskurve fast ausschließlich von diesen bestimmt. Wir beobachten jetzt den Beginn einer neuen sigmodialen Wachstums-Lernkurve, die im wesentlichen von China, Indien und den Schwellenländern bestimmt wird. Auch diese Wachstumskurve wird voraussichtlich nach einer gewissen Zeit wieder abflachen. Der Kupferverbrauch wird sich demnach nicht nur absolut erhöhen, sondern auch die Zuwachsraten. Die Zuwachsraten betragen zwischen 1978 bis 1998 für die VR China 8 %, die OECD und Osteuropa 2% und für die GUS Staaten dagegen -7% (BGR 2000).

Ausgewählte Indikatoren für die Knappheit von Kupfer sind in folgender Tabelle dargestellt:

**Tabelle 2-6: Indikatoren für die Knappheit von Kupfer**

Indikator	Quelle	Kennzahl
Reserveänderung 1970-2000	Reserven 1970 - Reserven 2001	+ 32 Mio t
statische Reichweite	U.S. Geological Survey 2001	26,4 Jahre
Erzkonzentration im US Bergbau	Wellmer, Dahlheimer 2001	0,6 %
Ressourcenoutput pro eingesetzte Energieeinheit 1960/1980	Cleveland 1991, zitiert nach Messner 1999, S. 427	1,25/1,0

Quelle: Eigene Zusammenstellung verschiedener Quellen.

Besonders die statische Reichweite deutet auf die Knappheit von Kupfer hin. Obwohl die abbauwürdige Erzkonzentration zwischen 1900 und 1970 von 2,25 auf unter 1% gesunken ist, gilt dieser Trend mittlerweile als gebrochen. Ob eine weitere Verknappung aufgrund steigender Verbräuche durch die beginnende Hochindustrialisierung der Schwellenländer erfolgen wird, hängt neben der Preisentwicklung maßgeblich von der Substitution von Kupfer durch Aluminium als elektrischer und thermischer Leiterwerkstoff, durch Glasfaser und Funk in der Telekommunikation und durch Kunststoffrohre bei der Wasserver- und -entsorgung ab.

### 2.3 Nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von nicht erneuerbaren knappen Ressourcen

Der **Begriff der nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung** ist in der Fachliteratur nicht eindeutig definiert. Folgende Ausprägungen erscheinen jedoch in verschiedenen Kontexten in der Diskussion:

- 1 Wirtschaften ausschließlich aus dem technischen Bestand („strenge Nachhaltigkeit“)
- 2 Wirtschaften aus dem technischen Bestand mit einem geringen Zuschlag an Primärressourcen, z.B. 10 %
- 3 Wirtschaften aus dem technischen und natürlichen Bestand mit einer Verringerung der absoluten Primärrohstoffentnahme („schwache Nachhaltigkeit“)

Die Definitionen unterscheiden sich vor allem in dem Ausmaß, in dem nicht erneuerbare Primärressourcen genutzt werden sollen. Eine Bewirtschaftung ausschließlich aus dem technischen Bestand impliziert, dass aufgrund der Verluste bei Erfassung, Aufbereitung, Verhüttung, Raffination, Verarbeitung, Distribution und Nutzung in jedem Folgezeitraum weniger Blei und Kupfer für Produktnutzungen zur Verfügung stehen (1. Definition). Die zweite Definition geht eher

vom Bild eines konstanten Verbrauchs aus, der infolge von Verlusten mit einem geringen Anteil an Primärressourcen aufrechterhalten werden muss. Die dritte Definition ist bei derzeitigen Recyclingquoten in der Größenordnung von 50 % für Blei und Kupfer vergleichsweise wenig ambitioniert.

Unabhängig davon, welches Verständnis von nachhaltiger Bestandsbewirtschaftung vorliegt, sind folgende **prinzipielle Strategien** zu unterscheiden wie die folgende Abbildung zeigt:

**Abbildung 2-8: Systematisierung von Nachhaltigkeitsstrategien**

**1 Eco-Design**

Senkung des Materialverbrauchs auf der Mikro- und Makroebene durch

- Miniaturisierung
- Lebensdauerverlängerung
- Substitution
- Design for Recycling

**2 Prozessoptimierung**

- Optimierung der Prozessausbeute
- Reduzierung von Emission, Abfällen und Kuppelprodukten

**3 Ökologische Nutzung**

- Nutzungsdauerverlängerung
- Nutzungsintensivierung
- Suffizienz

**4 Kreislaufführung**

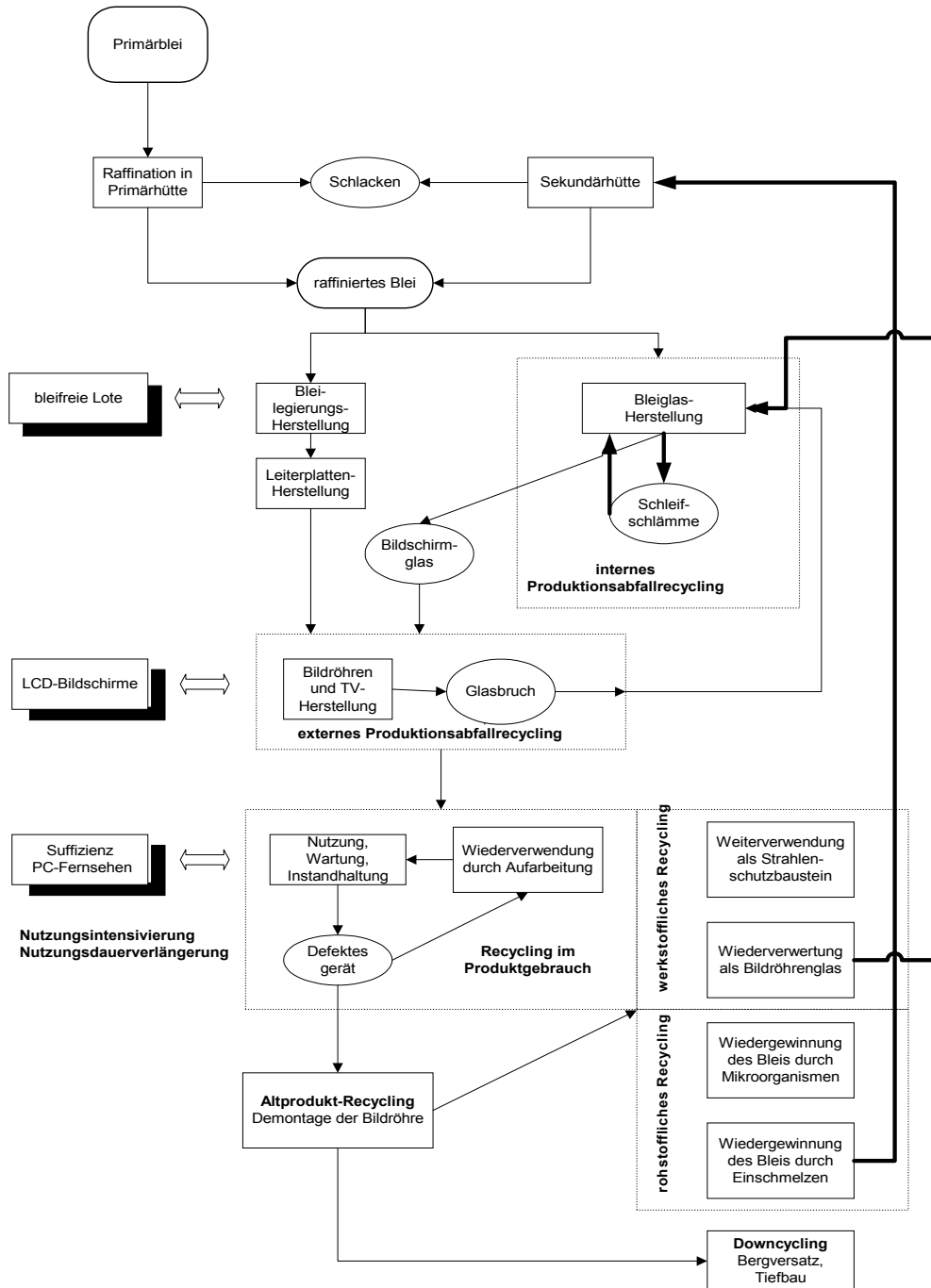
- Produktionsabfallrecycling (intern/extern)
- Recycling im Produktgebrauch
- Altprodukt-Erfassung, Zuführung zum Recycling
- Bauteil-, werkstoffliches und rohstoffliches Recycling (Downcycling, Deponierecycling)

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

In der Planungs- und Konstruktionsphase von Produkten werden Werkstoffe ausgewählt, die benötigten produktspezifischen Werkstoffmengen festgelegt und die Lebensdauer sowie Recycelbarkeit (u.a. Verbindungstechnik, Kennzeichnung von Stoffen) in der Zukunft maßgeblich beeinflusst. Die Erhöhung der Ressourcenproduktivität auf der Prozessebene verfolgt einen maximalen Transferfaktor des Rohstoffs in das Prozessprodukt bei Minimierung der Transferfaktoren in Kuppelprodukte, Abfälle und Emissionen. Ökologische Produktnutzungsformen setzen ein entsprechendes Verbraucherverhalten und ggf. auch das Vorhandensein von Dienstleistungsangeboten (z.B. Carsharing, Upgrading-Betriebe) voraus. Die Strategien sind nicht unabhängig voneinander. So führt eine Verringerung des Gesamtdurchsatzes durch das System, z.B. durch Werkstoffsubstitution, auch bei einer konstanten Recyclingquote zu einer Reduktion der absoluten prozessspezifischen Verluste. Die Strategien der ökologischen Nutzung und Kreislaufführung werden in hohem Maße durch das Eco-Design ermöglicht. Die Strategien werden in Kapitel 6 in ausgewählten Handlungsfeldern untersucht und bewertet.

Die Strategien der Kreislaufführung, der Substitution (schattig unterlegt) und der ökologischen Nutzungsformen sind in folgender Abbildung am Beispiel von Blei in Kathodenstrahlröhren veranschaulicht:

**Abbildung 2-9: Strategien einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung am Beispiel von Blei in Kathodenstrahlröhren**



Quelle: Eigene Darstellung.

### 3 Die Stoffströme von Blei

Produktions- und Handelsstatistiken für Deutschland liegen von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR, vom Bundesamt für Wirtschaft BAW (jetzt BAFA), von der Wirtschaftsvereinigung Metalle WVM und vom Statistischen Bundesamt vor.<sup>12</sup> Basierend auf diesen Daten und eigenen Abschätzungen gibt folgende Abbildung 3-1 einen Überblick über dem Stoffstrom von Blei. Bezugsjahr ist - sofern Daten vorhanden - 1999, geographischer Bezugsraum ist Deutschland. Bestandslageränderungen sind nicht dargestellt.

Etwa 353.000 raffiniertes Blei und Blei in Legierungen wurden 1999 in Deutschland hergestellt. Die primären Rohstoffe werden importiert. Die Sekundärrohstoffeinsatzquote liegt über 54 %, wobei das Altschrottaufkommen, vor allem aus Akkumulatoren, das Neuschrottaufkommen bei weitem übersteigt.

Die Marktversorgung der 1. Verarbeitungsstufe beträgt etwa 380.000 t, wobei der direkte Schrotteinsatz gering ist. Die Verarbeitungsstruktur wird durch die Akkumulatorenwerke dominiert, große Anteile entfallen auch auf die chemische Industrie sowie die Halbzeug- und Legierungshersteller. Charakteristisch ist die Exportorientierung der verarbeitenden Betriebe. Der Verbleib von etwa 45.000 t Blei auf Höhe der 1. Verarbeitungsstufe konnte nicht erklärt werden, da der berichtete Verbrauch nicht mit dem berechneten Verbrauch identisch ist. Blei geht vorwiegend in Produkte mit mittlerer Nutzungsdauer, wie, z.B. Kfz-Batterien und Bildschirme.

Der Stofffluss von Blei wird in den folgenden Unterkapiteln

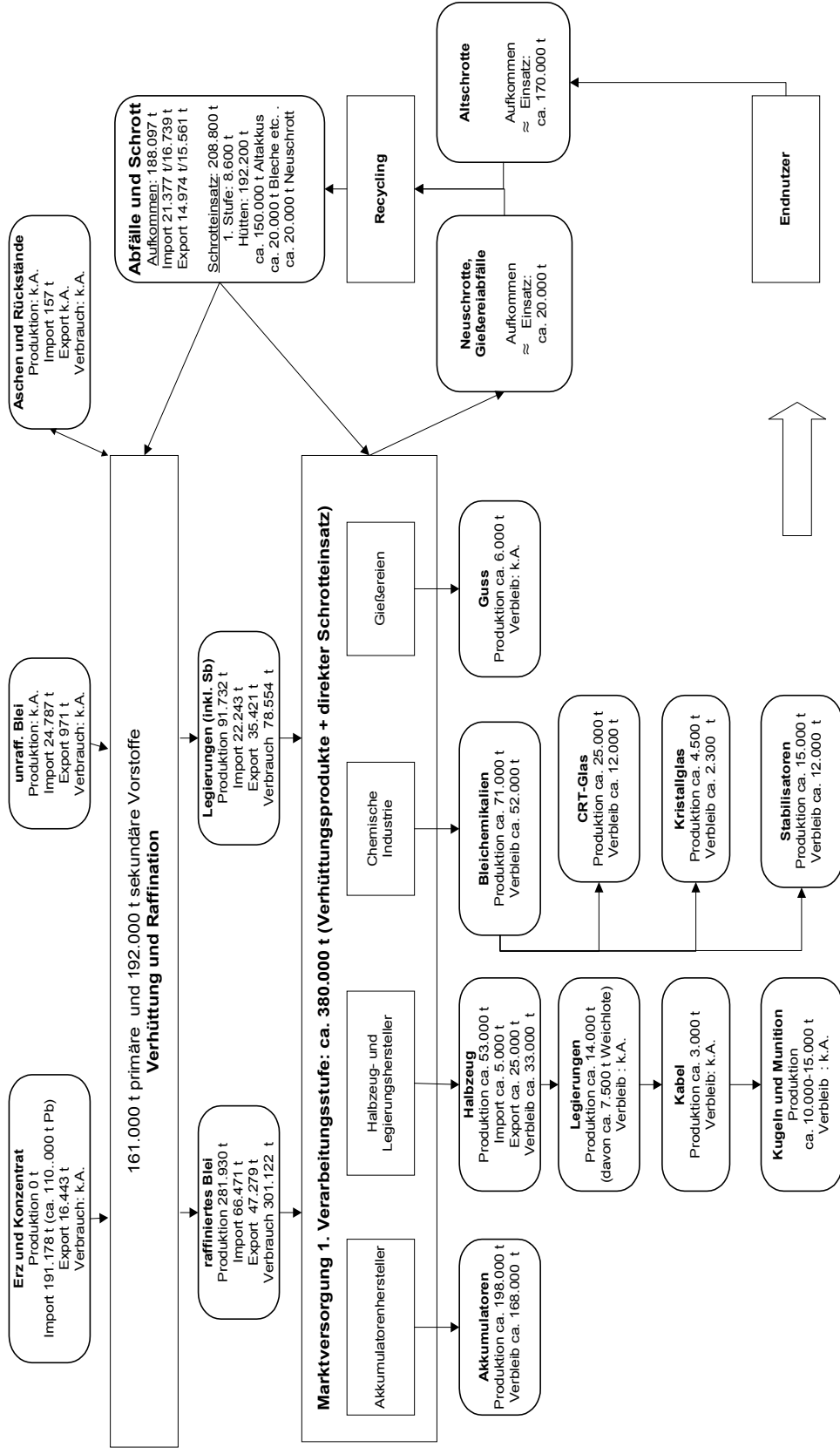
- Primärproduktion
- Verarbeitung und Verwendung
- Nutzungsphase und Bestand
- Recycling und Entsorgung
- Stoffstrombezogene Defizite

vertieft. Auf Grundlage dieser Stoffstromanalyse sind die prioritären Handlungsfelder für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei ausgewählt worden (vgl. Kap. 6).

---

<sup>12</sup> Das Bundesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe, das Bundesamt für Wirtschaft sowie die Wirtschaftsvereinigung Metalle stützen sich auf Angaben des statistischen Bundesamtes.

Abbildung 3-1: Der Stoffstrom von Blei in Deutschland



Eigene Zusammenstellung auf Basis statistischer Daten; Bezugsjahr 1999.



### 3.1 Primärproduktion

Die Hütten und Umschmelzwerke produzieren sowohl raffiniertes Blei als auch Bleilegerungen aus primären und sekundären Vorstoffen, so dass eine klare Trennung zwischen den Stoffströmen nicht immer möglich ist. Zu den primären Rohstoffen zählen Erze zur Verhüttung (in Form von Konzentraten) und Werkblei (Zwischenprodukt der Verhüttung). Die folgende Tabelle zeigt den Vorstoffeinsatz der Bleihütten und -legierungshersteller.

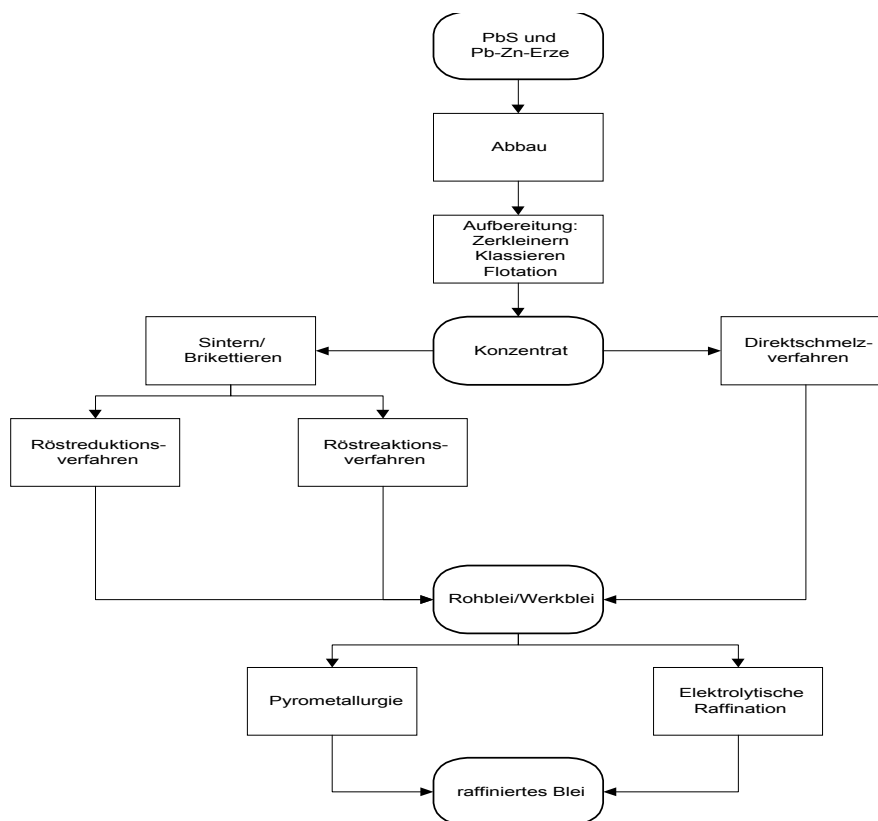
**Tabelle 3-1: Vorstoffeinsatz der Bleihütten und -legierungshersteller in Deutschland**

Vorstoffe [1000 t]	1989	1999
primäre Vorstoffe	170	161
sekundäre Vorstoffe	180	192
Gesamtes produziertes Blei	350	353

Quelle: WVM 2000.

Der Anteil der sekundären Vorstoffe am gesamten Vorstoffeinsatz der Bleihütten und -legierungshersteller betrug 1999 etwa 54 %. Die primären Vorstoffe werden importiert. Die Primärproduktion umfasst folgende Stufen:

**Abbildung 3-2: Flussschema der Primärproduktion von Blei**



Quelle: Eigene Darstellung.

Blei kommt als Sulfid in **Bleiglanz** vor, das häufig mit Pyrit, Kupferkies und anderen Metallsulfiden (Zn, As, Sb, Bi, ...) vergesellschaftet ist. Heutzutage wird Blei zunehmend aus gemischten

Erzen, zusammen mit Zink und kleinen Mengen an Silber und Kupfer, gewonnen. Die Wirtschaftlichkeit hängt auch vom Zink- und Silbergehalt ab (EIPPCB nfm 1999, S. 21). Aus silberhaltigem Bleisulfid werden 90 % des Bleis für die Primärproduktion und ein großer Teil der Silberproduktion gewonnen. In geringem Maße werden Bleioxide verarbeitet und Blei in Zinkhütten gewonnen. Typische **Erzkonzentrationen** liegen bei **5-12 % Blei**,<sup>13</sup> die Grenzkonzentration für Blei liegt bei 4 % (Meadows et al. 1992). In der EU gibt es nur geringe Vorkommen an wirtschaftlich abbaubaren Bleiressourcen. Die Roherze sind nicht direkt verhüttungsfähig und müssen zunächst durch Zerkleinerung und Klassierung vorbereitet werden, wobei auch Gang- und Nebengesteine abgetrennt werden. Durch Flotation wird es auf eine **Konzentration zwischen 50 und 60 % angereichert**. In Deutschland erfolgt weder Bleibergbau noch Erzaufbereitung (BGR 2000).

Deutschland ist Nettoimporteur für Bleierze und -konzentrate. Betrug die Importmenge 1997 noch 60.805 t, so wuchs sie 1998 auf 148.778 t und 1999 auf 191.178 t (BGR 2000). Davon stammten 1999 etwa 1/3 aus Europa (Schweden, Polen) und etwa 2/3 aus Übersee (Australien, Kanada, Südafrika, Argentinien, Marokko).<sup>14</sup> Der Anteil von Blei am Wert der gesamten deutschen Rohstoffzufuhr betrug 1999 0,36 %, der von NE-Metallen insgesamt 13,5 %. Die BGR (2000) schätzt den **Bleiinhalt in importierten Vorstoffen** (Konzentrate, Rohblei, Hartblei und andere Legierungen sowie Abfälle und Schrott) auf **135.000 t**.

Für die weitere Verarbeitung gibt es zwei grundlegende pyrometallurgische Verfahrensarten: das Sintern/Schmelzen im Schachtofen und Direktschmelzverfahren. Beim Sintern/Schmelzen wird das Röstreduktionsverfahren und - bei hoher Reinheit des Bleiglanzes – das Röstreaktionsverfahren angewendet. Beide spielen nur noch eine untergeordnete Rolle. Bleikonzentrate und einige Sekundärmaterialien werden aufgrund der höheren Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit zunehmend in **Direktschmelzverfahren** zu Rohblei und Schlacke verarbeitet. Sowohl Badschmelzprozesse (ISA Smelt/Ausmelt, Kaldo) als auch QSL- und Kivcet-integrierte Prozesse werden in der EU angewendet. Bleisulfid-Konzentrate und Sekundärmaterial werden ohne die Sinterstufe geschmolzen und oxidiert. Das entstehende Schwefeldioxid wird zu Schwefelsäure verarbeitet. Metallisches Blei wird durch Zugabe von Reduktionsmitteln (Koks oder gasförmiger Kohlenstoff) und Flussmitteln gewonnen. Zn- und Cd-Oxide werden verdampft und wiedergewonnen. Durch die Reduktionszonen beim QSL- und Kivcet-Prozeß kann der hohe Bleigehalt in der Schlacke reduziert werden. Das silikatische Material aus dem QSL-Prozess kann u.U. als Baumaterial verwendet werden. Der Kaldo-Prozeß ist etabliert, der QSL-Prozess soll seine anfänglichen Schwierigkeiten überwunden haben. Der Kivcet Ofen arbeitet erfolgreich seit 1990, wohingegen der ISA Smelt/Ausmelt-Prozeß bislang nicht in allen Phasen zuverlässig arbeitet (EIPPCB nfm 1999, S. 310).

Das Roh-/Werkblei aus der Verhüttung enthält noch eine Reihe von Verunreinigungen, die in den anschließenden pyrometallurgischen oder elektrolytischen Raffinationsprozessen abgetrennt werden. Dies sind u.a. variierende Anteile an Kupfer, Silber, Wismut, Antimon, Arsen und Zinn. Roh-/Werkblei aus Sekundärrohstoffen kann ähnliche Verunreinigungen enthalten, generell dominieren jedoch Antimon und Calcium (EIPPCB nfm 1999, S. 313). Das elektrolyti-

---

<sup>13</sup> Die Zinkkonzentration schwankt zwischen 0,5 % und über 10 % (ETH 1995, Anhang A S. 91).

<sup>14</sup> 1996 und 1997 wurden keine Bleierze und -konzentrate exportiert, 1998 waren es 5.170 t und 1999 waren es 16.443 t. Letztere wurden zu 98,7 % nach China exportiert (BGR 2000). Da für Bleierze und -konzentrate keine Produktionszahlen für Deutschland angegeben werden, sind diese Mengen wahrscheinlich Transithandel.

sche Raffinieren wird aufgrund der hohen Kosten nur wenig angewendet. Die **pyrometallurgische Raffination** erfolgt in einer Reihe von beheizten Kesseln. Zunächst wird Kupfer als Kupferschlicker abgeschieden. Arsen, Antimon und Zinn werden oxidiert und im Flammofen mit Natriumnitrat und kaustischem Soda, ggf. auch mit Luft, in Bleiarsenat, -stannat und – antimonat überführt. Die Entsilberung erfolgt durch den Parkes-Prozess, der sich die Löslichkeit von Silber in Zink zu nutze macht. Das Zink wird aus dem Silber-Zink-Bleigemisch mit Hilfe der Vakuumdestillation gewonnen, das Rohsilber wird mit Sauerstoff weiter raffiniert. Wismut wird mit Calcium und Magnesium im Kroll-Betterton-Verfahren entfernt. Als Endprodukt erhält man das reine Blei (Raffinadeblei, Weichblei). Das Raffinadeblei wird abschließend in Barren, typischerweise zu 50 kg, oder andere Formen (z.B. Blöcke, gekerbte Platten) gegossen. Aus Rauchgasstäuben, Krätzen und anderen Rückständen wird in kleinen Hochöfen oder Drehtrommelöfen Rohblei wiedergewonnen, das danach wieder in den Raffinationskreislauf gerät.

In Deutschland gibt es zwei Betreiber von Primärhütten: Ecobat und Metaleurop. Sie schmelzen Blei- oder Blei/Zink-Konzentrate und sind auch in der Sekundärbleigewinnung tätig. Für die Sekundärbleigewinnung gibt es zudem mehrere Betreiber kleinerer Hütten. Deren Anzahl nimmt ab, weil die großen multinationalen Firmen, ebenso wie die großen Batterieherstellungs-Gruppen, die kleineren Sekundärhütten erwerben oder ihr eigenes Recycling aufbauen. Die **Kapazität** für Schachtofen-Blei in Deutschland beträgt 35.000 t/a, für Direktschmelzung 220.000 t/a und für Sekundärdrehrohröfen 130.000 t/a. In den Schachtofen und den Direktschmelzanlagen kann sowohl Primär- als auch Sekundärmaterial eingesetzt werden. Insgesamt steht in Deutschland eine Bleiraffinationskapazität von 507.000 t/a zur Verfügung, was einem Anteil von 27 % in der EU entspricht. Die Auslastung betrug 1998 etwa 70,7 % (EIPPCB nfm 1999, S. 21-24). Die Produktion der deutschen Bleiwirtschaft und der Verbrauch stellen sich wie folgt dar:

**Tabelle 3-2: Produktion und errechneter Verbrauch von Blei in Deutschland**

	1996	1997	1998	1999	2000 <sup>a)</sup>
Gewinnung					
Raffiniertes Blei	179.312	251.730	278.988	281.930	321.467
Hartblei	90.732	101.037	101.195	91.732	93.058
Blei-Lager- und Schriftmetall	374	338	158	<sup>e)</sup>	<sup>e)</sup>
Gesamtes produziertes Blei <sup>b)</sup>	238.081	329.203	352.885	352.772	386.662
+ Einfuhr <sup>c)</sup>	98.145	81.407	89.875	89.037	102.591
- Ausfuhr <sup>c)</sup>	43.539	65.219	82.076	69.611	98.334
+ Bestandsabbau <sup>d)</sup>	11.365	-	-	5.350	-
- Bestandsaufbau <sup>d)</sup>	-	8.621	2.362	-	1.153
Errechneter Bleiverbrauch	304.052	336.770	358.321	377.548	389.766

Quelle: BAW 2000; BAFA 2001.

Anmerkungen: a) Vorläufige Jahresergebnisse; 2) Produktion von raffiniertem Blei (Weich-, Fein- und Kabelblei) zuzüglich des Blei-inhalts im Hartblei und in Blei-Kalzium-Legierungen abzüglich des für die Produktion eingesetzten Fertigmetalls; c) Quelle: Statistisches Bundesamt; 3,5 % Antimonanteil im Hartblei; d) Einschließlich der Veränderung der Bestände in inländischen LME-Lägern; e) Daten unterliegen der statistischen Geheimhaltungspflicht.

Im Jahr 2000 lagen Bleiproduktion und –verbrauch annähernd gleichauf mit knapp 390.000 t; 1999 betrug die **Bleiproduktion 352.772 t**, der **Bleiverbrauch** jedoch **377.548 t**. Die Bestands-lageränderungen fallen gegenüber dem Außenhandel mengenmäßig nicht ins Gewicht. Die Ein-

führen betragen etwa ein Viertel der Produktionsmenge, die Ausfuhren liegen leicht darunter. BGR (2000) gibt davon abweichend an, dass 1999 95 % der Importe an raffiniertem Blei in Höhe von 66.471 t aus Großbritannien, Frankreich, Schweden, Belgien und Polen stammten. Von den 47.279 t exportiertem Raffinadeblei gingen knapp 90 % in die Länder Tschechische Republik, Österreich, Belgien, Niederlande, Irland und Polen. Der deutsche Außenhandel mit raffiniertem Blei ist somit vorwiegend europäischer Binnenhandel. Die Hauptproduzenten und –verbraucher von Raffinadeblei weltweit sind:

**Tabelle 3-3: Hauptproduzenten und –verbraucher von Raffinadeblei weltweit**

	Land	Anteil an Produktion [%]	Land	Anteil am Verbrauch [%]
1.	USA	22,6	USA	28,1
2.	VR China	14,4	VR China	8,4
3.	Großbritannien	6,0	Deutschland	6,0
4.	Deutschland	5,7	Großbritannien	5,3
5.	Japan	4,7	Japan	4,7

Quelle: BGR 2000; Daten für 1999.

Auffällig sind der dominierende Anteil der USA am weltweiten Bleiverbrauch und der Produktionsüberhang der VR China.

Der Abbau von Blei erfolgt meist Untertage, so dass die Flächenbeanspruchung vor allem durch die Berge- bzw. Schlackedeponien und Anlagen entsteht. Da in Deutschland keine Bleierze und –konzentrate mehr gewonnen werden sind die erheblichen Umweltbelastungen des Bergbaus und der Aufbereitung (Flotationsschlämme) extraterritorial gelagert sind. Die effizienteren Direktschmelzverfahren haben vor allem durch das Umgehen der umweltbelastenden Sinterstufe zu geringeren Staubemissionen mit Schwermetallen in die Umwelt und auch zu einer höheren Bleiausbeute geführt. Moderne Direktschmelzverfahren mit anschließender pyrometallurgischer Raffination haben eine Bleiausbeute von ca. 98 %. Die Emissionen in Wasser und Luft sind im Vergleich zum Eintrag in die Schlacken gering. Unter Umweltgesichtspunkten sind vor allem aber die schwermetallhaltigen Raffinationsrückstände problematisch.

Die Daten von BGR und BAFA sind teilweise inkonsistent. Spricht die BGR von einem Bleiinhalt in importierten Rohstoffen von ca. 135.000 t, so lässt sich damit selbst unter der Annahme, dass es sich ausschließlich um Primärblei handelt, der primäre Vorstoffeinsatz in Höhe von 161.000 t Blei nach BAFA nicht erklären, da in Deutschland kein Primärblei mehr gefördert wird. Obwohl bei den Daten von BAFA ausdrücklich von primärem und sekundärem Vorstoffeinsatz die Rede ist, ist zu vermuten, dass sich die Abgrenzung auf Primär- und Sekundärhütten bezieht. Da auch in Primärhütten Sekundärmaterial eingesetzt wird, liegt der **reale Sekundärrohstoffanteil** nicht bei etwa 54 %, sondern bei über 60 %.

### 3.2 Verarbeitung und Verwendung

Die Verarbeitung und Verwendung erstreckt sich vom Bezug raffinierten Bleis über verschiedene Verarbeitungsstufen bis hin zur Endmontage eines Produktes, bevor es dem Kunden mit seinem Bleigehalt zum Kauf angeboten wird. Die Verwendungsstruktur spiegelt die vielseitigen Eigenschaften von Blei wieder. Je nach Anwendungsgebiet kommen unterschiedliche Verfahren sowohl auf der 1. Verarbeitungsstufe (chemische Industrie, Gießereien, Halbzeug- und Legierungsherstellung), als auch auf der 2. Verarbeitungsstufe (weiterverarbeitende Industrie, produzierendes Gewerbe und Handwerk) zum Einsatz. Abgrenzungsprobleme bestehen vor allem zur

Sekundärproduktion, da jede Fabrik mit Anlagen zum Schmelzen von Blei Rohstoffe definierter Qualität einsetzen kann, z.B. Gießereien und Legierungshersteller. Andererseits produzieren nicht nur Legierungshersteller Legierungen, sondern z.B. auch Gießereien oder Akkumulatorenwerke. Je nach Unternehmen sind unterschiedlich viele Prozesse vertikal integriert, weshalb keine Trennung in 1. und 2. Verarbeitungsstufe unternommen wird. Die folgende Tabelle zeigt die Entwicklung der globalen Blei-Verwendungsstruktur:

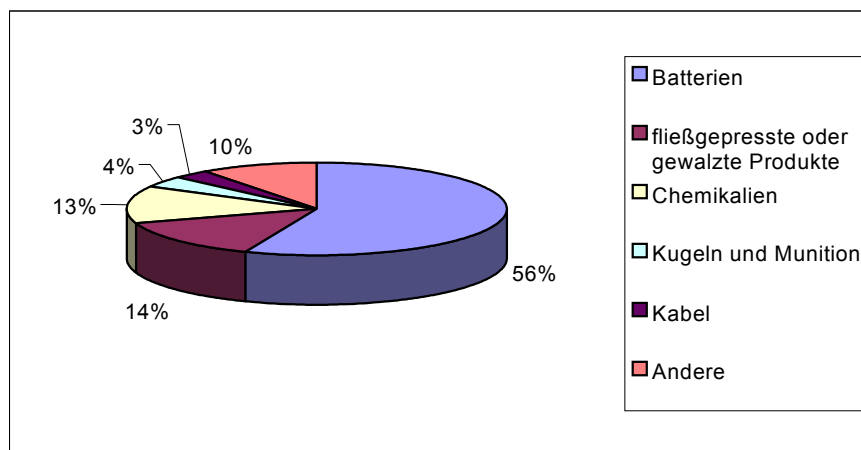
**Tabelle 3-4: Entwicklung der Verwendung von Blei weltweit**

Bleiverwendung [%]	1973	1983	1993	1994
Batterien	38	48	56	59
Chemikalien	24	27	22	22
Halbzeuge /Guss	17	17	16	16
Kabel	15	5	2,5	2,0
Legierungen	2	3	1,1	0,8
Andere	4	-	1,6	0,2

Quelle: EIPPCB nfm 1999.

Für die Verwendung von Blei ist die Dominanz einer einzigen Produktgruppe – Akkumulatoren – charakteristisch. Der relativen Steigerung des Bleinachfrage durch die Batterieindustrie steht eine sinkende Bedeutung der Bleinachfrage für Chemikalien, Kabel und Legierungen gegenüber. Der Anteil von Halbzeuge/Guss stagniert. Europa zeichnet für 25 % des weltweiten Bleiverbrauchs verantwortlich. Eurometaux gibt für 1999 folgenden Verbrauch nach Endnutzungen in Europa an:

**Abbildung 3-3: Verwendung von Blei in Europa**



Quelle: Eurometaux 2000; Daten für 1999.

Nach WEEE (2000, S. 41) verteilt sich die Bleiverwendung in der EU auf 63 % Batterien, 9 % fließgepresste Produkte wie Rohre oder Bauprodukte, 2 % Treibstoffzusätze und 1,5-2,5 % Elektro- und Elektronikgeräte. Auf europäischer Ebene gibt es eine ähnliche Verwendungsstruktur wie im globalen Maßstab. Interessant ist bei Eurometaux die gesonderte Ausweisung von Kugeln und Munition. Bei einem Anteil von 25 % am Weltverbrauch in Höhe von ca. 6 Mio. t Blei und 4 % Anteil davon für Kugeln und Munition entspricht dies einer Menge von 60.000 t. Nähert man den Verbrauch Europas mit dem der EU an, so ergibt sich, dass 30.000 t

Blei als Treibstoffzusätze und 22.500 t bis 37.500 t in Elektro- und Elektronikgeräte<sup>15</sup> gelangen. Die folgende Tabelle zeigt die Entwicklung der Bleiverwendungsstruktur in Deutschland:

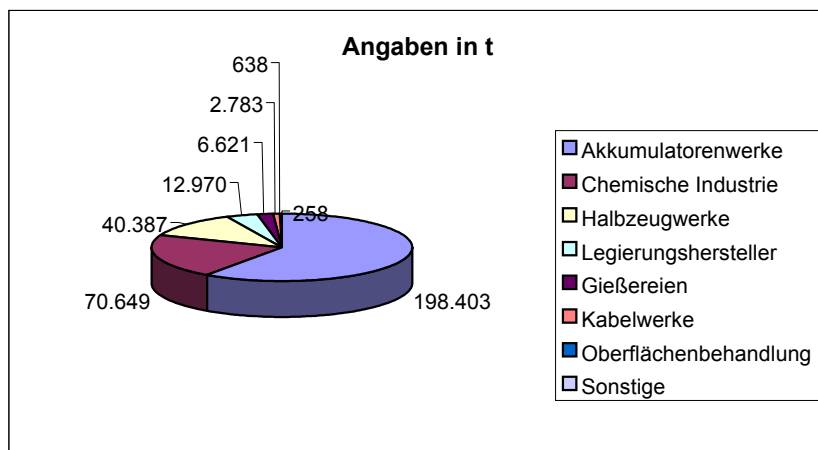
**Tabelle 3-5: Verwendung von Blei in Deutschland**

	1989		1999	
	1000 t	%	1000 t	%
Akkumulatoren	178	49	197	58
Farben, Chemie	107	29	71	21
Halbzeug	47	13	53	16
Kabel	14	4	3	1
Legierungen	12	3	14	4
Sonstige	6	2	1	0
Gesamt	365	100	339	100

Quelle: WVM 2000.

Ähnlich wie im globalen Maßstab hat der Anteil der chemischen Industrie in Deutschland abgenommen, liegt jedoch im europäischen Vergleich überproportional hoch. Die Produktion von bleihaltigen Antiklopfmitteln in Deutschland ist aufgrund des Benzin-Blei-Gesetzes stark gesunken. Die direkte Verwendung in Kabeln ist inzwischen von geringer Bedeutung. Der errechnete Verbrauch von etwa 377.000 t für 1999 (BAFA 2001) liegt um 38.000 t bzw. 45.000 t über dem berichteten Verbrauch von 339.000 t (WVM 2000) bzw. 332.000 t (BAW 2000). Die folgende Abbildung zeigt die Aufschlüsselung der Daten von BAW:

**Abbildung 3-4: Berichteter Verbrauch von Blei in Deutschland**



Quelle: BAW 2000; Daten für 1999.

Die Verwendung von Blei ist zum einen sehr spezifisch an einzelne Verwendungszwecke gebunden (Akkumulatoren, Kabelwerke, Oberflächenbehandlung), die metallurgische Verarbeitung (Legierung, Gießerei, Halbzeug) bleibt jedoch ebenso unspezifisch wie die chemische Industrie, zu der die Glas- und Keramik, die Farben-, die Kunststoff- und die Kraftstoffindustrie zählen. Für den Einsatz von Blei für PVC-Stabilisatoren wurden vom VKE (1994) etwa 15.000 t angegeben, das UBA (2001) beziffert den Einsatz von Blei für Bildschirmröhren auf

<sup>15</sup> Bleigläser und Bleilote sind in dieser Menge enthalten.

etwa 25.000-30.000 t Bleioxid im Jahre 1999. Mit diesen beiden Posten können knapp 60 % des Einsatzes in der chemischen Industrie erklärt werden.<sup>16</sup>

Der Verbrauch an Rohmetall ist nicht mit der Marktversorgung der 1. Verarbeitungsstufe identisch. Zu den 372.200 t Verbrauch an raffiniertem Blei im Jahre 1999 (nach BGR 2000) kommt der direkte Schrotteinsatz in Höhe von 8,6 t<sup>17</sup>, so dass sich eine Marktversorgung der 1. Verarbeitungsstufe von 380.800 t Blei für 1999 ergibt (BGR 2000). Der Anteil von Altmaterial an der Marktversorgung der 1. Verarbeitungsstufe liegt bei 52,7 %.

Die Bleihalbzeugproduktion<sup>18</sup> betrug 1999 nach BAFA (2001) 53.438 t (2000: 56.804 t), die Bleigussproduktion lag 1999 bei 5.870 t (2000: 5.073 t).<sup>19</sup> Detailliertere Produktionszahlen für Halbzeug und Chemikalien liegen vom Statistischen Bundesamt und für die Gussproduktion vom Bundesamt für Wirtschaft vor.

**Tabelle 3-6: Produktion von Bleichemikalien und -halbzeugen in Deutschland**

	1997	1998	1999
<b>Guss</b>			
Druckguss	2.305 t	2.667 t	3.476 t
Kokillenguss	2.175 t	1.806 t	2.026 t
Sandguss	168 t	144 t	323 t
Gesamt	4.697 t	4.667 t	5.869 t
<b>Halbzeug aus Blei</b>			
Stangen, Stäbe, Profile, Draht	2.830 t	2.571 t	2.739 t
Platten, Bleche, Bänder, Folien, Pulver	42.066 t	41.640 t	49.760 t
Rohre, Formstücke, Verschlusssteile etc.	372 t	k. A.	k. A.
Gesamt	45.268 t	44.211 t	52.499 t
<b>Blei-Chemikalien</b>			
Zn- oder Pb-Chromate	7.341 t	k. A.	k. A. t
Mennige und Orangenmennige (als PbO )	22.271 t	23.048 t	25.201 t
andere Bleioxide	49.657 t	48.316 t	48.652 t
Gesamt	79.269 t	71.364 t	73.853 t

Quellen: Statistisches Bundesamt 2000 und BAW 1999.

Plattern, Bleche, Bänder, Folien, Pulver aus Blei stellen die bedeutendste Halbzeug-Produktionsgruppe dar, bei den Chemikalien sind es neben Mennige und Orangenmennige „andere Bleioxide“. Druckguss- und Kokillenguss sind beim Bleiguss mengenmäßig von Bedeutung, wohingegen nur sehr geringe Mengen an Sandguss produziert werden.

Eine noch differenzierte Verwendungsbilanz von Blei liegt nur für die Jahre 1990-1994 von der Landesgewerbeanstalt Bayern vor (Balzer 1995). Auch für diese Bilanz mussten zahlreiche Annahmen und Abschätzungen vorgenommen werden. Für Bleioxide und sonstige Chemikalien

<sup>16</sup> Balzer (1995) führt zudem für Bleikristallglas 4.500 t, für technische Gläser (ohne TV-Röhren) geschätzte 8.000 t, für die Glas-, Keramik- und Emailproduktion 2.000 t, für Buntpigmente 4.000 t und für Korrosionsschutzpigmente und Elektrokeramik jeweils 1.000 t an. Ähnliche Zahlen heutzutage könnten die Differenz zum gesamten Einsatz erklären.

<sup>17</sup> Differenz aus Gesamteinsatz sekundärer Vorstoffe (200.800 t) und dem Einsatz von sekundären Vorstoffen in Primär- und Sekundärhütten (192.200).

<sup>18</sup> Angegeben ist die jeweilige Gesamtproduktion abzüglich der aus dem Inland bezogenen in der Produktion eingesetzten Vorwalzbänder, Vordrähte etc.

<sup>19</sup> Jeweils Blei und Bleilegerungen; für 2000 vorläufige Jahresergebnisse.

war keine Aufschlüsselung der Zwischenprodukte möglich, ebenso wenig für Halbzeuge und Legierungen. Endprodukthersteller beziehen Zwischenprodukte von den Herstellern im Inland, von Händlern und direkt aus dem Ausland. Die im Inland produzierte Menge an Zwischenprodukten stellt somit nur eine Teilmenge des Einsatzes für Endprodukte dar. Die Gesamtverbrauchsmengen sind wegen der Vielzahl der Hersteller nicht ermittelbar. Der Verbleib wurde letztmalig für 1994 aus dem Verbrauch und der Außenhandelsbilanz berechnet, wobei für Legierungen, Formguss und Kabelmäntel keine Handelsdaten berücksichtigt werden konnten.

**Tabelle 3-7: Verbleib von Bleiprodukten in Deutschland**

	Verbrauch [t]	Import [t]	Export [t]	Verbleib [t]	Quotient Verbleib/Verbrauch
Akkumulatoren <sup>a)</sup>	215.700	68.400	101.700	182.400	0,846
Chemikalien gesamt	76.300	18.900	39.500	55.700	0,730
Bleioxide, sonst. Chemikalien	60.700	10.900	23.600	48.000	0,791
TV-Bildröhren <sup>b)</sup>	11.100	7.200	12.900	5.400	0,486
Bleikristallglas	4.500	800	3.000	2.300	0,511
Halbzeuge	42.500	10.400	20.500	32.400	0,762

Quelle: Balzer 1995; eigene Berechnung anhand der Basisdaten für 1994

Anmerkungen: a) Import- und Export in Fahrzeugen und der Export von Akkumulatorenplatten sind berücksichtigt; b) Auch ungefertigte Glaskolben und die in fertige Geräte eingebauten Bildröhren sind berücksichtigt.

Multipliziert man den berichteten Verbrauch der Akkumulatorenwerke nach BAW (2000) mit dem Quotienten aus Verbleib/Verbrauch für 1994 von Balzer, so erhält man einen Verbleib von Akkumulatoren in Höhe von 168.000 t, bei Chemikalien gesamt 52.000 t und bei Halbzeugen 31.000 t. WVM (2000) gibt für 1999 eine Produktion von 53.000 t Halbzeuge, einen Import von 5.000 t und einen Export von 25.000 t an, woraus sich ein Verbleib in Höhe von 33.000 t errechnet, der gut mit der abgeschätzten Menge übereinstimmt. Liegt der Verbleib von Bleigläsern nur bei ungefähr 50 %, so liegt er ansonsten bei 75-85 %. Für Bildschirmröhren schätzt sich der aktuelle Verbleib an Blei daraus zu etwa 12.000 t (50 %) ab und für Blei in PVC ebenfalls zu 12.000 t (80 %).

Über die spezifischen Verwendungen der Produkte der 2. Verarbeitungsstufe liegen für Deutschland keine aktuellen aussagekräftige Statistiken vor. Die folgende Tabelle gibt einen qualitativen Überblick über die Verwendung der weiterverarbeiteten Produkte nach Sektoren.



**Tabelle 3-8: Verwendungsprofil von Bleiprodukten der 1. Verarbeitungsstufe**

Produkte	Verwendung als / in:	in Sektor/Branche
Halbzeuge	Stangen, Stäbe, Profile, Draht, Platten, Bleche, Bänder, Folien, Pulver, Rohre, Formstücke	Baugewerbe, Ver- und Entsorgungsbranche, Maschinenbau
Legierungen	Lettern: Lote: Gleitlager (Bleibronzen):	Druckereigewerbe EE-Industrie, Fahrzeugbau, Maschinenbau Fahrzeugbau, Werkstätten, Maschinenbau
Legierungen / Formguss	Munition: Ausgleichsgewichte und Schwingungsdämpfer:	Munitionshersteller Fahrzeugbau (Kfz, Schiffe), Maschinenbau
Stabilisatoren	Bau-/Fensterprofile, Bodenbelag: PVC-Formteile (Rohre, Platten etc.) und Kabelisolierungen:	Baugewerbe Ver- und Entsorgungsbranche, Maschinenbau, Fahrzeugbau, EE-Industrie
Bleifarben/ Rostschutz	Schutz für Metall- oder Kunststoffoberflächen	Fahrzeugbau, Baugewerbe, Ver- und Entsorgungsbranche, Maschinenbau, Haushaltswarengewerbe
Akkumulatoren	Energiespeicher	EE-Industrie, Fahrzeug- und Maschinenbau
Glas und Keramik	Refraktor in Glühbirnen: Refraktor in Kristallglas: Strahlenschutz in Kathodenstrahlröhren:	EE-Industrie Haushaltswarengewerbe, Maschinenbau EE-Industrie
Chemische Verbindungen	Antiklopfmittel in Ottokraftstoff	Petrochemische Industrie

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

Auf der Grundlage der o.a. geführten Abschätzungen und Plausibilitätsüberlegungen wird für Deutschland folgender Verwendungsstruktur von Blei angenommen:

- Etwa 200.000 t Blei gehen in die Akkumulatorenproduktion, wovon geschätzte 170.000 t in Deutschland verbleiben. Dominierendes Produkt ist die Starterbatterie.
- Die Halbzeugproduktion in Höhe von 53.000 t wird von Platten, Blechen, Bändern, Folien und Pulver dominiert. 33.000 t verbleiben in Deutschland. Einsatzgebiet ist vor allem das Baugewerbe.
- Etwa 25.000 t Blei gehen in die Bildröhrenglasproduktion, wovon etwa 12.000 t in Deutschland verbleiben. 4.500 t Blei dienen der Herstellung von Kristallglas, wovon 2.300 t in Deutschland verbleiben.
- 15.000 t werden zur Produktion von Bleistabilisatoren für PVC verwendet, wovon 12.000 t in Deutschland verbleiben.
- Nach BAW (2000) wurden 1999 etwa 7.500 t Blei in Zinn-Weichloten eingesetzt.
- Die in Europa verwendete Menge an Blei für Kugeln und Munition von 60.000 t lässt für Deutschland angesichts seines Bevölkerungsanteils von knapp einem Viertel auf einen Bleiverbrauch von ca. 10.000-15.000 t schließen.

Dadurch, dass Akkumulatorenhersteller auch Bleiverbindungen von der chemischen Industrie beziehen wird der Bleieinsatz für die Akkumulatorenproduktion unterschätzt. Bleihaltige Produktionsabfälle aus der Legierungsherstellung, Halbzeugproduktion und der Gießereiindustrie lassen sich ebenso wieder einschmelzen wie Anschnitte und Stanzabfälle bei der Weiterverarbeitung zu Endprodukten. Gleiches gilt für Produktionsabfälle bei der Herstellung und -verarbeitung von Bleiglas und bleistabilisiertem PVC. Umweltbelastungen bei der Verarbeitung entstehen vor allem in Form von Gießereialtsand, verbrauchten Prozesschemikalien und Schleifschlämmen bei der Halbzeugherstellung, die Abwasserbelastung bei der Herstellung von Blei-

chemikalien, Beschichtungen und in der Akkumulatorenindustrie sowie mittelbar durch den Energieaufwand beim Wiederaufschmelzen von Blei für die Legierungs- und Gussherstellung.

**3.3 Nutzungsphase und Bestand**

In der Gebrauchsphase der Produktgruppen Kraftfahrzeuge und EE-Geräte treten nur in geringem Umfang Bleiemissionen, z.B. durch Abrieb von Bremsbelägen und Lagern, auf. Insbesondere mit der Einführung des Benzinbleigesetzes und steuerlicher Anreize für Katalysatorfahrzeuge wurde der Absatz bleihaltigen Benzins in Deutschland drastisch reduziert. Dies hat zu einem deutlichen Absinken des Blutbleispiegels geführt. Bleihaltige Lote und das Blei im Glas von Kathodenstrahlröhren sind in der Nutzungsphase nicht mobil.

Wichtigster Expositions-pfad für die Aufnahme von Blei ist heute die Ingestion von Nahrung und Trinkwasser. In vielen Altbauten läuft das Trinkwasser noch durch Bleirohre, wobei sich Blei in zwar geringem Umfang, aber stetig herauslöst. Die Vermieter sind nur unter bestimmten Bedingungen zum Austausch alter Bleirohre verpflichtet. Auch bei der Nutzung von Geschirr aus (Blei-)Kristall oder mit bleihaltigen Keramikglasuren kann sich Blei insbesondere im sauren Milieu herauslösen. Die direkt in der Nahrung gespeicherten Bleimengen überwiegen diesen Mobilisierungspfad häufig. Der Eintrag von Blei in die Nahrung erfolgt über biogeochemische Stoffkreisläufe, wobei sowohl das Wasser als auch die Luft primäre Aufnahmemedien für Blei sind. Bleieinträge in Gewässer resultieren auch aus der Korrosion von bleihaltigen Schutzanstrichen und Halbzeug aus Blei im Außenbereich. Der Verlust von Angelblei in Gewässern und das Jagen mit Bleimunition in Feuchtgebieten sind wichtige Eintragsquellen für Blei in Gewässer. Weitere unmittelbare Quellen der Bleiexposition für den Verbraucher sind Luftemissionen beim Schießen mit Bleimunition, beim Bleigießen (Silvester) und beim Renovieren, wenn der Abrieb bleihaltiger Schutzanstriche eingeatmet wird.

Darüber hinaus ist Blei in Bestandslagern gebunden. Über die im Bestand gespeicherten Mengen liegen keine Statistiken vor. Hierzu zählen auch Halbzeuge im Bauwesen, industrielle Anlagen der chemischen Industrie und im Strahlenschutz. Die Rückführung dieser Mengen zum Recycling oder zur Beseitigung erfolgt mit starkem zeitlichen Verzug in der Regel durch Abbruchunternehmen. Erhebliche Bestandslager sind auch in aufgegebenen Kabeltrassen zu vermuten. Für die dominierende Anwendung Starterbatterien erfolgt die Rückführung durch ein Pfandsystem. Traktionsbatterien und ortsfeste Batterien werden in der Regel von den Produzenten zurückgenommen und recycled. Bei zahlreichen dissipativen Bleianwendungen gibt es Defizite in der Rückführung, so z.B. bei Auswuchtgewichten aus Altautos und bleistabilisierten PVC-Produkten. Bei anderen dissipativen Anwendungen wie z.B. Kristallglas erfolgt i.d.R. keine Rückführung. Einige typische Rücklaufzeiten sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

**Tabelle 3-9: Typische Rücklaufzeiten von bleihaltigen Produkten**

Anwendungsbereich	Jahre	Anwendungsbereich	Jahre
Kraftfahrzeuge	10-12	Kabel	30-40
Starterbatterien	3-6	Gebäude (Halbzeug)	60-80
Fernseher	8-10	PVC-Rohre	80-100
Computermonitor	3-5	PVC-Fenster	30-40

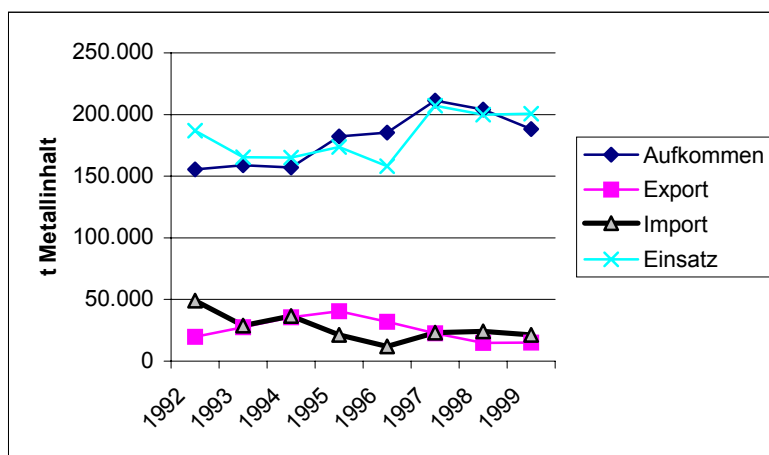
Quellen: DKI 1997; AGPU 2000; Behrendt, Steil 1997; IZT, DIW 1998.

Obige Tabelle verdeutlicht, dass das Blei in Starterbatterien eine hohe Zyklendynamik aufweist, wohingegen der heutige Rückfluss aus Gebäuden und Kabeln durch historische Verwendungsmuster charakterisiert ist.

### 3.4 Recycling und Entsorgung

Die Sekundärbleiindustrie steuert inzwischen über 50 % des Bleiaufkommens bei, wobei Bleiakumulatoren in Kfz die Hauptquelle des Sekundärmaterials sind (ca. 80 %). Zu den sekundären Rohstoffen zählen v.a. auch Schrott sowie Aschen, Krätzen, Stäube und Schlämme. Bleischrotte werden vom Metallhandel als Bleche, Rohre und Kabelmäntel erfasst.<sup>20</sup> Die Recyclingraten für Blei sind gestiegen, da einerseits der Anteil der Verwendung von Blei für Kfz-Akkumulatoren mit dem weltweiten Fahrzeugbestand erhöht und andererseits auch die Rückgaberraten gewachsen sind. Die folgende Abbildung zeigt einen hohen Selbstversorgungsgrad und eine geringe Einfuhrabhängigkeit von Bleischrott. Über die letzten Jahre ist eine leicht steigende Tendenz von Schrottaufkommen und Einsatz zu verzeichnen. Seit 1995 ist die Exportmenge gesunken. Der Export von Bleisekundärrohstoffen erfolgte fast ausschließlich in EU-Länder. Aufkommen, Außenhandel und Einsatz von Bleischrott haben sich wie folgt entwickelt:

**Abbildung 3-5: Aufkommen, Außenhandel und Einsatz von Bleischrott in Deutschland**

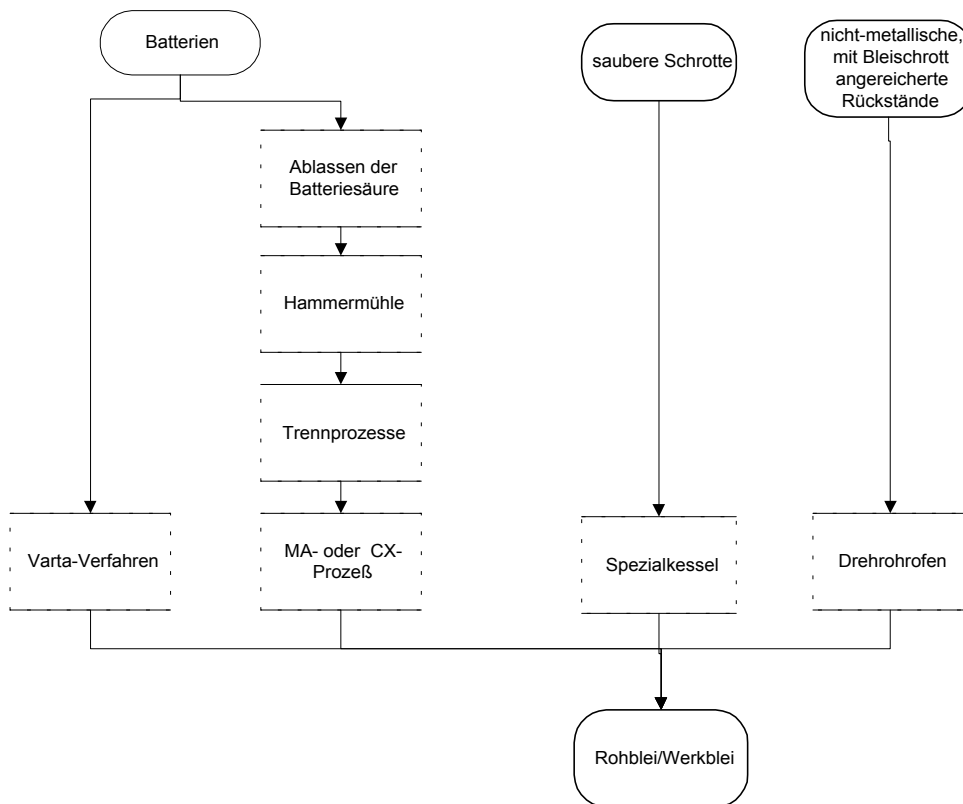


Quelle: BAW 2000.

Die Sekundärproduktion umfasst die Stufen Aufbereitung, Verhüttung und ggf. Raffination (vgl. Kap. 3.1). Die verschiedenen Prozessstufen und die dazugehörigen Bleiverbindungen sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Sekundärrohstoffe können nicht nur mit dem Sekundärrohrohröfen, sondern unter bestimmten Bedingungen auch mit den Verfahren Sintern/Schmelzen und Direktschmelzung verarbeitet werden.

<sup>20</sup> Aus den Sekundärmaterialien werden unter Zugabe von Fertigblei in den Umschmelzwerken auch direkt Bleilegitierungen hergestellt (Balzer 1995).

Abbildung 3-6: Flussschema des Bleirecyclings



Quelle: Eigene Darstellung.

Die Sekundärproduktion von Blei aus Altbatterien (Kfz) erfolgt hauptsächlich über zwei Verfahren: den Varta-Prozess oder den MA/CX-Prozess (EIPPCB nfm 1999, S. 312).

Die entleerten Batterien werden beim **Varta-Prozess** zusammen mit Flussmittel in den Hochofen gebracht. Der Kunststoffanteil wird als Brennstoff im Hochofen genutzt. Mit Hilfe von sauerstoffangereicherter Luft und anschließender Reduktion wird antimonhaltiges Rohblei erhalten. Als Nebenprodukte entsteht eine basische Silikatschlacke und eine Eisen-/Blei-Matte, die in einer Primärschmelzanlage zurückgewonnen werden kann. Der Filterstaub wird entchlort und in den Ofen zurückgeführt.

Beim **MA- und CX-(Engitec) Prozess** brechen Hammermühlen die entleerten Batterien auf. Über eine Reihe von Sieben, Nassklassierern und Filtern werden eine Metallfraktion, Blei-Oxid-Sulfat-Paste, PP, nicht recycelbare Kunststoffe und Gummi sowie verdünnte Schwefelsäure erhalten.<sup>21</sup> Die Metallfraktion und die entschwefelte Bleipaste werden zusammen mit Fluss- und Reduktionsmitteln geschmolzen, wobei Drehrohröfen, Flammöfen mit Hoch- oder Elektrolichtbogenöfen, ISA Smelt Ofen, Elektrolichtbogenöfen und Drehtrommelöfen zum Einsatz kommen. Die Schlacke wird weiterbehandelt, um mehr Blei wiederzugewinnen und eine stabile Schlacke zu erhalten. Die Schwefelmasse wird in der Schlacke fixiert.

<sup>21</sup> Letztere wird in der Regel neutralisiert, es sei denn, es existiert eine lokale Verwendung und das hergestellte Natriumsulfat kann rekristallisiert und verkauft werden. Optional wird vor dem Schmelzprozess entschwefelt, was zu einer Schlackereduktion und ggf. zu einer Emissionsreduktion an SO<sub>2</sub> führen kann (EIPPCB 1999, S. 312).

Der Elektrische Widerstandsofen wird auch bei **komplexen Blei/Kupfer- und Blei/Edelmetalle-Sekundärmaterialien** eingesetzt und verwendet ein offenes Schlackebad unter einer Koks-schicht. Die Rohstoffe werden auf das Bad aufgebracht, worin sie reagieren. Das Abgas enthält CO und wird verbrannt, der Flugstaub wird gesammelt und Zink wird aus ihm wiedergewonnen. Der Ofen wird in Kupferhütten alternierend mit sekundärer Kupferproduktion betrieben (EIPPCB nfm 1999, S. 312). Metallschrott kann mit Kunststoffen oder Bitumen verunreinigt oder mit anderen Elementen legiert, v.a. Zinn, Antimon und Silber, sein. **Sauberer Schrott** wird in speziellen Kesseln geschmolzen. Krätze und umherstreifende Materialien werden von der Oberfläche des geschmolzenen Metalls abgezogen und durch einen Sieb geführt. Die Krätze in der Feinfraktion wird als nicht-metallischer Rückstand recycled. Großteils nicht-metallische, aber oft **mit Bleischrott gemischte Rückstände** werden mit Flussmitteln in Drehrohröfen eingeschmolzen. Wenn die Sekundärmaterialien unerwünschte Bestandteile enthalten, ist wie bei der Produktion aus Primärrohstoffen eine Raffination notwendig. Schwermetallhaltige Luft-emissionen, CO<sub>2</sub>-, SO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub>-Emissionen, die sulfatischen Schwermetallabwässer beim Batterie-recycling und die Schlacken erfordern teilweise aufwendige Aufbereitungs- oder Abschei-dungsverfahren. Moderne Sekundärverfahren mit anschließender pyrometallurgischer Raffinati-on haben eine Bleiausbeute von ca. 98 %. Die Emissionen in Wasser und Luft sind im Ver-gleich zum Eintrag in die Schlacke vernachlässigbar.

**Tabelle 3-10: Material- und Energiebedarf für die Primär- und Sekundärproduktion von Blei**

		Primärverfahren		Sekundärverfahren	
		Sinter/ Schachtofen	QSL	Varta- Schachtofen	MRU
Ausbeute	%	96	98	98	98
Energieverbrauch	MJ/t Pb	10.000	7.000	k. A.	6.000
SO <sub>2</sub> -Emissionen in Luft	kg/t	70	4	k. A.	1
Pb-Emissionen in Luft	g/t	140	40	k. A.	7

Quelle: Behrendt, Steil 1997; Fellmuth, Bräutigam 1999.

Neben dem geringeren Energieverbrauch und geringeren SO<sub>2</sub>- und Blei-Emissionen entfallen bei der Sekundärproduktion die Umweltbelastungen des Bergbaus, allerdings sind z.B. die öko-logischen Aufwendungen für die Rückführungslogistik zu addieren. Grund für den Eintrag von Blei in Abfallströme ist häufig eine unzureichende separate Erfassung von Alt-Produkten. Auf-nahmeströme sind Siedlungsabfälle, EE-Altgeräte, Altfahrzeuge und Bauschutt. Nach Angaben der EU (WEEE 2000) sind etwa 40 % des Bleieintrags auf Deponien auf abgelagerte EE-Geräte in Form von Weichloten und Bildschirmröhren zurückzuführen. Über die Bleigehalte von Bau-schutt liegen keine verlässlichen Abschätzungen vor, die absoluten Mengen dürften aufgrund der großen Bestandslager und nicht optimierter separater Erfassungsmethoden jedoch beträcht-lich sein. Der hohe Kostenaufwand beim Recycling, wie z.B. der Demontage von Schwin-gungsdämpfern kann auf Defizite bei der recyclinggerechten Konstruktion hinweisen. Der Blei-gehalt in der Shredderleichtfraktion beträgt etwa 1 Gew.-%.

### 3.5 Stoffstrombezogene Defizite

Blei geht für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung verloren durch Emission in Wasser, Boden und Luft, Eintrag in Abfallströme sowie eine Verschleppung in andere Stoffkreisläufe. Das Umweltbundesamt schätzt die Bleiemissionen in Luft aus stationären Anlagen für 1995 in Deutschland auf ca. **380 t**.<sup>22</sup> (UBA-TEXTE 26/1998). Nach Angaben für die UN-ECE werden insgesamt 624 t Pb/a aus stationären Quellen und Verkehr in die Luft emittiert. **240 t** davon sind Verkehrsemissionen (Antiklopfmittel). Diese Menge dürfte weiter abgenommen haben. Weitere Kleinquellen sind Haushalte und kleine und mittlere Unternehmen. Folgende Einleiter in Flussgewässer sind zu differenzieren: industrielle Direkteinleiter, kommunale Kläranlagen und diffuse Emissionen.<sup>23</sup> Die Daten aus „Emissionsinventar Wasser für die Bundesrepublik Deutschland“ (FHG-ISI et al. 2000) beziehen sich bei den kommunalen und diffusen Einträgen auf die Jahre 1993-1997, bei den industriellen Direkteinleitungen auf 1997. Insgesamt sind im Bezugszeitraum 1993-1997 in die Flussgebiete Donau, Rhein, Ems, Elbe, Weser, Oder, Nordsee und Ostsee ca. **500 t/a** Blei eingetragen worden, wovon alleine ca. 440 t auf diffuse Einträge zurückzuführen sind. Der diffuse Eintrag von Blei in Gewässer und Boden erfolgt u.a. durch Korrosion von Halbzeugen und Schutzanstrichen. Nicht erfasst sind bei dieser Betrachtung die Einträge durch verlorenes Angelblei in Gewässer (ca. **200-250 t/a**)<sup>24</sup>, die Jagd mit Bleimunition in Feuchtgebieten und weitere Kleininträge.

Die Bleieinträge in den Boden dürften durch die Verwendung von Jagdmunition dominiert werden. Verschiedene Quellen gehen von einer jährlichen Verwendung von **300-2.500 t** Blei für dieses Anwendungsmuster aus (vgl. Kap. 6.10), wobei der Boden und auch Gewässer die Aufnahmemedien sind. Etwa **60 t** Blei werden jährlich mit dem Klärschlamm auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzten Boden aufgebracht.<sup>25</sup> Dazu kommen noch die Einträge über die Deposition, die in trockene und nasse Deposition eingeteilt wird. Die Deposition von Blei in Höhe von **850 t/a** in Deutschland entstammt zu 430 t Emissionen aus Deutschland, zu 400 t dem grenzüberschreitenden Import und zu ca. 20 t natürlichen Quellen. Der grenzüberschreitende Export lag bei 440 t (UBA 2001b, S. 178). Das Littering durch Bleibatterien dürfte im Vergleich zu diesen anderen Eintragsquellen in den Boden von untergeordneter Bedeutung sein. Beträchtliche Mengen an Blei werden in Abfallströme eingetragen, wobei zwischen Siedlungsabfällen (Hausmüll, Sperrmüll, Bio- und Grünabfälle), produktionsspezifischen Abfällen (Bergbau, Hütten, Verarbeitung) und produktspezifischen Abfallströmen wie Bauschutt, Schredderleichtfraktion und EE-Geräte unterschieden werden kann. Jährlich werden schätzungsweise **8.500 t** Blei in Siedlungsabfälle eingetragen,<sup>26</sup> wobei zu den Quellen mülltonnengängige EE-

<sup>22</sup> Davon entfallen auf die Eisen- und Stahlindustrie ca. 47 %, die Bleigewinnung, Zinkherstellung, Glasindustrie und Feuerungsanlagen für fossile Brennstoffe je 9- 13 % und die restlichen geringen Anteile auf Eisen-, Temper- und Stahlgießereien, Abfallverbrennung, Zementherstellung und Kupfergewinnung.

<sup>23</sup> Landwirtschaft, Erosion, Entwässerung versiegelter Flächen, atmosphärische Deposition, Eintrag über das Grundwasser, Korrosionsprozesse (Halbzeug: Bleche, Wasserrohre, Anstriche).

<sup>24</sup> In Kanada fischen ca. 5,5 Mio. Angler, wobei ca. 500 t Angelblei verloren gehen ([http://www.cws-scf.ec.gc.ca/fishing/facts\\_e.html](http://www.cws-scf.ec.gc.ca/fishing/facts_e.html)). In Deutschland gibt es knapp 2,5 Mio. Angler, wovon etwa die Hälfte in Vereinen organisiert ist. Bei gleichem Angelverhalten wie in Kanada beläuft sich der Verlust an Bleigewichten auf 200-250 t/a.

<sup>25</sup> 40,8 % des Klärschlammaufkommens in Höhe von 2,2 Mio. t TM (UBA 2001b), also 910.000 t mit einem mittleren Bleigehalt in Höhe von 63 mg Pb/kg.

<sup>26</sup> Aus dem Restabfallaufkommen aus Haushalten, Industrie und Gewerbe nach Prognos AG (2000) für 1998 in Höhe von 30,25 Mio. t und den mittleren Konzentrationen im Restabfall in Höhe von 280 mg/kg FS (Mittelwert nach

Geräte (Weichlote), Gerätebatterien, Kristallglas und andere Kleinanwendungen wie Lametta gehören.

Über die Bleifracht in produktionsspezifischen Abfällen gibt es keine systematischen Erhebungen.<sup>27</sup> Die Umweltbelastungen aus dem Bergbau von Blei und Kupfer sind extraterritorial gelagert, da in Deutschland kein Abbau dieser Metalle mehr erfolgt, bei der Verarbeitung von metallischem Blei dürfte ein Großteil recycled werden und auch Abfälle aus der PVC- und Bleiglas-Verarbeitung lassen sich wieder einschmelzen. Ayres (2001) gibt die Bleiausbeute bei modernen Primär- und Sekundärverfahren mit 98 %, beim Sinter/Schachtofenverfahren mit 96 % an. Da letzteres in Deutschland keine wichtige Rolle mehr spielt ist für Primär- und Sekundärblei mit einem Eintrag von etwa 2 % in die Schlacke zu rechnen, was zu einem Bleiverlust von ca. **3.200 t** bei der Primär- und **3.800 t** bei der Sekundärproduktion führt. Für den Bleieintrag in die Abfallströme Altfahrzeuge, EE-Altgeräte und Bauschutt gibt es keine Primärstatistiken. Einfache Abschätzungen aus der Verwendungsstruktur lassen jedoch auf hohe quantitative Relevanz dissipativer Verwendungen schließen.

**Tabelle 3-11: Grobschätzung des Eintrages von Blei in Altproduktströme in Deutschland**

	Mengenstrom	Bleiverwendung	Quelle	Bleistrom
Alt-Kfz	Ca. 3,5 Mio. Löschungen 1999	Auswuchtgewichte: 225 g/Kfz Schwingungsdämpfer: 200 g/Kfz Legierungen: 1040 g/Kfz Kleinanwendungen und nicht entfernte Batterien: k.A.	Eigene Abschätzung aus Ökopol 2000/2001	> 5.000 t/a
EE-Altgeräte	Ca. 1,8 Mio. t/a	Weichlote: ca. 7.500 t/a Bildschirme: ca. 25.000 t/a	BAW 2000 UBA 2000	32.500 t/a
Bauschutt	Ca. 30-40 Mio. t/a	PVC: ca. 15.000 t/a Halbzeug, Keramik, Plomben: k.A.	VKE 1994/EVCM et al. 2001	> 12.000 t/a

Quelle: Eigene Darstellung.

Auch die Verschleppung in andere Stoffkreisläufe ist als stoffstrombezogenes Defizit zu bezeichnen. Das Blei erfüllt dann keine oder nur eine untergeordnete technische Funktion und kann häufig nur unter bestimmten Randbedingungen wiedergewonnen werden. Beim Recycling von Elektrostahlwerksstäuben aus dem Einschmelzen von Stahlschrott kann Blei nur bei hohen Zink-Gehalten als Wälzoxid aufbereitet und wiedergewonnen werden (maximal **4.300 t/a**).<sup>28</sup> Das Blei in PVC wird beim werkstofflichen Recycling verdünnt. Nicht das Blei, sondern das PVC ist die bestimmende Größe. Derzeit werden jedoch nur geringe Mengen an PVC recycled. Blei aus Kathodenstrahlröhren ist in das Behälterglasrecycling eingetragen worden, was diesen auf Jahre hinaus mit Blei kontaminiert hat, so dass die Grenzwerte der EG-Verpackungsrichtlinie

---

Angaben von BZL, DPU 2000) ergeben sich die Stoffflüsse von Blei zu etwa 8.500 t Blei/a, allerdings bei hoher Bandbreite.

<sup>27</sup> Die Studie ERM Lahmeyer International und ABAG-itm: „Aufkommen und Entsorgung produktionsspezifischer Abfälle“ (1999) hat für 10 ausgewählte Sonderabfallarten die Anfallstrukturen untersucht, darunter auch Stahlwerksstäube, Galvanikschlämme und Lackschlämme.

<sup>28</sup> Nach DFIU (1996) müssen jährlich über 120.000 t Filterstäube von den deutschen Stahlwerken entsorgt werden. Der Bleigehalt von Stäuben aus der Edelstahlherstellung liegt in der Größenordnung von etwa einem Prozent, der von Stäuben der Grundstahl-/Qualitätsstahlproduktion bei etwa vier Prozent (DFIU 1996, S. 92). Unter Berücksichtigung der produzierten Staubmengen ergibt sich eine geschätzte rezyklierte Bleimenge von etwa 4.300 t.

nicht eingehalten werden können (**5.000-40.000 t** kumuliert mit anderen Quellen).<sup>29</sup> Zusammenfassend weist der Stoffstrom von Blei folgende Hauptcharakteristika auf:

- Die Umweltbelastungen des Bergbaus sind extraterritorial gelagert, wobei sinkende Bleigehalte steigende Abraummengen und Energiebedarf vermuten lassen.
- Prozessspezifische Emissionen in Wasser, Boden und Luft spielen gegenüber dem Eintrag in Schlacken bei der Verhüttung und in Raffinationsschlämme keine wichtige Rolle. Die Primär- und Sekundärhütten sind in den letzten Jahren modernisiert und bezüglich ihrer Bleiausbeute optimiert worden, so dass nur geringe Einsparpotenziale zu erwarten sind.
- Die offene Anwendung von Blei in Munition und der Verlust von Angelblei übersteigen die prozessspezifischen Emissionen deutlich.
- Der Einsatz von Blei als Antiklopfmittel und in Beschichtungen ist stark zurückgegangen. Bleibeschichtungen auf Stahl können über das Flugstaubrecycling von Elektrostahlwerken wiedergewonnen werden.
- Die gesamte Bleiwirtschaft wird in ihrer Struktur von der Anwendung für Akkumulatoren dominiert, weshalb Veränderungen der Märkte für Akkumulatoren mittelbar auch Auswirkungen auf alle anderen Märkte für bleihaltige Produkte haben.
- Von besonderer Bedeutung für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung sind die dissipativen Bleiverwendungen als PVC-Stabilisator, Weichlot, in Bildschirmröhren, in Kristallglas und sonstigen Kleinanwendungen im Haushalt sowie einzelne Nischenanwendungen in Kraftfahrzeugen. Diese werden nur unzureichend erfasst.
- Unklar ist trotz hoher Recyclierbarkeit die Bedeutung der Bindung von Bleihalbzeugen in langlebigen Anwendungen wie Gebäuden für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung. Die Demontage und Wiedergewinnung von Bleihalbzeug aus dem Bauschutt ist unsicher.
- Durch hohe Umwelanforderungen an das Recycling in Deutschland gehen Altprodukte wie z.B. Kraftfahrzeuge und Bildschirme in den Export. Altbatterien z.B. können jedoch über den internationalen Schrotthandel wieder importiert werden.

Insgesamt wird mit bis zu **80.000 t** etwa **1/5** des Bleiverbrauchs für **dissipative Anwendungen** wie Chemikalien und Legierungen eingesetzt. Durch den **Nettoexport** von Zwischen- und Endprodukten gehen geschätzte **70.000 t** Blei dem nationalen Bestand verloren, wovon 20.000 t auf dissipative Anwendungen entfallen. Mit über 15 Jahren sehr **langfristig im Bestand** gebunden sind geschätzte **30.000-50.000 t** Blei. Diese Betrachtungen erklären, warum das nationale Altschrottaufkommen nur zwischen 180.000 und 200.000 t liegt, und nicht bei 380.000 t. Die **Recyclingverluste** (Erfassung und Verwertung) bei Akkumulatoren und kompakten Schrotten liegen in der Größenordnung von **10.000-20.000 t**. Lebenszyklus übergreifend bestehen Informationsdefizite vor allem über die Bestandslager (aufgegebene Kabeltrassen, Blei im Gebäudebestand), die Strukturen des Abfallaufkommens (Bau, Siedlungsabfälle) und auch die Entsorgungswege (Bildschirme, Altkabel). Generell sind die Erlöse für Blei im Vergleich zur umgebenden Matrix häufig gering (z.B. Kupfererlöse aus Altkabeln) und andere Umweltbelastungen stehen im Vordergrund (z.B. PVC).

---

<sup>29</sup> Vgl. Abschätzung in Kap. 6.4.



## 4 Die Stoffströme von Kupfer

Das vorliegende statistische Material stammt vorwiegend von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR, vom Bundesamt für Wirtschaft BAW (jetzt BAFA), von der Wirtschaftsvereinigung Metalle WVM und vom Statistischen Bundesamt.<sup>30</sup> Basierend auf diesen Daten und eigenen Abschätzungen gibt die Abbildung 4-1 einen Überblick über dem Stoffstrom von Kupfer. Bezugsjahr ist - sofern Daten vorhanden - 1999, geographischer Bezugsraum ist Deutschland. Bestandslageränderungen sind nicht dargestellt.

Etwa 696.000 raffiniertes Kupfer und Kupfer in Legierungen wurden 1999 in Deutschland hergestellt. Die primären Rohstoffe werden importiert, auch bei den Schrotten besteht ein Importüberschuss von etwa 240.000 t. Die Sekundärrohstoffeinsatzquote auf der Ebene der Verhüttung und Raffination liegt über 56 %. Im Gegensatz zu den Verhältnissen bei Blei übersteigt bei Kupfer das Neuschrottaufkommen mit 2/3 Anteilen das Altschrottaufkommen mit 1/3 Anteil.

Auf Höhe der 1. Verarbeitungsstufe wurden 1.705.000 t kupferhaltige Produkte mit einem geschätzten Kupfergehalt von rund 1.630.000 t hergestellt. Der direkte Schrotteinsatz ist mit über 400.000 t beträchtlich. Der Nettoimport an raffiniertem Kupfer liegt bei etwa 430.000 t. Die Verarbeitungsstruktur wird durch die Ziehereien und sonstige Halbzeugwerke dominiert.

Charakteristisch ist die Exportorientierung der verarbeitenden Betriebe, so dass die Marktversorgung der 2. Verarbeitungsstufe nur noch bei etwa 1.250.000 t liegt. Der Verbleib von etwa 270.000 t Kupfer auf Höhe der 2. Verarbeitungsstufe kann in der Abbildung 4-1 nicht erklärt werden, da die Größe „restliche Güter“ nicht weiter aufgeschlüsselt ist. Kupfer geht vorwiegend in langlebige Anwendungen wie die Verkabelung und Halbzeuge im Bauwesen.

Unsicherheiten bei der Abbildung des Stoffstromes von Kupfer ergeben sich durch die unterschiedliche statistische Erfassung des Sekundärstoffeinsatzes und der zugesetzten Legierungsmetalle auf den verschiedenen Produktions- und Verarbeitungsstufen, die unzureichende Informationslage bei Außenhandel und Bestandslageränderungen sowie andere fehlende Daten.

Der Stofffluss von Kupfer wird in den folgenden Unterkapiteln

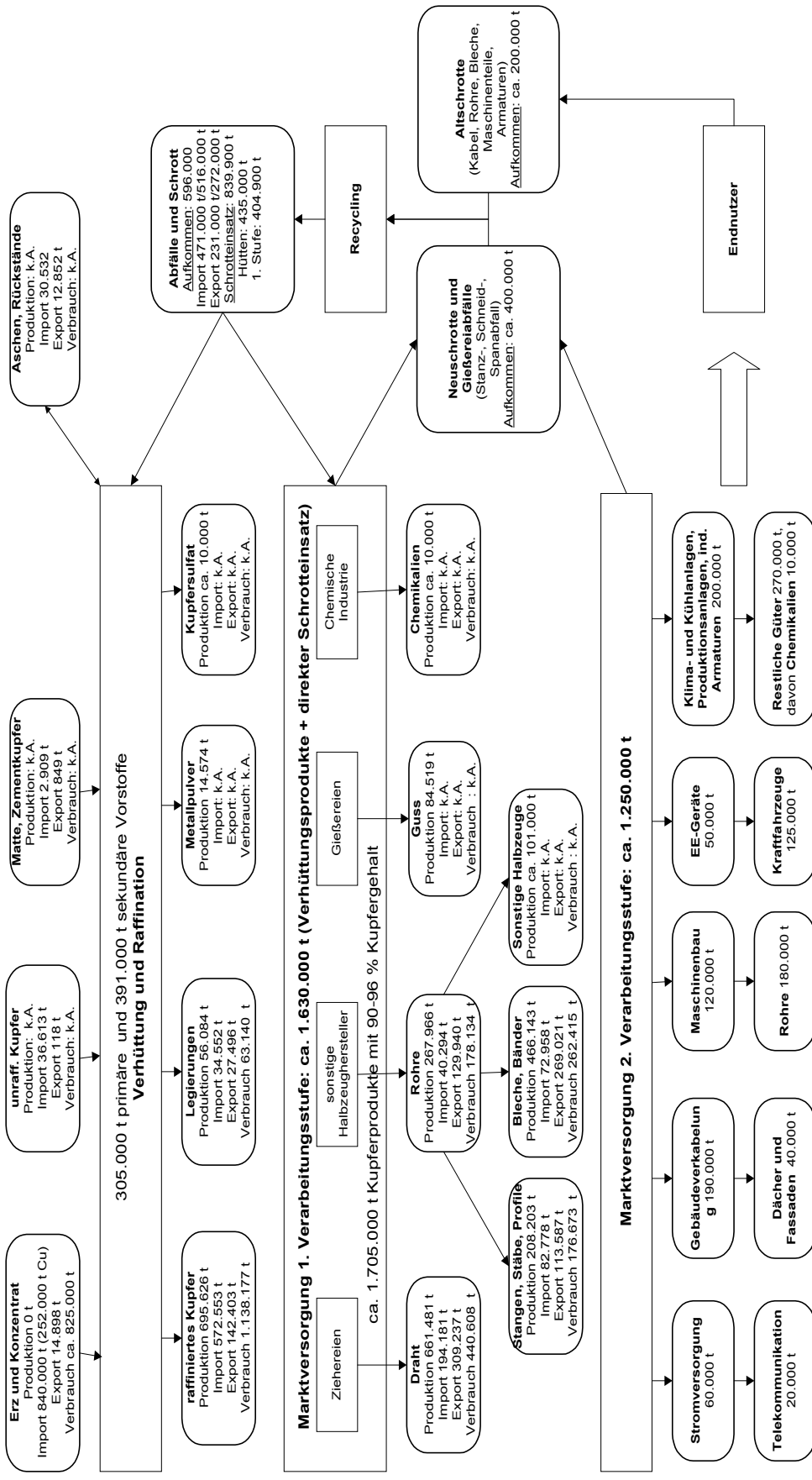
- Primärproduktion
- Verarbeitung und Verwendung
- Nutzungsphase und Bestand
- Recycling und Entsorgung
- Stoffstrombezogene Defizite

vertieft. Auf Grundlage dieser Stoffstromanalyse sind die prioritären Handlungsfelder für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer ausgewählt worden (vgl. Kap. 6).

---

<sup>30</sup> Das Bundesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe, das Bundesamt für Wirtschaft sowie die Wirtschaftsvereinigung Metalle stützen sich auf Angaben des statistischen Bundesamtes.

Abbildung 4-1: Der Stoffstrom von Kupfer in Deutschland



Quelle: BGR 1999; BGR 2000; BAW 1999; BAW 2000 ; Bezugsjahr 1999

#### 4.1 Primärproduktion

Die Herstellung von Raffinadekupfer erfolgt sowohl durch die Verarbeitung von Erzen, vor allem jedoch durch die Verhüttung von Kupferkonzentraten und Sekundärrohstoffen. In der EU gibt es zehn große Raffinerien, von denen fünf ausschließlich Sekundärkupfer verarbeiten und fünf weitere zusätzlich auch Primärrohstoffe. Die Norddeutsche Affinerie AG zählt zu den drei Firmen mit einer Produktionskapazität von über 250.000 t in der EU, die Firmen MKM Hettstedt und die Hüttenwerke Kayser produzieren ebenfalls mehr als 100.000 t/a. Die folgende Tabelle zeigt den Vorstoffeinsatz der Kupferhütten und -legierungshersteller.

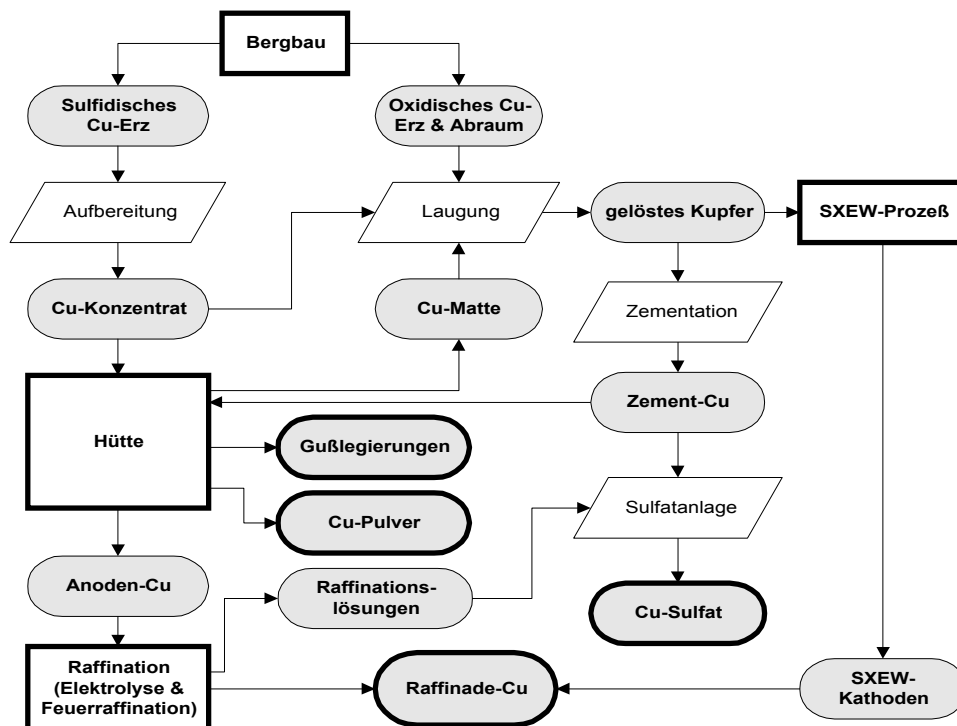
**Tabelle 4-1: Vorstoffeinsatz der Kupferhütten und -legierungshersteller in Deutschland**

Vorstoffeinsatz [1000 t]	1989	1999
primäre Vorstoffe	196	305
sekundäre Vorstoffe	279	391
Gesamtes produziertes Kupfer	475	696

Quelle: WVM 2000.

Der Anteil der sekundären Vorstoffe am gesamten Vorstoffeinsatz der Kupferhütten und -legierungshersteller betrug 1999 somit etwa 56 %. Die Primärproduktion umfasst die Stufen Bergbau, Verhüttung, elektrolytische oder SXEW-Raffination. Die verschiedenen Prozessstufen und die dazugehörigen Kupferverbindungen sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

**Abbildung 4-2: Flussschema der Primärproduktion von Kupfer**



Quelle: DKI 1995.

Kupfer wird sowohl aus oxidischen als auch aus sulfidischen Erzen gewonnen. Die **Grenzkonzentration** für den rentablen Abbau von sulfidischen Kupfererzen liegt bei nur **0,35 Gew.-%** Kupfergehalt (Meadows et al. 1992). Die sulfidischen Erze des Bergbaus werden zunächst

durch Flotation zu einem Kupferkonzentrat verarbeitet, welche durch Röst-, Schmelz- und Konverterverfahren über die Feuer-Raffination zunächst zu Anodenkupfer (**Verhüttung**) und abschließend durch Raffinations-Elektrolyse zu Kupfer-Kathoden verarbeitet wird (Raffination). Bei der nassmetallurgischen Aufarbeitung von oxidischen Erzen, Erzkonzentraten oder kupferhaltigem Abraum erfolgt zunächst eine Laugung. Das gelöste Kupfer wird konzentriert und zu Zementkupfer gefällt, welches in der Verhüttung oder der Sulfatanlage verarbeitet wird. Ein weiterer und zunehmend an Bedeutung gewinnender Prozess, ist die Verarbeitung des gelösten Kupfers in der **SX-EW-Anlage**<sup>31</sup> zu SXEW-Kathoden. Die Raffinationslösungen und Zementkupfer werden in der Sulfatanlage zu Kupfersulfat verarbeitet.

1999 wurden nach BGR (2000) **Kupferkonzentrate** mit einem Kupfergehalt von **252.000 t** importiert. Weitere Vorstoffe für die Raffination sind Nettoeinfuhren von etwa 550.000 t Rohkupfer und Kupferschrott sowie das inländische Kupferaufkommen. In Deutschland werden seit 1989 keine Kupfererze mehr bergmännisch gewonnen. Deutschland ist Nettoimporteur für Kupfererze und -konzentrate. Die Importmenge betrug 1997 641.000 t, 1998 waren es 576.000 t und im Jahre 1999 840.000 t (BGR 2000). Davon stammten 1999 allein etwa drei Viertel aus den Regionen Chile/Argentinien (52,8 %) und Papua-Neuguinea/Indonesien (22,3 %), aus Portugal wurden weitere 21,1 % importiert.<sup>32</sup> Kupfer und Aluminium dominieren mit 4,83 % bzw. 6,63 % bei den Nichteisenmetallen den Gesamteinfuhrwert an Rohstoffen in Höhe von 13,5 % (BGR 2000). Die Produktion der deutschen Kupferwirtschaft und der deutsche Verbrauch ist wie folgt:

**Tabelle 4-2: Produktion und errechneter Verbrauch von Kupfer in Deutschland**

	1996	1997	1998	1999	2000 <sup>a)</sup>
Gewinnung Elektrolytisch und feuerraffiniert <sup>b)</sup>				695.626	709.400
Gewinnung Kupferlegierungen				56.084	62.616
Gesamtes produziertes Kupfer <sup>c)</sup>	670.789	673.712	695.804	695.626	709.400
+ Einfuhr <sup>d)</sup>	460.018	526.901	591.927	572.553	689.674
- Ausfuhr <sup>d)</sup>	247.555	147.492	113.311	142.403	94.125
+ Bestandsabbau <sup>e)</sup>	76.700	--	--	12.401	4.732
- Bestandsaufbau <sup>e)</sup>	--	13.739	27.423	--	--
Errechneter Kupferverbrauch	959.952	1.039.382	1.146.997	1.138.177	1.309.681

Quelle BAW 2000; BAFA 2001.

Erläuterungen zur Tabelle: a) Vorläufige Jahresergebnisse; b) Raffinadepkupfer aus primären und sekundären Vorstoffen; c) Kathoden und Elektrolytkupfer –Formate inkl. Produktion aus sekundären Vorstoffen; d) Quelle: Statistisches Bundesamt; e) Einschließlich der Veränderung der Bestände in inländischen LME-Lägern.

Im Jahre 1999 wurden in Deutschland mehr als **695.000 t** elektrolytisch oder feuerraffiniertes Kupfer sowie 56.000 t Kupferlegierungen **hergestellt**. Der **errechnete nationale Verbrauch** – belief sich auf **1.138.000 t** Kupfer. Die Importe von raffiniertem Kupfer in allen Formen lagen bei ca. 572.000 t, die Exporte bei 142.000 t. Somit decken die Nettoimporte 38 % des errechneten

<sup>31</sup> Solvent-Extraction / Electrolytical Winning = kombinierter Lösungs- und Abscheidungsprozess.

<sup>32</sup> 1996 bis 1999 wurden zwischen 11.500 und 25.000 t Kupfererze und –konzentrate jährlich exportiert. Die etwa 15.000 t aus dem Jahre 1999 wurden zu 99,4 % nach Schweden exportiert (BGR 2000). Da für Kupfererze und –konzentrate keine Produktionszahlen für Deutschland angegeben werden, sind diese Mengen wahrscheinlich Transithandel.

ten nationalen Verbrauchs an Raffinadekupfer ab. Die Bestandslageränderungen sind im Vergleich zum Außenhandel gering. Alleine aus Russland stammten 1999 nach BGR (2000) 47,5 % der Importe an raffiniertem Kupfer in Höhe von 565.000 t, aus Chile 17,4 %. Die Länder, die Kupferbergbau betreiben haben überwiegend Kupferhütten in der Nähe ihrer Minen errichtet. Zusammen mit den Anteilen Belgiens und Polens kommen über 80 % der Importe an nicht legiertem Raffinadekupfer aus nur vier Ländern. 75 % von 140.000 t des nicht legierten Raffinadekupfers wurde nach Frankreich, Italien und Großbritannien exportiert (BGR 2000). Deutschland bezieht etwa 2/3 seines Importes an unlegiertem Raffinadekupfer aus den Schwellenländern Russland und Chile, exportiert aber vorwiegend in europäische Industrieländer.

**Tabelle 4-3: Hauptproduzenten und –verbraucher von Raffinadekupfer weltweit**

	Land	Anteil an Produktion [%]	Land	Anteil am Verbrauch [%]
1.	Chile	18,5	USA	21,3
2.	USA	14,8	VR China	10,7
3.	Japan	9,3	Japan	9,2
4.	VR China	7,9	Deutschland	8,0
5.	Russland	4,8	Rep. Korea	5,4
6.	Deutschland	4,8	Taiwan	4,7

Quelle: BGR 2000.

Bei der Kupferproduktion hat Deutschland einen Weltmarktanteil von 4,8% und ist damit sechstgrößter Kupferproduzent. Bedingt durch den hohen Exportanteil von Produkten höchster Fertigungsstufe (z.B. Kfz, Maschinen, Anlagen) war Deutschland 1999 mit 8 % der viertgrößte Verbraucher weltweit. Chile ist ein Großproduzent von raffiniertem Kupfer, verbraucht jedoch im Gegensatz zum Hauptverbraucher USA nur einen sehr geringen Anteil.

Aufgrund dieser Produktionsmuster sind zahlreiche Umweltbelastungen des Kupferverbrauchs in Deutschland extraterritorial gelagert (Bergbau, Verhüttung und Raffination). Bei einem Nettoimport in Höhe von 840.000 t Kupfererzen und –konzentraten sowie 430.000 t raffiniertem Kupfer berechnet sich der Abraum aus dem Bergbau in anderen Ländern, bei 37-38 t Abraum/t Konzentrat, auf eine Gesamtmenge von über 60 Mio. t. Die kupferhaltigen Abfälle aus deutschen Kupferhütten und Raffinationsanlagen (Schlacken, Krätzen, Stäube, Kupferlösungen und Anodenschlämme) sind für die Kupferindustrie i.d.R. Wirtschaftsgüter und werden in Sekundärhütten und Nebenbetrieben (Zinnhütten, Edelmetallscheiden, Sulfatanlagen) weiterverarbeitet. Die bei der Verarbeitung von Erzen und Konzentraten anfallenden Schlacken werden nach der Entkupferung im Elektroofen als Eisensilikatgestein abgeschieden, die vor allem als Fluss- und Küstenbefestigungen an der Wasser-Land-Grenze eingesetzt werden (Norddeutsche Affinerie 1998). Umweltrelevant ist vor allem die Aufarbeitung der Elektrolytlösungen, die bedeutende Mengen an Arsen, Selen, Tellur, Antimon, Blei und Nickel enthalten.

#### 4.2 Verarbeitung und Verwendung

Die erste Verarbeitungsstufe mit Gießereien, (Draht-)Ziehereien sowie den Halbzeug- und Legierungsherstellern bezieht das Kupfer der Primärproduktion vor allem in Form von Kupferformaten oder Drahtbunden. Auf dieser Ebene werden sowohl Zwischenprodukte (z. B. Stangen und Bleche) als auch Endprodukte hergestellt (z. B. Gussartikel und Kabel). Die Abgrenzung zwischen einzelnen Verarbeitungsstufen ist je nach Autor der Statistik verschieden, weshalb sie nur bedingt vergleichbar sind.

Das raffinierte Kupfer wird zu mehr als 40% auf den nächsten Verarbeitungsstufen mit anderen Metallen legiert. Die wichtigsten Legierungen sind Messing (CuZn) und Rotguss (CuSnZn). Kupfersulfat kann zu anderen Salzderivaten (Kupferoxychlorid, Kupfer-(I/II)-Oxyd, Kupferchlorid, Kupfercyanid) umgesetzt werden. Kupferoxdul wird als Schiffsanstrich verwendet, der vor dem Bewuchs von Algen oder Muscheln schützt. Kupferoxychlorid schützt im Wein- und Kaffeeanbau gegen Pilzbefall. Kupfersulfat wird u.a. in der Tiernahrung und als Düngemittel auf kupferarmen Böden eingesetzt, für galvanische Verfahren zur Herstellung von Kupferfolie, zur Verkupferung oder in chemischen Reaktionen wie dem Kunstseideprozess. Kupferpulver wird für Sinter- und Pressverfahren zur Herstellung von Bremsbelägen, Kupplungslamellen und Gleitlagern verwendet sowie als Katalysator für chemische Reaktionen.

Insgesamt beträgt der **berichtete Verbrauch** an Raffinadekupfer nach BAW (2000) **1.178.433 t** für 1999, wovon mit 1.150.784 t der Löwenanteil in die Halbzeugwerke (inklusive Ziehereinen) ging, 14.191 in die Pulverindustrie, 7.234 in die Gießereien und der Rest verteilte sich auf Legierungshersteller (3.608 t), die Eisen- und Stahlindustrie (1.984 t) sowie die chemische Industrie (632 t). Der Verbrauch an raffiniertem Kupfer ist nicht mit der Marktversorgung der 1. Verarbeitungsstufe identisch. Zu den **1.138.000 t berechnetem Verbrauch** an raffiniertem Kupfer kommt der direkte Schrotteinsatz in Höhe von 404.900 t<sup>33</sup>, so dass sich für diese beiden Rohstoffgruppen eine **Marktversorgung der 1. Verarbeitungsstufe** von 1.538.000 t Kupfer für 1999 ergibt (BGR 2000). Der Anteil von Altmaterial an der Marktversorgung der 1. Verarbeitungsstufe (inkl. Hütteneinsatz) liegt bei 54,6 %. Zusammen mit dem Verbrauch an Legierungen in Höhe von 62.640 t, sowie geschätzten 10.000 t Kupfersulfat und 15.000 t Metallpulver ergibt sich ein Kupferinhalt in den Produkten der 1. Verarbeitungsstufe in Höhe von rund **1.630.000 t**. Die Entwicklung der Verwendungsstruktur von Kupfer nach Halbzeugen und Gussprodukten auf Basis der Marktversorgung in Deutschland zeigt folgende Tabelle:

**Tabelle 4-4: Verwendung von Kupfer in Deutschland**

	1989 [1.000 t]	1989 %	1999 [1.000 t]	1989 %
Halbzeug aus Kupfer	782	65	1.062	69
Halbzeug aus Messing	288	24	299	19
Halbzeug aus anderen Kupferlegierungen	53	4	99	6
Rotguss	8	1	36	2
Messingguss	28	2	18	1
Kupferguss <sup>a)</sup>	28	2	14	1
Sonstige	12	1	15	1
Gesamt	1.198	100	1.543	100

Quelle: WVM 2000.

Anmerkung: a) Einschließlich andere Kupferlegierungen.

Das Wachstum zwischen 1989 und 1999 ist vor allem auf die Herstellung von Halbzeugen zurückzuführen. Zu den größten Halbzeugherstellern gehören neben der Norddeutschen Affinerie die Deutsche Gießdraht, KME-Europa Metal und die Wieland-Werke (EIPPCB nfm 1999). Von BAFA (2001) liegen Übersichten über die Marktversorgung der 2. Verarbeitungsstufe mit Kupferhalbzeug (inkl. Legiertes Halbzeug) vor:

<sup>33</sup> Differenz aus Gesamteinsatz sekundärer Vorstoffe (839.900 t) und dem Einsatz von sekundären Vorstoffen in Primär- und Sekundärhütten (435.000 t).

**Tabelle 4-5: Marktversorgung mit Kupferhalbzeug in Deutschland**

	Stangen, Stäbe, Profile [t]		Draht [t]		Bleche, Bänder [t]		Rohre [t]	
	1999	2000 <sup>a)</sup>	1999	2000 <sup>a)</sup>	1999	2000 <sup>a)</sup>	1999	2000 <sup>a)</sup>
Produktion	208.203	228.966	661.481	739.858	466.143	539.442	267.966	280.546
+ Einfuhr <sup>b)</sup>	82.778	90.130	194.181	156.886	72.958	74.673	40.294	43.301
- ausländische Zwisch.prod. <sup>c)</sup>	721	665	105.817	117.906	7.665	11.671	186	264
- Ausfuhr <sup>b)</sup>	113.587	134.330	309.237	305.925	269.021	325.571	129.940	142.904
Versorgung	176.673	184.131	440.608	472.912	262.415	276.873	178.134	180.679

Quelle: BAFA 2001.

Erläuterungen zur Tabelle: a) Vorläufige Jahresergebnisse; b) Quelle: Statistisches Bundesamt; c) In der Produktion eingesetzte Vorwalzbänder, Vordrähte etc. aus dem Ausland.

1999 wurden 1.604.000 t der o. a. Kupferprodukte hergestellt (2000: 1.789.000 t). Insgesamt wurden 1999 1.705.000 t Kupferhalbzeuge produziert (2000: 1.910.178 t). Auf die Produktion sonstiger Kupferhalbzeuge entfielen 1999 somit etwa 101.000 t, auf die Gussproduktion 84.500 t und die Metallpulverproduktion 14.600 t (BAW 2000). Der Anteil des Leitmaterials blieb zwischen 1999 und 2000 bei 680.000 t bzw. 759.000 t mit knapp 40 % konstant. Die Versorgung mit den o.a. Halbzeugen betrug 1999 nur 1.058.000 t (2000: 1.115.000 t). Auffällig sind insbesondere die hohen Exportquoten von Draht und Blechen/Bändern.

Detaillierte Statistiken hinsichtlich des spezifischen Verbrauchs werden vom BAW für Gießereiprodukte erhoben wie die folgende Tabelle zeigt. Allerdings sind diese Werte insofern nur von geringer Relevanz, da die spezifisch zugeordneten Mengen von ca. 82.500 t im Verhältnis zu den oben aufgeführten Kupfermengen sehr gering sind.

**Tabelle 4-6: Produkte aus Gießereien in Deutschland nach Abnehmergruppen**

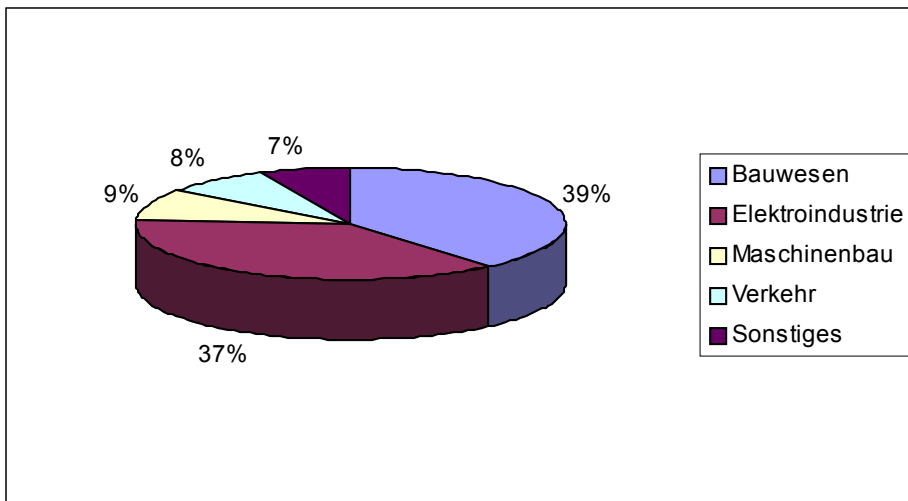
Anwendungsfeld	Menge [t]
Fahrzeugbau (KFZ, Wasser und Schienenfahrzeuge)	3.099
Maschinen/Bergbau	11.069
Werkzeugmaschinen, Werkzeuge, Pumpen	3.214
Feinmechanik, Optik, medizinische Instrumente.	518
Elektrotechnik	637
Bauausstattung	11.287
Nahrungsmittelindustrie, Land- und Forstwirtschaft	178
Haushaltswaren und -geräte/ EE-Geräte Haushalt	164
Waffen & Munition	3.105
Sonstige	39.880
Export	9.383
Summe	82.534

Quelle: BAW 2000 ; Daten für 1999

Über die Produktionsmengen von Kupfersalzen liegen keine Angaben vor, da sie von wenigen Ausnahmen abgesehen mit anderen Metallsalzen zusammen erfasst werden. Auch für die Produkte aus Kupferpulver gibt es keine spezifischen Daten. Kupferpulver und Kupfersulfat, inkl. anderer Salzderivate, dürften allerdings nur einen geringen Anteil am Kupferverbrauch (ca. 1-3 %) haben.

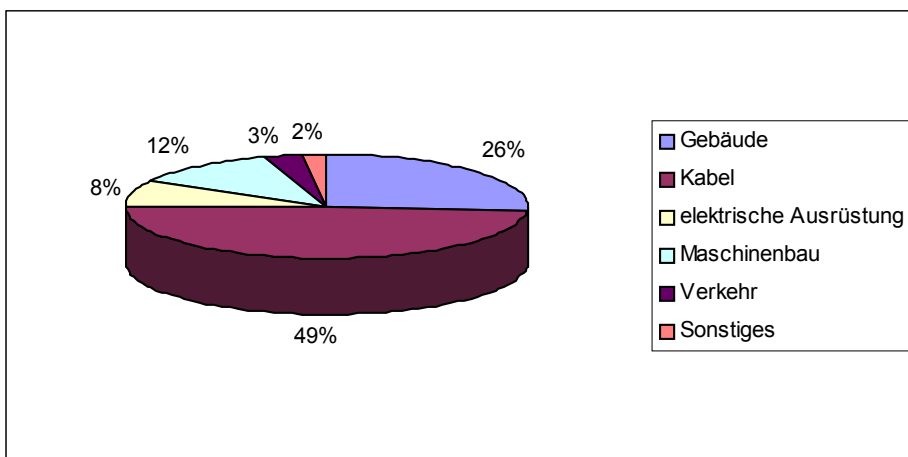
Die **Marktversorgung der 2. Verarbeitungsstufe** berechnet sich bei Annahme einer ausgeglichenen Außenhandelsbilanz nach Gewicht für Kupferpulver und Kupfersalze sowie Gussprodukte zu **1.258.100 Mio. t** Kupfer. Zur Verwendung von Kupfermengen auf der Ebene der 2. Verarbeitungsstufe gibt es globale, europäische und nationale Daten, die jedoch aufgrund ihrer unterschiedlichen statistischen Abgrenzungen nur bedingt vergleichbar sind.

**Abbildung 4-3: Verwendung von Kupfer weltweit**



Quelle: International Wrought Copper Council, London nach WVM 2000; Daten für 1999.

**Abbildung 4-4: Verwendung von Kupfer in Europa**



Quelle: Eurometaux 2000; Daten für 1999.



Für die verschiedenen Anwendungsfelder von Kabeln gibt es für den deutschen Verbrauch keine öffentlich zugänglichen aussagekräftigen Statistiken. Im Gegensatz dazu werden für den japanischen Markt die Anwendungsbereiche klassifiziert. Nach Ayres et al. (2001) sieht die Verteilung in allen Industrieländern ähnlich aus, wobei in Japan allerdings etwa 80 % des Kupferverbrauchs auf Kabel entfallen:

**Tabelle 4-7: Abschätzung der Verwendung von Kupfer für Kabel in Deutschland nach japanischem Maßstab**

Quelle	Anteil	Anteil ohne Export	Menge [t]
Gebäude	37,0%	39,0%	171.969
Stromversorgung	13,2%	13,9%	61.333
Telekommunikation	4,0%	4,2%	18.594
Elektromaschinenbau	25,0%	26,4%	116.188
Kfz	7,5%	7,9%	34.852
anderer Haushaltbedarf (v.a. EE-Güter)	8,3%	8,8%	38.597
Export	5,2%		
Summe	100%	100%	440.608

Quelle: eigene Abschätzung nach Daten aus Metall 1-2 1999.

Detaillierte Statistiken liegen auch für den amerikanischen Gesamtverbrauch an Kupfer vor (Zeltner et al. 1998). Auch wenn die Verhältnisse nicht vollständig übertragbar sind, z.B. die klimabedingte Nachfrage nach Klima- und Kühlanlagen, werden die prozentualen Werte auf die Marktversorgung der 2. Verarbeitungsstufe in Deutschland umgerechnet. Positive Übereinstimmungen mit anderen Statistiken sind z.B. die Verwendung von Kupfer für den Kfz-Bau von 9% (DKI 1997) und die Produktionsmengen für Kabel im japanischen Maßstab.

**Tabelle 4-8: Abschätzung der Verwendung von Kupfer in Deutschland nach US-Maßstab**

Anwendungsfeld	Anteil	Menge (t)
Gebäudeverkabelung	17%	213.900
Sanitär- und Heizanlagen	15%	188.700
Telekommunikation	8%	100.600
Stromversorgung	7,50%	94.400
Klima- u. Kühlanlagen	6,50%	81.800
Produktionsanlagen	6,50%	81.800
Industrielle Armaturen	3%	37.700
Kraftfahrzeuge (DKI = 9%)	10%	125.800
Büroelektronik	5%	63.000
Restliche Güter	21%	270.400
Summe	100%	1.258.100

Quelle: eigene Abschätzung nach Daten aus Zeltner 1998.

Nach Ayres et al. (2001) entfallen in den USA etwa 50 % des Verbrauchs für elektrische Güter auf Elektromotoren, 20-25 % auf die Stromversorgung und jeweils etwa 10-15 % auf Telekommunikation und Consumer goods.

Auf der Grundlage der o.a. geführten Abschätzungen und Plausibilitätsüberlegungen wird für Deutschland folgendes Verwendungsmuster auf der 2. Verarbeitungsstufe angenommen:

- In die Produktion von Kabeln für die Gebäudeverkabelung gehen zwischen 170.000 t und 210.000 t, im Mittel 190.000 t Kupfer.
- Der Anteil vom Kupfereinsatz in Kraftfahrzeugen liegt mit etwa 125.000 t in einer realistischen Größenordnung, wovon etwa 35.000 t für die Verkabelung sind.
- Auf EE-Geräte entfallen zwischen 39.000 und 63.000 t, im Mittel ca. 50.000 t Kupfer.
- Bei einem 10%igen Anteil des Maschinenbaus am gesamten Kupferverbrauch (9-12 %) entfallen ca. 125.000 t auf den Maschinenbau, nach japanischem Maßstab etwa 115.000 t, im Mittel also 120.000 t.
- Die verbleibenden 80.000 t teilen sich auf die Stromversorgung und die Telekommunikation auf. Die japanischen Verhältnisse in Höhe von 60.000 t bzw. 20.000 t scheinen realistischer als die annähernde US-amerikanische Gleichverteilung, was auch durch die neueren Zahlenverhältnisse von ca. 2/1 (Ayres et al. 2001) in den USA gestützt wird.
- Die Wirtschaftsvereinigung Metalle gibt die im Bauwesen für Dachflächen, Dachentwässerungen und in Fassaden 2000 eingesetzte Menge an Kupfer mit 40.000 t (ohne Renovierung) an.
- 190.000 t Kupfer nach US-Maßstab für Heizungs- und Sanitäreinrichtungen übersteigen die Marktversorgung der 2. Verarbeitungsstufe mit ca. 180.000 t Rohren, wobei industrielle Anwendungen, Gasrohre und Rohre für die Klimatechnik auch nicht berücksichtigt sind.
- Es ist zu vermuten, dass die großen restlichen Mengen an Stangen, Stäben, Profilen, Blechen und Bändern sowie Gussprodukte vor allem in den Klima- und Kühlanlagenbau und in den sonstigen Anlagenbau (Fabriken, Behälter, etc.) gehen.
- Im europäischen Maßstab gehen 26 % des Kupfers in das Bauwesen (ohne Verkabelung), was für Deutschland 325.000 t bedeuten würde.
- Nach Lindner und Lindeström in Ayres et al. 2001 werden in Schweden weniger 0,5-1 % des Kupfers für Chemikalien verbraucht. Der Kupfereinsatz für Chemikalien liegt nach schwedischem Maßstab in der Größenordnung von 10.000 t.

Über das interne Recycling und die Umweltbelastungen auf der 1. und 2. Verarbeitungsstufe liegen nur wenige aufbereitete Informationen vor. Die Verwendung von Kupfer bei den Halbzeugproduzenten ist als weitgehend unproblematisch einzuschätzen, da Neuschrotte entweder im internen Betriebskreislauf geführt werden oder zusammen mit den Produktionsabfällen z. B. der Gießwalzverfahren oder der Legierungsschmelzen in die Verfahren der Primär- oder Sekundärproduktion eingespeist werden. Umweltproblematisch sind jedoch die galvanischen und ätzenden sowie die Gießverfahren. Die ersten beiden, werden zur Herstellung von dünnen Oberflächenschichten von Kupfer verwendet. So wurde zum Beispiel für die Herstellung von Leiterplatten 1994 in Deutschland etwa 5000 t Kupfer als Vorprodukt eingesetzt. Auf den Leiterplatten verbleiben davon ca. 1850 t Kupfer, 63 % fallen als Ätzlösungen und Zuschnitte an (Achterbosch 1995). Die Produktion von Folien oder dünnen Bändern aus Kupfer oder Legierungen mit einer Dicke geringer als 0,15 mm (ohne Unterlage) betrug 1997 insgesamt 14.625 t. Von Bedeutung sind weiterhin die Probleme der Gießereien mit dem hohem Aufkommen von Gießereisanden, Schlacken, Aschen und anderen Abfällen. Recycling von Produktionsabfällen ist auf der zweiten Verarbeitungsstufe für die meisten Prozesse leicht möglich, da hochwertiges Raffinadekupfer oder definierte Legierungen verwendet werden. Bearbeitungsreste wie Späne, Abschnitte, Stanzreste oder ähnliches gehen sowohl zu den Halbzeugherstellern als auch zu den

Sekundärhütten zurück. Nach Schätzungen des DKI entstehen auf dieser Stufe die größten Recyclingmengen von Kupfer in Form von Neuschrotten (etwa 2/3 des Gesamtaufkommens).

### 4.3 Nutzungsphase und Bestand

Endnutzer von Produkten aus Kupfer oder Produkten mit Kupferteilen sind sowohl die Akteure der Vorstufen als auch Bergbau, Industrie, Energie-, Wasser- und Telekommunikationsdienstleister, öffentliche Verwaltung, Bundeswehr, Gewerbe, Landwirtschaft und Haushalte.

Die Kupferemissionen in der Nutzungsphase von Kraftfahrzeugen und EE-Geräten sind als vernachlässigbar einzustufen. Eine Umwelt- und Gesundheitsbelastung durch die Nutzung von Kupfer entsteht jedoch durch die Korrosion von Halbzeugen und kupferhaltigen Anstrichen einerseits und offene Kupferanwendungen andererseits. So überschreitet die Kupferkonzentration in Gewässern an 63% der Messstellen die Zielvorgaben der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (UBA 2001b). Die breite Verwendung von Kupferrohren in der Trinkwasserinstallation hat zu einem bedeutenden Anteil dieser Nutzung an den Kupfereinträgen in Gewässer geführt. Zudem führt die Gebäudedeckung durch Kupferdächer und -fassaden sowie die Verwendung in Regenrinnen und Fallrohren zu einem merklichen Eintrag von Kupfer im Dachablauf. Ebenso führt die Verwendung von Kupferoxiden als Antifouling-Anstrich im maritimen Bereich (v.a. Schiffe) zu einem Eintrag von Kupfer in die Umwelt. Insbesondere in Häfen sind merkliche Kupferbelastungen entstanden.

Umweltbelastend ist zudem die Verwendung von Kupfersalzen zur Schädlingsbekämpfung (Antimykotikum) und - sofern überdosiert - als Düngemittel für kupferarme Böden. Es liegen keine Produktions- und Verwendungszahlen über die in Deutschland in der Landwirtschaft und für den Schiffsanstrich verwendeten Kupfersalzmengen vor, sie dürften jedoch unter 10.000 t liegen. Ebenso führt die Verwendung von Kupfersulfatlösung als Desinfektionsmittel in der Nutztierhaltung zu einem Eintrag von Kupfer in die Gülle und somit in den Boden. Insgesamt werden jährlich 3.500 t Kupfer in landwirtschaftliche Böden eingetragen, wovon 7 % auf Desinfektionsmittel entfallen (Kaiser 1998).

Die Quantifizierung der bestehenden Stofflager ist aufgrund des vorliegenden Datenmaterials nur schätzungsweise für einzelne Segmente möglich, da für die meisten Produkte keine durchschnittlichen Stoffzusammensetzungen bekannt sind. Zeltner (1998) schätzt das Bestandslager in der Technosphäre für die USA auf 70 Mio. t Kupfer. Diese Menge entspricht ca. 20% der gegenwärtig bekannten Weltreserven.

Einige typische Rücklaufzeiten sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

**Tabelle 4-9: Typische Rücklaufzeiten von kupferhaltigen Produkten**

Anwendungsbereich	Jahre
Kraftfahrzeuge	10-12
Kleine Elektromotoren	10-12
Haushaltsgroßgeräte (Waschmaschine, Kühlschrank)	10-15
Haushaltskleingeräte (Toaster, Kaffeemaschine)	3-5
Braune Ware (TV, Radio, Video)	8-10
Graue Ware (PC, Drucker)	3-5
Kabel	30-40
Gebäude (Halbzeug)	60-80

Quelle: DKI 1999; IZT et al. 2000.

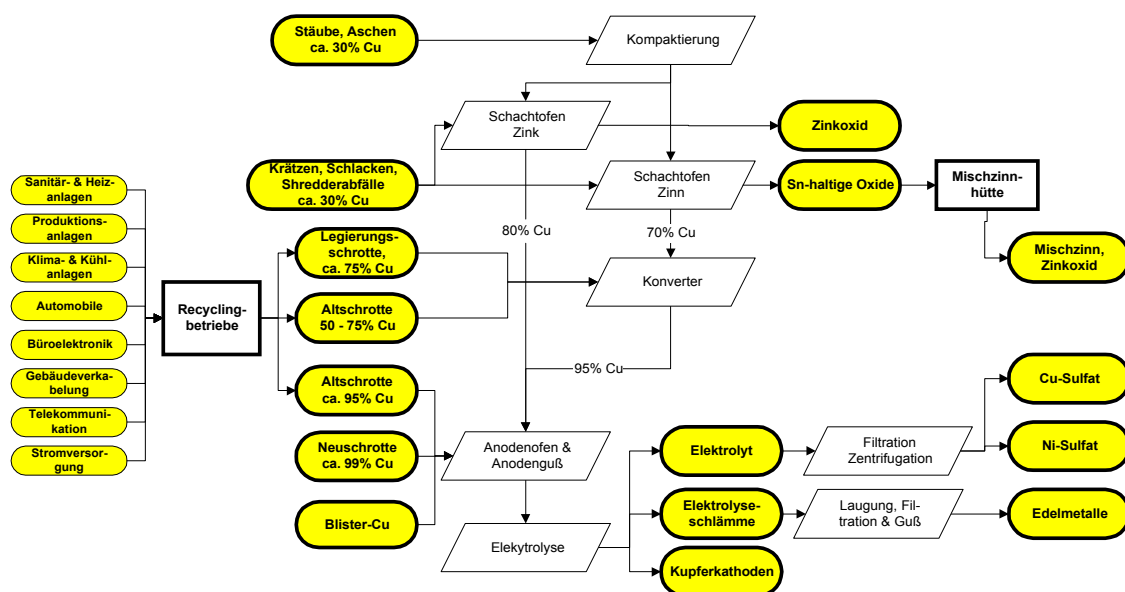
Obige Tabelle verdeutlicht zusammen mit Abbildung 4-1, dass Kupfer im Gegensatz zu Blei vorwiegend in langlebigen Produkten verwendet wird. Ausnahmen sind vor allem Haushaltskleingeräte und IKT. Der heutige Rückfluss aus Gebäuden und Kabeln ist durch lange zurückliegende Verwendungsmuster charakterisiert. Die Rückführung dieser Mengen zum Recycling oder zur Beseitigung erfolgt mit starkem zeitlichen Verzug durch Abbruchunternehmen. Erhebliche Bestandslager sind auch in aufgegebenen Kabeltrassen zu vermuten. Vergleichsweise unproblematisch ist die Rückführung großer kompakter Kupfermengen, wie sie z.B. bei der Ausmusterung von Elektromaschinen anfallen. Bei zahlreichen kleineren Kupferanwendungen gibt es Defizite in der Rückführung, so z.B. bei Kabeln aus Altautos, Armaturen und mülltonnengängigen EE-Geräten.

#### 4.4 Recycling und Entsorgung

Das Recycling von Kupfer ist ein essentieller Bestandteil für die Kupferproduktion weltweit. Mit den Hüttenwerken Kayser – welche erst vor kurzem von der Norddeutschen Affinerie übernommen worden ist – sitzt der weltgrößte Kupferrecycler in Deutschland. Die Gesamtproduktion der Unternehmen betrug im Geschäftsjahr 1999/2000 ca. 530.000 t bezogen auf 9 Monate.

Sekundärmaterial wird in Deutschland auf allen Stufen von der Hütte bis zu den Halbzeugherstellern verwendet. Beim Kupferrecycling und der Entsorgung werden aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung und Schrottqualitäten verschiedene Wege gegangen. Hierzu müssen zum einen Produktionsabfälle (Filterstäube, Schlacken, Krätzen, Elektrolyseschlämme sowie Reaktionsabfälle), Neu- (Stanz, Span- und Schneidabfälle) und Altschrotte unterschieden werden. Weiterhin muss zwischen Kupfer für Leitzwecke, Messing und andere Legierungen unterschieden werden. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über den Einsatz verschiedener Schrotte und Abfälle sowie der hieraus hergestellten Produkte in dem Recyclingprozess (DKI).

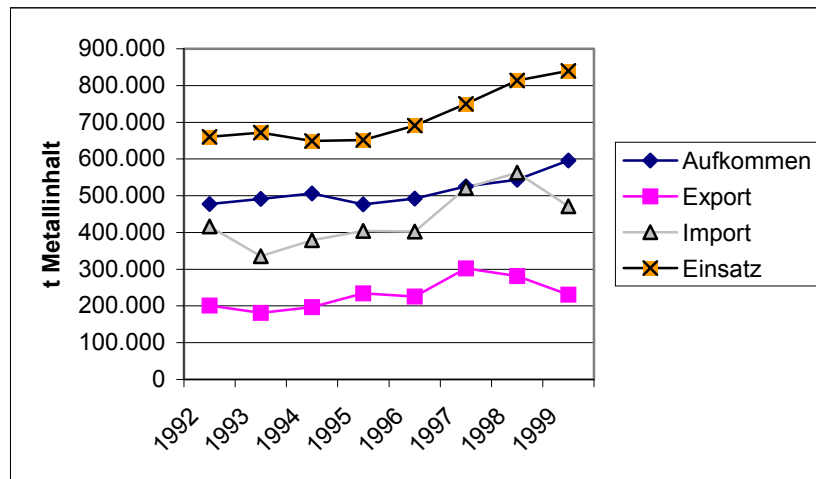
Abbildung 4-5: Flussschema des Kupferrecyclings



Quelle: DKI 1995.

Sowohl die Kupferhütten als auch die Kupferraffinerien haben großen Bedarf an Sekundärmaterial, der jedoch nicht ausreichend gedeckt werden kann.

**Abbildung 4-6: Aufkommen, Außenhandel und Einsatz von Kupferschrott in Deutschland**



Quelle: BAW 2000.

Der **Schrotteinsatz** auf allen Verarbeitungsstufen betrug 1999 mehr als **840.000 t** und stieg somit von 1992 um 27 %. Sowohl die Raffinadeproduktion als auch Legierungen werden in Deutschland zu mehr als 50% aus Sekundärmaterialien hergestellt. Unter Berücksichtigung des Importes von 471.000 t und des Exportes von ca. 231.000 t betrug das nationale **Schrottaufkommen 596.000 t** in 1999. Der nationale Kupferschrottanfall besteht zu ca. 2/3 aus Neuschrott (ca. 400.000 t) und zu nur ca. 1/3 aus Altschrott (ca. 200.000 t). Bezieht man den Schrotteinsatz auf die Halbzeugproduktion, so wird fast jedes zweite Kilogramm Kupfer aus Schrott hergestellt. Hierbei ist allerdings zu bedenken, dass Deutschland ein Importeur von Schrott aller Arten ist. Aufgrund verschiedener Angaben über Schrottim- und -exporte sowie der unterschiedlichen Berücksichtigung der Kupferinhalte von Schlacken und Rückständen ergeben sich in der Literatur unterschiedliche Werte für das Schrottaufkommen. Dieses ist definiert als Summe von Schrotteinsatz + Import - Export + Bestandsdifferenz. Bezogen auf den nationalen Kupferverbrauch von 1999 in Höhe von 1.138.000 t und einem nationalen Schrottaufkommen von 596.000 t ergibt sich eine Recyclingquote von fast 53%.

Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass nach dem Deutschen Kupferinstitut dieser Wert vor allem durch die Neuschrotte - und hierbei vor allem die Kabelabschnitte - und die Produktionsabfälle der Primärproduktion (Hütte und Elektrolyse) erreicht wird, weshalb der Anteil des echten Alt- oder Recyclingmaterials ungewiss ist. So verarbeitet die Norddeutsche Affinerie pro Jahr über 150.000 t Sekundärmaterial, wovon je die Hälfte Kupferschrott und externe Kupferzwischenprodukte sind (von Gleich et. al. 2001).

Da für die Berechnung von Recyclingquoten keine einheitlichen Standards vorliegen und Kupferschrotte unterschiedlicher Qualitäten auf allen Verarbeitungsstufen eingesetzt werden, werden in der folgenden Tabelle einige mögliche Recyclingquoten wiedergegeben:

**Tabelle 4-10: Recyclingquoten für Kupfer in Deutschland**

Bezugsgröße	Bezugsmenge	Basis gesamter Schrotteinsatz	Basis nationales Schrottaufkommen
	t in 1999	840.000 t	596.000 t
Kupferproduktion <sup>a)</sup>	751.000	111,9 %	79,4 %
Halbzeugproduktion	1.705.500	49,3 %	34,9 %
Kupferverbrauch	1.138.000	74,1 %	52,6 %

Quelle: Eigene Berechnung aus Daten von BAW 2000 und BAFA 2001; Daten für 1999.  
Anmerkung: a) Inkl. Legierungen in Höhe von 56.000 t.

Wird der gesamte Schrotteinsatz auf den Kupferverbrauch bezogen, so werden ca. 75% des Kupferverbrauchs aus Sekundärmaterialien hergestellt. Nimmt man das nationale Schrottaufkommen, so wird jedes zweite verbrauchte Kilogramm Kupfer aus dem nationalen Schrottaufkommen hergestellt. Allerdings sind auch Neuschrotte - und hierbei v.a. die Kabelabschnitte - und die Produktionsabfälle der Primärproduktion (Hütte und Elektrolyse) dem Sekundärmaterial zugerechnet, weshalb der Anteil des Alt- oder Recyclingmaterials ungewiss ist. Bei Altschrotten unbekannter Legierungszusammensetzung dürfte sich das Recycling zu Produkten definierter Qualität schwierig gestalten.

Die Produktion von Kupfer aus Sekundärmaterialien ist mit deutlichen Effekten hinsichtlich der Vermeidung von Umweltbelastungen und problematischen Stoffen verbunden. Gemäß der Forschungsstelle für Energiewirtschaft (1999) ergibt sich folgender Material- und Energieverbrauch für Primär- und Sekundärkupfer:

**Tabelle 4-11: Material- und Energiebedarf für die Primär- und Sekundärproduktion von Kupfer**

	Einheit	Primärverfahren	Sekundärverfahren
<b>Herstellung Kupferkonzentrat</b>			
Energie	MJ/t	14-15.000	0
Bergematerial	t/t	37-38	0
<b>Herstellung Kupfer</b>			
Energie	MJ/t	41-46.000	30-32.000
Ausbeute	%	97	k. A.
Schwefelsäure	t/t	1,8	0
Schlacke	t/t	1,1	0,53
Sonstige Reste	kg/t	33	90

Quelle: Forschungsstelle für Energiewirtschaft 1999; Ayres et al. 2001.

Das Recycling von Produkten und kupferhaltigem Abfall ist mit verschiedenen Problemen behaftet, die durch die verschiedenen Verwendungsweisen bedingt sind. Generell gilt, dass das Recycling um so einfacher ist, je größer der Kupferanteil in den Produkten oder dem Abfall ist und je geringer problematische Beimengungen sind. In der folgenden Tabelle sind einige wesentliche Probleme für verschiedene Anwendungsfelder zusammengestellt:

**Tabelle 4-12: Kupferverwendungen und Recyclingprobleme**

Sektor / Art	Verwendung	Recyclingproblem
Kabel	Elektro-Elektronikgüter	Trennung von Umhüllung und Kupferleitung, Restanteil von Kupfer am PVC fördert die Dioxinbildung bei der Verbrennung
Hochbau / Kabel	Strom- u. TK-Kabel	Separierung aus dem Bauschutt, manuelle Demontage vor Abriss kostenaufwendig
EE-Geräte / Kabel	Stromkabel u. Cu-Drähte	Beimengungen von Loten (u. a. Blei), geringe Kupfermengen bei der Verwendung als Anschlussstücke von Bauelementen Verschleppung in das Stahlrecycling
Kfz / Kabel	Armaturenbestückung	sehr hoher Kunststoffanteil mit nur geringen Mengen an Kupfer, Flammschutzmittel erschweren thermolytische Aufarbeitung Verschleppung in das Stahlrecycling
EE-Geräte / Folien	Platinen und Leiterplatten	hoher Beimengungsanteil von Kunststoffen und Flammschutzmitteln, metallischen (Blei, Zinn) und nichtmetallischen Elementen (aus Leiterplatte, EE-Bauelemente) erschwert thermische Aufarbeitung
Hochbau / Rohre	Wasser- u. Heizungsrohre	Vermengung von Rotguss von Kupferrohren
Gebäude / Messing	Armaturen, Beschläge	schwierige Unterscheidung der Zuordnung der Legierungssorte
z. B. Kfz / Messing	Rohrleitungen	Zuordnung der Legierungssorte

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

#### 4.5 Stoffstrombezogene Defizite

Grundsätzlich geht Kupfer für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung verloren durch Emission in Wasser, Boden und Luft, Eintrag in Abfallströme sowie eine Verschleppung in andere Stoffkreisläufe.

Gasförmige Kupferemissionen aus stationären Anlagen werden für 1995 in Deutschland auf ca. **80 t** geschätzt (UBA-Texte 26/1998).<sup>34</sup> Weitere Kleinquellen sind Haushalte und kleine und mittlere Unternehmen. Die Daten aus „Emissionsinventar Wasser für die Bundesrepublik Deutschland“ (FHG-ISI et al. 2000) geben für den Bezugszeitraum 1993-1997 die diffusen und kommunalen Einträge in die Flussgebiete Donau, Rhein, Ems, Elbe, Weser, Oder, Nordsee und Ostsee mit ca. **760 t** an. Der diffuse Eintrag dominiert dabei mit ca. 80% erheblich und erfolgt u.a. durch Korrosion von Halbzeugen, die im Kontakt mit Wasser stehen. Nicht erfasst sind bei dieser Betrachtung die Einträge von Antifouling-Farben im maritimen Bereich. Nach Kaiser (1998) werden jährlich etwa **3.500 t** Kupfer in den Boden eingetragen, wovon 7 %, also etwa **250 t**, auf Desinfektionsmittel entfallen. Etwa **250 t** Kupfer werden jährlich mit dem Klärschlamm auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzten Boden aufgebracht (UBA 2001b).<sup>35</sup> Dazu kommen noch die Einträge über die trockene und nasse Deposition. An den 31 Messstellen des Umweltbundesamtes wurden Depositionsraten für die nasse Deposition von Kupfer in

<sup>34</sup> Auf Feuerungsanlagen für fossile Brennstoffe entfallen ca. 23 %, die Eisen- und Stahlindustrie ca. 20 % (davon alleine ca. 17 % auf Elektrostahlöfen), auf Schachttöfen 17 % und auf die Bleiproduktion und Sinteranlagen je etwa 12 %.

<sup>35</sup> 40,8 % des Klärschlammufkommens in Höhe von 2,2 Mio. t TM, also 910.000 t mit einem mittleren Kupfergehalt in Höhe von 274 mg Cu/kg.

Höhe von 6,7-20,5 g/ha\*a ermittelt, woraus sich ein Kupferstrom in Höhe von ca. **400-450 t/a** errechnet.<sup>36</sup> Beträchtliche Mengen an Kupfer werden in Abfallströme eingetragen, wobei zwischen Siedlungsabfällen (Hausmüll, Sperrmüll, Bio- und Grünabfälle), produktionsspezifischen Abfällen (Bergbau, Hütten, Verarbeitung) und produktspezifischen Abfallströmen wie Bauschutt, Schredderleichtfraktion und EE-Geräte unterschieden werden kann. Jährlich werden schätzungsweise **17.000 t** Kupfer in Siedlungsabfälle eingetragen,<sup>37</sup> wobei zu den Quellen vor allem mülltonnengängige EE-Geräte und andere Kleinanwendungen wie Büroklammern und Kugelschreiberfedern gehören.

Über produktionsspezifische Abfälle gibt es keine systematischen Erhebungen des Kupfereintrages.<sup>38</sup> Die Umweltbelastungen aus dem Bergbau von Blei und Kupfer sind extraterritorial gelagert, da in Deutschland kein Abbau dieser Metalle mehr erfolgt, bei der Verarbeitung von metallischem Kupfer dürfte ein Großteil recycled werden. Ayres et al. (2001) geben die Kupferausbeute einer chilenischen Kupferhütte mit 97 % an. Analoge Verhältnisse bei Sekundärrohstoffen vorausgesetzt berechnet sich der Kupferverlust im Verhüttungsprozess zu **21.500 t**, der größtenteils in die Schlacke eingetragen werden dürfte. Für den Kupfereintrag in die Abfallströme Altfahrzeuge, EE-Altgeräte und Bauschutt gibt es keine Primärstatistiken. Einfache Abschätzungen aus der Verwendungsstruktur lassen jedoch auf hohe quantitative Relevanz dissipativer Verwendungen schließen.

**Tabelle 4-13: Grobschätzung des Eintrags von Kupfer in Altproduktströme in Deutschland**

	<b>Mengenstrom</b>	<b>Quelle</b>	<b>Kupferstrom</b>
Alt-Kfz	Ca. 3,5 Mio. Löschungen 1999	Abschätzung nach KBA 2001	~ 88.000 t
EE-Altgeräte	Ca. 1,8 Mio. t/a	Abschätzung nach Bvse 1998	80.000 – 130.000 t
Bauschutt	Ca. 30-40 Mio. t/a	IZT et al. 2000	> 300.000 t (Input)

Quelle: Eigene Darstellung.

Unzureichende Trennprozesse im Shredder, beim EE-Gerätrecycling und beim Gebäudeabbruch (insbesondere von Kabeln) führen zu erheblichen Kupferverlusten. Über den Eintrag in die Abfallströme ist auch die Verschleppung in andere Stoffkreisläufe als stoffstrombezogenes Defizit zu bezeichnen. Das Kupfer erfüllt dann keine oder nur eine untergeordnete technische Funktion und kann häufig nur unter bestimmten Randbedingungen wiedergewonnen werden. Kupfer wird infolge unzureichender Trennung im Schredder in die Stahlfraktion und die Schredderleichtfraktion eingetragen. Abzüglich des Exports von Altfahrzeugen verbleiben etwa 45.000 t Kupfer in Altautos. Davon wird ca. 1/3 demontiert, so dass jährlich etwa 30.000 t Kupfer verloren gehen. Bei einem Kupfergehalt in der Shredderleichtfraktion in Höhe von etwa

<sup>36</sup> Mit ca. 36 Mio. Hektar Fläche in Deutschland und einer geschätzten mittleren nassen Deposition von 12 g Cu/ha\*a aus UBA (2001b).

<sup>37</sup> Aus dem Restabfallaufkommen aus Haushalten, Industrie und Gewerbe nach Prognos AG (2000) für 1998 in Höhe von 30,25 Mio. t und den mittleren Konzentrationen im Restabfall in Höhe von 560 mg/kg FS (Mittelwert nach Angaben von BZL, DPU 2000) ergeben sich die Stoffflüsse von Kupfer zu etwa 17.000 t Kupfer/a, allerdings bei hoher Bandbreite.

<sup>38</sup> Die Studie ERM Lahmeyer International und ABAG-itm: „Aufkommen und Entsorgung produktionsspezifischer Abfälle“ (1999) hat für 10 ausgewählte Sonderabfallarten die Anfallstrukturen untersucht, darunter auch Stahlwerksstäube, Galvanikschlämme und Lackschlämme.



2 Gew.-% errechnet sich der Kupferstrom in Deutschland zu etwa **9.200 t** jährlich.<sup>39</sup> In die Stahlfraktion gehen somit etwa **20.000 t Cu/a**. Das Kupfer hat sich im Laufe der Jahre durch das Stahlrecycling im Stahl akkumuliert. Über die Kupferströme im Bauschutt liegen keine gesicherten Angaben vor.

Für Kupfer existiert ein wirtschaftlich funktionsfähiger Sekundärrohstoffmarkt, der Kupferabfälle in allen Formen absorbiert. Es bestehen allerdings viele Produktnutzungsmuster, bei denen die Rückführung sich äußerst schwierig gestaltet, da die Kupferprodukte dissipativ in größten Mengen anderer Materialien wie z.B. beim Hausbau eingeschlossen werden und für die derzeit keine rentablen Recyclingtechnologien existieren. Zusammenfassend weist der Stoffstrom von Kupfer folgende Hauptcharakteristika auf:

- Die Umweltbelastungen des Bergbaus sind extraterritorial gelagert, wobei sinkende Kupfergehalte steigende Abraummengen und Energiebedarf vermuten lassen.
- Prozessspezifische Emissionen in Wasser, Boden und Luft spielen gegenüber dem Eintrag in Schlacken bei der Verhüttung und in Raffinationsschlämme eine untergeordnete Rolle. Die Primär- und Sekundärhütten sind in den letzten Jahren modernisiert und bezüglich ihrer Kupferausbeute optimiert worden, so dass nur geringe Einsparpotenziale zu erwarten sind.
- Neuschrotte fallen in großem Umfang an. Ihr Recycling wird durch Marktkräfte unterstützt. Auch kompakte gewerbliche Anwendungen wie z.B. Klima- und Kühlanlagen, in Produktionsanlagen und industrielle Armaturen dürften nach ihrer Nutzungsphase in hohem Umfang recycled werden.
- Von besonderer Mengenrelevanz für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung sind die dissipativen Kupferverwendungen in EE-Geräten, in Kraftfahrzeugen und in Kleinanwendungen im Haushalt. Ihre Rückführung in den Kupferkreislauf gestaltet sich als problematisch.
- Unklar ist trotz hoher Recycelbarkeit die Bedeutung der Bindung von Kupferhalbzeugen in langlebigen Anwendungen wie Gebäuden für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung. Die Demontage und Wiedergewinnung von Kupferkabeln aus Gebäuden ist unsicher, ein Großteil wird vermutlich mit dem Bauschutt deponiert. Die Wiedergewinnung von stückigen Dächern und Rohren dagegen erfolgt in hohem Ausmaß. Die großen absoluten Mengen führen jedoch selbst bei hohen Erfassungsraten zu beträchtlichen Kupferverlusten.
- In fernöstlichen Staaten steigt die Nachfrage nach Kupferschrotten, die deshalb teilweise dem nationalen Markt entzogen werden. Auch durch hohe Umweltauflagen beim Recycling gehen Altprodukte wie z.B. Kraftfahrzeuge und Altkabel mit ihrem Kupfergehalt in den Export. Durch den Export von Altautos werden große Mengen an Kupfer exportiert, die jedoch über den internationalen Schrotthandel teilweise wieder importiert werden können. Grundsätzlich begünstigen unterschiedliche nationale Umweltauflagen, Lohnkosten und andere Preisimpulse den Export von Altprodukten. Diesem exportbedingten Entzug aus der nationalen Bestandsbewirtschaftung sind jedoch wahrscheinliche Weiternutzungen von Altprodukten und deren Teilen in den Empfängerländern entgegenzuhalten.
- Beträchtliche Kupfermengen können in aufgegebenen Kabeltrassen (z.B. in aufgegebenen Industriebrachen) gebunden sein. Ihre Bergung lohnt nur, wenn das Erdreich ohnehin aufgerissen wird.

Lebenszyklus übergreifend bestehen Informationsdefizite vor allem über die Bestandslager (aufgegebene Kabeltrassen, Kupfer im Gebäudebestand), die Strukturen des Abfallaufkommens (Bau, Siedlungsabfälle) und die Entsorgungswege (EE-Geräte, Altkabel). Generell sind die Erlöse für Kupfer im Vergleich zu Blei deutlich größer, weshalb höhere Anreize für eine Rückgewinnung bestehen.

---

<sup>39</sup> Vgl. Abschätzung in Kap. 6.1.

## 5 Akteure, Rahmenbedingungen und Instrumente der Stoffpolitik

**Ziel** des Kapitels ist es, einerseits erfolgversprechende **instrumentelle Stränge** für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei herauszuarbeiten und andererseits konkrete Instrumente der Grobsteuerung sowie prinzipiell erfolgversprechende Instrumente für die Feinsteuerung zu identifizieren. Als Instrumente der Grobsteuerung werden hier Ansätze verstanden, mit deren Hilfe der Verbrauch der betrachteten Ressourcen und die in diesem Zusammenhang ausgelösten Belastungen von Mensch und Umwelt im Sinne der Nachhaltigkeitsziele insgesamt beeinflusst werden können, ohne jedoch direkt und punktgenau auf die Beschaffenheit von Produkten oder auf einzelne Phasen der betreffenden Stoffströme einzuwirken. Demgegenüber zeichnen sich die Instrumente der Feinsteuerung dadurch aus, dass sie auf ganz bestimmte Veränderungen der Beschaffenheit, des Einsatzes und des Umgangs mit den betreffenden Stoffen selbst bzw. den jeweils relevanten Produktarten zielen.

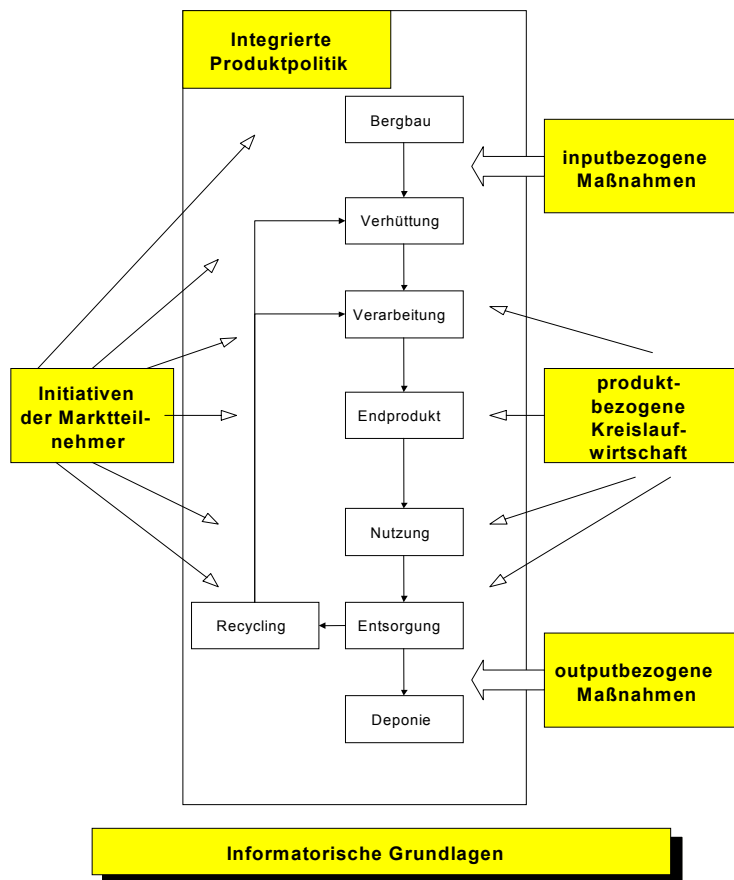
Die Instrumente für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung knapper nicht erneuerbarer Ressourcen umfassen das gesamte **Spektrum** an ordnungsrechtlichen (z.B. Verwendungs- und Entsorgungsanforderungen), ökonomischen (z.B. Steuern, Lizenzen, Pfand) und informatorischen (z.B. Produktkennzeichnung, Forschung und Entwicklung) Instrumenten sowie freiwillige Initiativen (z.B. Firmenpolitik, Selbstverpflichtungen). Neben den staatlichen Stellen sind die Marktteilnehmer und Forschungseinrichtungen wichtige Akteure der Stoffpolitik. In der Forschung zur Wirksamkeit umwelt- und ressourcenpolitischer Instrumente werden zwei unterschiedliche Methoden verfolgt. Auf der einen Seite werden die Bedingungen erfolgreicher Umweltpolitik historisch rekonstruiert (bottom-up), auf der anderen Seite wird die Wirkung umweltpolitischer Instrumente zur Umsetzung von Strategien anhand bestimmter Kriterien (top-down) untersucht.

Eine Untersuchung der Forschungsstelle für Umweltpolitik (FFU 1997) zeigte anhand der Entwicklung von Produktions- und Verbrauchsdaten von 182 umweltgefährdenden Industriechemikalien eine "überraschend geringe Bedeutung direkter Staatsinterventionen bei der Rückentwicklung [...]. Informationelle Instrumente wie die öffentliche Diskussion von Umwelt- und Gesundheitsgefahren, scheinen dagegen von großer Bedeutung." Der Ziel- und Willensbildungsprozess selbst bewirkt einen Einfluss auf den Rückgang. Die Analyse ergab **verschiedene Phasen**, die sich in der Praxis jedoch überlappen: Die öffentliche Diskussion von Umweltgefährdungen und Umweltzielen bringt Innovateure hervor, die Alternativen zur gängigen Praxis entwickeln. Mit Hilfe flankierender Maßnahmen fördert der Staat die Diffusion dieser Praxis. Das staatliche Verbot gefährlicher Substanzen hat häufig nur nachträglich verbotenden Charakter. Auch wenn die Diskurse über Toxizitätseigenschaften sicherlich anders verlaufen als über Ressourcenpolitik, so sind die Ziel- und Willensbildungsprozesse und die Phasenperspektive auch für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung wichtige Erfolgsfaktoren.

Die klassische Forschungslinie untersucht die **Wirkung umwelt- und ressourcenpolitischer Instrumente** mit Hilfe von Modellen. Aus der Vielzahl von Kriterien zur Beurteilung umweltpolitischer Instrumente sind insbesondere die vier Bewertungskriterien ökologische Treffsicherheit, Effizienz, dynamische Anreizwirkung und Transaktionskosten hervorzuheben (Wicke 1991; Endres, Querner 1993; Rutkowski 1998; Brandt et. al. 2000). Die ökologische Treffsicherheit meint das exakte Erreichen eines umweltpolitischen Ziels. Im Sinne einer optimalen volkswirtschaftlichen Allokation sollen diese Ziele effizient erreicht werden. Über das ökologische Ziel und die ökonomische Effizienz hinaus, wird die dynamische Anreizwirkung beurteilt,

d.h. inwieweit damit weitere Innovationen zur Umweltentlastung induziert werden. Die Transaktionskosten schließlich beschreiben den Verwaltungs- und Koordinierungsaufwand für die Umsetzung des Instrumentes, z.B. die Steuererhebung. Im Zusammenhang mit einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung von knappen nicht-erneuerbaren Ressourcen sind die Problematik externer Kosten und Methoden zur Unterstützung optimaler intertemporaler Erntepfade bedeutend. Neben Initiativen der Marktbeteiligten sind insbesondere die Instrumente der institutionellen Stoffpolitik zu untersuchen. Folgende instrumentelle Stränge können unterschieden werden:

**Abbildung 5-1: Instrumentelle Stränge einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung**



Quelle: Eigene Darstellung.

Teilweise kommt es zu Überlappungen, wenn z.B. die Marktteilnehmer Initiativen zur Inputsteuerung ergreifen. Die idealtypische Einteilung ist für die Beurteilung mittelbar oder unmittelbar auf eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung wirkender Instrumente jedoch ausreichend und zweckmäßig. Setzen die Initiativen der Marktteilnehmer und die produktbezogene Kreislaufwirtschaft als Instrumente der Feinsteuerung punktgenau an, so gehören die integrierte Produktpolitik sowie input- und outputbezogene Maßnahmen zu den Instrumenten der Grobsteuerung. Inputbezogene Maßnahmen regulieren die Verwendung von Primärressourcen entweder beim Bergbau oder beim Einsatz in der Produktion, wohingegen outputbezogene Maßnahmen entweder Abfälle am Orte des Entstehens oder bei der Ablagerung adressieren. Die informati-

schen Grundlagen stellen übergreifend eine Voraussetzung für die Wirksamkeit und Erfolgskontrolle anderer Instrumente dar.

## 5.1 Initiativen der Marktbeteiligten

Die Aufgabe der nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung liegt vom marktwirtschaftlichen Ansatz her an sich in erster Linie bei den Marktbeteiligten selbst. Die zentralen Entscheidungen über die Verwendung von Stoffen in Produktion und Produkten sowie über den Umgang mit ihnen in Konsum und Entsorgung werden durch die verschiedenen Marktbeteiligten getroffen. Der Staat muss nur dann regulierend eingreifen, wenn die Marktbeteiligten von sich aus nicht die gewünschten Entscheidungen treffen und wo es ihm aus politischer Sicht geboten erscheint.

Soweit die Regeln des Marktes eine Umsetzung der Ziele einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung nicht gewährleisten, stehen den Marktbeteiligten einige Möglichkeiten zur Verfügung, um selbst die Entwicklung zu beeinflussen. Grundsätzlich steht bei den beobachteten Initiativen allerdings in den seltensten Fällen die nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei im Vordergrund des Interesses. Ausnahmen sind Einzelinitiativen von Hersteller- und von Verbraucherseite, die bei ihren Konsumentenscheidungen z.B. bleifreie Produkte mit dem Umweltzeichen Blauer Engel oder Produkte aus Sekundärrohstoffen bevorzugen. Branchenbezogene Akteurskooperationen und die privatrechtliche Normung haben, wenn auch mittelbar, große Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung.

### 5.1.1 Branchenorientierte Akteurskooperationen

Branchenorientierte Akteurskooperationen setzen punktgenau an bestimmten Stellen der Prozessketten an: von der lokalen Kompensation von Bergbauschäden über vertikale Akteurskooperationen zum Bildschirmrecycling bis hin zu einzelnen Forschungsvorhaben. Die funktionierenden Sekundärrohstoffmärkte von Blei und Kupfer erfahren durch internetbasierte Handelsplattformen für Sekundärrohstoffe derzeit einen weiteren Effizienzschub. Versuche zur Schaffung von Rohstoffkartellen zur Stabilisierung der Preise sind in den 70er und 80er Jahren gescheitert.<sup>40</sup> Für die Rohstoffe Kupfer und Blei gibt es zwar derzeit keine Akteurskooperationen zur Begrenzung der Primärförderung, aber die zunehmende Konzentration der weltweit operierenden Bergbauunternehmen kann unter Umständen mittelfristig zu Einschränkungen des Wettbewerbs und somit zu verlangsamten Extraktionsraten führen. Bisherige globale Akteurskooperationen mit Bezügen zu Kupfer und Blei stützen sich vorwiegend auf singuläre Aspekte des Umweltschutzes und weniger auf Aspekte der Ressourcenschonung. Von größerer Bedeutung ist die **Initiative „Mining, Minerals and Sustainable Development“** im Rahmen des World Business Councils for Sustainable Development, in der Umweltprobleme des Bergbaus aufgegriffen und Nachhaltigkeitskriterien formuliert werden. Blei und Kupfer sind dabei nur zwei der zahllosen adressierten Produkte des Bergbaus.

In einer **Roadmap** werden zentrale Probleme einer Branche dargestellt, technologische und andere Herausforderungen benannt und Wege zu ihrer Bewältigung aufgezeigt. Das Instrument des Roadmapping soll einen verlässlichen Orientierungsrahmen für die Marktteilnehmer schaffen. Derzeit gibt es erste Pilotvorhaben wie das vom BMBF geförderte Projekt Nachhaltigkeit in der Informations- und Kommunikationstechnik, die den Akteurskreis von der Unternehmens-

---

<sup>40</sup> Auch die OPEC schafft es nur bedingt, durch verbindliche Förderquoten ihrer Mitglieder die Erlöse für Rohöl zu stützen, da einzelne Mitglieder von der gemeinsamen Linie abschwenken und sich die OPEC-Länder im Wettbewerb mit nicht-OPEC Ländern befinden.

und Branchenebene um Stakeholder aus Politik, Wissenschaft und Zivilgesellschaft erweitern. In den Dialogprozessen werden gemeinsame Ziele erarbeitet. Die Maßnahmen können auf vielfache Weise, z.B. durch Selbstverpflichtungen oder flankierende staatliche Maßnahmen wie Entsorgungsanforderungen, umgesetzt werden. Zu ressourcenpolitischen Fragen ist dieses Instrument der Innovationsplanung noch nicht erprobt worden, es birgt jedoch beträchtliche mittelbare Potenziale. Voraussetzung für eine Branchenroadmap ist allerdings eine hohe Diskussions- und Kooperationsbereitschaft von Einzelunternehmen und Verbänden wie Eurometaux und Wirtschaftsvereinigung Metalle.

Die Akteurskooperationen sind vor allem dann von Bedeutung, wenn es darum geht, Prozesse der Willensbildung und der Zielsetzung zu initiieren. In diesem Zusammenhang ist auch die Unternehmenskultur für die Entstehung von Umweltinnovationen hervorzuheben. Jede branchenorientierte Akteurskooperation muss von Einzelunternehmen getragen und mit Leben gefüllt werden. Sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene sind zahlreiche **Selbstverpflichtungserklärungen** (z.B. der europäischen PVC-Industrie und des Kreislaufwirtschaftsträgers Bau KWTB) entstanden, die Toxikologie- und Abfall-bezogen sind, um anderen rechtlichen Regelungen zuvorzukommen.

### 5.1.2 Produktnormung

Die privatrechtliche Produktnormung ist ein zentrales Aktionsfeld für Bemühungen der Kreislaufwirtschaft, insbesondere aufgrund der weitreichenden Bedeutung der europaweiten und globalen Normung in Teilbereichen der Wirtschaft. Sinnvoll erscheint es, **Produktanforderungen** zu formulieren, die einen hohen Qualitätsmaßstab mit weitreichenden Anforderungen an die Kreislaufwirtschaft zu verknüpfen. Dies gilt für Kupfer und Blei ebenso wie für andere Stoffe und Bereiche mit kreislaufwirtschaftlichen Defiziten. Insbesondere im Problemsektor Baustoffe erscheint die Schaffung von kreislaufwirtschaftsgerechten Normen sinnvoll. Aus rechtlicher Sicht ist zu betonen, dass die Produktnormen zwar ihre Herkunft in privaten Initiativen der Branchenbeteiligten bzw. ihrer Normungsinstitute haben, in ihrer praktischen Bedeutung allerdings den Festlegungen in hoheitlichen Rechtsvorschriften nahe kommen. Die Einhaltung von Normen ist aus der Sicht der Produzenten von Interesse, weil die Gerichte der Einhaltung von Normen im Regelfall die Beweiskraft dafür zusprechen, dass ein Produkt gefahrenfrei verwendet werden kann. Hinzu kommt, dass es nach der in verschiedenen EG-Richtlinien verankerten Normungskonzeption des „New Approach“ den Mitgliedstaaten nicht gestattet ist, von den EG-weit gültigen Normen abweichende nationale Regelungen über Produkte aufzustellen. Vor diesem Hintergrund kann das Instrument der Normen nur **beschränkt als „freiwillige“ Aktivität** der Marktbeteiligten eingeordnet werden. Die Möglichkeiten und Grenzen von branchenorientierten Akteurskooperationen und der Produktnormung werden bei der Analyse der Handlungsfelder im Einzelfall beurteilt.

## 5.2 Institutionelle Stoffpolitik

Die **globale institutionelle Stoffpolitik** hat im Zuge der Konferenz für Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro einen Paradigmenwechsel durchlaufen. Über den etablierten medien- und anlagenbezogenen Umweltschutz hinaus haben sich 192 Staaten zum Leitbild der nachhaltigen Entwicklung als Maßgabe der Politik verpflichtet. Auf der anderen Seite hat das General Agreement on Trade and Tariffs GATT durch die Gründung der Welthandelsorganisation WTO eine institutionelle Verankerung und damit auch eine Aufwertung erfahren. Ziel des WTO-Gründungsvertrages ist die Förderung des Freihandels durch den Abbau - auch versteck-

ter - Handelshemmnisse. Sozial- und Umweltstandards sind bislang unzureichend verankert, so dass es häufig zu Konflikten zwischen multilateralen Umweltschutzabkommen und dem WTO-Recht kommt.

Im medienbezogenen Umweltschutz werden nationale Regelungen zunehmend durch **supranationale Abkommen** (HELKOM, PARKOM, Internationale Kommissionen zum Schutz des Rheins und der Elbe, UN-ECE-Konvention zu grenzüberschreitenden Transporten von Luftverunreinigungen) ersetzt und geprägt. Im Bereich des anlagenbezogenen Immissionsschutzes sollen auf EU-Ebene durch die UVP-Richtlinie und die IVU-Richtlinie einheitliche medienübergreifende Genehmigungspraktiken etabliert werden. Auch zahlreiche produktbezogene Regelungen sind auf EU-Ebene kodifiziert, so z.B. die EG-Bauproduktenrichtlinie, die EG-Altautorichtlinie und der Entwurf zur EG-Richtlinie über Elektro- und Elektronikschrott WEEE mit Verbotsverfügungen für Blei in den Regulations on Hazardous Substances RoHS.

Das **nationale Umweltrecht** in Deutschland weist sowohl eine mediale Zersplitterung, als auch diffizile Kompetenzaufteilungen zwischen Bund und Ländern auf. Die mediale Zersplitterung wird anhand des Bundesimmissionsschutzgesetzes, des Wasserhaushaltsgesetzes, des Bundesbodenschutzgesetzes, des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes und des Chemikaliengesetzes deutlich. Zunehmend besteht die Anforderung EG-Richtlinien in die heterogene Rechtslandschaft zu integrieren. Relevante Regelungen für Blei und Kupfer finden sich deshalb über zahlreiche Gesetze und Verordnungen verstreut.

Da Blei toxikologisch umfassend untersucht und als problematisch eingestuft ist, sind die bestehenden gesetzlichen Regelungen vorwiegend toxikologisch begründet und nicht ressourcenpolitisch. Die geringere Humantoxizität von Kupfer hat trotz beträchtlicher aquatischer Toxizität nicht zu einer vergleichbaren Regulierungsdichte wie bei Blei geführt.

Die Darstellung von Instrumenten für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung nicht erneuerbarer knapper Ressourcen orientiert sich an Abbildung 5-1. Da die Potenziale des anlagen- und medienbezogenen Immissionsschutzes für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei nur gering sind (vgl. Kap. 3.5 und 4.5) und sehr mittelbaren Charakter haben, werden sie hier nicht weiter verfolgt. Über die im folgenden aufgeführten Gesetze und Instrumente hinaus haben zahlreiche andere Rechtsgebiete teilweise sehr bedeutenden Einfluss auf die Stoffströme von Kupfer und Blei: Umwelthaftungsgesetz, Umweltstrafrecht, Bundesstatistik, Außenhandelsrecht, Strahlenschutzrecht, Jagdrecht u.s.w., die hier nicht summarisch wiedergegeben werden können. Ihre Bedeutung für die Stoffströme von Kupfer und Blei wird teilweise bei der vertiefenden Behandlung einzelner Handlungsfelder in Kapitel 6 gewürdigt.

### 5.2.1 Produktbezogene Kreislaufwirtschaft

Die produktbezogene Kreislaufwirtschaft fokussiert auf die Regulierung einzelner Produktgruppen. Mit dem **Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz** (KrW-/AbfG) ist ein Regelwerk geschaffen worden, das "die Förderung der Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen und die Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen" bezweckt (§ 1). Das Gesetz stellt in § 4 den Grundsatz „vermeiden vor verwerten vor beseitigen“ auf. Dabei ist allerdings zu beachten, dass der Vermeidungsvorrang nur dort zum Tragen kommt, wo entweder das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) anlagenbezogene Vermeidungsvorgaben macht oder eine entsprechende Verordnung im Rahmen der Produktverantwortung erlassen worden ist (vgl. § 5 Abs. 1 KrW-/AbfG). Im Übrigen gilt der Vorrang der Verwertung vor der Beseitigung,

wobei das Gesetz in seiner Wertung grundsätzlich keinen Unterschied zwischen stofflicher und energetischer Verwertung macht (vgl. §§ 5 bis 7 KrW-/AbfG).<sup>41</sup>

Für die nachhaltige Bestandsbewirtschaftung sind neben den Ermächtigungen zum Erlass von Rechtsverordnungen über die Art und Weise der (zulässigen) Entsorgung (vgl. §§ 6, 7 und 12 KrW-/AbfG) insbesondere die Instrumente der „Produktverantwortung“ (§§ 22 ff. KrW-/AbfG) interessant. Gemäß § 22 KrW-/AbfG ist unter „Produktverantwortung“ die Pflicht der Hersteller und des Handels zu verstehen, Erzeugnisse so zu gestalten, dass bei ihrer Herstellung und ihrem Gebrauch das Entstehen von Abfällen vermindert wird und die umweltverträgliche Verwertung und Beseitigung nach ihrem Gebrauch sichergestellt ist. Die Verpflichtung wird in dem Umfange wirksam, in dem sie durch Rechtsverordnungen nach den §§ 23 (Verbote, Beschränkungen und Kennzeichnungen) und 24 (Rücknahme- und Rückgabepflichten) konkretisiert wird. Zum Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz sind bislang nur wenige produktbezogene Verordnungen erlassen worden. Die zahlreichen Aktivitäten auf europäischer Ebene werden jedoch zu einer Ausweitung des untergesetzlichen Regelwerkes führen. Folgende „**Priority Waste Streams**“ bilden derzeit die Schwerpunkte:

**Tabelle 5-1: Regelungen zur produktbezogenen Kreislaufwirtschaft in der EU**

EU-Aktivität	Status und Inhalt	Umsetzung
EE-Geräte-Richtlinien WEEE (2000/0158 COD) RoHS (2000/0159 COD)	Entwürfe Sammel- und Verwertungsquoten Verwendungsverbot für Blei	bis 2005
Altautorichtlinie (2000/53/EG)	Kennzeichnungs- und Demontagepflichten, Beseitigungsquote (maximal) Verwendungsverbot für Blei	Altfahrzeuggesetz tritt am 1.7.2002 in Kraft
Batterierichtlinie (Ersatz für 91/157/EEC)	neuer Entwurf derzeit blockiert Sammel- und Verwertungsquoten FuE bleifreie Akkumulatoren	BattV vom 1.9.2001 noch gültig
PVC-Grünbuch (KOM(2000) 469)	Umweltbewertung von PVC und Handlungsoptionen Prüfung von Maßnahmen zur Reduzierung des Bleieinsatzes und Bewertung von PVC-Recycling	nicht absehbar
Bauabfälle (Report to DGXI 1999)	Abfallmanagement und ökonomische Implikationen finanziert durch EU-Kommission keine EU-Richtlinie geplant	nicht absehbar

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

Die **Verwendungsverbote** für Blei in der RoHS und in der Altautorichtlinie sind toxikologisch begründet, mittelbar werden jedoch auch Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung erschlossen. Die Regelwerke zu Kraftfahrzeugen, EE-Geräten und Batterien sind ebenso wie das PVC-Grünbuch und der Bericht über Bauabfälle vorwiegend abfallpolitisch motiviert, aber in der Begründung zur WEEE wird ausdrücklich auch der Ressourcenschutz erwähnt. So wird durch die Umsetzung der WEEE in der europäischen Gemeinschaft ein Einsparpotenzial von 600.000 t Primärkupfer geschätzt. Die ordnungsrechtliche Festlegung von Verwendungsanforderungen ist für Blei und Kupfer zielführend realisierbar. Vorstellbar sind bereichsbezogene Verwendungsverbote und -einschränkungen (z. B. Bleistabilisatoren in PVC

<sup>41</sup> Allerdings setzt das Gesetz für bestimmte Arten der energetischen Verwertung Mindestbedingungen, und es gestattet dem Ordnungsgeber, verbindliche Entscheidungen über die zulässigen Arten der Verwertung zu treffen (vgl. §§ 6, 7 KrW-/AbfG).

oder Kupfersulfat im Pestizidbereich). Ein etwas weniger starkes Instrument ist die **Festlegung von Höchstmengen**, wie es z.B. bei der Reduzierung der Bleimenge in Patronen bei Schießwettbewerben der Fall ist.

Das Vorgehen auf Seiten der EU ist dadurch gekennzeichnet, dass hinsichtlich ihrer Menge und Zusammensetzung bedeutende Abfallströme durch **Verwendungsanforderungen** schadstoffentfrachtet (Begrenzung des Bleieinsatzes, Demontagegerechte Konstruktion, Kennzeichnung) und durch **Entsorgungsanforderungen** (Demontagepflichten, Sammel-, Verwertungs- und Beseitigungsquoten) in die gewünschten Verwertungs- und Entsorgungswege kanalisiert werden.<sup>42</sup> Zwar beziehen sich diese Anforderungen im allgemeinen auf Produkte und Bauteile, sie sind in ihrer Intention jedoch auf die Ausschleusung von Problemstoffen und auch deren Wiedergewinnung gerichtet (z.B. Demontage der Starterbatterie und kupferhaltiger Teile aus Kfz). Durch Verwendungsanforderungen zur besseren Gewährleistung der Rückholbarkeit (z. B. im Bauwesen) könnten bestehende Defizite der Kreislaufführung beseitigt werden. Die Ausgestaltung der Entsorgungsanforderungen erfolgt im untergesetzlichen Regelwerk z.B. bei Batterien durch Rücknahme- und Rückgabeverpflichtungen, Produktpfand, Kennzeichnungspflichten und ein Stoffstrommonitoring.

In denjenigen Nutzungssegmenten, in denen Kupfer und Blei leicht rückholbar sind, findet eine Rückführung überwiegend tatsächlich statt, da die Sekundärrohstoffnutzung wirtschaftlich attraktiv ist. Aufgrund der günstigen Marktverhältnisse für Sekundär-Kupfer und –Blei bedarf es grundsätzlich keiner **Rücknahme- und Rückgabeverpflichtung** für kupfer- und bleihaltige Abfälle. Eine Ausnahme besteht jedoch für diejenigen Kupferverwendungen, bei denen die Rückholung aus Altmaterial technisch schwierig oder unverhältnismäßig aufwendig ist (z. B. aus dem Bauwesen). Viele Bereiche, in denen die Rückführung bisher nicht gelingt, entziehen sich auch einer **Produktpfandregelung**, weil es sich um Bereiche mit dissipativen oder langfristigen Nutzungsweisen handelt. In der Batterieverordnung ist ein Pfand auf Kfz-Starterbatterien festgelegt, das den Rückfluss gebrauchter Batterien erhöhen und das Littering vermindern soll. Ein Ansatzpunkt mit Auswirkung auf die Kupferströme könnte ein Produktpfand auf kleine EE-Geräte sein, die noch häufig über die Mülltonne entsorgt werden.

Die **Kennzeichnung** blei- und kupferhaltiger Teile erleichtert insbesondere bei versteckten Verwendungen, wie z.B. Schwingungsdämpfer in Kfz und Verkabelungen, die Identifizierung und die Rückführung in den Stoffkreislauf. Die Kennzeichnungsvorschriften können im Prinzip auf alle umweltrelevanten Stoffe und Verwendungsarten erstreckt werden. Insbesondere in langlebigen Anwendungen besteht die Gefahr dass Informationen über Stoffgehalte zum Zeitpunkt der Entsorgung nicht mehr vorliegen. So sind im Gebäudebereich Inventarlisten denkbar, die in einem **Produktpass** festgehalten werden.

Die Entsorgungsfinanzierungspflicht ist insbesondere bei sehr langlebigen Nutzungen und Abfällen wie z.B. Rückstellungen für die Entsorgung von radioaktiven Abfällen realisiert. Die Eignung einer **Entsorgungsfinanzierungspflicht** der Hersteller von Pkw ist von Brand et al. (2000) mit grundsätzlich positivem Ergebnis untersucht worden. Das KrW-/AbfG eröffnet die

---

<sup>42</sup> Mittelbaren Einfluss auf die Entsorgungswege haben auch Grenzwerte für Blei und Kupfer in Verpackungsmaterialien und im Klärschlamm zur Verbringung auf landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Flächen. Für beide Stoffgruppen gibt es sowohl je eine EU-Richtlinie als auch je eine Verordnung zum KrW-/AbfG. Auch Qualitätsanforderungen der Aluminium- und Stahlschrott-Industrie schaffen Anreize zur Abtrennung von Blei bzw. Kupfer.



Möglichkeit zur Einführung eines solchen Instruments allerdings nur, soweit es auf einer (Primär-) Verpflichtung der Hersteller zur Rücknahme der Kfz beruht (vgl. § 24 Abs. 1 Nr. 2 KrW-/AbfG). In diesem Zusammenhang könnte die reine Finanzierungspflicht als „mildere Maßnahme“ und damit als zulässig angesehen werden. Darüber hinaus sind in Brand et al. (2000) die Instrumente Primärrohstoff-Input-Quote für Neu-Pkw und Neuorientierung der Kfz-Steuer an der Ressourcenintensität der Pkw-Nutzung und Pkw-Konstruktion mit indirekten Bezügen zu Blei und Kupfer untersucht worden. Ersteres dürfte sich aufgrund der identischen Qualität von Primär- und Sekundärrohstoffen nicht sinnvoll bewerkstelligen und kontrollieren lassen. Die Ressourcenintensität der Pkw-Nutzung und -Konstruktion wird durch den Benzinverbrauch und die Hauptbestandteile Stahl, Aluminium, Kunststoffe und Glas dominiert, weshalb dieses Instrument in Bezug auf Blei und Kupfer sehr unspezifisch ist.

Die **produktbezogenen Instrumente zur Erhöhung der Lebensdauer** (z.B. Reparaturfreundlichkeit, Upgrading-Möglichkeiten) **und Nutzungsintensivierung** (Sharing, Pooling) haben sich als eher weiche Instrumente mit beschränkter Lenkungswirkung gezeigt. In jedem Fall ist eine produktspezifische Differenzierung vorzunehmen. Insbesondere zur Förderung der Wiederverwendung von Produkten und deren Bauteilen kommt die Gewährleistung für EE- Geräte und Kfz in Betracht.

Abschließend ist festzuhalten, dass im produktbezogenen Kreislaufwirtschaftsrecht auf erprobte Instrumente zurückgegriffen werden kann. Soweit das (noch) nicht der Fall ist, kann jedenfalls resümiert werden, dass die **Rechtslandschaft** sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene dafür **prinzipiell gut ausgelegt** ist. Im Einzelnen bedürfen die Vorschriften des KrW-/AbfG zur Produktverantwortung noch gewisser Weiterungen, um den hier verfolgten Zielen umfassend gerecht werden zu können. Die Kataloge der danach möglichen Instrumente sind insgesamt zu eng formuliert. Auch fehlt eine systematische Einbeziehung der Art und Weise der Produktverwendung in den instrumentellen Rahmen der §§ 22 ff. KrW-/AbfG. Die Sinnhaftigkeit einzelner Regelungen einer erweiterten Produktverantwortung wird im nachfolgenden Kapitel 6 bereichsbezogen diskutiert.

### 5.2.2 IPP und Inverkehrbringen von Chemikalien und Produkten

In Abgrenzung zur konventionellen produktbezogenen Kreislaufwirtschaft verfolgt die integrierte Produktpolitik IPP Produkte und Dienstleistungen über den gesamten Lebenszyklus. Auch das Inverkehrbringen von Chemikalien und Produkten sprengt die Endprodukt-spezifische Perspektive, indem Stoffe produktübergreifend geregelt werden.

Die EU-Kommission hat ein **Grünbuch zur Integrierten Produktpolitik** vorgelegt, in dem eine Strategie zur Stärkung und Neuorientierung produktbezogener umweltpolitischer Maßnahmen vorgeschlagen wird. Charakteristisch für diese Neuorientierung sind die Lebenszyklusperspektive, die explizite Adressierung der Unternehmen und Verbraucher als hauptverantwortliche Stakeholder und die Konzeption abgestimmter Instrumentemixe. Der Schwerpunkt der IPP liegt auf der Strategie des Ecodesigns und der „Bereitstellung von Informationen und Anreizen für eine effiziente Aufnahme und Verwendung umweltfreundlicherer Produkte“ (EU IPP 2001). Die erste Konkretisierung bezieht sich auf EE-Geräte. Im Arbeitspapier für eine **Richtlinie über die Auswirkung elektrischer und elektronischer Ausrüstungen auf die Umwelt** (EEE 2001) werden u.a. Anforderungen an Komponenten und Sub-Baugruppen, Ecodesignkriterien und Konformitätserklärungen aufgeführt. In Anhang 2 werden als Ecodesignkriterien u.a. Sachbilanzen über den Lebensweg und Prinzipien, wie die Ressourcenschonung über den Lebenszy-

klus, Förderung des Einsatzes von Sekundärmaterialien und re-use, Maßnahmen zur Verlängerung der Nutzungsdauer sowie Standardisierung für erleichtertes End-of-Life Management, genannt.

Fokussiert die IPP auf den Lebenszyklus von Produkten, so liegt der Schwerpunkt der Chemikalienpolitik auf dem Inverkehrbringen von Stoffen. Die im **Weißbuch „Strategie für eine zukünftige Chemikalienpolitik“** der EU niedergelegten Vorschläge sind ausdrücklich dem Ziel einer nachhaltigen Entwicklung verpflichtet. Zu den Schlüsselementen der Strategie gehören die Ausweitung der Verantwortung auf die gesamte Produktions- und Verarbeitungskette, Altstoffprüfung innerhalb von 5 Jahren, verwendungsbesogene Zulassung von Stoffen, Substitution von Chemikalien, verbesserte Information der Öffentlichkeit sowie weltweite Kontrolle im Sinne der Agenda 21. Besonderen Anlass zur Besorgnis geben persistente, bioakkumulierbare und toxische Stoffe, wozu auch einige Blei- und Kupferverbindungen gehören.

Wichtige Regelungen zum Inverkehrbringen von Chemikalien und Produkten in Deutschland finden sich im **Chemikaliengesetz**, im Pflanzenschutzmittelgesetz, im BImSchG, im Kreislaufwirtschafts- und Abfallrecht sowie im Bauproduktgesetz. Beziehen sich die Anforderungen des BImSchG, KrW-/AbfG und Bauproduktgesetz auf bestimmte Produkte, so finden sich im Chemikalienrecht toxikologisch begründete Totalverbote mit Ausnahmeverbehalt. Zahlreiche Verbote für das Inverkehrbringen von Chemikalien sind in der Chemikalienverbotsverordnung zum Chemikaliengesetz (§ 17) festgelegt. Bleiverbindungen finden auch explizit Erwähnung, wohingegen Kupferverbindungen nur mittelbar im Einzelfall über ihre Eigenschaften wie Akkumulierbarkeit adressiert sind.<sup>43</sup>

### **Dänischer Lead Ban**

Dänemark hat das Niveau des Bleigehaltes im Blut der Bevölkerung als Ausgangspunkt für eine umfassende Regelung des Bleistoffstroms genommen. Die „Statutory Order on Prohibition of Import and Marketing of Products Containing Lead“ sieht für zahlreiche Bleiverwendungen, sowohl in metallischer Form als auch in chemischer Form, ein **Import- und Vermarktungsverbot** vor.<sup>44</sup> Generell gilt das Verbot von Blei in chemischen Verbindungen zum 1.3.2001. Darüber hinaus sind für einige chemische Bleiverwendungen und die metallischen Bleiverwendungen andere Ausstiegsfristen festgelegt, einige sind, „until further notice“, noch ungeregelt. Die folgenden Tabellen geben einen Überblick über die Import- und Vermarktungsverbote bleihaltiger Produkte:

---

<sup>43</sup> Im Anhang zu §1 ChemVerbotsV (Abschnitt 8) sind drei Spalten aufgeführt, die auch für Blei Regelungen treffen: Spalte 1: wasserfreies neutrales Bleicarbonat, Bleihydroxycarbonat und Bleisulfate; Spalte 2: Stoffe nach Spalte 1 und Zubereitungen, die diese Stoffe enthalten, dürfen zur Verwendung als Farben nicht in Verkehr gebracht werden, Spalte 3: Ausnahmeklausel für Denkmalschutz

<sup>44</sup> Sie gilt nicht für den Import und das Vermarkten von Produkten, die ausschließlich für den Export bestimmt sind. Ausgenommen sind Produkte mit einem Bleigehalt von weniger als 100 mg/kg, diese Regelung gilt jedoch nicht für Bleicarbonat und -sulfat in Farben. Rohstoffe und Zwischenprodukte werden ebenso wenig gefasst wie gebrauchte Produkte. Strahlenschutzanwendungen sind nicht adressiert. Andere Bleiverwendungen, die im nationalen Regelwerk (Kraftstoffe, schadstoffhaltige Batterien und Akkumulatoren, Jagdwaffen und -munition, Schlacken und Flugaschen sowie Abfälle für landwirtschaftliche Zwecke) oder im EG-Regelwerk (Keramik-Artikel, die mit Nahrungsmitteln in Kontakt kommen, Verpackungen, medizinische Geräte) beschränkt sind, sind ebenfalls ausgeschlossen.

**Tabelle 5-2: Fristen für den Import und die Vermarktung bleihaltiger Produkte in Dänemark - Chemische Verbindungen**

<b>Chemische Verbindungen</b>	<b>Frist</b>
<b>Farben und Lacke</b> Sikkative (ohne Bleicarbonat und -sulfat) Pigmente in Produkten für Signal- und Warnzwecke Produkte für kathodische Farben Spezialfarben: Korrosionsschutz (< 250 ppm Blei, nicht in der Form von Bleicarbonat und -sulfat) und Antifouling (< 1250 ppm Blei, nicht in der Form von Bleicarbonat und -sulfat)	1. Dez. 2001 1. Dez. 2002 1. Dez. 2004 vorerst ungeregelt
<b>Spezialgläser</b> Bildröhren, Lichtquellen, Optik, Strahlenschutz, Autofenster, Platten in Kopiergeräten, Beschichtung von Flachglas, Kristallglas, Silikatglas fürs Sandblasen/-strahlen	vorerst ungeregelt
<b>Entladungslampen und elektronische Komponenten</b>	vorerst ungeregelt
<b>Bremsbeläge</b>	1. Dez. 2004
<b>Schmiermittel, einschließlich Lagermetall</b>	1. Dez. 2003
<b>Keramik</b> Glasuren, Emaille, Pigmente auf Kunst und Kunsthandwerk, von denen angenommen werden muss, dass sie nicht zusammen mit Nahrungsmitteln genutzt werden. Glasuren auf Kacheln, verglasten Ziegeln, Ziegeln und Zündkerzen Glasuren außer für Kunst und Kunsthandwerk, Kacheln, verglaste Ziegel, Ziegel und Zündkerzen und Produkte, von denen angenommen werden muss, dass sie zusammen mit Nahrungsmitteln genutzt werden Emaille und Pigmente außer für Kunst und Kunsthandwerk und Produkte, von denen angenommen werden muss, dass sie zusammen mit Nahrungsmitteln genutzt werden	vorerst ungeregelt 1. Dez. 2002 1. Dez. 2002
<b>Elastomere</b> Beschleuniger Wärmestabilisatoren	Dez. 2002 vorerst ungeregelt
<b>Produkte zum Reparieren bestehender Produkte</b>	vorerst ungeregelt
<b>Produkte für Forschung, Entwicklung und Labornutzung</b>	vorerst ungeregelt
<b>Stabilisator in Kunststoffprodukten</b> Tür- und Fensterprofile andere Produkte Dachrinnen und Fallrohre Dachbahnen Rohre, Schläuche, Leitungsröhren elektrische Kabel in Produkten	1. Dez. 2001 1. Dez. 2001 1. Dez. 2002 1. Dez. 2003 1. Dez. 2003 vorerst ungeregelt

Quelle: Eigene Darstellung nach Danish Lead Ban 2001.

**Tabelle 5-3: Fristen für den Import und die Vermarktung bleihaltiger Produkte in Dänemark - Metallisches Blei**

<b>Metallisches Blei</b>	<b>Fristen</b>
Produkte für den Hobbybedarf	1. März 2001
Ständer für Haushaltskerzen and andere Kerzen	1. März 2001
Gardinen, Stoff-Gewichte	1. März 2001
Produkte für Dekorationszwecke	1. März 2001
Sicherheitsverschlüsse	1. März 2001
Produkte für Dachverkleidungen und Dächer	1. März 2001
Dachrinnen, Fallrohre und Abdichtungen im Außenbereich	1. Dez. 2002
Ausrüstung für kommerziellen Fischfang	1. Dez. 2002
Ausrüstung fürs Sportfischen	1. Dez. 2002
Lötlegierungen für das Verplomben und sanitäre Anwendungen, außer dem Löten von Zinkblechen	1. Dez. 2002
Kabelmäntel für elektrische Erdkabel unter 24 kV	1. Dez. 2002

Quelle: Eigene Darstellung nach Danish Lead Ban 2001.

Das Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment (CSTEE) der Europäischen Union hat das Vorhaben als wissenschaftlich unbegründet kritisiert (Brüssel 5.5.2000), wobei sich die Kritik auf den unzureichenden Nachweis der angestrebten Effekte auf die Senkung der anthropogenen Bleiexposition bezieht. Dennoch ist die Regelung in Dänemark in Kraft. Im Sinne einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung ist besonders interessant, dass zahlreiche, auch schwer quantifizierbare Klein- und Kleinstanwendungen unter das Verbot fallen. Vorteilhaft ist die ökologische Treffsicherheit zu bewerten, nicht so die Kriterien der Effizienz und der dynamischen Anreizwirkung. Über die Transaktionskosten dieser Maßnahme ist gegenwärtig nichts bekannt.

#### **Norwegischer Product Control Act**

Eingebettet in einen Kanon anderer besonders gefährlicher Stoffe kann für Firmen vorgeschrieben werden, dass sie den Einsatz und die Substitutionsmöglichkeiten dieser Stoffe zu prüfen haben. Bei der Beschaffung von Endprodukten ist auch die öffentliche Hand adressiert, wohingegen die einzelnen Verbraucher vom **Substitutionsprinzip** ausgenommen sind. Aufgrund ihrer Eigenschaftsprofile (Persistenz, Toxizität und Akkumulierbarkeit) sind Blei- und Kupferverbindungen in den Hintergrundpapieren zum norwegischen "Product Control Act" als Stoffe aufgeführt, für die das Substitutionsprinzip gilt. Aufgrund der unterschiedlichen Toxizität und fehlender Substitute für zahlreiche Kupferanwendungen scheint ein Eingriff dieser Intensität bei Kupfer nicht verhältnismäßig zu sein, eine große Anzahl bleiverarbeitender Betriebe könnte jedoch unter diese Regelung gestellt werden. Wichtige Voraussetzung für dieses Instrument sind angemessene Produktinformationen und die Rechtsfolgen bei Nichtbefolgen des Substitutionsprinzips. Über die Praxis dieses originellen Instrumentes liegen nur spärliche Informationen vor.

Hinsichtlich möglicher **Einsatzverbote** für Stoffe ist grundlegend danach zu differenzieren, wie stark einerseits das jeweilige Regelungsbedürfnis und andererseits die Belastungswirkung für die Wirtschaftsbeteiligten ist. Die Verhängung von Einsatzverboten stellt einen tiefgehenden Eingriff in die Rechte der Betroffenen dar, soweit keine adäquaten Ersatzstoffe zur Verfügung stehen oder auf zumutbare Weise beschafft werden können. Zumindest in derartigen Fallgestaltungen bedürfte es auf Grundlage des Verhältnismäßigkeitsprinzips eines dringenden öffentli-

chen Interesses an dem jeweiligen Einsatzverbot. Im Hinblick auf aktuelle toxische Belastungen oder auf die Ansammlung eines langfristigen toxischen Risikopotenzials in der Umwelt mag insoweit im Falle von **Blei** ein hinreichendes Gemeinwohlinteresse grundsätzlich bejaht werden können. Aber auch hier wäre es erforderlich, Ausnahme- und Übergangsregelungen für diejenigen Einsatzbereiche zu schaffen, in denen eine kurzfristige Substitution nicht unter zumutbaren Bedingungen erreichbar erscheint. Dem Interesse an der Bestandsbewirtschaftung als solcher dürfte demgegenüber nicht das nötige Gewicht beigemessen können, um das Verbot eines Stoffes in allen oder zumindest weiten Teilen seiner Einsatzgebiete aussprechen zu können. Von daher dürfte es im Falle von **Kupfer** von vornherein nicht zur Anwendung kommen können. Allenfalls in wenigen speziellen Fällen (konkret zum Zwecke des Gewässerschutzes) könnte ein Einsatzverbot für Kupfer in Betracht gezogen werden. Auch ein theoretisch in Betracht kommendes Verbot der Nutzung von Blei und Kupfer als **Primärrohstoff** zur Förderung des Sekundäreinsatzes scheidet aus diesen Gründen aus, zumal der Bedarf an Blei und Kupfer die durch Kreislaufführung rückführbare Menge übersteigt.

Ein weiteres Instrument mit Auswirkungen über den gesamten Produktlebensweg ist das Umweltkennzeichen. Das **Umweltzeichen Blauer Engel** schafft Anreize für den Erwerb bleifreier und bleiarmer Produkte (schadstoffarme Lacke RAL UZ 12a, bleifreie Plomben RAL UZ 67 und emissionsarme Wandfarben RAL UZ 102). Aufgrund seiner geringen Humantoxizität steht Kupfer nicht im Blickpunkt von Umweltzeichenanforderungen wie dem Blauen Engel. Indirekt wird auch Kupfer über Anforderungen zur recyclinggerechten Konstruktion berührt.

Als Fazit bleibt festzuhalten, dass die integrierte Produktpolitik in Deutschland bislang nur **schwach verankert** ist. Auf EU-Ebene sind mittelfristig die Weichen für eine IPP gestellt worden. Ein Blick über die Landesgrenzen nach Dänemark und Norwegen offenbart zwei interessante Ansätze zur Ausgestaltung der IPP. Insbesondere die Regelungen auch für die schwer quantifizierbaren Klein- und Kleinstanwendungen machen den Ansatz des **Danish Lead Ban** generell für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei zu einer prüfungswerten Angelegenheit. Auch der Norwegische **Product Control Act** bietet einen originellen Ansatz für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei. Vergleichsweise weit fortgeschritten sind die Anforderungen an die **recyclinggerechte Konstruktion**. Diese können allerdings nur durch die vertiefende Analyse von Handlungsfeldern beurteilt werden.

### 5.2.3 Inputbezogene Regelungen

Die europäische Kommission hat, ausgelöst durch zahlreiche Unglücke in Bergbau, den Ressourcenabbau ins Visier ihrer Politik genommen. Vordringlicher Handlungsbedarf wird im Abfallmanagement, der Anlagensicherheit und im Haftungsrecht gesehen. Auf globaler Ebene stellt sich verschärft die Frage nach Sozial- und Umweltstandards und deren Kompatibilität mit dem Welthandelsrecht. Darüber hinaus werden in der Literatur Instrumente wie eine Primärressourcensteuer und Lizenzpflicht diskutiert.

Soweit die Instrumente den Bergbau selbst betreffen, sind sie für die Bundesrepublik Deutschland im vorliegenden Zusammenhang nicht von unmittelbarer Bedeutung. Sie können aber indirekt eine Rolle spielen, weil die gewonnenen Stoffe bzw. die aus ihnen hergestellten Güter als Handelsware Gegenstand der internationalen Marktbeziehungen sind und als Importe nach Deutschland gelangen können. Die Art und Weise des Umgangs mit Umwelt, Natur und Gesundheit im Prozess der Rohstoffgewinnung kann zum Anknüpfungspunkt für die Erhebung von Zöllen, steuerlichen oder nichtsteuerlichen Abgaben, zum Kriterium für ordnungsrechtliche

Beschränkungen oder zur Lizenzierung der betreffenden Waren gemacht werden. Auch wenn diese Maßnahmen vorwiegend Umweltschutz- und Sicherheitsrisiken aufgreifen, könne sie mittelbar durch eine Verbesserung der Preisrelationen von Sekundär- zu Primärrohstoffen auch zu einer nachhaltigeren Bestandsbewirtschaftung von Vorräten in der Technosphäre führen.

Derzeit findet ein Abstimmungsprozess innerhalb der EU für die Formulierung einheitlicher technischer Anforderungen des Umweltschutzes an verschiedene industrielle Tätigkeiten statt. Die Grundlage dafür bildet die Richtlinie 96/61/EG des Rates über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (sog. IVU-Richtlinie). Auf Basis dieser Kriterien werden gegenwärtig gemeinschaftsweit gültige Dokumente über die bestverfügbaren Techniken erarbeitet (sog. **BREF's** – **B**est **A**vailable **T**echniques **R**eference Documents, vgl. Art. 16 IVU-RL). Die Tätigkeit der Gewinnung von Rohstoffen für die Metallherzeugung wird seit kurzem auch erfasst (vgl. Anhang I IVU-RL). Das „Working Document on Mining Wastes“ wird zur Zeit von interessierten Stakeholdern kommentiert. Der gleiche Handlungsbedarf gilt auch im Ergebnis für **Sicherheitsprobleme** im Zusammenhang mit dem Bergbau. Die zentrale Richtlinie des Gemeinschaftsrechts zur Verhütung schwerer Unfälle – die sog. Seveso-II-Richtlinie<sup>45</sup> – fokussiert bislang allein auf Betriebe, in denen in größerem Umfang mit gefährlichen Stoffen umgegangen wird. Andersartige Sicherheitsgefahren werden von ihr nicht erfasst.

Der Aufbau eines besonderen **Haftungssystems** für umweltrelevante Tätigkeiten steht innerhalb der europäischen Union noch bevor. Einige Staaten verfügen bereits über ein spezielles Umwelthaftungsrecht. Dazu gehört auch Deutschland.<sup>46</sup> Im Sinne des Nachhaltigkeitsprinzips von größter Bedeutung ist die präventive Wirkung des Instruments. Innerhalb der EU wird zurzeit auf Grundlage eines Weißbuchs der EU-Kommission<sup>47</sup> über die Einführung eines gemeinschaftsweiten Umwelthaftungsstandards diskutiert. Hiernach sollen auch rein ökologische Schäden zum Gegenstand der Haftung gemacht werden können, soweit die betreffenden Gebiete durch europäische Vorschriften unter besonderen Schutz gestellt sind (d. h. in sog. FFH-Gebieten<sup>48</sup>).

Wichtige Schnittstelle im Handel mit metallischen Primär- und Sekundärrohstoffen ist die **London Metal Exchange**, eine globale Metallhandelsbörse. Bislang erfolgt der Handel ausschließlich nach Gesichtspunkten des Preises und der Qualität. **Soziale und ökologische Mindeststandards**, vor allem im Bergbau finden keinerlei Berücksichtigung, sind jedoch im Rahmen des Welthandelsregimes der WTO durchaus denkbar.<sup>49</sup> Die Strategie „Greening LME“ könnte da-

---

<sup>45</sup> Richtlinie 96/82/EG des Rates vom 9. Dezember 1996 zur Beherrschung von Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährlichen Stoffen, ABl. EG 1997 Nr. L 10, S. 13.

<sup>46</sup> Hintergrund der im Einzelnen verschieden ausgestalteten Konzepte eines speziellen Umwelthaftungsrechts ist die Erkenntnis, dass die im Zivilrecht üblichen Beweislast- und Verantwortungsregeln einer sachangemessenen Risikoverteilung bei Umweltschadensfällen regelmäßig entgegenstehen. Die Geschädigten müssen danach den vollen Beweis antreten, dass der jeweilige Schaden durch den Schädiger verursacht worden ist (Kausalität), und dies auf Grund vorsätzlichen oder fahrlässigen Handelns bzw. Unterlassens schuldhaft zu verantworten hat (Verschulden). Hierzu ist der Geschädigte bei Schadensfällen durch Umweltverunreinigungen praktisch nie in der Lage.

<sup>47</sup> EU-Kommission, Weißbuch zur Umwelthaftung, Drs. KOM(2000) 66 endg.; eingehend dazu Goth, das neue Weißbuch zur Umwelthaftung, ZUR 2001, S. 188 ff.; ferner Klinski, Umwelthaftung – europaweite Reform rückt näher, in: Umwelt (VDI), Heft 6/2000, S. 31 ff.

<sup>48</sup> Grundlage ist die Richtlinie 92/43/EWG zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen (sog. FFH-Richtlinie), ABl. EG 1992 Nr. L 206, S. 7.

<sup>49</sup> Für die Realisierung einer umfassenderen internationalen Strategie kommen verschiedene Varianten in Betracht. So könnten die gewünschten Sozial- und Umweltstandards entweder von vornherein unter dem Dach der WTO

hingehend ausgeweitet werden, dass nur nach Einhaltung sozialer und ökologischer Mindeststandards zertifizierte Rohstoffe international gehandelt werden dürfen. Erste Versuche zur Formulierung einheitlicher Standards sind von der **Initiative „Mining, Minerals and Sustainable Development“** ausgegangen und auch die EU hat den Bedarf nach einheitlichen Produktionsstandards festgestellt und die Erstellung einer BREF für den Bergbau angeregt.

Im Rahmen einer internationalen Ressourcenpolitik können völkerrechtlich bindende Vereinbarungen angestrebt werden, in denen sich die beteiligten Staaten verpflichten, selbst bestimmte **Sozial- und Umweltstandards** (einschließlich solchen zur Festlegung von Kriterien der Ressourcenschonung) einzuhalten. Die betreffenden Standards sollten entweder selbst Gegenstand von Regelungen des Welthandelsrechts sein oder zumindest welthandelsrechtlich abgesichert werden, um denkbare Konflikte mit dem Welthandelsrecht von vornherein zu vermeiden.

Die Entwicklung einer derartigen Strategie erscheint vor allem deshalb wichtig, weil es sowohl den Nationalstaaten als auch der EU auf Grundlage des bestehenden Rechts der World Trade Organisation (WTO) nicht gestattet ist, das Inverkehrbringen von Produkten von der Einhaltung bestimmter sozialer Standards im Herkunftsland der eingesetzten Stoffe abhängig zu machen. Auch die Möglichkeit, hierfür Kriterien anzuwenden, die sich auf den Umweltschutz am Herkunftsort beziehen, muss auf Basis der Rechtsprechung der WTO als zweifelhaft angesehen werden. Allenfalls wo es um den Schutz nationaler, unter gewissen Voraussetzungen auch globaler Umweltgüter (wie etwa des Klimas) geht, dürfte es mit dem Welthandelsrecht vereinbar sein können, hoheitliche Maßnahmen im Hinblick auf die Vermarktung von Produkten zu treffen, die sich für den Import von Waren ungünstig auswirken. Deshalb erscheint eine nationale oder EG-rechtliche Strategie der Einflussnahme auf die Bedingungen der Ressourcengewinnung in anderen Staaten nicht erfolversprechend. Umso wichtiger ist es dann jedoch, die internationale Ebene als Handlungsfeld der Ressourcenpolitik zu begreifen.

Bislang sind die Bemühungen insbesondere der EU-Staaten um Einbeziehung von Aspekten der Sozial- und Umweltpolitik in den Regelungsrahmen der WTO nicht erfolgreich gewesen. Ohne jede Veränderung der bisherigen Völkerrechtslage dürften die von der WTO aufgestellten Regeln des Welthandelsrechts jedoch tendenziell zu einer deutlichen Verschlechterung der (weltweiten) Umweltsituation führen, weil mit höheren Sozial- und/oder Umweltstandards produzierte Waren auf dem freien Markt regelmäßig mit Preisnachteilen zu kämpfen haben.

In der politikwissenschaftlichen Literatur werden darüber hinaus weitere Instrumente wie Lizenzpflichten, Primärressourcensteuer, Börsen für Sekundärrohstoffe und Stoffstromagenturen diskutiert. Für Maßnahmen zur Errichtung von Sekundärrohstoffbörsen besteht bei Blei und Kupfer kein Bedarf, da die Märkte funktionieren. Auch eine Stoffstromagentur ist überflüssig, da die Vermarktung der Sekundärrohstoffe über international anerkannte Qualitätsstandards (vgl. Kap. 2) effektiv erfolgt. Primärressourcensteuern und Lizenzpflichten stellen trotz fehlender institutioneller Voraussetzungen langfristig ggf. Instrumente zur Förderung einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung dar.

Durch **Input-Lizenzpflichten** wird die Menge des insgesamt zur Verfügung stehenden Materials in bestimmten Zeiteinheiten zunächst ordnungsrechtlich beschränkt. Der tatsächliche Einsatz des Materials ist nur zulässig, soweit eine Lizenz dafür erworben wird. Die Lizenzen wären frei

---

vereinbart werden. Es wäre aber auch möglich, diese außerhalb der WTO festzulegen, sodann jedoch innerhalb der WTO in Ergänzung des bestehenden Vertragswerks zu regeln, dass die betreffenden anderen völkerrechtlichen Vereinbarungen bei der Anwendung des WTO-Vertragswerks zu respektieren sind.

handelbar, würden jedoch eine zeitliche Abwertung erfahren, um den Mengeninput über gewisse Zeiträume gezielt reduzieren zu können. Basierend auf umfangreichen Stoffbilanzen könnten konkrete Reduktionsziele für die Verwendung von raffiniertem Blei und Kupfer im Rahmen eines Gesamtkonzeptes für knappe nicht erneuerbare Ressourcen formuliert werden. Lizenzverteilung und –handel würde der Wirtschaft übertragen, dem Staat obläge die Überwachung, die Festsetzung der Abwertungsraten und die Schaffung der rechtlichen Rahmenbedingungen.

Die Konkurrenz verschiedener Anwendungen ein und desselben Stoffes (z.B. Bleikristall und Halbzeug im Bau) führt im Idealfall zu volkswirtschaftlich effizienten Allokationen, da die Materialreduzierungen zunächst dort stattfinden würden, wo die Differenz der Kosten von Substituten am geringsten ist. Die Lenkungswirkung einer Lizenzpflicht wäre allerdings begrenzt, da es für die Hauptanwendungen von Blei, Akkumulatoren und Strahlenschutz, keine geeigneten Substitute auf werkstofflicher Ebene gibt. Bei Kupfer stellt sich die Situation bei Verwendung als Leitmaterial ähnlich dar, da Aluminium in den meisten Anwendungen eine deutlich schlechtere Funktionalität aufweist. Um das Wirtschaftsleben nicht durch künstliche Verknappung zu begrenzen, sind generelle Rohstoff-Abbaulizenzen bei Stoffen mit ausreichenden Substitutionsmöglichkeiten in den Hauptverwendungen adäquat, eine Lizenzpflicht kann jedoch auch nur für einzelne Anwendungen als Input-Lizenzpflicht konzipiert werden (vgl. Kap. 6.6). Für die Begrenzung der Menge an Primär-Kupfer und Primär-Blei gilt es insoweit zu bedenken, dass für die Erhöhung des Sekundärrohstoffanteils andere (mildere) Maßnahmen in Betracht kommen.

Eine isolierte **Besteuerung des Einsatzes der Einzelstoffe Blei/Kupfer (oder Primär-Blei/Kupfer)** ist nicht sinnvoll. Die Aufgabe der Bestandsbewirtschaftung stellt sich bei diesen Stoffen nicht exklusiv, sondern nur beispielhaft. Deshalb erscheint der Ansatz einer Besteuerung allenfalls im Rahmen eines Gesamtkonzeptes zur Rohstoffbesteuerung sinnvoll vorstellbar. Erste Einzelbeispiele einer Primärressourcenabbausteuer, „royalties“ genannt, sind aus Indonesien bekannt. Die Erarbeitung eines derartigen Gesamtkonzeptes würde indessen eine in sich schlüssige Bewertung einer großen Zahl von Primärrohstoffen voraussetzen, für die noch nicht genügend Vorarbeiten geleistet worden ist. Insoweit ist auch zu bedenken, dass eine Besteuerung - so sinnvoll sie auch an sich sein mag - ein relativ starres Instrument darstellt, dessen Einsatz erschwert ist, wenn die Marktverhältnisse starken Bewegungen unterworfen sind oder wenn - wie hier - eine Vielzahl von Stoffen betroffen ist, für die jeweils sehr unterschiedliche Marktverhältnisse bestehen.

Ebenso wie die Lizenzpflicht kann die Steuer als Primärressourcenabbausteuer oder als Einsatzsteuer für die nicht unterscheidbaren Primär- und Sekundärrohstoffe konzipiert werden. Auch hier stellt sich die institutionelle Frage der Steuererhebung und der Gewichtung unterschiedlicher Ressourcen. Im Unterschied zur Lizenzpflicht ist eine Steuer ökologisch nicht treffsicher, wohl aber ist sie effizient und verfügt über eine dynamische Anreizwirkung. Aufgrund der ungeklärten institutionellen Verankerung sind die Transaktionskosten von Primärressourcensteuer und Lizenzpflicht nicht quantifizierbar, dürften jedoch angesichts der heterogenen Akteurskonstellationen mit Bergbauunternehmen, Nationalstaaten und supranationalen Institutionen beträchtlich ausfallen.

#### 5.2.4 Outputbezogene Regelungen

Das deutsche und europäische Umweltrecht hat sich vor allem aus der Emissions- und Abfallentsorgungsproblematik entwickelt. Spielen die Blei- und Kupferemissionen aus Hütten und



verarbeitenden Betrieben ihrer Menge nach keine Rolle für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung, so finden sich in Bauabfällen, Altfahrzeugen und EE-Geräten beträchtliche Blei- und Kupferfrachten. Folgen die EU-Verbrennungs- und –Deponierungsrichtlinien sowie ihre nationalen Umsetzungen 17. BImSchV und TA Abfall/TA Siedlungsabfall dem Paradigma der schadlosen Abfallentsorgung, so fußen das Basler Übereinkommen über die grenzüberschreitende Verbringung von Abfällen sowie die drei aktuellen Verordnungsentwürfe der Bundesregierung über Gewerbeabfälle, Deponien und Langzeitlager und den unterirdischen Versatz auch auf ressourcenpolitische Erwägungen.

Das **Basler Übereinkommen** ist von der EU modifiziert und als EG-Verordnung für die Mitgliedsstaaten rechtsverbindlich erlassen worden.<sup>50</sup> Die Verordnung gliedert sich in drei Teile. Teil 1 ist in ein Verzeichnis A (Ausfuhrverbot – z.B. Abfälle von Bleiakкумуляtoren) und B (kein Ausfuhrverbot – z.B. Blei- und Kupferschrott in nicht disperser Form) aufgeteilt. Fällt ein Abfall weder unter Verzeichnis A oder B von Teil 1, so muss geprüft werden, ob er unter Teil 2 (z.B. Abfälle aus der thermischen Blei- und Kupfermetallurgie) oder Teil 3 (Gelbe Liste: z.B. Blei- und kupferhaltige Aschen und Rückstände; Rote Liste: z.B. bleihaltiger Antiklopfmittelschlamm) fällt. Ist dies der Fall, so unterliegt er dem Ausfuhrverbot. Aus- und Einfuhrverbote haben ihre Bedeutung für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung darin, dass z.B. Akkumulatorschrott zwar in Länder des Basler Übereinkommens importiert werden dürfen, aber nicht exportiert. Aufgrund des beträchtlichen Verwaltungsaufwandes auch bei lediglich notifizierungspflichtigen Abfällen und faktischen Handelsbeschränkungen sind Industrie und Entsorgungsunternehmen an möglichst umfangreichen Ausnahmetatbeständen interessiert. Da sowohl Blei als auch Kupfer zu großen Anteilen aus Sekundärrohstoffen gewonnen werden, sind zahlreiche Abfälle nicht nur gefährlich (z.B. Kupfer enthaltende Ätzlösungen), sondern gleichzeitig auch ein Rohstoff. Die Beurteilung der Potenziale von Exportrestriktionen für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung kann nur produktspezifisch erfolgen. Rechtlich ist zu gewährleisten, dass keine versteckten Handelshemmnisse im Sinne des WTO-Regimes vorliegen.

Der Entwurf einer Verordnung über die Entsorgung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen (**Gewerbeabfallverordnung**- GewAbfV-E) vom 7.11.2001 gebietet dem Erzeuger und Besitzer zwecks möglichst hochwertiger Verwertung eine Getrennthaltungspflicht für gewerbliche Abfälle, wobei auch eine separate Metallfraktion getrennt zu sammeln, lagern, einzusammeln, zu befördern und einer Verwertung zuzuführen ist (§ 3). Eine energetische Verwertung gemischter gewerblicher Siedlungsabfälle darf nur stattfinden, wenn in diesem Abfallgemisch u.a. auch keine Metalle sind (§ 6). Gemäß § 7 gelten die Getrennthaltungspflichten bei bau- und Abbruchabfällen analog zu gewerblichen Abfällen, allerdings ist hier eine Fraktion „Metalle, einschließlich Legierungen“ getrennt zu halten und einer Verwertung zuzuführen.

Im Entwurf einer Verordnung über Deponien und Langzeitlager (**Deponieverordnung** – DepV-E) vom 4.9.2001 und im Entwurf einer Verordnung über den Versatz von Abfällen unter Tage (**Versatzverordnung** – VersatzV-E) vom 6.2.2002 ist ein Vorrang der Rückgewinnung wiederverwertbarer Stoffe vorgesehen. Sind von der Ablagerung auf Deponien z.B. verwertbare Abfälle wie Altreifen ausgenommen, so findet sich in § 3 VersatzV ein Passus, wonach Abfälle, welche die in Anlage 1 aufgeführten Metallgehalte erreichen, weder zur Herstellung von Versatzmaterial noch unmittelbar als Versatzmaterial eingesetzt werden dürfen, wenn die Gewinnung

---

<sup>50</sup> Die Verordnung Nr. 259/93 EWG ist durch die Verordnung Nr. 2408/98 geändert worden.

der Metalle aus den Abfällen technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist. Die Metallgehalte in Anhang 1 sind wie folgt festgelegt:

**Tabelle 5-4: Grenzwertkonzentrationen für Metalle im Abfall nach Versatzverordnung**

Metall	Zink	Blei	Kupfer	Zinn	Chrom	Nickel
g/kg	100	100	10	15	150	25

Quelle: VersatzV-E

Diese Grenzkonzentrationen sind in etwa am eineinhalbfachen der natürlichen Erzkonzentration orientiert. Diese Sichtweise zur Konkretisierung des Vorrangs der Verwertung vor der Beseitigung im KrW-/AbfG könnte ebenso für die oberirdische Ablagerung geltend gemacht werden, auch wenn die Überwachung angesichts der Vielzahl an Deponien im Vergleich zu den wenigen Untertagedeponien schwer sein dürfte. Zahlreiche blei- und kupferhaltige Abfälle, wie z.B. EE-Schrott wären von einem solchen Ablagerungsverbot betroffen und könnten durch flankierende Maßnahmen einer Verwertung zugeführt werden.

In Fachkreisen tauchen immer wieder Instrumente wie Deponiesteuer/-abgaben, Getrennthaltungspflichten (Monodeponien bzw. –Monodeponiebereiche) und seltener auch kollektive Verwertungsquoten auf. Die Realisierung einer kollektive Verwertungsquote für Blei und Kupfer würde an der großen Zahl beteiligter Akteure und Anwendungen scheitern und wäre aufgrund der unterschiedlichen Nutzungszeiten blei- und kupferhaltiger Produkte nicht operabel. Mit Deponiesteuer/-abgaben und Getrennthaltungspflichten gibt es jedoch bereits praktische Erfahrungen.

Für ökonomische Instrumente, z.B. die in einigen Bundesstaaten der USA praktizierte **Deponiesteuer/-abgabe**, bedürfte es neben einem Paradigmenwechsel einer übergreifenden Konzeption für die Abgabenerhebung auf Abfälle, da sich das Instrument in das Gesamtsystem der Abfallwirtschaftspolitik einfügen müsste. Das gegenwärtige Recht geht einen hiervon abweichenden Weg, indem es zumindest für Teilbereiche relativ klare ordnungsrechtliche Vorgaben macht. Jüngste Beispiele dafür sind die vorliegenden Entwürfe der GewerbeabfallV, der DeponieV und der BergversatzV. Von der Art her bleibt – ungeachtet des Inhalts im Einzelnen - neben diesen Instrumenten nur wenig Raum für ein System steuerlicher Anreize zur Beeinflussung des Umgangs mit den Abfällen.

In der Literatur finden sich vereinzelt Positionen, die die Bedeutung von Deponien als Rohstofflager hervorheben. In der Tat lagern insgesamt mächtige Blei- und Kupfervorkommen in geringer Konzentration auf einer Vielzahl von Deponien. Vor dem Hintergrund derzeit unzureichender Recyclingtechnologien und Marktanreize und möglicher zukünftiger Fortschritte können auch **Getrennthaltungspflichten** für einzelne Abfallarten **auf Deponien** in Erwägung gezogen werden, um eine zukünftige Wiedergewinnung zu ermöglichen. Dazu könnten z.B. alle metallischen Abfälle mit definierten Metallgehalten (vgl. obige Tabelle) unabhängig von ihrer Herkunft (z.B. EE-Schrott oder Produktionsabfälle) gehören. Die Getrennthaltungspflicht müsste zum einen durch Anforderungen an die Lagerung, zur Minimierung der Metallmobilisierung und zum anderen durch eine Pflicht der Betreiber zur Führung eines Deponiekatasters mit An-

gaben zur Lage, Mächtigkeit und Qualität von vorwiegend metallischen Fraktionen flankiert werden.<sup>51</sup> Konzepte zum Deponierecycling befinden sich noch in den Kinderschuhen.

Diese Sichtweise erfordert einen Paradigmenwechsel im Kreislaufwirtschafts- und Abfallrecht. Deponien dienen dann nicht nur der Abfallbeseitigung, sondern auch der zukünftigen Abfallverwertung, sprich Rohstoffgewinnung. Diese Doppelfunktion birgt jedoch im Ansatz ggf. einen Zielkonflikt zwischen Inertisierung und leichter Wiedergewinnbarkeit des Abfalls in sich, weshalb zwischen verschiedenen Abfallarten und Deponiebereichen zu differenzieren ist.

Die drei **Verordnungsentwürfe des BMU** über Deponien und Langzeitlager, Gewerbeabfälle und Bergversatz mit ihren Getrennthaltungspflichten und Ablagerungsanforderungen bergen Potenziale im Hinblick auf nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei und **können produktbezogene Maßnahmen** zum Recycling **sinnvoll ergänzen**.

### 5.2.5 Informatorische Grundlagen für ein Stoffstrommanagement

Die informatorischen Grundlagen für ein Stoffstrommanagement setzen bei der Erhebung auf der Mikroebene an und werden auf der Makroebene zu volkswirtschaftlichen Daten zusammengeführt. Statistische Erhebungen auf der Mikroebene können durch Abschätzungen in FuE-Projekten ersetzt oder ergänzt werden. Die aggregierten Daten auf der Makroebene dienen den Nationalstaaten und der EU zur Analyse und Kontrolle von Stoffströmen, sowie zur Ableitung von Szenarien und volkswirtschaftlichen Zielen.

Wie bereits in den Kapiteln 3 und 4 dargestellt, ist die **Datenlage** bei den Stoffströmen von Blei und Kupfer bis zur 1. Verarbeitungsstufe verhältnismäßig gut. Mit steigendem Verarbeitungsgrad tragen Kupfer und Blei oft nur noch marginal zum Gesamtgewicht eines Produktes bei und werden in den Statistiken des Statistischen Bundesamtes nicht gesondert ausgewiesen. Über die Bestandslager gibt es keine offiziellen Statistiken, allein Forschungsprojekte liefern Anhaltspunkte über die Blei- und Kupferbestände in singulären Anwendungen. Auf der Abfallseite wiederum gibt es Statistiken, die vor allem bei den Produktions- und End-of-Life-Abfällen in Verknüpfung mit typischen Blei- und Kupfergehalten Hinweise auf die Blei- und Kupferströme geben. Allerdings ist festzuhalten, dass die Produktionsstatistik keine Bestandslagerperspektive einnimmt und die Abfallstatistik vorrangig dem Entsorgungsmanagement und nicht der Wiedergewinnung von Sekundärrohstoffen dient.

“Für Zwecke der Umweltpolitik werden Erhebungen als Bundesstatistik durchgeführt” (§ 1 **UStatG**). Die Erhebungen umfassen u.a. die Abfallentsorgung, die Abfälle und Sekundärrohstoffe, über die Nachweise zu führen sind und die Verwertung und Entsorgung bestimmter Rückstände (§2). Erzeuger, bei denen der Anfall einer bestimmten Menge besonders überwachungsbedürftiger Abfälle überschritten wird, müssen nach § 19 und 20 KrW-/AbfG i.V.m. **Abfallwirtschafts- und –bilanzverordnung** ein Konzept über die Vermeidung, Verwertung und Beseitigung dieser Abfälle vorlegen. Zahlreiche blei- und kupferhaltige Produktionsabfälle zählen zu den besonders überwachungsbedürftigen Abfällen, allerdings sorgen Marktanreize bereits für eine weitestgehende Verwertung. Für das Umweltbundesamt als per Gesetz eingerichtete Bundesoberbehörde, die zum “Aufbau und Führung eines **Informationssystems zur Umweltplanung** sowie zur zentralen Umweltdokumentation” (UBAG § 2 (1) Nr. 2 beauftragt ist, bedeutet es einen gehörigen Aufwand die bei den Landesbehörden vorliegenden Umweltin-

<sup>51</sup> Die Getrennthaltungspflicht in Verbindung mit einem Deponiekataster bedeutet für die Deponiebetreiber eine Erhöhung ihrer Betriebskosten. Dies könnte zu einer Preiserhöhung für die Ablagerung metallhaltiger Abfälle auf Deponien führen, was andere Entsorgungswege attraktiver macht.

formationen in vergleichbarer Form zu erhalten. Ein erster Ansatz, die bei den Landesbehörden vorliegenden Informationen zusammenzuführen ist mit dem Internetportal GEIN geschaffen worden. Auf europäischer Ebene nimmt die Europäische Umweltagentur Aufgaben der Umweltinformation und Überwachung wahr (EG VO 1210/90).

Seit dem 1.10.1998 gilt für die **Ausfuhr von Sekundärkupfermaterialien** aus Ländern der EU eine **statistische Überwachungspflicht**. Vergleichbares gibt es nicht für Sekundärbleimaterialien. Die Entscheidung der EU Kommission hat sofortige nationalstaatliche Rechtsverbindlichkeit. Das Vorgehen der EU-Kommission wurden mit der Verknappung von Sekundärkupfermaterialien im europäischen Wirtschaftsraum durch Exporte nach Fernost begründet. Diese Exportanreize rühren von begünstigenden Zollbestimmungen in Ländern wie China, Korea und Indien her. Die statistische Überwachungspflicht bezieht sich auf eine umfangreiche Liste von Raffinadekupferschrotten sowie Abfällen und Schrotten aus Kupferlegierungen. Explizit eingeschlossen sind Kupfer-Eisenabfälle und Elektronikschrott. Die statistische Überwachung gilt zunächst für zwei Jahre und bezieht sich auf jede Ausfuhr. Die Berichtserstattung an die Kommission hat Angaben über Art, Menge, Exporteur sowie Ursprungs- und Bestimmungsland zu enthalten.

In Deutschland gibt es bislang keine konkreten **Ziele** für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei und Kupfer. Auch die nationale Nachhaltigkeitsstrategie spart die Ressourcenperspektive von knappen nicht erneuerbaren Metallen weitgehend aus. Im Rahmen der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie der Niederlande wurde dagegen das Ziel formuliert, dass Maßnahmen zur Erhöhung der globalen statischen Reichweite nicht erneuerbarer Ressourcen auf mindestens 50 Jahre zu ergreifen sind. In Bezug auf Blei und Kupfer würde dies bei einem konstanten Reservenbestand in etwa eine Halbierung der Primärrohstoffentnahme bedeuten. Die schwedische Regierung hat das Ziel "A non-toxic environment" ausgerufen, wobei anvisiert ist, dass neue Produkte ab 2010 bleifrei sein sollen (Swedish Environmental Quality Objectives, Government Bill 1997/98:45).

Input-/outputbezogene Bilanzierungsvorschriften sind sowohl für die staatliche Informationsbeschaffung - die ihrerseits Grundlage der staatlichen Zielplanung ist - als auch für umweltbewusste Betriebs- und Wirtschaftsentscheidungen von großer Bedeutung. Dies betrifft sämtliche umweltrelevanten Massenstoffe, nicht nur besondere Problemstoffe in größeren Produktionszusammenhängen. Insoweit bedarf es nicht nur einer Ausweitung der bestehenden (abfallbezogenen) **Bilanzierungspflichten** (wie z.B. die Abfallwirtschafts- und Bilanzverordnung), sondern auch deren Kontrolle. Die inhaltliche Ausgestaltung dieses Instrumentes wird in der vertiefenden Analyse der Handlungsfelder verfeinert. Stoffstrommanagement-Systeme scheinen jedoch nicht nur auf der betrieblichen Ebene, sondern vor allem auch branchenspezifisch und regional zielführend. Sie erlangen jedoch erst durch Zielsetzungen, geeignete Rahmenbedingungen und konkrete Einzelmaßnahmen ihre volle Wirksamkeit. Grenzen für umfassende Stoffbilanzierungspflichten liegen insbesondere in der föderalen Umweltverwaltungsstruktur in Deutschland und dem hohen Aufwand für kleine und mittlere Unternehmen. Ohne auf hinreichenden Informationen basierende, belastbare umweltpolitische **Zielvorgaben** lässt sich der Einsatz von in bestehende Rechte und Marktverhältnisse eingreifenden "harten" Instrumenten nicht rechtfertigen. Das Instrument ist zwar als solches schwach, aber notwendige Voraussetzung für weitergehende lenkende staatliche Eingriffe.

**Forschungsbedarf** besteht in der Zusammenführung von Daten und Bilanzen der Produktionsstatistik mit Daten und Bilanzen der Stoffstromrechnung, Abschätzung der ökologischen Last-

pakete (über Deutschland hinaus) sowie in der Präzisierung und im Ausbau der durch das Statistische Bundesamt seit 1994 erstellen Materialflussrechnung. Es erscheint vordringlich, die Bemühungen um die Entwicklung von Informationssystemen und eines Systems von Umweltindikatoren (umweltökonomische Gesamtrechnung) auf der Basis von relevanten Stoffstromdaten zu verstärken.

### 5.3 Instrumente der Grobsteuerung für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei

Bestehende **Initiativen der Marktbeteiligten** haben vorwiegend das Ziel der Umweltschonung und nicht der Ressourcenschonung. Insbesondere die Problematik der externen Kosten und andere Fehlallokationen des Marktes werden von freiwilligen Initiativen nur peripher aufgegriffen. Insbesondere branchenorientierte Akteurskooperationen und die Normung bergen Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei. Ebenso wie bei den produktbezogenen Regelungen des Kreislaufwirtschaftsrechts können Potenziale und Grenzen jedoch nur anhand einzelner Handlungsfelder beurteilt werden.

**Umwelt-, Kreislaufwirtschafts- und Rohstoffversorgungspolitik** sind in Deutschland noch nicht integriert. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe widmet sich der Rohstoffpolitik, das Umweltbundesamt der Umweltpolitik und die Sekundärrohstoffwirtschaft wird sowohl im Wirtschafts- als auch im Umweltressort mit jeweils unterschiedlichen Akzenten verfolgt. Eine Gesamtschau des deutschen Umweltrechts und Stoffrechts ergibt eine hohe staatliche Regulierungsdichte in komplexen Regelwerken. Das deutsche Umwelt- und Stoffrecht erweist sich als ordnungsrechtlich orientiert, ergänzt um freiwillige Initiativen. Ökonomische Instrumente sind noch die Ausnahme. Das deutsche Umweltrecht ist historisch gewachsen und erfährt zunehmend eine medienübergreifende Ausprägung. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz trägt zwar den Ressourcenschutzgedanke in sich, die Begründungen und die Ausgestaltung des untergesetzlichen Regelwerks fokussieren jedoch meist auf die geordnete Entsorgung.

In Deutschland wird gegenwärtig eine **nationale Nachhaltigkeitsstrategie** entworfen. Eine weitere Operationalisierung der Erkenntnisse der Enquetekommissionen zum Schutz des Menschen und der Umwelt steht derzeit nicht auf der Tagesordnung. Inhalte einer nationalen Strategie für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung können z.B. Stoffbilanzen, Trendmonitoring, Szenarien, Zielvorgaben, Forschungsvorhaben und Umsetzungsinstrumente wie Roadmaps und Selbstverpflichtungen und rechtliche Regelungen sein. Rechtliche Relevanz erhält eine nationale Strategie nur durch ihre Implementierung, z.B. in Form von Bilanzierungspflichten oder Exportregulierungen für gelöschte Alt-Kfz und Altschrotte. Welche Stoffströme für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei erhoben werden müssten, wird in der Analyse ausgewählter Handlungsfelder ergründet. Im nationalen Umweltplan der Niederlande wurde für alle knappen, nicht erneuerbaren Ressourcen das Ziel einer statischen Reichweite von mindestens 50 Jahren formuliert, woraus sich auch für Blei und Kupfer erheblicher Handlungsbedarf ableitet. In Norwegen liegt mit dem Product Control Act ein Gesetz vor, das grundsätzlich für gefährliche Stoffe den Unternehmen eine Prüf- und Dokumentationspflicht auferlegt, ob sie nicht ersetzt werden können. Damit wird die Integrierte Produktpolitik der EU aufgegriffen. In Dänemark will man den Bleiverbrauch grundsätzlich so weit wie möglich vermindern (Danish Lead Ban) und auch in Schweden gibt es die Vision eines weitgehend bleifreien Wirtschaftens ab 2010.

Auf **EG-Ebene** gibt es viele produktbezogene und chemikalienrechtliche Regelungen und auch freiwillige Initiativen. Die Entscheidung der EU-Kommission, die Ausfuhren an Sekundärkupfermaterialien von den Nationalstaaten überwachen zu lassen hat in Deutschland noch keine weiteren konkreten Initiativen oder rechtlichen Schritte folgen lassen. Blei ist in zahlreichen EG-Regelungen ins Visier gerückt worden, allerdings erfolgt auch hier die Begründung von Verwendungsbeschränkungen vorwiegend toxikologisch und nicht ressourcenpolitisch motiviert.

Auf **globaler Ebene** ist man von einer Stoffstromsteuerung noch weit entfernt. Das Primat des Freihandels, wie es derzeit im WTO-Recht verankert ist, erschwert eine nachhaltige Stoffpolitik. Zahlreiche nationale und europäische Instrumente der Fein- und der Grobsteuerung für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung dürften im Einzelfall mit WTO-Recht kollidieren. Ansätze zur Internalisierung externer Kosten des Bergbaus und der weltumspannenden Transporte werden vorwiegend in akademischen Kreisen diskutiert. Es bleibt festzuhalten, dass es im Weltmaßstab noch keine geeignete Institution zu geben scheint, die für eine globale Stoffpolitik gerüstet ist. Langfristig ist eine solche Institution jedoch möglicherweise erforderlich.

**Aussichtsreiche Instrumente der Grobsteuerung** sind bei der IPP umfassende Stoffverbote und Substitutionsgebote, bei den outputsteuernden Maßnahmen vor allem Getrennhaltungspflichten und Deponierungsanforderungen sowie bei den inputsteuernden Maßnahmen die Primärressourcensteuer und die Lizenzpflicht. Zur Ausformung eines problem- und zieladäquaten Instrumentenmixes bedarf es jedoch weiterer Ergänzungen, Verfeinerungen und Abstimmungen unter den grundsätzlich als geeignet erscheinenden Instrumenten. Die Eignungsprüfung erfolgte bis zu diesem Punkt nur auf einer relativ allgemeinen Ebene. Die Einsetzbarkeit in der Praxis kann jedoch erst abschließend beurteilt werden, wenn die konkreten Gestaltungsmöglichkeiten für das einzelne Instrument stoff- und anwendungsspezifisch herausgearbeitet worden sind (vgl. Kap. 6).

Folgende Grobsteuerungsinstrumente versprechen Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung und werden in Kapitel 7 zusammen mit den Feinsteuerungsinstrumenten aus Kapitel 6 einer integrierten politisch-rechtlichen Beurteilung unterzogen:

### 5.3.1 Globale Ressourcensteuerung

Insbesondere auf WTO-Ebene ist zwar die Integration von Sozial- und Umweltstandards in den zwischenstaatlichen Handel zumindest im Gespräch, ökonomische Instrumente wie eine Primärressourcensteuer bzw. Lizenzpflichten würden jedoch einen Paradigmenwechsel der dem Freihandel verschriebenen WTO-Politik erfordern.

Im einzelnen werden in Kapitel 7 folgende beiden Grobsteuerungsinstrumente auf ihre rechtlichen und politischen Realisierungschancen geprüft:

- Primärressourcensteuer
- Lizenzpflicht

Diese Instrumentenvorschläge erstrecken sich nicht nur auf Blei und Kupfer, sondern auf den gesamten Bergbau, wobei die Metallgewinnung, insbesondere vor dem Hintergrund sinkender Metallkonzentrationen, als besonders umweltschädlich zu beurteilen ist. Da in Deutschland kein Kupfer- und Bleibergbau mehr stattfindet, dürften sich die Einflussmöglichkeiten vorwiegend auf EU- und WTO-Gremien beschränken.

### 5.3.2 Umfassende Verwendungsbeschränkungen im Rahmen der IPP

Die Übertragbarkeit folgender IPP-Konzepte in nationales Recht wird in Kapitel 7 geprüft:

Der Danish Lead Ban enthält neben dem Import- und Vermarktungsverbot für einen Kanon von kleineren schwer quantifizierbaren Bleiverwendungen (u.a. Angelblei, Lagermetall) auch entsprechende Verbote für Bleistabilisatoren in PVC,<sup>52</sup> Blei für Kabelmäntel < 24 kV, Bleihalbzeuge im Bau. Über die Berücksichtigung anderweitig geregelter Bleiverwendungen hinaus sind folgende Fragen zu klären:

- Ist der Danish Lead Ban grundsätzlich in Deutsches Recht übertragbar?
- Ist dafür ein eigenständiges Gesetz erforderlich oder sind die Ermächtigungen für Verordnungen nach ChemG § 17 und KrW-/AbfG §§ 22-23 ausreichend?

Ein umfassendes Verbot von Kupfer durch eine Verordnung zum Wasserhaushaltsgesetz oder ein separates Gesetz scheint nicht nur aufgrund der geringeren Humantoxizität wesentlich schwerer begründbar zu sein, sondern auch, weil zahlreiche Handlungsmöglichkeiten mit geringerer Eingriffstiefe möglich sind.

Im Norwegischen Product Control Act ist für einige Schwermetalle, darunter auch Kupfer und Blei, und andere persistente, akkumulierbare und toxische Verbindungen in § 3a eine grundsätzliche Pflicht zur Prüfung der Substituierbarkeit vorgeschrieben worden. Die Prüfpflicht erstreckt sich auf alle weiterverarbeitenden Betriebe und Hersteller von Endprodukten, aber auch auf gewerbliche Einrichtungen und die öffentliche Hand, die Endprodukte mit den entsprechenden Schadstoffen beziehen. Die tatsächliche Substitution ist dann nicht verpflichtend, wenn sie unverhältnismäßig großen Aufwand oder Kosten nach sich ziehen würden. Den Nachweis müssen allerdings die o.a. geführten Akteure führen.

Folgende Fragen sind zu klären:

- Ist das Substitutionsprinzip grundsätzlich in das deutsche Recht integrierbar?
- Welche Anforderungen müssten aus Gründen der Verhältnismäßigkeit das Substitutionsprinzip einschränken (z.B. eine bestimmte Betriebsgröße, Informationslücken)?

Als flankierende Maßnahmen sind formelle Anforderungen an die Dokumentation und Auskunftspflichten sowie die Möglichkeit der behördlichen Anordnung im Einzelfall einzuschließen.

Im Kontext des Instrumentenmixes für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei sind vor allem solche Verwendungen dem Substitutionsprinzip zu unterziehen, die nicht anderweitig geregelt sind und über deren Substituierbarkeit noch wenig bekannt ist, z.B. Blei in bestimmten keramischen Anwendungen. Die Dokumentation der Substituierbarkeit kann auch bei negativer Realisierbarkeit der Substitution dazu verwendet werden, andere Instrumente für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung zu verfolgen, z.B. die Förderung von Substituten durch flankierende Maßnahmen.

### 5.3.3 Getrennthaltungspflichten und Ablagerungsanforderungen

Die Ablagerung metallhaltiger Abfälle auf Deponien und als Bergeversatzmaterial kann aus Vorsorgegründen oder im Hinblick auf eine Wiedergewinnung der Metalle beschränkt werden. Diesbezüglich ist die Wirkung dreier Vorhaben der Bundesregierung zu beurteilen:

- Entwurf Gewerbeabfallverordnung des BMU<sup>53</sup>

---

<sup>52</sup> Kabelmassen aus Weich-PVC sind davon ausgenommen, unterliegen jedoch der PVC-Steuer in Dänemark.

<sup>53</sup> Vergl. [http://www.bmu.de/download/dateien/gewerbeabf\\_verord.pdf](http://www.bmu.de/download/dateien/gewerbeabf_verord.pdf).

- Entwurf Deponieverordnung des BMU<sup>54</sup>
- Entwurf Bergversatzverordnung des BMU<sup>55</sup>

Im Entwurf der Bergeversatzverordnung des BMU gibt es einen Passus, wonach der Bergversatz bei Überschreiten bestimmter Metallgehalte, auch für Blei und Kupfer, nicht gestattet werden soll, sofern eine Wiedergewinnung technisch und ökonomisch zumutbar ist. Gleiches wird auch für die Deponieverordnung vorgeschlagen.<sup>56</sup>

Darüber hinaus ist die Möglichkeit zu prüfen, Deponiebetreiber zum Führen eines Deponiekatasters, mit Charakterisierung einzelner Abfallarten für eine etwaige zukünftige Wiedergewinnung, zu verpflichten.

Diese drei instrumentellen Stränge werden durch die vertiefende Analyse ausgewählter Handlungsfelder in Kapitel 6 um die drei Stränge branchenorientierte Akteurskooperationen, Weiterentwicklung des produktbezogenen Rechts und umfassende Dokumentations- und Bilanzierungspflichten ergänzt und verfeinert.

---

<sup>54</sup> Vergl. [http://www.bmu.de/download/dateien/abfallw\\_deponiev\\_entw.pdf](http://www.bmu.de/download/dateien/abfallw_deponiev_entw.pdf).

<sup>55</sup> Vergl. [http://www.bmu.de/download/dateien/bergversatz\\_verord.pdf](http://www.bmu.de/download/dateien/bergversatz_verord.pdf).

<sup>56</sup> Vergl. Stellungnahme zur Ablagerung metallhaltiger Abfälle vom Öko-Institut ([http://www.oeko.de/bereiche/chemie/documents/stelldepv\\_221001.pdf](http://www.oeko.de/bereiche/chemie/documents/stelldepv_221001.pdf)).



## 6 Vertiefende Betrachtung einzelner Handlungsfelder

Aufgrund der Mengenrelevanz, Verwendungsmuster und der vermuteten Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung sind folgende 10 Handlungsfelder zur vertiefenden Analyse ausgewählt worden. Abweichungen von den Daten in den Kapiteln 3 und 4 beruhen auf den vertiefenden Analysen in diesem Kapitel.

**Tabelle 6-1: Einsatzmengen an Kupfer und Blei für die ausgewählten Handlungsfelder in Deutschland**

	Kupfer		Blei	
	Einsatzmenge [t/a]	Anteil [%]	Einsatzmenge [t/a]	Anteil [%]
Kraftfahrzeuge	155.000 t	9-14 %	ca. 10.000 t + Starterbatterien ca. 100.000 t	ca. 3 % + Akkus (s.u.)
Akkumulatoren			198.000 t, davon ca. 100.000 t Starterbatterien	60 %
Elektrische und elektronische Geräte	550.000-600.000 t (inkl. Infrastrukturkabel)	47 %		
Bleiglas in Bildschirmen			26.000 t	7,5 %
Weichlote in elektrischen und elektronischen Geräte			6.000-7.000 t	2-3 %
Gebäude	280.000 t	22 %	30.000 t	ca. 8 %
Bleistabilisatoren in PVC			12.000-15.000 t	3-4 %
Kabel und Leitungen außerhalb von Gebäuden	550.000-600.000 t (inkl. EE-Geräte)	s.o.	3.000 t	< 1 %
Wirtschafts- und Kristallglas			5.000 t – 10.000 t	1,5 – 3 %
Munition			ca. 10.000 t – 12.000 t	ca. 3 %
Summe:	ca. 900.000- 1.000.000 t	ca. 80- 85 %	ca. 300.000 t	85-90 %

Quelle: Eigene Zusammenstellung, Schätzungen für 1999-2001.

Insgesamt decken die ausgewählten Handlungsfelder ca. 85- 90 % des Verbrauchs an Blei ab. Für Kupfer decken die Handlungsfelder lediglich 80-85 % des gesamten nationalen Verbrauchs ab. Dies liegt unter anderem darin begründet, dass ca. 13% in sehr heterogenen Anwendungen in die Konsumgüterindustrie eingesetzt werden. Weitere mögliche Handlungsfelder und Zugriffsebenen sind Siedungs- und Produktionsabfälle, Maschinen- und Anlagenbau, maritime Verwendungen (Boote, Hafenanlagen), etc.

In jedem der 10 Handlungsfelder werden Einsatzbereiche, Stoffströme, Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung und Instrumente analysiert. In Kapitel 6.11 erfolgt eine handlungsfeldübergreifende Betrachtung der Mengenpotenziale und Strategien, in Kapitel 6.12 wird der instrumentelle Handlungsbedarf in den drei Bereichen Akteurskooperationen, Weiterentwicklung des produktbezogenen Rechts sowie Dokumentations- und Bilanzierungspflichten

zusammengefasst. Diese Instrumente ergänzen und verfeinern die in Kapitel 5.3 abgeleiteten Instrumente der Grobsteuerung.

## **6.1 Handlungsfeld Kraftfahrzeuge**

Das Feld der Kraftfahrzeuge wird im wesentlichen von Pkw und Nfz geprägt.<sup>57</sup> Der durchschnittliche Verbrauch von Kupfer im Automobilbau kann im Mittel mit 25 kg pro Pkw und 67 kg pro Nfz<sup>58</sup> abgeschätzt werden (Copper Data Center 2001, Bögel 2000). Für Blei beträgt die durchschnittliche Einsatzmenge 12,5 kg pro Pkw und ca. 21 kg pro Nfz. 85 bis 90 % davon entfallen auf die Starterbatterie (Steil 2000, Ökopol 2001). Bei ca. 40,6 Mio. Pkw und 17 Mio. Nfz die im Jahr 2000 weltweit hergestellt wurden, beträgt der globale Kupfereinsatz in der Automobilherstellung ca. 2,16 Mio. t und der Bleieinsatz 866.000 t. Im Jahr 2000 wurden in der deutschen Automobilproduktion in 5,1 Mio. produzierten Pkw und 0,4 Mio. Nfz (VDA 2001) ca. 155.000 t Kupfer und ca. 72.000 t Blei eingesetzt. Damit gehen geschätzte 13,7 % des jährlichen nationalen Kupferbrauchs und 19,3 % des Bleiverbrauchs in den Fahrzeugbau. Im deutschen Kfz Bestand waren zum 1. Juli 2001 ca. 1,44 Mio. t Kupfer und ca. 663.000 t Blei gebunden (KBA 2001, DAT 1999, eigene Berechnungen). Damit sind Kfz ein mengen-relevantes Handlungsfeld der nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei.

### **6.1.1 Einsatzbereiche, Materialien und Produkte**

#### **Kupfereinsatz in Kraftfahrzeugen**

Der Einsatz von Kupfer erfolgt hauptsächlich aufgrund seiner elektrischen Leitfähigkeit. Daher wird Kupfer in Kraftfahrzeugen zu ca. 75 % - als reine Kupfer-Sorten - in stromdurchflossenen Aggregaten und Baugruppen eingesetzt. Darüber hinaus wird Kupfer aufgrund seiner hohen Duktilität, Oxidationsbeständigkeit, Kaltumformbarkeit, Federeigenschaft und thermischen Belastbarkeit in Form von verschiedenen Kupferlegierungen eingesetzt.

Dabei sind im Einzelnen folgende Legierungen und ihre Einsatzgebiete zu nennen:

- Kupfer-Zink-Legierungen für Kontakt- und Kabelklemmen, Lager und Lagergehäuse, Schaltgabeln, Synchronringe, Öl- und Schmierstoffleitungen sowie Autokühler
- Kupfer-Zinn-Legierungen für Federbänder, Schneid-, Klemm- und Steckverbindungen
- Kupfer-Aluminium-Legierungen für Gussteile im Antriebsmotor
- Kupfer-Nickel-Legierungen für elektrische Widerstände, Relais und Steckverbindungen
- Kupfer-Nickel-Zink als Zieh- und Stanzteile für Lampensockel, Gehäuse Armaturen und als Dekoration in Form von Zierringen und -leisten.

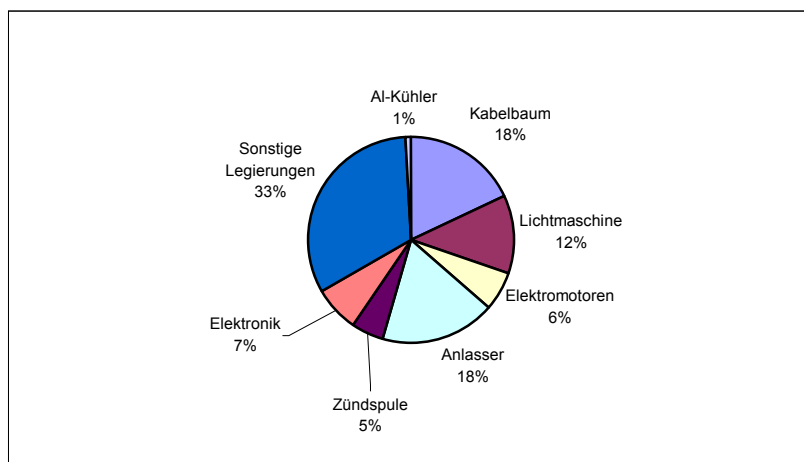
Einen Überblick über die Verteilung der verschiedenen Kupferanwendungen gibt folgende Abbildung:

---

<sup>57</sup> Unter Kraftfahrzeugen [Kfz] wird so fern nichts anderes angegeben im Weiteren die Gesamtheit aller mit einem Verbrennungsmotor betriebenen Straßenfahrzeuge und ihre Anhänger verstanden. Darunter fallen Personen- und Kombinationskraftwagen, Liefer- und Lastkraftwagen, Kraftomnibusse, Straßenzugmaschinen, Feuerwehr- und Kommunalfahrzeuge, Kraftwagenanhänger und Krafträder (StABA 2000b, Verkehr in Zahlen 2001). Diese Definition unterscheidet sich von der Begriffsbestimmung wie sie in Artikel 2 Abs. 2 der Richtlinie 2000/53/EG festgelegt wird. Dort wird Bezugnehmend auf die Richtlinie 70/156/EWG bzw. 92/61/EWG unter „Fahrzeug“ Personenkraftwagen (M1), leichte Nutzfahrzeuge (N1) sowie dreirädrige Kraftfahrzeuge verstanden.

<sup>58</sup> Nutzfahrzeuge: Summe aus schweren und leichten Lastkraftwagen, Zugmaschinen und Omnibussen.

**Abbildung 6-1: Verteilung des Einsatzes von Kupfer in Kraftfahrzeugen**



Quelle: Copper Data Center 2001; Bögel 2000; eigene Berechnungen.

Detaillierter stellt folgende Tabelle die Verteilung der Kupfermengen auf die verschiedenen Anwendungen und Baugruppen dar:

**Tabelle 6-2: Verteilung des Einsatzes von Kupfer in Kraftfahrzeugen im Detail**

Verwendungsart	Bauteil/-gruppe	Kupfergehalt [kg]
metallisches Kupfer	Kabelbaum	4,55
	Elektronik	1,80
	Lichtmaschine	3,03
	Elektromotoren	1,52
	Anlasser	4,55
	Zündspule	1,21
Kupferlegierungen	Kühler	0,23
	Getriebe/Kupplung	1,80
	Aufbau	4,63
	Schaltung	0,03
	Vorderachse	0,01
	Lenkung	1,20
	Bremsanlage	0,12
Kraftstoffanlage	0,35	
Summe		25

Quelle: Copper Data Center 2001; Bögel 2000; eigene Berechnungen.

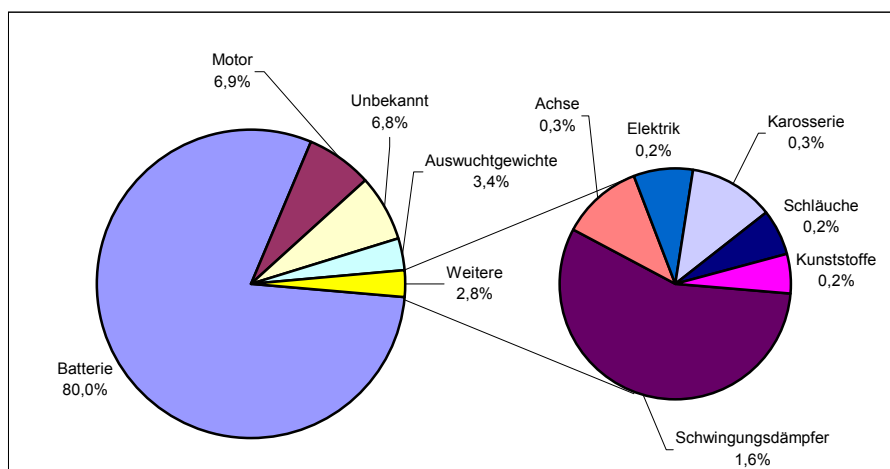
Knapp die Hälfte der gesamten Kupferfracht ist in Motor und Antriebsstrang konzentriert. Auf Lichtmaschine und Anlasser entfallen 30 % der Kupferfracht. Werden die Zündspule und die Elektromotoren hinzugenommen erhöht sich die summierte Kupferfracht dieser Teile auf 40%. Die obige Kupferverteilung geht von einem Aluminiumkühler aus. Mit einem Messingkühler erhöht sich die Kupferfracht um 3-4 kg. Der Kupferanteil in Kraftfahrzeugen wächst beständig (Nickel 1996, WVM 2000). Dies ist auf die zunehmende Ausstattung mit elektrischen und elektronischen Apparaten zurückzuführen. Eine Zunahme des Kupfereinsatzes ist auch im Bereich

der Hochleistungslegierungen anzunehmen. Der Anspruch an komplexe Werkstoffeigenschaften führt weg vom universellen Massenwerkstoffen hin zu hochspezialisierten Werkstoffen.

**Bleieinsatz in Kraftfahrzeugen**

Der Bleieinsatz in Kraftfahrzeugen wird von den Starterbatterien dominiert. In diesem Einsatzfeld konzentrieren sich je nach Fahrzeugmarke, -typ und –ausstattung zwischen 80 und 95 % der gesamten Bleianwendung. Die übrige Verwendung von Blei erfolgt in Auswuchtgewichten und Schwingungsdämpfern, in Weichloten, als sonstiger Legierungsbestandteil und als Additiv in Kunststoff, Glas und Keramik. Einen Überblick über die Verteilung der verschiedenen Bleianwendungen gibt folgende Abbildung:

**Abbildung 6-2: Verteilung des Einsatzes von Blei in Kraftfahrzeugen**



Quelle: Ökopol 2000; Ökopol 2001; eigene Berechnungen.

Detaillierter stellt folgende Tabelle die Verteilung der Bleimengen auf die verschiedenen Verwendungsformen dar:

**Tabelle 6-3: Verteilung des Einsatzes von Blei in Kraftfahrzeugen im Detail**

Verwendungsform	Mittlerer Bleigehalt pro Kfz [kg]
Starterbatterie, Auswuchtgewichte und Schwingungsdämpfer	10.425
Additiv	123
Glas/Keramik Martix	1
Al-Pb-Legierung	460
Fe-Pb-Legierung	55
Cu-Pb-Legierung	537
Sn-Pb-Legierung	30
Al-Pb-Verbund	24
Unbekannt	845
Summe	12.500

Quelle: Ökopol 2000; Ökopol 2001; eigene Berechnungen.

Die Bleianwendung im Fahrzeugbau erfolgt zu 80 % in der Starterbatterie. Zusammen mit den Schwingungsdämpfern und den Auswuchtgewichten dominiert dieser Posten –vorwiegend

Reinblei - deutlich.<sup>59</sup> Bleihaltige Legierungen außerhalb der Batterie stellen mit ca. 9 % die zweitbedeutendste Verwendungsform dar. Während Blei in einer Glas-Keramikmatrix lediglich im Promillebereich Anwendung findet, können ca. 7 % der durchschnittlichen Bleifracht im Kfz nicht erklärt werden. Der Bleianteil im Kfz ist in der Vergangenheit relativ konstant geblieben, da er zu ca. 80% an die Starterbatterie gebunden ist. Bei Blei in Auswuchtgewichten ist ebenfalls von einer gleichbleibenden Anwendung in einer Größenordnung von 0,8 bis 1,9 Gew.-% auszugehen. Für den Einsatz von Blei in Schwingungsdämpfern liegen Anzeichen für steigende Anteile vor. So ist eine deutliche Zunahme von Leichtbaumaterialien wie Aluminium und Kunststoff im Automobilbau zu verzeichnen. Diese Leichtbauweise stellt jedoch erhöhte Anforderungen an das Gewicht der Schwingungsdämpfer. In einzelnen Fahrzeugen werden bis zu 4,7 kg Blei in Schwingungsdämpfern eingesetzt, der typische Anteil am gesamten Blei beträgt jedoch nicht entsprechend 19 %, sondern 0,8 bis 2,4%. Ein weiterer die Bleianwendung verstärkender Faktor ist die zunehmende Elektronisierung und Elektrifizierung die einen vermehrten Einsatz von bleihaltigen Weichloten nach sich zieht. Die Starterbatterien für Kfz sind aufgrund ihrer quantitativen Bedeutung für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei von zentraler Bedeutung. Mit einem Gewicht von 10 kg dominiert die Bleibatterie die gesamte Bleianwendung im Fahrzeugbau. Aufgrund dieser zentralen Stellung wird das Thema Bleibatterien in Kapitel 6.2 separat behandelt.

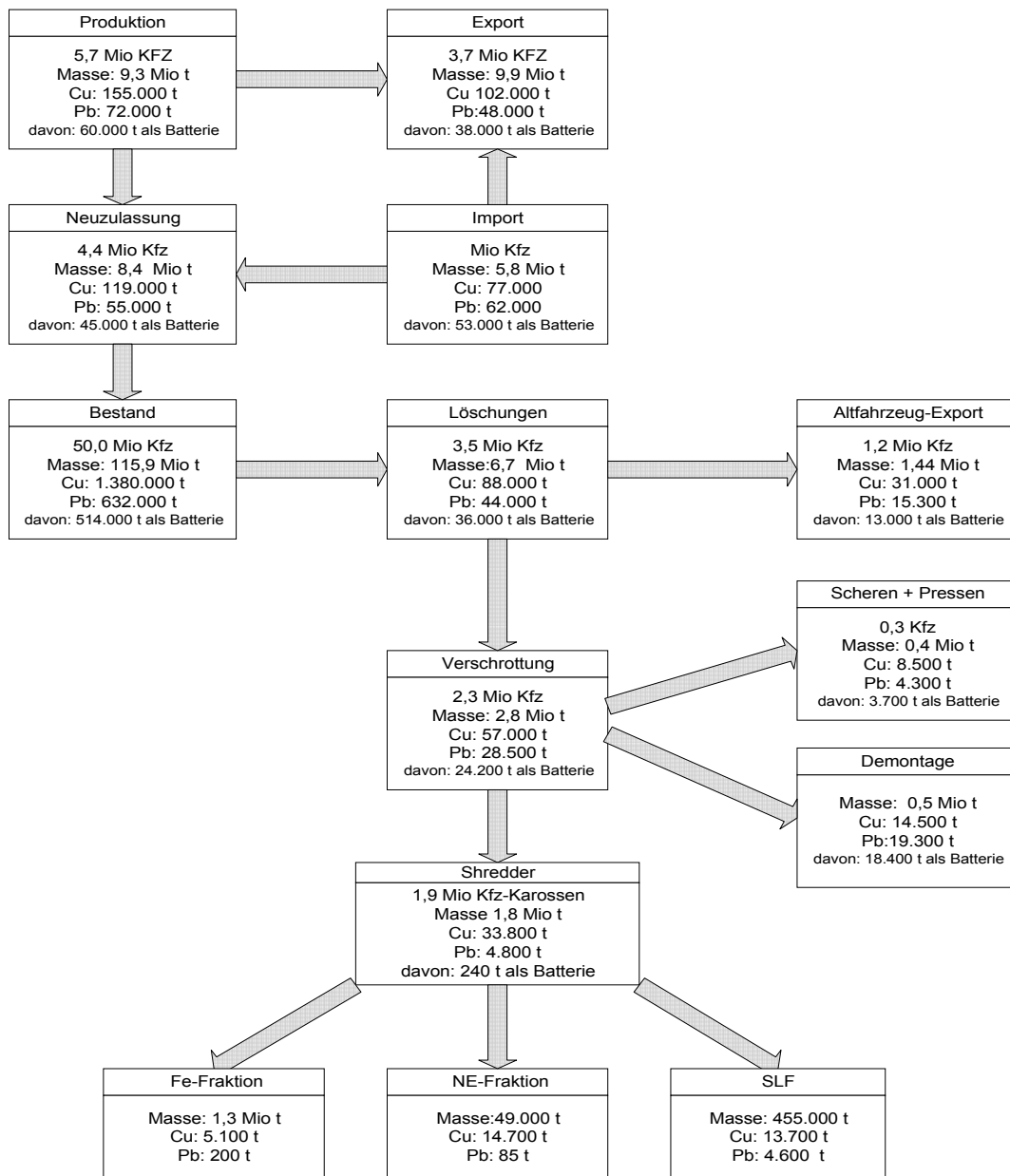
---

<sup>59</sup> Vorwiegend Reinblei, in Starterbatterien jedoch auch z.B. Pb-Ca-Legierungen.

### 6.1.2 Stoffströme

Eine Gesamtübersicht über die Kupfer- und Bleiströme gibt folgende Abbildung:<sup>60</sup>

**Abbildung 6-3: Stoffströme von Kupfer und Blei in Kraftfahrzeugen in Deutschland**



Quelle: Bögel 2000; Ökopol 2000/2001; VDA 2001b; Verkehr in Zahlen, KBA 2000/2001.

<sup>60</sup> Für die Nutzfahrzeuge (Lkw, Omnibus, Zugmaschine) und die Krafträder sind ihre durchschnittlichen Gewichte sowie ihre mittleren Kupfer- und Bleigehalte bei Produktion, Ex- und Import, Zulassung, Bestand und Löschung berücksichtigt. Über ihre spezifischen Anteile am Altfahrzeugexport und der Verschrottung liegen jedoch keine Angaben vor. Ihr Verbleib nach der Löschung wird daher als identisch mit denen der Pkw's angenommen.

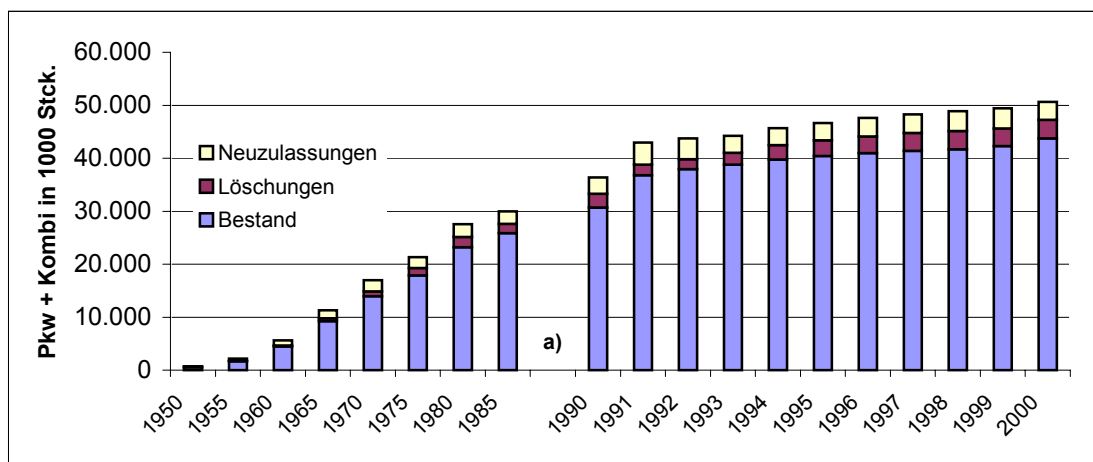
### Produktstrom Kraftfahrzeuge

In Deutschland wurden im Jahr 2000 5,1 Mio. Pkw und 0,4 Mio. Nutzfahrzeugen produziert. Die Automobilhersteller haben erhebliche Produktionsverlagerungen ins Ausland vorgenommen. So ist die ausländische Produktion deutscher Hersteller bei Nutzfahrzeugen um 4 % gestiegen. Der Fahrzeugexport betrug für Pkw 3,5 Mio., was einer Exportquote von 67 % entspricht. 268.000 Nfz wurden exportiert.

Die Neuzulassungen trugen im Jahre 2000 mit 3,4 Mio. Pkws zum Fahrzeugbestand (1. Juli 2001: 52,5 Mio. Einheiten) bei. Im Jahr 1999 sind 3,29 Mio. Pkw aus dem Fahrzeugbestand gelöscht worden. Das Durchschnittsalter der gelöschten Fahrzeuge liegt seit 1990 relativ konstant zwischen 11,3 und 11,8 Jahren.

Der Verbleib der gelöschten Fahrzeuge ist nicht mit der Anzahl der in Deutschland verschroteten Altfahrzeuge gleichzusetzen. Ein geringer Anteil in Höhe von 1,1 % wird gestohlen (ARGE 2000). Ein weiterer Anteil wird als Gebrauchtwagen insbesondere nach Osteuropa, in den mittleren Osten und nach Nordafrika exportiert. Und schließlich werden gelöschte Fahrzeuge aufgrund des Kostengefälles der Entsorgung zur Verschrottung in das europäische Ausland insbesondere in die Benelux-Länder, Frankreich und die Alpenländer (Italien, Österreich und die Schweiz) exportiert. Der Export von gelöschten Fahrzeugen ist im Zuge der Wiedervereinigung seit 1990 von etwa 10 % auf zunächst 40-50 % angestiegen. Seit 1996 liegt die Exportquote bei ca. 35 % (BDSV 2000, Rudolph 1997).<sup>61</sup> Diese Quote hat auch im Jahr 2000 in etwa Bestand. Eine Übersicht über die Entwicklung von Bestand, Löschungen und Neuzulassungen gibt folgende Abbildung:

**Abbildung 6-4: Entwicklung von Neuzulassungen, Bestand und Löschungen von Kraftfahrzeugen in Deutschland**



Quelle: KBA 2001.

Anmerkung: a) Bis 1990 in 5-Jahresschritten danach in 1-Jahresschritten

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der Fahrzeugbestand - und daran gebundene Kupfer- und Bleibestände - seit 1950 kontinuierlich gestiegen ist. Darüber hinaus werden durch die er-

<sup>61</sup> Exportquote: = Anzahl aus Deutschland ausgeführter gelöschter Fahrzeuge / Anzahl gelöschter Fahrzeuge \* 100.

heblichen Exportquoten von Alt- und Gebrauchtfahrzeugen beträchtliche Kupfer- und Bleimengen dem nationalen Bestand und der Rückführung als sekundärer Rohstoff entzogen.

### **Kupfer und Blei in der Kraftfahrzeugproduktion**

Der Kupferanteil in der Materialzusammensetzung von Kraftfahrzeugen schwankt je nach Fahrzeugsegment und Ausstattung erheblich. In der Literatur werden Anteile von 10 kg bis 25 kg pro Pkw beschrieben (VDI Handbuch 1996, Ökopol 2001, Bögel 2000). Spitzenwerte sollen sogar bis rund 100 kg pro Fahrzeug reichen (Norddeutsche Affinerie 99/00, S. 27). Im Weiteren wird von einem mittleren Kupfergehalt von 25 kg pro Pkw (Bögel 2000), 67 kg pro Nutzfahrzeuge (VDA 2001b) und 7 kg pro Kraftrad (eigene Berechnung) ausgegangen.

Steil (1999) gibt den Bleigehalt in Pkw mit 12,5 kg an. Damit finden jährlich weltweit ca. 625.000 t Blei in Pkws Anwendung. Dies entspricht ca. 10 % der weltweiten Bleiproduktion. Der mittlere Bleigehalt von Nutzfahrzeugen wird mit 21 kg pro Kfz angenommen (VDA Fax 2001). Im Einzelnen ergeben sich dann folgende Blei- und Kupferfrachten für die einzelnen Fahrzeugsegmente:

**Tabelle 6-4: Kupfer- und Bleiverbrauch der Kraftfahrzeugproduktion in Deutschland**

<b>Fahrzeugsegment</b>	<b>Produzierte Fahrzeuge</b>	<b>Cu-Gehalt [kg Cu/Kfz]</b>	<b>Cu-Masse [t]</b>	<b>Pb-Gehalt [kg Pb/Kfz]</b>	<b>Pb-Masse [t]</b>
Pkw	5.131.918	25	128.300	12,5	64.149
Lkw < 6 t	238.593	67	16.000	21	5.010
Lkw > 6 t	142.586	67	9.600	21	2.994
Omnibus	13.518	67	900	21	284
KRAD	k.A.	15	k.A.	12,5	k.A.
Gesamt	5.526.615		154.800		72.438

Quellen: StaBA 2001; VDA 2001; VDA Fax 2001; Steil 2000; eigene Berechnungen für das Jahr 2000. Anmerkung: Lkw < 6 t sowie LKW > 6 t inkl. Anhänger; .

Bezüglich der Kupferfrachten, die durch Abfälle und Reststoffe aus der Automobilproduktion und ihrer Zulieferindustrie anfallen, liegen keine Daten vor. Es ist jedoch aufgrund der Homogenität dieser Stoffströme, der geringen Anzahl der beteiligten Akteure und des erheblichen Wertschöpfungspotentials von einer Rückführung dieser Stoffströme in die metallurgischen Prozesse der Vorproduktion auszugehen.

### **Kupfer und Blei bei den Neuzulassungen**

Die jährlichen Neuzulassungen stellen den Inputstrom in den nationalen Bestand dar. Folgende Tabelle liefert einen Überblick über die Größenordnung:



**Tabelle 6-5: Kupfer- und Bleimengen in den neu zugelassenen Kraftfahrzeugen in Deutschland**

Fahrzeugsegment	Neuzulassungen	Cu-Gehalt [kg/Kfz]	Cu-Masse [t]	Pb-Gehalt [kg/Kfz]	Pb-Masse [t]
Pkw	3.341.718	25	83.543	12,5	41.771
Lkw < 6 t	229.223	67	15.358	21	4.814
Lkw > 6 t	50.762	67	3.401	21	1.066
Omnibus	6.121	67	410	21	129
KRAD	228.703	7	1.601	3	686
Übrige Kfz	35.290	15	529	12,5	441
Gesamt	3.891.817		104.842		48.907

Quelle: KBA 2001; VDA 2001b; Steil 1999; eigene Berechnungen für das Jahr 2000.

Anmerkung: Lkw < 6 t sowie LKW > 6 t inkl. Anhänger; .

Die Zulassungen verdeutlichen im Vergleich mit den produzierten Mengen, den hohen Exportüberschuss in der Fahrzeugindustrie. Geprägt wird dieser Überschuss durch das Pkw-Segment. Lediglich 45% der Pkw-Neuzulassungen sind deutsche Konzernmarken. Bei den Nutzfahrzeugen liegt der Anteil der deutsche Konzernmarken an den Neuzulassungen bei 63 % (VDA 2000) Darüber hinaus ist durch die Neuzulassungen im Vergleich mit den Löschungen die Bestandsdynamik ersichtlich. Bezogen auf Metallmengen fand im Jahr 2000 ein metallischer Bestandszufluss von ca. 7,3% statt, während der Bestandabfluss durch Löschungen lediglich ca. 6,5 % betrug.

#### Kupfer und Blei im Kraftfahrzeugbestand

Bei einem Fahrzeugbestand<sup>62</sup> von über 52,4 Mio. Kraftfahrzeugen zum 1. Juli 2001 ergibt sich ein gebundene Kupfermenge von ca. 1,4 Mio. t und ein Bleibestand von 660.000 t. Im Einzelnen verteilen sich diese Menge folgendermaßen auf den Kfz-Bestand:

**Tabelle 6-6: Kupfer- und Bleimengen im Kraftfahrzeugbestand in Deutschland**

Fahrzeug-segment	Bestand [Stück]	Cu-Gehalt [kg Cu/Kfz]	Cu_Masse [t]	Pb-Gehalt [kg Pb/Kfz]	Pb-Masse [t]
Pkw	43.772.260	25	1.094.307	12,5	547.153
Lkw < 6t	2.610.885	67	174.929	21	54.829
Lkw > 6t	1.941.783	67	130.099	21	40.777
Omnibus	86.656	67	5.806	21	1.820
KRAD	3.410.480	07	23.873	3	10.231
übrige Kfz	665.231	15	9.978	12,5	8.315
Gesamt	52.487.000		1.439.000		663.126

Quelle: KBA 2001; VDA 2001b; Steil 1999; eigene Berechnungen für das Jahr 2000.

Anmerkung: Lkw < 6 t sowie LKW > 6 t inkl. Anhänger.

Während der Nutzungsphase der Kraftfahrzeuge fallen kupferhaltige Stoffströme durch Reparaturen an. Die Lichtmaschine und der Anlasser sind typische Austauscherteile. Über die Menge an Austauscherteilen die während der Nutzung anfallen liegen keine Daten vor. Prinzipiell haben sich die Inspektions-, Wartungs- und Reparaturintervalle durch technologische Verbesserung

<sup>62</sup> Einschließlich der vorübergehend stillgelegten Fahrzeuge.

innerhalb der letzten Jahre erheblich verlängert. Die Anzahl der Werkstattdurchgänge pro Jahr und Fahrzeug hat sich verringert. Bei zunehmender Laufleistung der Fahrzeuge werden die spezifischen Mengen an ausgetauschten (Cu-haltigen) Altteilen aus Pkw Reparaturen weiter sinken (ARGE 2000, S. 25). Dieser Trend wird durch die zunehmende Verbreitung von Leasingfahrzeugen, das abnehmende durchschnittliche Fahrzeugalter und die gleichbleibende bis leicht abnehmende durchschnittliche Fahrleistung gestützt. Fahrzeuge werden zunehmend besser und häufiger gewartet und sind gerade als Neu- oder Leasingfahrzeuge in sogenannte Full Service Angebote eingebunden. Jedoch finden dabei im geringeren Masse Reparaturen oder der Einsatz von Ersatzteilen statt.

Stark kupferhaltige Austauscherteile wie Lichtmaschine, Anlasser, Pumpen, Motoren und elektrische und elektronische Steuergeräte, die in Werkstätten anfallen, werden im Rahmen sogenannter AT-Programme der Automobilhersteller und der Zulieferindustrie aufgearbeitet und als kostengünstige Alternative zu Neuteilen als sogenannte AT-Teile verkauft. In der Regel bedienen sich die Werkstätten Dienstleistern zur Komplettentsorgung aller in der Werkstatt anfallenden Abfälle. Automobilhersteller schließen Rahmenverträge mit Entsorgungsdienstleistern ab, die für Niederlassungen empfohlen werden. Durchschnittlich beträgt der Anschlussgrad der Vertragswerkstätten an derartige Rahmenentsorger über 50%.

Der größte Anteil der Bleistoffströme auf der Nutzungsebene entfällt auf den Handel mit Bleibatterien und bleibatteriehaltigen Gebrauchtfahrzeugen. Zu den Mengen an Blei im Fahrzeugbestand müssen die Bleimengen in Ersatzteilen addiert werden, die in der Nutzungsphase anfallen. Dazu zählen im wesentlichen Zündkerzen mit 5 g (Ökopol 2000, S. 31) und Auswuchtgewichten mit ca. 1 kg (Steil 2000) pro Lebenszyklus eines Pkw. Starterbatterien in Kfz haben eine Lebensdauer von etwa 3-6 Jahren. Während der Nutzungsphase eines Autos von 10-12 Jahren werden etwa drei Starterbatterien benötigt (vgl. Kap. 6.2). Mit der Nutzung eines Automobils sind folglich nicht nur etwa 12,5 kg Blei, sondern während der gesamten Nutzungsphase über 30 kg Blei verknüpft. Weitere Bleiemissionen während der Nutzungsphase durch Abrieb von Lagerschalen, Bremsbelägen und Kohlebürsten oder durch ausgewechselte Glühbirnen sind aus Sicht der nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung von untergeordneter Relevanz.

### **Kupfer- und Blei in Altautos**

Im Jahr 2000 wurden ca. 3,5 Mio. Fahrzeuge gelöscht (KBA 2001)<sup>63</sup> Dies entspricht einer Menge von ca. 94.000 t Kupfer und ca. 44.000 t Blei, die dem Bestand entzogen wurden. Im Einzelnen stellt sich der an den gelöschten Altfahrzeugen gebundene metallische Stoffstrom folgendermaßen dar:

---

<sup>63</sup> Seit dem Herbst 2000 zählen vorübergehend stillgelegte Fahrzeuge erst nach 18 statt wie vorher bereits ab 12 Monate als gelöscht. Dadurch fielen die Löschungen der letzten Monate im Jahr 2000 sehr niedrig aus, was zu einer entsprechenden Steigerung im Bestand führte.

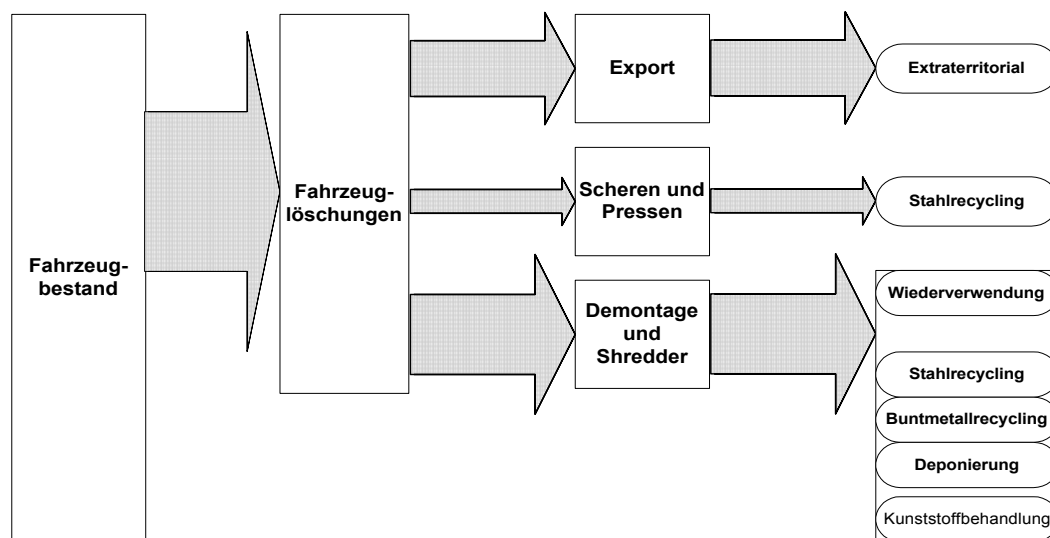
**Tabelle 6-7: Kupfer- und Bleimengen in gelöschten Kraftfahrzeugen in Deutschland**

Fahrzeug-segment	Löschungen [Stück]	Cu-Gehalt [kg Pb/Kfz]	Cu-Masse [t] <sup>a)</sup>	Pb-Gehalt [kg Pb/Kfz]	Pb-Masse [t] <sup>a)</sup>
Pkw	3.045.903	25	76.000	12,5	38.000
Lkw < 6 t	182.212	67	12.200	21	3.800
Lkw > 6 t	56.778	67	3.800	21	1.200
Omnibus	5.099	67	300	21	100
KRAD	161.005	7	1.100	3	500
übrige Kfz	38.197	15	600	12,5	500
Gesamt	3.489.194		94.000		44.100

Quelle: KBA 2001; VDA 2001b; Steil 1999; eigene Berechnungen für das Jahr 2000.

Anmerkung: a) gerundet.

Diese gelöschten Altfahrzeuge durchlaufen grundsätzlich folgende Behandlungspfade:

**Abbildung 6-5: End of Life-Phase von Kraftfahrzeugen**

Quelle: Eigene Darstellung.

Bei einem Export von gelöschten Pkw in Höhe von 35 % sind 1999 in Deutschland ca. 31.000 t Kupfer und ca. 15.000 t Blei in gelöschten Pkw exportiert worden. Die verbleibenden 46.000 t Kupfer bzw. 23.000 t Blei werden als Altfahrzeuge zu 85 % in Shredderanlagen verschrottet sowie zu 15 % in Scheren und Pressen verarbeitet (BDSV 2000, Rudolph 1997) und anschließend überwiegend dem Stahlschrott zugeführt.<sup>64</sup> Bevor ein Altfahrzeug dem Shredderprozess zugeführt wird, erfolgt die Trockenlegung und die Demontage von wiederverwendbaren Gebrauchsanteilen sowie von stark schadstoffhaltigen Bauteilen. Durchschnittlich 256 kg werden einem Altfahr-

<sup>64</sup> Interview mit Herrn Holzapfel (Fa. Hantschel) 2001.

zeug entnommen (ARGE 2000). Hierbei handelt es sich neben den schadstoffhaltigen Bauteilen unter anderen um stark kupferhaltige Teile wie Lichtmaschine, Anlasser, verschiedene Elektromotoren, elektrische und elektronische Steuergeräte<sup>65</sup> sowie die Starterbatterie als Hauptträger der Bleifracht im Altauto. Insgesamt führt die derzeitige Demontage zu einer Entnahme von ca. 30 % der Kupferfracht bzw. 80 % der Bleifracht. Entscheidend für die Tiefe der Demontage ist der zeitnah erzielbare Erlös auf dem Ersatzteilmarkt. Weiterführende Demontagen erfolgen lediglich zur Einhaltung geltender gesetzlicher Vorgaben.<sup>66</sup>

In einer Shredderanlage<sup>67</sup> werden durch ein Mahlwerk nach dem Prinzip der Hammermühle Altautos sowie Misch- und Sammelschrott zerkleinert und anschließend separiert. Die Separierung erfolgt durch einen Windsichter, in dem eine schwere Fraktion (SSF) und die flugfähige, überwiegend nicht metallische Leichtfraktion, die sogenannte Shredderleichtfraktion (SLF) entsteht. Anschließend wird die Shredderschwerfraktion durch eine Magnetabscheidung in eine Eisenfraktion (Fe) und eine Nicht-Eisenfraktion (NE) aufgetrennt. Je nach stofflicher Anforderung des angeschlossenen lokalen Verwertungsmarktes und der Anlagengestaltung erfolgen weitere Trenn- und Klassieroperationen.

Zur Erreichung einer hohen metallischen Ausbringung der Nicht-Eisenfraktion ist die nasse Aufbereitung der nicht-magnetischen Shredderschwerfraktion mittels Flotation üblich. Über die Verteilung der Fraktionen der Shredderrückstände gibt es unterschiedliche Angaben. Die Schwankungsbreite liegt jedoch unter 5 % pro Fraktion. Die Verteilung und Zusammensetzung der gewonnenen Fraktionen stellt sich folgendermaßen dar:

**Tabelle 6-8: Typische Verteilung und Zusammensetzung der Shredderfraktionen**

25 % SLF	52% Kunststoff	
	48 % Glas, Staub Eisen- und Nicht Eisenmetalle und Sonstiges	
75 % SSF	70% Fe	92% Eisenmetalle
		8 % Kunststoff, Glas, Staub, Nicht Eisenmetalle und Sonstiges
	5% NE	51% Nicht Eisen Metalle
		49 % Kunststoff, Glas, Staub und Sonstiges

Quelle: R. Hunklinger 2000; Thome´ 1995; Ökopol 2001; Daten aus den 90iger Jahren.

Bei der magnetisch getrennten Fraktion der SSF handelt es sich um die Fe-Fraktion die als Shredderstahlschrott direkt an Eisen- und Stahlwerke verkauft wird. Insgesamt wurden im Jahr 2000 bundesweit 1,26 Mio. t Shredderstahlschrott produziert (BDSV 2000).

Über die europäische Stahlschrottsortenliste sind sogenannte angestrebte Analysewerte für die maximal zulässigen Beimengungen in Shredderstahlschrott festgelegt. Diese Analysewerte stellen die Trennqualitätsanforderungen an die Sortier- und Aufbereitungsverfahren dar. Für Kupfer liegt der angestrebte Analysewert bei 0,04 % (BDSV 2001b). Es kann davon ausgegangen werden, dass dieser Wert auch ausgeschöpft wird.<sup>68</sup> Für Blei gibt es keine Analysewerte. Bekannt

<sup>65</sup> Diese demontierten Gebrauchtteile werden nach dem Ergebnis ihrer Funktionsprüfung instandgesetzt oder aufgearbeitet und anschließend über den Markt für Gebrauchtteile wiederverwertet.

<sup>66</sup> Interview mit Herrn Schwarzbach (BDSV) 2001.

<sup>67</sup> Verfahrenstechnisch ist unter dem Begriff eine Hammermühle zu verstehen, trotz dessen arbeiten 80% der bundesdeutschen Shredderbetriebe nach dem Prinzip der Schneidmühle (BDSV 2000).

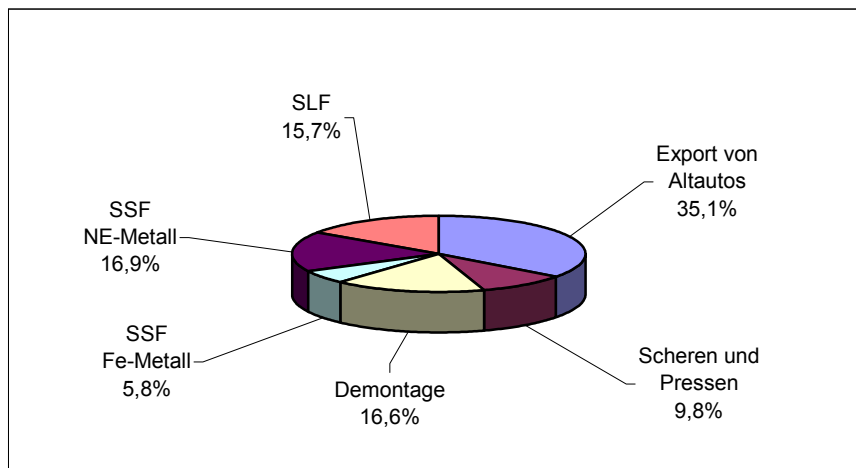
<sup>68</sup> Interview mit Herrn Leuning (BDSV) 2001.

ist jedoch das ca. 2-3 % der in Kfz eingesetzten Bleimenge in der Fe-Fraktion verbleiben. Dabei handelt es sich überwiegend um bleihaltige Stahl- und Aluminiumlegierungen (Ökopool 2001).

Die NE-Fraktion wird überwiegend einer Mischhütte übergeben oder noch aufgearbeitet, um sie danach gezielt einer Buntmetallhütte (meist Al oder Cu) zu zuführen. Insgesamt sind im Jahre 2000 ca. 50.000 t Nicht-Eisenfraktion aus der Altauverschrottung entstanden. (BDSV 2001). Die NE-Fraktion besteht zu ca. 30 % aus Kupfer, so dass etwa die Hälfte des Kupfergehaltes der demontierten Restkarosse in dieser Fraktion verbleibt. Insgesamt sind im Jahre 2000 ca. 450.000 t Shredderleichtfraktion aus der Altauverschrottung entstanden. Andere Quellen gehen von bis zu 500.000 t SLF aus (BDSV 2000, Rudolph 1997). Die SLF ist ein leichtes Material, das hauptsächlich aus Kunststoff, Elastomeren und Metallen sowie den Nebenbestandteilen Glas, Gummi, Textilien, Lack, Holzfaser, Staub, Rost und Schmutz besteht. In Deutschland wird die Shredderleichtfraktion fast ausschließlich auf Deponien der Klasse I und II abgelagert. Nur ein geringer Teil wird thermisch behandelt oder auf Sonderabfalldéponien abgelagert (Hunklinger 2000). Die Ablagerung auf Déponien der Klasse I und II ist nur noch bis zum Jahr 2005 zulässig, da die SLF die dann gültigen Anforderungen der TA Siedlungsabfall nicht einhält. Des Weiteren sieht sowohl die europäische Altauorientlinie als auch die deutsche Altauorientverordnung maximale Beseitigungsquoten von 15 bzw. 5% vor. Diese Quoten werden in der derzeitigen Entsorgungspraxis insbesondere bezüglich des Anfalls und der Behandlung der SLF nicht eingehalten.

Über die Metallgehalte der SLF schwanken die Literaturangaben zwischen 1,5 und 4,2 Gew.-% für Kupfer und zwischen 0,3 und 1,6 Gew.-% für Blei (Rudolph 1997, Lahl 1999). Im Weiteren wird von rund 2 Gew.-% Kupfer und 1 Gew.-% für Blei in der SLF ausgegangen. Zusammenfassend stellt sich der Verbleib von Kupfer und Blei aus Kfz folgendermaßen dar:

**Abbildung 6-6: Stoffströme von Kupfer in der Altauorientbehandlung in Deutschland**



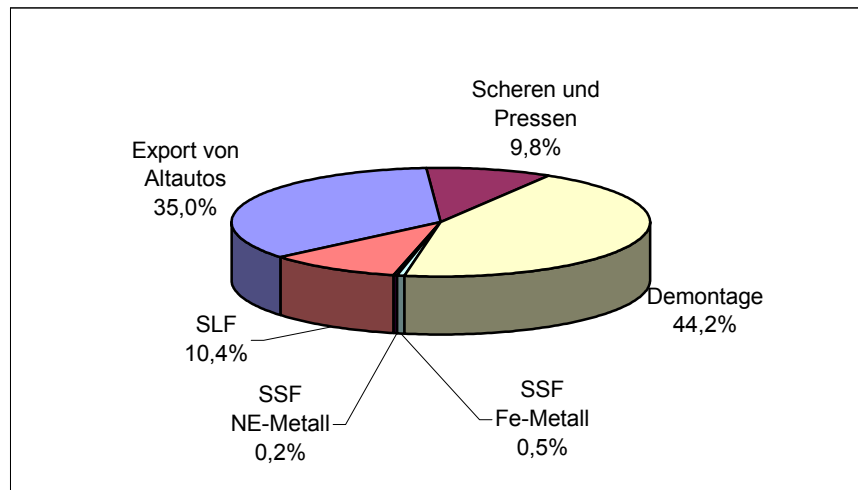
Quelle: Eigene Berechnungen für das Jahr 2000.

Der dargestellte quantitative Verbleib der Kupferfrachten ist nur als Größenordnung aufzufassen. Die exakte Verteilung insbesondere auf die Shredderfraktionen hängt neben der Input-Zusammensetzung von den angewandten Trenn- und Konzentrationsoperationen im Shredderprozess ab. So besteht der Shredderinput überwiegend aus Mischschrott, in dem neben Altauorient auch Geräteschrott aus Haushalt und Gewerbe anzutreffen ist. Die nachgeschalteten verfahrens-

technischen Trennoperation lassen sich prinzipiell bis zum Erreichen von Einstoffsubstraten ausdehnen. Hier sind die Betriebskosten, die Erlöse auf dem Markt und die Anforderungen der jeweiligen Akteure der Abfall- und Recyclingwirtschaft ausschlaggebend.

Trotz dieser erheblichen Kontextabhängigkeit im Shredderprozess ist der direkte Einfluss der Altautoexporte auf die metallischen Stoffströme unübersehbar. Über den Verbleib dieser indirekten Exporte von Sekundärrohstoff sind keine zuverlässigen Daten vorhanden. Der Verbleib von Kupfer in der SLF, der Fe-Fraktion und in Scheren und Pressen kann als überwiegend irreversibler Verluststrom aufgefasst werden. Bei den hier getroffenen Annahmen beträgt er insgesamt ca. 20 % der in Kfz eingesetzten Kupfermasse. Für die Demontage und die NE-Fraktion kann eine Rückführung in den Stoffkreislauf angenommen werden. Eine so verstandene Recyclingrate<sup>69</sup> besitzt eine Größenordnung von einem Drittel.

**Abbildung 6-7: Stoffströme von Blei in der Altabehandlung in Deutschland**



Quelle: Eigene Berechnungen für das Jahr 2000.

Die Anmerkungen zur kontextabhängigen Einschränkung der Quantifizierung des Verbleibs von Kupfer, gelten auch für Blei. Neben dem direkten Einfluss der Exportquote stellt die Demontage der Bleibatterie die wesentliche Entfrachtung dar. Als direkter Verluststrom ist der Verbleib von Blei in der SLF aufzufassen. Der Verbleib in Scheren und Pressen sowie der SSF-Fraktionen ist lediglich als bedingter Verluststrom aufzufassen, da Blei in der metallurgischen Behandlung über die Rauchgasreinigung zurückgewonnen werden kann. Damit ergibt sich eine Recyclingquote<sup>70</sup> von ca. 54%.

### 6.1.3 Problemlagen: Defizite, Verwertungspotenziale und Substitution

Der tatsächliche metallische Rückfluss aus dem Anwendungsfeld Kraftfahrzeuge beträgt für Kupfer 33 % und für Blei 54 %. Damit ergeben sich entsprechende theoretische Verwertungs-

<sup>69</sup> Bezogen auf den Kupfergehalt der gelöschten Fahrzeuge und der Annahme der verlustfreien stofflichen Rückführung der Kupfergehalte aus den demontierten Teile sowie der Nicht-Eisen-Metall-Fraktion aus dem Shredderprozess.

<sup>70</sup> Bezogen auf den Bleigehalt der gelöschten Fahrzeuge und der Annahme der verlustfreien stofflichen Rückführung der Bleigehalte aus der demontierten Starterbatterie sowie der Eisen Fraktion aus dem Shredderprozess und dem Schrottaufkommen aus Scheren und Pressen.

potentiale von 67 % für Kupfer und von 46 % für Blei. Maßgeblich werden diese Potentiale vom Export gelöschter Altfahrzeuge, dem Metallgehalt der Shredderleichtfraktion und der Verschleppung in den Stahlkreislauf bestimmt.

### **Blei in Auswuchtgewichten und Schwingungsdämpfern**

Für eine Bestandsbewirtschaftung von Blei kommt im Fahrzeugbau vordringlich die Starterbatterie in Frage. Aufgrund der Handlungsfeld übergreifenden Bedeutung von Bleiakumulatoren erfolgt eine eigenständige Betrachtung der Kreislaufführung von Batterieblei in Kapitel 6.2.

Von einer mengenmäßiger Relevanz sind vor allem noch die Auswuchtgewichte und die Schwingungsdämpfer. Die verbleibenden Bleianwendungen im Fahrzeugbau sind aufgrund der Vielzahl von Kleinanwendungen und ihrem dortigen hohen Grad an Dissipation in der jeweiligen stofflichen Umgebungsmatrix nur in einem sehr geringen Ausmaß für eine Kreislaufführung geeignet. Damit rückt die Substitution von Blei in den Mittelpunkt der Betrachtung. Die möglichst vollständige Substitution von Blei im Fahrzeugbau ist –wenn auch ökotoxikologisch begründet- bereits wesentlicher Bestandteil der rechtlichen Regelungsstrategien auf europäischer und nationaler Ebene (s.u.).

Für **Auswuchtgewichte** sind Zinn und Stahl die diskutierten Substitute, die sich auch bereits auf dem Markt befinden. Japanische Hersteller haben bis 2000 (Nissan) bzw. 2002 (Toyota) einen Verzicht auf Blei in Auswuchtgewichten angekündigt. Der Übergang soll mit Stahlgewichten realisiert werden. Gewichte bis zu 30 g (Nissan) werden bereits aus Stahl hergestellt, für höhere Gewichte müssen evtl. Technologien geändert werden, die auf Massenproduktionsebene noch nicht ausreichend erprobt sind und auch in Werkstätten eingeführt werden müssten. Da die Dichten von Stahl und Zinn geringer als von Blei sind, werden größere Volumina benötigt. Auch Zinn-Gewichte müssen beschichtet werden, damit sie Aluminium oder Magnesium nicht korrodieren. Stahlgewichte müssen ebenso wie Stahlfelgen gegen Rostbefall geschützt werden. Bei der Verwendung von Stahl werden aufgrund der schlechteren Verformbarkeit ein breiteres Spektrum von Produktserien für notwendig gehalten. Außerdem wird aufgrund des hohen Schmelzpunktes eine erhebliche Steigerung des Energieverbrauches erwartet. Zinn Gewichte kosten das 1,5-3-fache von Bleigewichten, wohingegen Stahlgewichte in etwa gleich teuer sind. Bei Verwendung von (Antimon-legiertem) Zinn werden aufgrund des niedrigen Schmelzpunktes Sicherheitsprobleme befürchtet. VDA/WVM (2000) erwarten bei einer Vollsubstitution durch Zinn einen Zinnbedarf von 40.000 t zuzüglich zur derzeitigen Produktion von 230.000 t/a. Im Rahmen der Demontage als zur Verbesserung des Recycling in der Altabbehandlung ist die Entfernung der Auswuchtgewichte nicht verpflichtend (2000/51/EG). Über die derzeitige Demontagepraxis liegen widersprüchliche Angaben vor: Nach Angaben von VDA/WVM (2000) liegt die Recyclingquote von Auswuchtblei aus der Demontage bei 95 %. Nach Auskunft der Fachgruppe Fachgruppe Autorückmontage im BDSV findet keine gezielte Demontage der Auswuchtgewichte statt.<sup>71</sup> Allerdings werden die Räder überwiegend demontiert. Einerseits um die geforderte Entfernung der Reifen zu gewährleisten und andererseits um wiedervermarktbarere Reifen und Felgen zu gewinnen.

Bei der Sekundäraluminiumgewinnung kann Blei aus den Ausgleichsgewichten auf Aluminiumfelgen eingetragen und im Schmelzprozess nicht separiert werden (Ökopol 2000, S. 8-10). Das Blei gelangt im Schredderprozess in der Nichteisen-Schwerfraktion, so dass das Blei überwie-

---

<sup>71</sup> Interview Herrn Friese (Fa. Pries & Friese) 2001.

gend in den Aluminiumkreislauf eingeschleust wird. Die Aluminiumindustrie hat ein Eigeninteresse daran, dass sich das Blei nicht im Sekundäraluminium anreichert. Maximal 0,4 % Blei im Schrott werden als tolerierbar erachtet. Stahl- oder Zinns Substitute würden einen ähnlichen Demontageaufwand erfordern, bei Stahlfelgen wäre eine Demontage jedoch nicht notwendig. Da Zinn höhere Sekundärrohstoffpreise erzielt, wäre eine Erhöhung der Recyclingrate möglich. Ohne Demontage gelangen Blei oder Zinn in die Shredder-Schwerfraktion oder haften der Eisenfraktion an. Blei kann über Blei-/Zinkstäube recycled werden.

Der zunehmende Anteil der Leichtbauweise realisiert durch erhöhten Einsatz von Kunststoffen oder Leichtmetallen insbesondere Aluminium, hat zu erhöhten Problemen mit Geräuschenstehung geführt. Darüber hinaus ist eine Ableitung insbesondere von dynamischen Kräften über die Karosserie bei Fahrzeuge in Leichtbauweisen erschwert. Dies führt zu einem verstärkten Einsatz von **Schwingungsdämpfern**. Hersteller haben nichts desto trotz ein Interesse daran, Schwingungsdämpfer aus Gewichtsgründen so gering wie möglich zu dimensionieren.

In einigen neueren Modellen konnte Blei als Schwingungsdämpfer auf der Achse vom Getriebe durch Gusseisen substituiert werden. Häufig vereiteln jedoch Platzprobleme einen Ersatz durch Materialien mit geringerer Dichte. Gusseisen hat zudem nicht so gute Dämpfungseigenschaften und kann Sekundärschwingungen erhöhen. Des Weiteren wird in einigen Bereichen geschäumter Kunststoff verwendet. Bezüglich der Demontage, ist davon auszugehen, dass Schwingungsdämpfer nicht entfernt werden. Die Existenz von bleihaltigen Schwingungsdämpfern ist in der Altautobehandlung vielfach unbekannt. Erkenntnisse über ihre Lage oder Demontagehinweise liegen nicht vor.<sup>72</sup> Das Blei aus Schwingungsdämpfern verbleibt in der Regel in der Shredder-schwerfraktion, gelangt aber auch in die Shredderleichtfraktion und trägt dort wesentlich zur Bleibelastung und damit zur Wertminderung dieser Fraktion bei. Deshalb sind Anstrengungen zur Demontage der Schwingungsdämpfer vorzunehmen. Diese werden jedoch durch schlechte Zugänglichkeit erschwert. Zudem fehlen häufig Informationen über den Ort der Schwingungsdämpfer.

Innerhalb von 2-3 Jahren sollte eine Bleisubstitution möglich sein. Für gewisse Fahrzeuge (hoher Kunststoffanteil, Cabrios) sind allerdings Probleme zu erwarten. Schwingungsdämpfer sind aufgrund der hohen Mengen als ein Bereich mit vordringlichem Handlungsbedarf einzuschätzen. Solange sie noch im Einsatz sind, ist die Demontage von großer Bedeutung, um die Shredderleichtfraktion nicht zu kontaminieren.

### **Kupferhaltige Bauteile**

Die vorrangige Verwendung von Kupfer als Werkstoff zur elektrischen Leitung führt zur Konzentration der Kupfergehalte in spezifischen Bauteilen. Zu nennen sind hier Lichtmaschine, Starter, Zündspule und elektrische Motoren. Diese Bauteile sind aufgrund ihres hohen Grades an maschinenbaulicher Autonomie einer Demontage mit Wiederverwendung als gebrauchtes Ersatzteil zugänglich. Das Potential für die Wiederverwendung von stark kupferhaltigen Bauteile lässt sich nur grob schätzen. Die Bauteile **Lichtmaschine, Starter, Elektromotor und Zündspule** umfassen ca. 40-60% des gesamten Kupfergehaltes und werden bereits als klassische Austauschteile demontiert, ggf. aufgearbeitet und vermarktet.<sup>73</sup> Unter Hinzuziehung der Bauteile (**Messing**)-kühler, **Elektronik und Kabelbaum** ließe sich ein weiteres Potential von

<sup>72</sup> Interview Herrn Friese (Fa. Pries & Friese) 2001.

<sup>73</sup> Interview mit Herrn Stark (DaimlerChrysler) 2001.



20-30 % für eine Wiederverwendung erschließen. Voraussetzung ist jedoch die Demontage, Aufarbeitung und Vermarktung. Die Demontage stark kupferhaltiger Metallbauteilen ist gemäss Richtlinie 2000/53/EG und dt. Altautogesetz vorgeschrieben, falls keine Trennung im Shredder möglich ist. Eine effiziente Demontage ist dabei wesentlich abhängig von:

- demontagegerechte Konstruktion (Kompakte Bauform, Lage, Verbindung, u.ä.)
- Demontagedokumentation (Demontagetechnik, Ort, Kennzeichnung, u.ä.)
- Aufarbeitungsdokumentation (Diagnoseinstrumente und -parameter, u.ä.)
- Vermarktbarkeitsanreize (AT-Programme der Hersteller, OEM-Kennzeichnung, Gewährleistung)

In der Praxis erfolgt die Demontage ausschließlich mit dem Ziel der Gewinnung von Bauteilen mit hohem Wiederverkaufswert.<sup>74</sup> Darüber hinaus erfolgt lediglich aus Gründen der Rechtskonformität eine Schadstoffentfrachtung in Form der sogenannten Trockenlegung sowie der Entfernung von Rädern und Batterien entsprechend der europäischen Richtlinie 2000/53/EG sowie dem deutsche Altautogesetz.

Erschließbare Verwertungspotentiale für Kupfer im Fahrzeugbau ergeben sich grundsätzlich überall dort, wo Kupfer irreversibel in den Stahlkreislauf oder als Shredderabfall in die Deposition gelangt. Die Einträge in den Stahlkreislauf ergeben sich neben der Verschrottung des kompletten Altfahrzeuges in Scheren und Pressen insbesondere durch die Verschleppung in die Fe-Metall Fraktion im Shredderprozess. Diese Art der Verschleppung ist hauptsächlich abhängig von der Trennschärfe der magnetischen Abscheidung. Daher ist die Innigkeit von Eisen-Kupfer-Verbänden und ihr Aufschluss in der Zerkleinerung maßgeblich. Prinzipiell ermöglicht ein hohes Zerkleinerungsmaß auch eine hohe Trennschärfe. Diesem Anspruch an ein hohes Zerkleinerungsmaß steht jedoch der hohe Anteil von Stahl im Fahrzeug von ca. 70 % entgegen. Anstatt das gesamte Fahrzeug in diesem hohen Maße zu zerkleinern sind vorgelagerte spezifische Zerlegungsstrategien denkbar. So weist Ökopol (2001) darauf hin, dass mit der Entfernung von Motor und Antriebsstrang die zu zerkleinernde Restkarosse bereits um 60% von Kupfer entfrachtet ist.

Für den Eintrag von Kupfer in die Shredderleichtfraktion ist neben dem Shredderprozess selbst der Gehalt an Kabeln und Kontakt-Peripherie (Stecker, Klemmen u.ä.) verantwortlich. Daher ist zur Reduzierung dieser Verschleppung die Demontage des kompletten Kabelbaums angezeigt. Für eine effiziente Demontage sind auch hier konstruktive Merkmale von entscheidender Bedeutung. Für die Entfernung des Kabelbaums sind dies

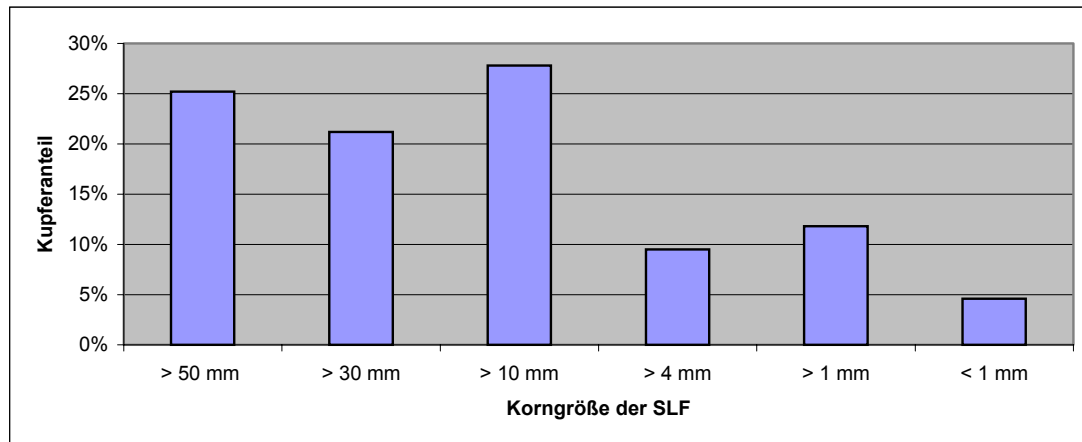
- Einzelner und gering verzweigter Hauptstrang
- Steck- und Schnappverbindungen statt Schraubverbindungen um so eine Entfernung mit wenigen Handgriffen zu ermöglichen
- Entfernung inklusive der Kontakt-Peripherie

Der verbleibende Kupfergehalt in der Shredderleichtfraktion ist stark Korngrößenabhängig und somit einer Klassierung zugänglich. Die Abhängigkeit der Kupfergehalte von der Korngröße der Shredderleichtfraktion stellt folgende Abbildung dar:

---

<sup>74</sup> Interview mit Herrn Friese (Fa. Pries & Friese) 2001.

**Abbildung 6-8: Prozentualer Kupfergehalt von Korngrößenklassen der Shredderleichtfraktion**



Quelle: Eigene Darstellung nach Frank 1998.

In den Feianteilen ist Kupfer nur sehr wenig enthalten. Über 75% sind in den Fraktionen größer 10 mm zu finden. Diese 75% verteilen sich zu ca. 2/3 auf Kabel und zu ca. 1/3 auf andere stückige Metalle. Daher wird sich Kupferverteilung in der SLF nach einer erfolgten Kabeldemontage vor dem Shredder-Prozess gravierend ändern. Zusammenfassend lassen sich für Kupfer in Altfahrzeugen folgende Aussagen treffen:

- Das Substitutionspotential von Kupfer durch andere Werkstoffe ist gering.
- Die Funktion von Kupfer als Leiterwerkstoff kann nur bedingt substituiert werden (Karosserieleitung, kabellose Signalübertragung, Bussysteme).
- Die Demontage, ggf. Aufarbeitung und die Wiederverwendung stark kupferhaltiger Bauteile besitzt erhebliches Potential. Die Möglichkeiten der Demontage sind von konstruktiven und anderen Maßnahmen der Hersteller abhängig.
- Die Demontage von Wertstoffen und Störstoffen ist defizitär und besitzt erhebliches Potential zur Gewinnung von Sekundärmaterial (z.B. Kabelbaum) und zur Verhinderung irreversibler Verschleppung (z.B. Motor und Antriebsstrang).
- Die Optimierung des Shredderprozesses mit einer erhöhten Zerkleinerung und einer trennschärferen Klassierung könnte die irreversible Verschleppung in den Stahlkreislauf über die FE-Fraktion und die Ablagerung über die SLF verringern.

### **Exkurs: Kraftfahrzeugströme als Steuerungsgröße**

Im Anwendungsfeld Kfz gehört die Steuerung der Fahrzeugströme grundsätzlich zum möglichen Repertoire der Lenkung der Stoffflüsse von Kupfer und Blei. Hierzu zählen sowohl Maßnahmen zur Verringerung der Fahrzeugproduktion, des Bestandes, der Löschungen und des Exportes von Altfahrzeugen. Als Möglichkeiten der Bestandsreduzierung stehen die Nutzungsintensivierung und Nutzungsdauerverlängerung zur Verfügung. Die Nutzungsdauerverlängerung wirkt auch auf die Anzahl der Löschungen von Altfahrzeugen. Das Durchschnittsalter der gelöschten Pkw liegt seit 1993 relativ unverändert bei rund 11-12 Jahren. Zur Erhöhung des Durchschnittsalters der gelöschten Fahrzeuge zählen alle Maßnahmen zur Verbesserung von Instandhaltung, Wartung und Reparatur. Diese Maßnahmen sind Bestandteil der Anforderungen an die umweltgerechte Produktgestaltung und sind eng verknüpft mit den Vertriebswegen (Leasing) und den Nutzungsintensitäten.

Die Sicherstellung der Zuführung von Altfahrzeugen in die geregelten Erfassungs-, Verwertung- und Entsorgungswege besitzt erhebliches Potential zur Schließung von Kreislaufücken. Im Mittelpunkt steht dabei die Reduzierung des Exports von Altfahrzeugen. Gelöschte Fahrzeuge werden als Gebrauchtfahrzeug zur weiteren Nutzung insbesondere nach Osteuropa, in den mittleren Osten und nach Nordafrika exportiert. Die Fahrzeuge werden dort weit über das in Deutschland sicherheitsrechtlich zulässige Maß weitergenutzt. Darüber hinaus erfolgt eine intensive Verwendung von Fahrzeugteilen. Von einer Rückführung in den metallischen Stoffkreislauf nach dieser intensiven Nutzung kann nur bedingt ausgegangen werden. Während für Kupfer aufgrund seines relativ hohen Materialwertes eine zumindest teilweise Rückführung angenommen werden kann ist dies bei Blei –abgesehen von Batterien- fast gänzlich auszuschließen. Als Entsorgungspraxis der Restkarosse kann in einigen Ländern eine ungeordnete Ablagerung angenommen werden. Die Exportproblematik von nicht (mehr) umweltgerechten und ressourceneffizienten Fahrzeugen, Anlagen und Produkten in Entwicklungs- und Transformationsländer ist vom Rat für nachhaltige Entwicklung erkannt und in Form von einer Forschungsausschreibung auf die Tagesordnung gesetzt worden.

Die Angaben zur Exportquote schwanken in der Literatur und sind Gegenstand der öffentlichen Fachdiskussion. DaimlerChrysler gibt für Altfahrzeuge seiner Marke eine Exportquote von 75 %. Die AriV Arbeitsgemeinschaft NRW gibt die Quote mit 40-50 % an. Der BDSV und Rudolph gehen von einer Exportquote in Höhe von 35 % aus, die auch in dieser Arbeit zugrunde gelegt wird. Die ARGE Altauto schätzt das Altautoaufkommen auf 1,1 bis 1,7 Mio. Fahrzeuge und geht damit von einer mittleren Altautoverwertung in zertifizierten Shredderanlagen in Höhe von 50 % der gelöschten Fahrzeuge aus.

Einen weiteren wesentlichen Einfluss auf das Produkt Kfz als Ganzes hat die Verwertung von Altfahrzeugen in Scheren und Pressen. In dieser Behandlung erfolgt eine Trockenlegung der Fahrzeuge und eine anschließende Kompaktierung. Eine Demontage findet nur in sehr geringem Umfang statt.<sup>75</sup> Anschließend erfolgt eine Verwertung als Stahlschrott. Nicht-Eisen Bestandteile werden prinzipiell über Schlacke und Rauchgasreinigung ausgeschleust. Dies erfolgt für Blei zusammen mit Zink im Flugstaub. Für Kupfer ist aufgrund seiner Dissoziation in der Schmelze von einer nahezu vollständigen und irreversiblen Verschleppung in den Stahlkreislauf auszugehen. Der Anteil der Behandlung in Scheren und Pressen am gesamten Altautoaufkommen wird relativ übereinstimmend mit 15% quantifiziert (BDSV 2000, Rudolph 1997).

Eine prinzipielle Strategie zur Erhöhung der Rückführungsmengen von Kupfer und Blei aus Altfahrzeugen ist die Sicherstellung, dass Altfahrzeuge den rechtlich geregelten Verwertungswegen zugeführt werden. Daher ist der Entzug aus dem Bestand durch den Export von Alt- bzw. Gebrauchtfahrzeugen und die Verschleppung in den Stahlkreislauf durch die Behandlung in Scheren und Pressen zu unterbinden. Darüber hinaus sind bestandswirksame Maßnahmen die auf eine Änderung in der Nutzungsphase abheben denkbar. Solcherlei Maßnahmen sind jedoch nur integrativ mit anderen Umweltnutzen umzusetzen und nicht ausschließlich als Maßnahmen zur nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei zu begründen.

---

<sup>75</sup> Interview mit Herrn Holzapfel (Fa. Hantschel) 2001.

## 6.1.4 Initiativen und Instrumente für eine nachhaltige Bestandbewirtschaftung

### Initiativen und Instrumente

Im Zentrum stehen die bestehenden und eingeleiteten Instrumente auf europäischer und nationaler Ebene sowie die industrielle Selbstverpflichtung. Zum 18. September 2000 ist die europäische Richtlinie 2000/53/EG über Altfahrzeuge in Kraft getreten. Zur nationalen Umsetzung ist am 7. August 2001 der Entwurf eines Altfahrzeug-Gesetzes vorgelegt worden, das u.a. die Änderung der Altautoverordnung vom 4. Juli 1997 zum Gegenstand hat. Mit der Altauto Verordnung trat darüber hinaus im April 1998 die freiwillige Selbstverpflichtung zur umweltgerechten Altautoverwertung in Kraft. Alle drei Regelungen treffen qualitative und quantitative Festlegungen bezüglich der Annahme, der Behandlung, der Verwertung sowie der Beseitigung von Altfahrzeugen der Klassen M1 und N2 gemäss Anhang II A der Richtlinie 70/156/EWG.

Im Weiteren werden die wesentlichen insbesondere für Kupfer und Blei relevanten Regelungen der deutschen Altfahrzeug-Verordnung aufgezeigt. Wenn nichts anderes an gegeben ist, decken sich diese weitgehend mit den Regelungen der europäischen Richtlinie.

Kern der rechtlichen Regelungen zu Altfahrzeugen sind:

- Die unentgeltliche Rücknahmepflicht der Hersteller oder eines entsprechenden Systems;
- Die Überlassungspflicht des Letztbesitzers sowie der Akteure in der Entsorgungskette Annahmestelle => Verwertungsbetrieb => Shredderanlage;
- Ein Verwertungsnachweis als Voraussetzung zur behördlichen Abmeldung;
- Die Verwendung von Kennzeichnungsnormen für Bauteile und Werkstoffe;
- Die Bereitstellung von Demontageinformationen durch die Hersteller;
- Die Mitteilungspflicht an Betreiber von Betrieben und Anlagen;
- Umfangreiche Informationspflichten der Hersteller über die Verwertungs- und recyclinggerechte Konstruktion sowie über die umweltverträgliche Demontage;
- Anforderungen an die Betreiber und den Betrieb von Anlagen und Stellen zur Annahme, Behandlung, Verwertung und Beseitigung von Altfahrzeugen.

Zur Vermeidung von schwermetallhaltigen Abfällen werden folgende Regelungen getroffen:

Nach dem 1. Juli 2003 dürfen Fahrzeuge mit Blei, Quecksilber, Cadmium oder sechswertigem Chrom nicht mehr in den Verkehr gebracht werden. Als Ausnahme von diesem faktischen Verwendungsverbot gelten:

**Tabelle 6-9: Ausnahmen vom Bleiverbot gemäß Altfahrzeugverordnung**

Vom Bleiverbot gemäss § 8 AltfahrzeugV ausgenommene Werkstoffe und Bauteile	kenntlich zu machen
<b>Blei als Bestandteil einer Legierung</b>	
1. Stahl (inklusive Stahl mit einem Zinküberzug) mit einem Bleianteil von bis zu 0,35 Gew.-%	
2. Aluminium mit einem Bleianteil von bis zu 0,4 Gewichtsprozent	
3. Aluminium in Felgen, Motorteilen und Fensterhebern mit einem Bleianteil von bis zu 4 Gew.-%	X
4. Kupferlegierung mit einem Bleianteil bis zu 4 Gew.-%	
5. Blei/Bronze-Lagerschalen und -Buchsen	
<b>Blei und Bleiverbindungen in Bauteilen</b>	
6. Batterien	X
7. Innenbeschichtung von Kraftstoffbehältern	X
8. Schwingungsdämpfer	X
9. Vulkanisierungsmittel für Hochdruckschläuche oder Kraftstoffschläuche	
10. Stabilisator in Schutzanstrichen	
11. Lötmittel in elektronischen Leiterplatten und sonstigen Anwendungen	

Quelle: AltfahrzeugV.

Als Entsorgungspflichten der Betreiber von Annahme- und Rücknahmestellen, von Verwertungsbetrieben, Shredderanlagen und sonstigen Anlagen zur Verwertung von Altfahrzeugen und Restkarossen werden insbesondere folgende Anforderungen bezogen auf das Fahrzeuggewicht aller pro Jahr überlassenen Altfahrzeuge festgelegt:

**Tabelle 6-10: Entsorgungspflichten gemäß Altfahrzeugverordnung**

	Wiederverwendung und Recycling <sup>a)</sup>	Wiederverwendung und Verwertung <sup>b)</sup>
bis 1. Januar 2006	80 Gew.-%	85 Gew.-%
bis 1. Januar 2015	85 Gew.-%	95 Gew.-%

Quelle: AltfahrzeugV.

Anmerkungen: a) die energetische Verwertung ist explizit ausgeschlossen; b) als Verwertung sind alle Verfahren gemäss Anhang II B KrW-/AbfG zulässig. D.h.: insbesondere gemäss R9: Verwendung als Brennstoff (außer Direktverbrennung) oder als anderes Mittel zur Energieerzeugung.

Als weitere Entsorgungspflichten der Betreiber werden durch Anhang I umfangreiche Anforderungen formuliert: Für Annahmestellen gelten allgemeine Anforderungen zur Lagerung, Dokumentation und den Weitertransport. Ferner müssen Annahmestellen über eine Nutzungsgenehmigung verfügen und dürfen Altfahrzeuge nicht trockenlegen oder demontieren. Für Verwertungsbetriebe gelten ebenfalls allgemeine Anforderungen zur Lagerung, Dokumentation und zum Weitertransport. Insbesondere ist der Betrieb genehmigungs- bzw. anzeigepflichtig gemäss BImSchG. Darüber hinaus gelten Anforderungen an die Vorbehandlung (Umfang der Trockenlegung), Demontage, Wiederverwendung, Verwertung und Beseitigung. Als Vorbehandlung ist neben der unverzüglichen Entnahme von Batterien, Flüssiggastank, Latentwärmespeicher und pyrotechnischer Bauteile die Entfernung und getrennte Sammlung von Betriebsflüssigkeiten und Betriebsmitteln gefordert. Demontiert werden müssen folgende Stoffe, Materialien und Bauteile:

**Tabelle 6-11: Demontagepflichten gemäß Altfahrzeugverordnung**

Entfernung wegen Schad- und Störstoffcharakter	Ab- oder ausbauen zum Recyceln
nicht trockengelegte Stossdämpfer	Katalysatoren
asbesthaltige Bauteile	Reifen
quecksilberhaltige Bauteile	große Kunststoffteile wie z.B. Stossfänger
kraftfahrzeugfremde Stoffe	Front- Heck- und Seitenscheiben
im erheblichen Umfang mit Schadstoffen verunreinigte Stoffe, Materialien, Bauteile	Aluminiumfelgen
nach Anhang II kennzeichnungspflichtige Bauteile und Werkstoffe <sup>76</sup>	Auswuchtgewichte
	beim Shreddern nicht trennbare kupfer-, aluminium- und magnesiumhaltige Metallbauteile

Quelle: AltfahrzeugV.

Prinzipiell sind alle aus Altfahrzeugen gewonnenen Bauteile und Stoffe vorrangig einer Wiederverwendung oder Verwertung zuzuführen. Verbindlich sind zum 1. Januar 2006 mindestens 10 Gew.-% des Leergewichts eines Altfahrzeuges vor der Vorbehandlung auszubauen und einer Wieder-, Weiterverwendung oder einer stofflichen Verwertung zuzuführen. Hierfür dürfen metallhaltige Bauteile und Materialien wie Restkarossen, Kernschrott oder Ersatzteile nicht in Ansatz gebracht werden. Für Shredderanlagen gelten Anforderungen an die Dokumentation sowie eine Genehmigungs- bzw. Anzeigepflicht gemäss BImSchG. Darüber hinaus werden Verwertungsquoten für die Shredderleichtfraktion festgelegt. Diese sind

- 25 Gew.-% zum 1. Januar 2006
- 75 Gew.-% bis zum 1. Januar 2015.

Diese Verwertungsquoten sind als nicht metallische Verwertung aufzufassen, da zu ihrer Bestimmung zurückgewonnene und verwertete Metalle aus der SLF oder der SSF nicht in Ansatz gebracht werden dürfen. In einer Selbstverpflichtungserklärung verpflichtet sich die Automobilindustrie neben dem Aufbau einer flächendeckenden Infrastruktur zur Annahme und Verwertung von Altfahrzeugen insbesondere zu

- recyclinggerechter Konstruktion,
- umweltverträglicher Entnahme von Betriebsstoffen,
- Demontage und Verwertung von Teilen und Materialien,
- ordnungsgemäßer Beseitigung und
- Einführung eines Controllingsystems mit Berichterstattung

Darüber hinaus verpflichtet sich die Automobilindustrie zur Einhaltung folgender Beseitigungsquoten (Bezugsjahr 1996):

<sup>76</sup> Für Blei sind relevant: Al-Pb-Legierungen in Felgen, Motorteilen und Fensterhebern mit einem Pb-Anteil von bis zu 4 Gew.-%, Batterien, Tank-Innenbeschichtungen, Schwingungsdämpfer

**Tabelle 6-12: Beseitigungsquoten für Abfälle aus Altkraftfahrzeugen gemäß Selbstverpflichtung der Deutschen Automobilindustrie**

Zeitpunkt	Anteil des zu beseitigenden Abfalls aus Altfahrzeugen
spätestens zum Jahre 2002	15 Gew.-%
spätestens zum Jahre 2015	5 Gew.-%

Quelle: 1. Monitoringbericht Arbeitsgemeinschaft Altauto 2000.

Die europäische Richtlinie führt bezüglich des prinzipiellen Verwendungsverbot u.a. von Blei ein Überprüfungsverfahren zu den Ausnahmeanwendungen aus. Danach soll die Aktualität des Verbotes bzw. seiner Ausnahmeregelung insbesondere bezüglich der verfügbaren Substitute sichergestellt werden. Im Einklang mit dem wissenschaftlichen und technischen Fortschritt sollen dabei insbesondere

- Blei in Aluminiumlegierungen für Felgen, Motorteile und Fensterheber,
- Blei in Batterien,
- Blei in Auswuchtgewichten und
- elektrische Bauteile, die Blei gebunden in einer Glas- oder Keramik-Matrix enthalten

überprüft werden, im Hinblick auf ihren Verbleib oder ihre Aufnahme in die Liste der von einem Verbot ausgenommenen Werkstoffe und Bauteile.

### Beurteilung

Die Auswirkungen der europäischen Altautorichtlinie und des deutschen Altfahrzeuggesetzes auf die Blei- und Kupferströme sind sehr komplex.<sup>77</sup> Die eingeleiteten Regelungen erfordern tiefgreifende Umstellungen der Fahrzeughersteller und Werkstätten.

Während sich bei Auswuchtgewichten eine **Substitution** durch Stahl oder Zinn abzeichnet, sind Substitutionen bei Schwingungsdämpfern nur im Einzelfall möglich. Konstruktive und informationelle Maßnahmen sowie finanzielle Anreize könnten eine Demontage von Schwingungsdämpfern unterstützen.

In der deutschen Altautoverordnung ist neben der Entnahme von bestimmten Aggregaten und Materialien zur **Wiederverwendung** explizit die **Entfernung von kupfer-, aluminium- und magnesiumhaltigen Metallbauteilen**, wenn diese Stoffe nicht beim Shreddern getrennt werden<sup>78</sup> gefordert. Industrielle Anstrengungen zur Suche nach Substituten - um dieser Regelungen zu entgehen - sind nahezu auszuschließen, da zur Zeit keine adäquaten elektrischen Leiterwerkstoffe bekannt sind. Ein gewisses Substitutionspotenzial besteht für die Verkabelung durch die Nutzung von direkter Leitung durch Karosserieteilen. Bei einer erfolgten Demontage ist aufgrund der Erlöse von einer vollständigen Einschleusung in den sekundären Metallmarkt auszugehen. Zusammen mit der Wiederverwendung der kupferhaltigen Lichtmaschine und der Einhaltung der im Anhang unter Ziffer 4.1.2 festgeschriebenen Beseitigungsquote von maximal 5 %, ist von einer fast vollständigen Rückführung der im Fahrzeug gebundenen Kupferfracht auszugehen.

<sup>77</sup> Im UFOPLAN 2001 des Umweltbundesamtes ist ein Vorhaben unter dem Kurztitel „Umweltauswirkungen und daraus resultierender Handlungsbedarf infolge der Schwermetallverbote in den Richtlinien der EU über Altfahrzeuge und Elektro(nik)-Geräte“ ausgeschrieben, das den Forschungsbedarf in diesem Handlungsfeld signalisiert.

<sup>78</sup> Diese Regelungen vom 07.08.2001 stellt in so fern eine Relativierung dar als in der Altauto Verordnung vom 04.07.1997 die Demontage aller kupferhaltiger Teile wie Elektronik, Kabelbäume und Elektromotoren noch explizit gefordert war.

Bezüglich der Auswirkung der europäischen Altautorichtlinie auf die Kupferfracht in Fahrzeugen rückt der Shredderprozess in den Mittelpunkt. Dies ergibt sich aus dem Anhang I, der unter Ziffer 4 als technische Mindestanforderung für die Behandlung zur Verbesserung des Recyclings ebenfalls die Entfernung von kupfer-, aluminium- und magnesiumhaltigen Metallbauteile wenn diese Stoffe nicht beim Shreddern getrennt werden, festlegt. Da eine genaue Festlegung über den Grad der Trennschärfe nicht besteht, ist hier mit Verschleppungen von Kupferfrachten in die Shredderrückstände auszugehen. Da die unter Artikel 7 Abs. 2 festgelegten Wiederverwendungs- und Recyclingquoten für das Jahr 2015 85% betragen, ist eine primär metallurgische Rückführung nicht in Gänze zu erwarten. Mit den Verwertungsquoten von maximal 95 % ist mit einer verstärkten Einbringung von Kupferrestfrachten in die Verbrennungsschlacken der thermischen Verwertungsverfahren zu rechnen.

### **Kupfer in Kraftfahrzeugen**

Eine Beseitigungsquote von maximal 5% gemäss dt. AltautoVO stellt erhebliche Anforderungen an den Shredderprozess. Insbesondere die derzeitige Ausbringung der SLF in Höhe von 20-25% und ihre Deponierung ist damit nicht mehr möglich. Jedoch besteht weiterhin die thermische Behandlung als Verwertungsoption bei der dann ein Kupfereintrag in die Schlacke erfolgt.

Durch die Demontage der kupferhaltigen Bauteile und ihre anschließende Wiederverwendung und Verwertung sind jedoch ca. 80-90% des Kupfers erfasst und lassen sich problemlos als Cu-Fe-, Cu-Messing-Material bzw. Cu-Granulat über den Konverter in den Cu-Produktionsprozess einschleusen. Die restlichen Kupfergehalte in den relativ dissipativen Anwendungen Verchromung, Kleinteile und Legierungen lassen sich mit vertretbarem Aufwand nicht mehr zurückführen. Da Substitute nicht bekannt sind, besteht FuE Bedarf.

### **Blei in Kraftfahrzeugen**

Mit der Erfassung und Verwertung von Batterien ist der wesentliche Bleigehalt zurückgeführt. Durch das Verbot von Loten und Auswuchtgewichten sind die relativ dissipativen Anwendungen ausreichend geregelt. Für die Schwingungsdämpfer ist ein Regelungsbedarf erkennbar. Da hier Substitute bisher unzureichend vorhanden sind, besteht FuE Bedarf. Die Anwendung Blei in Legierungen lässt sich mit vertretbarem Aufwand nicht direkt zurück führen. Eine Wiedergewinnung durch den Flugstaub der Elektrostahlwerke ist möglich. Ungeregelt ist jedoch die Erfassung von Batterien aus Unfallkarossen und der Altautoexport.

Ungeregelt sind der Entzug von Kupfer durch Altautoexport und die Nutzungsintensivierung und –verlängerung als Optionen zur Bestandssenkung.

### **6.1.5 Handlungsbedarf für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung**

Zunächst zeigt sich die erhebliche Regelungsdichte und die europäische Strategie, sich überwiegend Anforderungen an die Entsorgung zu bedienen. Nach einem Abgleich mit den Regelungen der europäischen Richtlinie 2000/53/EG und der nationalen Altfahrzeug Verordnung bleiben vorrangig folgende Instrumente zur nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei bestehen:

- Eine **Reduzierung der Altfahrzeugexporte** birgt von allen Option die mengenmäßig bedeutsamsten stofflichen Potentiale. Insgesamt könnten 33.000 t Cu und 15.500 t Pb im Bestand gehalten bzw. als Altmaterial in den Materialkreislauf zurückgeführt werden. Eine mögliche Realisierung der Exportreduzierung stellt die Neudefinition von Altfahrzeugen als Abfall gemäss KrWG und der



Einbeziehung in die Entscheidung der EU Kommission vom 29.9.98<sup>79</sup>. Da eine Trennung von Alt- und Gebrauchtfahrzeugexport nur bedingt möglich ist, böte sich als flankierende Maßnahme die Absenkung der Deklarationsgrenze für den Exportwert in den europäischen Ausfuhrbestimmungen (ARGE 2000) an.

- Die Reduzierung der Verschrottung in Scheren und Pressen und die irreversible Verbringung in den Stahlkreislauf birgt ein Mengenpotential von 14.000 t Kupfer und 6.600 t Blei. Instrumentell böten sich erhöhte Überwachungs- und Zertifizierungspflichten für die Annahmestellen und Verwertungsbetriebe gemäss europäischer Altauto-Richtlinie an. Allerdings steht hier vor allem der Vollzug im Vordergrund.
- **Akteurskooperationen** zwischen Hersteller, Annahme-, Demontage- und Verwertungsbetrieben könnten auf den Informationsfluss über Art, Menge und Lage der verwendeten kupfer- und bleihaltigen Bauteile zur **Demontage** zielen. Darüber hinaus umfassen die Informationen die zur Wiederverwendung notwendigen Prüf- und Aufarbeitungsparameter sowie Informationsflüsse bezüglich der demonage- und recyclinggerechten Konstruktion.
- Die **Ausweitung des Geltungsbereiches** der europäischen und der nationalen Altfahrzeugregelungen von Pkw und leichten Nfz auf Krafräder und alle Nutzfahrzeugklassen könnte weitere bedeutsame Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung erschließen.

Um die Rückführung der restlichen Kupfer- und Bleimengen aus Altfahrzeugen instrumentell zu bewerkstelligen, kommt ein ganzes Bündel von Entsorgungsanforderungen in Betracht. Eine exakte Quantifizierung der instrumentellen Wirkung auf die Massenströme ist im Einzelnen nicht möglich. Die maximal zusätzlich rückführbaren Metallmengen für Kupfer und Blei belaufen sich auf 33.800 t bzw. 4.800 t. Eine **nationale Altfahrzeugverordnung** könnte folgendermaßen **verschärft** werden:

- Verpflichtende Demontage, Getrenntsammlung und Verwendung bzw. Verwertung von kupferhaltigen Metallteilen (und explizite Nennung) von Lichtmaschine, Starter, Elektromotoren, Zündspulen, Kühler, Kabelbaum und Elektronik (Anhang I Nr. 3.2.3 AltfahrzeugV) sowie Motor und Antriebsstrang
- Erweitertes Verwendungsverbot von Blei in Schwingungsdämpfern (§ 8 AltfahrzeugV)

Darüber hinaus sind Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen in der Bleisubstitution zu fördern.

## 6.2 Handlungsfeld Akkumulatoren

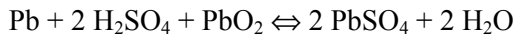
Mit 198.000 t gehen knapp 60 % des berichteten Bleiverbrauchs in Deutschland in die Akkumulatorenproduktion. Akkumulatoren, und hier vor allem Starterbatterien für Kfz, sind aufgrund der großen Stoffströme ein wichtiges Handlungsfeld für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei. Die wachsende Motorisierung in den Entwicklungs- und Schwellenländern lässt aufgrund fehlender Substitute für Bleiakkumulatoren ein mittelfristiges Anwachsen der Bleinachfrage erwarten. Die Effekte neuer Antriebstechniken auf den Bleibedarf sind schwer einschätzbar, jedoch womöglich langfristig von ausschlaggebender Bedeutung.

### 6.2.1 Einsatzbereiche, Materialien und Produkte

Akkumulatoren sind im Gegensatz zu Primärbatterien wieder aufladbar und werden auch Sekundärbatterien genannt. Blei-Akkumulatoren bestehen aus metallischem Blei (Bleischwamm, Bleistaub), Schwefelsäure als Elektrolyt und Bleidioxid. Der Redoxprozess für die Stromabgabe (z.B. Startvorgang) ist durch die Reaktion von vierwertigem Bleidioxid (Oxidationsmittel) und

<sup>79</sup> Entscheidung der Kommission über die statistische Überwachung der Ausfuhren von Sekundärkupfermaterialien vom 29.09.1998 98/562/EG.

Blei (Reduktionsmittel) gekennzeichnet. Durch den Ladevorgang (im Kfz durch die Lichtmaschine) wird die Reaktion wieder umgekehrt:



Neben der konventionellen Blei-Säure-Batterie gibt es auch Blei-Gel-Batterien und Blei-Flies-Batterien. Bei ersteren liegt der Elektrolyt als Gel vor, bei letzteren ist der Elektrolyt in einem Flies gebunden. Der Bleigehalt dieser Batterien beträgt in gefülltem Zustand etwa 60 Gew.-% und entleert etwa 65 Gew.-%. Akkumulatoren werden in Starterbatterien und Antriebsbatterien eingeteilt, da sie unterschiedliche Anforderungen erfüllen. Starterbatterien sind durch ein hohe, aber nur kurz andauernde Leistung gekennzeichnet. Antriebsbatterien liefern eine kontinuierliche Stromversorgung für Elektrofahrzeuge (Traktionsbatterien), in elektrischen und elektronischen Geräten (Gerätebatterien), oder sie werden in der Notstromversorgung bzw. in abgelegenen Gebieten stationär eingesetzt (ortsfeste Batterien).

### **Starterbatterien**

Starterbatterien werden v.a. in Pkw, Lkw, Bussen, landwirtschaftlichen Fahrzeugen, Baumaschinen, Booten und Motorrädern verwendet. Nahezu alle Kraftfahrzeuge mit Verbrennungsmotor haben genau eine Starterbatterie (SLI) als Energiespeicher zum Starten (Starting), für die Lichtmaschine (Lighting) und zum Zünden (Ignition). Gehäuse und Anschlüsse von Starterbatterien sind international nach EN, SAE, JIS genormt. Die Kraftfahrzeuggeneratoren nutzen die 14,3 V Ladeeigenschaften von 12 V Starterbatterien. Folgende Eigenschaften der Bleibatterie haben zu ihrer vorherrschenden Stellung geführt:

- billige Rohstoffe
- weltweite Verfügbarkeit durch Recyclebarkeit von Akkumulatoren
- geringe Selbstentladung
- hohe Leistung in einem breiten Temperaturbereich (u.a. Kaltstartleistung)
- Wartungsfreiheit

Starterbatterien bestehen aus fünf Hauptkomponenten:<sup>80</sup> elastisches Kunststoffgehäuse, positive und negative interne Bleiplatten, Plattenseparatoren aus porösem synthetischen Material, verdünnte Schwefelsäure als Elektrolyt und Bleiverbindungsstücke zwischen der Batterie und der anzutreibenden Quelle. Die Gehäuse bestehen in der Regel aus PP und werden in sechs Zellen in Reihe unterteilt. Gitter oder Platten werden aus Blei oder Bleilegierungen gefertigt. Darauf wird eine Batteriepaste aus Bleioxid in Pulverform, Schwefelsäure und Wasser auf die Gitter aufgetragen. Die positiven und negativen Platten werden zum Vermeiden von Kurzschlüssen durch poröse Isolatoren getrennt und zu einem Element kombiniert. In jede der Zellen, die untereinander mit einem leitenden Material verbunden sind, kommt ein Element. Die Bleikontakte oder -stäbe werden aufgeschweißt. Die Batterie wird dann mit Batteriesäure aufgefüllt, verschlossen und auf Leckagen überprüft. Im letzten Schritt werden die Batteriekontakte mit einer Stromquelle verbunden und über viele Stunden aufgeladen. Danach wird das Gehäuse gereinigt und mit Labels versehen.

Die Angaben zum durchschnittlichen Gewicht von **Starterbatterien für Pkw/Nfz** liegen bei 13 kg (EUROBAT, 18.9.2000), 15 kg (Ökopol 2000, S. 12) und 17 kg (Behrendt, Steil 1997). Nach DFIU (2001) liegt das durchschnittliche Gewicht von Starterbatterien für Pkw/Nfz bei

---

<sup>80</sup> Vergl. [www.batterycouncil.org/made.html](http://www.batterycouncil.org/made.html), 3. Juli 2000.

14,9 kg, für KRAD bei 2,1 kg und für Luftfahrzeuge bei 7,4 kg. Nach dem Angebot in Deutschland 1999 gewichtet wiegt eine Starterbatterie 13,6 kg.

### **Traktionsbatterien**

Traktionsbatterien wandeln elektrische Energie in kinetische Energie zum Antrieb von Fahrzeugen. Nach ZVEI-Aufteilung gehören zu den Traktionsbatterien Gabelstaplerbatterien, Blockbatterien (z.B. Golfcarts, Kehrmaschinen, elektrische Rollstühle, Boote) sowie Zuglichtbatterien.<sup>81</sup> Wertmäßig stellen die **Gabelstaplerbatterien** mit etwa 95 % das Kerngeschäft dar (Bundeskartellamt 2000).

Bei der Herstellung werden die europaweit genormten Batteriezellen zu einem Batterieblock zusammengefasst und in einen Batterietrog eingelassen. Durch Elektrolytumwälzung können lange Lebensdauern erzielt werden. Die unterschiedlichen Formen und Kombinationen führen zu extremen Preisunterschieden. Gabelstaplerbatterien haben Kapazitäten von 24-80 V bei 100-1000 Ah, die übrigen Blockbatterien 24-36 V bei einer Leistung von 50-180 Ah. Nach DFIU (2001) liegen die Gewichte von Antriebsbatterien mit festem Elektrolyt bei 4,5 kg, mit flüssigem Elektrolyt bei 25 kg und für Luftfahrzeuge bei 7,8 kg. Nach dem Angebot in Deutschland 1999 gewichtet wiegt eine Traktionsbatterie 19,1 kg.

### **Ortsfeste Batterien**

Ortsfeste Batterien werden u.a. in Basisstationen von Mobilfunknetzen und anderen **Telekommunikationseinrichtungen** (z.B. Vermittlungsstellen) sowie anderen Einrichtungen der unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV), also in Notstromaggregaten, Sicherheits- und Alarmsystemen, Energieerzeugungsanlagen (u.a. Solaranlagen) und Eisenbahnanlagen<sup>82</sup> eingesetzt. Auch in Bordnetzen von Booten und Wohnmobilen finden sie Anwendung. Häufig sind sie komplizierter aufgebaut als Traktionsbatterien und bedürfen intensiverer Wartung. Es werden spezielle Blei- und Nickel/X-Batterien eingesetzt.

Ortsfeste Batterien haben Spannungen zwischen 2 und 220 V bei einer Leistung zwischen 100 und 10.000 Ah (Bundeskartellamt 2000). Nach DFIU (2001) liegen die Gewichte von ortsfesten Batterien mit festem Elektrolyt bei 4,3 kg und mit flüssigem Elektrolyt bei 18,5 kg. Nach dem Angebot in Deutschland 1999 gewichtet wiegt eine ortsfeste Batterie 4,8 kg. Ortsfeste Batterien können jedoch auch bis zu mehreren Tonnen schwer sein.

### **Gerätebatterien**

Kleinbleiakkus zählen zu den Gerätebatterien. Zu den Einsatzgebieten von Akkumulatoren in EE-Geräten zählen Foto- und Videogeräte (z.B. Camcorder), Haus- und Heimwerkergeräte (z.B. Akkuschauber), Informationstechnik (z.B. Mobiltelefone), Unterhaltungselektronik (z.B. Fernsteuerbares Spielzeug), Medizinische Geräte (z.B. Hörgeräte) und Sicherheitstechnik (z.B. Warnlicht).

Bleiakkus zählen **bei Fernsteuerbarem Spielzeug und bei Warnlichtern** zu den häufig eingesetzten Batterietypen (UBA 20.07.2001). Gerätebatterien wiegen typischerweise einige Hundert Gramm. Bei den intensiv genutzten Geräten (u.a. Mobiltelefone, Camcorder, Laptops) setzt Varta neben den Systemen Blei und Nickel-Cadmium zukünftig auch auf Nickel-Metallhydrid-

---

<sup>81</sup> Weitere Verwendungszwecke sind Regalbediengeräte, Gangways, in der Lagertechnik und bei fahrerlosen Transportsystemen, E-Loks, Diesel-Loks, S-Bahnen und U-Bahnen.

<sup>82</sup> Z.B. für die Regelung von Signalen, Weichen, Schranken

und Lithium-Ion-Systeme.<sup>83</sup> Bei diesen mobilen Geräten ist ein Trend zur Miniaturisierung, auch bei der Energieversorgungseinheit, zu beobachten.

### 6.2.2 Stoffströme

Nach EUROBAT (18.9.2000) gibt es weltweit mehr als eine Milliarde Kraftfahrzeuge mit einem Verbrennungsmotor, die mindestens eine Starterbatterie enthalten. Mit 3,3-3,8 Mio. t werden 60-70% des weltweiten Bleiverbrauchs in Höhe von etwa 5,5 Mio. t für die Akkumulatorenproduktion verwendet (Behrendt, Steil 1997). Insgesamt werden jährlich etwa 250 Mio. Starterbatterien hergestellt.<sup>84</sup> Viele Hersteller haben mehrere Akkumulatortypen im Sortiment. Starterbatterien sind mit 52 % des Bleieinsatzes bei der Produktion und 62 % beim Verbleib auch in Deutschland die quantitativ wichtigste Anwendung (DFIU 2001). Andere Quellen gehen gar davon aus, dass nicht nur knapp 60 % des Bleiverbrauchs, sondern etwa 70 % des Bleiverbrauchs in die Akkumulatorenproduktion gehen, da die Akkumulatorenwerke einen Teil ihrer Bleichemikalien von der chemischen Industrie beziehen.<sup>85</sup>

Die Abschätzung des Bleiflusses in Akkumulatoren für Deutschland im Jahre 1999 beruht vorwiegend auf Angaben von DFIU (2001). Aufgrund der **unzureichenden Datenlage** mussten zahlreiche Annahmen getroffen werden. Insbesondere sind die Produktionszahlen des Statistischen Bundesamtes nur dann verfügbar, wenn mindestens drei Hersteller in einem Marktsegment konkurrieren. Da diese Einschränkung für den Außenhandel nicht gilt, sind die Produktionszahlen teilweise durch Übertragung früherer Exportkoeffizienten berechnet worden - als die Produktionszahlen noch öffentlich zugänglich waren. Bei ortsfesten Batterien bestehen große Unsicherheiten über die tatsächlichen Produktionszahlen. Die insgesamt unzureichende Datenlage soll durch ein Monitoring ausgewählter Stoffströme gemäß BattV (2001) gebessert werden.

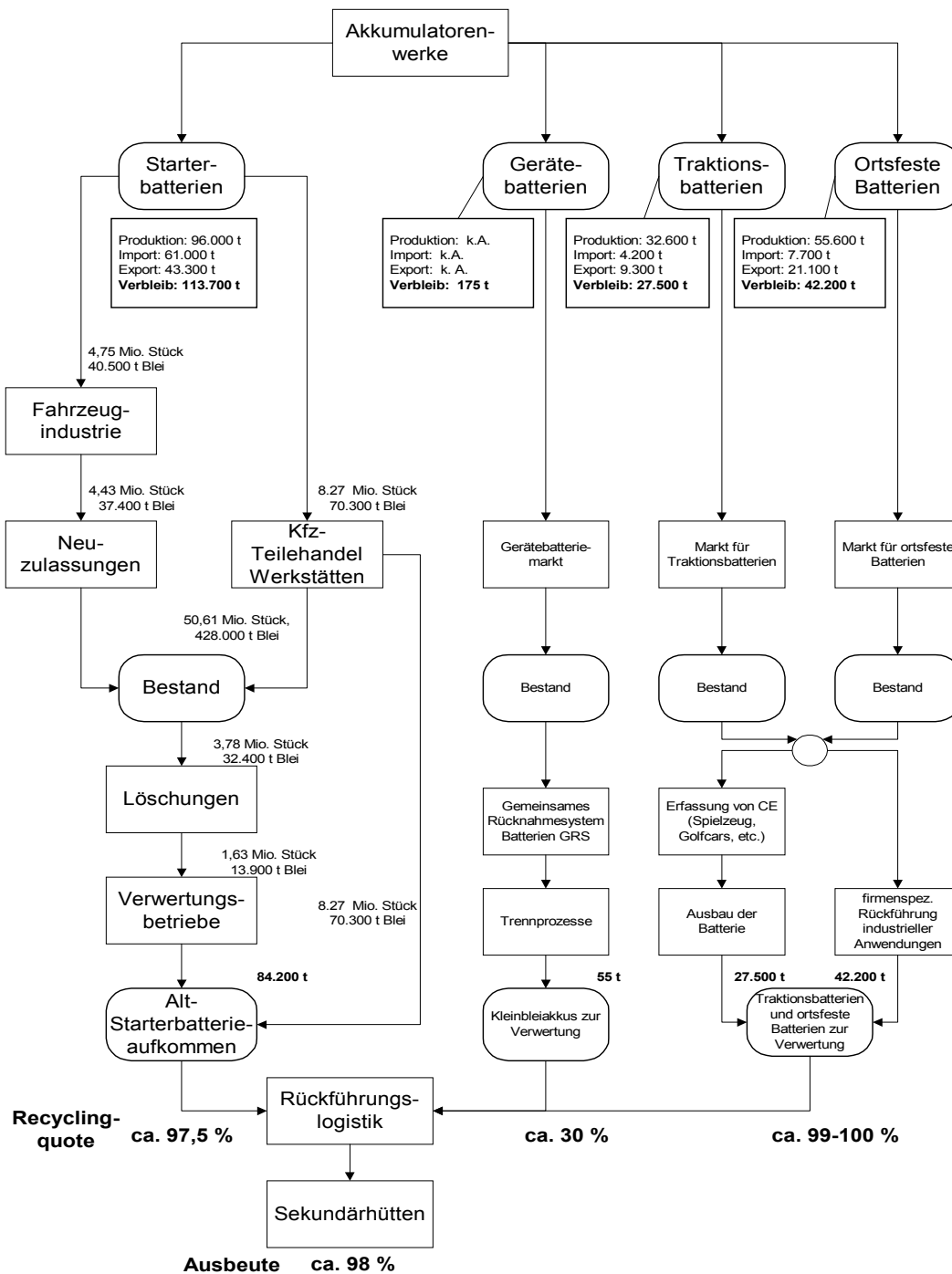
---

<sup>83</sup> Vgl. [www.aku-chem.at/varta/varta.html](http://www.aku-chem.at/varta/varta.html), 7.8.2001.

<sup>84</sup> Vgl. [www.iqpower.com](http://www.iqpower.com), 4.10.2001.

<sup>85</sup> Interview mit Herrn Steil (Fa. Berzelius) 2001.

Abbildung 6-9: Stoffströme von Blei in Akkumulatoren in Deutschland



Quellen: DFIU 2001; KBA 2002; GRS Batterien 2001; eigene Abschätzungen.

Weltweit gibt es nur noch wenige Hersteller von **Starterbatterien**, die in starkem Wettbewerb zueinander stehen. Die Produktion von Starterbatterien hängt eng mit der Konjunktur der Kfz-Branche zusammen und zeigt darüber hinaus, aufgrund des Kälte-bedingten Ausfalls von Batterien, einen Jahresgang mit erhöhter Produktion im Winter. Zu den wichtigsten Herstellern von

Starterbatterien in Europa zählen die Firmen Exide, Varta und Hoppecke mit Marktanteilen von 40 %, 30 % bzw. 18-20 % bezogen auf die Produktion von 40-50 Mio. Stück.<sup>86</sup> Das Ersatzgeschäft übertrifft das Erstausrüstungsgeschäft bei weitem. Abnehmer von Bleibatterien für die Erstausrüstung sind nahezu alle namhaften Automobilhersteller (DaimlerChrysler, Volkswagen, Peugeot, MAN, Volvo, ...), aber auch die Flotten des ADAC oder der Post werden beliefert.

Die Zahl der Neuzulassungen in Deutschland übersteigt die Zahl der Löschungen, was zu einem Bestandsaufbau von Blei führt. Insgesamt waren 1999 in Deutschland ca. 428.000 t Blei im Bestand gebunden. Dies übersteigt die jährliche Marktversorgung der 1. Verarbeitungsstufe mit Blei um knapp 50.000 t. Der Wechsel von Autobatterien erfolgt in der Regel in Kfz-Reparaturwerkstätten und an Tankstellen (Bringsystem). Auch bei den Altautoentsorgern fallen Altbatterien zur Verwertung an. Auf Anforderung des Händlers holt ein von den Herstellern beauftragtes regionales Entsorgungsunternehmen oder ein Schrotthändler die gebrauchten Starterbatterien ab (Holsystem). Ebenso wird mit den an öffentlichen Sammelstellen (Recyclinghöfe oder Schadstoffmobile) erfassten Altbatterien verfahren. Die Sammelstellen sind verpflichtet, gebrauchte Autobatterien kostenlos zurückzunehmen. Die Batterien werden zwischengelagert, zu größeren Chargen zusammengestellt und zu den Verwertungsanlagen transportiert. Erfolgt beim Kfz-Teilehandel und in Werkstätten ein Austausch von alter gegen neue Batterie, so geht Blei aus dem nationalen Bestand vor allem durch den Export von gelöschten Altfahrzeugen verloren. In den Verwertungsbetrieben wird die Altbatterie ausgebaut und einer Verwertung in Sekundärhütten zugeführt. DFIU (2001) gibt die Recyclingquote für Starterbatterien in Deutschland für 1999 mit 97,5 % an.<sup>87</sup> Die Prozessausbeute liegt bei etwa 98 % des eingesetzten Bleis.

Der Marktanteil der Fa. Exide bei **ortsfesten Batterien** ist nicht öffentlich zugänglich. Die größten Konkurrenten sind die Firmen VBH Hawker mit 22-30 % und Hoppecke mit 15-25 % (Bundeskartellamt 2000). Auf Exide dürften in Deutschland über 40 % des Marktes fallen. Die große Nachfrage der Mobilfunkbranche nach ortsfesten Batterien für die Basisstationen (Netzaufbau) hat zu einem starken Anwachsen des Marktes und zu einem Sinken der Preise von 445 DM/kWh (1997) auf 400 DM/kWh (1999) geführt. Zu den größten Abnehmern von Exide gehörten 1999 die Firmen Telekom, Mannesmann, Mobilfunk und ABB. Zu den Erstausrüstern von Hoppecke-Batterien zählen u.a. RWE, Alcatel, Siemens Solar und BP.

Hinter der Firma Exide, dem Marktführer bei **Traktionsbatterien**, folgen die Firmen VBH Hawker mit 20-30 %, Hoppecke mit 10-17 % und BAE mit 4-7 % Anteil am Gesamtumsatz von 220 Mio. DM (Bundeskartellamt 2000). Es ist zu vermuten, dass der nicht veröffentlichte Marktanteil von Exide zusammen mit dem Fusionspartner GNB bei über 45 % liegt. Auch hier ist ein Preisrückgang, von 248 DM/kWh (1997) auf 217 DM/kWh (1999), festzustellen.<sup>88</sup> Neben den Herstellern sind auch die sogenannten „Batterie-Händler“ hervorzuheben. Diese meist regional tätigen Hersteller beziehen Batterien von in- und ausländischen Herstellern und stellen sie gemäß der Kundenanforderungen zusammen.

---

<sup>86</sup> Interview mit Dr. Nann (Fa. Hoppecke) 2001.

<sup>87</sup> Die Recyclingquote berechnet sich aus dem Verhältnis von Bleibedarf für die Starterbatterien zum verfügbaren Altstarterbatterieaufkommen.

<sup>88</sup> Bei einem Umsatz von 220 Mio. DM sind 1999 folglich etwa 1 Mio. kWh produziert worden. Nach „Batterien für Elektrofahrzeuge“ (<http://212.227.60.221/Ralf/ev/technik/fbatteri.htm>, 04.10.2001) werden für 1 kWh 30 kg Blei Batterie benötigt. Daraus errechnet sich eine verkaufte Menge von etwa 30.000 t Blei, was sich gut mit der geschätzten Menge von DFIU (2001) deckt.

Die Wartung von ortsfesten Batterien erfordert erfahrenes Personal. Diese Dienstleistung wird von den großen Herstellern und den „Batterie-Händlern“ angeboten. Großabnehmer sind dazu übergegangen, ihre Gabelstaplerflotten auf Leasing-Firmen auszulagern. Auch Gabelstaplerfirmen sind im Leasing-Geschäft tätig. Der Leasing-Anbieter ist für Betrieb und Wartung sowie die Beschaffung von Ersatzbatterien zuständig. Zwar gehen auch in die Produktion von Traktions- und ortsfesten Batterien bedeutende Mengen an Blei, es kann jedoch nach übereinstimmender Auffassung verschiedener Quellen von einer Recyclingquote von 99-100 % der in Deutschland in Verkehr gebrachten Menge ausgegangen werden.<sup>89</sup>

Nach Angaben von GRS Batterien (2001) wurden 1999 ca. 290 t und 2000 ca. 482 t Bleiakumulatoren als **Gerätebatterien** in Deutschland verkauft, von insgesamt 25.023 t (1999) und 29.248 t (2000) Gerätebatterien. Der Bestand an Gerätebatterien ist nicht bekannt. Die Rücknahmemenge des GRS Batterien stieg von 8.336 t (1999) auf 9.266 t (2000). Bei einem Bleiinhalt von 60 % und einer geschätzten Recyclingquote von 30 % ergibt sich ein Bleiverlust in der Größenordnung von etwa 100 t. Die Kleinbleiakumulatoren werden zusammen mit anderen Gerätebatterien erfasst und anschließend als Gemisch Sortieranlagen zugeführt, wobei elektrodynamische Sensoren, Röntgensensoren und UV-Detektoren zum Einsatz kommen. Für Bleiakumulatoren stehen ausreichende Verwertungskapazitäten zur Verfügung. Sie werden zusammen mit Starterbatterien in Großanlagen verarbeitet. Das GRS ist dabei, ein flächendeckendes Rücknahmesystem zu errichten.

Die Analyse der Stoffströme von Blei in Akkumulatoren zeigt, dass in den Teilsegmenten Gerätebatterien, Traktionsbatterien und ortsfeste Batterien nur geringe Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei liegen. Trotz der hohen Recyclingquote bei **Starterbatterien** werden durch den **Export von Altfahrzeugen** und **Lücken im Erfassungssystem** bedeutende Bleimengen dem nationalen Bestand entzogen.

### 6.2.3 Problemlagen: Defizite, Verwertungspotenziale und Substitution

Wesentliche Einflussgrößen für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei im Teilsegment Starterbatterien sind: Produktrends und Substitutionsoptionen, Altbatterie-Erfassung, Verwertungspotenziale und die weltweite Massenmotorisierung. Neben den Batterie- und Fahrzeugherstellern sind die Fahrzeughalter, die Betreiber von Werkstätten, Tankstellen und Demontagebetrieben sowie Fahrzeug-, Batterie- und Schrotthändler wichtige Akteure des Starterbatteriestoffstroms.

#### Produktrends und Substitutionsoptionen

Großtechnisch realisierbare Alternativmaterialien zu Blei haben bezüglich des Selbstentladeverhaltens und der Temperaturabhängigkeit inhärente Nachteile. Auch wenn sie in Massenproduktion gingen, so wären diese Systeme nach Auffassung von EUROBAT (18.9.2000) mindestens zehn mal so teuer. Zentrale Anforderungen an die Starterbatterieentwicklung sind die Optimierung der herkömmlichen Starterbatterien, die Einführung von 42 V Netzen in Kraftfahrzeugen sowie alternative Antriebstechniken. Des weiteren werden in näherer Zukunft zusätzlich kleine Batterien für Diebstahlalarm und automatischen Notruf integriert, die jedoch eher den Charakter von Gerätebatterien haben.<sup>90</sup>

<sup>89</sup> Interview mit Dr. Nann (Fa. Hoppecke) 2001; Behrendt, Steil 1997; Balzer 1995

<sup>90</sup> Die Hersteller werden wohl Bleibatterien bevorzugen, da sie u.a. weitgehend temperaturunabhängig eine hohe Leistung bereitstellen und einen geringeren Preis haben. Mit 14,3 V haben sie die gleiche Ladespannung wie Starterbatterien, so dass kein zusätzlichen Ladeeinrichtungen vonnöten sind. Diese Batterie muss in die Karosserie

### Aktuelle Trends bei Starterbatterien

Die **ADAC-Pannenstatistik** verrät einen in den letzten zehn Jahren deutlich gestiegenen Anteil an Batterie-bedingten Pannen. Gründe für die Überlastung des Bordnetzes sind zum einen der immer zähere Verkehrsfluss und die stark gestiegene Zahl elektrischer Verbraucher im Kfz. Insbesondere im Winter kommen beide Faktoren häufig zusammen, was bei der geringeren Leistungsfähigkeit von Batterien bei tiefen Temperaturen zum Ausfall führen kann und sich auch in einer erhöhten Nachfrage nach Batterien in den Wintermonaten äußert. Darüber hinaus ist ein gesunkenes Wartungsbewußtsein beim Benutzer zu verzeichnen.<sup>91</sup> In naher Zukunft werden allerdings Informationen über den Wartungszustand der Batterien zu erwarten sein („Achtung, ihre Batterie wird schwach!“). Dazu können Multimedia-Plattformen oder simple Anzeigen am Armaturenbrett dienen.

An der Optimierung der herkömmlichen Starterbatterie arbeiten alle namhaften Hersteller, darunter auch die Firmen Varta, Exide und Hoppesche. Darüber hinaus wird der zunehmende Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnik möglicherweise zu gravierenden Umbrüchen der Wertschöpfungsketten führen.

Die bisherige Blei-Calcium-Technologie (12 V) ist weitgehend ausgereizt. Die Effizienzpotenziale bei der herkömmlichen 100 Ah Batterie liegen bei einer Gewichtsreduktion von 24,5 kg auf 23,5-23,0 kg, wohingegen mit der 74 Ah **Vliestec-Batterie** ein Gewicht von 20,4 kg, also eine Reduktion um 4 kg erreicht werden kann.<sup>92</sup> Der Bleianteil beträgt bei beiden Systemen immer noch 60-70 % wovon 40 % auf das Gitter und 60 % auf die Paste entfallen. Die Vliestec-Batterie der Fa. Hoppesche ist ein geschlossenes System unter Druck, das einen dreifachen Energiedurchsatz erlaubt. Sie ist wartungsfrei mit einem Ventil verschlossen. Die Batterien werden so ausgelegt, dass beim „Flughafentest“ (vier Wochen) 70-80 % ihrer Leistung aufrechterhalten bleiben. Die Entwicklungszeit von Vliestec lag bei ca. 3-4 Jahren. Der Übergang von der 100 Ah zur Vliestec 74 Ah-Batterie soll preisneutral erfolgen, derzeit liegen die Mehrkosten noch bei ca. 5 %. Bei einem Wechsel von der 100 Ah zur 100 Ah-Vliestec-Batterie beträgt der Mehrpreis etwa 25-30 %. Die Firma Hoppesche beliefert DaimlerChrysler mit Vliestec-Batterien, die zum Massenprodukt werden sollen.<sup>93</sup> Die **Exide XXL-Batterie** beruht auf der Blei-/Calcium-Streckmetalltechnik bei der Herstellung der positiven und negativen Platten. Die 15 % Mehrkosten gegenüber einer konventionellen Batterie rechtfertigt der Hersteller mit einer über die gesamte, verlängerte, Lebensdauer konstanten und höheren Kaltstartleistung. Darüber hinaus bietet sie im Vergleich zu den Wettbewerbs-Fabrikaten die „höchste Auslauf- und Anwendungssicherheit“. Eine in den Batteriedeckel integrierte Anzeige signalisiert den Ladezustand der Batterie.<sup>94</sup> **Varta** gibt für ihre Batterien SILVER dynamic und BLUE dynamic an, dass sie aufgrund ihrer Blei-Calcium-Silber-Legierungen zu 20 % längerer Lebensdauer (verbesserte Korrosionsbeständigkeit) und stabilerem Verhalten bei Temperaturschwankungen imstande sind. Darüber hinaus werden sie als Produkte mit 30 % höherer Kaltstartleistung und

---

integriert werden, was mit Demontageanforderungen kollidieren könnte. Die Lage der Batterien müsste den Demontagebetriebern bekannt gemacht werden (Ökopool 2001, S. 10).

<sup>91</sup> Dies liegt u.a. an der Ausweitung der Ölwechsel-Intervalle auf 50.000 km bei Diesel-Pkw und Zündkerzenwechsel alle 100.000 km.

<sup>92</sup> Interview mit Dr. Nann (Fa. Hoppesche 2001).

<sup>93</sup> Interview mit Dr. Nann (Fa. Hoppesche 2001).

<sup>94</sup> Vergl. [www.exide-automotive.de/presse/exide\\_XXL\\_die\\_ideale\\_batterie.html](http://www.exide-automotive.de/presse/exide_XXL_die_ideale_batterie.html), 7.8.2001.



Wartungsfreiheit beworben. Die Lagerfähigkeit wird mit 15 Monaten, die Mobilitätsgarantie mit zwei Jahren angegeben.<sup>95</sup> Entwicklungspotenziale verspricht die **Chip-gesteuerte Starterbatterie** der Fa. IQ Battery Research & Development GmbH. Die elektrochemischen Prozesse in der Blei-Säure-Batterie werden durch einen Microchip überwacht und gesteuert. Über Datenbus oder Powerlines tauscht die Batterie Informationen mit Generator und Lichtmaschine sowie mit Bordcomputern und Diagnosesystemen aus. Ein Warnsignal am Armaturenbrett gibt über den Batteriezustand Auskunft. Die Batteriezellen befinden sich in einer thermisch isolierten PP-Schaumstoff-Box und werden elektrisch temperiert. Eine ausgeklügelte Durchmischung sorgt für eine optimale Säurekonzentration in den Batteriezellen. Die Chip-gesteuerte Batterie spart nach Firmenangaben bei vergleichbarer Leistung im Vergleich zu herkömmlichen Batterien über 40 % an Blei (wird fast um die Hälfte leichter), lädt sich im Winter schneller wieder auf und ist zuverlässiger.<sup>96</sup> Die chip-gesteuerte Batterie könnte zum Bestandteil rechnergesteuerter Bordnetze werden, wodurch sich der Akkumulatorenindustrie die Gelegenheit eröffnen könnte, gegenüber der Fahrzeugindustrie als Systemanbieter aufzutreten. Die jüngst eingerichtete **Covisint-B2B-Plattform** einiger großer Automobilhersteller wie z.B. Ford und DaimlerChrysler soll u.a. die Beschaffung effizienter und kostengünstiger machen. In der Konstruktionsphase eines Autos ist die Batterie häufig „hinten“, d.h. es steht nur ein begrenzter Bauraum zur Verfügung. Eine herkömmliche 130 Ah-Batterie wäre dann beispielsweise zu groß, wohingegen eine 100 Ah-Vliestec-Batterie hineinpassen könnte. Ob der intensiviertere Wettbewerb zwischen den Zulieferern und die loseren Lieferbeziehungen zu einem Qualitätsverlust führen werden ist derzeit noch nicht einzuschätzen.

#### **42-Volt Bordnetz**

Brake by Wire und Steer by Wire werden voraussichtlich ab 2005 das mechanische Gestänge und die Druckluft (Hydraulik) ersetzen, da sie kostengünstiger zu realisieren sein werden und zu konstruktiven Vereinfachungen führen werden. Ein Sicherheitspuffer bei der Leistungsdimensionierung der Fahrzeugelektronik wird nötig sein. Weitere **zukünftige Hochverbraucher von Strom** sind u.a. Startergeneratoren,<sup>97</sup> elektrisch angetriebener Turbolader und elektromechanische Ventiltriebe. State of Charge und State of Health der Batterie müssen zukünftig v.a. aus Sicherheitsgründen kontinuierlich erfasst werden.

Aufgrund der Anforderungen moderner Kfz-Elektronik wird erwartet, dass langfristig ein 42 Volt-System in Kraftfahrzeugen die elektrische Versorgung übernehmen wird (Ökopol 2001, S. 9). Anstelle der üblichen 12 V Batterien sind dann 36 V-Batterien erforderlich. Die Einführung des sogenannten board.net bei der Firma Hoppecke, basierend auf der Vliestec-Batterie, wird für 2004/2005 erwartet. In der Übergangszeit werden **möglicherweise zwei getrennte Batteriesysteme** die Energieversorgungsaufgaben in Kraftfahrzeugen wahrnehmen, da einerseits nicht alle elektrischen Aggregate und Glühlampen sofort auf 36 V umgestellt werden können, andererseits Hochstromverbraucher wie die Windschutzscheibenheizung aber besser mit 36 V-Batterien versorgt werden können.<sup>98</sup>

<sup>95</sup> Vergl. [www.akkuchem.at/varta/varta.html](http://www.akkuchem.at/varta/varta.html), 7.8.2001.

<sup>96</sup> Vergl. [www.iqpower.com](http://www.iqpower.com), 04.10.2001.

<sup>97</sup> Starter-Generator-Systeme werden 3-6 kW liefern müssen (Interview mit Dr. Nann (Fa. Hoppecke) 2001).

<sup>98</sup> Heute werden bei 100 Ah-Systemen Kupferkabel mit einem Querschnitt von 600 mm<sup>2</sup> benötigt. Durch Spannungserhöhung auf 42 V sind dünnere Querschnitte möglich, die sich entweder leichter verlegen lassen und zu geringerem Materialeinsatz bei der Verkabelung führen oder aber es werden deutlich höhere Ströme transportiert (200 A).

Nach Auffassung verschiedener Experten ist **noch nicht entschieden, welche Batterietechnik** langfristig für das 42 Volt System eingesetzt werden wird: Hochleistungs-Bleibatterie, Nickelmetallhydrid-, Lithium-Ion- oder sogenannte Super-Kapazitäts-Zellen (Ökopol 2001, S. 10). In der überschaubaren Zukunft (etwa 10 Jahre) wird die Bleibatterie aufgrund ihrer langsamen Selbstentladung weiterhin vorherrschen. Nickelmetallhydrid- und Lithium-Ionen-Batterien sind deutlich temperaturabhängiger. Zudem sind sie derzeit zu teuer. Auch eine Kombination von Bleibatterie (Starten) mit Nickelmetallhydrid- oder Lithium-Ionen-Batterie (Stromversorgung) ist denkbar. Die Effizienzgewinne durch leistungsfähigere Batterien werden nicht zu einer Materialreduktion, sondern zu einer Nutzensausweitung führen. Auch vor dem Hintergrund von Zwei-Bord-Systemen werden die **Effizienzfortschritte** eher **überkompensiert** werden, weshalb auch mittelfristig nicht mit einem verringerten Bleibedarf zu rechnen ist.<sup>99</sup>

### Alternative Antriebe

Das Fahren von Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor führt vor allem in den Städten zu Umweltbelastungen wie Lärm- und Schadstoffemissionen (NO<sub>x</sub>, Ruß etc.). Die Emissionsminderungspotenziale bei herkömmlichen Verbrennungsmotoren sind zwar noch nicht ausgereizt, dennoch arbeiten die Automobilhersteller fieberhaft an neuen Antriebskonzepten (Ersting, Klingholz 2001), die auch auf den Batteriemarkt gravierende Auswirkungen haben werden. Hauptstränge der Forschungsbemühungen sind Elektro- und Hybridfahrzeuge sowie Brennstoffzellenantriebe.

Mittelfristig könnten Traktionsbatterien verstärkt in **Elektro- und Hybridfahrzeugen** eingesetzt werden. Über die Marktpotenziale von Elektroautos gibt es widersprüchliche Angaben. Geringe Spitzengeschwindigkeit, begrenzte Reichweite, lange Ladezeiten und hohe Batteriegröße zählen zu den Hauptnachteilen dieses Konzeptes. Hybrid-Fahrzeuge haben neben einer Traktionsbatterie einen kleinen Verbrennungsmotor. Auf offenen Straßen wird die Batterie immer wieder aufgeladen, reiner Batteriebetrieb bleibt dem Stadtverkehr vorbehalten. Der Toyota Lexus fährt mit einem Ni-Metallhydrid-System bei 200-300 km Reichweite. Eine Ersatzbatterie würde 15.000-20.000 DM kosten. Das Projekt hat deshalb eher Demonstrationscharakter.<sup>100</sup> Selbst bei einer Verdrängung des Verbrennungsmotors durch Elektromotoren würden die Antriebsbatterien wahrscheinlich vorwiegend aus dem billigen Massenstoff Blei bestehen, da allein der Rohstoff Nickel mehr als 10 Mal teurer als Blei ist. Die Nickelindustrie wäre zudem gegenwärtig nicht in der Lage, die erforderlichen Mengen anzubieten.<sup>101</sup> Bei erhöhter Nickelnachfrage könnte sich die Preisdiskrepanz noch verschärfen.

In der **Brennstoffzelle** wird Wasserstoff mit Sauerstoff in einer exothermen Reaktion zu Wasser umgesetzt. Die Brennstoffzelle bezieht den Sauerstoff aus der Umgebungsluft, wobei das CO<sub>2</sub> als Katalysatorgift in der Brennstoffzelle mit hohem Aufwand zu eliminieren ist. Der Wasserstoff muss entweder mitgeführt werden, was hochvolumige Drucksysteme erfordert, oder eine flächendeckende Infrastruktur muss errichtet werden. Dem Einsatz von Methanolsystemen stehen derzeit noch geringe Wirkungsgrade und Methanolemissionen entgegen. Für den Brennstoffzellenbetrieb müssen enge Betriebsbedingungen, z.B. bei der Temperatur, eingehalten werden. Beim Starten muss ein Kompressor die Brennstoffzelle mit Luft versorgen, wozu eine Star-

---

<sup>99</sup> Interview mit Dr. Nann (Fa. Hoppecke 2001).

<sup>100</sup> Neben Toyota bietet auch Honda hybride Elektroautos an.

<sup>101</sup> LME-Preise: Blei 500 US-\$/t, Nickel 6.500 US-\$/t.

terbatterie erforderlich ist.<sup>102</sup> Auch als Energiepuffer wird weiterhin eine Batterie nötig sein. Mögliche Konfigurationen sind derzeit Gegenstand intensiver Forschungsanstrengungen. Fahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb werden voraussichtlich erst 2020/2030 in signifikantem Umfang produziert.<sup>103</sup>

### **Effiziente Rücknahmesysteme für Altakkus und Export in Altfahrzeugen**

Die Erfassung von gebrauchten Batterien ist das schwächste Glied beim Etablieren eines geschlossenen Batteriekreislaufes, wobei zwischen der Erfassung von Starterbatterien aus gelöschten Fahrzeugen und beim Batteriewechsel zu unterscheiden ist. Zu den Altfahrzeugen zählen Gebrauchtwagen und stillgelegte Fahrzeuge. Altfahrzeuge werden aus vier Hauptgründen gelöscht:

- Export zur weiteren Nutzung oder Entsorgung im Ausland;
- Stilllegung zur Entsorgung im Inland;
- Stilllegung länger als 18 Monate (Liebhaberfahrzeuge) sowie
- unbekannter Verbleib (z.B. Diebstahl).

Die beiden letzten Punkte sind für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von untergeordneter Relevanz. Die Arbeitsgemeinschaft Altauto gibt das mittlere jährliche **Altautoaufkommen zur Verschrottung** in Deutschland mit 1,1 – 1,7 Mio. Stück an (ARGE 2000). Dies entspricht nur 34-52 %, im Mittel **43 %** der gelöschten Fahrzeuge. Beträchtliche Mengen an Akkumulatoren gehen mit dem Altfahrzeugexport in andere Länder. In Osteuropa werden die Fahrzeuge häufig weiter genutzt, bevor sie unter unbekanntenen Bedingungen entsorgt werden. Die ungünstigen sozio-ökonomischen Verwertungsbedingungen in Deutschland begünstigen auch die Verschrottung in Ländern wie Italien. Über die internationalen Sekundärrohstoffmärkte werden die Bleiakumulatoren vermutlich in sehr hohem Maße wieder dem Wertstoffkreislauf zugeführt, belastbare Informationen liegen allerdings nicht vor.

Der **Ausbau von Bleibatterien** bei der Verschrottung ist **obligatorisch** (AltautoV 1997). Zu den nicht separat erfassten Akkumulatoren bei der Verschrottung im Inland gehören bei Unfällen deformierte und verkeilte Batterien. Die Batterie-Paste wird im Shredder in die Shredderflufffraktion geraten, die in der Praxis noch deponiert, aber ab 2005 verbrannt werden soll. Das Gitter wird in etwa 5 DM große Stücke gerissen und landet in der nicht-magnetischen Schwerfraktion. Der Cu- und Zn-Gehalt dieser Fraktion liegt bei je ca. 30 %, der Rest sind Blei, anhaftender Stahl und Isolierungen.<sup>104</sup> Zur Zeit geringer Bleipreise, wie 1993-1995, waren die erzielbaren Preise für die Batterieverwertung geringer als für das Gewicht als Stahlschrott. Deshalb stieg der Anteil von Blei in der Stahlschiene und wurde als Flugstaub wieder aufgearbeitet (Behrendt, Steil 1997). Allerdings werden die Pb-Zn-Stäube heutzutage auch in hohem Maße im Bergversatz abgelagert<sup>105</sup>, weshalb unabhängig von den aktuellen Marktbedingungen eine Entnahme und Verwertung sicherzustellen ist.

Starterbatterien in Kfz haben eine Lebensdauer von 3-6 Jahren. Kfz-Akkumulatoren müssen während der Lebensdauer eines Automobils von 10-12 Jahren deshalb mehrfach ausgetaucht

---

<sup>102</sup> Vgl. [www.3sat.de/tips/mobil/aktuell/03883/](http://www.3sat.de/tips/mobil/aktuell/03883/) „New Electric Car 4“, 18.01.2001.

<sup>103</sup> Vgl. [www.planetark.org/dailynewsstory.cfm?newsid=980](http://www.planetark.org/dailynewsstory.cfm?newsid=980), „Metals vie for electric car battery dominance“, 14.2.2001.

<sup>104</sup> Interview mit Herrn Steil (Fa. Berzelius Metall) 2001.

<sup>105</sup> vgl. Begründung zum Entwurf einer VersatzV des BMU vom Februar 2002.

werden. Um möglichst viele Batterien zu erfassen, muss der Käufer beim Kauf einer neuen Batterie ein **Pfand von 15 DM** entrichten, es sei denn, er gibt gleichzeitig eine alte Batterie ab (BattV 1998). Das Pfand wird bei nachträglicher Rückgabe einer alten Batterie erstattet. Ist das Fahrzeug nicht fahrtüchtig und eine neue Batterie wird benötigt, so wird die alte Batterie normalerweise nicht zurückgebracht. Selbstwechsler erstehen ihre neue Starterbatterie teilweise in Warenhäusern und Einkaufsmärkten, ohne die alte abzugeben. Diese Starterbatterien lagern häufig noch längere Zeit in der Garage oder im Keller, im Einzelfall werden sie über den Hausmüll oder z.B. im Wald beseitigt („Littering“). Es liegen jedoch keine belastbaren quantitativen Daten über diese Mengen vor.

**Ausgereifte Recyclingverfahren**

Die Produktions- und Recyclinganlagen für Starterbatterien haben ein hohes technisches Niveau erlangt. Auch in den Primär- und Sekundärhütten besteht ein Eigeninteresse zur Kreislaufführung, Produktionsabfälle werden weitgehend in die Schmelze zurückgeführt.<sup>106</sup> Die Produzenten von Akkumulatoren und Betreiber von Sekundärbleihütten sind teilweise vertikal integriert, so z.B. die Firmen Varta und Hoppecke. **Akkumulatoren** tragen insgesamt zu über **80 % der eingesetzten Rohstoffe von Sekundärbleihütten** bei. Die restlichen 20 % sind bleihaltige Produktionsabfälle (Aschen, Krätzen, Stäube, Schlämme), Altkabel aus dem Erdreich, Bildschirme von Aufbereitern, Schrotte (z.B. Auswuchtgewichte, Bleche, Rohre), Abbruchmaterial (Bleischürzen an Velux-Fenstern) und Legierungen.<sup>107</sup> Altakkumulatoren werden in Deutschland in folgenden Sekundärhütten recycled:

**Tabelle 6-13: Hütten zum Recycling von Akkumulatoren in Deutschland**

	Technik	Einsatzmenge	Input	Nebenprodukte
MRU Freiberg	Engitec, KTOs	55.000 t/a	Akkus, Sero, Schrott	Natriumsulfat, PP-Chips
Varta Krautscheid	Schachtofenverfahren	55.000 t/a	Akkus, Sero, Schrott	Schlacke, Blei-Eisen-Stein, Bleikrätze
BSB Braubach	Engitec, KTOs	55.000 t/a	Akkus, Sero, Schrott	PP, PP-Chips, Paste
Harz-Metall Goslar	MA-Technik, KTOs	75.000 t/a	Akkus, Sero, Schrott	Paste
Hoppecke Brilon	KTOs	12.000 t/a	Akkus, Sero, Schrott	Schlacke, Bleikrätze
Schumacher Rommerskirchen	KTOs	18.000 t/a	Schrott (75 %), Akkus (25 %)	Schlacke, Blei-Eisen-Stein, Bleikrätze
Hetzel Nürnberg	KTOs	22.000 t/a	Schrott (75 %), Akkus (25 %)	Schlacke

Quelle: DFIU 2001.

Während der Produktnutzung reagiert die Bleioxidpaste mit der Batteriesäure teilweise zu Bleisulfat. Die resultierende Batteriesäure-Konzentration beträgt nur noch etwa 10-15 %. Der Verkauf von Blei aus dem Batterierecycling ist gegenwärtig gewinnträchtig (100-250 €), Recycling oder Neutralisierung der Batteriesäure wird jedoch zur Zeit nicht ausreichend durch Marktkräfte

<sup>106</sup> Gitterstanzanfälle und Abfallmasse aus dem Pastieren werden intern recycled, Elektroden- und Batterieausschuss gerät ins Sekundärrohstoffrecycling zur Bleihütte. Der nicht verwertbare Gipsschlamm aus der Abwasserreinigung mit einem Bleigehalt von weniger als einem Prozent wird durch Sedimentation und Filtration abgeschieden und als Sonderabfall deponiert (Interview mit Dr. Nann (Fa. Hoppecke) 2001).

<sup>107</sup> Interview mit Herrn Steil (Fa. Berzelius Metall) 2001.

unterstützt. Blei-Säure-Batterien haben am Ende der Nutzungsphase in etwa folgende Zusammensetzung:

**Tabelle 6-14: Typische Zusammensetzung gebrauchter Starterbatterien aus Kraftfahrzeugen**

Komponente	Anteil [Gew.-%]	
	EIPPCB nfm 1999	Behrendt, Steil 1997
Blei (Legierungs-) Komponenten (Gitter, Pole)	25-30	34
Elektrodenpaste (feine Partikel von Bleioxid und Bleisulfat)	35-45	39
10-20%-ige Schwefelsäure	10-15	11
PP	4-8	5
andere Kunststoffe (PVC, PE, etc.)	2-7	7
Ebonit	1-3	3
andere Materialien (Glas, ...)	< 0,5	1

Quelle: EIPPCB nfm 1999 S. 311; Behrendt, Steil 1997.

Die Bleiausbeute liegt beim Engitec-Verfahren (MRU Freiberg und BSB Brauchbach) bei 98 %, die Wasseremission werden mit weniger als 1g/t Blei und die Luftemissionen mit 7 g/t Blei angegeben.<sup>108</sup> Die Bleiverluste dürften größtenteils in der KTO-Schlacke silikatisch gebunden sein. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Einsatzstoffe und Prozessprodukte:

**Tabelle 6-15: Input und Output beim MRU-Batterierecycling-Verfahren**

Input	t/a	Output	t/a
Akkuschrott	45.500	Fertigblei	35.000
Gekrätz	2.000	kristallines Natriumsulfat	2.400
Kaufblei/Altblei	3.750	Recycling PP	1.900
Legierungsmetalle	79,4	KTO-Schlacke	7.000
		Asche aus der Verbrennungsanlage	1.220
		Ofenbruch	50
		Blei in Abwasser	0,0285
		Blei in Luft	0,478

Quelle: Fellmuth, Bräutigam 1999.

Auch die anderen Verfahren haben Bleiausbeuten um die 98 %. Wird die Bleimenge von etwa 154.000 t aus Altakkumulatoren zu 98 % wiedergewonnen, so gehen rund 3.080 t Blei prozessbedingt verloren. Da die **Verfahren ausgereift und optimiert** sind,<sup>109</sup> ließe sich die Ausbeute nur bei einem sehr steilen Anstieg der Grenzkosten erhöhen.

### **Weltweite Dimension: Massenmotorisierung**

1995 betrug der weltweite Pkw-Bestand etwas über 500 Mio.. Eurobat (18.9.2000) gibt den Kfz-Bestand im Jahre 2000 mit über einer Milliarde an. Er soll nach verschiedenen, allerdings unzulänglichen Prognosen bis 2030 auf 1,6-2,3 Mrd. ansteigen.<sup>110</sup> Die Auswirkungen auf den Bleistrom werden unter folgenden vereinfachten Annahmen geschätzt:

<sup>108</sup> Behrendt, Steil (1997), Interview mit Herrn Steil (Fa. Berzelius Metall) 2001.

<sup>109</sup> Interview mit Herrn Batz (UBA) 2001.

<sup>110</sup> Vgl. UPI (1995); www.3sat.de/hitec/ 3.3.2002

- Weltweit werden jährlich 300-350 Mio. Bleibatterien mit einem Gesamtgewicht von 3,3-3,8 Mio. t hergestellt, was der Abnahme von 60-70 % der jährlichen Weltbleiproduktion in Höhe von 5,6 Mio. t entspricht (Behrendt, Steil 1997).
- Schätzt man den Anteil an Starterbatterien an der gesamten Akkumulatorenproduktion zu 70 % ab, so gehen etwa 50 % des gesamten Bleiverbrauchs in Starterbatterien.
- Werden auch im Jahre 2030 vorwiegend Kfz mit Verbrennungsmotor gefahren, finden keine Effizienzsprünge statt und werden keine großtechnischen Alternativen für Bleistarterbatterien gefunden, so wird sich auch der Bestand von Blei in Starterbatterien um etwa einen Faktor 2,5 vergrößern.
- Bei einem konstanten Verhältnis von zur Produktion von Starterbatterien benötigtem Blei / Blei im Starterbatteriebestand kann der **Bleibedarf für das Jahr 2030 auf ca. 9 Mio. t hochgerechnet** werden.

Die Bleiereserven wurden in den 90er Jahren auf 65 bis 70 Mio. t geschätzt. Zwar wird sich der Bleibedarf aufgrund der Recyclierbarkeit von Bleiakkulatoren nicht im Maßstab 1:1 auf die Gewinnung von Blei aus Minen durchschlagen, es signalisiert jedoch den **Innovations- und Handlungsbedarf**. Einerseits können die Reserven durch verstärkte Prospektion, Erschließung und technisch-ökonomische Optimierung der Abbaubedingungen gestreckt werden. Aufgrund der zunehmenden Motorisierung in den Entwicklungs- und Schwellenländern („China-Faktor“) ist jedoch verstärkt auf die dortigen Produktionsbedingungen von Akkulatoren, Erfassungs- und Recyclingsysteme zu fokussieren.<sup>111</sup> Für die dortigen Stoffströme sind häufig ausschließlich ökonomische Faktoren ohne Einbeziehung ökologischer Faktoren maßgeblich. Ob sich das Sammeln von Altbatterien in Entwicklungsländern lohnt, hängt von der Nähe einer Rücknahmestelle, dem Ankaufspreis und den Kosten fürs Sammeln, Lagern und Transportieren ab. Das Recycling gebrauchter Bleibatterien erfolgt nicht nur auf industriellem Niveau, sondern auch durch das informelle Kleingewerbe. Im Kleingewerbe wird das Blei aus Gittern und Polen u.a. auch dazu benutzt, Lote und Gewichte für Fischernetze herzustellen. Das Aufbrechen der Batterien erfolgt dabei oft manuell, wobei für das Personal und die Umwelt erhebliche Gefahren auftreten können (GTZ 1999, S.22).

#### **Fazit: Strategien und Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung**

Effizienzsteigerungen bei der Starterbatterie, in Form von Ressourcenproduktivität und Lebensdauerverlängerung, werden durch Marktkräfte mobilisiert. Ob bei der Einführung des 42 V Bordnetzes vorübergehend zwei Bleibatterien oder nur eine Bleibatterie zum Einsatz kommen werden, ist noch nicht abzusehen. Das Substitut Nickel ist sowohl im Hinblick auf die Ressourcenverfügbarkeit als auch auf die Toxizität sehr kritisch zu beurteilen.

Die Differenz zum theoretischen Recyclingpotenzial liegt über die Gebrauchsdauer von Akkulatoren und den Kraftfahrzeugexport hinaus auch in Erfassungslücken. Bei den Verwertungsverfahren bestehen nur sehr geringe Optimierungsmöglichkeiten. Die Erfassung kann über die Sammelquote als Quotient aus dem Altstarterbatterieaufkommen und den in einem Jahr in Verkehr gebrachten Starterbatterien für den Bezugsraum Deutschland abzüglich des Exportes definiert werden. Folgende Tabelle fasst die Strategien für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung, einschließlich einer Kurzbewertung zusammen.

<sup>111</sup> Insbesondere in Ländern der Dritten Welt werden kleine Bleihütten unter katastrophalen Umweltbedingungen betrieben. Aus Brasilien kommt ein Versuch, internationale Standards für das Recycling vorzuschreiben (Interview mit Frau Behnke (UBA) 2001).

**Tabelle 6-16: Strategien für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei in Starterbatterien**

Strategie	Kurzbewertung
Reduktion des spez. Bleieinsatzes	Produktionsabfallrecycling ausgereift durch Batteriegröße und -geometrie, Gel- und Vliestechniken: durch Marktkräfte unterstützt
Substitution	Derzeit keine praktikablen Alternativen zur Blei-Starterbatterie, aber ggf. zukünftig (durch Marktkräfte derzeit nicht unterstützt) Bei Massenmarkt für Elektroautos womöglich Substitution von SLI durch Traktionsbatterien
Bestandsreduktion (Multifunktionalität)	Eher Differenzierung in zwei Batteriesysteme zu erwarten, wovon zumindest die Starterbatterie weiterhin auf Bleibasis
Verlängerung der Nutzungsdauer	Wartungsfreiheit und lange Nutzungsdauer durch Automobilhersteller gefordert
Nutzungsintensivierung	Leasing und Miete von Kfz unspezifisch im Hinblick auf Starterbatterien, entscheidend sind das Wartungs- und Nutzungsverhalten
Kreislaufwirtschaft	Demontagegerechte Konstruktion gewährleistet Erfassung und Demontage: begrenzte Potenziale Bleirecycling wird derzeit durch Marktkräfte unterstützt

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

Die Fa. Shell (2001) hat die Entwicklung der Pkw-Zulassungszahlen und des Pkw-Bestandes in einem „One World Szenario“ und einem „Kaleidoskopszenario“ bis 2020 abgeschätzt. Das sogenannte „One World Szenario“ beruht u.a. auf optimistischen Wachstumsraten und weiterer Liberalisierungspolitik. Beim „Kaleidoskopszenario“ ist der staatliche Einfluss höher, weshalb das Wirtschaftswachstum zwar etwas niedriger, dafür aber beständiger ausfällt. Auch demografische Effekte sind berücksichtigt.

Für Nfz und KRAD sind die gemittelten Zulassungszahlen und die Bestandsänderungen der letzten fünf Jahre (KBA 2002) gebildet und für die beide Szenarien zu den jeweiligen Pkw-Daten hinzugefügt worden. Die Starterbatteriegewichte werden für Pkw/Nfz zu 14,9 kg und für KRAD zu 2,1 kg angenommen, der Bleiinhalt liegt bei jeweils 60 % (DFIU 2001). Wichtige **Einflussgrößen auf die Stoffflüsse von Blei** in den nächsten 20 Jahren sind die Sammelquote, die Lebensdauer und die Ressourcenproduktivität. Die Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei wurden für folgende Varianten berechnet:

- Status Quo
- moderate Effizienzfortschritte (Lebensdauererlängerung: + 10 %, Bleieinsatz/Batterie: – 20 %)
- 42 V Bordnetz mit zwei Bleibatterien (nur für Pkw) und höheren Effizienzfortschritten (Lebensdauererlängerung: + 20 %, Bleieinsatz/Batterie: – 30 %)

Der nicht erfasste Bleistrom ist nach folgenden Algorithmen berechnet worden:

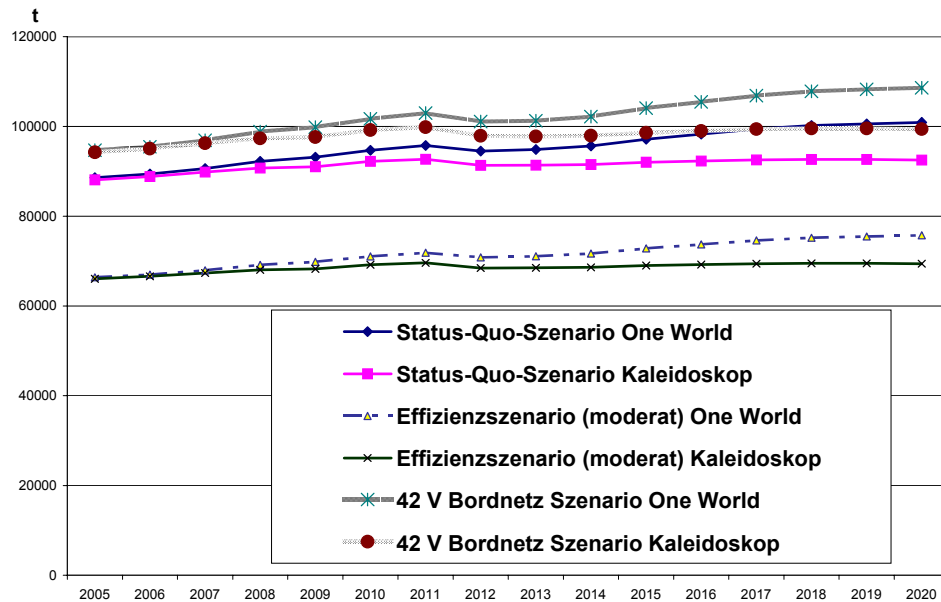
- Zahl der Löschungen = Zahl der Neuzulassungen vor 12 Jahren<sup>112</sup>
- Inlandsaufkommen gelöschter Fahrzeuge zur Verschrottung = Zahl der Löschungen (1- konstante Exportquote)<sup>113</sup>
- Inlandsaufkommen aus dem Ersatzgeschäft ~ Kfz-Bestand<sup>114</sup>

<sup>112</sup> Vereinfachend wurde dies auch für Nfz und KRAD angenommen.

<sup>113</sup> Die mittlere Exportquote ist mit 55 % angesetzt worden.

- Nicht erfasster Bleistrom = (Inlandaufkommen gelöschter Fahrzeuge zur Verschrottung + Inlandaufkommen aus dem Ersatzgeschäft) \* (1- Sammelquote)

**Abbildung 6-10: Szenarien für den Rückfluss von Blei in Akkumulatoren aus dem Bestand in Deutschland**



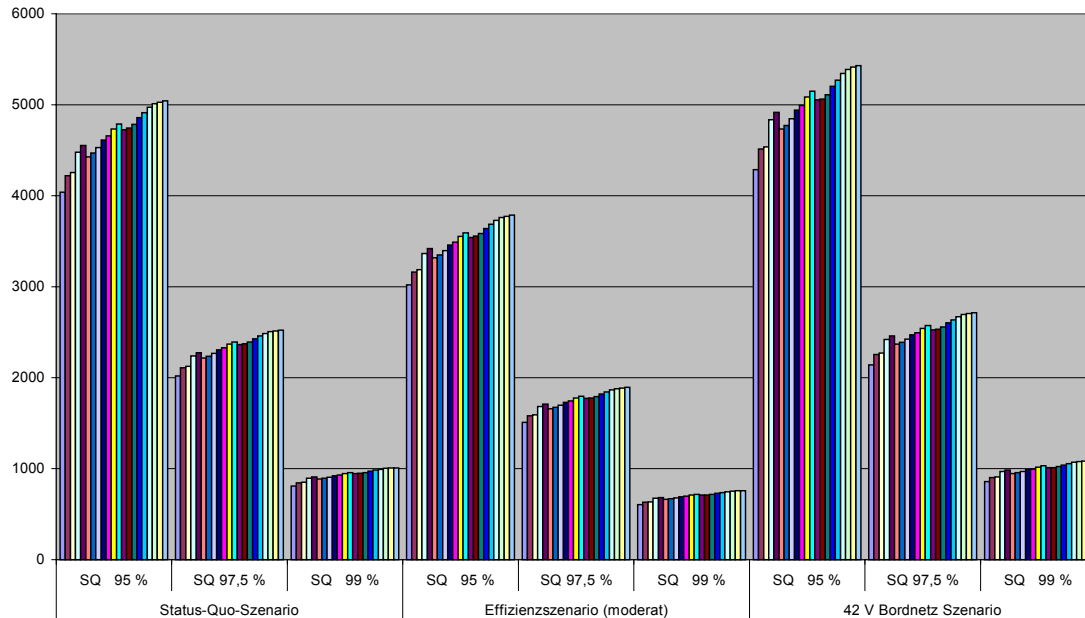
Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten von Shell 2001 für die Jahre von 2005-2020.

Der nicht erfasste Bleifluss beim EffizienzszENARIO liegt deutlich unter dem des Status Quo Szenarios, wohingegen das 42 V Szenario mit zwei Bleibatterien etwas höhere theoretische Bleirückflüsse induzieren würde. Obige Abbildung zeigt, dass die Bleiflüsse beim One World Szenario durchgängig über denen des Kaleidoskop-Szenarios liegen, weshalb bei der folgenden Abschätzung der Effekte der Sammelquote auf den Bleiverluststrom im Sinne einer worst case Betrachtung die Daten des One World Szenarios zugrundegelegt werden. Die folgende Abbildung zeigt die Entwicklung der Bleiverluste von 2005-2020 in Abhängigkeit von der Sammelquote und verschiedenen Szenarien.

<sup>114</sup> 1999 lag der Quotient aus Starterbatterien zum Bestand für KRAD bei 0,15 und für alle anderen bei 0,16 (Errechnet nach (DFIU 2001)).



**Abbildung 6-11: Szenarien zum Einfluss der Sammelquoten von Akkumulatoren auf den Bleiverluststrom**



Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten von Shell 2001 für die Jahre 2005-2020.

Obige Abbildung verdeutlicht zum einen, dass die absoluten Bleiverluste bei einer Erhöhung der Sammelquote zwischen den einzelnen Szenarien bis auf ca. 1000 t schrumpfen. Eine Erhöhung der Sammelquote von 97,5 % auf 99 % erschließt etwa 1000-1500 t Blei für die Sekundärwirtschaft zusätzlich. Ein Rückgang von 97,5 % auf 95 % würde einen zusätzlichen Bleiverlust in Höhe von 2000-2500 t bewirken.

Die **Erfassung und Verwertung von Starterbatterien erfolgt auf hohe Niveau**, was auch in Zukunft gewährleistet sein muss. Im Vergleich zu den grenzüberschreitenden Stoffströmen von Altfahrzeugen fallen weder die Erhöhung der Sammelquote, noch technische Innovationen ins Gewicht. Im Anwendungsfeld der Kraftfahrzeugbatterien ist eine internationale Perspektive einzunehmen, die einerseits wegen der großen internationalen Handelsströme mit Kraftfahrzeugen und Akkumulatoren und andererseits wegen der steigenden Motorisierung in den Entwicklungs- und Schwellenländern erforderlich ist.

Als problematisch hat sich die **Adressierung von Starterbatterien** herausgestellt:

- Die weltweite Massenmotorisierung als dominierender Trend ist Gegenstand der Verkehrs- und Wirtschaftspolitik.
- Starterbatterien tragen wertmäßig nur wenig zu einem Kfz bei, wichtigste Herausforderung für die Hersteller sind hohe Leistung und Zuverlässigkeit, nicht aber die Materialeinsparung.
- Die Forschungspolitik fokussiert auf den Energieverbrauch und Emissionen neuer Antriebskonzepte, nicht aber auf den Bleibedarf durch Batterien.

Begrenzter Optimierungsbedarf besteht bei der Erfassung von Alt-Batterien in Europa, aber ggf. sind in Schwellenländern neue Systeme aufzubauen. Große Bedeutung hat die Bleinachfrage der Akkumulatorenhersteller auch für die Bleimärkte insgesamt.

## 6.2.4 Initiativen und Instrumente für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung

Batterien unterliegen aufgrund ihres hohen Schwermetallgehaltes einer hohen Regulierungsdichte. Wichtige rechtliche Rahmenbedingungen sind die Regelungen über Altkraftfahrzeuge und Batterien auf europäischer und nationaler Ebene.

### Initiativen und Instrumente

Die Batterieverordnung (BattV 1998) und die Altautoverordnung (AltautoV 1997) treffen wichtige Regelungen zur Erfassung gebrauchter Starterbatterien in Deutschland.

Die Rückgabe von Alt-Kfz Kfz ist in Deutschland gesetzlich vorgeschrieben, vereinzelt werden sie aber auch wild entsorgt. Anforderungen an Verwertungsbetriebe sind in der Altautoverordnung (**AltautoV 1997**) festgelegt: Der Ausbau der Batterie aus stillgelegten Fahrzeugen ist obligatorisch. Der Ausbau der Starterbatterie und anderer Kleinbatterien ist auch nach **2000/53/EG** (Anhang II) EU-weit vorgeschrieben. Gemäß der **Baseler Konvention** sind gebrauchte Batterien gefährlicher Abfall. Transporte in Staaten, die nicht der Baseler Konvention oder der OECD angehören sind verboten.

Die Rücknahme und Verwertung von Altkraftfahrzeugen wird durch die Arbeitsgemeinschaft Altauto ARGE (2001) unterstützt. Trotz hoher Investitionskosten sind viele Verwertungsbetriebe nicht ausgelastet. Weiterhin sind viele nicht zertifizierte Teilnehmer am Markt. „Die geplante Annahmgebühr konnte nicht realisiert werden“ (BAM 2000, S. 27).

Durch die Batterieverordnung (**BattV 1998**) konnte die Sammelquote auf das jetzige Niveau erhöht werden. Beim Neukauf einer Autobatterie müssen seit dem 1.10.1998 15 DM als **Pfand** hinterlegt werden, sofern keine gebrauchte Batterie abgegeben wird. Die gilt nicht beim Neukauf eines Autos oder Motorrades. Die Verpflichtung ist einerseits an den Vertreiber gerichtet, wozu jeder zählt, der Batterien, gleichgültig auf welcher Handelsstufe an Endverbraucher abgibt. Neben der **Rücknahmepflicht** der Anbieter ist die **Rückgabepflicht** der Verbraucher festgeschrieben worden. Qualifizierte Kfz-Werkstätten und Tankstellen nehmen alle schadstoffhaltigen Batterien, also auch Autobatterien, kostenlos zurück.

Die deutsche Batterieverordnung von 1998 ist durch eine Rechtsverordnung vom 26. Juni 2001 geändert und in einer vom 1. September 2001 geltenden Fassung (**BattV 2001**) zusammengefasst worden. Sie regelt:

- Geltungsbereich: Batterien, schadstoffhaltige Batterien<sup>115</sup>, Starterbatterien, sonstige Batterien, in Geräte eingebaute Batterien, Batterien für besondere Zwecke in gewerblichen oder sonstigen wirtschaftlichen Unternehmen oder öffentlichen Einrichtungen<sup>116</sup>
  - Pflichten der Hersteller, Vertreiber, Endverbraucher und öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger
- Vornehmlich die Hersteller von **Gerätebatterien** haben nach § 4 (1) und (2) die von den Vertreibern und öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern zurückgenommenen Batterien kostenlos zurücknehmen und dazu ein gemeinsames Rücknahmesystem errichten.<sup>117</sup> Die §§ 11 und 12 regeln Kennzeichnungs- und Hinweispflichten. Die Regelungen für **Starterbatterien** nach § 6 bleiben im wesentlichen unverändert. Endverbraucher, die gewerbliche und sonstige wirtschaft-

<sup>115</sup> U.a. Batterien, die mehr als 0,4 Gew.-% Blei enthalten.

<sup>116</sup> „insbesondere Antriebsbatterien oder ortsfeste Batterien“ (§ 8).

<sup>117</sup> Für Hersteller, Vertreiber und Endverbraucher von Geräten mit fest eingebauten Batterien gilt abgesehen von der Errichtung eines gemeinsamen Rücknahmesystems nach § 4(2) und die Mitwirkung der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger entsprechendes für das ganze Gerät.

liche Unternehmen oder öffentlichen Einrichtungen sind können, von der Pfandregelung abweichend, Art und Ort der Rückgabe mit dem Vertreiber vereinbaren. Hersteller, Vertreiber und Endverbraucher von **Batterien für besondere Zwecke** in gewerblichen oder sonstigen wirtschaftlichen Unternehmen oder öffentlichen Einrichtungen können die Art der Rücknahme und Kostenregelungen gesondert vereinbaren (§ 8). § 10 BattV (2001) sieht abweichend von der BattV (1998) ein **Stoffstrommonitoring** für das gemeinsame Rücknahmesystem und, in abgeschwächter Form, für herstellereigene Rücknahmesysteme vor. Entsprechendes gilt für die Vertreiber von Starterbatterien und Batterien für besondere Zwecke. Nach Systemen und Typengruppen differenziert soll die Masse der in Verkehr gebrachten und zurückgenommenen Batterien im vorausgegangenen Jahr erfasst werden. Die Verwertungs- und Beseitigungswege sind qualitativ und quantitativ zu dokumentieren, gleiches gilt für die damit verbundenen Preise. § 13 (2) BattV (2001) verbietet das Inverkehrbringen von Geräten, die schadstoffhaltige Batterien enthalten und nicht so gestaltet sind, dass eine mühelose Entnahme durch den Verbraucher möglich ist. Ausnahmen sind in Anhang II aufgelistet (**Verwendungsanordnung**).

Gemäß EU Batterierichtlinie **91/157/EEC** sind gebrauchte Bleisäureakkumulatoren in der gesamten Europäischen Union getrennt zu sammeln und zu verwerten. Es gibt einen EU-Entwurf, der die Batterierichtlinie 91/157/EEC ersetzen soll. Wesentliche Änderungen sind:

- Der Geltungsbereich erstreckt sich auf alle Batterien, also auch Industriebatterien
- Verbot von Nickel-Cadmium und anderen cadmium-haltigen Akkumulatoren mit Ausnahmeliste
- Sammelziele (95 % für industrielle Batterien und Starterbatterien)
- Recyclingziele (55 Gew.-%)
- Forschungsförderung zu bleifreien Batteriesystemen, die Fahrzeug- und industrielle Batterien ersetzen könnten

In den bestehenden Regelwerken auf EU-Ebene wird bereits von den Instrumenten Rücknahme- und Rückgabepflicht, Pfand, Verwendungs- und Entsorgungsanforderungen, Kennzeichnungspflichten und Stoffstrommonitoring Gebrauch gemacht.

### **Beurteilung**

Die Instrumente und rechtlichen Regelungen (Novelle der TA Luft, NFM-BREF) des anlagenbezogenen Immissionsschutzes scheinen im Hinblick auf eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei auszureichen. Die Metallindustrie möchte, dass nach dem Basler Übereinkommen jedes Gut, was einen Erlös bringt, nicht als Abfall eingestuft wird. Durch die bisherige Regelung sind zwar Exporte von Ost nach West, aber nicht von West nach Ost möglich, was den dortigen Schrottmärkten Blei entzieht.<sup>118</sup>

Die **Effekte der neuen Batterieverordnung** (2001) sind abzuwarten. Die §§ 4 und 5 hinterlassen den Eindruck einer juristischen Kodifizierung des ohnehin existierenden Gemeinsamen Rücknahmesystems für Gerätebatterien. Industrielle Batterien werden zwar mit erfasst, die Optimierungspotenziale sind jedoch als sehr gering einzuschätzen. Durch das Pfand für Starterbatterien könnte die Zwischenspeicherung in Garagen und Kellern abnehmen. Er wird aber nicht durchgängig erhoben und die Rücknahme erfolge teilweise nur bei Vorlage einer Quittung (Verlust der Pfandmarke).<sup>119</sup>

---

<sup>118</sup> Interview mit Herrn Steil (Fa. Berzelius Metall) 2001.

<sup>119</sup> Interview mit Herrn Steil (Fa. Berzelius Metall) 2001.

Die **Datenlage** zu Gerätebatterien ist verhältnismäßig gut. Über ortsfeste Batterien und Traktionsbatterien liegen dem UBA nur rudimentäre Daten vor.<sup>120</sup> Das vorgesehene Stoffstrommonitoring in der BattV dient deshalb auch der Erstellung einer Datengrundlage, um etwaige stoffstrombezogene Defizite zu identifizieren. Ob die Regelungen für Starterbatterien ausreichend sind, bleibt abzuwarten, wenn die ersten Monitoring-Berichte ausgewertet werden können. Durch die Dokumentationspflicht der Beseitigungswege müssen jetzt auch die Hütten die eingesetzten Mengen an Bleibatterien darstellen. Als problematisch für die Interpretation der Ergebnisse könnte es sich erweisen, dass weder der Außenhandel von Batterien, noch die Batterieströme in Kfz, noch die Bestandslager abgebildet werden sollen. Die Märkte für Batterien bestimmen die gesamte Bleiindustrie in hohem Maße. Eine erhöhte Nachfrage nach Bleibatterien z.B. durch Einführung der 42-Volt Bordnetze könnte zu einem erhöhten Preisniveau für Blei beitragen und damit die Kostenrelationen im Vergleich zu Substituten verschieben. Von großer Bedeutung, allerdings nicht in der BattV (2001) angelegt, ist deshalb auch ein Monitoring der Akkumulatormärkte.

**EUROBAT** (2001), das 85 % der europäischen Batteriehersteller repräsentiert, kritisiert den neuen EU-Richtlinien-Entwurf wie folgt :

- Regelungen für den industriellen Bereich sind aufgrund der hohen Recyclingquoten nicht erforderlich, sondern führten lediglich zu mehr Bürokratie.
- Das Cadmium-Verbot ist aus technischen und ökonomischen Gründen inakzeptabel und auch die Umweltwirkungen sind im Einzelfall durch LCA mit Alternativen zu vergleichen.
- Die Sammelziele, die auf einer Korrelation zwischen Verkauf und Rücknahme beruhen, sind nicht angemessen, da es keinen Weg gibt, die wahre Sammelquote zu bestimmen. Als Gründe dafür werden die Spannweiten bei der Lebensdauer, Spekulationsverhalten von Schrotthändlern und der Export von gebrauchten Batterien in Kraftfahrzeugen genannt.
- Die Forschungsförderung bleifreier Alternativen wird als nicht gerechtfertigt eingestuft.

Recyclingziele sollten nicht formuliert werden, da nur garantiert werden kann, dass der Metallgehalt recycled wird. Das Recycling von Elektrolyten, Kunststoffen und sogar bestimmter Metalloxide könnte sich aufgrund von Verunreinigungen oder LCA-Ergebnissen als nicht lohnenswert erweisen. Bleibatterien lassen sich zu 60 % recyceln, wohingegen andere Batteriesysteme, wie z.B. Zink-Kohle, sich nur zu 20 % recyceln lassen. Eine Recycling-Quote ist demnach wenn überhaupt nur durchschnittlich für alle Batterien festzulegen, nicht aber wie vorgesehen zu 55 % für das Material aller eingesammelten Batterien und Akkumulatoren.

Der **EU-Richtlinienentwurf vom 30.3.2001** ist derzeit blockiert. Auf dem EU-Server lässt sich derzeit kein Entwurf herunterladen. Der Entwurf der DG Umwelt der EU-Kommission wurde von anderen DGs abgelehnt. Offizieller Auslöser ist das Verbot für Nickel-Cadmium-Akkumulatoren. In Risk Assessment Studien auf EU-Ebene soll die Umweltrelevanz von Cadmium und speziell von Cadmium in Batterien abgeschätzt werden. Die Industrievertreter wehren sich gegen Sammelquoten und argumentieren, dass sich die Lebensdauer von Batterien nicht bestimmen ließe oder sie geben sie bei Starterbatterien mit bis zu 10 Jahren an Demgegenüber stehen die gesättigten Märkte mit relativ konstanter Batterienachfrage seit Jahren. Bezüglich der Verwertungsquoten wird auf EU-Ebene noch diskutiert, ob sie generell (55 %) oder Batterie-spezifisch (z.B. 60 % für Starterbatterien) formuliert werden sollen.

---

<sup>120</sup> Interview mit Frau Behnke (UBA) 2001.

Trotz einiger Defizite scheint das Vorgehen der EU prinzipiell richtig zu sein, **europaweite Regelungen für alle Akkumulatorenarten** zu treffen. Zwar scheinen die ökologischen und ressourcenpolitischen Handlungspotenziale für ortsfeste Batterien und Traktionsbatterien ebenso wie für Kleinbleiakkus derzeit nicht sehr groß zu sein, aber proaktive Regelungen können angesichts wachsender Teilmärkte bestimmte Problemlagen im Vorhinein verhindern. Sind Verwertungsquoten für Akkumulatoren sinnvoll so festlegbar, dass z.B. das Blei nahezu vollständig wiedergewonnen wird, so besteht für die Formulierung von Sammelzielen und deren Operationalisierung Forschungsbedarf. Auch die Ausrichtung der Förderpolitik in Richtung bleifreie Batteriesysteme weist angesichts der schwer beeinflussbaren Megatrends der Massenmotorisierung, neue Antriebstechniken und 42 V-Systeme in die richtige Richtung.

Eine staatlich gestützte Diffusion effizienterer Technologien ist aufgrund von Marktanforderungen nicht erforderlich. Eine Höchstmengenbegrenzung von Blei in Batterien für Kfz, z.B. 10 kg, zur Vermeidung des Einbaus einer Zweitbatterie oder zur Beschleunigung von Effizienzsprüngen scheint angesichts der geringen Auswirkungen auf die nicht erfassten Bleiströme, angesichts des Nutzens des 42 Volt-Systems, dem hohen Rückfluss nach Ende der Übergangsphase mit zwei Batterien und im Vergleich zu den Potenzialen anderer Stoffströme nicht verhältnismäßig zu sein.

Die Möglichkeiten der Rücknahme- und Rückgabeverpflichtungen, Produktpfand sowie Entsorgungsanforderungen sind durch das bestehende Regelwerk weitgehend ausgeschöpft. Insgesamt sind die **Potenziale einer Sammelquote** von Starterbatterien mit Zuführung zur Verwertung für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei als **vergleichsweise gering** einzustufen. Im Bereich des **Stoffstrommonitorings** in Verbindung mit Zielvorgaben in einem nationalen Nachhaltigkeitsstrategie besteht noch Handlungsbedarf. Die Megatrends der weltweiten Massenmotorisierung, des 42 V Netzes in Kraftfahrzeugen und neue Antriebskonzepte mit unsicheren Konsequenzen könnten mit Hilfe von Szenarien zu möglichen Entwicklungskorridoren verdichtet werden. Die Steuerungsmöglichkeiten des Staates im Hinblick auf die weltweite Massenmotorisierung in Entwicklungs- und Schwellenländern sind eingeschränkt. Ggf. könnte die Sammel- und Verwertungslogistik im Rahmen des **Technologietransfers** gefördert werden. Auch weiche Instrumente wie die Unterstützung der **Forschung zu bleifreien Alternativen** sind zu verfolgen.

### 6.2.5 Handlungsbedarf für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung

Im Handlungsfeld Bleiakumulatoren ist eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung weitgehend bereits verwirklicht. Aufgrund der mengenmäßigen Bedeutung ist dieses Handlungsfeld jedoch weiterhin im Blickfeld zu behalten. Es sind vorwiegend weiche, rechtlich unproblematische Instrumente zu verfolgen:

- Forschungsförderung „Bleifreie Akkumulatoren“
- Technologietransfer: Sammel- und Verwertungslogistik für Entwicklungs- und Schwellenländer
- Ausweitung und Verfeinerung des Stoffstrommonitorings
- Szenarien über den Bleibedarf und Zielvorgaben zur Reduktion im Rahmen einer nationalen Strategie für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung

Eine substantielle Verteuerung von Blei durch eine Primärressourcensteuer oder eine Input-Lizenzpflicht im Rahmen eines Gesamtkonzeptes für knappe nicht erneuerbare Ressourcen könnte den Druck zur Suche nach bleifreien Substituten erhöhen.

### 6.3 Handlungsfeld elektrische und elektronische Geräte

Im Gerätebestand der privaten Haushalte waren im Jahre 2000 mindestens 475.000 t Kupfer gebunden. Unberücksichtigt bleiben dabei gewerblich genutzte Investitionsgüter. Diese Bestandsmasse begründet die mengenmäßige Relevanz von elektrischen und elektronischen Geräten als Handlungsfeld der nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung von Kupfer. Darüber hinaus werden EU-weit lediglich 10% aller elektrischen und elektronischen Altgeräte mit einer Vorbehandlung verwertet. Daraus ergibt sich aus Gründen mangelnder Kreislaufführung vordringlicher Handlungsbedarf.

#### 6.3.1 Einsatzbereiche, Materialien, Produkte

##### Kupfereinsatz in EE-Geräten

Der Einsatz von Kupfer in elektrischen und elektronischen Geräten (EE-Geräten) erfolgt vor allem als **Leitmaterial** in stromdurchflossenen Aggregaten und Baugruppen<sup>121</sup>. Daneben erfolgt der Einsatz aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit und thermischen Belastbarkeit in Wärmetauschern und Heizspulen. Ferner kommt Kupfer aufgrund seiner **Legierungseigenschaften** wie hohe Oxidationsbeständigkeit, gute Kaltumformbarkeit und der guten Federeigenschaft in unterschiedlichen meist gering kompakten Anwendungen als sogenannte Hochleistungslegierung mit sehr spezifischen, multifunktionellen Werkstoffeigenschaften zum Einsatz.

**Kupferfolien** für gedruckte Schaltungen werden in EE-Geräten in großem Umfang als Bestandteil von Leiterplatten eingesetzt. Sie werden in einem galvanoplastischen Verfahren hergestellt, bei dem Kupfer auf einer kontinuierlich rotierenden Trommel elektrolytisch abgeschieden und dann abgezogen wird. Bei Leiterplatten handelt es sich um ein Substrat mit den darauf gelöteten Bauelementen. Das Substrat ist ein stabiler Verbund aus leitenden und isolierenden Laminaten. Das leitende Kupferlaminat wird in das Substrat geklebt und sorgt für die Stromversorgung. Isolierter Kupferdraht oder Kupferleitbahnen, die die elektrische leitende Verbindungen zwischen den Bauelementen schaffen, werden an und direkt unterhalb der Substratoberfläche angebracht. Die Dicke der Kupferschicht wird mit  $35\mu\text{m}$  ( $35\text{ g/m}^2$ ) angegeben. Die Leiterbahnen sind zwischen 0,1 und 3 mm breit (Steward 2000).

Durchschnittlich liegt der Kupfergehalt von EE-Geräten zwischen 3 und 5 Gew.-%. Der Gehalt von Kupfer schwankt jedoch je nach Geräteart beträchtlich und kann mit ca. 0,1 Gew.-% wie beim Haushaltskleingerät Toaster sehr gering oder mit 14 Gew.-% wie bei gewerblichen Kraftmaschinen sehr erheblich ausfallen. Prinzipiell wird Kupfer als Legierung oder als Reinkupfer verwendet. Indikatoren für hohe Gehalte an Reinkupfer sind hoher Anteile an Motoren, Generatoren, Transformatoren, Kabel oder elektronischen Baugruppen. Indikatoren für hohe Gehalte an Kupferlegierungen sind massive metallische Wärmeüberträger und hohe Anteile an Schaltern und Steckern. Die Kupferanwendung in EE Geräten ist sehr heterogen. Das Spektrum reicht von kompakten bis zu sehr dissipativen Anwendungen.

Die in diesem Kapitel verwendeten Kupfergehalte und grobstofflichen Zusammensetzungen von EE-Geräten beruhen auf den produktspezifischen Studien von IZT (1999b), IZT (1999c), Rathke, Siegel (2000), Soldara (1995), Handke (1995) sowie ergänzend auf UBA Texte 61/96, BDE (1994) und IZT et al. (2000).

Die **Verwendung von Blei** in elektrischen und elektronischen Geräten erfolgt hauptsächlich als Abschirmung von Kathodenstrahlen in Bildschirmgeräten und in Weichloten. Darüber hinaus

<sup>121</sup> Drähte, Kabel, Litzen, Blechen, Bändern, Folien.

findet eine Verwendung als Stabilisator in Kunststoffen, als Keramikadditiv in elektronischen Bauelementen, als Bestandteil in piezoelektronischen Bauelementen, Glasadditiv in Glühbirnen und als Bestandteil von Gerätebatterien statt. Blei wird in EE-Geräten überwiegend in Kathodenstrahlröhren und Weichloten eingesetzt. Diese beiden Anwendungen werden aufgrund ihrer Dominanz als eigenständige Handlungsfelder in den Kap. 6-4 und Kap. 6-5 betrachtet.

Der Gerätemarkt ist geprägt durch eine enorme Produktvielfalt<sup>122</sup> mit unterschiedlichsten Beschaffungszyklen und Nutzungen. Er umspannt sowohl kurzlebige Geräte von geringem Wert und schnellen Wiederbeschaffungsmustern wie Glühbirnen als auch langlebige Investitionsgüter zur gewerblichen Nutzung wie Röntgenapparate. In der Literatur ist die **Systematisierung von EE Geräten** nicht konsistent. Wesentliche Unterscheidungsmerkmale sind jedoch meist deren Nutzung im gewerblichen Bereich oder in privaten Haushalten was eine Aussage über deren Entsorgung über öffentliche oder private Erfassungssysteme ermöglicht. Die Unterscheidung nach Nutzung ist jedoch nicht bei allen Gerätearten hinreichend trennscharf. Diese Unschärfe gilt insbesondere für Geräte der Informations- und Kommunikationstechnik wie Telefon, Kopierer, Faxgerät, Drucker, Computer u.ä., die sowohl gewerblich als auch privat genutzt werden.

Ferner ist die Größe der Geräte ein durchgängiges Systematisierungskriterium, was Aussagen über deren Mülltonnengängigkeit und somit über ihren möglichen Verbleib in der Hausmüllsammlung gestattet. Einige Produkte wie Beleuchtungssysteme, Haustechnik oder Industrieelektronik werden je nach Autor unterschiedlichen Gerätegruppen zugeordnet.

Entsprechend den europäischen und deutschen Rechtsnormen stellt die folgende Tabelle eine Übersicht über grundlegende Systematisierungen sowie beispielhafte Gerätezuordnungen dar. Sie verdeutlicht die enorme Gerätevielfalt und die Kategorien der angestrebten Gerätesystematisierungen. Ferner wird die Unschärfe der Geräteskategorien deutlich. So werden Staubsauger als Haushaltskleingeräte geführt obwohl sie mit 6-10 kg ähnliche Massen aufweisen wie Mikrowellengeräte und aufgrund ihrer sperrigen Bauform nur bedingt mülltonnengängig sind.

---

<sup>122</sup> Die Energieagentur Nordrhein-Westfalen hat beispielsweise in ihrer aktuellen Marktbeobachtung 2.500 Kühl- und Gefriergeräte, 750 Waschmaschinen und 250 Wäschetrockner identifiziert die als unterscheidbare Geräte im Handel angeboten werden (EA NRW 2002).

**Tabelle 6-17: Gerätegruppen, Gerätekategorien und Produktbeispiele von elektrischen und elektronischen Geräten**

Gerätegruppen nach ES-VO <sup>a)</sup>	Nr. und Kategorien nach EU EE-VO <sup>b)</sup>	Produktbeispiele
Große Konsumgüter Nr. 1-4 nach § 3 Abs.1 ES-VO	1	Haushaltsgroßgeräte
	3	IT & Telekommunikationsgeräte
	5	Beleuchtungskörper
Kleine Konsumgüter Nr. 5-8 nach § 3 Abs.1 ES-VO	2	Haushaltskleingeräte
	4	Unterhaltungselektronik
	6	Elektr. u. elektron. Werkzeuge
	7	Spielzeuge
Investitionsgüter Nr. 9-14 nach § 3 Abs.1 ES-VO	8	Medizinische Ausrüstung
	9	Überwachungs- und Kontrollinstrumente
	10	Automatische Ausgabegeräte

Quelle: Eigenen Zusammenstellung.

Anmerkungen: a) Entwurf der Verordnung über die Vermeidung, Verringerung und Verwertung von Abfällen gebrauchter elektrischer und elektronischer Geräte vom 15.10.1992; b) Vorschlag der Kommission für eine Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates über Elektro- und Elektronikaltgeräte vom 13.06.2000.

Eine Übersicht über die Heterogenität der stofflichen Zusammensetzung bei den verschiedenen Geräten zeigt folgende Tabelle:



**Tabelle 6-18: Typische Zusammensetzung von elektrischen und elektronischen Geräten**

[Gew.-%]	Fe-Metalle	NE-Metalle	Kunststoffe	Glas	Elektronik u. Elektrotechnik	Sonstige Stoffe
Elektroherd	77,92	0,9	0,97	7,3	4,87	8,04
Waschvollautomat	67,35	2,82	6,95	1,09	14,34	7,45
Trockner	50,51	0,94	14,85		20,89	12,81
Mikrowellengerät	71,25	7,8	3,78	7,04	6,7	3,43
Geschirrspülgerät	49,73	0,59	11,71		12,13	25,84
PC (CPU u. Monitor)	32,00	18	23	15	12	
Fernseher	9,90	3	9,5	56,9	8	12,7
Videorecorder	49,97	12,61	22,6		7,21	7,61
Verstärker	62,19	20,72	1,55		15,54	
Uhrenradio	8,49	16,98	61,11		4,93	8,49
Autoradio	51,97	8,31	6,93		31,02	1,77
Lautsprecher	2,48	2,48	31		1,55	62,49
Kopfhörer	23,81	23,81	42,86		7,14	2,38
Kaffeemaschine	7,41	6,01	61,58	16,21	7,87	0,92
Bügeleisen	20,59	27,2	36,03		16,18	
Heizlüfter	16,59	9,48	47,87		20,85	5,21
Toaster	0,30	50	36,09		10,65	2,96
Rasierer (Akku)	6,06	9,09	39,39		45,46	
Zahnbürste	12,82	5,13	41,02		41,03	

Quellen: IZT 1999b; IZT 1999c; Rathke, Siegel 2000; Soldera 1995; Handke 1995; UBA Texte 61/96; BDE 1994 und IZT et al. 2000; eigene Abschätzungen.

### 6.3.2 Stoffströme

#### Produktion von EE-Geräten

Über den Kupfergehalt in Elektrogeräten ist nur eine sehr unzulängliche und teilweise widersprüchliche Datenlage vorhanden. Grundsätzlich wird von einem jährlichen Kupferverbrauch der Elektroindustrie in einer Größenordnung von knapp 600.000 t ausgegangen (DKI 1999). Dies entspricht ungefähr der Hälfte des nationalen Kupferverbrauchs pro Jahr, beinhaltet jedoch auch die Kabelproduktion mit einem Kupferverbrauch von ca. 276.000 t, die nicht ausschließlich in Elektro- und Elektronikgeräten sondern auch inner- und außerhalb von Gebäuden zur Daten- und Stromübertragung eingesetzt werden. Entsprechend der Verwendungsstruktur korrespondieren die Kupfergehalte mit den Anteilen bestimmter Baugruppen am Gerätegewicht. Diese Bauteile sind insbesondere:

- Spulen und Wicklungen wie z B Motoren, Transformatoren, Generatoren,
- Elektronische Bauteile mit einem hohen Anteil an kupferkaschierten Leiterplatten,
- Kabel und Leitungen sowie mechanische Komponenten mit einem hohen Anteil an Legierungen.

Diese Bauteilabhängigkeit der Kupfergehalte erschwert die eindeutige Zuordnung von metallischen Frachten zu bestimmten Geräten oder Gerätegruppen. Darüber hinaus ist die Elektroindustrie im hohen Maße international verflochten. So betrug die durchschnittliche Exportquote

beispielsweise für Elektro-Hausgeräte 1997 ca. 50% und die Importquote lag im selben Zeitraum über alle Gerätearten bei 43 %.

Der Gesamtumsatz der Elektroindustrie mit inländischen Kunden betrug im Jahr 2000 ca. 318,1 Mrd. DM. Der Produktivität hat im Vergleich zum Vorjahr um 12% zugenommen. Unter der Annahme deutlicher Umsatzsteigerungen sowie der zu beobachtenden zunehmenden Elektronisierung der Geräte ist von einem steigenden Kupferbedarf der Elektro- und Elektronikgeräte produzierenden Industrie in einer Größenordnung von 3-5% jährlich auszugehen. Einen Eindruck über die Größenordnung des stofflichen Inputströme in den Bestand liefert folgende Tabelle anhand ausgesuchter Geräte:

**Tabelle 6-19: Kupfermengen in den verkauften elektrischen und elektronischen Geräten in Deutschland**

Geräteart	Verkaufte Geräteanzahl [Mio. Stck]	Verkaufsgewicht [t]	Cu-Anteil [Gew.-%]	Cu-Fracht [t]
Fernsehgeräte	5,56	194.565	3,5	6.810
Waschmaschinen	3,47	260.452	0,9	2.344
Kühlschränke	3,59	107.740	1,7	1.832
PC	6,30	170.143	7	11.910
Toaster	1,65	8.250	1	83
Staubsauger	3,10	31.000	29	8.990
Summe	24	772.150		31.968

Quellen: ZVEI 2001; GFU 2001; eigene Berechnungen für das Jahr 2000.

Die obigen Produktionsdaten sind grob gemittelt und fehlerbehaftet. Tatsächliche Produktionsmengen sind nicht oder nur für Einzelmarken einer Geräteart verfügbar. Die obigen Daten ergeben sich aus den Geldwert der an Endverbraucher verkauften Geräte (ZVEI 2001, GfK 2001), einem geschätzten mittleren Verkaufspreis eines Gerätes, dem durchschnittlichen Gerätegewicht und einem mittleren Kupferanteil.

### EE-Gerätebestand

Bezüglich der Bestandsgröße liegen ebenfalls keine exakten Daten vor. Unter Berücksichtigung diverser Studien zur durchschnittlichen Masse, eigener Schätzungen, der stofflichen Zusammensetzung sowie der Ausstattungsbestände der Haushalte für verschiedene Geräte lassen sich Schätzungen über den nationalen Kupferbestand machen, der in EE Geräten gebunden ist. Hierbei ist die Grundlage der Berechnung die Annahme von ca. 37,8 Mio. Haushalten in Deutschland und die vom ZVEI (2001) und dem Statistischen Bundesamt ermittelten Ausstattungsgrade der Haushalte über vorhandene elektrische und elektronische Geräte. Bei einigen Geräten ist die Sättigung des Marktes erkennbar. Hierzu gehören beispielsweise Haushaltsgeräte wie Fernseher, Kühlschränke, Waschmaschinen oder Bügeleisen. In diesem Bereich finden im wesentlichen Substitutionskäufe bzw. Anschaffungen von Zweitgeräten statt. Wohingegen bei Geräten, bei denen noch keine Sättigung erreicht wurde, von steigenden Bestandszahlen ausgegangen werden kann.

Bei Geräten der Unterhaltungselektronik (Braune Ware) überwiegen bis auf einige neue Produkte (Digitales Radio, Mini-Disc-Player) derzeit die Substitutionskäufe (TV, Kassettendecks, Verstärker etc.). Bei informationstechnischen Geräten im engeren Sinne („Graue Ware“: PC,

Drucker, Fax, Mobiltelefone etc.) ist der Absatz teilweise von zweistelligen Wachstumsraten gekennzeichnet.

Die folgenden Bestandsschätzungen erfassen nur einen Teil des Gerätespektrums. Nicht erfasst bleiben gewerblich genutzte Geräte. Des Weiteren, sind die angenommenen Kupferanteile mit großen Unsicherheiten behaftet. Die pro Gerät eingesetzten Kupfermengen variieren sehr stark von der Geräteausstattung, der Gerätegeneration, der Herkunft und dem Gerätehersteller.

Folgende Tabelle gibt einen Überblick über den Kupfergehalt im Bestand ausgewählter elektrischer und elektronischer Gerätegruppen.

**Tabelle 6-20: Kupfermengen im Bestand ausgewählter elektrischer und elektronischer Gerätegruppen in deutschen Haushalten**

Geräteart	Ausstattungsgrad der Haushalte <sup>a)</sup>	Bestand [Mio. Stck.]	Bestandsgewicht [t]	Mittlerer Cu-Anteil [%]	Cu Fracht [t]
Haushalts Großgeräte <sup>b)</sup>	66%	210	8.509.536	2,2	93.189
Haushalts Kleingeräte <sup>c)</sup>	62%	240	528.368	8,3	50.018
Elektrische Werkzeuge <sup>d)</sup>	35%	66	495.482	14,2	52.000
Unterhaltungselektronik <sup>e)</sup>	80%	121	2.796.803	4,6	126.142
IuK Technik <sup>f)</sup>	36%	119	1.073.233	2,0	63.256
Summe		756	13.403.423	6	384.605

Quelle: BITKOM 2001; Verbraucheranalyse 2000; AdLink Net 2001; UBA Texte 42/96; AgV 2001; ZVEI 2001; StatBA2000; Kupfergehalt: IZT et al. 2000, leicht modifiziert und ergänzt (vgl. Kap. 6.3.1.1); eigene Berechnungen für 1999.

Anmerkung: Anzahl der Haushalte 37,8 Mio.; a) Anzahl vorhandener Geräte je 100 Haushalte, b) Geräteauswahl: Waschmaschinen, Wäschetrockner, Geschirrspüler, Elektroherde, Kühlschränke, Gefriergeräte, Dunstabzugshauben, Mikrowellengeräte, Warmwasserbereiter; c) Geräteauswahl: Toaster, Kaffeemaschine, Vielzweck-Küchenmaschine, Bügeleisen, El. Handrührer, El. Allesschneider, Staubsauger, Haartrockner, Eierkocher, Wasserkocher, Rasierer (inkl. Akku), Epilierer (inkl. Akku), El. Zahnbürste (inkl. Akku) Radiowecker, elektrischer Wecker, Taschenrechner; d) Geräteauswahl: Bohrmaschine, Sägen, Schleifer, Hobel, Rasenmäher, Heckenschere, Fernsehgerät; e) Geräteauswahl: Video-Recorder, Videokamera/Camcorder, Hi-Fi-Anlage; f) Geräteauswahl: PC mit Monitor, Tastatur und Maus, Telefon stationär, Telefon mobil, Anrufbeantworter, Faxgerät, Scanner, Laserdrucker, Tintenstrahldrucker, Nadeldrucker, Tischkopierer

Die ausgewählten Gerätegruppen umfassen ca. 755 Mio. Geräte mit einem Bestandsgewicht von insgesamt 13,4 Mio. t und einer Kupfermasse von 384.000 t. Daraus ergibt sich ein durchschnittlicher Kupfergehalt über alle Gerätearten von ca. 6 %. Dies ist eine eher verhaltene Annahme. In der Literatur werden die Kupfergehalte mit 4,8 % für Konsumprodukte, 4,3 % für Büro-, Informations- und Kommunikationsgeräte sowie 14,2 % für Industrie und Medizinprodukte angegeben (Töpfer 1994). Für 1997 wurde der Gerätebestand in Haushalten auf ca. eine Milliarde Stück geschätzt (bvse 1998). Die ausgewählten Geräte decken damit ungefähr  $\frac{3}{4}$  des gesamten Bestandes ab.

Insbesondere für die Konsumprodukte können die Bestandsmengen auf Grundlage des Ausstattungsgrades der Haushalte errechnet werden, da diese Geräte nahezu ausschließlich in privaten Haushalten genutzt werden. Bei Computern, Druckern, Kopierern und Telekommunikationsgeräten liegen explizite Bestandszahlen vor, welche auch die im gewerblichen Bereich eingesetzten Geräte berücksichtigen. Die errechneten Bestandsmengen (in t) sind jeweils aufgerundet worden. Dies erscheint legitim, da z.B. die ermittelten Ausstattungsgrade in der Regel keine

Zweitgeräte und Drittgeräte berücksichtigen. Bezüglich der Audio-Geräte sprechen andere Quellen sogar von rund 200 Mio. Geräten, die in den Haushalten vorhanden sind (Griese 1997). Insbesondere für PC's/Drucker und den Bereich Telekommunikation ist die Marktentwicklung von stark steigenden Absatzzahlen geprägt. Im Bereich der PC's liegt der Ausstattungsbestand bei 85 %. Hier ist jedoch nicht von Marktsättigung auszugehen, da die Geräteinnovationen mit einhergehender Leistungssteigerung extrem kurze Produktzyklen verursachen und weil ähnlich wie bei den Fernsehgeräten Zweit- und Drittgeräte in den Haushalten zu beobachten sind. Die Wachstumsraten im IuK-Bereich liegen je nach Produkt zwischen 10 und 20% pro Jahr (EITO 1997), so dass mit einer Verdoppelung der Bestände dieser Gerätegruppe in ca. 5-8 Jahren zu rechnen ist. Seit dem Jahr 2000 ist eine Verlagerung der Absatzsteigerung im privat genutzten IuK-Bereich von den ortsfesten Computersystemen zu kleinen und mobilen Endgeräten (Notebooks, Laptops, PDA, Palm) festzustellen.

Bei Fernsehern und den Geräten der Unterhaltungselektronik ist eine vergleichsweise hohe Marktsättigung erreicht. Sie liegt zwischen rund 55% (Kassettenrecorder) und über 141% (Fernseher), wenn Zweitgeräte berücksichtigt werden. Dennoch ist auch bei dieser hohen Sättigung noch kein Fließgleichgewicht zwischen Input und Output erreicht, da die durch Neukäufe substituierten Geräte ebenfalls in vielen Fällen als Zweit- oder sogar Drittgeräte im Haushalt weiter genutzt werden, sofern sie noch funktionsfähig sind (UBA-Texte 42/1996, S.5). Insofern steigt nach wie vor der Gerätebestand auch der Unterhaltungselektronik in den Haushalten an. Mit der Zwischenlagerung in den Haushalten verzögert sich entsprechend der Anfall von Altgeräten zur Entsorgung.

Für eine Vielzahl von Kleingeräten liegen keine oder nur sehr unzureichende Bestandszahlen vor. Rund 1,2 Mio. Pager („Scall“, „Skyper“, „Quix“, „TelMi“), weiterhin Handscanner, Modems, Personal Digital Assistants (PDA) oder Navigationssysteme für Pkws können daher in ihren stofflichen Auswirkungen nicht quantifiziert werden. Der Bestand dürfte aber auch hier in Größenordnungen von mehreren Hunderttausend liegen. Nicht berücksichtigt sind in o.g. Zusammenstellung auch Großrechner, Server, komplexere Telefonanlagen etc.

### **EE-Altgeräte**

Im Jahre 1998 fielen in der europäischen Union 6 Mio. t Elektro- und Elektronikaltgeräte an. Dies entspricht ca. 4 % des gesamten kommunalen Abfallstroms. Die Menge der EE-Altgeräte wächst voraussichtlich jährlich um 3-5%. Somit ist bis zum Jahre 2012 mit einer Verdoppelung der Abfallmengen aus Altgeräten zu rechnen. Damit wächst der Abfall in Form von ausgedienten EE Geräten dreimal schneller als der üblichen kommunalen Abfälle (WEEE 2000). Für 1997 wird das deutsche Aufkommen an Altgeräten mit 1,8 Mio. t angegeben (bvse 1998). Für das Jahr 2000 wird ein EE-Altgerateaufkommen von etwa 2 bis 2,5 Mio. t prognostiziert (Deutscher Bundestag, Drs. 13/2430).

Im Weiteren wird von 2 Mio. t ausgedienter Elektro- und Elektronikgeräte ausgegangen. Davon stammten ca. 1,4 Mio. aus privaten Haushalten und 0,6 aus dem gewerblichen Bereich. Die Trennung zwischen diesen Nutzerkategorien ist nicht immer eindeutig. Insbesondere im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnik aber auch bei den Werkzeugen werden Gerätearten sowohl gewerblich als auch privat genutzt. Darüber hinaus ist die aktuelle Verteilung der ausgemusterten Altgeräte auf die verschiedenen Gerätegruppen nicht bekannt. Im weiteren wird daher die jährliche Zunahme der ausgemusterten Altgeräte für alle Gerätegruppen gleich angenommen. Folgende Tabelle stellt die Verteilung der ausgemusterten Altgeräte dar:

Nach Gerätegruppen zusammengefasst stellt sich der Altgerätestrom folgendermaßen dar:

**Tabelle 6-21: Abschätzung der End-of-Life-Stoffströme in Deutschland gemäß Klassifizierung nach WEEE-Richtlinie**

Altgeräte in 1000 t	Groß	Klein	Gewerblich	Zeilen- summe
Nr. nach § 3. Abs. 1 ES-V Entwurf	1-4	5-8	9-14	
Anhang I B WEEE	1,3,5	2,4,6,7,	8-10	
Konsumgüter	864	432	59	1354
Informations- und Kommunikationstechnik	139	3	136	278
Industrie-, Medizin- und Labortechnik	-	-	368	368
Spaltensumme	1003	435	562	2000

Quelle: Töpfer 1994; BDSV 2001; eigene Berechnungen für das Jahr 2000.

**Tabelle 6-22: Abschätzung der End-of-Life-Stoffströme in Deutschland gemäß Klassifizierung nach WEEE-Richtlinie im Detail**

Altgeräte in 1000 t		Groß	Klein	Gewerblich	Zeilen- summe
Nr. nach § 3. Abs. 1 ES-V Entwurf		1-4	5-8	9-14	
Anhang I B WEEE		1,3,5	2,4,6,7	8-10	
Konsumgüter	Haushaltsgeräte/ handgeführte Werkzeuge	603	218	59	880
	Unterhaltungselektronik	261	214	-	475
Informations- u. Kommunikationstechnik	Büromaschinen	32	3	35	71
	Informationstechnik	52	-	58	110
	Kommunikationstechnik	55	-	43	97
Industrie-, Medi- zin- und Labor- technik	Industrieelektronik	-	-	326	326
	Medizintechnik	-	-	16	16
	Labortechnik	-	-	26	26
Spaltensumme		1003	435	562	2000

Quelle: Töpfer 1994; BDSV 2001; eigene Berechnungen für das Jahr 2000.

Die Altgeräte werden mit 50 Gew.-% von den großen Konsumgütern dominiert. Diese Gütergruppe umfasst die sogenannte weiße Ware, Großgeräte der individuellen Büro-, Informations- und Kommunikationstechnik und große Fernseher. Mit 22 Gew.-% stellen die kleinen Konsumgüter eine weitere wesentliche Gerätegruppe dar. Diese Gruppe umfasst die Geräte der Unterhaltungselektronik und die kleinen Haushaltsgeräte. Geräte dieser Kategorie besitzen vornehmlich eine kurze Lebensdauer zwischen 1 und 5 Jahren. Investitionsgüter stellen zwar mit 28 Gew.-% mengenmäßig die zweitstärkste Gruppe dar, sie umfasst jedoch das bezüglich der Kupfergehalte sehr heterogene Feld der Industrie-, Medizin- und Labortechnik. Grundsätzlich sind die Geräte dieser Kategorie jedoch relativ einheitlich als langlebig zu bezeichnen. Die Lebensdauer solcher Investitionsgüter korrespondiert eng mit den Abschreibungszeiten und liegt daher zwischen 10 und 20 Jahren.

### Kupfer in EE-Altgeräten

Der Output an Kupfer wird durch das jährliche Aufkommen an Elektro- und Elektronikschrott in Form von ausgedienten Altgeräten bestimmt. Über den Kupfergehalt in elektrischen und elektronischen Altgeräten gibt es unterschiedliche Angaben. Er schwankt erheblich sowohl zwi-

schen den Gerätegruppen als auch innerhalb einer Produktart zwischen 0,3 Gew. % beim Elektroherd und 14 Gew-% bei Industrie- und Medizinprodukten. Folgende Tabelle stellt die Bandbreite der jährlichen Kupferfracht aus elektrischen und elektronischen Altgeräten dar:

**Tabelle 6-23. Kupfermengen in elektrischen und elektronischen Altgeräten in Deutschland**

	Altgeräte [t]	Mittlerer Kupfergehalt [Gew.-%]	Cu-Fracht [t]
Konsumgüter	1.354.000	2,8-4,8	38.000-65.000
Büro-, Informations- und Kommunikationsmittel	278.000	2,9-4,3	8.000-12.000
Industrie-, Medizin- und Labortechnik.	368.000	9,0-14,2	33.000-52.000
Summe	2.000.000		79.000-129.000

Quelle: UBA 2001; UBA 2001b; Kupfergehalt: IZT et al. 2000, leicht modifiziert; eigene Berechnungen für das Jahr 2000

Die Schwankungsbreite des Kupferstroms der jährlich als Altgeräte den Gerätebestand verlässt, beschreibt die unzureichende Datenlage bezüglich der stofflichen Zusammensetzung der verschiedenen Geräte.

Zusammenfassend ist festzustellen das der Ausmusterungsprozess von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst wird. Dazu zählen: Funktionserfüllung, Anschaffungspreis Lagerungsfähigkeit und Wiederverwendungsmöglichkeit des Altgerätes sowie Kosten und Funktionserweiterung der Ersatzbeschaffung. Insbesondere im Computerbereich ist es aus Nutzersicht wenig sinnvoll, Geräte als Abfall auszumustern die vor wenigen Jahren noch mehrere Tausend DM gekostet haben. Dies gilt um so mehr wenn die grundlegende Funktionserfüllung des Gerätes weiterhin gegeben ist. Dieser Zusammenhang begründet eine deutliche Absatzgrenze.

### 6.3.3 Problemlagen: Defizite, Verwertungspotenziale und Substitution

#### Marktentwicklung und Substitutionsoptionen

Neben den jährlichen Umsatzsteigerungen von knapp 15 % ist im Jahr 2000 die Elektroindustrie insbesondere geprägt durch die zunehmende Elektronik in fast allen Anwendungsbereichen der Branche. Dies hat zu überproportionalen Wachstum bei den Bauelementen und Baugruppen der Mikroelektronik geführt. Dazu haben insbesondere die Halbleiter mit einem Umsatzplus von 50 % beigetragen. Weltweit ist hier ein Umsatzplus von 51% zu verzeichnen. Ursächlich dafür ist der Mobilfunkboom. Ebenfalls erhöht ist die Nachfrage bei elektronischen Bauelementen für elektrische Antriebe, Schaltschränke, Schaltanlagen und Industriesteuerungen. Die Messtechnik und Prozessautomation ist besonders durch eine steigende ausländische Nachfrage geprägt.

Eher stagnierend entwickeln sich die Inlandsumsätze der Hersteller von **Installationsgeräten und -systemen** ebenso wie in der **Kabelindustrie**. Dafür wird die wirtschaftliche Lage in der Bauindustrie und der schwächeren Nachfrage der Energieversorgungsunternehmen als Ursache angesehen. Der Umsatz der elektrotechnischen und elektronischen Gebrauchsgüter stieg um 7 %. Ein deutlicher Auftrieb war im Jahr 2000 in der Unterhaltungs- und Informationselektronik - Fernsehen, Videorekorder, Hifi- und Telefongeräte sowie Computer - mit einem Umsatzplus von 10% auf dem deutschen Markt zu verzeichnen. Die Entwicklung der **Elektrohaushaltsgeräte** wurde stark vom Export bestimmt. Bei einem Umsatzplus von 5 % werden mehr als die Hälfte der Produktion im Ausland abgesetzt. Rund 73 % des Umsatzes entfallen auf Großgeräte wie Waschmaschinen oder Geschirrspüler bei einem nahezu stagnierenden Wachstum von 0,5 %. Dagegen ist durch Produktinnovationen bei Kleingeräten eine deutliche Umsatzseige-

rung bis zu 5 % zu verzeichnen. Geräte der Elektrohauswärmetechnik hatten im Jahr 2000 einen Umsatzrückgang von 2 % zu verzeichnen. Für **Elektrowerkzeuge** ist ein Umsatzrückgang von 3 % zu beobachten. Die Anzahl der verkauften Geräte ist jedoch um ca. 32 % gestiegen. Der Export von Elektrowerkzeugen hat um 4 % und der Import um 1 % abgenommen. Weiteres Kennzeichen des Marktes mit Elektrowerkzeugen ist der steigende Anteil der Akkugeräte die in immer höhere Leistungsklassen vordringen. Weltweit wurden im Jahr 1999 über Mio. Elektrowerkzeuge verkauft. Insgesamt wird in der Elektrobranche zukünftig von einem durchschnittlichen jährlichen Umsatzwachstum von 3-4 % und einer Exportquote von 50 % ausgegangen (ZVEI PR 2000-109, -103, -102, -115, -38).

Eine Substitution von Kupfer in EE Geräten ist nur bedingt absehbar. Eine Substitution als Leiterwerkstoff in Spulen und Wicklungen ist derzeit nicht großtechnisch erprobt. Im Bereich des Leiterplattenmaterials stellt die lotfreie Folientechnologie in Geräten mit geringen Zuverlässigkeitsanforderungen eine Substitutionsmöglichkeit dar. Bei Taschenrechner wird diese Technologie seit 1995 von Okano und Texas Instruments eingesetzt und führt für Kupfer und auch Blei zu erheblichen Materialeinsparungen. Folgende Tabelle stellt die Analyseergebnisse dar:

**Tabelle 6-24: Ergebnisse einer Elementaranalyse von Leiterplatten aus Taschenrechnern**

	<b>Lotfreie Folien-Leiterplatte</b>	<b>Lotfreie Folien-Leiterplatte</b>	<b>Herkömmliche Leiterplatte</b>
Hersteller	Casio	Texas Instruments	Okano
Gerät	fx-95 Equation	TI-30 Scientific	B 900 Scientific
Kupfergehalte der Leiterplatte	1.174 mg/kg	207 mg/kg	34.949 mg /kg
Bleigehalte der Leiterplatte	22 mg/kg	18 mg/kg	12.320 mg/kg

Quelle: Handke 1995.

Weitere Substitutionsoptionen bestehen auf der Produkt- und der systemischen Ebene. So können elektrische Geräte durch mechanische ersetzt werden, wodurch weniger Kupfer für Leitermaterial und Wicklungen eingesetzt werden muss. Allerdings zeigt das Kundenverhalten mit dem Trend zu Bequemlichkeit eher in die andere Richtung. Auch auf der systemischen Ebene werden in Zukunft wohl noch mehr Stecker, Anschlussbuchsen und Stromleisten für den Betrieb und die Vernetzung von immer mehr Haushaltsgeräten nachgefragt.

#### **Derzeitige abfallwirtschaftliche Situation: Export und Datenlage**

Die Entsorgungspfade der Altgeräte sind nicht genau bestimmbar. Kennzeichnend für die derzeitige Entsorgungspraxis von EE-Altgeräten sind v.a. der Export, die Verbrennung und die Deponierung und Informationsdefizite über die Stoffströme in der Downstreamphase. Hochwertiges Recycling findet in Deutschland nur in geringem Umfang statt.

Sowohl EE-Altgeräte als auch Elektronik- und Telefonschrott werden exportiert. Die Altgeräte sind insbesondere für den privaten osteuropäischen Export begehrt, da sie hier einerseits kostenfrei bezogen werden können und andererseits dort als Ersatzteilquelle dienen oder repariert wieder ein Markterlös erzielen. Darüber hinaus wird Elektronik- und Telefonschrott gewerblich exportiert und dient in den Empfängerländern als Schrottquelle für Nichteisenmetalle (Hafkesbrink 1998).

Auffallend im Handlungsfeld elektrische und elektronische Produkte ist die außerordentlich schlechte Datenlage. Diese Unsicherheit über die stoffliche Dimension der EE-Geräte wird noch verstärkt durch die enorme Vielfalt der Geräte sowie deren Heterogenität bezüglich der Inhalt-

und Schadstoffe (vgl. Tab. 6.23). Aus dieser stofflichen Heterogenität leitet sich die Notwendigkeit ab, eine möglichst spezifische Erfassung und Behandlung der EE-Altgeräte anzustreben. Grundsätzlich zielen daher fast alle Aufbereitungsverfahren auf eine Anreicherung und Homogenisierung der Stoffströme. Daher ist es notwendig auf dem Weg zu einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung Behandlungs- und Verwertungsverfahren zu nutzen, die der spezifischen stofflichen Zusammensetzung Rechnung tragen. Am ehesten gelingt dies, wenn bereits die Erfassung auf die stoffliche Zusammensetzung abgestellt wird. Unspezifische Verfahren wie eine pauschale Deponierung oder Verbrennung sind ungeeignet.

### **Verbrennung**

Eine wesentliche Problematik liegt im Eintrag von EE-Altgeräten in die Siedlungsabfälle. Während der dortigen thermischen Behandlung tragen insbesondere die Leiterplatten in EE Altgeräte in ihrer stofflichen Kombination aus Kupfer als Katalysator und bromierten Flammschutzmittel als Prekursoren zur Bildung von gemischt-halogenierten (PBCDD/F), und zur Erhöhung der reinchlorierten Dioxine und Furane (PCDD/F) bei (Lahl 1999).

### **Deponierung**

Über das Verhalten von EE Altgeräten in der Deponierung ist bekannt, dass ihre Metallgehalte der Auslaugung unterliegen. Einen Überblick über das Auslaugverhalten insbesondere von Kupfer und Blei im Eluatversuch mit Leiterplatten gibt folgende Tabelle:

**Tabelle 6-25: Ergebnisse eines Eluatversuches mit elektronischen Leiterplatten**

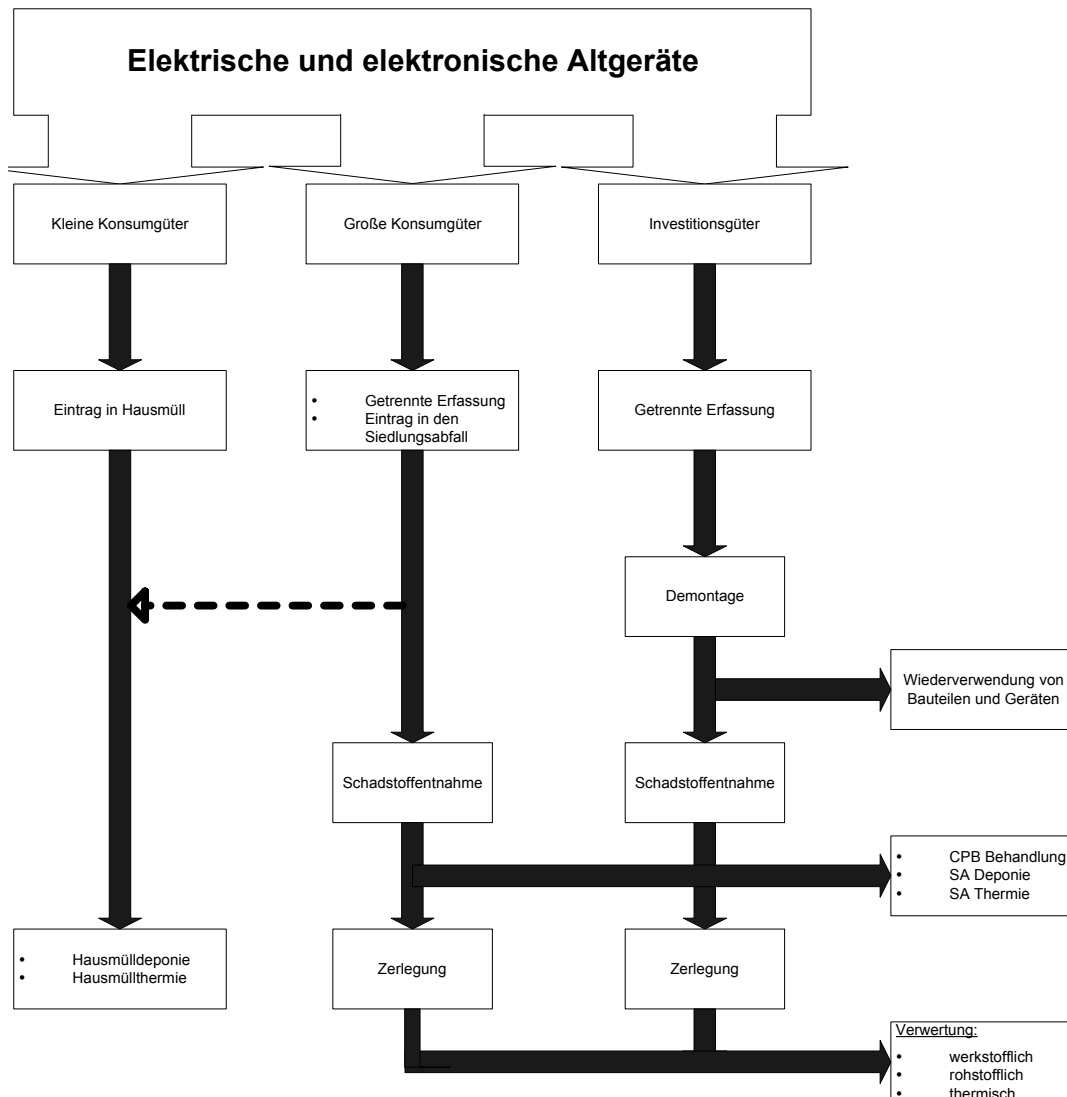
	<b>Probe nicht angesäuert [µg/l]</b>	<b>Probe angesäuert [µg/l]</b>	<b>Blindprobe nicht angesäuert [µg/l]</b>	<b>Blindprobe angesäuert [µg/l]</b>
<b>Pb</b>	30.000	406	21,10	26,80
<b>Cu</b>	19,13	0,50	0,42	0,22

Quelle: Breer 1992.

Insbesondere die Auslaugbarkeit von Blei hat zu Maßnahmen der EU geführt (s.u.). Die Erfassung, Sammlung und Verwertung von Elektronikschrott stellt sich heute insgesamt als wenig organisiert und koordiniert sowie für wesentliche Gerätegruppen als unvollständig dar. Eine differenziertere Einschätzung der Recyclingsituation kann für einzelne Produktgruppen vorgenommen werden. Folgende Abbildung gibt einen Überblick:



Abbildung 6-12: End of Life-Phase von elektrischen und elektronischen Geräten



Quelle: Eigene Darstellung.

**Haushaltsgroßgeräte** stellen aufgrund ihres hohen Metallanteils - vor allem Eisen und Stahl - eine wichtige Schrottquelle dar. Allerdings ist ungewiss, inwieweit beim Recycling Kunststoffteile und Nichtmetalle abgetrennt werden, da Kunststoffe als Energiequelle für das Elektrostahlverfahren dienen und viele Nichtmetalle in diesem Prozess verschlackt werden können. Obwohl Kupfer als Stahlschädling gilt, ist sein Eintrag in das Stahlrecycling von Bedeutung. Dies liegt zum einen an der Mengenrelation (die nationale Rohstahlerzeugung lag in Jahr 2000 bei 46,4 Mio. t (WVS 2001b), die zu einem erheblichen Verdünnungseffekt führt, und zum anderen an den relativ moderaten Grenzwerten für Stahl mit geringeren Anforderungen (bis zu 0,4% Cu bei Knüppel für Betonstahl [VDEh 2001]).

Es ist zu vermuten, dass für **Kleingeräte** die Hausmülldeponie bzw. die Hausmüllverbrennung den wesentlichen Entsorgungsweg bildet. EU-weit wird davon ausgegangen dass, ein großer Teil der Schadstoffe in kommunalen Abfällen auf Elektro- und Elektronikaltgeräte zurückzuführen ist (WEEE 2000).

Dieser hohe Grad an Entsorgung von Altgeräten über die kommunalen Entsorgungspfade liegt auch in der Weiterverwendung der **gewerblichen grauen Ware** begründet. Zwar ist es in diesem sogenannten business to business Bereich die Regel, dass der Hersteller und/oder Verkäufer neuer Geräte die Altgeräte zurücknimmt und entsprechend der Herstellersysteme einer Verwertung zuführt. Ein Großteil der im professionellen Bereich anfallenden Gebrauchtgeräte wird aber in der Praxis anderen als den Entsorgungskanälen der Hersteller zugeführt. Insbesondere im Bereich der Computertechnik werden die entsprechenden Geräte - sofern diese nicht eine innerbetrieblichen Zweitnutzung erfahren - oftmals an Mitarbeiter verkauft/abgegeben oder an öffentliche Einrichtungen, wie Kindergärten oder an Schulen, gespendet, so dass auch diese vormals gewerblich genutzten Geräte irgendwann als private Altgeräte anfallen und in die kommunale Abfallentsorgung gelangen. Für diese IuK-Geräte hat sich in den letzten Jahren zumindest eine 'ernstzunehmende' Recyclinginfrastruktur herausgebildet, die sich weiter differenziert. Derzeit existieren ca. 250 spezialisierte Zerlegebetriebe, die Produkte der IuK-Technik meist in Kooperation mit Herstellern demontieren. Die Verwertung der Fraktionen erfolgt anschließend in momentan über 200 in Deutschland ansässigen Verwertungsbetrieben. Insgesamt steht in Deutschland eine Recyclingkapazität für EE-Geräteschrott von über 500.000 t/a zur Verfügung. Diese ist jedoch aufgrund geringer Rückläufe von Altgeräten nur zum Teil ausgelastet. Einzelne Anlagen sind deshalb aus wirtschaftlichen Gründen derzeit nicht in Betrieb. Wie hoch die Überkapazitäten sind, ist nicht genau abschätzbar (Hafkesbrink 1998).

Für die Demontage und Verwertung sind seit der ersten Ankündigung der Elektronikschrottverordnung im Jahr 1991 inzwischen erhebliche Kapazitäten geschaffen worden, die Anlagen der Verwerter sind aber vielfach nur unzureichend ausgelastet, da bislang kaum rechtlicher Druck besteht, die Geräte werkstofflich zu verwerten. Spätestens mit Auslaufen der Übergangsfristen der TA Siedlungsabfall wird es aufgrund der Begrenzungen des Glühverlustes auf 3 bzw. 5 % für abzulagernde Abfälle zu Veränderungen kommen müssen, da beispielsweise Leiterplatten etc. diese Werte nicht ohne Vorbehandlung erreichen können. Im übrigen steht der weiteren Deponierung auch das Verwertungsgebot des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes entgegen.

Insgesamt sind mit der Ankündigungspolitik im Bereich der EE-Geräte zahlreiche Innovationen von Seiten der Hersteller und der Entsorgungsdienstleister entstanden, die jedoch teilweise ohne Wirkung geblieben sind. Die Ankündigung umweltpolitischer Regelungen im Bereich der EE Altgeräte haben neben den Herstellern auch die Unternehmen der Entsorgungswirtschaft als **Innovationsimpuls** aufgenommen, da sie aus der stärkeren Regulierung eine wachsende Nachfrage nach ihren Leistungen abgeleitet haben. Unter dem Druck der Überkapazitäten im Deponiebereich und des daraus resultierenden Preisverfalls und dem Ausbleiben der entsprechenden Abfallströme haben diese Aktivitäten nachgelassen. Mittelfristig ist jedoch wieder mit einem Preisanstieg aufgrund der Umsetzung der TA-Siedlungsabfall zu rechnen. Die Diskussion um die Neuregulierung hat entscheidende Innovationsimpulse auf den Feldern der Produktentwicklung, Entsorgungstechnologie, Kosteneinsparung und neuen Geschäftsausrichtungen ergeben. Des Weiteren hat die Heterogenität der Regelungen in den verschiedenen Staaten zu einer kumulativen Orientierung der Produktentwicklung an den weitreichendsten Regelungen geführt, da die meisten EE-Produkte nicht ausschließlich für den lokalen Markt entwickelt werden.

Die Unsicherheit hinsichtlich der Neuregulierung und das Ausbleiben der Altgeräte hat im Bereich der Entsorgungswirtschaft jedoch auch zu Innovationshemmnissen geführt. So ist es zu einem Marktaustritt vieler kleiner und mittelständischer Betriebe gekommen. Die Unterneh-

mensgröße ist auch entscheidend für das erfolgreiche Beschreiten von Innovationspfaden, die Finanzkraft, Humankapital oder Forschungsfähigkeit benötigen. Dies sind insbesondere technologische Verwirklichungen von Konzepten des „Re-Manufacturings“ und des „UpGradings“. Ein entscheidendes Hemmnis für die Diffusion vorhandener technologischer Verfahren zur Entsorgung von EE Altgeräten ist marktlich begründet. Als Marktfaktoren sind hier neben dem Ausbleiben der Massenströme, der Preiskampf zwischen Entsorgern und Verwertern sowie die Entwicklung des Preises für Sekundärmaterialien zu nennen.

Ursächlich für die **geringen Erfassungs-** und Verwertungsquoten ist zunächst, dass das Aufkommen an Elektroaltgeräten hinter den Erwartungen zurückbleibt. Neben mangelhafter gesonderter Erfassung und der Verbringung in den Sperrmüll bzw. in den Hausmüll ist offensichtlich die tatsächliche Nutzungsdauer der Geräte höher bzw. im Zeitablauf langsamer gesunken als angenommen. Unternehmen und private Haushalte halten sich mit Neuanschaffungen zurück, was zwangsläufig den Anfall von EE Altgeräten vermindert. Neben der Nutzung als Zweit- oder Drittgeräte ist der Anteil der Exporte zur Weiterverwertung oder Entsorgung derzeit noch sehr hoch (Hafkesbrink 98).

Zusammenfassend sind für die gegenwärtige Situation folgende Aspekte charakteristisch:

- Die elektrischen und elektronischen Altgeräte werden immer noch in großem Umfang zusammen mit Siedlungsabfällen erfasst und in Müllverbrennungsanlagen und Deponien entsorgt.
- Die IuK-Industrie hat in den letzten Jahren vielfältige Ansätze für eine recycling- und demontagegerechte Produktgestaltung entwickelt. Bisher sind aber vergleichsweise wenige Produkte auf dem Markt, die so konstruiert und hergestellt sind, dass rezyklierfähige Komponenten und Stoffe leicht wiedergewonnen werden können (Griese 1997).
- Einige Hersteller der informations- und kommunikationstechnischen Industrie praktizieren bereits eine Rücknahme und ein Recycling ihrer Produkte. Die Rücklaufquoten von Altgeräten im Elektronikbereich sind in der Regel aber gering<sup>123</sup>.
- Das Recycling konzentriert sich auf die stoffliche Wieder- und Weiterverwertung. Die wirtschaftlichen Potentiale der Wieder- und Weiterverwendung werden kaum genutzt.

### **Recyclingoptionen**

Der Kupfergehalt von EE Geräten liegt mit durchschnittlich 3-5 % deutlich höher als in Kupfererzen. Unter Berücksichtigung, dass gewerblich genutzte Geräte bereits überwiegend einer Verwertung zugeführt werden, bleibt bei den Altgeräten aus privaten Haushalten ein jährliches Verwertungspotential für Kupfer in der Größenordnung von 42.000 t bestehen.

Je nach beabsichtigtem Verfahren zur Gewinnung der Sekundärrohstoffe werden verschiedene Aufbereitungsprozesse vorgeschaltet. In der Regel sind dies manuelle Demontage sowie maschinelle Aufbereitung- und Anreicherungsprozesse. Je nach anschließendem stofflichem Verwertungsverfahren werden diese Prozesse jedoch mit spezifischer Separationstiefe und Fraktionsreinheit geführt. Grundsätzlich zählt Kupfer als Kabel, mit Fe verunreinigt oder als Bestandteil von Platinenschrott zu den Fraktionen, die aufgrund ihrer guten Erlössituation als Zielfraktion maximal konzentriert werden.

### *Demontage*

---

<sup>123</sup> Bei Personalcomputern liegen sie unter 3%. In Ausnahmefällen beträgt die Rücklaufquote unter bestimmten Vertriebs- und Marktbedingungen 30% (IZT 1999). Bei Kopiergroßgeräten erzielt Rank Xerox eine Rücklaufquote von nahezu 100%.

Mit dem Ziel der Verwendung und Verwertung von Altgeräten und Komponenten ist die Demontage abfallwirtschaftlich betrachtet Bestandteil des Recyclings. Die manuelle Demontage-technik ist in der Regel Bestandteil aller zur Zeit praktizierten Recyclingverfahren für EE-Altgeräte. Die Prioritätenfolge der bei einer Demontage zu bewältigenden Aufgaben stellt sich mit zunehmender Demontagetiefe wie folgt dar:

- Demontage von schadstoffhaltigen Bauelementen
- Demontage von wiederverwendbaren Bauelementen
- Demontage von wertstoffhaltigen Bauelementen.

Jede dieser Demontageaufgaben hat spezifische Rahmenbedingungen in Hinblick auf Arbeitsschutz, zerstörende oder zerstörungsfreie Demontage, Demontagegrad etc. Bei der Demontage von kupferhaltigen Komponenten handelt es sich einerseits um eine Gewinnung wiederverwendbarer Baugruppen wie Motoren, Transformatoren, Elektronik und andererseits um die Gewinnung von gut verwertbaren Fraktionen mit einem hohen Schrottwert (Kabelschrott, Cu-Raff.) bzw. der Entfernung aufgrund des Störstoffcharakters in der weiteren Aufbereitung (Stahlrecycling)

Die Demontage erfolgt in fast allen Fällen manuell. Sie stellt aufgrund ihrer Personalintensität auch den teuersten Schritt in der Behandlung von Elektroaltgeräten dar. Daher ist die Festlegung eines Abbruchkriteriums der Demontage entscheidend für die Wirtschaftlichkeit des Verwertungsverfahrens. Gleichzeitig ist sie aus ökologischer Sicht besonders wichtig, da sie einerseits die Voraussetzung der Wiederverwendung von Geräteteilen ist und da andererseits schadstoffhaltige oder störende Substanzen in die sich anschließenden Verfahren und Materialkreisläufe eingetragen werden. Die aus der Demontage gewonnenen Fraktionen werden anschließend einer direkten werk- bzw. rohstofflichen Verwertung oder einer weiteren maschinellen Aufbereitungsverfahren zugeführt.

In der Regel wird in folgende Grobfraktionen zerlegt

- Eisenhaltige Metalle
- Nichteisen Metalle
- Sortenreine und vermischte Kunststoffe
- Verbundmaterialien wie Platinen, Kabel, Motoren
- Problemkomponenten wie Bildröhren, Quecksilberschalter u.ä.
- Schadstoffentfrachtete Gerätereste

Für Kupfer steht die Gewinnung von denjenigen Fraktionen im Mittelpunkt, die bereits einer definierten Schrottsorte gemäß Europäischen Schrottsortenschlüsseln entsprechen oder aus denen solche gewonnen werden können.

#### *Maschinelle Aufbereitung*

Bei der maschinellen Aufbereitung werden durch Aufschluss der Grobfraktionen mit anschließender Sortierung und Klassierung Fraktionen mit möglichst hoher Sortenreinheit abgetrennt. Hier kommen trockene, nass-mechanische, elektrostatische sowie magnetische Trennverfahren zu Anwendung. Die dann meist in Granulatform vorliegenden sortenreinen Fraktionen können anschließend, sofern aus wirtschaftlich und ökologischer Sicht lohnend, der Sekundärrohstoffgewinnung zugeführt werden.

### *Thermische Verfahren (NA)*

Platinenschrott mit einem Kupfergehalt von 12- 25 Gew. % und eine Bleigehalt von 1-5 Gew.-% wird im primären Kupfergewinnungsprozess dem Konverter bei 1400° bis 1520°K zugeführt. In dieser Prozessstufe wird der Kupferstein ( $\text{Cu}_2\text{SxFeS}$ ) zu Rohkupfer verarbeitet. In der nachfolgenden Raffinationsstufe werden die unedleren Metalle des Kupfers separiert (Anodenbetrieb). Aus dem Anodenkupfer wird dann mittels Raffinationselektrolyse Elektrolytkupfer erzeugt. Bei diesem elektrochemischen Verfahren werden die edleren Metalle (Edelmetalle) vom Kupfer getrennt. Die Edelmetalle befinden sich im Anodenschlamm und werden aus diesem hydrometallurgisch und/oder elektrolytisch zurückgewonnen.

### *Pyrolyse*

Die Pyrolyse findet für Leiterplatten und Kunststoffe Anwendung. Während des pyrolytischen Prozesses werden die organischen Komponenten thermisch gespalten, die Verbundmaterialien versprödet und Lötverbindungen durch das Aufschmelzen der Lote gelöst. Die mechanische Durchmischung in der Pyrolysetrommel führt zu einer weiteren Auflösung der eingebrachten Materialien. Neben den Loten werden auch die Aluminiumlegierungen aufgeschmolzen, die zu einer Dehalogenierung der chlororganischen Verbindung beitragen. Die Feststoffe werden über einen Nassaustrag in Wasser schlagartig abgekühlt, während die flüchtigen Komponenten in einem Einspritzkühler mit Kreislaufwasser gequenchet und entstaubt werden. Die abgeschiedenen Stäube, der Ruß und die schweren Kohlenwasserstoffe werden über Kammerfilterpressen abgetrennt, in den Pyrolyseaktor zurück geführt, dort gecrackt und erneut in einen festen Koksrückstand und eine flüchtige Komponente aufgespalten. Die flüchtige Komponente wird über eine Kondensation und Phasentrennung in drei Fraktionen aufgetrennt. Erstens in eine gasförmige Fraktion mit den Permanentgasen und den niederen Kohlenwasserstoffen, zweitens in eine organisch flüssige Fraktion mit den BTX-Aromaten, Phenolen und höheren Kohlenwasserstoffen sowie drittens in eine wässrige Fraktion mit Wasser, Halogeniden und Ammoniak. Die Aufbereitung der ausgetragenen Feststoffe bestehend aus den Metallen, Kohlenstoffen, Keramik und Glasfasern ist auf eine Nassbehandlung abgestimmt in der auch die Separation der Metalle erfolgt.

### *Chemische Verfahren*

Chemische Verfahren finden nur für metallhaltige Verbundmaterialien Anwendung. Dabei ist vorrangig die Gewinnung von Edelmetallen von Interesse. So können von unbestückten Leiterplatten oder Steckerleisten die Metalle gewonnen werden. Dabei kommen in Abhängigkeit vom unterschiedlichen Basismaterialien des Verbundes (Kunststoff, Metall, Keramik) verschiedene Verfahren zum Einsatz. Für nichtmetallische Basismaterialien können die Metalle durch Laugung mit Säuren, Basen oder Salzlösungen in Lösung gebracht werden. Metalle aus unbestückten Leiterplatten werden überwiegend salpetersauer gelöst. Zur Gewinnung der elementaren Metalle wird die Lösung anschließend mittels Gewinnungselektrolyse einer elektrochemisch Reduktion unterzogen.

## **6.3.4 Initiativen und Instrumente für eine nachhaltige Bestandbewirtschaftung**

### **Initiativen und Instrumente**

Neben konkreten Einzelinitiativen von Herstellern und Vertreibern, Kommunen und privaten Recycling- und Entsorgungsfirmen wird die Elektro- und Elektronikschrottwirtschaft durch die EU-Richtlinienentwürfe WEEE, RoHs und EEE in wenigen Jahre womöglich ein neues Gesicht bekommen.

### *Hersteller- und Vertreiberinitiativen*

Bei den Herstellern sind es insbesondere die Branchen der Computer- und Unterhaltungselektronik, welche Entsorgungsinitiativen ergriffen haben. Der Computerhersteller Siemens-Fujitsu in Paderborn sammelt seit 1988 über seine Dienstleistungsstationen ausgediente Geräte seiner Marke wieder ein. Nach der manuellen Demontage wird geprüft, ob das Gesamtgerät oder ein Geräteteil wiederverwendet werden kann. 17 % des Schrotts findet so eine Wiederverwendung. Anschließend werden die nicht wiederverwendbaren Teile in 50 Stofffraktionen sortiert und einer Verwertung zugeführt. Die Kupferfrachten werden als NE-Metallfraktionen Mischhütten zur metallurgischen Behandlung gegeben. Ähnliche Aktivitäten bei Computerschrott oder Peripheriegeräten sind auch bei den Firmen NCR in Augsburg, IBM in Nieder-Roden, Nokia Data in Pullheim-Braunweiler und Hewlett-Packard in Böblingen zu beobachten. Weitere Hersteller- und Vertreiberinitiativen haben NIKON für das Materialrecycling von Fotoapparaten, Brother International und Epson Deutschland für die Wiederverwendung und Wiederbefüllung von Tonerkartuschen, RANK Xerox für die Demontage und Wiederverwertung von gebrauchten Kopierern sowie die Telekom für die Verwertung von Telefonschrott ergriffen.

### *Kommunale Initiativen*

Im Rahmen der Sperrmüllentsorgung werden, meist in städtischen Entsorgungsgebieten, von zahlreichen Gebietskörperschaften Haushaltsgroßgeräte wie Kühlgeräte, Öfen, Herde und Waschmaschinen über Holsysteme oder über sogenannte Recycling- oder Wertstoffhöfe als Sammelstellen im Bringsystem getrennt erfasst und einer Entsorgung zugeführt. Mit der Demontage und Verwertung werden neben den gewerblichen Verwertungsbetrieben auch regionale soziale Einrichtungen wie z.B. Behindertenwerkstätten, Arbeitslosenselbsthilfe, Gefährdetenhilfe oder private Entsorgungsunternehmen beauftragt.

### *Initiativen von privaten Entsorgungs- und Recyclingunternehmen*

Der Bundesverband der deutschen Entsorgungswirtschaft zählt 750 Mitgliedsunternehmen und repräsentiert damit 80% der Unternehmen auf dem Entsorgungsmarkt. Insgesamt werden 60% aller Haushalte in Deutschland durch private Unternehmen entsorgt. Tendenziell dominiert die Privatwirtschaft vor allem in ländlichen Entsorgungsgebieten. Bei vielen kommunalen Unternehmen ist derzeit eine Tendenz zur Privatisierung bzw. Teilprivatisierung zu registrieren. In den fünf neuen Bundesländern sind fast ausschließlich privatwirtschaftliche Entsorgungsunternehmen tätig. Innerhalb der privaten Entsorgungsbranche ist eine Tendenz zur Konzentration erkennbar: 16 Mrd. DM werden von 100 Unternehmen umgesetzt. Dies entspricht 80 % des gesamten Umsatzes der Branche. Die meisten Unternehmen bieten die Entsorgung von Elektronikschrott an oder beabsichtigen dies. Zu den Marktführern zählen die Firmen RWE-Entsorgung/Trienekens, VEW AG/Edelhoff, Rethmann und die Schleswig AG.

Um den Anteil an Sonderabfall möglichst gering zu halten und den Anteil verwertbarer Stoffe zu maximieren, muss eine gewisse Sortiertiefe eingehalten werden. Dies zu gewährleisten, ist Aufgabe des Zusammenschlusses der Entsorgungsunternehmen in den Verbänden Bundesverband der Elektronik- und Elektroschrottverwerter (BEEV) und Bundesvereinigung Elektro- und Elektronikverwertungsunternehmen (BEVU). Unter anderem haben diese Verbände die Aufgabe, die Entsorgungsunternehmen auf Einhaltung von gegebenen Standards hin zu überprüfen. Die Überprüfung wird im Rahmen einer TÜV-Prüfung bzw. Zertifizierung sichergestellt. Die Zertifizierung erfolgt nach einem Kriterienkatalog, der vom Verband des deutschen Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) und dem Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie

(ZVEI) am 20.4.1994 festgelegt wurde. Diese Vorgehensweise steht in direktem Zusammenhang mit § 10 des nationalen Entwurfs der Elektronikschrottverordnung von 1992, der für die Beauftragung Dritter zur Erfüllung der in der Verordnung ausgesprochenen Verpflichtung ein Gutachten eines anerkannten Sachverständigen fordert.

Zusammenfassend ist zu erkennen, dass fast alle Entsorgungsinitiativen von Elektroaltgeräten auf Haushaltsgroßgeräte oder Investitionsgüter zielen. Die von der Hausmüllentsorgung getrennte Erfassung von mülltonnengängigen Elektroaltgeräten ist derzeit kein Ziel der in der Abfallwirtschaft Tätigen.

### **WEEE, RoHS und EEE**

Als bestimmender normativer Rahmen von Bedeutung für elektrische und elektronische Altgeräte können die beiden europäischen Richtlinienentwürfe WEEE (2000/0158) und RoHS 2000/0159 gelten, die zur Zeit kurz vor dem Ende des legislativen Prozesses stehen. Darüber hinaus liegt seit März 2001 ein Arbeitsfassung für ein Entwurf einer EEE-Richtlinie vor: „Geänderter Vorschlag der europäischen Kommission für eine „Richtlinie über Elektro- und Elektronikaltgeräte“ (WEEE) vom 06.06.2001. Als grundsätzliche Problemlagen auf deren Lösung diese Richtlinie zielt gelten: Die schnelle Zunahme von EE Altgeräten, die gefährlichen Inhaltstoffe, die bisherige Entsorgungspraxis über den kommunalen Siedlungsabfall und die Ressourceneinsparung. Als Grundelemente und prinzipielle Zielsetzung der Richtlinie werden benannt: die Produktverantwortung der Hersteller, die getrennte Sammlung, die Verbesserung von Wiederverwendung/Recycling und die Nutzerinformation. Die Richtlinie gliedert sich in 16 Artikel und 3 Anhängen und steht in einem engen Zusammenhang mit der „Richtlinie zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in elektrischen und elektronischen Geräten“ (RoHS) vom 06.06.2001. Während die WEEE auf den Umgang mit den Abfällen aus EE-Altgeräten abzielt und die RoHS die Verwendung gefährlicher Inhaltstoffe beschränkt soll die „Directive on the Impact on the environment of electrical and electronic equipment“ (EEE) die Produktgestaltung von EE-Geräten regeln.

#### *WEEE-Richtlinie*<sup>124</sup>

Die WEEE spezifiziert als vorrangiges Ziel für Abfälle aus EE-Geräten die Abfallvermeidung, die Wiederverwertung, das Recycling und die Reduzierung der Beseitigung. Neben einer dezierten Gerätesystematisierung in 10 Gerätgruppen gemäß Anhang II werden Altgeräte als Abfall definiert und darüber hinaus umfangreiche Begriffsbestimmungen insbesondere bezüglich Vermeidung, Verwertung, Recycling und Beseitigung vorgenommen. Ein wesentlicher Kern der Richtlinie ist die kostenlose Rücknahme von EE-Altgeräten aus privaten Haushalten. Darüber hinaus wird die Herstellerverantwortung für die Sammlung nicht aus privaten Haushalten stammender EE-Altgeräte formuliert. Für sämtliche derart getrennt gesammelte Altgeräte gilt die Andienungspflicht an zugelassene Behandlungsanlagen die jedoch unter festgelegten Bedingungen EU-weit erfolgen kann. Von zentraler Bedeutung ist die nachzuweisende Sammelquote von 6 kg/Einwohne und Jahr bis spätestens Ende 2005.

Bezüglich der Behandlung der gesammelten Altgeräte wird neben der Entfernung aller Flüssigkeiten, eine Genehmigungs- und Inspektionspflicht der Behandlungsanlage eingefordert und die Einhaltung der Anlagen und Betriebsanforderungen gemäß der Anhänge I und III verlangt. An-

---

<sup>124</sup> Zur WEEE liegt seit dem 4.12.2001 ein gemeinsamer Standpunkt des europäischen Rates und des Parlamentes vor.

hang II spezifiziert die mindestens zu demontierenden Bauteile, Stoffe und Zubereitungen. Mit besonderer Bedeutung für Kupfer und Blei sind dies: Gedruckte Leiterplatten so fern nicht im Gehäuse integriert, Batterien, Kunststoffe, die bromierte Flammschutzmittel enthalten und Kathodenstrahlröhren.<sup>125</sup>

Anhang I spezifiziert die technischen Anforderungen an die Anlagen zur Lagerung und Behandlung von EE-Altgeräten. gemäß dieser Anforderungen müssen derartige Anlagen über undurchlässige Oberflächen der Böden, wetterfeste Abdeckungen, Waagen, geeignete Lagerräume und Container für demontierte Bauteile und Schadstoffe sowie Ausrüstungen für die Wasserbehandlung verfügen. Von weiterer elementaren Bedeutung sind die gerätespezifischen Zielvorgaben zur Verwertung und Verwendung bzw. Recycling die von den Herstellern bis spätestens zum 31. Dezember 2005 einzuhalten sind. Die festgelegten Quoten unterliegen für die Zeit nach 2008 einer Überprüfung. Folgende Tabelle liefert einen Überblick über die Zielvorgaben für 2005<sup>126</sup>:

**Tabelle 6-26: Verwertungs- sowie Wiederverwendungs- und Recyclingquoten gemäß WEEE-Richtlinie**

Kategorie Nr. gemäß Anhang I A	Geräte	Verwertungsquote <sup>a)</sup>	Wiederverwendungs- und Recyclingquote
1	Haushaltsgroßgeräte	90%	85%
10	Ausgabegeräte	90%	85%
2, 5,6,7	Außer Geräte mit Kathodenstrahlröhren	70%	60%
3, 4	Außer Geräte mit Kathodenstrahlröhren	85%	70%
	Gasentladungslampen		85%
	Geräte mit Kathodenstrahlröhren	80%	75%

Quelle: WEEE.

Anmerkung: a) Die Verwertung schließt die Verwendung als Brennstoff gemäß R 9 Anhang II B Richtlinie 75/442/EWG mit ein.

Aufgrund der umstrittenen Finanzierung der kostenlosen Rückgabe des sogenannten historischen Abfalls ist erst nach Ablauf von 5 Jahren nach Inkrafttreten der Richtlinie die Herstellerfinanzierung der Rücknahmestellen für private Haushalte sowie der Behandlung, Verwertung und umweltgerechten Entsorgung der EE-Altgeräte vorgesehen. Zur Finanzierung können sich die Hersteller kollektiver oder individueller Systeme bedienen. Für die nicht in privaten Haushalten genutzten Geräte sind bilaterale Finanzierungsvereinbarungen zwischen den gewerblichen Nutzern und den Herstellern vorgesehen. Ein gemeinsamer Arbeitskreis von BITKOM und ZVEI unterbreitet bis Ende 2002, wenn die endgültige Fassung der WEEE vorliegt, einen Vorschlag zur Erfassung von EE-Altgeräten. Die Gerätenutzer sind über die Rückgabe und Sammelsysteme sowie der Pflicht zur Trennung, und über ihren Beitrag zur Verwendung, zum Recycling und zur Behandlung zu informieren. Es sind Anreizsysteme zur Beteiligung an der getrennten Sammlung zu schaffen und alle Geräte sind mit einem Symbol zu versehen, welches den Eintrag in die Hausmüllsammlung vermeiden soll. Die Artikel 10, 11 und 12 formulieren

<sup>125</sup> Darüber hinaus müssen demontiert werden: PCB-Kondensatoren, Quecksilberschalter, Tonerkartuschen, Asbest, FCKW, H-FCKW, H-FKW, Gasentladungslampen, LCD's > 100 cm<sup>2</sup> und Elektrolytkondensatoren mit gefährlichen Stoffen.

<sup>126</sup> Abzüglich des Gewichts der wiederverwendeten vollständigen Geräte.



Informationspflichten der Hersteller für die Behandlung der Inhaltsstoffe, der Menge der in den Verkehr gebrachten EE Geräte sowie einer Berichtspflicht gegenüber der EU Kommission.

Artikel 13 regelt die Änderungen der Anhänge an den technischen Fortschritt und in Artikel 15 wird als Termin der nationalstaatlichen Umsetzung der 30. Juni 2004 genannt

#### *RoHS-Richtlinie*<sup>127</sup>

In der Richtlinie zur „Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in elektrischen und elektronischen Geräten“ (RoHS) werden in 10 Artikeln und einem Anhang die Verwendungsbeschränkungen für Blei, Quecksilber, Cadmium, sechswertiges Chrom, PBB und PBDE spezifiziert. Grundsätzlich sind von der Verwendungsbeschränkung Geräte der Kategorie 8 (Medizinische Ausrüstung) und 9 (Überwachungs- und Kontrollinstrumente) ausgenommen. Glühlampen, Energiesparlampen und Wohnraumleuchten sind jedoch explizit im Verwendungsverbot eingeschlossen. Der Anhang I regelt die Anwendungsbereiche, die vom Verbot ausgenommen sind. Bezüglich Blei sind dies:

- Blei im Glas von Kathodenstrahlröhren, Glühlampen und Leuchtstoffröhren
- Blei in Stahllegierungen mit bis zu 0,3 Gew. % Blei
- Blei in Aluminiumlegierungen die bis zu 0,4 Gew. % Blei enthalten
- Blei in Kupferlegierungen die bis zu 4 Gew. % Blei enthalten
- Blei in keramischen Elektronikbauteilen
- Blei in Lötmitte mit hohem Schmelzpunkt die mehr als 85 Gew. % Blei enthalten
- Bleiglas in elektronischen Bauteilen
- Blei in Piezoelektronischen Bauteilen
- Blei in Servern, Speicher- und Speichersystemen (Ausnahmeregelung bis 2010)

Darüber hinaus zählt der Anhang I noch Ausnahmen von der Verwendungsbeschränkung für Quecksilber, Cadmium und sechswertigen Chrom auf. Die derart spezifizierten Anwendungsbeschränkungen gelten ab 2006 und unterliegen hinsichtlich der Ausnahmeregelungen einer Anpassung an den wissenschaftlich-technischen Fortschritt. 18 Monate nach Inkrafttreten der Richtlinie muss sie in nationales Recht umgesetzt werden.

#### *EEE-Richtlinie*

Die EU-Kommission hat im März 2001 einen ersten informellen Vorschlag für eine Richtlinie zur umweltgerechten Gestaltung von Elektro- und Elektronikprodukten (EEE-Richtlinie) vorgelegt. Die Abkürzung steht für die umweltgerechte Gestaltung von Elektro- und Elektronikprodukten (EEE-Directive - Impact on the Environment of Electrical and Electronic Equipment). Als Ziel der Richtlinie wird die Harmonisierung von umweltrelevanten Anforderungen an die Gestaltung von EE-Geräten formuliert. Dabei wird ausdrücklich die Sicherstellung des freien Warenverkehrs dieser Produkte als Begründung für den Harmonisierungsbedarf herangezogen. Darüber hinaus wird als langfristiger Beitrag der EE Geräte zu einer nachhaltigen Entwicklung die Verbesserung ihrer Umweltwirkungen und ihres Ressourcenverbrauchs in den Mittelpunkt gerückt. Dabei wird der Produktgestaltung ein signifikantes Potential für die Verbesserung der Umwelteigenschaft entlang des Lebensweges zugesprochen. Der Anwendungsbereich orientiert sich am NACE -Code und umfasst neben Haushaltgeräten, Büromaschinen und Computer, Unterhaltungselektronik, Medizingeräte, Spielzeug auch elektrische Maschinen und Apparate.

---

<sup>127</sup> Zur RoHS liegt seit Juni 2002 ein gemeinsamer Standpunkt der europäischen Rates und des Parlamentes vor.

Letztere Geräteart umfasst die stark kupferhaltigen Geräte der Elektrizitätssteuerung und -verteilung inklusive Motoren, Trafos, Generatoren, Kabel, Leitungen und Kfz-Elektronik.

Die Richtlinie schreibt umfangreiche Informationspflichten der Hersteller fest. So sollen grundsätzlich alle notwendigen Informationen zur Identifizierung der Komponenten und Abschätzung der Größenordnung der Umweltauswirkungen bereitgestellt werden. Explizit ist die Dokumentation über Materialzusammensetzung gefordert. Als weitere Anforderung an die Herstellung wird die Identifizierung und Quantifizierung der Umweltauswirkungen entlang des Lebensweges des Produktes gefordert. Für die eigentliche Produktgestaltung werden Prinzipien formuliert. Für die Nutzungsphase werden Informationen und Kennzeichnungen über die Herstellung, die signifikanten Umwelteigenschaften, die Nutzungseigenschaften und für die Entsorgung gefordert. Um die Einhaltung der Designanforderungen zu kontrollieren wird eine Konformitätserklärung mit umfangreichen Informationspflichten bezüglich der Umwelteigenschaften im Rahmen des CE-Verfahrens für die Marktzulassung eingefordert.

Im Rahmen der künftigen Richtlinie ist zur Unterstützung der Kommission, z.B. bei Fragen der Anwendung und für die Marktbeobachtung, die Bildung eines Komitees zum Thema "Normen und technische Regeln" und eines zu "Umweltauswirkungen von Elektrischen-/Elektronischen Geräten" vorgesehen. Der "Final Draft" zu dieser Richtlinie nach der neuen Konzeption soll Ende 2001 vorliegen. Für die Anwendung ist eine Übergangsfrist von 5 Jahren vorgesehen. Auf kleine und mittlere Betriebe soll dabei besondere Rücksicht genommen werden.

### 6.3.5 Handlungsbedarf für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung

Mit den EU-Richtlinienentwürfen WEEE, RoHS und EEE ist auch im Hinblick auf eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei ein vielversprechender Rahmen auf den Weg gebracht worden. Angesichts des moderaten **Sammelziels** von lediglich 6 kg/Einwohner und Jahr könnte im nationalen Rahmen eine **Verschärfung** ein sinnvoller Ansatz für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung sein. Auch ist zu prüfen, ob der WEEE-Entwurf den Mitgliedsstaaten die Möglichkeit einräumt, **produktgruppenspezifische Sammelquoten** zu formulieren.

Für Großgeräte erscheinen **Entsorgungsanforderungen** zur Demontage von kupferhaltigen Bauteilen im Rahmen der WEEE bzw. der nationalen Umsetzung zielführend. Unbeachtet dessen gelten die Verwertungsquoten der WEEE. Zur Verhinderung der Ablagerung sind diese Maßnahmen im Zusammenhang mit den flankierenden Instrumenten DepV-E 2001, GewAbfV-E 2001 und VersatzV-E 2002 zu sehen.

Die EEE-Richtlinie ist ein vielversprechender Rahmen für das Produktdesign und informativische Instrumente. Insbesondere **Dokumentationspflichten** über die stoffliche Zusammensetzung von EE-Geräten sind dort angelegt und könnten für Kupfer und Blei expliziert werden. Informationsbedarf besteht aber auch über die **Stoffströme** von EE-Geräten in den Siedlungsabfall (v.a. mülltonnengängige Geräte) und die Verschleppung von Kupfer in den Stahlkreislauf beim EE-Geräterecycling.

## 6.4 Handlungsfeld Bleiglas in Bildschirmröhren

Bleiglas dient der Abschirmung von Kathodenstrahlen im Konusglas von Bildschirmröhren. Etwa 27.000 t Blei, knapp 8 % des berichteten Verbrauchs, werden jährlich in Deutschland bei der Herstellung von Konusglas verarbeitet. Große Mengen an Blei sind gegenwärtig in Fernsehern und Monitoren gespeichert, die nach ihrer Nutzungsphase als Abfall zur Verwertung oder Beseitigung anfallen werden. Firmenaktivitäten und politische Initiativen zur Erschließung von

Verwertungsoptionen für Alt-Bildschirmröhren zeugen vom dringlichen Handlungsbedarf in diesem Handlungsfeld.

#### 6.4.1 Einsatzbereiche, Materialien und Produkte

Das Blei in den Kathodenstrahlröhren (Cathodic Ray Tube - CRT) liegt vorwiegend silikatisch im Bildröhrenglas gebunden vor und stellt den größten Anteil von Blei in elektrischen und elektronischen Geräten dar. Zu den Bildschirmgeräten mit Kathodenstrahlröhre gehören Fernsehapparate, PC-Monitore (Desktop), Terminals sowie Mess- und Regeltechnik-Monitore. CRT-TV und CRT-Desktopmonitore enthalten eine Bildröhre aus verschiedenen Glassorten: Schirmglas, trichterförmiges Konusglas, zylinderförmiger Röhrenhals und Glaslot (Fritte).

##### Gläser für Kathodenstrahlröhren

Im Konusglas von alten Schwarz-Weiß-Bildröhren finden sich bis zu 5 Gew.-% Bleioxid, wohingegen der Gewichtsanteil von Bleioxid im Konusglas von ausgedienten Farbbildröhren zwischen ca. 10 % und ca. 24,0 Gew.-% liegt (IZT 1998, S. 39, Balzer 1995, Puder 1998). Verschärfte Strahlenschutzanforderungen haben zu einer Erhöhung des Bleioxidgehaltes geführt. 1996 ist von den westeuropäischen Herstellern die Vereinheitlichung der Zusammensetzung des Konusglases, im Rahmen Arbeitskreises Bildröhrenrecycling im ZVEI, vereinbart worden. Für **Bleioxid im Konusglas** ist ein Anteil von **22,5 Gew.-%** bei einer Toleranz von  $\pm 1,1$  Gew.-% einzuhalten (ZVEI 1996, Anhang 6).<sup>128</sup> Das gegenwärtig produzierte Konusglas für Monitore und Fernseher entstammt bei der Fa. Schott der gleichen Charge und ist deshalb in seiner Zusammensetzung identisch.<sup>129</sup>

Weiterhin enthält das Röhrenhalsglas bis zu 30 % und das Glaslot (Fritte) bis zu 80 % Bleioxid. Im Schirmglas befindet sich kein Bleioxid, da sich dieses durch die Strahlung verfärben würde. Stattdessen dienen etwa 10 % Bariumoxid zur Abschirmung der Röntgenstrahlung (Puder 1998).

##### Aufbau von Kathodenstrahlröhren

Verschiedene Quellen geben den Schirmglasanteil in CRT mit 50-63,2 Gew.-%, den Konusglasanteil mit 23,7-40 Gew.-% und die restlichen Fraktionen mit 11-13,1 Gew.-% an.<sup>130</sup> Vereinfachend kann sowohl für TV-CRT als auch für PC-CRT-Bildröhren davon ausgegangen werden, dass sie zu ca. 10 % aus Metallteilen und zu ca. **90 Gew.-% aus Glas** bestehen, wobei auf **Schirmglas etwa 2/3** und auf **Konusglas etwa 1/3** des Gewichtes entfallen. Das stark bleihaltige Glaslot und das Röhrenhalsglas fallen von der Menge her nicht ins Gewicht.

##### Fernseher und Monitore

Folgende Tabelle zeigt den CRT-Anteil und das Gesamtgewicht von Fernsehern und Desktop-Monitoren nach verschiedenen Quellen:

---

<sup>128</sup> Gespräche mit Industrievertretern (2001-2002) haben ergeben, dass diese Vereinheitlichung nicht wie geplant umgesetzt wurde.

<sup>129</sup> Interview mit Herrn Dr. Döring (Fa. Schott) 2001.

<sup>130</sup> SBB 2000, GTZ 1999, Hamidović 1997, Interview mit Herrn Burgdorf (Fa. Siemens-Fujitsu) 2001.

**Tabelle 6-27: Anteil von Kathodenstrahlröhrenglas in Fernsehern und Desktop-Monitoren**

	Gesamtgewicht	CRT-Glasgewicht	CRT-Anteil
<b>Fernseher</b>			
Schlögl 1995	29,4 kg	15,9 kg	54,2 % (Glas)
IZT 1998 (29'')	36,18 kg	25,25 kg	69,8 %
AEAT 1999	42,7 kg	27,4 kg	64 %
<b>Desktop-Monitor</b>			
Soldera 1995 (15'')	13,7 kg	7,4 kg	54,0 % <sup>a)</sup> (47,5 %)
Eenhorn, Stevels 2000 (17'')	13-17 kg	9,2-10,6 kg	ca. 65 %
UT 2001 (17'')	21,16	9,76 kg	46,1 %

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

Anmerkung: a) Glas und Stahl, davon 88 % Glas und 12 % Mechanik.

Aus obiger Tabelle ist zu entnehmen, dass bei Fernsehern und Desktop-Monitoren ein Gewichtswachstum, auch durch den Trend zu größeren Bildschirmdiagonalen, stattgefunden hat. Ein typischer neuerer Fernseher wiegt etwa 40 kg und hat einen CRT-Glasanteil von 65 %. Für ältere Fernseher dagegen sind 30 kg Gesamtgewicht und ein CRT-Glasanteil von 55 % realistisch. Für ältere Desktop-Monitore (15'') wird ein Gewicht von ca. 13,5 kg bei einem CRT-Glasanteil in Höhe von 50 % angenommen. Bei neuen Desktop-Monitoren überrascht das hohe Gewicht gemäß UT (2001). Entscheidend ist jedoch das CRT-Gewicht, das in Übereinstimmung mit Eenhorn, Stevels (2000) etwa 10 kg beträgt, wobei die Bandbreiten die Daten für vier 17''-Desktop-Monitore darstellen. Unter Berücksichtigung des Konusglasanteils von einem Drittel, eines Bleioxidgehaltes von 22,5 % und dem Molverhältnis von Blei zu Bleioxid ergeben sich folgende Werte für den Bleigehalt pro Gerät:

**Tabelle 6-28: Bleigehalte in Fernsehern und Desktop-Monitoren**

	kg Blei/Altgerät	kg Blei/Neugerät
Fernseher	1,05	1,81
Desktop-Monitor	0,47	0,69

Quelle: Eigene Berechnungen.

Die Angabe zum Bleigehalt im CRT-Glas in Fernsehern von WEEE (2000, S. 41) scheint mit 2 kg/Gerät zu hoch gegriffen, die Angabe für Monitore in Höhe von 0,4 kg/Desktop-Monitor zu gering.

### 6.4.2 Stoffströme

Die Analyse der Stoffströme dient der Quantifizierung des Bleiflusses im Bildröhrenglas und der Strukturierung der Akteure (vgl. auch Kap. 6.3). Der Bleifluss in CRT-Glas in Deutschland ist in der folgenden Abbildung 6-13 zusammengefasst. Dabei wurde auf verschiedene Daten für die Jahre 1999-2001 und eigene Abschätzungen zurückgegriffen.

Im Weltmaßstab dominieren die Firmen Nippon Electronic Glass (NEG) und Asai aus Japan mit jeweils 30-35 % Marktanteil die **Herstellung von Bildröhrenglas**. In der EU wurden 1997 525.000 t Bildschirmgläser produziert (EIPPCB gl 2000) und jährlich etwa 1 Mio. t CRT-Glas in Produkten verkauft.<sup>131</sup> In der Europäischen Union wird CRT-Glas nur noch von fünf Firmen in Deutschland, Frankreich und dem Vereinigten Königreich hergestellt. Nach Angaben des

<sup>131</sup> Interview mit Dr. Döring (Fa. Schott) 2001.

Arbeitskreises Bildröhrenrecycling im ZVEI (1996) wurden 1995 176.000 t TV-Konusglas geschmolzen. Davon entfielen 59.400 t auf Philips, 23.000 t auf Samsung, 72.600 t auf Schott (alle in Deutschland) sowie 21.000 t auf Thomson (Frankreich). Der durch die Schleif- und Polierbearbeitung bei den Glasherstellern entstehende Glasausschuss in Höhe von etwa 37.000 t wird wieder in die Schmelze zurückgeführt. Bei den Bildröhrenherstellern anfallender Glasausschuss in Höhe von 16.000 t wurde 1995 zum größten Teil noch deponiert, 2002 aber größtenteils wieder eingeschmolzen.<sup>132</sup> Der Jährliche Bedarf der Branche an Neumaterial betrug somit 139.000 t (ZVEI 1996). Die CRT-Glasproduktion in Deutschland berechnet sich bei einem Anteil von 69 % in der EU (EIPPCB gl 2000) zu 362.250 t. Der Exportanteil liegt etwa bei 50 %.<sup>133</sup> In Deutschland werden jährlich ca. 25.000 – 30.000 t Bleioxid für die CRT-Glasproduktion verwendet (UBA 2000, S. 92). Dies entspricht einer Bleimenge von etwa 23.000 – 28.000 t. Bezogen auf die Produktion von 120.000 t Konusglas mit einem Bleigehalt von 22,5 Gew.-% ergibt sich in Übereinstimmung damit eine Bleimenge von 27.000 t, wobei der zurückgeführte Altglasanteil mengenmäßig gegenwärtig noch unbedeutend ist (Puder 2000, S. 3).

Die Firma Schott verkauft das Bildröhrenglas an **Bildröhrenhersteller**, wohingegen Phillips und Samsung-Corning vertikal integrierte Konzerne sind, die aber auch externes CRT-Glas beziehen. Bildröhren für PCs und andere kleinformatige Bildschirme werden in Deutschland praktisch nicht mehr gefertigt, wohl aber noch Bildröhren für Fernseher.<sup>134</sup> Die Importprodukte kommen vor allem aus Übersee. Nach Angaben von EITO wurden in Deutschland im Jahre 2000 etwa 5,8 Mio. **PCs** und nach Angaben der Gesellschaft für Unterhaltungselektronik wurden 2001 in Deutschland etwa 5,65 Mio. **TV-Geräte** verkauft. Unter der Annahme, dass alle Fernseher und PCs mit CRT ausgestattet sind,<sup>135</sup> ergibt sich hochgerechnet ein Bleistrom im Bildröhrenglas von Produkten in Höhe von ca. 14.000 t für diese beiden Produktgruppen. Die Differenz zwischen dem Bleieinsatz für die Bildschirmröhrenproduktion und die Bleiströme in Fernsehern und Monitoren weisen auf die starke Exportorientierung der Bildschirmglasbranche und die großen internationalen Handelsströme bei Fernsehern und PC-Monitoren hin.

---

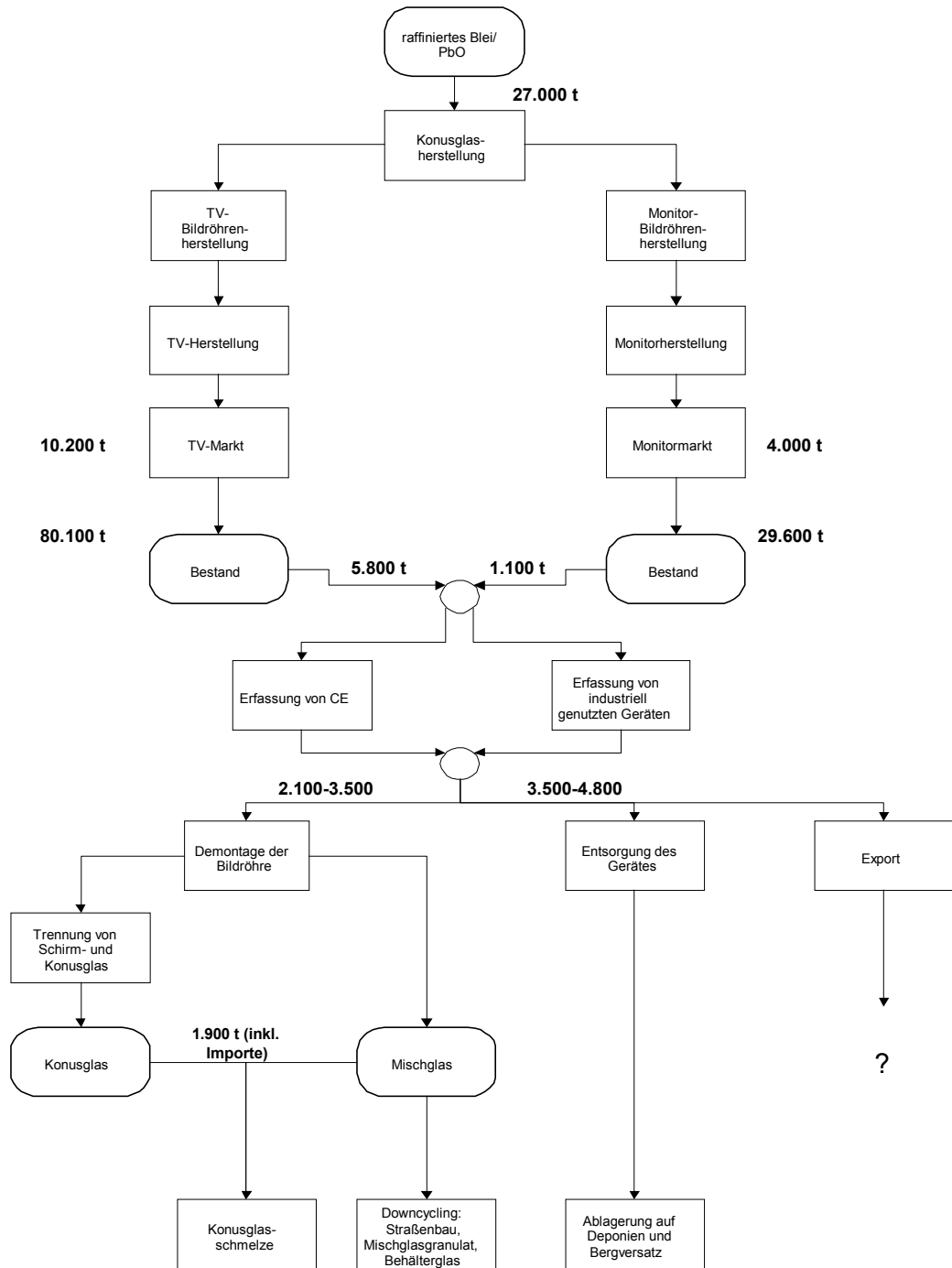
<sup>132</sup> Interview mit Herrn Fildalgo (Fa. LG Philips) 2002.

<sup>133</sup> Interview mit Herrn Dr. Döring (Fa. Schott) 2001.

<sup>134</sup> Interview mit Herrn Puder (UBA) 2001.

<sup>135</sup> Der Anteil der Flachbildschirme (LCD) am gesamten Bildschirmverkauf lag im Jahr 2000, gemittelt über alle Handelsssegmente, bei 12 % (Microsoft TechNet; MaFo-Ticker ; 15.12.2000 Ausgabe 4 - Gesamt-Markt), bei Fernsehern sind LCDs und Plasmabildschirme noch von weitaus geringerer Mengenrelevanz.

Abbildung 6-13: Stoffströme von Blei in Kathodenstrahlröhrenglas in Deutschland



Quellen: EITO 1999; GFU 2001; EIPPCB gl 2000; UBA 2000; eigene Abschätzungen.

Der **Bestand** an Fernsehern in Deutschland beträgt 56 Mio. Stück (GFU 2001), der von Desktop-Monitoren ist aus dem Ausstattungsgrad der Haushalte in Höhe von 47 % (GFU 2001) und dem Verhältnis von Home-Office-PCs in den USA zu insgesamt 51 Mio. Stück hochgerechnet

worden.<sup>136</sup> Der durchschnittliche Bleigehalt wurde durch Mischkalkulation der Werte für Alt- und Neugeräte berechnet. Insgesamt sind in Fernsehern und Desktop-Monitoren rund 110.000 t Blei gespeichert. Döring, Oeberle (2000) geben die Lebensdauer von Fernsehern mit 15-20 Jahren und von Monitoren mit 5-7 Jahren an. Werden Fernseher tatsächlich auch 10-20 Jahre lang genutzt (ZVEI 1996, S. 6), so liegt die typische Gebrauchsdauer von PCs aufgrund der kurzen Innovationszyklen nur bei etwa 4 Jahren. Es schließt sich allerdings i.d.R. noch eine zweite Nutzungsphase von etwa 2,5 Jahren Dauer an (UT 2001). Der Rückfluss von PC-Monitoren, aber in geringerem Maße auch von Fernsehern, wird durch weitere Nutzung (z.B. der Kinder) oder Lagerung (z.B. im Keller) verlangsamt. Auch im gewerblichen Bereich werden Alt-Monitore häufig noch im Lager oder in der Produktion genutzt (Döring, Oeberle 2000, S.3).

In Europa fallen etwa 400.000 t **ausgedientes Bildröhrenglas** jährlich zur Entsorgung an (UBA 2000, S. 92). Davon sind etwa 126.000 t Altkonuglas, was bei einem PbO-Gehalt von 22,5 % einer Pb-Menge von ca. 26.000 t entspricht. In Deutschland werden jährlich ca. 5,5 Mio. Fernseher und 2,3 Mio. Desktop-Monitore ausgemustert. Ist bei Fernsehgeräten seit langem eine Marktsättigung zu beobachten, so ist beim Desktop-Monitoren entsprechend der gestiegenen Verkaufszahlen in Zukunft mit einem höheren Rückfluss zu rechnen. Um das Jahr 2000 herum bilden jährlich etwa 100.000 t CRT-Glas (UBA 2000)<sup>137</sup> mit knapp 7000 t Bleiinhalt das Altglasaufkommen. Der Bleistrom dürfte aufgrund des gestiegenen Bleigehaltes in Zukunft auch bei konstanter Rückflussmenge ansteigen. Ausgediente Fernseher und PC-Monitore aus privater Nutzung werden durch kommunale Sammelstellen, Elektronikgeräthändler und meist mittelständische Recyclingbetriebe **erfasst**. Ausgediente Geräte aus dem kommerziellen Bereich werden dagegen häufig auch von den Originalherstellern, vorwiegend Großfirmen, zurückgenommen (vgl. z.B. Siemens-Fujitsu). Unter bestimmten Voraussetzungen kann die Aufarbeitung des Gerätes, oder von Bauteilen des Gerätes, mit anschließendem Wiedereintritt in die Nutzungsphase erfolgen. Häufiger allerdings werden das Gerät oder seine Bestandteile an Betriebe zur stofflichen Verwertung oder zur Beseitigung abgegeben.

Nach WEEE (2000) werden über 90 % der Elektro- und Elektronikaltgeräte in der EU auf Abfalldeponien abgelagert, verbrannt oder ohne Vorbehandlung geshreddert. Frey et al. (2000, S. 254) geben die **Entsorgungswege** in Europa für PCs wie folgt an: 63 % Deponie, 22 % Verbrennung und 15 % Recycling (Wiedergewinnung von Metallen: 95-100%). Nach übereinstimmender Auskunft zahlreicher Befragter gibt es **keine quantitativen Daten** über den Verbleib von Altglas aus Bildschirmröhren.<sup>138</sup> Die Firma Schott schätzt jedoch das tatsächlich auf den Markt gelangende Altglasaufkommen auf lediglich 30.000-50.000 t/a. Die Differenz in Höhe von 50.000-70.000 t wird exportiert bzw. nach Entfernung der Leuchtschicht auf Deponien und im Bergversatz abgelagert. In die Konuglasschmelze gelangt gegenwärtig eine Menge von knapp 2.000 t Blei im Altglas, allerdings bezieht die Firma Schott das Altglas großteils aus dem Ausland. Bedeutende Mengen an Altglas gelangen auch als Mischglasgranulat in den Straßenbau, illegal in den Behälterglaskreislauf, in die Verarbeitung zu Keramikmassen<sup>139</sup> und andere open-loop Recyclingpfade.

---

<sup>136</sup> home 35 %, office 65 % (UT 2001).

<sup>137</sup> Interview mit Herrn Puder (UBA) 2001.

<sup>138</sup> Interview mit Dr. Harant (LUA Bayern), Interview mit Dr. Döring (Fa. Schott) 2001.

<sup>139</sup> Die Fa. LMB in den Niederlanden stellt ein Mischglasgranulat her, deren Verbleib bei der Fa. Schott nicht bekannt ist.

### 6.4.3 Problemlagen: Defizite, Verwertungspotenziale und Substitution

Eine stoffstrombezogene Betrachtung offenbart zusammengefasst folgende Charakteristika:

- Internationale Produktions- und Handelsstrukturen von Produkten und Altgeräten
- Informationsdefizite über die Downstreamprozesse
- Hochwertiges CRT-Glasrecycling nur in geringem Umfang, stattdessen Deponierung und Verschleppung des Bleis

Neben diesen Merkmalen sind auch Produkttrends und Substitutionsoptionen zu beachten.

Wichtige Akteure der Stoffstromkette sind die CRT-Glas-, Bildröhren- und Endprodukthersteller, die Endnutzer, die Erfassungs- und Demontagebetriebe sowie die Altglasaufbereiter.

#### Produktrends und Substitutionsoptionen

Für Blei im Konusglas von CRT gibt es derzeit keine technisch-ökonomisch sinnvolle Alternative. Auf Produktebene gibt es jedoch Tendenzen, die auch den Einsatz von Blei für die CRT-Produktion berühren werden. Generell verzeichnet die Nachfrage nach Monitoren für Personalcomputer jährliche Wachstumsraten in Höhe von etwa 10 %, wohingegen die nach Fernsehern stagniert. Fernseher und PC-Monitore werden zunehmend mit Flachbildschirmen ausgestattet und in größeren Formaten nachgefragt. Flachbildschirme gibt es sowohl auf CRT- als auch auf LCD-Basis. Für letzteres wird kein Bleiglas verwendet. Für Flachbildschirme auf CRT-Basis werden aus Gründen der mechanischen Stabilität derzeit etwa 10-20 % größere Mengen an Konusglas benötigt. Mit einer deutlichen Reduzierung der Röhrentiefe um 20% eröffnet jedoch die Cybertube Slim Geräteherstellern die Gestaltung eines schlankeren Gerätedesigns. Durch Optimierung von Pressen und Produktdesign ("diagonale Röhrentechnik", die Rechteckröhre und Verschlangung des Trichters) wird bei Schott eine 15-20% Gewichtsreduktion angestrebt.

Die Märkte für CRT werden insbesondere im **TV-Bereich** weiter wachsen. In Deutschland wird diese Entwicklung durch die Einführung des 16:9-Breitbildformates und die zunehmend nachgefragten größeren Bilddiagonalen gestützt. LCD- und Plasmabildschirme sind aufgrund ihres hohen Preises Nischenprodukte. Qualitativ sind Fernseher mit Kathodenstrahlröhren den LCD-Bildschirmen nur noch im Großformatsegment überlegen. Gute Marktchancen werden für plasma-adressierte Bildschirme mit 42 Zoll Diagonale (Sony/Sharp/Philips) erwartet. Branchenexperten sind sich nicht darüber einig, ob CRT im TV-Bereich in den nächsten 10-15 Jahren durch andere Technologien vom Markt gedrängt wird,<sup>140</sup> der Aufbau von Produktionskapazitäten macht dies jedoch eher unwahrscheinlich.

PCs werden in Deutschland zunehmend ohne Monitor gekauft, andererseits gibt es einen Trend zum Kauf größerer Monitore (aufrüsten von 15 Zoll auf 17 Zoll). Im **Desktop-Monitor-Bereich** wird CRT durch LCD substituiert. Die Diffusionsrate von LCD liegt in Deutschland bereits bei ca. 12 % und wird weiter steigen.<sup>141</sup> Verschiedene Schätzungen gehen davon aus, dass in etwa 5-7 Jahren die LCD-Technik die CRT-Technik bei Desktop-Monitoren weitgehend verdrängt haben wird.<sup>142</sup>

---

<sup>140</sup> Interview mit Herrn Puder (UBA) 2001, Interview mit Herrn Dr. Döring (Fa. Schott) 2001.

<sup>141</sup> In Japan werden bereits mehr Desk-Top-Computer mit LCD-Bildschirmen als mit Kathodenstrahlröhren verkauft; die verkaufte Menge an Notebooks mit LCD-Bildschirm entspricht bereits der von Desktop-Computern insgesamt (Kuriyama et al. 2000, S. 661).

<sup>142</sup> Interview mit Herrn Burgdorf (Fa. Siemens-Fujitsu) 2001.



LCD-Bildschirme weisen gegenüber CRT-Bildschirmen Vorteile bezüglich des Energieverbrauchs in der Nutzungsphase und der Materialeinsparung auf. Die Haupthersteller von LCD-Kristallen (u.a. die Fa. Merck) berichten, dass LCs keine nennenswerte Toxizität oder Gefahr aufweisen (Kuriyama et al. 2000, S. 662). Hauptthemnis für eine weitreichendere Durchdringung des Marktes mit LCD-Bildschirmen sind gegenwärtig noch die höheren Preise. Da im TV-Segment größere Formate nachgefragt werden, machen sich die höheren Preise für LCD-Bildschirme stärker bemerkbar als bei den kleinformatigeren PC-Bildschirmen. Infolge der Skaleneffekte wachsender Massenproduktion und möglicherweise bedeutender technischer Innovationen dürften die Preise für LCD-Bildschirme jedoch zukünftig weiter sinken. Für den Fernsehmarkt wird ein Anstieg von 125 Mio. CRTs in 1998 auf 180 Mio. CRTs in 2005 vorausgesagt.<sup>143</sup> Dann sollen auch weitere 2,0 Mio. TV-Geräte mit Plasmabildschirm und 3,5 Mio. mit AMLCD verfügbar sein. Derzeit werden **trotz wachsender LCD-Marktanteile noch CRT-Glas-Produktionskapazitäten aufgebaut**. Diese entstehen aus Kostengründen jedoch v.a. in China, nicht in Japan.

#### **Geringe Marktanreize für ein hochwertiges Recycling von Alt-CRT**

Das Umweltbundesamt hat die Verwertungskapazitäten von CRT-Altglas durch Befragung von Verbänden und Betrieben erhoben, die eine signifikante Differenz zu den angegebenen Verwertungsmengen der Recyclingbetriebe ergab.<sup>144</sup> Kennzeichnend für die momentane Recyclingsituation sind summarisch folgende Aspekte:

- Ausgediente Bildschirme (CRT) werden nach der Nutzungsphase zwar in hohem Maße erfasst, die angestrebten Potenziale für ein hochwertiges werkstoffliches Recycling werden jedoch nur unzureichend ausgeschöpft. Zur Verbesserung des Konusglasrecyclings müssen auch Lösungen für das mit 2/3 der Masse dominierende Altschirmglas gefunden werden. Derzeit gibt es für die Verwertung von Schirmglas keine ausreichenden Kapazitäten.
- Die einzelnen Glashersteller verfolgen unterschiedliche Strategien: Die Firma Schott arbeitet intensiv an der Überwindung der technischen und logistischen Probleme beim Einsatz von Altglas in der Konusglasschmelze und Verwertungsoptionen für Schirmglas. Die anderen Hersteller operieren im Pilotanlagenstadium. Die Firma LG Philips Displays hat jedoch im vom BMBF geförderten Projekt Grüner Fernseher ebenfalls die Voraussetzungen für ein industrielles Altglasrecycling geschaffen und liefert Produktionsabfälle aus der Bildröhrenfertigung an Schott.
- Hauptthemnis für die Erschließung der Recyclingpotenziale ist die unzureichende Rückführung sortenreinen Konusglases und Schirmglases, da es in Deutschland billigere Entsorgungswege wie die Deponierung des ganzen Fernsehers, und das Downcycling von Mischglas zu Wegebaumaterial, Keramikmassen oder als Bergversatz sowie Exportmöglichkeiten gibt. Die Beurteilung der Verwertung nach dem KrWG ist in den einzelnen Bundesländern verschieden, was Rechtsunsicherheit und suboptimale Entsorgungspfade zur Folge hat.<sup>145</sup>
- Die Firma Schott bezieht Altglas in großem Umfang aus Ländern, in denen günstigere Recyclingbedingungen herrschen. Sortenreines Konusglas wird aus Norwegen und, zunehmend auch aus

---

<sup>143</sup> Vgl. [www.displaysearch.com](http://www.displaysearch.com), 22.03.2002.

<sup>144</sup> Es stellte sich heraus, dass CRT-Altglas vor allem als Baumaterial, aber auch exportiert und in der Behälterglasproduktion eingesetzt wurde (Flaschen, Gürkengläser etc.). Das Blei verbessert einerseits die Flusseigenschaften der Schmelze und andererseits erhöht es das Gewicht, was z.B. bei Weinflaschen erwünscht sein kann. Der Behälterglaskreislauf ist auf Jahre hin mit Blei kontaminiert. Die Produzenten von Behälterglas haben die Eingangskontrollen für Scherben verschärft.

<sup>145</sup> Auf der Deponie und auf Straßen besteht langfristig die Gefahr, dass Blei-Ionen aus dem Glas herausgelöst und in die Umwelt eingetragen werden. Kathodenstrahlröhren tragen erheblich zur Bleibelastung auf Deponien durch den abgelagerten Elektro- und Elektronikschrott bei (WEEE 2000, S. 8).

Deutschland, von der Firma ZME bezogen, das Mischglas stammt aus Belgien und den Niederlanden, aber auch z.B. vom Siemens-Fujitsu-Recyclingzentrum in Paderborn.

- Potenzielle Investoren für Logistik- und Recycling-Infrastrukturen stoßen auf Informationsdefizite bezüglich der anfallenden Abfallmengen, der zeitlichen Dynamik und möglicher Abnahmemengen der Glashersteller. Eine weitere große Unsicherheit liegt in der Verlagerung der Bildröhrenglasproduktion nach Fernost (China, Japan).
- Kostensenkungspotenziale gibt es bei der Logistik, Demontage, Trennung in Schirm- und Konusglas und Aufbereitung, wobei insbesondere die Personalkosten für die Demontage und Trennung zu Buche schlagen. In den USA wird deshalb die Demontage durch ABM-Kräfte, Gefängnisinsassen und in 3. Welt-Ländern diskutiert.

Die **Firma Schott** ist derzeit der einzige Hersteller in Europa, der **Altscherben in der Konusglas- und in der Schirmglasschmelze** einsetzen kann.<sup>146</sup> Die Potenziale zum Einsatz von Konusglas werden nicht ausgeschöpft, da sich nur geringe Mengen an sortenreinem Konusaltglas auf dem Markt befinden. Die Fa. Schott hat eine Abteilung zur **Sicherung des Glasmengenerückflusses** gegründet, um die Kapazitäten auszuweiten. In Zusammenarbeit mit Demontage- und Aufbereitungsbetrieben (GRIAG, RTG) werden die Konditionen der Rückführung von Konus-, Misch- und Schirmglas an Schott optimiert. Auch im Betrieb ist ein neuer Stoffstrom zu integrieren. Der Einsatz von Altglas in der Bildröhrenproduktion erfordert eine **strenge Input-Spezifikation**, weil durch den Eintrag von strahlenabsorbierenden Komponenten die Strahlenschutzfunktion von Neugeräten beeinträchtigt werden kann und weil Abweichungen der Ausdehnungskoeffizienten beim Verschmelzen die mechanische Stabilität gefährden können. Die Sicherstellung der physikalischen Eigenschaften des Konusglases erfordert eine hohe Homogenität, weshalb nur geringe Abweichungen der chemischen Zusammensetzung tolerierbar sind. Die unterschiedliche Altersstruktur des Rückflusses ist problematisch. Der Anteil von Altkonusglas soll in der Firma Schott unter Berücksichtigung der Erfahrungen stufenweise erhöht werden, wobei Blei hinzudosiert wird. Die Abnahme von Altscherben ist nur bei Gewährleistung großer Reinheit gesichert. Das Konusglas muss von der Graphit-Schicht und von Aufklebern gereinigt werden, das Schirmglas von der Leuchtschicht. Dies geschieht durch Abbürsten oder es wird vorzerkleinert und in eine Trommel gegeben, worin die Scherben gereinigt werden. Die Abtrennung des Konusglases erfolgt durch Sägen, mittels Heizdraht oder im Wärmeschrank, wobei das Bleiborat zwischen Konusglas und Schirmglas aufgetrennt wird. Soll nur ein Mischglasgranulat gewonnen werden, so wird die ganze Röhre zerschlagen und anschließend werden Metalle und Leuchtstoffe abgetrennt. Nach Puder (2000) wurden zwar in den letzten 10 Jahren Verfahren zur Bildschirmdemontage entwickelt, die Anlagen sind aber nicht ausgelastet, da ein Großteil der zur Entsorgung anfallenden Monitore und Fernseher deponiert wird. Unter den jetzigen Bedingungen ist eine Trennung von Schirm- und Konusglas in den meisten Demontagebetrieben aufgrund des hohen Personalaufwandes unwirtschaftlich. Am wirtschaftlichsten lassen sich Anlagen betreiben, die nur Mischglas abtrennen. Sie können auch beschädigte<sup>147</sup> und Schwarz-Weiß-Röhren verarbeiten. Nach Hansen (2000) entfallen bis zu 70% der EE-Recyclingkosten auf die Logistik.

<sup>146</sup> Interview mit Dr. Döring (Fa. Schott) 2002.

<sup>147</sup> Werden Fernseher in Container auf Bauhöfen geworfen bricht häufig die Bildröhre, was eine Wiedergewinnung des Konusglases mit vertretbarem Aufwand unmöglich macht. Bei Industrie- und Gewerbekunden ist diese Gefahr bei der üblichen Verwendung von Gitterboxen weitaus geringer (RecTec 2000, S. 6).

### Verwertungsoptionen: Ungenutzte Potenziale beim werkstofflichen Recycling

Das interne Produktionsabfallrecycling (Schleif- und Polierbehandlung, Line rejects) ist ebenso wie das externe Produktionsabfallrecycling (z.B. Bruch aus der CRT-Herstellung) weitgehend Stand der Technik. Die Produktionsprozesse von Bleiglas für CRTs sind ausgereift. Die **Verwertungskapazitäten für Schirmglas** sind auch für die Altkonusglasverwertung **ein limitierender Faktor**. Auch der Perspektive der Kreislaufwirtschaft ist der Einsatz von EoL-Konusglas- und EoL-Schirmglas in den Schmelzen bis zur technischen Grenze zu maximieren, andererseits müssen auch open loop Recyclingpfade beschränkt werden. Die Firma Schott setzt beispielsweise derzeit 10.000 t/Jahr Altscherben in der Konusglasschmelze ein. Etwa 15-20 % Mischglas werden als Sockel gefahren und Konusglas im einstelligen Prozentbereich zugegeben. **Der Konusglasanteil ließe sich jedoch deutlich aufstocken**. Da für älteres CRT-Glas geringere Strahlenschutzanforderungen galten muss Blei zudosiert werden. Die derzeitigen erkennbaren technischen Grenzen für den Einsatz in der Konusglasschmelze sind bei

- Schirmglasschmelze: bis zu 20 % EoL- und Line reject Schirmglas
- Konusglasschmelze: bei einem Sockel von 20 % Mischglas<sup>148</sup> können zusätzlich ca. 5 % EoL-Konusglas zugegeben werden, sortenreines EoL-Konusglas kann bis zu 50 % gefahren werden.<sup>149</sup>

Folgende Verwertungsoptionen für Konus- und Mischglas sind aussichtsreich:

**Tabelle 6-29: Verwertungsoptionen für Altkonus- und -mischglas in Deutschland**

Optionen	Technische Anforderungen	Kapazität	Ökologische Bewertung
Konusglas-schmelze	Konusglas und Mischglas definierter Qualität	ca. 10.000 t; ca. 20.000 t bis Ende 2002 <sup>a)</sup>	Ersatz von hochwertigen Primärressourcen
Bleihütten	begrenzte Aufnahmekapazität von Konusglas aus verfahrenstechnischen Gründen	max. 1.000 t	Schlackebildner mit partieller Bleirückgewinnung
Sekundärkupferhütten	belüftete Bildröhren als Ganzes	Norddt. Affinerie 2.500 bis 5.000 t	Schlackebildner mit Bleiausstrag von ca. 90 %
Textilfaserproduktion	Untersuchung der Möglichkeiten von Bildröhrenglas als strahlenabsorbierende Textilgewebe	nicht bekannt	Ersatz von hochwertigen Primärressourcen
Keramische Industrie	Mischglas-Einsatz in den Niederlanden; Schleifschlämme aus der Bildröhrenglas- und Bleiglasproduktion	Fa. LMB in NL verarbeitet 10.000 t/a; max. 21.000 t/a	Ersatz von Feldspat (CaF <sub>2</sub> ); bzw. Herstellung von Ziegelsteinen führt zu diffuser Bleiverteilung

Quelle: Mitteilungen der LAGA Nr. 31; EAG-Richtlinie vom November 2000; eigene Bewertungen.  
Anmerkung: a) Die Angaben beziehen sich nur auf die Firma Schott. Das Potenzial für Altkonusglas in Europa beträgt bei einer Sekundärstoffeinsatzquote von maximal 50 % 88.000 t.

Weitere unsausgereifte Verwertungsverfahren für Mischglas sind:

- Mikrobiologische Entfernung von Blei aus Glas, Keramik und Emaille an der Universität Münster und an der Universität Erlangen<sup>150</sup>.
- Konstruktion von Strahlenschutzbausteinen<sup>151</sup>

<sup>148</sup> Der Anteil ist aufgrund des Bariumgehaltes begrenzt, da Schirmglas mit ca. 2/3 im Mischglas vorliegt.

<sup>149</sup> Interview mit Herrn Quade (Fa. Schott) 2001.

<sup>150</sup> Die Versuche sind zwar erfolgreich verlaufen, aber es folgten weder Anschlussprojekte noch Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen (Interview mit Herrn Dr. Weissmann (Universität Erlangen) 2001).

Für sortenreines Schirmglas stehen u.a. noch die Optionen Einsatz in der Schirmglasschmelze, Mineralfaserindustrie, Baustoffindustrie und Bergversatz zur Verfügung.

Im Hinblick auf eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei sind die Verwertungsoptionen zu bevorzugen, bei denen Blei aus Primärressourcen ersetzt wird. Als besonders hochwertig sind der Einsatz in der Konusglasschmelze und Strahlenschutzanwendungen anzusehen, wobei das Blei im Glas eingebunden bleibt. Für die industrielle Verwertung im Strahlenschutz fehlt es allerdings sowohl an ausreichenden Kapazitäten als auch an Märkten für die Recyclingprodukte. Da die Aufnahmemenge von Altglas in der Konusglasschmelze begrenzt ist, sind für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei auch Verwertungswege zu verfolgen, bei denen das Blei entweder thermisch (in Blei- oder Kupferhütten) oder ggf. auch mikrobiologisch wiedergewonnen werden kann.

#### **Fazit: Strategien und Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung**

Für die Reduktion des spezifischen Bleieinsatzes pro Gerät besteht einerseits die Grenze der Strahlenschutzanforderungen, andererseits gibt es Marktanreize zur Verkleinerung des Glaskörpers durch die Konkurrenz neuer Flachbildschirmtechnologien. Da die Stoffströme von Blei in PC-Monitoren deutlich geringer sind als in TV-Geräten und auch die Substitution durch Flachbildschirme eine höhere Marktdynamik als bei TV-Geräten aufweist, ist vor allem auf das hochwertige Recycling von TV-Geräten zu fokussieren. Die Strategien der Nutzungsintensivierung und Nutzungsdauerverlängerung sind vergleichsweise unspezifisch und schwer auf ihre Wirkung hin zu bewerten (z.B. Aufrüstbarkeit, Verlängerung der Garantiezeiten). In England ist das Leasing von TV-Geräten weit verbreitet, wodurch die Lebensdauer auf 7-10 Jahre sinkt. Dadurch könnte der Rückfluss so gesteuert werden, dass firmenspezifische Recyclingkonzepte angewendet werden könnten. Übergeordnetes Ziel für die nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von CRTs ist die **Kanalisation des Rückflusses** aus dem Bestand **in die optimalen Verwertungskanäle** unter Beibehaltung der Funktionalität des Bleis.

---

<sup>151</sup> "Ein neuer Sarkophag aus Bildröhren", Frankfurter Rundschau 17.8.1999.

**Tabelle 6-30: Strategien für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei in Kathodenstrahlröhrenglas**

Strategie	Kurzbewertung
Reduktion des spez. Bleieinsatzes	Strahlenschutzanforderungen als Grenze; Produktionsabfallrecycling ist ausgereift Bildschirmgröße und -geometrie optimierbar (durch Marktkräfte unterstützt)
Substitution	LCD substituiert CRT im Desktop-Monitorsegment (durch Marktkräfte unterstützt), im TV-Segment ist CRT trotz Konkurrenz von Plasma- und LCD-Technologien gut behauptet
Bestandsreduktion (Multifunktionalität)	PC-Fernsehen: vermutlich eher additiver als substitutiver Effekt
Verlängerung der Nutzungsdauer	Modulbauweise bei TV und PC ist Praxis: Aufrüstbarkeit und Reparaturfreundlichkeit in der Konstruktionsphase und bei Dienstleistern können den Verbleib des Bleis im Bestand verlängern.
Nutzungsintensivierung	Leasing, Miete: unspezifisch TV: Sharing (Kneipe/Wohngemeinschaften) PC: Pools, Internet-Cafes
Kreislaufwirtschaft	Design for Recycling: geringe Spielräume Erfassung und Demontage: Optimierungsbedarf werkstoffliches Recycling: große Potenziale Glas als Strahlenschutzbaustein: unausgereift Wiedergewinnung von Blei aus Glas: begrenzte Potenziale

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

Die ökologischen Aussichten der CRT-Technologie hängen wesentlich von der Entwicklung der Teilmärkte für Desktop-Computer und Fernseher ab. Obschon weiterhin mit einem weiteren Absatzwachstum der beiden Produktgruppen zu rechnen ist, bleiben die Marktanteile von CRT- bzw. - LCD-Technologie in den meisten Prognosen unsicher.

Etwa 27.000 t Blei werden jährlich für die Produktion von ca. 120.000 t Trichterglas eingesetzt. Lediglich bei der Firma Schott wird in nennenswertem Umfang Mischglas (20 %) und reines Konusglas (5 %) aus Altprodukten in der Schmelze eingesetzt. Dies entspricht einer maximal eingesparten Menge von 1.900 t Blei. Bei einem Potenzial von 50 % Altkonusglas ergibt sich auch unter Berücksichtigung des Rückflusses aus der Bildröhrenfertigung<sup>152</sup> ein bundesweites Einsparpotenzial von etwa 50-60.000 t Konusglas mit einem Bleiinhalt in Höhe von 10.000-14.000 t Blei. Bei Vernachlässigung der bislang geringen Menge an Bleiwiedergewinnung in Bleihütten ergibt sich ein geschätztes **Einsparpotenzial an Primärblei in Höhe von etwa 12.000 t**.

Folgendes vereinfachtes Modell zeigt den Zusammenhang von Bildschirmglasproduktion und optimalem Altglaseinsatz: Die heute verkauften PC-Monitore und TV-Bildschirme  $v(t)$  fallen nach ihrer Gebrauchsdauer  $g$  in Höhe von 4 Jahren bzw. 12 Jahren als Rückfluss  $r(t+g)$  an. Bei einem Konusglasanteil von  $1/3$  und einer maximalen Sekundärrohstoffeinsatzquote von 50 % ergibt sich die maximale werkstoffliche Recyclingmenge  $s(t+g)$  zu einem Sechstel der gesamten produzierten Bildschirmglasmenge  $p(t+g)$ . Für den überschüssigen Rückfluss müssen alternative open-loop-Recyclingpfade  $o(t+g)$  eingeschlagen werden:

<sup>152</sup> 16.000 t zurückgeführte Abfälle aus der Bildröhrenproduktion von 176.000 t in Westeuropa ergeben runtergerechnet auf 120.000 t in Deutschland ein Potenzial von 11.000 t, das bereits größtenteils mobilisiert sein dürfte.

Modell für die CRT-Altglasverwertung:<sup>153</sup>

$$v(t) = p(t) + \Delta(t)$$

$$r(t+g) = v(t)$$

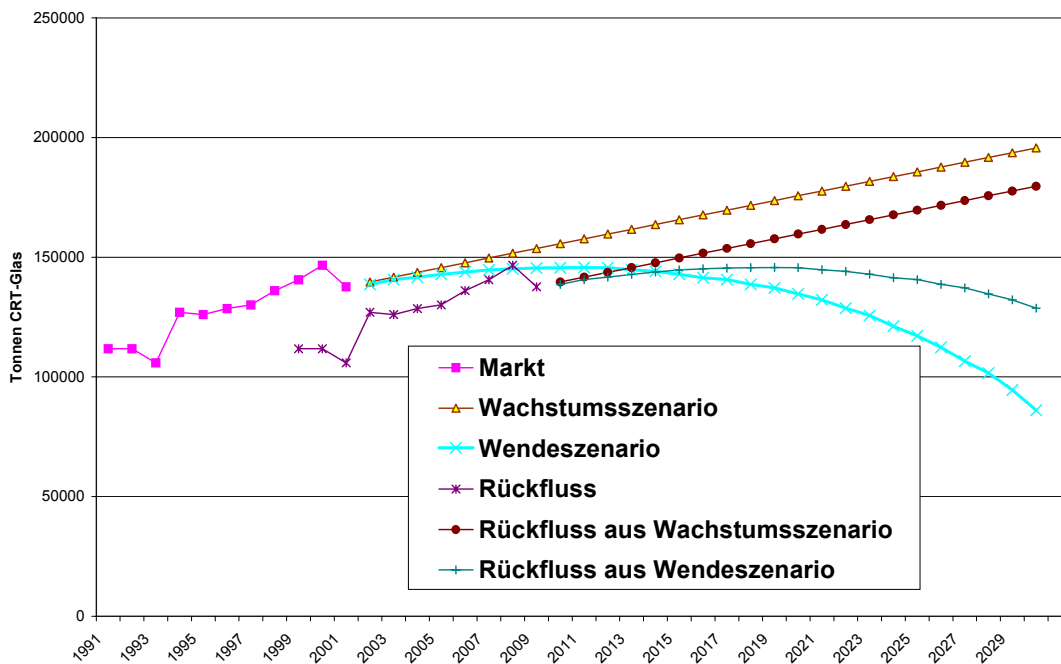
$$s(t+g) = 1/6 * p(t+g)$$

$$o(t+g) = r(t+1) - s(t+g)$$

Der Zusammenhang zwischen der Anzahl der verkauften Geräte und dem Rückfluss ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Da die Marktentwicklung für CRT-Glas mit Unsicherheiten behaftet sind, bilden ein Wachstums- und eine Wendeszenario die Leitplanken der tatsächlichen zukünftigen Entwicklung. Der Rückfluss aus dem Bestand entwickelt sich je nach Szenario in unterschiedliche Richtungen. Folgende Annahmen wurden gemacht:

- Die Gebrauchsdauer ist für Desktopmonitore und TVs zu durchschnittlich 8 Jahren abgeschätzt worden.
- Die Bindung in Bestandslagern sowie der Anteil von LCD-Desktop-Monitoren sowie LCD- und Plasma-TV sind vernachlässigt worden.
- Vereinfachend ist für Fernseher ein Gewicht von 35 kg, für Desktop-Monitore 10 kg zugrundegelegt. Der Bildröhrenglasanteil beträgt jeweils 56 % (BVSE 1998).

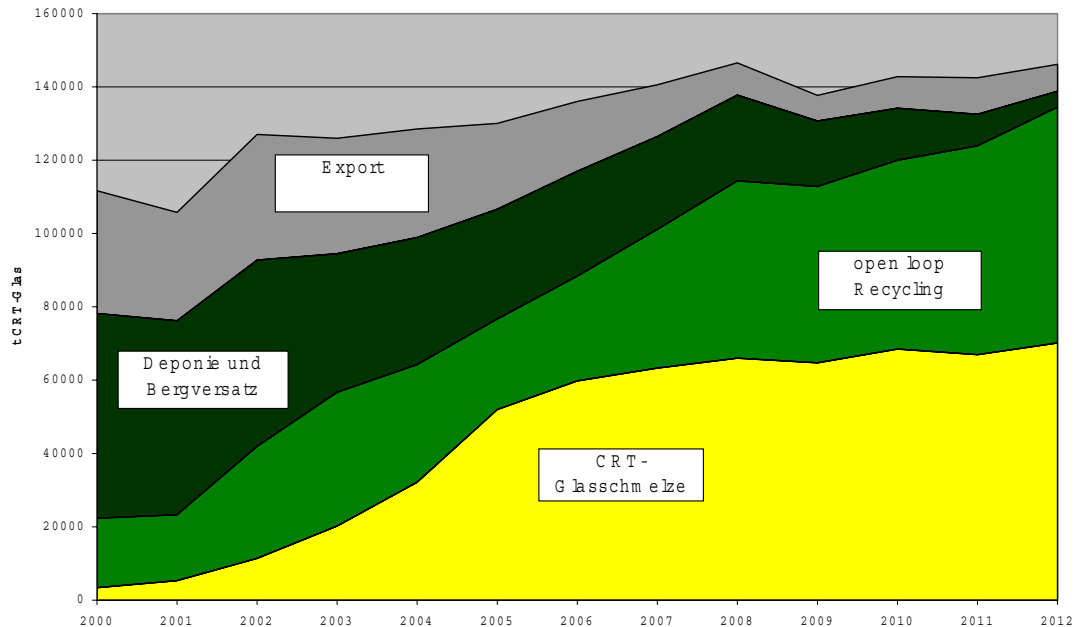
**Abbildung 6-14: Szenarien für den Rückfluss von Kathodenstrahlröhrenglas in Deutschland**



Quelle: Eigene Berechnungen für 1991-2030.

<sup>153</sup> p: Produktion, v: Verkauf, r: Rückfluss, s: Sekundärrohstoffeinsatz, g: Gebrauchsdauer, o: open-loop-Recycling, Δ: Außenhandelsbilanz.

**Abbildung 6-15: Szenarien für die Entsorgung von End-of-Life-Glas aus Kathodenstrahlröhren in Deutschland**



Quelle: Eigene Abschätzungen für die Jahre 2000-2012.

Obige Abbildung zeigt, ausgehend von einer hypothetischen, aber realistischen heutigen Entsorgungssituation, Optionen in Richtung eines Entsorgungsmixes, der ökologischeren Nachhaltigkeitsanforderungen besser entspricht. Wichtige Eckpfeiler einer solchen wünschenswerten Entwicklung sind die Maximierung des werkstofflichen Recyclings bis hin zu einem sechstel der Bildröhrenglasproduktion, die Reduktion des Exportes, der Deponierung und des Bergversatzes und das Erschließen weiterer hochwertiger open-loop-Recyclingpotenziale wie z.B. Strahlenschutzanwendungen und die Wiedergewinnung von Metall in NE-Hütten.

Solange es **billige Verwertungsoptionen** für Mischglas gibt, wird es werkstoffliches Konusglasrecycling nur in geringem Maße geben. Die Demontage von Altgeräten ist wegen des Personal- und Maschinenaufwandes teuer. Die Grenzen stoffstrombezogener Ansätze werden darin deutlich, dass ökonomische Anreize für eine **Trennung von Schirm- und Konusglas** derzeit nur dann bestehen, wenn die Verwertungsoptionen von Schirmglas wahrgenommen werden können. Unabdingbare Voraussetzung dafür ist, dass es bleifrei ist. Ein geschlossener Bleiglas-Kreislauf ermöglicht demnach auch eine erfolgreiche Vermarktung von Schirmglas aus Altprodukten. Problematisch für die Einhaltung der hohen Qualitätsanforderungen der Konusglas-schmelze ist die **heterogene Zusammensetzung des Rückflusses** an Altglas aus Bildschirmröhren.

Ein weiteres Haupthemmnis für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung sind vor allem **Informationsdefizite** über die Stoffströme ausgehend von den Aufbereitungsbetrieben. Die internationalen Produktions- und Handelsstrukturen erschweren die Überwachung und Planung erheblich. Es fehlt an einem Stoffstrommonitoring, das eine hochwertige Kreislaufwirtschaft unterstützen könnte. Angesichts der Marktentwicklungen ist mittelfristig auch die Option zu prü-

fen, CRT-Altglas mit Frachtschiffen zu Aufbereitungszentren in Asien (z.B. in Japan oder China) zu fahren.

**6.4.4 Initiativen und Instrumente für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung**

Die Standardisierung des Konusglases hat sich nicht als entscheidender Hebel zu Verbesserung des Recyclings herausgestellt, vielmehr geht es um die optimale Kanalisierung des Rückflusses. Von den Instrumenten zur Förderung einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung sind vor allem Roadmaps mit Verwertungszielen, Erfassungs- und Verwertungsquoten (Entsorgungsanforderungen), Stoffstrommanagement und die Förderung innovativer Verwertungsverfahren in den Blickpunkt zu rücken. Rücknahme- und Rückgabeverpflichtungen sowie Produktpfand wirken sich auf die Erfassung aus und setzen nicht an der Hauptproblematik, des Verbleibs nach der Erfassung, an.

**Initiativen und Instrumente**

Folgende Tabelle zeigt wichtige Aktivitäten von Firmen und Verbänden im Überblick:

**Tabelle 6-31: Initiativen zum Recycling von End-of-Life Kathodenstrahlröhrenglas**

<b>Verbände</b>	
ZVEI AK Bildröhrenrecycling	Wiederverwendung des Glasausschusses der Bildröhrenproduktion Standardisierung des Konusglases nicht erreicht, aber wohl obsolet Sicherung des Altglasmengenstroms nicht erreicht
BITKOM AG CYCLE	Arbeitskreis, der die Unternehmen bei der Rücknahme und Verwertung von IKT-Altprodukten unterstützen und den Gesetzgebungsprozess kritisch begleiten soll.
LIA (Lead Industries Association USA)	Infomediär in USA und CDN zwischen Sammelbetrieben und Recyclingbetrieben stellt seit März 2001 Verzeichnis zur Verfügung
<b>Hersteller</b>	
Schott	Einzigster Hersteller in Europa, der Altscherben in der Konusglasschmelze einsetzen kann Abteilung zur Rückführung des Konusglases gegründet, die u.a. mit den KMU GRIAG und RTG kooperiert
LG Philips Displays	Green Marketing und Benchmarking Entwicklung eines Grünen Fernsehers, u.a. mit dem Teilprojekt Glasrecycling

Quelle: Eigene Zusammenstellung verschiedener Quellen.

Auf die Aktivitäten der Firmen zum CRT-Recycling ist bereits in Kapitel 6.4.3 eingegangen worden. Auf Initiative des ZVEI -Fachverbandes Unterhaltungselektronik wurde 1994 ein **Arbeitskreis zum Bildröhrenrecycling** gebildet. Die Arbeitsgruppe setzte sich aus Experten von allen in der EU produzierenden Herstellern von Bildröhren und Bildröhrenglas zusammen (Matsushita, Philips, Samsung, Schott, Sony und Thomson). Der Arbeitskreis hat eine Standardzusammensetzung für das Bildschirmröhrenrecycling definiert, bei der ein werkstoffliches Recycling möglich sein soll. Die Glasproduzenten erklärten sich weiterhin bereit, Altglas in der Produktion einzusetzen. Langfristig sollte die Hälfte der Konusglasschmelze aus Altglas bestehen. Liegt der Rückfluss an Fernsehglas unter 70% der im gleichen Jahr in Verkehr gebrachten Menge, so kann theoretisch das gesamte Altglas verwertet werden (ZVEI 1996, S. 7). Im Zusammenhang mit der Diskussion um Produktverantwortung und Produktrücknahmeverpflichtungen für Hersteller von Elektronikprodukten ist die **AG CYCLE** entstanden, einem Modell für die freiwillige Rücknahme und Verwertung von Altgeräten der IKT. Gegenwärtig erarbeiten BITKOM und ZVEI Konzepte zur Umsetzung der Sammel- und Verwertungsziele des WEEE-



Entwurfes. Die **Lead Industries Association** (LIA) in den USA hat ein neues Programm zur Unterstützung des CRT-Glasrecyclings aufgelegt. Kommunale Verwaltungen und Privatfirmen arbeiten dabei zusammen an der Erfassung und Aufbereitung von CRT-Glas aus Fernsehern und Monitoren. Die Sammler können an die LIA ihre Adresse und abzugebenden Mengen schicken, die zu Recyclingbetrieben in den USA und Kanada weitergeleitet werden.<sup>154</sup>

Die wichtigsten rechtlichen Rahmenbedingungen für das CRT-Recycling sind in folgender Tabelle zusammengestellt, darüber hinaus enthalten die VDI-Normen 2243 und 2343 sowie die Umweltlabel Blauer Engel (RAL UZ 78: PCs inkl. Monitore; bei RAL UZ 91 (Fernseher) keine Einträge) und TCO 99 Anforderungen zur recyclinggerechten Konstruktion von Fernsehern und Computern.

**Tabelle 6-32: Wichtige umweltrechtliche Regelungen für Displays**

<b>Gesetze/rechtliche Verordnungen</b>	
KrWG	Produktverantwortung der Hersteller und Vertreiber nach § 22; Rücknahme freiwillig (§ 25) oder durch Rechtsverordnung (§ 24); noch kein spezifisches untergesetzliches Regelwerk
VO 259/93/EG bzw. Basler Übereinkommen	Ausfuhrverbot: EE-Schrott, der Glas aus Kathodenstrahlröhren oder sonstigen beschichteten Gläsern enthält, oder reiner Glasabfall (A 1180, A 2010); kein Ausfuhrverbot: EE-Geräte zur direkten Wiederverwendung, jedoch nicht zur Verwertung oder Beseitigung (B 1110)
TASI	Ablagerungsverbot bei Glühverlust > 5 %; Kunststoff- und/oder Holzanteil für Gehäuse etwa 15-25 %
<b>Geplant</b>	
WEEE	Rückgabe- und Rücknahmesysteme der Hersteller; Sammelquote für EE-Altgeräte insgesamt; Verwertungsquote und Wiederverwendungs- und Recyclingquoten für einzelne Gerätegruppen; z. Zt. Lesung und Anhörungen im Europäischen Parlament
RoHS	Bleiverbot für Lötlegierungen; Ausnahme von Konusglas vom Bleiverbot
EEE	Ecodesign; Abschätzung der Umweltbelastungen von EE-Geräten; Informationen, Kennzeichnung, Konformitätserklärung
Versatz-Verordnung	stoffliche Eignung der Abfälle erforderlich; Vorrang der Rückgewinnung von Metallen <sup>a)</sup>
Verordnung über Deponien und Langzeitlager	Regelung der Beseitigung
LAGA-Richtlinie	Ziel: gleiche Rahmenbedingungen für die Marktteilnehmer durch einheitliche Mindestanforderungen an die Entsorgung von Elektro-Altgeräten im gesamten Bundesgebiet; von November 2000, derzeit in Überarbeitung

Quelle: Eigene Zusammenstellung verschiedener Quellen.

Anmerkung: a) Grenzwertkonzentration: Cr 15 Gew.-%; Zn, Pb je 10 Gew.-%, Ni 2,5 Gew.-%, Sn 1,5 Gew.-% und Cu 1,0 Gew.-Prozent, „wenn die Gewinnung der Metalle aus den Abfällen technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar [...] ist“ (§ 3).

Die **WEEE** Waste Electric and Electronic Equipment ist an die Mitgliedstaaten der EU gerichtet. Gemäß des aktuellen Entwurfs sind Kathodenstrahlröhren grundsätzlich auszubauen. Es gibt nur eine generische Sammelquote von 6 kg/EW\*a für alle EE-Altgeräte,<sup>155</sup> aber eine spezifische

<sup>154</sup> Die LIA ist eine Non-Profit Handelsorganisation, die hauptsächlich Informationen sammelt und an ihre Mitglieder verbreitet („LIA Announces CRT Recycling Assistance Program and New Recycling Directory, www.leadinfo.com; 26.4.2001).

<sup>155</sup> Entspricht nur etwa 1/3 des Altgeräteaufkommens.

Verwertungsquote für Geräte, die eine Kathodenstrahlröhre enthalten in Höhe von 75 % und eine spezifische Wiederverwendungs- und Recyclingquote von Bauteilen, Werkstoffen und Substanzen in Höhe von 70 %. Da die CRT-Bildröhre in der Regel nur zwischen 50 und 70 % der Gesamtmasse ausmacht müssen auch die Elektronik und/oder das Gehäuse verwertet werden.

Als konfliktträchtig erweisen sich derzeit die Fragen, ob die Herstellerverantwortung erst an definierten Sammelstellen ansetzen soll, die Finanzierung der Entsorgung von Altprodukten und „Waisenprodukten“ sowie Ausnahmen von der Produktverantwortung für kleine und mittlere Unternehmen. Obschon die WEEE, wenn auch begrenzte, Auswirkungen auf das CRT-Recycling haben dürfte, ist die endgültige Verabschiedung und die Art der Umsetzung in deutsches Recht noch unsicher. Rückgabe- und Rücknahmepflichten zur Umsetzung der WEEE sind im Umweltbundesamt ebenso in Diskussion wie ein Produktpfand.<sup>156</sup> Die Industrie ist daran interessiert, firmenspezifische neben kollektiven Rücknahmesystemen im Wettbewerb zu ermöglichen. In Belgien, den Niederlanden und Schweden bestehen bereits Rücknahmesysteme, wobei der Kunde beim Kauf eines Neugerätes eine Gebühr zu entrichten hat, in Japan dagegen bezahlt der Verbraucher bei der Rückgabe. Die Verwertung erfolgt durch die Hersteller, die sich in Japan zu verschiedenen Gruppierungen zusammengeschlossen haben. In Japan hat es staatlich finanzierte und von der Industrie durchgeführte FuE-Programme im zweistelligen Millionenbereich für das Recycling von Klimaanlage, Waschmaschinen, Kühlschränken und Fernsehern gegeben. Seit April 2001 ist eine Recyclingquote von 50 % bei Fernsehern vorgeschrieben, allerdings gilt dies nur für Fernseher aus firmeneigener Produktion. Die Anlagen sind jedoch sehr teuer.<sup>157</sup>

Die **LAGA-Richtlinie** „Technische Anforderungen zur Entsorgung von Elektro-Altgeräten sowie zur Errichtung und zum Betrieb von Anlagen zur Entsorgung von Elektro-Altgeräten“ soll die Umsetzung der WEEE vorbereiten und ist an die Behörden gerichtet. Zweck ist eine bundeseinheitliche Regelung, die die Akzeptanz für die Verwertung von Elektroaltgeräten deutlich erhöht und die Rahmenbedingungen für Investitionen in eine Kreislaufwirtschaft verbessert. Der Gegenstandsbereich erstreckt sich von der Anlagenzulassung über die betriebliche Dokumentation, Anforderungen an die Erfassung und Entsorgung von Elektroaltgeräten, den Transport zur Aufbereitung/Verwertung bzw. Beseitigung bis hin zu speziellen Anforderungen an einzelne Produktgruppen. Bildröhren sind grundsätzlich zu entnehmen und, sofern möglich und zumutbar, zu verwerten, andernfalls zu beseitigen. Für CRT-Röhren wird folgende Entsorgungshierarchie aufgeführt:

**1. Priorität:**

- Rückführung von Schirm- und/oder Konusglas in die Konusglasproduktion

**2. Priorität:**

- Einsatz von Mischglas oder unzerlegten, aber entlüfteten Bildröhren in der NE-Metallurgie
- Einsatz von Schirmglas in der Mineralfaserindustrie
- Einsatz von Konusglas oder Mischglas zur Herstellung strahlen-absorbierender Glasprodukte (u.a. Glasfasern)
- Einsatz von gereinigtem Schirmglas als Bergversatzmaterial

---

<sup>156</sup> Interview mit Herrn Puder (UBA) 2001.

<sup>157</sup> Interview mit Dr. Döring (Fa. Schott) 2001.

- Verwendung von gereinigtem Schirmglas in Bauprodukten (Einzelfallprüfung)

Sofern die Bildschirmglasmengen von diesen Verfahren nicht aufgenommen werden können, sollten nach LAGA die Bildröhrengläser auf Deponien abgelagert werden. Die LAGA-Richtlinie wird zur Zeit überarbeitet und ist in den Landesumweltverwaltungen noch nicht adaptiert.

### **Beurteilung**

Der **AK Bildröhrenrecycling im ZVEI** hatte eine sehr ambitionierte Zielsetzung. Nur in Teilbereichen war diese Akteurskooperation von Erfolg gekrönt, die Standardisierung des Konusglases nur der westeuropäischen Hersteller von CRT-Glas hat sich als nicht zielführend erwiesen.<sup>158</sup> Trotz des heterogenen Rückflusses ist der Einsatz von Altkonusglas in der Konusglaschmelze technisch möglich. Die Sicherung eines qualitativ hochwertigen Rückflusses in ausreichender Menge wurde ebenfalls nicht erreicht.

Wesentlicher Erfolgsgarant für ein Stoffstrommanagement auf Branchenebene ist neben einer überschaubaren Gruppe von Akteuren auch die **Unternehmenskultur**. Zentrales Hemmnis zur Umsetzung eines werkstofflichen Konusglasrecyclings ist die fehlende Bereitschaft in einigen Unternehmen, Anstrengungen zur Überwindung der technischen Probleme zu unternehmen. Die Firma Schott hat als Stiftungsunternehmen u.a. den Umweltschutz in ihrer Satzung verankert. Die Option des Schirmglasrecyclings wird von Schott bereits lange verfolgt, so dass einerseits Sekundärrohstofflogistik vorhanden ist und andererseits die Mitarbeiter mit den Vorteilen des Recyclings vertraut sind.

In Anbetracht des bescheidenen und unspezifischen Sammelziels von 6 kg/EW und Jahr ist der Effekt der **WEEE** auf die Erfassung von Fernsehern als gering einzustufen. Die Verwertungs- und die Wiederverwendungsquoten von 75 % bzw. 70 % für TV-Geräte und Monitore scheinen aus Umweltsicht vernünftig. Länderegoismen führen zu einer uneinheitlichen Verwertungs- und Beseitigungspraxis nach dem **KrWG**. Die Einhaltung der Verwertungsquoten bei geringwertigen Verwertungswegen wie als Material im Wegebau auf Deponien und im Bergversatz dürfte die Einhaltung der Verwertungsquoten unproblematisch machen. Unklar ist, inwiefern eine umgesetzte WEEE und die LAGA-Richtlinie die ökologisch nachteilhaften Entsorgungswege unterbinden können. Eine Verteuerung der Entsorgungsbedingungen in der Europäischen Union kann zu verstärkten Exportbestrebungen oder anderen nicht erwünschten Entsorgungspfaden führen. Der Entwurf einer **Versatzverordnung** zum KrWG<sup>159</sup> birgt die Gefahr eines neuen Schlupfloches für eine minderwertiges Bildröhrenglasverwertung und auch die **LAGA-Richtlinie** lässt zahlreiche Downcyclingoptionen offen, sofern nicht ausreichend ökonomisch zu betreibende werkstoffliche Verwertungskapazitäten zur Verfügung stehen. Es ist zu prüfen, ob Möglichkeiten bestehen, die Verwertung und Beseitigung von Bildschirmglas auf Deponien und im Bergversatz nach dem KrWG bundeseinheitlich zu unterbinden, um ein hochwertiges Recycling zu ermöglichen.

Es sind Vollzugsdefizite der Länder bei der **Überwachung der Stoffströme** aus Elektronikschrottreyclingbetrieben zu konstatieren. Problematisch gestaltet sich die Überwachung des Glasstroms, da dies erst möglich ist, wenn die Bildschirmröhren ausgebaut sind. Umfangreiche Stoffbilanzen sind jedoch von der Administration her problematisch, weshalb auch Initiativen

---

<sup>158</sup> Interview mit Herrn Puder (UBA) 2001, Interview mit Herrn Greubing (Thomson Multimedia) 2001.

<sup>159</sup> Der Bleigehalt in Mischglas stellt kein Hindernis für den Bergversatz dar.

wie die der LIA in den USA zu prüfen sind, die darauf zielen, die Informationsdefizite zwischen Sammelbetrieben, Aufbereitungs- und Recyclingunternehmen durch den Einsatz von **IuK-Technologien** reduzieren.

Zusammenfassend gibt es einzelne Akteure im CRT-Stoffstrom, die ein werkstoffliches Recycling forcieren. Rechtliche Maßnahmen haben jedoch einen entscheidenden Einfluss darauf, ob die Rahmenbedingungen diese Akteure unterstützen oder hemmen. Die Analyse der Situation im Handlungsfeld Bildschirmröhren ist der Ausgangspunkt gewesen, im vom BMBF geförderten Dialogprojekt „Nachhaltigkeit in der Informations- und Kommunikationstechnik“ (NIK) ein Fokusthema „Displays“ mit dem Schwerpunkt CRT-Recycling zu wählen. In einer **Roadmap** loten die Teilnehmer der Fokusgruppe<sup>160</sup> Recyclingoptionen aus, schätzen Zeithorizonte ab und setzen gemeinsame Ziele fest.

#### 6.4.5 Handlungsbedarf für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung

Der Handlungsbedarf für die nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei ist indirekt von der Fokusgruppe Displays im Projekt NIK aufgegriffen worden. Über die in der Roadmap aufgegriffenen Maßnahmen und Ziele, sind vor allem ein verbessertes **Stoffstrommonitoring und transparentere Informationsflüsse** zwischen den beteiligten Akteuren im Stoffstrom CRT zumindest EU-weit anzustreben.

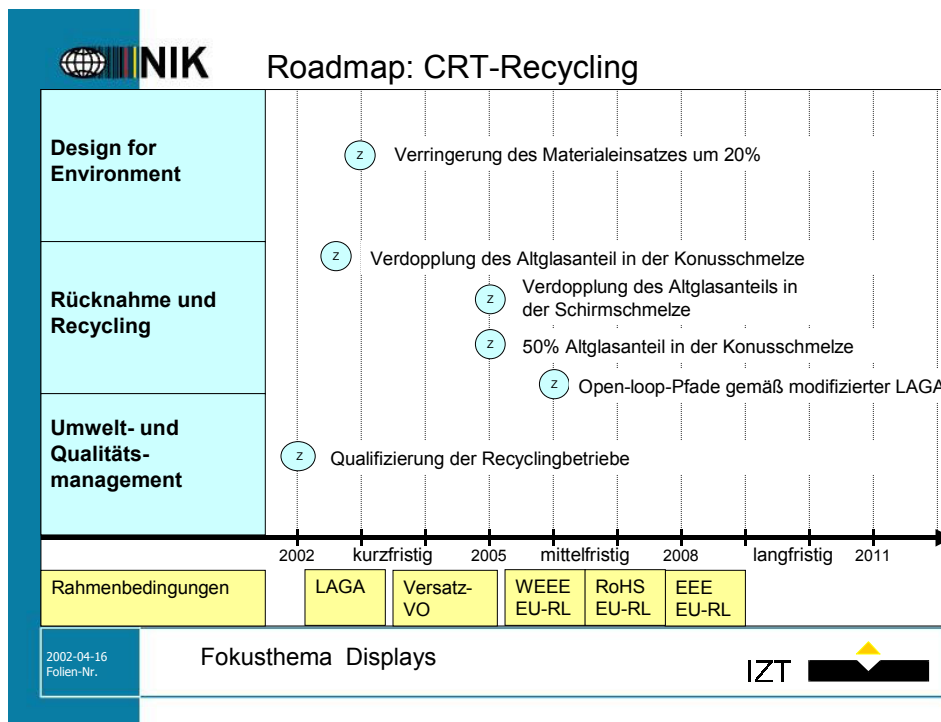
Die **Roadmap** setzt an der Situation an, dass derzeit mit jährlich 10.000 t CRT-Glas nur etwa ein Zehntel des Rückflusses aus dem Bestand werkstofflich recycled wird. Wird der Rückfluss so kanalisiert, dass im Jahre 2005 etwa 60.000 t End-of-Life CRT-Glas in der Konus- und Schirmglasschmelze eingesetzt werden, so müssen 50.000 t weniger Abfall pro Jahr entsorgt oder zu minderwertigen Produkten verarbeitet werden. Damit würden nicht nur jährlich zusätzlich 5.000-7.000 t weniger Blei auf Deponien eingetragen oder in Downcyclingpfade verschleppt,<sup>161</sup> sondern auch bis zu 7.500 t Primärblei mit einem ökologischen Rücksack von bis zu 190.000 t eingespart (bei etwa 4 % Erzgehalt). Hauptziel ist die Kanalisierung des Rückflusses in die optimalen Verwertungspfade:

---

<sup>160</sup> Am 16. April 2002 hat sich in Berlin die Fokusgruppe Displays mit den Teilnehmern Fa. Schott, Fa LG Philips, Fa. Griag, Fa. Sharp, Fa. Merck und BITKOM konstituiert.

<sup>161</sup> Entspricht etwa der jährlich in Deutschland eingesparten Bleimenge in Lötlegierungen durch das angekündigte Bleiverbot in der RoHS.

Abbildung 6-16: Roadmap zum Recycling von Kathodentröhrglas in Deutschland



Quelle: IZT 2002.

Bis zum Jahr 2005 soll bei der Fa. Schott in Mainz die Einsatzmenge von Altschirmglas in der Schirmglasschmelze verdoppelt und ein Altkonusglasanteil in der Konusglasschmelze von 50 % erreicht werden. Ein weiteres Ziel der Roadmap ist die Entsorgung überschüssigen CRT-Altglases gemäß der Anforderungen einer modifizierten LAGA-Richtlinie.

#### Altglaseinsatz um den Faktor 5 erhöhen

Die Einsatzmenge an Altglas in der CRT-Glasproduktion bei der Firma Schott wird bis 2005 stufenweise auf ca. 60.000 t erhöht. Eine Umstellung vom jetzigen Input aus Mischglas und Konusglas auf sortenreines Konusglas lässt sich in kurzen Zeiträumen bewerkstelligen. LG Philips liefert überschüssiges Konus- und Schirmglas an Schott. Zunächst wird die Strategie verfolgt, das werkstoffliche Recycling bei der Firma Schott auf 60.000 t auszuweiten, zu einem späteren Zeitpunkt könnten ggf. auch andere Hersteller größere Mengen an CRT-Altglas einsetzen.

#### Open loop Pfade optimieren

Für End of Life Konus- und Schirmglas, für das keine Kapazitäten für ein werkstoffliches Recycling zur Verfügung stehen, sind umweltverträgliche und ökonomisch darstellbare open loop Pfade zu identifizieren. Für die Recyclingprodukte dieser Verfahren sind entsprechende Kapazitäten aufzubauen und geeignete Vermarktungsstrategien zu entwickeln.

#### Ausbau und Optimierung des Zulieferernetzwerkes

Von entscheidender Bedeutung für ein umfassendes werkstoffliches Recycling dürfte es sein, ein Netzwerk zu etablieren, das von firmenspezifischen und kooperativen Rücknahmesystemen über die Demontage- und Aufbereitungsbetriebe (Fa. Griag und Fa. RTG, Ausland) bis hin zu

den Bildröhrenglasherstellern reicht und den Rücklauf von Fernsehern und Computermonitoren in das werkstoffliche Recycling kanalisiert.

Bei Ausweitung der CRT-Altglasmengenströme um einen Faktor 5 muss die Rückführungslogistik optimiert werden, um eine effiziente Rohstoffversorgung sicherzustellen. Dazu ist eine Erhöhung und Bündelung der Trennkapazitäten und Logistikzentren erforderlich.

#### **Trenntechnik automatisieren – Recyclingbetriebe qualifizieren**

Die saubere Trennung von Schirm- und Konusglas in saubere Fraktionen ist eine der wesentlichen Voraussetzungen zur Erhöhung des Altglaseinsatzes in der Schmelze. Die etablierten thermischen und mechanischen Verfahren sind personalintensiv und damit teuer.

Ziel der Roadmap ist die Senkung der Demontage- und Trennzeit von 5-12 Min auf 1-2 Min u.a. durch (Teil-)Automatisierung der Trenntechnik oder andere schnelle Verfahren mit geringem Personaleinsatz und begrenzten Investitionskosten. Bezüglich neuer Verfahren und der Optimierung bestehender Konzepte besteht Entwicklungsbedarf. Die Dimensionierung der Anlagen und ihre Wirtschaftlichkeit hängen entscheidend vom Mengenrückfluss ab.

In einigen Recyclingbetrieben herrscht das Paradigma der Abfallentsorgung vor und nicht das des Rohstofflieferanten. Die hohen Qualitätsanforderungen der Glashersteller erfordern jedoch eine Unternehmenskultur, die an der Herstellung eines qualitativ hochwertigen Rohstoffes ausgerichtet ist. Durch Veranstaltungen und Vorträge seitens der Glashersteller kann dieses Bewusstsein gefördert und durch Mitarbeiterschulung praktisch umgesetzt werden.

#### **Rechtlich-politische Rahmenbedingungen überprüfen**

Flankierend zu den Aktivitäten der beteiligten Firmen hat der Gesetzgeber dafür Sorge zu tragen, dass die Rahmenbedingungen das ökologisch attraktive werkstoffliche Recycling fördern. Über die bereits in großem Umfang praktizierte Deponierung von CRT-Glas hinaus, führen der Entwurf einer Bergeversatzverordnung und die LAGA-Richtlinie durch die Ermöglichung des Bergversatzes von Schirmglas bzw. Mischglas dazu, dass womöglich weitere bedeutende Altglasmengen dem werkstofflichen Recycling entzogen und minderwertig verwertet werden.

Um die Firmenaktivitäten zum werkstofflichen Recycling von CRT-Altglas zu unterstützen, ist die Modifizierung der LAGA-Richtlinie zu prüfen, in der neben einem Deponierungsverbot das werkstoffliche Recycling von Schirm- und Konusglas in der Schirm- und Konusglasschmelze mit höchster Priorität als Stand der Technik zu verfolgen ist. Die Möglichkeit des Bergversatzes sollte mit niedrigerer Priorität als die Rückgewinnung des Bleis aus Altkonusglas und Strahlenschutzanwendungen sowie weiterer open loop Verfahren angesetzt werden, da sie durch die extrem günstigen Preise alle anderen Verwertungsbemühungen konterkariert. Die Verwertungsoptionen Bau- und Mineralfaserindustrie sind noch nicht fundiert beurteilbar. Eine derart modifizierte LAGA-Richtlinie ist dann rasch in den Länderverwaltungen zu adaptieren, damit eine bundeseinheitliche Vollzugspraxis realisiert werden kann.

### **6.5 Handlungsfeld Weichlote in elektrischen und elektronischen Geräten**

Mit maximal 6.700 t werden zwar nur etwa 2 % des berichteten Bleiverbrauchs als Blei-Zinnlegierungen zum Weichlöten in Deutschland verwendet. Die recycelten Mengen sind marginal, da eine Wiedergewinnung des Bleis nach der Nutzungsphase mit außergewöhnlich hohem Aufwand verbunden ist. Der Bleibedarf für diese Anwendung wirkt sich deshalb direkt

auf die Nachfrage nach Primärblei aus.<sup>162</sup> Durch die Verbotsankündigung im EU-Richtlinienentwurf RoHS sind zahlreiche Initiativen zur Substitution von Blei in Weichloten angeschoben worden.

### 6.5.1 Einsatzbereiche, Materialien und Produkte

Durch den Zusatz von Blei zu Zinn kann eine niedrig schmelzende, gut leitende und fließende Legierung (Weichlot) hergestellt werden, die v. a. der Verbindung von elektrischen und elektronischen Bauelementen und Kabeln dient. Darüber hinaus werden bleihaltige Weichlote zum Löten von Zink- und Kupfer-Halbzeug (Rohre, Bleche, ...) verwendet. Blei-Zinnlote sind vor allem aufgrund ihres niedrigen Schmelzpunktes um 183°C zum Löten geeignet. Im verwendeten Temperaturbereich werden die eingesetzten Komponenten noch nicht zerstört, die Lotverbindungen halten die Wärmebelastungen in der Betriebsphase jedoch aus.

Bleihaltige Weichlote enthalten zwischen 10 und 70 % Zinn. Als **Standardlot** für das Finishing dient **Sn63Pb37**. Interne Hochtemperaturlote der Bauelemente bestehen zu ca. 90 % aus Pb. Blei befindet sich im Lötmedium gedruckter Leiterplatten (Printed Circuit Board - PCB) zu ca. 50 g Blei/m<sup>2</sup> und zu ca. 0,3 und 1 g Blei im Lötzinne von Glühlampen und Leuchtstoffröhren. In einer Tonne Leiterplatten befinden sich u.a. 3-50 kg Blei (UBA-Texte 61/96, S. 106).

Haupteinsatzgebiet von elektrischen Bauelementen ist die Elektro- und Elektronikindustrie, aber auch im Fahrzeug- und Maschinenbau werden bleihaltige Weichlote zur Verbindung elektrischer und elektronischer Bauelemente eingesetzt.

### 6.5.2 Stoffströme

Weltweit wurden im um die Jahre 1999/2000 ca. 120.000 t/a SnPb Standardlote produziert und verwendet. Eine Unterscheidung der Frachten von internen Lote und Finishing ist nicht exakt quantifizierbar, der Anteil interner Hochtemperaturlote liegt bei rund 10%.<sup>163</sup>

Insgesamt wurden 1994 in Deutschland 9.500 t Blei für die Legierungsherstellung eingesetzt, wovon 9.000 t auf Lötlegierungen und 400 t auf Lettern und Lagermetall entfielen. Der Außenhandel konnte anhand des vorliegenden statistischen Materials nicht ermittelt werden (Balzer 1995). Verlässliche aktuelle Zahlen zu den eingesetzten Bleimengen für Legierungen liegen nicht vor. Der ZVEI (1999b) gibt den **Bleiverbrauch der Elektroindustrie für Weichlote** in Deutschland mit maximal 2 % an. Bezogen auf den berichteten Bleiverbrauch in Höhe von 332.000 t im Jahre 1999 (BAW 2000) entspricht dies maximal **6.700 t**. Diese Menge verteilt sich in den folgenden Produktionsschritten auf die Endprodukte elektrische und elektronische Geräte, Fahrzeuge sowie den Maschinen- und Anlagenbau.

Das EE-Altgeräteaufkommen lag im Jahr 2000 bei etwa 2 Mio. t. Der damit verknüpfte Bleistrom ist nicht bekannt. Maximal ein Viertel der EE-Altgeräte wird in Fachbetrieben demontiert und zur weiteren Verwertung abgegeben. Die restlichen drei Viertel gelangen in Müllverbrennungsanlagen oder werden deponiert. Differenziert nach Produktgruppen stellt sich die **Entsorgungssituation** vereinfacht wie folgt dar (vgl. Kap.6.3):

---

<sup>162</sup> Subtrahiert man die Bleimenge, die in die Akkumulatorenproduktion geht vom berichteten Verbrauch –in diesem Segment ist eine Kreislaufwirtschaft nahezu umgesetzt -, so trägt der Bleibedarf durch Weichlote zu 4,8 % zur Primärressourcennachfrage bei.

<sup>163</sup> Interview mit Herrn Deubzer (FHG-IZM) 2001.

- Weiße Ware: keine Entnahme der Leiterplatten; Schreddern mit Eintrag des Bleis in den Stahlschrott; Elektrostahlwerk, teils Aufbereitung des Staubes in Abhängigkeit von Zink-Gehalt mit Wiedergewinnung des Bleis, teils Deponierung als Sonderabfall
- Braune Ware: teils Eintrag in den Hausmüll, teils in den Sperrmüll, vorwiegend Deponierung
- Graue Ware: aus gewerblicher Nutzung teils Demontage der Platinen mit anschließender Wiedergewinnung des Kupfers und auch des Bleis, aber auch der Platinenschrott wird deponiert; graue Ware aus Haushalten dürfte eine ähnliche Downstreamphase wie braune Ware haben.
- Mülltonnengängige Kleingeräte: Erfassung von EE-Kleingeräten mit dem Hausmüll; gegenwärtig Deponierung von etwa zwei Dritteln, nach Inkrafttreten der TASI Verbrennung weit über das jetzige Drittel des Hausmülls hinaus; einige MVA haben Vorsortierungen des Schrottes zum Aussondern von Eisen und Kupfer, ein Großteil des Bleis dürfte jedoch in den Filterstaub gelangen.

Insgesamt gesehen sind weder die Bleimengen im Bestand noch die Bleiflüsse in der Downstreamphase bekannt. Die **Wiedergewinnung des Bleis** ist trotz der unzureichenden Datenbasis als **marginal** einzustufen.

### 6.5.3 Problemlagen: Verwertungspotenziale, Substitution und Defizite

Das Blei in EE-Geräten trägt nur minimal zum gesamten Mengenaufkommen bei. Deshalb ist die Steuerung des Bleistromes in Weichloten prinzipiell stark eingegrenzt. Zwar gibt es einige Verwertungsverfahren mit Wiedergewinnung des Bleis aus Leiterplatten, die zahlreichen anderen Strategien für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung werden angesichts der am weitesten gehenden Ankündigung eines Bleiverbotes in der RoHS nicht weiter untersucht. Die Begründung für die WEEE und die RoHS argumentiert jedoch vorwiegend abfallpolitisch und toxikologisch,<sup>164</sup> weniger aber ressourcenpolitisch.

#### Begrenzte Adressierbarkeit von Blei bei der Leiterplattenverwertung

Für ausgebaute Leiterplatten stehen folgende Recyclingverfahren zur Verfügung: die mechanische Aufbereitung (Bay Tec, Recycling Nord, Result-Verfahren etc.), das Einschmelzen in der Sekundärkupfergewinnung (Norddeutsche Affinerie) und ein Verfahren der Degussa. Maßgeblich ist bei diesen Verfahren die Rückgewinnung von Kupfer und teuren Edelmetallen wie z.B. Gold und nicht die Rückgewinnung von Blei (BAM 2000, S. 21).<sup>165</sup> Einerseits gibt es noch keine flächendeckenden Erfassungssysteme für EE-Altgeräte, andererseits liegt das Blei als Legierungsbestandteil des Weichlotes in diesen Geräten sehr dissipativ vor. Aufgrund der eingeschränkten Rückholmöglichkeiten wird das Augenmerk deshalb vor allem auf Substitute gelegt.

#### Verbotsankündigung der EU: Suche nach Substituten für Blei

In der Begründung zu den EU-Richtlinienentwürfen **WEEE** (2000) und **RoHS** (2000) heißt es: „Auch wenn Elektro- und Elektronikaltgeräte getrennt gesammelt und Recyclingprozessen zugeführt würden, würde der Inhalt an Quecksilber, Kadmium, Blei, Chrom IV und PBB und PDBE aller Wahrscheinlichkeit nach ein Risiko für die Gesundheit und Umwelt darstellen.“ Die Beschränkung gefährlicher Stoffe soll die Schadstoffprobleme in der Entsorgungsphase vermindern und entsprechende Substitutionsprozesse auslösen. Getrennt von den Entsorgungsanforderungen für EE-Geräte sollen die Bleiverbote in einer separaten EU-Richtlinie, der RoHS, zusammen mit Verboten für Quecksilber, Nickel und Chrom (VI) niedergelegt werden. In der EU-

<sup>164</sup> Bei der Ablagerung von elektrischen und elektronischen Geräten auf Deponien tragen Weichlote zur Bleibelastung des Deponiekörpers bei (WEEE 2000, S. 41 und 8).

<sup>165</sup> Aus elektronischen Leiterplatten können Beschichtungen mit Kupfer und Blei-Zinnlot mit einer Ausbeute von 97 % wiedergewonnen werden. Die Norddeutsche Affinerie setzt Leiterplatten direkt in der Sekundärkupfergewinnung ein, wobei das Blei in die Schlacke ausgetragen wird (BAM 2000, S. 13).



Altautorichtlinie (2000/53/EG) sind Blei und Bleiverbindungen im Lötmedium in elektronischen Leiterplatten und in sonstigen Anwendungen zunächst vom Anwendungsverbot ausgenommen, die EU-Kommission wird jedoch weiterhin die Notwendigkeit des Bleieinsatzes verfolgen.

Die Substitutionsanstrengungen fokussieren eher auf die Entwicklung bleifreier Weichlote als auf andere Verbindungstechniken wie z.B. Leitleber, Einpress- oder Klemmtechnik oder neue Basismaterialien für Leiterplatten.<sup>166</sup> Die möglichen Alternativen zu bleihaltigen Weichloten für einzelne Anwendungsfelder sind zahlreich und z. T. sehr komplex.<sup>167</sup> Als **generelle Anforderungen an Substitute** gelten u.a. niedriger Preis, Verfügbarkeit, (öko-) toxikologische Unbedenklichkeit, geeigneter Schmelzpunkt, Lötbarkeit sowie andere physikalische Eigenschaften, wie Benetzungseigenschaften und Detektierbarkeit bei der Inspektion. Beim Lotpastendruck sind darüber hinaus zu beachten: Mindestlager- und -standzeiten von Pasten, gängige Korngrößen und Rückstandsfreiheit auf der Leiterplatte (Kaiser 1999). Insbesondere das Lötmaterial selbst, Flussmittel und die Oberfläche von zu verlötenden Teilen müssen beachtet werden. Zinn dient bei den derzeit erprobten Substituten weiterhin als Basis des Lötmittels, wird anstelle von Blei aber mit Silber, Kupfer, Zink, Wismut, Indium oder auch Antimon legiert. Blei-Zinn-Legierungen sind in einem sehr weiten Feld einsetzbar, für die einzelnen Anwendungen müssen verschiedene Substitute erprobt werden.

Die **Temperaturbeständigkeit** ist die **Schlüsselanforderung** bei der Substitutionsfrage. Sie gilt für das Dreiersystem Bauelemente (BE), Lot und Leiterplatte, wobei die Oberflächen (Kontaktflächen /Finishing) von BE und Leiterplatte ebenfalls wichtige Determinanten der Substituierbarkeit sind.<sup>168</sup> Der Substitutionsprozess muss diese Größen integrieren und verfahrenstechnisch im Lötprozess (Wellentechnik und/oder Reflowsystem) abstimmen. Auch Bleilote stoßen in bestimmten Anwendungen bezüglich der dortigen Anforderungen an technische Grenzen. Im Fahrzeugbau sind durch die zunehmende Elektronisierung auch Hochtemperaturlote notwendig (z.B. Sensor am heißen Motorblock). Für hohe Temperaturbelastungen (bis etwa 150 °C) haben sich Silber-Zinn-Legierungen als geeignet erwiesen (Schiele-Trauth 1999). Für Massenanwendungen sind Silber-Zinn-Legierungen aufgrund ihres hohen Preises aber nicht geeignet. Auch Zinn-Kupferlegierungen können für Hochtemperaturanforderungen geeignet sein. Durch Beimischung von Wismut zu Silber-Zinn-Legierungen oder durch Indium wird der Schmelzpunkt etwas abgesenkt. Wismut und Indium sind relativ teuer und in naher Zukunft nicht in ausreichenden Mengen verfügbar. Wismut als Substitut kann zu hohen Kosten aus Wismut-Rohstoffen gewonnen werden, ansonsten fällt es als Nebenprodukt der Blei-Raffination an. Versuche mit Zink haben bislang keine befriedigenden Ergebnisse hervorgebracht, da Zink das Lot oxidations- und korrosionsanfällig macht. Antimon und Indium haben (öko-) toxische Eigenschaften, weshalb, sofern möglich die umweltverträglicheren Alternativen (z. B. SnAg, SnAgCu) bevorzugt werden sollten (Ökopol 2000, S. 27 und S. 50).

Trotz der begrenzten Verfügbarkeit wird sich womöglich ein Lot auf Basis von Wismut als Massenlot durchsetzen, jedoch nicht so universell wie das Sn-Pb-Lot.<sup>169</sup> Die **Umstellung** wird

---

<sup>166</sup> Die gängigen Folienkonzepte enthalten weder Kupfer noch Blei.

<sup>167</sup> Die internen BE-Lote mit bis zu 90 % Bleigehalt sind von der RoHS zunächst ausgenommen.

<sup>168</sup> Interview mit Herrn Deubzer (FHG-IZM) 2001.

<sup>169</sup> Mit steigenden Bi-Gehalten sinkt der Schmelzpunkt von Sn-Ag-Cu, was dazu führt dass z.B. in einem BE-Finish, das Lot an dieser Stelle wegläuft und die Verbindung nicht gewährleistet ist. Es müsste sichergestellt werden, dass absolut kein Bi im Lotsystem ist. Ähnlich ist das Problem mit Restblei, z. B. im Finish. Das System SnBi reagiert bei Anwesenheit von Blei mit Schmelzpunktniedrigung. Darum argumentieren die BE Hersteller auch mit der

anforderungsspezifisch, insbesondere bezüglich Architektur und Layout erfolgen. Dabei werden dann eher ganze Produkte auf Zuverlässigkeit geprüft. Insbesondere die Bauelemente(BE)-Hersteller sind auf die bisherige Technologie fixiert, da eine Produktionsumstellung erheblichen Aufwand mit sich bringt. Die Bestücker und Gerätehersteller sind in hohem Maße von den Herstellern aktiver und passiver Bauelemente abhängig, wobei es nur wenige Hersteller von aktiven Bauelementen gibt.

Es sind bereits diverse **Ökobilanzen** durchgeführt worden, die jedoch keine eindeutige Tendenz erkennen lassen. Bleifreie Lote erfordern jedoch in der Regel eine um 20-40 K höhere Löttemperatur, so dass der Energieverbrauch und damit auch Energiekosten wahrscheinlich bei allen Substituten steigen werden (vgl. Turbini et al. 2000). Bleizinn-Lote können in einigen Sekundärhütten wiedergewonnen werden, andere Lötlegierungen bislang nicht (Griese et al. 2000, S. 169-174). Zinn ist bis zu einem Anteil am Durchsatz von bis zu 10 % beim Edelmetallrecycling und bei der Kupferschmelze unproblematisch. Bis zu 50 % Kupfer-Gehalt sind beim Edelmetallrecycling möglich, aber Silber wird nur bis zu einem Gew.-% in Kupfer beim Kupferrecycling geduldet. Zink wird bis zu 1 Gew.-% in Kupfer sowohl in der Sekundärkupferhütte als auch in der Edelmetallgewinnung toleriert, was jedoch bei SnZn9 kein Kapazitätsproblem sein dürfte. Wismuthaltige Schrotte werden von Kupferhütten aus Qualitätsgründen abgelehnt. Auslaugversuche zur Simulation von Deponien zeigen hohe Auslaugraten vor allem für Blei aus SnPb, Bi aus SnBi und Cu aus SnAgCu.

#### 6.5.4 Initiativen und Instrumente für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung

##### Initiativen und Instrumente

Durch die toxikologisch und abfallwirtschaftlich motivierte **RoHS** sind Substitutionsanstrengungen angestoßen worden, die auch im Sinne einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung von Blei zu begrüßen sind. Zwar sind im aktuellen Entwurf medizinische Geräte sowie Überwachungs- und Kontrolldetektoren von Bleiverbot ausgenommen, alle anderen Gerätegruppen, so auch automatische Ausgabegeräte wie z.B. Geldautomaten, Kassen und Getränkeautomaten, sind jedoch vom Bleiverbot betroffen. Im aktuellen Entwurf der WEEE-Richtlinie wird ein Bleiverbot in Lötlegierungen bis zum 1.1.2008 angestrebt, der von einigen Unternehmen als zu knapp angesehen wird.

Da ein Großteil der in der EU verarbeiteten elektrischen und elektronischen Bauelemente aus den USA oder Asien kommt, hat die Ankündigung eines Verbotes bleihaltiger Lötlegierungen zu globalen Substitutionsanstrengungen geführt. Insbesondere japanische Elektronikunternehmen haben sich zum Ziel gesetzt, Blei innerhalb der nächsten Jahre zu ersetzen. Verbände und einzelne Firmen haben **Roadmaps** erstellt, in denen quantitative Ziele für den Ersatz von Blei festgehalten sind. Folgende Tabelle bietet einen Überblick über Roadmaps zu bleifreien Lötlegierungen in der EE-Industrie:

---

Notwendigkeit der absoluten Blei Freiheit. Eine andere Strategie nutzt die Schmelzpunktniedrigung durch die Anwesenheit von Bi. Bei Hitachi wird als internes BE-Lot Zn-Ag-Cu (Schmelzpunkt 217 °C) und als externes Lot Zn-Bi verwendet. Dadurch wird das interne Lot vor nachträglichem Wiederaufschmelzen geschützt (Interview mit Herrn Deubzer (FHG-IZM) 2001).

**Tabelle 6-33: Bleifrei-Roadmaps in der Elektro- und Elektronik-Branche**

Titel	Institution	Start	Inhalt
<b>Verbände</b>			
Lead Free Task Force	NEMI (USA)		Sn95.5Ag3.9Cu0.6 als bleifreier Kandidat gewählt, freiwillige Bleielimination bis 2004, Unterstützung bei der Standardisierung
IPC-Roadmap	Assoc. Connecting Electronics Ind.	10/1999	in Arbeit
JEIDA-Roadmap	Japan Electronic Industry Dev. Association <sup>a)</sup>	2/1998	erste Roadmap für bleifreie Lötlegierungen
Roadmap 2000 for commercialization of lead-free solder	JEIDA	10/1999	Fragebogen an Firmen über deren Erwartungen; Ergebnisse verdichtet zu einer Roadmap
JISSO-Roadmap	Roadmap Council von JISSO	1999	Einführung bleifreier Legierungen in der japanischen Elektronikindustrie in Schritten bis 2010
Pb-free Task Force	ZVEI	3/2000	Unterstützung der deutschen Industrie bei Einführung bleifreier Techniken; zusammen mit internat. Partnern: "develop a realistic roadmap"
<b>Firmen</b>			
	Matsushita		bleifreier portable MD-Player seit 10/98; mind. vier Produkte bleifrei in zwei Jahren
	Hitachi		vollständige Abschaffung von Blei bis Ende 2001
	NEC		Pb-Reduktion bis 2002 um 50% bezogen auf 1997
	Sony		bleifreie Legierungen entwickelt; Komponentenfertiger zur Beschleunigung von bleifrei-Projekten angehalten
	Ricoh		beabsichtigt SnAg-Legierungen einzusetzen
	Toshiba		Erste Mobiltelefone mit bleifreien Legierungen sollen dieses Jahr auf den Markt kommen
	Motorola		freiwilliger Verzicht auf Pb

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

Anmerkung: a) Committee on environmentally conscient packaging technology

Die Industrie kann zwar erste bleifreie Produkte wie den Minidisk-Player von Panasonic und ein bleifreies Handy von Motorola vorweisen, die Bestrebungen gehen jedoch primär nicht auf ökonomisches Kalkül, sondern auf die Erwartung von Stoffverboten zurück. Die Pionierprodukte dieser Innovateure sind vorwiegend kurzlebige Produkte, die Langzeiterfahrungen mit bleifreien Loten sind noch unzureichend. Bis 2010 sollen gemäss der japanischen **JISSO-Roadmap** unter anderem PCs, Laptops und Mobiltelefone zu 100 % mit bleifreien Loten hergestellt werden (Miric 2000). Intensive Forschungsarbeiten zur Substitution von Blei-Zinn-Loten finden u. a. bei Siemens, Phillips, Motorola, Matsushita, Fujitsu statt.

Die Forschungsarbeiten zu bleifreien Lötlegierungen werden in Deutschland im Arbeitskreis bleifreie Verbindungstechnik gebündelt. Teilnehmer sind Industrievertreter aus kleinen, mittleren und großen Betrieben sowie der Fachverband Elektronik-Design (**FED**) und der Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie (**ZVEI**). Der Arbeitskreis hat das Ziel, Unternehmen auf den Wechsel zu bleifreien Verbindungssystemen vorzubereiten. Im einzelnen:

- Darstellung von Status Quo und Trends bei der Einführung bleifreier Verbindungssysteme
- Gegenseitige Unterstützung bei der Vorbereitung des Umstiegs auf bleifreie Lote

- Begleitung bei der Einführung bleifreier Lote

Der ZVEI (1999) hat einen Leitfaden „Bleifreies Lötten: Materialien, Komponenten, Prozesse“ herausgegeben, in dem vorgeschlagene Lösungen in Bezug auf technische Probleme und Umstellungsaufwand bewertet werden. Zentrales Ergebnis ist, dass es bislang kein bleifreies Lot gibt, das die vielseitigen Anforderungen an Schmelzpunkt, Verarbeitbarkeit, Zuverlässigkeit und Kosten erfüllt (ZVEI 1999).

### **Beurteilung**

Die zahlreichen Entwürfe einer EE-Richtlinie auf EU-Ebene haben über die Diskussions- und Zielbildungsprozesse die **Suche nach bleifreien Lötlegierungen ausgelöst**. Ein weltweites dynamisches Forschungsfeld zu bleifreien Weichloten ist entstanden. Firmen und Branchen versuchen mit Hilfe von Roadmaps stufenweise den Einsatz bleihaltiger Lote zu verringern. Über elektrische und elektronische Geräte hinaus, werden trotz einer Ausnahme vom Bleiverbot in der EU-Altautorichtlinie auch bleihaltige Weichlote in Kraftfahrzeugen ersetzt, allerdings eher wegen steigender thermischer und technischer Anforderungen. Auch in den von der WEEE und RoHS nicht erfassten Investitionsgütern dürften sich, so ein bleifreies billiges Massensubstitut gefunden ist, bleifreie Lote zumindest in den Anwendungen durchsetzen, in denen keine sehr spezifischen Materialanforderungen vorherrschen.

Die **Umstellungsphilosophien in Europa, den USA und Japan** sind unterschiedlich: In der EU ist man bemüht, auf dem Regulierungsweg Lösungen zu finden und die Europäer versuchen Wismut aufgrund seiner Vergesellschaftung mit Blei im Erz als Substitut auszuschließen. In den USA ist Wismut dagegen der bevorzugte Kandidat. Die japanischen Repräsentanten und Industrievertreter erhoffen sich einen Marktvorteil für bleifreie Pionierprodukte und kritisieren in den europäischen Entscheidungsgremien u. a. die Notwendigkeit internationaler Standards für Substitute und ihre Anwendung als zeitverzögernd.

Als Instrument dient übergreifend vor allem das Roadmapping. Es werden unterschiedliche **Fristen für den Ausstieg** gehandelt. Prinzipiell sind die Produktkategorie und/bzw. die Zuverlässigkeitsanforderungen ausschlaggebend. In Japan ist für Consumerprodukte mit geringer Lebensdauer (Billigprodukte) eine Umstellung bis 2002/2003 realistisch. In Deutschland wird der Prozess eher über Grenzanwendungen wie z.B. Hochtemperaturbereiche im Kfz und bei Billig- Consumer-Produkten erst später erfolgen.

Der technologische Umstellungsprozess erfordert einen erheblichen Koordinationsaufwand der Anlagenhersteller und -betreiber, der Leiterplatten-, BE- und Gerätehersteller. Großes Hemmnis für ein effektiveres Vorgehen ist in Deutschland bislang noch die **beharrende Position der BE-Hersteller**, insbesondere der aktiven Bauelemente. In Japan dagegen ist es gelungen, die BE-Hersteller zum Anbieten bleifreier Bauteile zu bewegen.

### **6.5.5 Handlungsbedarf für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung**

Die rechtlichen Schritte für ein Bleiverbot sind auf EU-Ebene eingeleitet, und von Verbänden und Firmen ist die Suche nach Alternativen eingeleitet worden. Der Handlungsbedarf für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung im Sektor der Weichlote erstreckt sich lediglich auf eine optimierte Umsetzung der ohnehin toxikologisch und abfallpolitisch begründeten Substitutionsbestrebungen. Zwei Eckpfeiler scheinen verbesserungsfähig:

- Initiative für eine bessere Kooperation und Abstimmung der Akteure

- Normung/Standardisierung mit Empfehlungen für Lote, BE und Leiterplatten und das Lotverfahren<sup>170</sup>

Abschließend ist festzuhalten, dass die Akteure voraussichtlich selbst dazu in der Lage sind, bleifreie Lote für alle im RoHS-Entwurf geregelten Anwendungen zu entwickeln und zu verwenden. Offen scheint nur die Frage, bis wann dies gelingt, was für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei jedoch von untergeordneter Bedeutung ist.

## 6.6 Handlungsfeld Gebäude

Im Hochbau werden Kupfer, Blei und bleistabilisiertes PVC in zahlreichen Bereichen und unterschiedlichen Erscheinungsformen eingesetzt. Die Erfassung von Blei und Kupferströmen in diesem Anwendungsfeld ist aus zwei Gründen sehr schwierig: Erstens ist der Gebäudebestand sehr heterogen und zweitens dominieren die mineralischen Bestandteile die Stoffströme, weshalb Metallen und Kunststoffen vergleichsweise wenig Aufmerksamkeit geschenkt wird. Die folgenden Betrachtungen beziehen sich vorwiegend auf Wohn- und Bürogebäude.

### 6.6.1 Einsatzbereiche, Materialien und Produkte

Die wesentlichen **Kupferverwendungen** in Gebäuden sind Strom- und Telekommunikationskabel, Rohrleitungen und Armaturen. Im geringeren Maße werden Kupfer und seine Legierungen für Dach- und Fassadenverkleidungen, für Regenwasserrinnen und -rohre sowie für dekorative Zwecke (Verkleidungen, Abdeckungen und Einfassungen), Beschläge (Türgriffe, Schlösser, Fenstergriffe etc.) und sonstige Profile (Fugenschienen, Kanteneinfassungen etc) eingesetzt.

Weiterhin werden Kupferrohre sowie beschichtete Kupferbleche in Solarkollektoren verwendet.

- Für Elektro- und Telekommunikationskabel wird Kupfer unterschiedlicher Leitfähigkeit mit geringen Legierungszusätzen (bis zu 1%) eingesetzt. Die Kupferkabel werden i. A. mit Kunststoffen (PE, PP, PVC) ummantelt.
- Kupferrohre bestehen aufgrund des fehlenden Anspruchs an Leitfähigkeit z. B. aus SF-Kupfer, welches mit Phosphor desoxigeniert ist. Für die Wasser- und Sanitärinstallationen werden zudem bei den Armaturen Messinglegierungen (Kupfer-Zink) sowie für Löt fittings Rotguss (Kupfer-Zinn-Zink) verwendet.
- Kupferlegierungen wie dekorative Tür- und Fensterbeschläge bestehen - sofern massiv - i.d.R. aus Messing. Darüber hinaus werden verschiedene Legierungen in Schließmechanismen von Türen und Fenstern eingesetzt. Verwendung finden Kupferlegierungen im Gebäudebereich u.a. aufgrund ihrer bakteriziden Eigenschaft. Dies führt zur Nutzung in hygienisch sensiblen Bereichen wie Türdrückern, Haltegriffen und Treppengeländer. Ferner werden unterschiedliche Legierungsprofile wie Teppich-, Fugen- und Fliesenschienen u. ä. im Gebäudebereich eingesetzt

Im Bauwesen wird **Blei** vor allem als Dichtungs-, Isolier- und Verkleidungsmaterial sowie zum Schallschutz benutzt. Blei findet sich fest eingebaut in Gebäuden sowohl in kompakten Mengen als Halbzeug (z.B. Rohre, Dächer, Verkleidungen) als auch dissipativ (z. B. Rostschutzanstriche, Lacke, emaillierte Fliesen, PVC). Bleiemaillierte Herde oder Badewannen können fest eingebaut oder auch als separate Einrichtungsgegenstände genutzt werden. Folgende Bedeutung der Anwendungen sind festzustellen:

- Bleirohre werden in Deutschland seit langem nicht mehr für die Trinkwasserversorgung eingebaut. Bleidächer sind im Wohngebäudebereich ebenfalls von untergeordneter Bedeutung. Bleibleche zum Schallschutz finden eher im gewerblichen Bereich Anwendung.
- Im Neubau wird Blei aufgrund seiner guten Formbarkeit vor allem noch als Verkleidung für den Übergang der Dachfenster zum Dach und für den Abschluss von Dachgauben (Verbindung mit Cu-

<sup>170</sup> Die Normungsgremien DIN und VDI berichten über unzureichende Beteiligung der Anwender.

oder Zn-Blechen) benutzt. Ziel ist es, die Korrosion des Baumaterials durch Niederschlag zu vermeiden.<sup>171</sup> Nach wie vor wird Blei auch für die Verplombung eingesetzt.

- Weiterhin wird Blei z.B. für dekorative Glaseinfassungen verwendet (Kirchenfenster, Tiffanyleuchten). Fenster werden durch Bleiruten mit H-förmigem Querschnitt verglast. Die Ruten werden an den Bundstellen verlötet.

Das thermisch instabile PVC erhält durch Stabilisatoren seine Formbarkeit und Beständigkeit. Bleistabilisiertes PVC wird im Gebäudebereich vorwiegend für langlebige Investitionsgüter eingesetzt (vke 1994). Dazu zählen Rohre und Fittings; Bauprofile und Kunststofffenster; Paneele, Kompaktplatten und Schaumplatten; Fußbodenbeläge; Kabelmassen.

Die folgende Tabelle stellt die verschiedenen Formen der Anwendungen von Kupfer, Blei und bleistabilisiertem PVC in Gebäuden dar .

**Tabelle 6-34: Einsatzgebiete von Kupfer, Blei und bleistabilisiertem PVC in Gebäuden**

	<b>Kupfer</b>	<b>Blei</b>	<b>Bleistabilisiertes PVC</b>
Sanitär-einrichtungen	Trinkwasserrohre, Armaturen	Wasserrohre im Alt-bau, Lote	Wasserrohre (Trink-, Re-gen- und Abwasser)
Heizung und So-larthermie	Rohre, Fittings, Wärme-tauscher Armaturen,	bleihaltige Lote	
Kabel	Leitmaterial f. Strom-/ TK-Kabel		Kabelkanäle, Kabelisolie-rung
Dächer	Kupferdächer	Bleidächer, Hartlote	
Profile	Dachrinnen, Fallrohre, Bodenbelagsschienen		Fensterprofile, Bauprofile
Dachabdichtungen	Dachverkleidungen	Dachgauben, Kehlen und Dachfenster	u.U. bleistabilisierte Dich-tungsbahnen:
Tapeten			PVC-Tapete
Bodenbeläge			vorwiegend Ba- und Zn-Verbindungen (AGPU 97)
dekorative Zwecke	Verkleidungen, Lampen; Einfassungen, Profile	Glaseinfassungen	
Sonstige Legierun-gen	Beschläge, Schlösser, Geländer etc		

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

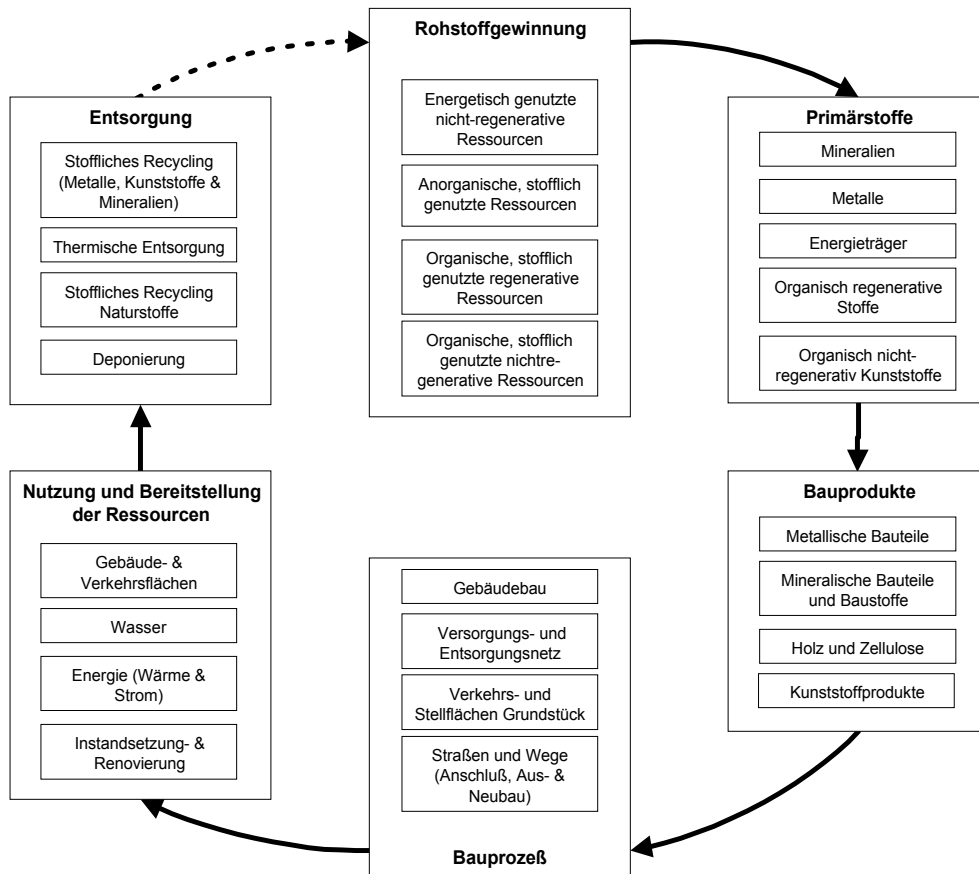
Aufgrund der besonderen Eigenschaften von PVC und den enthaltenen Blei-Stabilisatoren wird PVC als eigenständiges Handlungsfeld im Kapitel 6.7 dargestellt.

<sup>171</sup> Als Alternativen stehen gewellte Profile aus Kunststoffen zur Verfügung, die jedoch zumindest bei Dachgauben häufig aus ästhetischen Gründen nicht eingesetzt werden.

## 6.6.2 Stoffströme

Folgende Abbildung zeigt schematisch den Lebenszyklus eines Gebäudes:

Abbildung 6-17: Lebenszyklus eines Gebäudes



Quelle: IZT, FWI 2001.

Die Analyse der Blei- und Kupferströme für eine nachhaltige Bestandbewirtschaftung fokussiert auf die Phasen des Gebäudebaus, die Nutzungsphase und die Entsorgungsphase.

### Kupfer in Gebäuden

#### Produktionsphase

Der Bausektor ist ein bedeutender Abnehmer von Kupferprodukten. Schätzungsweise 22% werden für den Baubereich verwendet (Arpaci 2000, DKI 97). Dies entspricht – bei gleichbleibender Verwendungsstruktur - ca. 286.000 t Kupfer die im Jahre 2000 im Baubereich eingesetzt worden sind. Unberücksichtigt bleibt dabei der Kupfereinsatz für die Gebäudeverkabelung, die sich im Jahre 1999 auf 183.000 t belief (ECI 2000). In der Halbzeugproduktion sind außenhandelsbereinigt im Jahr 1999 insgesamt 172.000 t Cu in die inländische Marktversorgung mit Rohren geflossen (BAW 1999). Diese Größe beinhaltet jedoch auch den Industrie- und Anlagenbau. Der Stofffluss durch die Errichtung von Wohn- und Gewerbegebäuden sowie deren notwendige äußere Erschließung ist nur größenmäßig zu beziffern, da die zu bilanzierenden Produkte wie Rohre und Kabel auch Anwendung außerhalb von Gebäuden finden. Insgesamt verbraucht der Gebäudebereich allein durch Verkabelung, Sanitär- und Heizungsinstallationen, Dach- und Fassadenbereich, Telekommunikationseinrichtungen sowie Legierungsanwendungen

im Trockenbau und Inneneinrichtung Kupfermengen, die zwischen 400.000 t und 500.000 t jährlich liegen.

In der **Gebäudeverkabelung** kommt fast ausschließlich Kupfer als Leitmaterial zum Einsatz, nur in Frankreich und dem Gebiet der früheren DDR hat Aluminium einen signifikanten Anteil. Deutschland war 1999 für 24 % des Kupfergebrauchs für die Gebäudeverkabelung in Europa verantwortlich. Insgesamt wurden 1999 in Westeuropa 761.000 t Kupfer für Gebäudekabel eingesetzt. Daraus ergibt sich eine Kupfermenge von 182.640 t für die Gebäudeverkabelung in Deutschland. Bezogen auf den gesamten Kupfereinsatz für Kabel in Höhe von 275.473 t (ZVEI 2000b) entspricht dies einem Anteil von 66,3 Gew.-%. Zwischen 1990 und 1999 ist die Nutzungsintensität von Kupfer zur Gebäudeverkabelung um durchschnittlich ein Prozent gewachsen.<sup>172</sup> 1999 betrug die Nutzungsintensität in Europa 1,01 kg/1000 € (ECI 2000, S. 5). Bei der Modernisierung von Nicht-Wohngebäuden ist die eingesetzte Kabelmenge pro Produktionswert am höchsten, gefolgt vom Nicht-Wohngebäude-Neubau. Die Renovierung von Wohngebäuden ist weniger kabelintensiv, gefolgt von Wohngebäude-Neubau. Im Wohngebäudesektor steigt vor allem der Leitungslänge pro Gebäude, weil die Stromkreise und elektrischen Output-Schnittstellen zunehmen. Im kommerziellen Sektor bestehen ähnliche Verhältnisse. Die Trends zu lower power loading und elektronischer Fernsteuerung wirken einem vermehrten Kupfereinsatz jedoch entgegen (ECI 2000, S. 6).

Für den Bereich der **Kupferrohre** im Heizungsneubau, ohne die Trinkwasserversorgung, wird im folgenden die Kupfermasse abgeschätzt. Ausgewertet wurden die Planungsunterlagen für ein typisches Berliner Mehrfamilienhaus mit Vorderhaus, Seitenflügeln und Quergebäuden mit insgesamt 25 Wohneinheiten mit 1 bis 4 Zimmern. Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die abgeschätzten verwendeten Kupfermassen.

**Tabelle 6-35: Abschätzung des Kupferbedarfs für die Heizungsinstallation in einem Mehrfamilienhaus**

Rohrquerschnitt [mm]	Rohrlängen [m] <sup>a)</sup>	Bezug [kg Cu/m Rohr]	Cu Verbrauch [kg]
15	350	0,391	136,9
18	224	0,475	106,4
22	224	0,587	131,5
28	35	0,755	26,4
35	60	1,405	84,3
42	85	1,699	144,4
54	25	2,9	72,5
Summe			702,4

Quelle: Interview mit Frau Müller (Energieseminar) 2001; eigene Berechnungen.

Anmerkung: a) ohne Berücksichtigung von Fittings, Armaturen und Wärmetauschern.

Für die Trinkwasserversorgung wurden im Jahr 2000 ca. 80 Mio. Meter Kupferrohr verlegt. Dies entspricht einer Kupfermasse von ca. 50.000 t (KRV 2000; eigene Berechnungen).

<sup>172</sup> Die Nutzungsintensität ist definiert als Quotient des Kupfermenge für die Gebäudeverkabelung zum gesamten Gebäudemarktvolumen.



Im **Dach- und Fassadenbereich** sind im Jahre 2000 rund 40.000 t Kupfer eingesetzt worden (Hullmann et al. 2001). Dies entspricht bei einer durchschnittlichen Blechstärke von 0,65 mm einer Fläche von ca. 7,1 Mio m<sup>2</sup>. Die Kupfermasse verteilt sich gemäß folgender Tabelle auf die unterschiedlichen Außenanwendungen im Gebäudebereich.

**Tabelle 6-36: Verteilung des Einsatzes von Kupfer im Außenbereich von Gebäuden in Deutschland**

	Anteil [%]	Kupfer [t]	Fläche[m <sup>2</sup> ]
Dachrinnen und Fallrohre	50%	20.000	3.570.000
Dachabdeckungen	35%	14.000	2.420.000
Fassaden	10%	4.000	600.000
Innenanwendungen	5%	2.000	500.000
Summe	100%	40.000	7.090.000

Quelle: Hullmann et al. 2001 ; Daten für das Jahr 2000.

Ausgehend von der branchenspezifischen Verwendungsstruktur von Kupfer wurden im Jahr 1999 insgesamt 22 % der nationalen Kupferproduktion in der Bauindustrie abgesetzt (DKI 2000). Dies entspricht einer Menge von ca. 286.000 t Kupfer. Zählt man die Kupfermenge aus der Gebäudeverkabelung in Höhe von 183.000 t/a hinzu (ECI 2000), so ergibt sich ein jährlicher Kupferstrom von rund 470.000 t in Gebäude.

#### ***Nutzungsphase***

Über den Bestand an Kupfer in den Gebäuden liegen voneinander abweichende Schätzungen vor. Nach Obernosterer (1998) benötigen Einfamilienhäuser ca. 65 kg Kupfer zur äußeren und inneren Leitungserschließung (davon 35 kg zur inneren Erschließung), Mehrfamilienhäuser hingegen nur ca. 24 kg Kupfer (davon 20 kg zur inneren Erschließung). Nimmt man diese Schätzungen als Grundlage für den Bestand von ca. 8 Mio. Einfamilienhäusern sowie ca. 19 Mio. Wohnungen (Statistisches Bundesamt 1999), so bildet allein die Erschließung ein **Lager von ca. 1 Million t Kupfer**.

Im Gegensatz dazu steht eine von der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ zum Thema der Stoffflüsse im Bausektor in Auftrag gegebene Studie, die das Kupferlager im Bestand der Wohn- und Nichtwohngebäude (Lager, Fabriken, Werkstätten, Hochschulen, Museen, Krankenhäuser etc.) auf ca. 350.000 t Kupfer schätzt. Auch wenn hierbei die äußere Leitungserschließung nicht berücksichtigt ist, erscheint diese Schätzung insgesamt erheblich zu niedrig.

Gemäß der vorangegangenen Schätzungen sind allein 1999 ca. 470.000 t Kupfer für die Gebäudeverkabelung, für den Dach und Fassadenbereich sowie für Sanitär- und Heizanlagen, verwendet worden. Mit 40.000 t nimmt der Fassaden- und Dachbereich dabei lediglich 8,5 % ein. Für die Jahre 1950 bis 2000 sind nur für diesen Bereich 888.000 t Kupfer verbaut worden (Hullmann et al. 2001). Legt man für diesen Zeitraum die obige aktuelle Verwendungsverteilung im Baubereich zugrunde so ergibt sich ein Bestandslager von 10,5 Mio. t Kupfer, das in den Jahren 1950 bis 2000 aufgebaut wurde.

In der Nutzungsphase von Gebäuden ist die stoffliche Emission von Bedeutung. Der Abtrag von Kupfer aus Dächern und Fassaden - insbesondere durch saures Regenwasser und den Eintrag über das Oberflächenwasser in aquatische und terrestrische Ökosysteme - stellt zwar weniger

ein relevanten Masseverlust dar, ist aber von hoher ökotoxikologischer Bedeutung. Der Massenabtrag beläuft sich auf ca. 90 t Kupfer pro Jahr (Hullmann et al. 2001).

### ***Abfallaufkommen***

Über den Output in Form von dem Recycling zugeführten Kupfer aus dem Gebäudeabbruch liegen keine Daten vor. Die Enquete-Studie kommt jedoch zum Schluss, dass „die gesamten Recycling- und Weiterverwendungsanteile heute noch sehr klein [sind]“ und die weitaus größten Mengen auf die Bauschuttdeponie verbracht werden (Enquete 1996). Prinzipiell begünstigen kompakte Anwendungen und die Zugänglichkeit im Rückbauprozess die separate Demontage und Sammlung sowie die Einschleusung in die Verwertungspfade von Kupfer. Aus diesem Zusammenhang wird plausibel, dass die Recyclingraten von Dächern und Fassaden sehr hoch sind. In der Literatur werden sie für Zink aus dem Dachbereich mit 80 bis 90 % angegeben (Rhein-zink 2000). Bei einem um den Faktor 1,5 bis 2,5 höheren gewichtsspezifischen Erlös für Altkupfer im Schrotthandel ist von ähnlichen bis höheren Recyclingraten für Kupferdächer auszugehen.

Für Kupferrohre im Installationsbereich ist nicht von einer weit verbreiteten separaten Erfassung auszugehen, denn da die Demontage per Hand erfolgt, stehen Zeit und Lohnkosten dem entgegen. Jedoch kann Rohrmaterial, sofern es nach dem Abriss noch hinreichende Längen (ca. 1 m) aufweist, gut in einer Bauschuttzubereitung separiert werden.

Hinsichtlich der Gebäudeverkabelung ist von einem überwiegenden Verbleib in den Baurestmassen und einer anschließenden Deponierung auszugehen. Aufgrund der überwiegenden Kabelführung unter Putz sind die Kupferfrachten vollständig mineralisch eingeschlossen und Bestandteil des Wandaufbaus und somit nicht direkt zugänglich. Eine Demontage, separate Erfassung und Einschleusung in die stofflichen Verwertungspfade erfolgt nur in geringerem Ausmaß. Lediglich im Bereich großer Kabelquerschnitte, wie in Steigleitungen oder Kabelsträngen, kann eine Demontage und anschließende Verwertung nicht ausgeschlossen werden. Da sich eine Separierung in der Bauschuttzubereitung aufgrund der Flexibilität des Materials verfahrenstechnisch wesentlich schwerer gestaltet, ist von einer überwiegenden Deponierung von Kabeln mit den Baurestmassen auszugehen.

### **Blei in Gebäuden**

#### ***Produktionsphase***

Die Halbzeugherstellung erfolgt überwiegend in mittelständischen Metallbe- und -verarbeitungsbetrieben, bevor die Halbzeuge im Maschinen- und Anlagenbau oder Baugewerbe weiterverarbeitet werden. 1998 wurden nach Angaben der Wirtschaftsvereinigung Metalle etwa 53.000 t Halbzeug aus Blei und Bleilegierungen in Deutschland produziert, wovon 27.000 t in den Export gingen. Die Einfuhr betrug 6.000 t. Ohne Berücksichtigung von Bestandslageränderungen beträgt die Marktversorgung damit 32.000 t Bleihalbzeug.<sup>173</sup> Der Anteil des Baugewerbes ist anhand des vorliegenden statistischen Materials nicht ermittelbar.

Röhr Stolberg verarbeite in Deutschland im Jahr 2000 ca. 25.000 t Blei. Davon werden etwa 14.000 t Blei für den Dach- und Fassadenbereich eingesetzt. Die Exportquote in diesem Bereich liegt bei ca. 60 %, woraus ein Verbleib von etwa 6.000 t/a resultiert.<sup>174</sup>

---

<sup>173</sup> Vgl. [www.ne-metalnet.de/politik/metallstat\\_1998/](http://www.ne-metalnet.de/politik/metallstat_1998/).

<sup>174</sup> Interview mit Herrn Köhler (Fa. Röhr-Stolberg) 2001.

Pro Einfamilienhaus mit einer Dachgaube und einem Schornstein werden ca. 170 kg Bleiabdeckung benötigt.<sup>175</sup>

### ***Nutzungsphase***

Die Wasserversorgungsstränge vom Wasserwerk zum Hausanschluss sind in Deutschland inzwischen vorwiegend bleifrei. Bleirohre werden zwar nicht mehr eingebaut, in zahlreichen Altbauten befindet sich jedoch ein insgesamt erheblicher Bestand an Bleirohren, die, einmal ausgebaut, leicht wiederverwertet werden können. Es obliegt dem Besitzer des Gebäudes, bleihaltige Trinkwasserrohre oder (-teile) auszubauen und dem Recycling zuzuführen. Etwa 10 Prozent der westdeutschen Haushalte haben noch Bleirohre, in der ehemaligen DDR dürfte diese Zahl deutlich höher liegen.<sup>176</sup>

Walzblei wird für Anschlüsse von Dachgauben, Kaminen und Mauerwerk sowie Abschlüsse von Traufen und Rinnen eingesetzt. Daneben findet auch zinnplattiertes Blei und farbbeschichtetes Blei (Markennamen: Saturnblei BleiPlus, bleiCOLOR, Flexmetal COLOR) Anwendung. Auch als komplette Bleieindeckungen auf Gauben, Erkern oder Kuppeln sowie als Dachabdeckung und für Türme findet Blei im Bauwesen Verwendung. Es dient dabei als Verkleidungs- (z.B. Wandanschlüsse) und Isoliermaterial, aber auch der Schalldämmung von Fassaden. Bleifolienkaschierte Gipsplatten werden zur Auskleidung von Innenräumen benutzt. Bleibleche wurden vor allem zur Abdichtung von Flachdächern eingesetzt. Auch Bleidächer sind nicht vollständig korrosionssicher. Saurer Regen kann zum Herauslösen von Bleiverbindungen und damit einem Materialschwund führen.

Die Korrosion von Bleidächern und Schutzanstrichen führt zum Eintrag von Blei in die Umwelt. Alte Lackanstriche können Bleiweiß als Pigment enthalten, alte Rostschutzanstriche können aus bleihaltigem Mennige bestehen.

### ***Abfallaufkommen***

Über die jährlich anfallenden Bleimengen aus dem Hochbau liegen keine Angaben vor. Wird bleihaltiges Halbzeug demontiert, so ist eine Abnahme durch Metallhütten in der Regel gesichert. Bleirohre und Bleibleche z.B. können ggf. nach Zerkleinerung und Reinigung direkt wieder eingeschmolzen werden. Bleifolien und -bleche werden aus dem Baubereich nach Auffassung von der Fa. Röhr-Stolberg fast vollständig wiedergewonnen und an Sekundärhütten geliefert. Der Anteil des Sekundärbleis auf dem Baumarkt liegt bei ca. 65 %.<sup>177</sup> Der Umfang des Materialschwundes an Blei beim Abriss von Gebäuden ist nicht bekannt. Bleihaltiger Bauschutt gilt als Sondermüll.

### **Hochbau**

Blei und Kupfer tragen nur wenig zur Gesamtmasse der Stoffströme im Hochbau bei. Der Verbleib blei- und kupferhaltiger Produkte hängt deshalb in hohem Maße von der Hauptsteuerungsgröße mineralische Baustoffe ab.

#### *Input und Bestand*

Die Angaben über die Bestandslager und Stoffströme im Gebäudebereich differieren in der Literatur sehr stark. Kohler schätzt das gesamte Stofflager in Form von Gebäuden auf ca. 10 Mrd. t

---

<sup>175</sup> Interview mit Herrn Siepenkort (Klempner) 2001.

<sup>176</sup> taz 13.08.1997.

<sup>177</sup> Interview mit Herrn Köhler (Fa. Röhr-Stolberg) 2001.

(Wohn- und Nichtwohngebäude, KOHLER 1999), wohingegen das Öko-Institut die Masse von 18 Mrd. t für den Hoch- und Tiefbau ermittelt hat (EBERLE 1996). Die mangelhafte statistische Erfassung des Recyclings und der Produktion von Recyclingbaustoffen erschwert eine exakte Bestimmung der Stoffflüsse. Kohler (ITAS – Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse) und Paschen (Ifib – Institut für industrielle Bauproduktion) haben dennoch anhand zweier verschiedener Methoden Abschätzungen vorgenommen.<sup>178</sup> Die Ergebnisse der beiden Untersuchungen sind in der nachfolgenden Tabelle mit Bezug auf das Jahr 1991 für die Alten Bundesländer aufgeführt:

**Tabelle 6-37: Materialbedarf im Hoch- und Ausbau in Deutschland**

	<b>Stoffstromanalyse (Top-Down/ITAS)</b>	<b>Lebenszyklusanalyse (Bottom-up/ifib)</b>
Material-Input	314 Mio. t	141 Mio. t
Mineralisches (Sand, Stein, Beton, Mörtel)	327,4 Mio. t	120,5 Mio. t
Holz	10,9 Mio. t	8,0 Mio. t
Metalle	7,6 Mio. t	2,5 Mio. t
Kunststoffe	1,8 Mio. t	1,8 Mio. t
Glas	0,5 Mio. t	0,5 Mio. t
Material-Output	32 Mio. t	69 Mio. t

Quelle: ITAS, Ifib 1998 ; zitiert nach ENQUETE 1998 FÜR DAS BEZUGSJAHR 1991

Die Ergebnisse der beiden Berechnungsmethoden aus der Studie weisen zum Teil große Differenzen auf. Übereinstimmend ist jedoch, dass der metallische Anteil mit 2,4 bzw. 1,8 % im Vergleich zur überwiegend mineralischen Umgebungsmatrix sehr gering ausfällt.

Folgende Tendenzen sind bei den Stoffströmen im Handlungsfeld Gebäude absehbar:

- Charakteristisch ist der stetige Anstieg des Materiallagers im Gebäudebestand. Nach Schätzung des ITAS wächst er um mehr als 250 Mio. t und nach Ifib um mehr als 70 Mio. t pro Jahr.
- Das Stofflager wird bis zum Jahre 2010 nach Kohler und Paschen auf ca. 11 Mrd. t steigen. Danach wird es sinken, da heutzutage nicht mehr so kompakt gebaut wird wie früher.
- Nach Schätzung des Ifib werden sich die Baustoffströme des Hochbaus von 140 Mio. t im Jahre 1991 auf 150 Mio. t in 2000 steigern. Nach 2010 soll es zu einem deutlichen Rückgang der Stoffströme insgesamt kommen.
- Der Output an Baurestmassen des Hochbaus wird von ca. 70 Mio. t (1991) auf mehr als 90 Mio. t (2010-2020) steigen.

### **Nachnutzungsphase**

Gemäß der Technischen Anleitung Siedlungsabfall (TASi) lassen sich die folgenden Bauabfallarten – sofern sie nicht schadstoffbelastet sind<sup>179</sup> – unterscheiden:

<sup>178</sup> Zum einen wurde in einem Top-Down-Ansatz eine Stoffstromanalyse durchgeführt (ITAS). Dieser Stoffstromanalyse lagen die direkten und indirekten (Bereitstellung von Energie und Dienstleistungen) Stoff- und Energieströme zugrunde. Die Emissionen der Bauwirtschaft wurden aus den makroökonomischen Daten des Statistisches Bundesamtes und den Emissionskoeffizienten des Umweltbundesamtes abgeschätzt. Zum anderen wurde eine Lebenszyklusanalyse als Bottom-Up-Ansatz durchgeführt (Ifib). Hierbei wurde eine detaillierte Prozesskettenanalyse (Vorstufen-Energiebereitstellung, Baustoffherstellung, Bau- und Erneuerungsprozesse, Nutzungsprozesse sowie Entsorgungsprozesse) durchgeführt.

<sup>179</sup> Belastetes Material ist vor allem dadurch gekennzeichnet, dass es wassergefährdende Stoffe enthält, die herausgewaschen werden können (z.B. lösliche Schwermetalle, Öle, teerhaltige Stoffe). Weiterhin kann belastetes Material durch spezifische Schadstoffe entstehen wie z.B. Asbest, Holzschutzmittel, PCB-haltige Dichtungsmaterialien etc.

- **Bodenaushub:** nicht kontaminiertes natürlich gewachsenes oder bereits verwendetes Erd- oder Felsmaterial (Mutterboden, Kies, Sand, Lehm, Steine, Fels)
- **Straßenaufbruch:** mineralische Stoffe, die hydraulisch mit Bitumen oder Teer gebunden oder ungebunden sind und im Straßenbau verwendet werden können (Asphalt, Teer, Beton, Sand, Kies, Schotter u.ä.)
- **Bauschutt:** mineralische Stoffe aus Bautätigkeiten (Beton, Kalksandstein, Mörtel, Ziegel, Gips, Fliesen, Sand u.ä.) auch mit geringfügigen Fremdanteilen (Holz, Metalle, Pappe, Papier und Kunststoffe)
- **Baustellenabfälle:** nicht-mineralische Stoffe aus Bautätigkeiten (Metalle, Holz, Farben, Kunststoffe, Papier, Pappe, Dämmstoffe, Verschnittmaterial, Transportbehältnisse) auch mit geringfügigen Fremdanteilen aus mineralischen Bestandteilen.

Das Bauabfallaufkommen gemäß dieser Einteilung wird sehr unterschiedlich geschätzt wie die folgende Tabelle zeigt:

**Tabelle 6-38: Verschiedene Schätzungen des Bauabfallaufkommens in Deutschland**

[Mio. t/a]	Boden- aushub	Straßen- aufbruch	Bau- schutt	Baustellen- abfälle	Zeilen- summen
Statistisches Bundesamt 1990 (ABL)	99,2	10,2	19,4	1,1	129,9
Statistisches Bundesamt 1990 (BRD)	103,4	11,1	26,1	1,3	141,9
Kohler/BMU 1991 (ABL)	167,9	21,4	34,1	k.A.	223,4
Krass 1993 (BRD)	k.A.	23,0	37,0	15,0	75,0
Statistisches Bundesamt 1993 (BRD)	103,4	11,6	27,4	2,0	144,4
Kohler 1992 (BRD)	215,0	26,0	30,0	14,0	285,0
Krass 1995 (BRD)	k.A.	24,0	46,0	12,0	82,0

Quelle: Zitiert nach BT-DRS. 13/7884; ENQUETE 1998

Die Abweichungen beruhen auf Ungenauigkeiten und Unterschieden in den Erhebungen bei der statistischen Erfassung. Übereinstimmend ist die abnehmende Mengenrelevanz über die Stationen Bodenaushub > Straßenaufbruch > Bauschutt > Baustellenabfälle. Entlang dieser Reihung nimmt der mineralische Anteil ab während der Metallanteil und der Schadstoffanteil zunimmt. Das Aufkommen an Bauschutt und Baustellenabfällen, in denen sich Blei, Kupfer und PVC wiederfinden, schwankt regional sehr stark, was u.a. auf die Gebiets- und Wirtschaftsstruktur zurückzuführen ist, die sich in der Bauaktivität abbildet.<sup>180</sup> Die Zusammensetzung der Baustellenabfälle ist abhängig von der Art der Baumaßnahme. Die Bauschuttzusammensetzung wird neben der Art auch vom Alter des Bauwerks bestimmt. Die TASI behandelt Straßenaufbruch, Bauschutt und Baustellenabfälle gleichwertig, weshalb alle drei Baurestmassen auf Deponien der Klasse I abgelagert werden dürfen.

Der heutige **Bauschutt** stammt überwiegend aus alten Gebäuden, deren stoffliche Zusammensetzung sich von heutigen Gebäuden unterscheidet. Relativ gleichbleibend ist die Dominanz der mineralischen Fraktionen. Die sonstigen Baustoffe sind zwar seit mehr als 40 Jahren bei weniger als 10%, jedoch hat sich deren Zusammensetzung verändert. Abgenommen hat vor allem die Verwendung von Holz und Baustoffen auf Bitumenbasis, zugenommen hat hingegen die Verwendung von Dämmstoffen, Gipskarton-Ständerwänden und Kunststoffen (insbesondere PVC-Profile) (WALKER 1994).

<sup>180</sup> Im allgemeinen verursachen städtische Siedlungsstrukturen ein wesentlich höheres Aufkommen an Baustellenabfällen (100 bis 600 kg/a/Einwohner) als der ländliche Raum (30-150 kg/a/Einwohner, JAKOB 1997).

Neben der mengenmäßigen Relevanz der mineralischen Bauabfallgruppen sind vor allem **Baustellenabfälle** von ökologischer Bedeutung. JAKOB (1997) geht davon aus, dass bis zum Jahre 2000 die Baustellenabfallmenge bundesweit auf ca. 12 Mio. t steigt.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Zusammensetzung von Baustellenabfällen:

**Tabelle 6-39: Typische Zusammensetzung von Baustellenabfällen**

Kategorie	Spannbreite (%)
Mineralischer Anteil	40 - 80
Metalle	1 - 4
Holz	1 - 8
Papier und Pappe	1 - 3
Sonstiges (Dämmstoffe, Isolier-, Lichtbau-, Holzfaser- und Gipskartonplatten, bitumengebundene Baustoffe, Dachziegel und Baustahl)	10 - 30
Bauchemikalien (Zusatzmittel zur Beton-, Mörtel- und Estrichherstellung, sowie Kleb-, Dicht-, Anstrich- und Beschichtungstoffe)	1 <

Quelle: Jakob 1997.

Eine Ursache für das Entstehen von Baustellenabfällen ist der typische ‘Mengenzuschlag’, d.h. dass auf der Baustelle prinzipiell von allem etwas zuviel angesetzt oder angeliefert wird, damit nicht zuwenig Material vorhanden ist. Im Gegensatz zum fertigen Produktkauf (Automobil, Gebrauchsgegenstände), wo Mengenzuschläge aufgrund mangelhafter Kalkulation zu Wettbewerbsnachteilen führen, ist dies auf Baustellen nur von geringer Bedeutung (ANDRÄ 1994).

Die Nachnutzungsphase eines Gebäudes umfasst die Prozesse des selektiven Rückbaus, den Abriss, die Bauschuttzubereitung, die Verwertung, die Reststoffbehandlung und die Ablagerung. Für stark dissipative Anwendungen (z.B. bleihaltige Rostschutzanstriche und Farben) ist kein selektiver Rückbau möglich. Blei und Kupfer gehen ins Bauschuttrecycling und in den produzierten Baustoff und stehen einem Recycling dann nicht mehr zur Verfügung.

**Bauschutt, mineralischer Straßenaufbruch und mineralische Anteile** des Bauabfalls werden zum größten Teil deponiert. Zum einen sind insbesondere für den Bauschutt und den Straßenaufbruch bisher nur wenige Verwertungsmöglichkeiten vorhanden, und zum anderen sind diese Bauabfälle – sofern sie nicht mit anderen Stoffen vermischt und damit schadstoffbelastet sind – hinsichtlich ihre Umweltwirkungen nicht sehr problematisch. Das Umweltbundesamt schätzt, dass im Jahre 1993 bei einem Bauabfallaufkommen von ca. 143 Mio. t nur 25% der Verwertung zugeführt wurden (UBA 1997). Somit wurden die weitaus größten Mengen dieses Bauabfalls deponiert.

Auch bei den **Baustellenabfällen** liegen große Defizite hinsichtlich der Verwertung vor. Besonders problematisch ist die Möglichkeit der Vermischung verschiedener Abfälle aufgrund der Kostenstruktur der Entsorgung. Die Untersuchung von Jakob (1997) über den Verbleib ergab, dass von fast 1.3 Mio. t Baustellenabfällen ca. 700.000 t auf Hausmülldeponien verbracht wurden, 47.000 t wurden in Müllverbrennungsanlagen entsorgt, 30.000 t waren Bodenaushub und wurden auf Bauschuttdeponien abgelagert. 470.000 t wurden Entsorgungsanlagen (Sortier- und Verwertungsanlagen) zugeführt. Der weitere Verbleib nach der Entsorgung ist unbekannt (JAKOB 1997).

Bauschutt und sonstige Baurestmassen sind nach dem **Kreislaufwirtschaftsgesetz** unabhängig von ihrer Beschaffenheit als Abfall einzustufen, da der Zweck der Abriss von Gebäuden bzw. Gebäudeteilen und nicht die Gewinnung von Bauschutt ist. Selbst die getrennte Erfassung von

Kabeln, Fenstern etc. erfordert eine Einstufung als Abfall, da sie nicht wie Produkte nach bestimmten Qualitätskriterien erzeugt werden und vor ihrer wirtschaftlichen Verwendung i.d.R. einem Aufbereitungsprozess unterzogen werden. Bauschutt gilt aufgrund der überwiegend nicht verwertbaren Bestandteile als Abfall zur Beseitigung, sofern die Abfälle nicht getrennt bereitgestellt werden.

### 6.6.3 Problemlagen: Defizite, Verwertungspotenziale und Substitution

Prinzipiell gibt es zwei Wege der Rückgewinnung von Wertstoffen aus Altgebäuden: Erstens den selektiven Rückbau und zweitens die Bauschutttaufbereitung. Darüber hinaus ist die Frage des Anwendungsmusters, insbesondere nach möglichen Substituten und effizientem Materialeinsatz zu stellen, um zukünftige Probleme zu vermeiden.

#### Bauschuttrecycling oder selektiver Rückbau?

Das Bauschuttrecycling findet auf einem sehr geringen Niveau statt. Das BBR (1998) schätzt, dass die Nachfrage nach mineralischen Baustoffen von 515 Mio. t 1995 auf 730 Mio. t 2040 steigen wird. Gleichzeitig wird der Sekundärmaterialeinsatz im Hochbau von 43 Mio. t auf 145 Mio. t steigen. Derzeit liegt die **Verwertungsquote von Bauabfällen mit ca. 25%** niedrig. Verschiedene Gründe sind dafür möglich:

- Derzeit dominiert der unselektive - aber preisgünstige - Abriss mit der 'Birne', der zu einer Vermischung von verschiedenen Fraktionen, die jede für sich eine spezifische Eigenschaft hat, führt (Tragfähigkeit, Wärmeschutz, Feuchte- und Schalldämmung, ANDRÄ 1994).
- Niedrige Deponiepreise gegenüber hohen Lohnkosten für den selektiven Rückbau begünstigen die Deponierung (ANDRÄ 1994).
- Gebäude werden nicht hinsichtlich ihrer Rückbaufähigkeit oder Verwertung konstruiert, so dass vielfach nicht oder nur schwierig zu trennende Verbindungen geschaffen werden (z.B. Mörtel, Putz, Dämmstoffe).
- Die nicht-mineralischen Anteile der Baustellenabfälle können zwar bis zu 40 % der gesamten Baustellenabfälle ausmachen, zergliedern sich jedoch in sehr viele nicht-homogene Fraktionen (Holz, Kunststoffe, Metalle, Transportbehälter, Verpackungsmaterial etc.), weshalb die übliche 'Ein-Container-Sammlung' für alles Nicht-Mineralische bevorzugt wird.
- Stationäre Aufbereitungsanlagen, die mittels Trocken- und Nassaufarbeitung auch die Leichtfraktionen trennen können eine höhere Sortenreinheit bzw. eine bessere Freiheit von Störstoffen gewährleisten. Im Gegensatz zu mobilen Anlagen, die nach dem Bundesimmissionschutzgesetz genehmigt werden, unterliegen sie dem Abfallgesetz. Die Anforderungen der Genehmigung nach dem Abfallgesetz sind wesentlich höher (WALKER 1994, S.43).

Ein seltenes Beispiel für Recycling ist die Wieder- oder Weiterverwendung von Holztüren oder Beschlägen aus der Altbaumodernisierung, die allerdings nur marginal und eher im Kontext sozialer Initiativen zu finden ist. Eine Verwertung der Metalle (Heizkörper, Badewannen, Rohre, Fenster, Rollläden) ist sowohl bei den Baustellenabfällen als auch bei der Aufbereitung von Bauschutt durch die Abscheidung von der Eisenfraktion möglich und üblich.

Das prioritäre Problem des Recyclings im Falle des Abbruchs ist die Rückgewinnung des Kupfers aus dem Bauschutt. Aufgrund bestehender Verordnungen über die Deponiefähigkeit sowie gestaffelte Deponiegebühren für Bauschutt werden **Teilseparierungen der Materialien** weitgehend durchgeführt. Dies umfasst z. B. den selektiven Ausbau der Heizungsanlagen sowie der Türen und Fenster. Letztere können leicht recycelt werden, wobei die Beschläge dem Metallrecycling zugeführt werden. Armaturen und offenliegende Wasser- und Heizungsrohre sowie Kupferbeschläge, Dachrinnen und Kupferdächer können ebenfalls leicht vor dem Abbruch separiert werden. Aufgrund des Materialwertes ist dieser Ausbau wirtschaftlich gestaltbar. Proble-

matischer ist die **Rückgewinnung von Kupferrohren und Elektrokabeln aus dem Mauerwerk**. Kupferrohre sind stabil und groß genug, um beim Shreddern und Brechen aussortiert zu werden. Ob dies auch für Kupferkabel zutrifft, ist nach Auskunft des VDI ungewiss. Wie oben beschrieben ist jedoch der Anteil des Hochbauschutts, der einer weitergehenden Trennung unterworfen wird, insgesamt gering. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Kupfermengen prozentual im Bauschutt gering sind. Für das **Kabelrecycling** existieren funktionierende Recyclingverfahren. Kupfer aus Kabeln ist ein begehrter Rohstoff für die Sekundärkupferhütten (vgl. Kap. 6.8).

### **Substitutionsoptionen**

Die Substitution von **Kupfer** in Elektrokabeln ist z.B. durch Aluminium prinzipiell möglich, aber aufgrund der guten Verfügbarkeit von Kupfer und seines Preises derzeit wenig wahrscheinlich. Beschläge hingegen werden inzwischen nur noch selten aus Messing hergestellt, da dieses im Verhältnis zu lackierten Stählen oder Kunststoff wesentlich teurer ist. Für Armaturen wird Messing insbesondere aufgrund seiner hygienischen Eigenschaften weiterhin dominierend bleiben. Heizungsrohre können aufgrund ihrer spezifischen Anforderungen auch aus preisgünstigen Stählen hergestellt werden. Allerdings ist ihre Endmontage aufgrund der Schweißverfahren aufwendiger als bei Kupferrohren. Seit einigen Jahren gibt es vor allem im preiswerten Fertighausbau und bei nachträglichen Sanitär-Ausbaumaßnahmen PE-Wasserrohre als Alternative zum teuren Kupferrohr. Die Kupferverrohrung im Trinkwasserbereich erfährt eine erhebliche Verdrängung durch Kunststoffrohre (PVC, PP, PE) und im geringen Umfang auch durch Edelstahl. So sank in der Trinkwasserhausinstallation der Kupferanteil von 115 Mio. verlegten Metern im Jahre 1993 auf 80 Mio. Meter im Jahr 2000 (KRV 2000).

Für nahezu alle **Bleianwendungen** im Gebäude gibt es Substitute auf dem Markt: Wasserrohre (PVC, PP, PE, Kupfer), Dächer (Kupfer, Zink, Aluminium, Stahl, Holz, Ziegel), Verkleidungen (Zink, Aluminium). Allerdings lassen sie sich überwiegend schlechter verarbeiten und sind in der Nettokostenbilanz teilweise etwas teurer.

### **Planung einer nachhaltigen Gebäudeverkabelung**

Die kostengünstige Wiedergewinnung von Kabeln aus dem Mauerwerk scheitert in der Regel an dem hohen Rückholaufwand für zahlreiche einzelne ungebündelte Kabel und teilweise deren unbekannte Lage. Die Überputzverlegung ist aufgrund ästhetischer Anforderungen kein erfolgversprechender Weg. Eine **Verlegung von Kabeln in Kabelkanälen** unter Putz sowie die Verlegung von Kabeln und Rohren (Steigleitungen) in einem separaten Hauptstrang zur Wohnung kann die Recyclingfähigkeit über Jahrzehnte hinweg erheblich verbessern. Im Modernisierungsbereich ist eine Kabelverlegung in Kanälen aufgrund des Aufwandes dagegen gänzlich unrealistisch.

Erhebliche Potentiale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung liegen in der **materialsparenden Planung** und Verlegung der Verkabelung. Die erreichbaren Materialeinsparungen werden mit bis zu 50 % angegeben.<sup>181</sup> Im direkten Vergleich verschiedener Verlegearchitekturen bei identischen Leistungsinstallationen wurden Unterschiede in der Materialintensität von bis zu 200 % festgestellt (Rudolphi o.J.). Sogenannte Ringarchitekturen- bei denen Stromkreisführungen (Ring) anstatt Einzelleitungen zum Sicherungskasten (Sternarchitektur) verlegt werden – führen neben der Materialeinsparung auch zu geringeren elektrischen Verlustleistungen.

---

<sup>181</sup> Interview mit Herrn Tenambergen (Kabelinstallateur) 2001.



Hemmnis bei der Realisierung solcher effizienten Verlegestrukturen ist allerdings der erhöhte Planungsaufwand, der sich besonders in der mittelständischen Installationsbranche nachteilig auf die Wettbewerbsfähigkeit auswirkt. Um einem erhöhten Ausfallrisiko von Ringarchitekturen zu begegnen, ist ferner die genaue Kenntnis der zukünftigen Nutzungsstruktur insbesondere von Hochleistungsverbrauchern wie Elektroherden notwendig.

### Fazit

Zusammenfassend bestehen folgende Problemlagen im Handlungsfeld Gebäude:

- **Informationsdefizite:** Über weite Bereiche liegen nur unzureichende oder gar keine belastbaren quantitativen Daten vor. Dies gilt für den Inputstrom von Kupfer und Blei in Gebäude, die Verwendungsmuster und deren Auswahlprozesse, für die metallischen Massenveränderungen während der Gebäudenutzung, für den Ablauf der Abriss- bzw. Rückbauprozesse sowie für die selektive Erfassung und die anschließende Aufbereitung, Verwertung und Beseitigung bzw. Deponierung der anfallenden Baurestmassen.
- **Verwertungsdefizite:** Infolge der geringen Metallgehalte innerhalb einer überwiegend mineralischen Umgebung ist die Rückgewinnung insbesondere von unmagnetischen Nichteisenmetallen wie Kupfer und Blei aus dem Bauschutt außerordentlich aufwendig. Dies hat eine Verschleppung der Kupfer- und Bleifrachten auf Deponien zur Folge.
- **Mangelhafter selektiver Rückbau:** Häufig fehlen die konstruktiven Voraussetzungen für eine effiziente Rückholung insbesondere von Kupferrohren und -kabeln in der Zukunft. Informationen über Art und Menge, Lage und Hinweise zur Rückholung fehlen ebenso wie effiziente Planungsinstrumente für einen koordinierten selektiven Rückbau und die damit verbundene Logistik.
- **Materialaufwendige Verkabelungsarchitekturen:** Durch Ringverlegungen der Stromkreisführung sind eine erhebliche Materialersparnis sowie reduzierte elektrische Leitungsverluste möglich. Diese werden jedoch aufgrund von Informationsdefiziten und der aufwendigeren Planung nicht erschlossen.

## 6.6.4 Initiativen und Instrumente für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung

### Initiativen und Instrumente

Die wesentlichen Defizite sind zum einen das mangelhafte Bauschuttrecycling und zum anderen die unvollkommene recycling- bzw. rückbaugerechte Konstruktion von Gebäuden. Im November 1996 hat das Baugewerbe (Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau - **KWTB**) eine Selbstverpflichtung gegenüber der Bundesregierung abgegeben, um einer rechtlichen Regelung zuvorzukommen. Darin ist als Ziel formuliert, dass die Menge der abgelagerten Bauabfälle bis zum Jahre 2005 auf 50 % der Menge von 1995 zu verringern ist. „Belastete oder schadstoffverunreinigte Materialgruppen sind getrennt zu erfassen ...“. Derzeit liegen die Verwertungsquoten zwischen 25 und 30%, wobei jedoch die Art der „Verwertung“ nicht eindeutig bestimmbar ist (Enquete 1996). Dieses Ziel soll zum einen durch eine vermehrte Sortierung der Baustellenabfälle und zum anderen durch einen erhöhten Einsatz von Recyclingbaustoffen erreicht werden. Für das Metallrecycling ist hierbei vor allem die Sortierung von Bedeutung, d. h. der primäre selektive Abbruch und die Bauabfallsortierung auf der Baustelle, sowie der anschließende Aufbruch des Gesteinsmaterials und die Separierung von Elektro- und Telekommunikationsleitungen sowie von Blei- und Kupferrohren. Die ersten Monitoringberichte (2000 und 2001) bestätigen die tatsächliche Verringerung der deponierten Baurestmassen, ohne jedoch spezifisch auf Blei, Kupfer und andere Metalle einzugehen.

Der Gebäudebereich gewinnt in der umweltwissenschaftlichen und -politischen Diskussion zunehmend an Bedeutung. Trotz langer Untersuchungstätigkeit, industrieller Selbstverpflichtungen, staatlicher Zielvorgaben und der traditionell engen Verbindungen der verschiedenen

industriellen Baugewerbe konnte die Problematik von Baurestmassen nicht ausreichend gelöst werden. Einerseits wurden zu den Themen Nachhaltiges Bauen und Wohnen in den letzten Jahren zahlreiche Studien unter neuem Blickwinkel durchgeführt (vgl. u.a. IZT, FWI 2001), andererseits ist vor allem auch auf EU-Ebene die Bauabfallproblematik in den Fokus geraten. In Deutschland werden 83 % aller Bauabfälle deponiert. Deutschland nimmt von den 15 EU-Mitgliedstaaten bezüglich der Recyclingrate den 8. Platz ein.<sup>182</sup>

### 6.6.5 Handlungsbedarf für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung

Aus der Analyse der Stoffströme und den spezifischen Problemlagen für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei besteht instrumenteller Handlungsbedarf vor allem in folgenden Bereichen:

#### Materialplanung

Die Beurteilung der Materialplanung bei Bauaktivitäten ist einer umfassenden Revision zu unterziehen. Dies betrifft die Planungs- und Ausführungsvorschriften bei der Herstellung eines Bauwerkes. Wie bei anderen Fachplanungen ist im Bauprozess eine kritische Überprüfung der Planung selbst nicht vorgesehen, solange sie den DIN und VDE Bestimmungen entsprechen (Rudolphi in SBB o.J.). Aufgrund der grundsätzlichen Praxis der Überdimensionierung bei der Planung der benötigten Baumaterialien ist ein Interessenskonflikt zu vermuten. So steht der Materialwert und somit die verbaute Materialmasse in einem direkten Zusammenhang mit den Erlösen aus der Planungsleistung. Durch effiziente Verlegungsarchitekturen können erhebliche stoffliche Einsparungen bei der Installation (Kabel und Leitungen) und energetische Einsparungen im Betrieb realisiert werden (Strom). Die BEWAG in Berlin bezuschusst effiziente Kabelverlegungsarchitekturen, was allerdings noch nicht der Regelfall ist. **Akteurskooperationen** zur Generierung von win-win-Situationen sind breiter bekannt zu machen und hinsichtlich ihrer Hemmnisse und Erfolgsfaktoren zu untersuchen.

#### Wege zum bleifreien Haus

Für Blei gibt es bezüglich der vorhandenen Substitute, nahezu keine unumgängliche Anwendung. Ausnahme sind nachträgliche Schallschutzmaßnahmen bei geringem Platzangebot. Die Vermeidung sogenannter Cross-contamination durch gefährliche Materialien - zu denen Blei zählt - in die Baurestmassen ist erklärtes Ziel der Europäischen Kommission (91/689/EEC). Im **Danish Lead Ban** sind zahlreiche Bleianwendungen im Gebäudebereich einem Import- und Vermarktungsverbot unterworfen: Dachverkleidungen und Dächer, Lötlegierungen für das Verplomben und sanitäre Anwendungen, ... Im Rahmen einer europäischen Gesamtstrategie könnte die Vision eines aus toxikologischen Gründen bleifreien Hauses mittelbar auch zu nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung beitragen, indem die nicht wiedergewinnbaren Bleiverwendungen gar nicht erst in den Bestand gehen. Ob dabei eher weiche Instrumente wie Roadmaps oder ordnungsrechtliche Verfügungen zielführend und angemessen sind, kann auf der jetzigen Wissensbasis nicht beurteilt werden. Da es für Bleche, Folien, Dächer, Rohre und Verkleidungen aus Blei und Kupfer zahlreiche Substitute gibt, ist auch eine generelle Verringerung des Einsatzes knapper nicht erneuerbarer Ressourcen im Bauwesen durch eine **Lizenzpflicht** denkbar. Diese müsste in einem Gesamtkonzept für alle knappen nicht erneuerbaren Baustoffe (z.B. auch Zink) ausgestaltet werden. Durch Verknappung der Lizenzen könnte der Einsatz der geregelten Materialien stufenweise zurückgefahren werden, ohne dass diese an bestimmte Verwendungen im

<sup>182</sup> Management of Construction and Demolition Waste and their economic impacts 1999.

Baubereich gebunden sind. Zuerst würde in den Bereichen substituiert, wo kostengünstige und funktionell äquivalente Ersatzstoffe zur Verfügung stehen. Ergibt ein Monitoring, dass es keine weiteren vertretbaren Substitutionspotenziale gibt, so kann die Lizenzmenge entsprechend angepasst werden.

### **Selektiver Rückbau**

Vorbedingung für einen erfolgreichen und optimierten selektiven Rückbau sind konstruktive Voraussetzungen. Das Verlegen der Kabel und Rohre für Trinkwasser und Heizungsinstallation in kompakten Strängen, die **in separaten Kanälen und Schächten** verlaufen, könnte als Verwendungsanforderung in einer Verordnung zum Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz verankert werden. Brand et al. (2000) haben die Pflicht des Bauherrn zur Erstellung eines Stoffstromkonzeptes als positiv und realisierbar gewürdigt. Da es sich bei dem Gebäudebereich um ein Anwendungsfeld für Kupfer und Blei mit langer Lebensdauer handelt, ist die zeitliche Perspektive besonderes zu berücksichtigen. Sowohl für den Rückbauprozess mit seinen getrennt erfassten Mengen an Baurestmassen und dessen Verbleib, als auch für die Gebäude selber mit seinem Stoffinventar könnten Dokumentationspflichten den Planungs- und Rückbauprozess sowie Modernisierungen flankieren. Im Bereich der Konzepte für die optimale Demontagetiefe, zeitlicher und örtlicher Einsatzkoordination von Personal und technischen Gerät sowie Rückführungslogistik und Vermarktungskonzepte bedarf es weiterer FuE-Vorhaben. Für Blei ist insbesondere darauf zu achten, beim Rückbau keine Kontamination von Baurestmassen erfolgt. Auch bezüglich der zeitlichen und örtlichen Dynamik des Kupfer- und Bleirückflusses aus dem Gebäudebestand bestehen Informationslücken. Die Dokumentations- und Berichtspflichten sollten dahingehend gestaltet werden, dass zum einen das Stoffinventar des einzelnen Gebäudes ersichtlich ist (**Gebäudepass**), zum anderen ein Überblick über die Blei- und Kupferbestandslager auf der Makroebene möglich ist.

### **Recyclingverfahren**

Die Voraussetzung für die Formulierung von verbindlichen Rückholungs-, Verwendungs-, Verwertungs- oder Recyclingquoten ist für Kupfer aufgrund seines geringen Masseanteils in den Baurestmassen nur dann zielführend, wenn belastbare Daten über die Art und die Struktur der Bestandslager vorliegen. Grundsätzlich besitzt der Verwertungspfad von Baurestmassen **wenig Gestaltungsspielräume** für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei. In Modellvorhaben ist für verschiedene Bauschuttzubereitungsverfahren zu untersuchen, in welche Fraktionen blei- und kupferhaltige Abbruchreste und andere Metalle gehen. Darauf aufbauend könnten weitere Separierungs- und Aufbereitungsmaßnahmen konzipiert und untersucht werden. Dächer und Fassadenbleche aus Kupfer werden direkt in Umschmelz- oder Sekundärhütten eingesetzt. Für Kabel ist vorher eine Kabelzerlegung nötig. Hier existiert ein technologischer Entwicklungs- und Innovationsbedarf (z.B. Tiefkühlshreddern). Die Kabelzerlegung gewinnt in so fern darüber hinaus gehende Bedeutung als hier zunehmend Exporte zu außereuropäischen Kabelzerlegungen mit geringeren Umweltstandards (Verschmelzung) zu beobachten sind.

## **6.7 Handlungsfeld Bleistabilisatoren in PVC**

Mit etwa 15.000 t Blei in Bleistabilisatoren werden pro Jahr in Deutschland bei der PVC-Verarbeitung 4,5 % des berichteten Bleiverbrauchs eingesetzt. Bleistabilisiertes PVC wird vorwiegend in Form von Rohren, Profilen und Kabelisierungen in langlebigen Anwendungen des Hoch- und Tiefbaus eingesetzt. Einerseits sind Aktivitäten zum Alt-Produktrecycling seitens der

PVC-Branche zu verzeichnen, andererseits wird auch die Substitution von Bleistabilisatoren bzw. von PVC verfolgt.

**6.7.1 Einsatzbereiche, Materialien und Produkte**

Das thermisch instabile PVC erhält durch Stabilisatoren seine Formbarkeit und Beständigkeit. Bleistabilisatoren binden bei der Verarbeitung von PVC den entstehenden Chlorwasserstoff, woraus sich schwerlösliches Bleichlorid bildet, das fest in die PVC-Matrix eingebaut wird. Zu den vielseitigen Eigenschaften von bleistabilisiertem PVC gehören Wärme- und (UV-) Lichtbeständigkeit, gute elektrische und mechanische Eigenschaften, geringe Wasserabsorption, hoher Verarbeitungsbereich und ein gutes Kosten/Leistungsverhältnis. Die Art des zu wählenden Stabilisators ist anwendungsabhängig. Als Bleistabilisatoren werden Bleisulfat, -phosphit, -phthalat und -fumarat sowie -stearat verwendet (UBA 1999).

Bleiphthalate und -fumarate tragen zur Dauerwärmebeständigkeit von PVC bei. Aus Sicherheitsgründen werden bei Kabeln unter thermischen Dauerbelastungen gleichbleibende elektrische Eigenschaften gefordert. Fenster- und Bauprofile müssen hohen Dauergebrauchsanforderungen genügen. Dibasisches Bleiphosphit erhöht die Lichtstabilität. Bleistabilisiertes PVC ist für die Verwendung in Trinkwasserrohren zugelassen.

Folgende Tabelle zeigt einige typische PVC-Rezepturen.

**Tabelle 6-40: Rezepturen für PVC-Produkte mit Bleistabilisatoren**

Angaben in %	Fenster- rahmen	Kabel- adern	Kabel- mäntel	Druck- rohre	Rolladen-profile
Quelle	ISI 1992	VKE 1994	VKE 1994	VKE 1994	VKE 1994
PVC	89 <sup>a)</sup>	100	100	100	100
Stabilisatoren - tribasisches PbSO4 - neutrales Bleistearat - dibasisches Bleistearat - Stab./Gleitmittelsystem auf Basis PbSO4 - Stab./Gleitmittelsystem auf Basis Bleiphosphit - Sonstige	2     1,1	2-4 0,5-1,5	3,0	0,5-1,6 0,2-0,6 0,1-0,2	5,0

Quelle: FHG-ISI 1992; VKE 1994.

Anmerkung: a) acrylatmodifiziert.

Die Quellen für die PVC-Rezepturen sind älteren Datums. Die heutigen Stabilisatormengen liegen etwas darunter, genauere Angaben liegen jedoch nicht vor.

Bleistabilisatoren werden vorwiegend für langlebige PVC-Produkte im Baubereich wie Rohre und Fittings (Wasserrohre, drucklose Abwasserrohre), Fensterprofile, Bauprofile (Dachrinnen und Fallrohre, Türprofile, Paneele, Kompakt- und Schaumplatten), Kabelkanäle und Kabelmassen (Weich-PVC), Bodenbeläge, Dachdichtungsbahnen eingesetzt, die Verwendung für kurzlebige Produkte ist sehr gering.<sup>183</sup> Bei Dachdichtungsbahnen und Bodenbelägen spielen

<sup>183</sup> Bleistabilisatoren werden weder für PVC- Spielzeug, noch für PVC-Verpackungen mit direktem Kontakt zu Nahrung eingesetzt.

Bleistabilisatoren nur eine untergeordnete Rolle.<sup>184</sup> Zudem wird bleistabilisiertes PVC in geringeren Mengen auch im Fahrzeugbau, Maschinenbau und bei der Herstellung elektrischer und elektronischer Geräte verwendet.

### 6.7.2 Stoffströme

Die Abbildung der Bleiströme in PVC wird durch zahlreiche Überschneidungen im Bauteil- und Produktbereich erschwert. Im Bereich des Handels und der Downstreamprozesse bestehen erhebliche Informationsdefizite. Die Erfassung des PVC-Rückflusses ist aus zwei Gründen schwierig: Erstens sind die PVC-Anwendungen in Gebäuden sehr heterogen und zweitens dominieren die mineralischen Bestandteile die Stoffströme, weshalb PVC in der Fachliteratur vergleichsweise wenig Aufmerksamkeit geschenkt wird.

#### Upstream

Eine ältere Quelle nennt folgende Verwendungsstruktur von **bleihaltigen Stabilisatoren**:

**Tabelle 6-41: Verwendung von Bleistabilisatoren für PVC in Deutschland**

		Stabilisatoren [t]	Blei [t]	Pb-Gehalt [Gew.-%]	Bleistrom- anteil [%]
Hart-PVC	Rohre und Fittings	5.000	1.600	32,0	17,2
	Fensterprofile	5.500	4.000	72,7	43,0
	Bauprofile	2.800	1.900	67,9	20,4
Weich-PVC	Kabelmassen	3.000	1.800	60,0	19,4
Gesamt		16.300	9.300	57,1	100,0

Quelle: VKE 1994; Daten für 1993.

Die letzte Mengenerhebung über die Verwendung von Bleistabilisatoren in **Deutschland** stammt vom Verband Kunststoffherstellende Industrie (VKE): **15.400 t Blei** in Bleistabilisatoren wurden 1995 zu PVC-Produkten verarbeitet. Ursachen für den in der Mitte der neunziger Jahre gestiegenen Verbrauch an Bleistabilisatoren sind Verschiebungen des PVC-Marktes und die Substitution von Cadmium durch Blei. Nach Auffassung von VKE wird es seit 1995 nicht zu dramatischen Veränderungen bei der Verwendungsstruktur gekommen sein, insgesamt ist die Menge aufgrund der größeren Verarbeitungsmengen eher angestiegen.<sup>185</sup> Nach dieser Erhebung wurden die Aktivitäten auf die europäische Ebene verlagert.

Bleistabilisatoren dominieren den europäischen Markt mit etwa 77 % Marktanteil.<sup>186</sup> Der Anteil von Bleistabilisatoren am gesamten Bleiverbrauch beträgt in der EU mit **51.000 t** in 112.000 t Bleistabilisatoren etwa 3 % (EU PVC 2000, S. 7).<sup>187</sup> Die in Deutschland produzierenden Hersteller Ackros, Bärlocher und Chemson werden durch die European Lead Stabilisers Association ELSA vertreten. Insgesamt gibt es in Europa nur noch etwa ein Dutzend Hersteller von Stabilisatoren.

<sup>184</sup> Für Dichtungsbahnen werden v.a. Zinn-organische Verbindungen und Flüssig-Stabilisatoren auf Ba-Zn- oder Ca-Zn- Basis eingesetzt, Bleistabilisatoren nur selten, da die Bahnen transparent sein sollen. Fußbodenbeläge aus PVC werden häufig mit Ca/Zn- und Sn-Stabilisatoren stabilisiert, Bleistabilisatoren haben nur geringe Marktanteile (Interview mit Herrn Baunemann (VKE) 2001).

<sup>185</sup> Interview mit Herrn Baunemann (VKE) 2001.

<sup>186</sup> Vgl. [www.cefic.be/sector/profile/04-i.htm](http://www.cefic.be/sector/profile/04-i.htm), 16. September 2000.

<sup>187</sup> Daraus errechnet sich ein durchschnittlicher Bleigehalt von 45,5 Gew.-%.

**Tabelle 6-42: Verwendung von Stabilisatorsystemen für PVC in Europa**

Stabilisator-Systeme	Rohre [t]		Kabel [t]		Profile [t]	
	1998	1999	1998	1999	1998	1999
Bleistabilisatoren (mit chem. Zusätzen) <sup>a)</sup>	35.902	37.630	20.418	20.235	54.427	58.721
Cd-haltige Festkörperstabilisatoren (mit chem. Zusätzen) <sup>b)</sup>	0	0	0	0	940	202
Mischmetall-Festkörper-Stabilisatoren (mit chem. Zusätzen) <sup>c)</sup>	903	1.426	6.820	6.276	5.630	8.470
Zinn-Stabilisatoren <sup>d)</sup>	160	302	0	0	109	247

Quelle: EVCM et al. 2001.

Anmerkungen: a) für Rohre und Profile beim Bau und für Elektrokabel; b) nur für Bauprofile; c) für den Kontakt mit Lebensmitteln und für Medizinanwendungen und für alle Blei-Ersatzsysteme; d) primär für Hart-PVC-Anwendungen, auch für den Kontakt mit Lebensmitteln.

Stagniert der Einsatz von Bleistabilisatoren für Kabelmassen, so wächst er für Rohre und Profile. 1999 wurden in der EU 50 % der Bleistabilisatoren für Profile, 32 % für Rohre und 17 % für Kabelmassen eingesetzt.

Weltweit wurden 1998 nach Angaben von VKE 30 Mio. t PVC hergestellt. In Westeuropa soll die Kapazität von 6,15 Mio. t (1998) auf 6,45 Mio. t (2001) ausgeweitet werden. Der Verbrauch soll im gleichen Zeitraum von 5,65 Mio. t auf 5,9 Mio. t steigen. Sind in Westeuropa Sättigungserscheinungen zu verzeichnen, so wird vor allem in Ostasien mit zweistelligen Wachstumsraten bis 2005 gerechnet (PVCplus et al. 2/2000). Der Pro-Kopf-Verbrauch an PVC in Deutschland (80 Mio. EW) lag 1997 mit 17,8 kg über dem westeuropäischen Durchschnitt in Höhe von 14,4 kg.

**PVC-Erzeuger** in Deutschland sind EVC Deutschland GmbH (Kapazität 440.000 t)<sup>188</sup>, Solvin GmbH & Co. kg (Kapazität 340.000 t), Vestolit GmbH (Kapazität 350.000 t), Vinnolit GmbH (Kapazität 570.000 t). Etwa 50 % der Inlandsproduktion gehen in den Export und etwa derselbe Anteil des Verbrauches wird importiert, so dass sich Produktion und verarbeitete Menge mit etwa 1,50-1,55 Mio. t 1999 annähernd deckten (AGPU 2000). 1999 gab es in Deutschland 877 PVC-verarbeitende Betriebe, die auch sehr exportorientiert sind.

1999 wurden in Deutschland 1,52 Mio. t **PVC verarbeitet**, wobei mit 99.000 t 6,5 % auf den Bereich Elektro/Elektronik und mit 1.076.000 t 70,8 % auf den Baubereich entfielen (Consultic 2000, S.27). Die Verarbeitungsstruktur nach Branchen zeigt für 1998 eine Dominanz des Bauwesens mit 63 %, auf den Bereich Elektro, Kabel entfallen 8 % (AGPU 2000). Der PVC-Verbrauch hängt damit stark an der Baukonjunktur. Die Verarbeitungsstruktur nach Produkten weist Fenster und sonstige Profile sowie Rohre mit je 27 % (je 410.000 t), Bodenbeläge und Dachbahnen mit je 2 % (je 30.000 t) sowie Kabel mit 7 % (106.000 t) aus (AGPU 2000). Da insgesamt nach AGPU (2000) 63 % der Menge auf den Baubereich entfallen, nach Consultic (2000) aber 70,8 % sind unterschiedliche Abgrenzungen zu vermuten. In Westeuropa zeigen sich leicht abweichende Mengenrelationen: In das Bauwesen gehen 53 % und in den Elektrobereich 9 % (ECVM et al. 2001). Der überproportionale Anteil des Bauwesens am PVC-Verbrauch in Deutschland (Haupt Einsatzgebiet von Bleistabilisatoren) und der unterproportionale Anteil des Verpackungsbereiches (ausschließlich bleifreie Stabilisatoren) lassen erwarten,

<sup>188</sup> Im Jahr 2000 ist in Schkopau eine neue Anlage mit einer Kapazität von 180.000 t in Betrieb genommen worden.

dass der Anteil des Verbrauchs an Bleistabilisatoren für die PVC-Verarbeitung in Deutschland prozentual höher liegt als der PVC-Verarbeitungsanteil.

1990 verteilte sich die in der **Kabelproduktion** verwendete PVC-Menge in Höhe von 95.000 t PVC wie folgt auf die verschiedenen Kabelbereiche:

**Tabelle 6-43: Verwendung von PVC für die Kabelherstellung in Deutschland**

Bereich	Verbrauch [t/a]	Anteil [%]
Hausinstallation	21.850	23
Nachrichtentechnik	18.050	19
Maschinen und Geräte	17.100	18
Energiekabel	12.350	13
Kfz-Kabel	8.550	9
Spezialkabel	3.800	4
Sonstiges	13.300	14

Quelle: Tötsch 1993; Daten für 1990.

Von 1996-1998 blieb die **Fensterproduktion** bei etwa 24,3-24,5 Mio. Einheiten, wobei der PVC-Anteil von 49 % auf 52 % stieg.<sup>189</sup> Zwischen 1995 und 2000 hat sich die absolute Produktionsmenge von PVC-Fenstereinheiten bei etwa 12,3 Mio. stabilisiert. Wenn 1993 160.000 t PVC zu 9,7 Mio. Fenstereinheiten verarbeitet wurden (UBA 1999), so ist bei einer heutigen Fensterproduktion von 12,3 Mio. Einheiten aus PVC (AGPU 2000) mit einem PVC-Verbrauch für diese Branche in Höhe von etwa 200.000 t PVC zu rechnen. Auf andere Profile entfielen dann mit 210.000 t noch einmal in etwa dieselbe Menge. Die Menge der **produzierten PVC-Rohre** stieg von 300.000 t (1993) zwischenzeitlich bis auf über 330.000 t, wonach sie dann 1997 auf knapp unter 300.000 t fiel.<sup>190</sup> Der PVC-Anteil an der Produktion von Kunststoffrohren, -Formstücken und -Dachrinnen liegt bei ca. 70 %. 1996 betrug die Gesamt-Produktionsmenge etwa 550.000 t, woraus sich eine PVC-Menge von etwa 385.000 t berechnet. Wird die Menge von 300.000 t für Rohre abgezogen, so entfallen auf Formstücke und Dachrinnen aus PVC noch etwa 85.000 t, die jedoch zu den Profilen gerechnet werden. Zur Abschätzung der Bleiströme in den PVC-Produkten für Deutschland können verschiedene Ansätze verfolgt werden:

- Allokation von 15.400 t Blei nach der Stabilisatorverwendung in der EU Bleigehalten nach VKE (1994) und einem Effizienzfortschritt um 20 %.<sup>191</sup>
- Allokation von 15.400 t Blei nach PVC-Produktverhältnissen in Deutschland im Vergleich zur EU<sup>192</sup>

<sup>189</sup> 59 Halbzeughersteller und anschließend 10.300 Konfektionäre machen in Deutschland aus Roh-PVC fertige Fenster.

<sup>190</sup> Bei der privaten Grundstücksentwässerung stieg die mit Kunststoffrohren verlegte Länge von 3.200 km (1990) auf 6.800 km (1997), wohingegen die Beton-, Stahlbeton- und Steinzeugkanäle einen etwa konstanten Absatz zeigten (AGPU 2000).

<sup>191</sup> Daten von ECVM et al. (2001). Setzt man die Bleianteile in den Stabilisatorsystemen nach Vke (1994) für die EU 1998 an, so ergibt sich für Rohre ein Bleistrom in Höhe von 11.500 t (32 Gew.-%), für Kabel 12.250 t (60 Gew.-%), für Profile 38.100 t für Profile (70 Gew.-%). Insgesamt ergibt sich ein Bleiinhalt von 61.850 t, der um über 10.000 t (ca. 20 %) über der EU-Angabe liegt. Nach Angaben von UBA (1999, S. 87) entsprechen 15.400 t Blei einer Stabilisatormenge in Höhe von 34.000 t, was einem Pb-Gehalt von etwa 45 % entspricht und gut mit der Angabe von EU (2000) übereinstimmt.

<sup>192</sup> Daten von AGPU 2000 und ECVM et al. 2001.

- Abschätzung des benötigten Bleis ausgehend von typischen Gehalten im Produkt und Produktionsmengen

Auf 100 Masseanteile PVC entfallen in der **Kabelmantelrezeptur** nach VKE (1994) typischerweise 2-4 Masseanteile Bleisulfat und 0,5-1,5 Masseanteile Bleistearat. Bei 3 Masseanteilen Bleisulfat errechnet sich der Bleianteil zu 2,55 %, bei 1 Molmassenanteil Bleistearat zu 0,26 %. Beim Einsatz von 99.000 t abzüglich von geschätzten 10 % Anteil nicht bleihaltiger Stabilisatorssysteme für PVC-Kabelmassen errechnet sich ein Bleistrom von etwa 2.500 t. Sind in der **Fensterrezeptur** insgesamt 3,8 Gew.-% Bleistabilisator/ Gleitmittelsystem, so errechnet sich bei einem angenommenen Bleigehalt von 2 Gew.-% und einem PVC-Einsatz in der Fensterproduktion von 200.000 t (entsprechend 89 % der Rezeptur), der Bleistrom zu etwa 4.500 t. Dabei ist nicht berücksichtigt, dass auch andere Stabilisatorssysteme zum Einsatz kommen, sonst ergeben sich etwa 4.050 t (- 10 %). Bei einem Verbrauch von 300.000 t PVC für die **Rohrproduktion** und einem Stabilisatoranteil von 2 Gew.-% mit 50 % Blei errechnet sich der Bleistrom zu etwa 3.000 t.

Folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der verschiedenen Abschätzungen zusammen:

**Tabelle 6-44: Abschätzung des Einsatzes von Bleistabilisatoren für PVC in Deutschland**

Ansatz	nach EU-Maßstab und VKE-Zs. -20 %	nach Produktion PVC D/ PVC EU	bottom-up (Einzelprodukte)
Rohre	2.900	3.250	3.000
Kabel	2.600	1.850	2.500
Profile	10.000	10.300	4.050 (nur Fenster)
Summe	15.400	15.400	

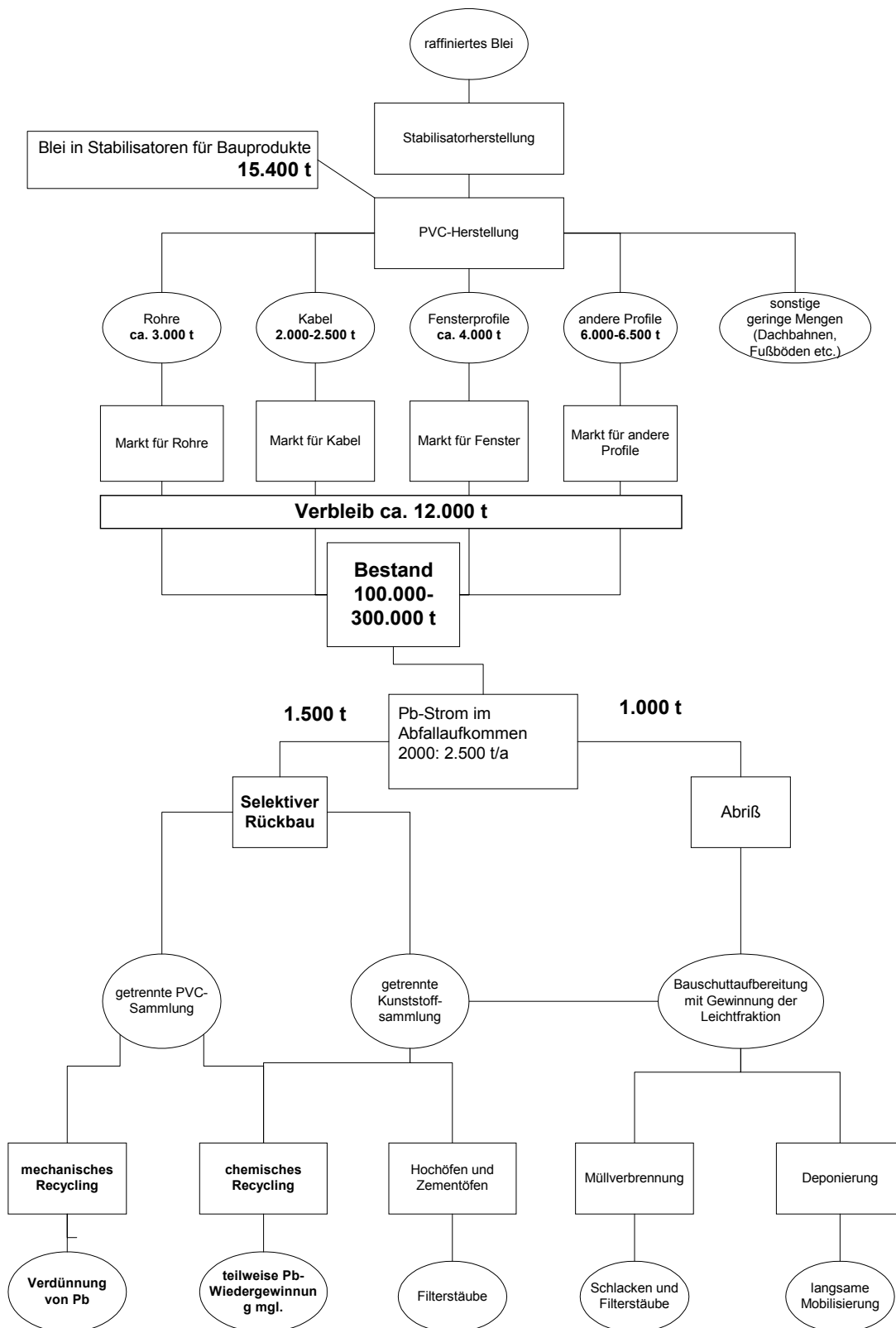
Quelle: Eigene Darstellung nach VKE 1994; EVCM et al. 2001.

Über den tatsächlichen **Verbleib** der Produkte liegen keine aussagekräftigen Daten vor, Balzer (1995) geht von einer Nettoexportquote von 20 % aus, so dass von den rund 15.000 t Blei rund **12.000 t** Blei in PVC in Deutschland verbleiben.

Folgende Abbildung zeigt den Stoffstrom von Blei in PVC in Deutschland zusammengefasst:



**Abbildung 6-18: Stoffströme von Blei in PVC in Deutschland**



Quellen: EU PVC 2000; AGPU 2000; TNO 1999; UBA 1999; eigene Abschätzungen.

### Nutzungsphase und Bestand

Das Umweltbundesamt (1999) schätzt die in den PVC-Produkten **im Bestand** gespeicherten Mengen an Blei auf **100.000-300.000 t**. Die Bleistabilisatoren im Baubereich dienen vor allem der Langlebigkeit. Zu den langlebigen PVC-Bauprodukten zählen Dachbahnen (Nutzungsdauer 20 Jahre und mehr), Fenster (Austausch aufgrund des technischen Fortschritts nach ca. 40 Jahren), Bodenbeläge (Nutzungszeiten zwischen 10 und 20 Jahren) und Rohre (Nutzungsdauer bis zu 100 Jahren und mehr). Rohre und Bauprofile sind i.d.R. wartungsfrei. Die Nutzungsdauer von Massivbauten wird bei der Wertermittlung mit 60-80 Jahren angenommen. In dieser Zeitspanne werden die Bodenbeläge 4-6 Mal, die Fenster 2-4 Mal, zahlreiche Sanitärinstallationen ausgetauscht und mindestens 2 Dacheindeckungen oder -dichtungen vorgenommen (Rudolphi in SBB, o.J.). Die Menge des Bleibestandes in PVC und die zeitlichen Anfallmuster sind mit großen Unsicherheiten behaftet.

### Downstream

Aufgrund der Langlebigkeit von bleistabilisierten PVC-Produkten fallen derzeit erst geringe Mengen an Alt-PVC an. PVC-Rohre werden seit etwa 55 Jahren für die Trinkwasserversorgung, Abwasserentsorgung und Gasleitungen benutzt. Fensterrahmen aus PVC werden seit etwa 35 Jahren zunehmend eingesetzt. Berechnet man den theoretischen **Rückfluss aus dem Bestand** für Deutschland aus den EU-Mengenszenarien von TNO (1999), so ergibt sich für das Jahr 2000 ein Bleistrom von ca. **2.500 t**.

Die Nachnutzungsphase eines Gebäudes umfasst die Prozesse des selektiven Rückbaus, den Abbruch, die Bauschuttzubereitung, die Verwertung, die Reststoffbehandlung und die Ablagerung. Nach TNO (1999) beträgt der PVC-Anteil im Bauschutt nur 0,29 Gew.-%, PVC-Bauprodukte tragen allerdings zu 40 % zum PVC-Abfall bei. Werden Fensterprofile zu 90 % und andere Profile zu 80 % **erfasst**, so sind es bei Rohren nur geschätzte 29 % und bei Kabeln im Bauwesen 30 %. Die Gesamtmenge an Alt-PVC aus Kabelabfällen beträgt ca. 45.000-50.000 t/a (UBA 1999 S. 56). Nach Lahl (2000, S. 295) wird PVC über die Bauschuttstrecke hauptsächlich auf Deponien entsorgt. Die Bauschuttzubereitung ist nicht verbindlich festgelegt und wird sehr unterschiedlich gehandhabt. Je nach Baustelle werden unterschiedliche Mengen vor dem Abriss demontiert. Bei Umbau und Modernisierung werden die PVC-Fenster i.d.R. einem Fensterrecycling-System zurückgeführt<sup>193</sup>. Für die PVC-Produkte Fenster, Dachbahnen, Bodenbeläge und Rohre existieren mittlerweile werkstoffliche Recyclingmöglichkeiten. Die rohstoffliche Verwertung befindet sich noch in der Erprobungsphase (z.B. Fa. BSL). Derzeit dominiert der Entsorgungsweg Deponie für PVC aus dem Baubereich. Pre-Consumption Abfälle und Verpackungsabfälle werden dagegen in hohem Maße wiederverwertet (Consultic ~~2009~~). **Problemlagen: Defizite, Verwertungspotenziale und Substitution**

Die Umweltrelevanz von Blei in PVC-Produkten stellt sich wie folgt dar (EU 2000, S. 12): geringe Emissionen von Blei bei Produktion, Verarbeitung<sup>194</sup> und in der Gebrauchsphase<sup>195</sup>, Emis-

<sup>193</sup> Interview mit Frau Held (UBA) 2001 und Interview mit Herr Baunemann (VKE) 2001.

<sup>194</sup> Bleistabilisatoren werden durch die Oxidation von metallischem Blei zu Pb(II)oxid mit anschließender Umsetzung zu Bleisalzen/-seifen hergestellt. Im dritten Schritt erfolgt die Compoundierung zu Stabilisator-Gleitmittel-Compounds. Nach Angaben von VKE (1994) recyceln alle deutschen Hersteller ihre Betriebsabwässer, die Grenzwerte der TA Luft werden unterschritten. Beim Compounding Roh-PVC erfolgt die Zugabe von Additiven. Das PVC schmilzt beim Erwärmen und kann durch eine Vielzahl von Verfahren in Formen gebracht werden, u.a. Extrudieren, Spritzgießen, Kalandern. Staubmengen werden abgesaugt und abgeschieden. Bleihaltige Produktabfälle oder Halbzeuge, die außerhalb der Produktspezifikationen liegen, werden vollständig recycled.

sion von Blei bei Bränden und in der Entsorgungsphase, der PVC-Kreislauf ist nicht geschlossen. Für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei sind vor allem die Kreislaufführung und die Substituierbarkeit zu untersuchen.

### Verringerung und Substitution von Bleistabilisatoren

Nach (PVCplus et al 2/2000) konnten Effizienzverbesserungen (z.B. durch neue Rezepturen) den Einsatz von Bleistabilisatoren weiter senken. Die Stabilisatorkonzentrationen insgesamt haben in den letzten Jahren durch moderne Prozesssteuerung abgenommen: So genügen inzwischen 1,5 Teile Stabilisator-Gleitmittelgemisch für 100 Teile PVC.

Die folgende Tabelle zeigt verschiedene **Stabilisatorsysteme** für PVC im Überblick:

**Tabelle 6-45: Einsatzgebiete von PVC-Stabilisatorsystemen**

Stabilisator	Ba/Cd	Ba/Zn	Ca/Zn	Pb	Sn	Organisch
Weich-PVC						
Draht-Kabelisolierung	-	-	++	++	-	
Weichfolie	+	++	+	-	-	
Fußbodenbeläge	-	++	+	-	-	
Profile und Schläuche	+	++	++	+	-	
Beschichtungen, Pasten	+	++	+	-	-	
Spritzguss	-	++	+	+	-	
Hart-PVC						
Folien, Tafeln, Platte	+	-	+	+	++	
andere Profile	+	-	++	++	+	
Fensterprofile	++	-	++	++	-	
Rohre, Dachrinnen	-	-	+	++	-	++
Hohlkörper	-	-	++	-	++	
Spritzgussteile	-	-	+	++	++	
Schallplatten	-	-	-	-	++	

Quelle: UBA 1999; eigene Einstufungen unterstrichen.

Anmerkungen: ++ = gut geeignet, + = bedingt geeignet, - = weniger geeignet.

Bleistabilisatoren für Hart-PVC sind vor allem für Spritzgussteile, Rohre, Dachrinnen, Fenster- und andere Profile sowie für Weich-PVC vor allem zur Draht-Kabelisolierung gut geeignet. Insbesondere für **Fenster- und andere Profile** steht mit Ca/Zn-Stabilisatoren eine technisch gleichwertige Alternative zur Verfügung, die allerdings aus Kostengründen und fehlender Langzeiterfahrung Mitte der 90iger Jahre noch keine großen Marktanteile erringen konnten. Für **Rohre** sind Ca/Zn-Stabilisatoren nur bedingt geeignet. Die erforderliche Langzeitstabilität von Ca/Zn-Systemen wird derzeit noch geprüft. Am 2.5.2001 gab die Fa. Crompton bekannt, dass sie der Fa. Chemson eine Lizenzvereinbarung über die Produktion und den Verkauf von Crompton's OBS™ (organisch-basierende Stabilisatorsysteme) getroffen hat. Dadurch soll die Markteinführung des gänzlich schwermetallfreien Substituts für Bleistabilisatoren für Rohre und Fittings beschleunigt werden. Organische Stabilisatoren haben gute Eigenschaften bei Rohren gezeigt. Sie dürften einen hohen Marktanteil erlangen.<sup>196</sup> Rund 80% aller PVC-isolierten und um-

<sup>195</sup> Die geringe Migration von Blei aus PVC lässt den Einsatz von bleistabilisiertem PVC für Trinkwasserrohre zu. Erst bei einem pH-Wert von unter 3 treten Spuren von Blei als Bleioxid, Bleisulfat oder Bleichlorid aus PVC aus (VDEW 1997, S. 201). Bei Kabeln treten solche Werte allerdings im Regelfall nicht auf. Bei erdverlegten Kabeln sind Brände aufgrund des Mangels an Sauerstoff sehr unwahrscheinlich.

<sup>196</sup> Interview mit Herrn Baunemann (VKE) 2001.

mantelten **Kabel** und Leitungen enthalten noch bleihaltige Stabilisatoren. Im Bereich der Gebäudeinstallation verkauft Pirelli eine bleifrei stabilisierte PVC-Leitung auf Basis von Calcium/Zink Stabilisatoren. Die guten Gebrauchseigenschaften bleiben dabei erhalten, auch bei Einwirkung von Licht und Temperatur. Weiterer Vorteil der Rezeptur ist, dass für die Entsorgung der Leitungen keine Sondermüllgebühren anfallen. Die Umstellung ist schneller als erwartet angelaufen.<sup>197</sup>

Zu Bleistabilisatoren gibt es überall technische Alternativen, eine Umstellung auf Cd- oder organozinnhaltige Stabilisatoren sollte jedoch vermieden werden. Begründet wurde die langsame Durchdringung Mitte der 90iger Jahre mit fehlenden Langzeiterfahrungen und Kosten der Umstellung. Bei Bleistabilisatoren waren one-Pack-Mischungen üblich (inkl. Gleitmittel und Füllstoffe), was bei den anderen Systemen zunächst schwieriger zu realisieren war. Bleifreie Alternativen dürften gegenwärtig Marktanteile von 10-20 % haben, 30 % werden noch nicht erreicht. Auch heute bestehen, abgesehen von Einzelfällen, nur **geringe ökonomischen Anreize** zur Umstellung auf bleifreie Stabilisatoren. Frühestens in zehn Jahren werden die Bleieinsatzmengen innovationsgetrieben signifikant zurückgehen.<sup>198</sup>

**Produktrends und werkstoffliche Alternativen**

Die Substitutionsdiskussion erstreckt sich sowohl auf Blei als Stabilisator als auch auf PVC als solches. Die Produktion bleihaltiger PVC-Produkte hängt stark von der Baukonjunktur ab. Insgesamt werden in Westeuropa und weltweit weitere Zuwächse des PVC-Bedarfs erwartet (PVCplus et al. 2000). Auf Produktebene bestehen vereinfacht folgende Alternativen.<sup>199</sup>

**Tabelle 6-46: Substitute für PVC Produkte**

Teil	Mögliche Substitute
Rohre	HDPE, Guss, Beton, Acrylnitril-Butadien-Styrol, GFK
Profile	Holz, Stahl, andere Kunststoffe, Aluminium
Kabel	PE, VPE; Ethylenvinylacetat-Copolymeren, Fluorkunststoffe

Quelle: UBA 1999.

Tendenziell ersetzt PVC den Werkstoff Holz im **Fenstermarkt**. Anfang der 90iger Jahre deckten beide Materialien etwa je 40 % des Marktes ab, 1995 betrug der Marktanteil von PVC-Fenstern bereits 48 %, der von Holzfenstern sank dagegen auf 29 % (UBA 1999, S. 139). Weitere bedeutende Marktanteile haben Fensterrahmen aus Aluminium. PE-Fenster stehen noch am Anfang der Entwicklung. PVC-Fenster sind im Vergleich zu Holzfenstern wartungsarm und vergleichsweise kostengünstig, werden allerdings vielfach als weniger ästhetisch empfunden. Nach Angaben des Fachverbandes der Kunststoffrohr-Industrie KRV (Jahresbericht 2000) stieg die Produktion von **Kunststoffrohren und -formstücken** von 642.000 t (1999) auf 700.000 t (2000).<sup>200</sup> 47,4 % der Gesamtproduktion (ca. 330.000 t) entfielen auf Hart-PVC und 40,4 % auf

<sup>197</sup> Interview mit Herrn Baunemann (VKE) 2001.

<sup>198</sup> Interview mit Dr. Eggers (UBA) 2001.

<sup>199</sup> Wesentlich detailliertere Übersichten zu Substituten für Fenster und Rohre (Trinkwasser und Abwasser – jeweils im Gebäude und außerhalb -, Heizung, Dach) gibt es bei Greenpeace (11/2000) und für Kabelmassen bei UBA (1999, S. 144).

<sup>200</sup> Die TK-Konjunktur hat bei den Anbietern von Kabelschutzrohren aus Hart-PVC und PE zu Wachstumsimpulsen geführt. Der Absatz von erdverlegten PVC-Druckrohren und -Formstücken in der Wasser- und Gasversorgung sank aufgrund der schlechten Baukonjunktur um 7,8 %. Der Absatz von Hart-PVC-Rohren für die private Grundstücksentwässerung blieb mit etwa 100.000 t konstant.

PE. Der PVC-Anteil ist dabei von etwa 55 % (1995) auf den heutigen Stand gesunken. Im Berichtsjahr lag der Exportanteil der deutschen Kunststoffrohrindustrie bei 22,8 %. Zu Rohrleitungen aus PVC gibt es zahlreiche Alternativen, die jedoch vor allem aus ökonomischen Gründen einen schweren Stand gegenüber PVC haben. **Draht- und Kabelisolierungen** werden u.a. nach den Kriterien Betriebsdauer, Betriebssicherheit und Brandverhalten, Kostenfragen und Umweltverträglichkeit ausgewählt. Zu den wichtigsten Isolationskunststoffen von Energiekabeln gehören PVC, PE und VPE. Nach Angaben von Prognos (1994) beträgt der PVC-Anteil bei Energiekabeln bis 1 kV 95-99 %, bei Energiekabeln über 1 kV 10 %. Gebäude mit hohem Publikumsverkehr, z.B. Flughäfen, werden häufig mit FRNC-Kabeln (fire resistant non corrosive) verkabelt. In Einsatzgebieten mit der Anforderung der Wärmebeständigkeit (z.B. elektrische Fußbodenheizungen und Nachtspeicheröfen) kommen Ethylen-Vinylacetat-Copolymere zum Einsatz (EVAC). Für Datenübertragungskabeln kommen überwiegend PVC- und PE- als Isolier- und Mantelwerkstoffe zum Einsatz, wobei PVC vor allem bei erdverlegten Kabeln verwendet wird. Hemmend auf die Substitution von PVC in Kabelmassen wirken sich die um 50-200 % höheren Produktionskosten aus, was die gesamte Elektroinstallation um 10-20 % verteuern dürfte (UBA 1999, S. 145). Bei stärkerer Durchdrängung dürften allerdings Skaleneffekte diese Kostendifferenz mindern.

Zu den einzelnen Anwendungsfeldern (Fenster, Rohre etc.) sind zahlreiche **Ökobilanzen** durchgeführt worden (AGPU 1999), die jedoch zu uneinheitlichen Ergebnissen gekommen sind. Vor allem bei Hart-PVC weist PVC wegen seiner langen Lebensdauern Vorteile auf. Das Ende der Nutzungsphase wird in der Regel nicht durch Materialermüdung durch PVC, sondern durch anstehende Modernisierungsmaßnahmen eingeleitet. PVC-Fensterrahmen weisen in Ökobilanzen gegenüber Holz und Aluminium Vorteile in der Nutzungsphase auf. Bei PVC- und Aluminium-Fenstern erfolgt ein hochwertiges werkstoffliches Recycling. „Insbesondere bei hohen Anteilen von Recycling-PVC und bei Ca/Zn-Stabilisierung (in Frisch-PVC) können im Vergleich zu den derzeit vorhandenen Alternativen PVC-Fenster auch aus ökologischer Sicht als geeignete Produkte bezeichnet werden“ (UBA 1999, S. 142). „PVC-freie Kabel sind wegen nicht benötigter Weichmacher und Stabilisatoren ökologisch und toxikologisch günstiger zu bewerten“ (UBA 1999, S. 143). Vordringlich ist der Ersatz von PVC-Kabeln im Personentransportwesen, in Gebäuden mit hoher Personendichte, in Gebäuden mit hohen Sachwerten und in Gebäuden mit notwendigem Funktionserhalt während eines Brandfalls.

Der Massenwerkstoff PVC ist im Vergleich zu alternativen Werkstoffen kostengünstig. Die PVC-produzierenden und -verarbeitenden Unternehmen haben eine hohe volkswirtschaftliche Bedeutung erlangt. Folgende Tabelle fasst die Opportunitätskosten für Substitute zusammen.

**Tabelle 6-47: Anschaffungskosten für PVC-Produkte und deren Substitute**

PVC-Produkt	Einstufung	Mehrkosten für Substitute
Fensterprofile	geringste Kosten	17-49 %
Bodenbeläge	geringste Kosten	44-470 % (Klasse 5) 18-68 % (Klasse 4)
Dachbahnen	geringe Kosten	5-60 %
Dachentwässerung	geringe Kosten	34-180 %
Dränleitungen	geringe Kosten	k. A.
Trinkwasserleitungen	geringe Kosten	13-15 %
Abwasserleitungen im Erdreich	geringe Kosten	> 50 % - > 60 %
Kabelkanäle	geringe Kosten	150-200 %
Kabel und Leitungen	geringe Kosten	< 100 % (MW), bis zu 522 %

Quelle: AGPU 1996.

Nicht nur die geringeren Beschaffungskosten von PVC-Produkten schlagen hier zu Buche, sondern auch die Wartungs- und Pflegearmut sparen Kosten im Vergleich z.B. zu Holzfenstern, die gestrichen werden müssen. Der **Mehraufwand bei einem PVC-Verzicht** für alle Produkte für eine 65 qm-Wohnung wurde 1993 vom Hessischen Wohnungsbauministerium mit 4.400 DM beziffert (ohne Unterhaltskosten).

#### **PVC-Altprodukt-Erfassung und –zerlegung**

Die PVC-Abfallmengen werden einerseits zunehmen, weil die WEEE und EU-Altautorichtlinie die Produkterfassung stärken und andererseits, weil der Rückfluss langlebiger Produktanwendungen aus dem Baubereich größer wird, da PVC vor allem in den 70iger Jahren verstärkt eingesetzt wurde. PVC-Abfall kann sowohl bei der Modernisierung als auch beim Gebäudeabbruch anfallen. Bei der Modernisierung fallen Materialien diskret und in geringen Mengen, häufig auch unbekannter Stabilisatorart, an, was eine Verwertung erschwert. Baron (INTECUS in SBB, o.J.) unterscheidet **drei Abbruchszenarien**:

- Kontrollierter Rückbau (Ausbau aller nicht-mineralischen Baustoffe außer Stahlträgern und Deckenbalken)
- Weitestgehende Entkernung (Anpassung der Demontagetiefe an Einbausituation und Entsorgungswege)
- Konventioneller Abbruch (nur Bausonderabfälle entfernt)

PVC-Abfälle werden bei der Bauschuttzubereitung größtenteils nicht von der mineralischen Fraktion getrennt. Dies könnte zu Problemen bezüglich der Qualitätsanforderungen von Recycling-Baustoffen führen, oder aber der Bauschutt wird deponiert. Bauschuttzubereitung und Deponierung sind durch kleinräumige Transporte (<20 km) gekennzeichnet.

Durch Planung und Konstruktion können Materialien eingespart und demontagegerecht eingebaut werden. Eine Wiedergewinnung von PVC für das werkstoffliche Recycling erfordert eine Demontage vor dem Abbruch. Die PVC-Bauprodukte zeichnen sich durch Langlebigkeit aus, so dass zwischen ihrem Einbau und Anfall als Abfall Jahrzehnte liegen können. Für die Verwertung bedeutet dies, dass **Recyclingkapazitäten** nach vergangenen Produktions- und Verbrauchsmengen mit großen Unsicherheiten über die zukünftigen Entsorgungsbedingungen zu konzipieren sind.

**PVC-Fenster** müssen vor dem Abriss bzw. bei der Renovierung ausgebaut werden, um einer werkstofflichen Verwertung zugeführt werden zu können. Die Demontagezeiten, die Glastren-

nung und die Verladezeit bestimmen die Personalkosten. Für Demontage- und Verladung werden 0,2 Stunden pro Fenster entsprechend 5,25 DM/Fenster angegeben (Hamidoviç 1997, S. 27). Der Ausbau des Glases erfolgt mittels Glasschneider oder Hammer. Fenster werden entweder manuell oder maschinell aufbereitet. Bei trocken verglasten Fenstern wird das Glas komplett durch Entfernen der Halteleiste herausgenommen, bei der nassen Verglasung mit Kitt ist ein Herausschlagen des Glases notwendig, was die Demontagezeit wesentlich erhöht. Fensterprofile aus PVC können dem Hersteller zurückgegeben werden. Profil- und Fensterhersteller sowie Wiederverwertungsunternehmen haben sich zu einer Rücknahme von PVC-Fenstern verpflichtet, wobei der Schwerpunkt auf dem PVC- und nicht auf dem Glasrecycling liegt. „Für alte Fenster werden, unabhängig vom Rahmenmaterial, bis zu 350 DM/t bezahlt.“ (Hamidoviç 1997, S. 96). Nach Angaben der Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt existiert bereits seit 1991 ein flächendeckendes Rücknahmesystem für die Rücknahme und Verwertung von Fensterprofilen (AGPU 1997). In den zwei Anlagen mit einer Gesamtkapazität von 20.000 t pro Jahr werden die Fenster maschinell in ihre Bestandteile zerlegt. Diese Anlagen wurden im Hinblick auf die zukünftig anfallenden PVC-Mengen aus Altfenstern konzipiert. Das Recyclat aus alten Fenstern oder anderen Profilen kann mit einer dünnen Schicht Neumaterial zu neuen Profilen coextrudiert werden. Unterschiedliche Stabilisierungssysteme stören bei diesem Verfahren nicht.

Die Erfassung von **Rohren** gestaltet sich insbesondere dann schwieriger, wenn sie unterirdisch verlegt wurden. Die Gütegemeinschaft Kunststoffrohre (GKR) hat zusammen mit dem Kunststoffrohrverband (KRV) seit 1994 ein Sammel- und Wiederverwertungssystem für PVC-Rohre aufgebaut (AGPU 1997). Alle ausgebauten Kunststoffrohre werden zurückgenommen, gesammelt und Händlern kostenlos zur Verfügung gestellt. Eine Rohrrecyclinganlage in Sachsen-Anhalt stellt aus sortenreinen Rohrverschnitten daraus ein Rezyklat her, das in der Kunststoffrohrindustrie u.a. für die Herstellung von Kabelschutzrohren oder drucklosen Rohren eingesetzt wird.

Das **Altkabelrecycling** erfolgt vorwiegend zur Wiedergewinnung des Kupfers. Insbesondere erdverlegte Kabel schränken die Erfassungsmöglichkeiten ein. PVC-Produkte aus Weich-PVC und PVC-Verbundstoffen sind generell nur eingeschränkt verwertbar. PVC-Granulate aus Altkabeln werden zu geringwertigen Produkten wie z.B. Parkbänke verarbeitet. Problematisch beim Kabelrecycling ist der PCB-Gehalt in zahlreichen Altkabeln, das früher als Flammschutzmittel und Weichmacher zugesetzt wurde.

Die Preise für Post-consumption- PVC lagen nach BVSE für das Frühjahr 1999 bei:

- |                                |               |
|--------------------------------|---------------|
| ➤ Fensterqualität weiß         | 100-110 Pf/kg |
| ➤ Fensterqualität bunt         | 50-70 Pf/kg   |
| ➤ Fensterqualität Typware weiß | 115-120 Pf/kg |
| ➤ Rohrqualität bunt            | 50-60 Pf/kg   |

Gegenwärtig decken die Erlöse aus dem Verkauf der Recyclingprodukte nicht die Kosten für die Erfassung, den Transport, die Aufbereitung, das Recycling und die Wiedervermarktung.

### **Werkstoffliches und chemisches Recycling**

Die Europäische Union hat zahlreiche Studien in Auftrag gegeben, in der die ökologischen und ökonomischen Aspekte der Deponierung, Mitverbrennung, des werkstofflichen und chemischen Recyclings und des Einsatzes als Reduktionsmittel in Zement- und Hochöfen untersucht worden

sind. Die folgenden Tabellen zeigen die Verwertung-/Beseitigungsoptionen für Alt-PVC und die Recycling-Potenziale.

**Tabelle 6-48: Verwertungs- und Entsorgungsoptionen für PVC-haltige Abfallfraktionen in der EU**

Prozess	Input	Status	Stoffströme OM/Cl/SM <sup>a)</sup>	Kapazität	künftiges Potenzial
MVA	Restmüll	in Betrieb	Energie (20-40%)/Cl und Metall in Abfall	sehr groß	sehr groß
Zementöfen	MPW <sup>b)</sup>	in Betrieb	Energie (100 %)/Cl und Metall in Zement	einige 100.000 t/a	3 Mio. t/a (EU)
Deponie	Restmüll	in Betrieb	hohe Persistenz	sehr groß	n.v.
Mechanisches Recycling	PVC sortenrein	in Betrieb	PVC-Wiederverwertung	über 9.000 t/a	n.v.
Texaco	MPW <sup>b)</sup>	Pilotanlage	Syngas/NH <sub>4</sub> Cl/slag	-	ungewiss: 50.000-200.000 t/a
Polymer Cracking	MPW <sup>b)</sup>	Pilotanlage	Flüssiggas/CaCl <sub>2</sub> (Dep.)/diverse Rückstände	-	ungewiss: 50.000-200.000 t/a
BASF	MPW <sup>b)</sup>	Demo-Anlage (geschlossen)	Flüssiggas/HCl/Rückstände	15000 t/a (vor 1996)	-
Hochofen	MPW <sup>b)</sup>	in Betrieb	Kohlensatz/Cl in Wasser/in Eisen oder Schlacke	162.500 t/a (1998)	5 Mio. t/a (EU)
VEBA	MPW <sup>b)</sup>	in Betrieb (to be closed)	Gas, Syncrude /HCl/hydrierte Rückstände	87.000 t/a (vor 2000)	-
SVZ	MPW <sup>b)</sup>	in Betrieb	Syngas, Methanol/Cl in Abfall/Deponieklasse <sup>a)</sup>	110.000 t/a (1998)	
BSL	PVC-reich	in Betrieb	Energie/HCl/diverse Rückstände	15.000 t/a (2000)	
Akzo Nobel	PVC-reich	Labor-/ Pilotanlage	Syngas/HCl /diverse Rückstände	-	
Linde	PVC-reich	Pilotanlage 2001	Syngas/HCl /diverse Rückstände	2.000 t/a (2000)	25.000 t/a (Plan 2005)
NKT	PVC-reich	Pilotanlage	Koks/CaCl <sub>2</sub> /Metallchlorid	< 1000 t/a (1999)	25.000 t/a denkbar
Vinyloop	PVC-reich	Pilotanlage 2001	PVC-resin/andere Nebenprodukte	< 1000 t/a	17.000 t/a (2002)

Quelle: Eigene Zusammenstellung nach PROGNOS AG et al. 2000; TNO 1999.

Anmerkungen: a) Organisches Material, Chlor, Schwermetalle; b) Municipal Plastic Waste.



**Tabelle 6-49: Recycling-Potenziale für Alt-PVC in der EU**

	Verfügbarkeit [%]	mechanisches Recycling [%]	chemisches Recycling [%]
Rohre	29	19	10
Fensterprofile	100	55	45
andere Profile	100	40	60
Kabel	30	24	6
Fußböden	100	8	92
Dachbahnen	100	55	45

Quelle: Prognos 1999.

Die EU-Kommission hält in ihrem PVC-Grünbuch fest, dass sich die Verwertung von PVC-Altprodukten zu hochwertigen Produkten noch im Anfangsstadium befindet. Die werkstofflichen Recyclingmengen für Hart-PVC-Profilen werden mit 3.600 t/a und für Rohre mit 5.500 t/a angegeben (EU PVC 2000, S.22).

Insbesondere für PVC-Fensterprofile und PVC-Rohre sind in Deutschland Kapazitäten für ein **werkstoffliches Recycling** errichtet worden. Die Bleistabilisatoren behalten bei der Co-Compoundierung mit ggf. anderen Stabilisatorssystemen ihre Funktion bei. Für viele andere PVC-Produkte, wie z.B. Kabelisolierungen, stehen gegenwärtig nur Downcycling-Verfahren zur Verfügung. Im Sinne einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung kann ein werkstoffliches Recycling von bleihaltigen PVC-Produkten dazu beitragen, dass Primärblei eingespart wird. Wird jedoch bleifreies Neumaterial zugesetzt, so verringert sich der Bleigehalt, was eine zukünftige Wiedergewinnung erschwert. Gegenwärtig werden weniger als 10 % des Alt-PVC einem werkstofflichen Recycling zugeführt (UBA 1999, S. 148). Die Kapazitäten zum Fensterrecycling sind nicht ausgelastet, da zuwenig Material zurückkommt (z.B. VEKA), was auf die aufwendige Logistik und die Kosten im Vergleich zur Deponierung zurückgeht. Bis 2005 bieten die Deponien Dumpingpreise an, um ihre Kapazitäten zu füllen.<sup>201</sup>

Beim **chemischen Recycling** sind das NKT-Verfahren und ggf. das Vinyloop-Verfahren für eine Wiedergewinnung von Blei von Interesse. Beim NKT-Verfahren können Kabel, Kabeltrays, Fußböden, Fensterprofile, Rohre, Dachbahnen etc. zu  $\text{CaCl}_2$ , Koks, organischem Kondensat und zu einem Metallkonzentrat verarbeitet werden. Dieses enthält bis zu 60 % Blei und kann zur Wiedergewinnung von Blei eingesetzt werden. Z.Zt. finden Tests an einer Pilotanlage zu Zuverlässigkeit, Reproduzierbarkeit, Produktreinheit und Behandlungskosten statt. Beim Vinyloop-Verfahren wird PVC aus Verbundanwendungen gelöst (z.B. aus Kabeln). Unsicherheiten über die Verfügbarkeit von PVC-Strömen, Zusammensetzung und Behandlungspreise hemmen die Entwicklung und industrielle Umsetzung innovativer Verfahren. AEAT (2000) schließt, dass chemisches Recycling nur dort, wo mechanisches Recycling nicht möglich ist, stattfinden wird.

In Deutschland sind zwar Kapazitäten für das Produktrecycling aufgebaut worden, auf signifikante Rückflussmengen wartet man jedoch. Dumping-Preise von Deponien haben die Wettbewerbsfähigkeit der stofflichen Verwertung erschwert. Das Kunststoffrecycling wird nur dann in nennenswertem Umfang stattfinden, wenn die anderen Verwertungsoptionen nicht billiger

<sup>201</sup> Interview mit Herrn Baunemann (VKE) 2001.

sind.<sup>202</sup> Schwerpunkt aller Verfahren ist jedoch nicht die Wiedergewinnung von Blei, sondern die Behandlung der großen PVC-Stoffströme. Blei wird also nur mittelbar berührt.

#### **Fazit: Strategien und Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung**

Für PVC existieren aufgrund der Langlebigkeit riesige Stofflager im Hoch- und Tiefbau. Im Sinne einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung sind entsprechende **werkstoffliche Verwertungskapazitäten** in Deutschland aufgebaut worden. Die Erlöse aus den Recyclingprodukten decken jedoch nicht die Kosten für die Erfassung, den Transport, die Aufbereitung, das Recycling und die Wiedervermarktung. Es ist zu klären, welche Auswirkungen verschiedene Recyclingverfahren auf den Bleistoffstrom haben. Trotz erheblicher Anstrengungen beim werkstofflichen Recycling ist aufgrund der sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen (Kosten für die separate Erfassung und Opportunitätskosten der Deponierung/Mitverbrennung) nicht zu erwarten, dass das werkstoffliche Recycling zum Standard wird. Die in Erprobung befindlichen Verfahren zum chemischen Recycling verfolgen vorwiegend die Wiedergewinnung des Chlors und der organischen Substanz, nicht aber die Separierung der geringen Bleimengen.

Zentrale Hemmnisse für einen geschlossenen PVC-Kreislauf sind:

- PVC-Bauprodukte haben in Bauabfall nur einen Gew.-Anteil von 0,2-0,3 %, der Bleigehalt in PVC liegt unter 2 %.
- Rohre und Kabel haben Erfassungspotenziale von nur etwa 30 %, da sie teilweise unterirdisch und unterputz verlegt werden.
- Informationsdefizite über Bestandslager und time lag zwischen Produktion und Abfallaufkommen erschweren eine sinnvolle Planung der Logistik
- Recyclingunternehmen verlangen Mindestmengen und haben Qualitätsanforderungen, die vorige Demontage erfordern. Hohe Demontageskosten erschweren diesen Weg.
- Verwertung auf Deponien, in MVA und im Bauschutt sind derzeit billiger.
- Beim werkstofflichen Recycling wird das Blei verdünnt, eine Wiedergewinnung des Bleis beim chemischen Recycling ist überwiegend nicht beabsichtigt.

Nach UBA (1999) ist die Sammel- und Verwertungslogistik zu verbessern. Das werkstoffliche Recycling, bei hoher Recyclingquote im gleichen Produktbereich, wird empfohlen. Ist der Sortieraufwand zu hoch ist, sollte eine Ausschleusung zum rohstofflichen Recycling (z.B. Mono-verbrennung) erfolgen. Ist der Sammelaufwand zu hoch, so sollte das PVC in MVA verbrannt werden.

Die Strategien der Bestandsreduktion und der **Nutzungsdauerverlängerung und –intensivierung** sind sehr unspezifisch im Hinblick auf eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei. Die **Gestaltungspotenziale** v.a. bei Kabelverlegung sind im Hinblick auf den Bleistrom von untergeordneter Bedeutung.<sup>203</sup> Die Optimierung und Reduktion des spezifischen Bleieinsatzes wird von der chemischen Industrie und den Verarbeitern bereits forciert.

Steuerungsgrößen der Politik sind vorwiegend die großen Mengenströme mineralische Stoff im Bau und PVC, nicht aber der geringe Bleistrom. Deshalb ist vor allem die **Substitutionsstrategie** ins Blickfeld zu rücken. Die Substitutionsdiskussionen erstrecken sich nicht nur auf Bleistabilisatoren, sondern auch auf PVC als solches. Insbesondere das Baugewerbe mit den PVC-

<sup>202</sup> Interview mit Dr. Eggers (UBA) 2001.

<sup>203</sup> Bei einem Einsatz von 2700 t Blei für die PVC-Kabel und einem Anteil von 23 % für die Hausinstallation ergibt sich ein Stoffstrom von 620 t, das Reduktionspotenzial von ca. 50 % könnte zu Einsparungen von etwa 300 t führen.

Produkten Bauprofile, Fensterprofile und Rohre ist hier adressiert. Ist die Substitution auf werkstofflicher Ebene im Einzelfall nur sehr differenziert ökologisch zu bewerten, so ist bei der Stabilisatorsubstitution darauf zu achten, dass Bleistabilisatoren nicht durch organometallische oder Zinn-Stabilisatoren ersetzt werden. Die Motivation erfolgt jedoch weniger über den Ressourcenschutz von Blei, sondern über die Toxizität. Bezüglich bleifreier Alternativen gibt es für einen Großteil der Anwendungen bereits Innovateure, so dass die Substitution vor allem als Diffusionsaufgabe zu verstehen ist. Die grundsätzlichen Strategien für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei in PVC sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

**Tabelle 6-50: Strategien für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei in PVC-Produkten**

Strategie	Kurzbewertung
Reduktion des spez. Bleieinsatzes	Bleigehalt durch Stabilitätsanforderungen begrenzt; Effizienz durch neue Rezepturen bereits eingeleitet. Produktionsabfallrecycling ist ausgereift; Spielräume v.a. bei der Planung der Verkabelung (PVC)
Substitution	Blei-Substitution ist eingeleitet, aber langsam werkstoffliche Alternativen sind überwiegend vorhanden (nicht durch Marktkräfte unterstützt)
Bestandsreduktion (Multi-funktionalität)	bei Fenstern und Bauprofilen kaum möglich; Telefon und Internet könnten theoretisch auch über die Steckdose gehen; durch PVC-Rohre (Wasser, Abwasser) könnten auch TK-Kabel gezogen werden
Verlängerung der Nutzungsdauer	Die technische Lebensdauer übersteigt i.d.R. die tatsächliche Nutzungsdauer (z.B. bei Fenstern und Bauprofilen, Kabeln und Rohren); zeitloses Design und richtige Dimensionierung könnten Material einsparen helfen
Nutzungsintensivierung	„Leben auf weniger Fläche“, Sharing - Teilen der Infrastruktur (z.B. gemeinsamer Waschraum),
Kreislaufwirtschaft	keine Marktanreize für Demontage und Verwertung Kapazitäten für Fenster- und Rohrrecycling nicht ausgelastet; Kabelrecycling ist kupfergetrieben chemisches Recycling zielt nicht auf Bleiwiedergewinnung

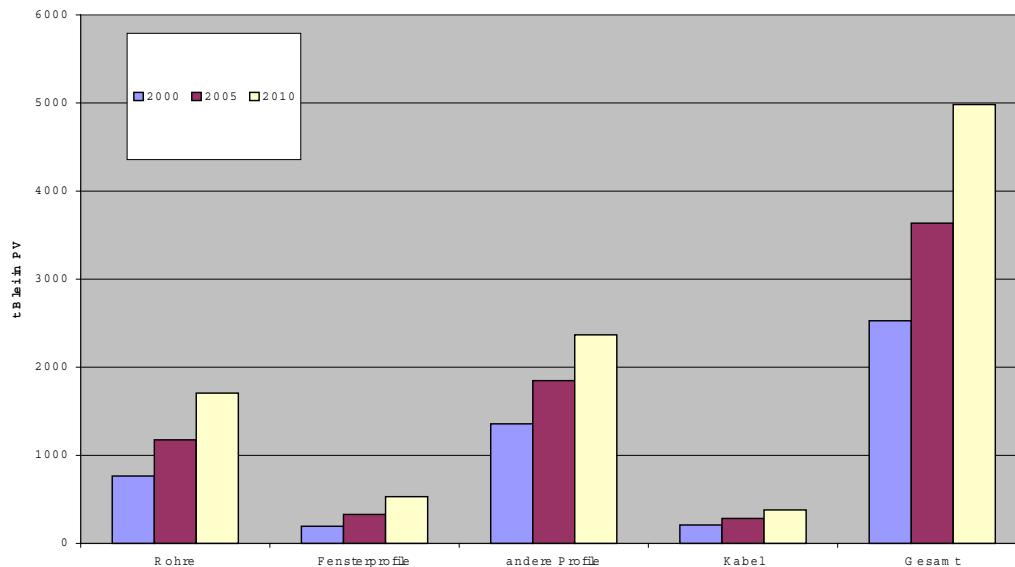
Quelle: Eigene Zusammenstellung.

In den Studien zur Beurteilung der Entsorgungsoptionen von PVC in der EU sind verschiedene Mengenszenarien für den Rückfluss zugrundegelegt. Die Szenarien von Prognos (1999) reichen zwar bis 2020, diejenigen von TNO (1999) weisen jedoch eine höhere Differenzierung nach PVC-Produkten auf. Basierend auf den Angaben von TNO (1999) wurden die Bleiströme für Deutschland unter folgenden Annahmen berechnet:

- Verhältnis des PVC-Verbrauchs der verarbeitenden Industrie (Deutschland zu EU): 1,3 Mio. t/5,6 Mio. t = 23 % (1998)<sup>204</sup>
- Verhältnis des jährlichen pro Kopf-Verbrauch an PVC (Deutschland zu EU-Durchschnitt): 17,8 kg/14,4 kg = 1,24
- Bleigehalt in Alt-PVC: 2 %

<sup>204</sup> Dieses Verhältnis spiegelt in etwa auch den Bevölkerungsanteil Deutschlands in der EU wider: 82 Mio./374 Mio. = 0,22.

**Abbildung 6-19: Szenarien für den Rückluss von Blei in PVC-Produkten aus dem Bestand in Deutschland**



Quelle: Eigene Abschätzungen basierend auf TNO 1999.

Die obige Abbildung verdeutlicht, dass die Bleiströme in Alt-PVC gegenwärtig zwar nur eine geringe Bedeutung haben, langfristig aber steil ansteigen werden. Die Differenz zwischen der PVC-Verwendung und dem -Abfallaufkommen spiegelt die Langlebigkeit der PVC-Bleiprodukte wider. Nach UBA (1999, S. 147) wird die Abfallmenge an PVC bis 2050 auf ca. 1,4 Mio. t steigen, „wenn die PVC-Produktion in der bisherigen Weise bis zu einer Sättigungsgrenze von ca. 2 Mio. t/a zunehmen würde. Unter dieser Annahme würde die in der Technosphäre befindliche PVC-Menge von derzeit 20 Mio. t auf ca. 60 Mio. t steigen“. Mithin würden auch die Bleiströme in Alt-PVC dramatisch ansteigen, sofern nicht andere Alternativen gefunden werden.

#### **6.7.4 Initiativen und Instrumente für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung**

PVC ist seit langem Gegenstand hitziger Debatten. Zahlreiche ökonomische, informatorische und ordnungsrechtliche Instrumente sind diskutiert, wenig davon ist realisiert worden. Von den Instrumenten zur Förderung einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung sind v.a. Verwendungsanforderungen (Verbot) und Entsorgungsanforderungen (Sammelverpflichtungen im Bauwesen, werkstoffliches Recycling oder Wiedergewinnung des Bleis) in Betracht zu ziehen. Stoffbilanzen und Produktkennzeichnung könnten die Downstreamphase optimieren. Auch freiwillige Initiativen wie Selbstverpflichtungen und Roadmaps bergen Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung.

##### **Initiativen und Instrumente**

Bleistabilisatoren werden vor allem für Bauprodukte eingesetzt. Auch im Automobilbereich und bei EE-Geräten wurde Blei in PVC in Initiativen und rechtlichen Regelungen adressiert, die Mengenrelevanz ist jedoch als vergleichsweise gering einzustufen.

Im März 2000 hat die PVC-Branche, vertreten durch ihre Verbände **ECVM, ECPI, ESPA und EuPC**, für den Zeitraum von 2000-2010 eine **Selbstverpflichtungserklärung zur nachhaltigen Entwicklung** lanciert. Für die Blei-Stabilisatorsysteme ist im einzelnen u.a. festgelegt:

- „Die Mitglieder der ESPA verpflichten sich, im Rahmen der CEFIC- und ICCA-Programme ‘Vertrauen in Chemikalien’ bis 2004 erste Risikoabschätzungen für Bleistabilisatoren vorzunehmen. Die nationalen Regulierungsbehörden in einigen EU-Ländern erlauben die Verwendung von Blei-Stabilisatoren für Trinkwasserrohre nach Vorlage einer entsprechenden Risikoabschätzung. Für Trinkwasserrohre wird derzeit auch ein europäisches Genehmigungssystem entwickelt.“
- „Die Mitglieder der ESPA werden ihre Arbeiten zur Forschung und Entwicklung von Alternativen zu den allgemein genutzten und hochgradig effektiven Bleistabilisator-Systemen fortsetzen ...“
- „Die ESPA wird jährliche Statistiken erstellen, aus denen hervorgeht, welche Stabilisatoren von den PVC-Verarbeitern verwendet werden. Außerdem wird sie statistisch erfassen, welche Stabilisatoren bei der Herstellung von Fenstern und Profilen oder bei Kabel- und Rohranwendungen gewählt werden. Ausgehend von dem gegenwärtigen PVC-Volumen ist zu erwarten, dass die 1999 in Europa verkaufte Menge von 120.000 t Bleistabilisatoren bis 2010 auf ein Niveau von 80.000 t absinken wird. Die ESPA wird diesen Trend durch die Entwicklung geeigneter Alternativen unterstützen.“

Die **Hersteller von Kunststoffrohren und –Formstücken** haben sich dazu verpflichtet, „bis zum Jahr 2005 mindestens 50 % der erfassbaren verfügbaren Menge von Abfällen aus Rohren und anderen Formstücken zu verwerten“. Die **Hersteller von Fensterprofilen**, die durch den europäischen Verband der Kunststoffverarbeiter vertreten werden, haben sich analog dazu verpflichtet, „bis zum Jahr 2005 mindestens 50 % der erfassbaren verfügbaren Menge von Abfällen aus Fensterprofilen zu verwerten“ (AGPU 2001). Durch weitere Maßnahmen soll die Recyclingmenge bis 2010 auf 200.000 t steigen.

Die **EU-Kommission** hat die gängige PVC-Abfallbewirtschaftung eingehend untersucht und erheblichen Klärungsbedarf auch in Bezug auf den Bleigehalt festgestellt (EU IPP 2000):

- Unter anderem soll die Entwicklung einer freiwilligen Selbstverpflichtung zu Blei in PVC auf ihre ökonomischen und ökologischen Implikationen hin untersucht werden.
- Die Kommission ist der Auffassung, dass die Recyclingraten erhöht werden sollten und schlägt als zu bewertende Maßnahmen u.a. obligatorische Sammel- und Recyclingziele für wichtige PVC-Abfallströme und Kennzeichnungspflichten vor.
- Gesetzgeberische Akte zur Beschränkung des werkstofflichen Recyclings von blei- und cadmiumhaltigem PVC-Abfall sollten geprüft werden. Allgemein ist die Frage zu klären, ob das werkstoffliche Recycling von blei- und cadmiumhaltigem PVC-Abfall an spezielle Bedingungen geknüpft werden soll.

Im November 1996 hat das Baugewerbe (Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau - **KWTB**) eine Selbstverpflichtung gegenüber der Bundesregierung abgeben, um einer rechtlichen Regelung nach dem KrWG zuvorzukommen. Darin ist als Ziel formuliert, dass die Menge der abgelagerten Bauabfälle bis zum Jahre 2005 auf 50% der Menge von 1995 zu verringern ist. „Belastete oder schadstoffverunreinigte Materialgruppen sind getrennt zu erfassen ...“. Dieses Ziel soll zum einen durch eine vermehrte Sortierung der Baustellenabfälle und zum anderen durch einen erhöhten Einsatz von Recyclingbaustoffen erreicht werden. Darüber hinaus werden die Verwertungswege des Bauschutts dokumentiert. Zwar trägt PVC nur marginal zur Bauabfallmenge bei, aber Qualitätsanforderungen der Recycling-Baustoffindustrie könnten eine Ausschleusung des PVCs aus dem Bauabfallstrom begünstigen. Bei Umsetzung der **TA Siedlungsabfall** 2005 dürfte PVC verstärkt zusammen anderen Kunststoffen in MVA entsorgt werden.<sup>205</sup>

<sup>205</sup> Interview mit Frau Held (UBA) 2001.

Als großes Manko sah die **Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“** das mangelnde Datenmaterial über den Bestand und die zu erwartenden Abfallaufkommen an (Enquete 1994, S. 163).<sup>206</sup> Problematisch dabei ist die Heterogenität des Gebäudebestandes. Bei der Abbildung der Stoffströme bei der Bauschutttaufbereitung werden nur die genehmigungsbedürftigen Anlagen erfasst, nicht jedoch die mobilen Anlagen. Unterdessen sind jedoch Initiativen entstanden, die diesen Missstand zu beseitigen suchen. Dazu gehören insbesondere die Aktivitäten der Europäischen Kommission, aber auch der PVC- und Stabilisatorbranche selbst.

Das **Umweltbundesamt** verfolgt derzeit generell eher weiche informatorische Instrumente: PVC-Produktkennzeichnung zur Verbesserung der Sammel- und Verwertungslogistik, Kennzeichnung der Additivierung zur Vermeidung von Verschleppungen, zur Verbraucherinformation und zur Verbesserung der Sammel- und Verwertungslogistik (UBA 1999, S. 161). Zu den konkreten Aktivitäten zählen das Umweltzeichen „Blauer Engel“, Imagekampagnen und das öffentliche Beschaffungswesen.<sup>207</sup> In einigen Bundesländern (Berlin, Bremen, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Thüringen), Städten und Gemeinden erfolgte eine ökologische und ökonomische Neubewertung von PVC, die zu einer Zurücknahme oder Lockerung von Beschränkungen der Verwendung von **PVC bei öffentlich geförderten Bauvorhaben** führte (AGPU 19.10.2000).

Die **Dänische Statutory Order** on Prohibition of Import and Marketing of Products containing Lead sieht für Bleistabilisatoren zunächst folgende Regelungen vor:

**Tabelle 6-51: Regelungen des Danish Lead Ban für bleistabilisierte PVC-Produkte**

Stabilisator in Kunststoffen	Import und Marketing erlaubt bis
Tür- und Fensterprofile	1.12.2001
andere Produkte	1.12.2001
Dachrinnen und Fallrohre	1.12.2002
Dachbahnen	1.12.2003
Rohre, Kanäle, Führungen	1.12.2003
Elektrische Kabel in Produkten	auf weiteres

Quelle: Danish Lead Ban 2001.

Darüber hinaus gibt es in **Dänemark** eine **PVC-Steuer**, die sich allerdings nur auf einige Produkte bezieht, darunter auch Draht-Kabelisolierungen, und unterschiedliche Staffellungen aufweist. Der Geltungsbereich erstreckt sich auf die Produktion und den Import. Bei Weich-PVC erfolgt bei der Besteuerung eine Differenzierung in phtalat-haltig und andere Weichmacher, bei Hart-PVC-Anwendungen beträgt der Steuersatz einheitlich umgerechnet etwa 40 Pfennigen. Die PVC-Branche lehnt eine PVC-Steuer grundsätzlich ab, da sie andere Werkstoffe ohne ökologische Begründung grundsätzlich besser stellt.<sup>208</sup>

In **Schweden** wurde die Vorlage eines **Aktionsplanes** durch die Industrie zur Substitution von Blei-Stabilisatoren gefordert. Als Ziel wird eine 90%ige Substitution bis 2005 angestrebt (UBA 1999), aus den Benelux-Ländern kamen Initiativen zu organischen Stabilisatoren in Rohren, aus südeuropäischen Ländern wurde zuerst Blei in Kabeln ins Visier genommen.<sup>209</sup>

<sup>206</sup> Daran hat sich nach Aussage von Frau Held (UBA) 2001 bis heute nichts grundlegend geändert.

<sup>207</sup> Interview mit Dr. Eggers (UBA) 2001.

<sup>208</sup> Interview mit Herr Baunemann (VKE) 2001.

<sup>209</sup> Interview mit Herr Baunemann (VKE) 2001.

## Beurteilung

Sowohl Blei als auch PVC zählen zu den am besten untersuchten Stoffen. Seit langem wird Handlungsbedarf angemahnt (Enquete 1994, UBA 1999). Im UBA ist PVC seit Ende der 90iger kein vordringliches Thema mehr, da sich die Handlungsmöglichkeiten als sehr beschränkt herausgestellt haben. Ideologisch besetzte Diskussionen in den 90iger Jahren wirken nach und vielschichtige Interessenlagen erschweren eine stringente Handlungsstrategie. Aufgrund der geringen ökologischen Relevanz von Blei in Stabilisatoren (keine Gefahr im Verzuge) kam man inzwischen im Umweltbundesamt zu dem Schluss, „dass es dringlichere Probleme gibt“. <sup>210</sup> Bezüglich des weitreichenden **dänischen Lead-Ban-Ansatzes** gibt es im Umweltbundesamt **Zweifel an der Umsetzung** und auch für eine PVC-Steuer sind die Realisierungschancen in Deutschland eher schlecht. <sup>211</sup>

Die PVC-Branche hat eine **Selbstverpflichtungserklärung** lanciert, um einer EU-Regelung zuvorzukommen. Eine signifikante Reduktion des Einsatzes von Bleistabilisatoren scheint gegenwärtig **nicht mit dem nötigen Nachdruck** forciert zu werden. Eine vollständige Umstellung auf bleifreie Alternativen ist jedoch technisch möglich. Unklar ist derzeit die Durchsetzbarkeit eines Verbotes aus ressourcenpolitischen Gründen. Ähnlich wie bei der WEEE oder der Altautorichtlinie könnte ein Verbot von Bleistabilisatoren in PVC in Form eines EU-Richtlinienentwurfs (Ankündigungspolitik) jedoch die Umstellung forcieren.

Gemäß KrWG ist ein Recycling dann vorgeschrieben, wenn es technisch möglich und ökonomisch verhältnismäßig ist. Die bisherigen Kostenstrukturen der Erfassung, der Verwertungs- und Entsorgungswege fördern kein hochwertiges Recycling. Im Hinblick auf eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei ist es erschwerend, dass der PVC-Mengenstrom aus guten Gründen im Zentrum des Interesses steht. Zwischen werkstofflichem PVC-Recycling und Wiedergewinnung von Blei muss eine Güterabwägung getroffen werden. Das Umweltbundesamt favorisiert das werkstoffliche Produkt- zu Produktrecycling, wohingegen einige Akteure in der EU eher für eine Rückgewinnung und Ausschleusung des Bleis votieren. **Sammelquoten** für den Rückfluss **aus dem Baubereich** für PVC-Altprodukte steht die PVC-Branche skeptisch gegenüber, da andere Fenstermaterialien dadurch besser gestellt würden. Verwertungswege sollten nicht vorgeschrieben werden, da mehrere offene Optionen den Firmen die Wahl des ökonomischsten Verwertungsweges offen lassen. <sup>212</sup>

Ausgehend von einem Verbrauch an Bleistabilisatoren in Höhe von 30.000-35.000 t in Deutschland und einer **EU-weiten Selbstverpflichtung**, den Verbrauch von 120.000 t auf 80.000 t im Jahre 2010 abzusenken, wäre auch in Deutschland eine Reduktion des Stabilisatorverbrauchs um ein Drittel zu erwarten: 20.000-22.000 t. Bezogen auf den Bleiinhalt in Höhe von 45,5 % bedeutet dies eine Reduktion von 12.500-16.000 t auf 9.000- 10.000 t zu folge. Demnach würden etwa 5000 t Blei eingespart. Da das PVC- Recycling nur marginal zur Einsparung von Primärblei beiträgt, dürfte die Selbstverpflichtung zu einem verminderten Bleibedarf in Höhe von **5.000 t** führen. Stoffverbote nach dem **Danish Lead Ban** würden 2.500-3.000 t Blei für Rohre und 8.000-10.500 t Blei für Fenster- und sonstige Profile, also insgesamt **10.500-13.500 t** substituieren. Würde darüber hinausgehend auch der Einsatz von Blei in PVC für Kabel untersagt, so wären **weitere 2.000-2.500 t** Blei einzusparen.

<sup>210</sup> Interview mit Dr. Eggers (UBA) 2001.

<sup>211</sup> Dänemark hat keine PVC-Hersteller.

<sup>212</sup> Interview mit Herrn Baunemann (VKE) 2001.

Zusammenfassend ist festhalten:

- Die Toxizität von Blei, nicht aber die Ressourcenknappheit stehen im Vordergrund der Politik. Da Bleistabilisatoren fest eingebunden sind, sind sie kein vordringliches Thema in der Umweltpolitik. Steuerungsgröße ist der Massenstrom PVC, nicht Blei.
- Die Selbstverpflichtungserklärung der PVC-Branche ist als 1. Schritt einzuschätzen, der hinter den ambitionierten Zielen des Danish Lead Ban weit zurückbleibt. Substitute sind sowohl auf Stabilisator- als auch auf Werkstoffebene vorhanden.
- Die Kostenrelationen der Alternativen liegen jedoch teilweise weit auseinander. Eine PVC-Steuer wäre im Hinblick auf den Bleistrom weder spezifisch, noch ist sie aus ökologischen Gründen uneingeschränkt wünschenswert.
- Durch den Aufbau von werkstofflichen Verwertungskapazitäten dürfte sich eine Beschränkung des werkstofflichen Recyclings zur Verhinderung der Bleidissipation politisch und rechtlich nur schwer durchsetzen lassen.
- Die Ankündigung eines Stoffverbotes oder ein gemeinsamer Aktionsplan von Staat, Industrie und Wissenschaft und flankierende Maßnahmen zur Förderung von alternativen Stabilisatorsystemen können dazu beitragen, die bedeutsamen Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung zu mobilisieren.

### 6.7.5 Handlungsbedarf für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung

Die Selbstverpflichtungserklärung der europäischen PVC-Industrie verfolgt eher moderate und kurzfristige Ziele. Für einen Großteil der Anwendungen von Bleistabilisatoren haben Innovateure bereits Alternativen entwickelt, so dass die **Substitution** vor allem **als Diffusionsaufgabe** zu verfolgen ist. In Form eines Ausstiegsfahrplanes (**Roadmap**) mit ambitionierten Zielen könnte ein weitgehender Ersatz von Bleistabilisatoren in PVC-Produkten auf europäischer Ebene mittelfristig angestrebt werden. Dieser Ausstiegsfahrplan sollte ggf. **in einer späteren Phase als EU-Richtlinie mit einem Verbot** der Produktion und des Einsatzes von Bleistabilisatoren für Rohre, Profile und Kabelmäntel mit entsprechenden Übergangsfristen verbindlich gemacht werden.

Es besteht **Forschungsbedarf** bezüglich der zeitlichen Dynamik des PVC-Anfalls. Eine weitgehende Demontage des Alt-PVC aus Gebäuden könnte durch **Sammelquoten**, auch für die Konkurrenzmaterialien Holz und Aluminium, gefördert werden, werkstoffliches Recycling durch Verwertungsquoten. Stehen geeignete Kapazitäten zur Wiedergewinnung des Bleis aus PVC zur Verfügung, kann ggf. das Alt-PVC dem chemischen Recycling mit Wiedergewinnung des Bleis zugeführt werden. Um dies zu gewährleisten ist auch die Förderung von Recyclingverfahren zur Rückgewinnung des Bleis zu erwägen.

## 6.8 Handlungsfeld Kabel und Leitungen außerhalb von Gebäuden

### 6.8.1 Einsatzbereiche, Materialien und Produkte

Charakteristisch für dieses Einsatzgebiet ist die Heterogenität an Kabeltypen, folglich auch die der stofflichen Zusammensetzung. Zur Klärung werden im folgenden zunächst Kabel von Leitungen und Wicklungen abgegrenzt und typologisiert. Anschließend wird exemplarisch der Aufbau von einem Starkstromkabel und von einem Telekommunikationskabel skizziert. Das Deutsche Kupfer-Institut grenzt Kabel wie folgt von Leitungen und Wicklungen ab (DKI 2000, S.18):



- **Kabel** sind isolierte elektrische Leiter mit zusätzlichen schützenden Hüllen, welche fest verlegt sind und auch in Erde oder Wasser verlegt sein können. Sie haben immer einen festen Mantel.
- **Leitungen** sind feste oder lose verlegt isolierte Leiter mit oder ohne zusätzliche schützende Hüllen, die bevorzugt in Innenräumen eingesetzt werden. I.d.R. dürfen sie nicht in der Erde oder in Wasser verlegt werden. Darunter fallen vor allem flexible Bauarten und solche ohne Mantel.<sup>213</sup>
- **Wickeldrähte** bestehen nur aus Leiter und Isoliermaterial meist als Lacküberzug und dienen zur Herstellung von Spulen und Wicklungen für elektrische Maschinen und Geräte wie Motoren, Transformatoren und Generatoren.

Folgende Tabelle stellt eine Typologisierung von Kabeln dar:

**Tabelle 6-52: Typologisierung von Kabeln**

	<b>Stromkabel</b>		<b>Telekommunikation</b>	
Netze	Transportnetz/ Hochspannung	Freileitung, Unterwasserkabel	WAN (wide area networks):	Erdkabel, Unterwasserkabel
	Verteilungsnetz/ Mittelspannung	Freileitungen, Erdkabel	MAN (metropolitan area networks)	Erdkabel
	Verteilungsnetz/ Niederspannung	Erdkabel, Gebäude	LAN (local area networks):	Gebäudeverkabelung, Erdkabel
Verkabelung	Bergbau, Schiffe, Industrieanlagen, Maschinen, Gebäude; Geschäftslösungen,	freiliegend / Unterputz	Bergbau, Schiffe, Industrieanlagen, Maschinen, Gebäude, Geschäftslösungen,	freiliegend / Unterputz; Telefon, Fernsehen, Daten

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

Diese Typologisierung ist nicht in allen Fällen und Kombinationen trennscharf, liefert aber einen Überblick über die grundsätzlichen Kabeleinsatzbereiche. Aus der Vielfalt von Kabeltypen wird im folgenden exemplarisch der Aufbau von einem Starkstromkabel und von einem Nachrichtenkabel skizziert. Zum Aufbau von Starkstromkabeln gehören (von innen nach außen) der Leiter, die innere Leitschicht, die Isolierung, die äußere Leitschicht und der Mantel (VDEW 1997, S. 22-23). Gemäß DIN VDE 0276 werden als Leitermaterial weiches Elektrolytkupfer oder reines Aluminium verwendet.

- Die Isolierung besteht für Spannungen von 1kV bis 10 kV aus PVC, von 1 kV bis 30 kV aus masseimprägniertem Papier oder vernetztem Polyethylen (VPE) und für Spannungen ab 60 kV aus Papier mit Öl oder Gas bzw. VPE.
- Zur Vermeidung von Teilentladungen werden ab 6 kV Leitschichten eingezogen.
- Der Mantel dient bei Papier-Masse-Kabeln als Feuchtigkeitsschutz, als Berührungsschutz, der Leitung von Ableit- oder Erdschlussströmen, Schutzleiter, Neutralleiter. In der glatt gepressten Ausführung kommen Blei und Bleilegierungen sowie Aluminium, in der gepressten und gewellten Ausführung Aluminium und Kupfer zum Einsatz.
- Zum Schutz des Bleimantels gegen Verformung dienen Kupferbänder oder unmagnetische Stahlbänder. Je nach Anwendungsfeld werden Schirm, Bewehrung, Schutzhüllen, Schichtenmantel oder Kunststoffmantel in unterschiedlicher Ausführung benötigt.

Im Unterwasserbereich wird für die Nachrichtenübertragung u.a. das Alcatel-Kabel DA440L6P3H eingesetzt (Interroute 2001, S. 34):

<sup>213</sup> Gemäß WEEE 2000 gehören zu Elektro- und Elektronikaltgeräten „alle Bauteile, Unterbaugruppen und Verbrauchsmaterialien, die zum Zeitpunkt der Entsorgung Teil des Produkts sind“, also ggf. auch Anschlussleitungen, wie z.B. für die PC-Maus.

- Sechs Röhren mit je 16 Glasfasern sind um eine zentrale Halterung angeordnet und mit einer Doppelschicht aus Polyester-Band umhüllt. Die Zwischenräume sind mit thixotropem Gelee ausgefüllt.
- Der Kabelmantel ist aus drei Schichten aufgebaut: Die innere Schicht ist aus 1 mm dickem PE mit einem Rußgehalt von ca. 2,5 %, die mittlere Schicht besteht aus 1,5 mm starkem Blei und die äußere wiederum aus 1,8 mm PE mit einem Rußgehalt von ca. 2,5 %
- Die Bewehrung besteht aus Stahldraht, eingebettet und umhüllt von Bitumen, und einer Doppelschicht aus PP-Kabelgarn, ebenfalls eingebettet in Bitumen

### **Einsatzgebiete von Kupfer**

Bei Starkstromkabeln für Verteilungsnetze konkurriert Aluminium mit Kupfer als elektrischem Leiter. Die Preisrelationen von Aluminium und Kupfer haben deren Einsatz als Leitmaterial für den Stromtransport bestimmt. Kupfer ist zwischen 1950 und 1980 von Aluminium als Leitmaterial in diversen elektrischen Anwendungen ersetzt worden, ab 1980 kehrte sich der Substitutionsprozess wieder zugunsten von Kupfer um (Messner 1999, S. 531). Ansonsten ist Kupfer in allen anderen Anwendungen dominierendes Leitmaterial für elektrischen Strom (DKI 2000, S.16-18).

In industriellen Starkstromkabeln wird Kupfer vorwiegend aus technischen Gründen als Leitmaterial eingesetzt. Dies gilt insbesondere bei

- Berg- und Tunnelbau (Schraub- und Klemmverbindungen aus Sicherheitsgründen)
- Chemische Industrie (Schraub- und Klemmverbindungen aus Sicherheitsgründen)
- Förderanlagen (Korrosion, Schwingungsfestigkeit)
- Schiffsbau (Korrosion, Schwingungsfestigkeit)

In der Gebäudeinstallation, in +EE-Geräten und in der Kfz-Elektrik dominiert Kupfer als Leitmaterial wegen seiner geringen spezifischen Abmessung und seiner Duktilität.

Anschlussleitungen für Maschinen, Anlagen und Geräte, die mechanischen Wechselbeanspruchungen unterworfen sind, sind aufgrund der Biegeeigenschaften ausschließlich aus Kupfer. Im Elektromaschinenbau sind die Haupteinsatzformen von Kupfer Wickeldrähte für Spulen und Wicklungen als Bestandteil von Transformatoren, Motoren, Generatoren, sowie in Relais und in mess- und nachrichtentechnischen Geräten.

Allerdings ist Kupfer im Bereich der Nachrichtenkabel vor allem im Fernverkehr (WAN), aber auch zunehmend im Ortsverkehr (MAN), von Glasfaserkabeln abgelöst worden (Messner 1999, S. 555). Im Bereich von LAN (Gebäudeverkabelung und Geschäftslösungen) dagegen gibt es für Kupfer als Leitmaterial einen stark wachsenden Markt. Im Bereich der Nachrichtenleitungen für Mess- und Regelungszwecke oder der Verbindung zu bzw. zwischen Informationsanlagen ist Kupfer wegen seiner einfachen Anschlusstechnik noch konkurrenzfähig. In Unterseekabeln (repeated systems > 400 km) wird Kupfer als Diffusionsbarriere gegen Wasserstoff eingesetzt.<sup>214</sup>

### **Einsatzgebiete von Blei und PVC**

Blei wird als witterungsbeständiger und flexibler Kabelmantel für Fernmelde- und Starkstromkabel eingesetzt. Vor allem für die unterirdische Verlegung und die Verlegung am Meeresgrund ist die Witterungsbeständigkeit wichtig. Die Kabelmäntel bestehen entweder aus Metall oder aus Kunststoff, wobei metallisches Blei als Kabelmantel und bleistabilisiertes PVC als Isolator Verwendung findet.

---

<sup>214</sup> <http://www.nsw.siemens.de/deutsch/start2d/index.html>.

- Papierisolierte Stromkabel werden i.d.R. mit einem Bleimantel versehen. Nach DIN 17640 ist in Deutschland schwach gekupfertes Blei (Kabelblei) vorgeschrieben, da reines Blei gegenüber Schwingungen, Erschütterungen und Vibrationen nicht ermüdungssicher ist. Höhere Anforderungen an die Dauerfestigkeit können mit Legierungen wie z.B. Tellur erreicht werden. Vorteilhaft sind die Biegefähigkeit und chemische Beständigkeit. Aluminium wird noch vereinzelt eingesetzt und wird ebenso wie Blei nahtlos aufgepresst. Als gravierender Nachteil hat sich jedoch die Korrosionsanfälligkeit von Aluminium erwiesen.
- „Kunststoffisolierte Kabel benötigen im allgemeinen keinen Metallmantel“ (VDEW 1997, S. 41). Der Schichtenmantel bei kunststoffisolierten Kabeln dient als Diffusionssperre gegen das Eindringen von Wasser. Bei Niederspannungskabeln wird vorwiegend PVC verwendet. VPE-isolierte Mittel- und Hochspannungskabel werden fast ausschließlich mit einem PVC-Mantel versehen (VDEW 1997, S. 42).

Niederspannungskabel mit Papier-Masse-Isolierung und Metallmantel werden in Deutschland nicht mehr gefertigt (VDEW 1997, S. 45). Die PVC-isolierten Niederspannungskabel haben i.d.R. auch einen PVC-Mantel. PVC-isolierte Mittelspannungskabel können nur bis 10 kV eingesetzt werden. VPE- oder Papier-Masse-Isolierung mit Metallmantel sind in diesem Bereich vorherrschend. VPE-isolierte Kabel lösen die Papier-Masse-Kabel langsam ab: „Mitte der 90iger Jahre ist der Fertigungsanteil von VPE-isolierten Kabeln bei 10-kV-Kabeln auf rund 75 % angestiegen. Bei 20- und 30 kV-Kabeln hat sich die Fertigung mit ca. 97 % fast vollständig auf VPE-isolierte Kabel verlagert (VDEW 1997, S. 48). Die verbleibenden Anteile werden vor allem von bleiummantelten papier-masse-isolierten Kabeln gedeckt. Die Hochspannungskabel teilen sich in Gasinnendruck-, Gasaußendruck-, Niederdruck-Öl- (Papier-Öl-Isolierung) und VPE-isolierte Kabel ein. Im 110 kV-Netz haben Gasdruckkabel zusammen mit Niederdruck-Ölkabeln den größten Anteil, werden seit Anfang der 90iger Jahre allerdings durch VPE-isolierte einadrige Kabel ersetzt. Dreiadrige Niederdruck-Ölkabel haben i.d.R. einen druckfesten Aluminiummantel, bei einadrigen Kabeln wird eine unmagnetische Druckschutzbandage über den Bleimantel gelegt oder ebenfalls ein Aluminium- anstelle eines Bleimantels verwendet. Bei Gasaußendruckkabeln wird die Papierisolierung im Gegensatz zum Gasinnendruckkabel (Stahlrohr mit PE-Schicht) mit einem Bleimantel geschützt. Zunehmend werden VPE-isolierte Hochspannungskabel eingesetzt, die gegenüber Öl- bzw. Gasdruckkabeln geringere dielektrische Verluste, geringere Ladeleistung, geringeres Gewicht und damit leichtere Legung, vereinfachte Montage und einen wartungsfreien Betrieb als Vorteile aufweisen (VDEW 1997, S. 55).

Für die Spezialanwendung Seekabel werden bleiummantelte Masse- und Ölkabel sowie VPE-isolierte Kabel verwendet. „Für lange Übertragungsstrecken und hohe Leistungen kommen ausschließlich Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungen (HGÜ) zum Einsatz.“ (VDEW 1997, S. 64).<sup>215</sup> Kunststoffisolierte Kabel sind wegen Raumladungsbildung nicht anwendbar. Im Bereich der Gebäude- und Fahrzeugverkabelung sowie in EE-Geräten werden Kabel häufig mit PVC isoliert. Als Mantelmaterial wird Blei auch für Nachrichtenkabel, vor allem Unterseekabel, eingesetzt.

---

<sup>215</sup> Ein Beispiel ist das 1994 fertiggestellte bleiummantelte Baltic Cable mit 450 kV Betriebsspannung und 600 MW Übertragungsleistung. Es überbrückt eine 250 km lange Distanz zwischen Schweden und Deutschland.

**6.8.2 Stoffströme**

Die Datenlage zum Blei-, Kupfer- und PVC-Einsatz in Kabeln ist ebenso unzureichend wie über den Bestand, das Abfallaufkommen sowie die dem Recycling zugeführten Mengen.

Nach BAW (2000) wurden 1999 661.500 t Kupferdrähte in Deutschland produziert und 446.300 t verbraucht. Der Fachverband Kabel und isolierte Drähte im ZVEI gibt die Metalleinsatzgewichte für 1999 für Kupfer mit 275.473 t an. Auf Kupfer als Material in Kabelanwendungen entfallen damit 83,8 Gew.-% (ZVEI 2000b). Nach Umsatz im Inlandsgeschäft entfielen 1999 32,2 % auf Kommunikationskabel, 31,5 % auf Starkstromleitungen, 27 % auf Starkstromkabel und 9,3 % auf Wickeldrähte (ZVEI 2000b).

In der Gebäudeverkabelung kommt in Westeuropa fast ausschließlich Kupfer als Leitmaterial zum Einsatz, nur in Frankreich und den Netzen des ehemaligen RGW hat Aluminium einen signifikanten Anteil. Deutschland war 1999 für 24 % des Kupfergebrauchs für die Gebäudeverkabelung in Europa verantwortlich. Insgesamt wurden 1999 in Westeuropa 761.000 t Kupfer für Gebäudekabel eingesetzt. Daraus ergibt sich eine Kupfermenge von 182.640 t für die Gebäudeverkabelung Deutschland. Bezogen auf den gesamten Kupfereinsatz für Kabel in Höhe von 275.473 t (ZVEI 2000b) entspricht dies einem Anteil von 66,3 Gew.-% (vgl. Kap. 6.6.). Die restlichen Kupfer-Mengen (92.834 t) verteilen sich auf Stromkabel und -leitungen, industrielle Anwendungen, Maschinen und EE-Geräte sowie Kfz. Kupfer in EE-Geräten und Kfz wird in gesonderten Kapiteln behandelt, zu industriellen Anwendungen liegen keine Daten vor.

Die Abnahme von raffiniertem Blei durch Kabelwerke in Deutschland ist stark rückläufig und betrug 1999 nur noch 2.783 t (BAW 2000). Über den Handel mit bleihaltigen Kabeln liegen keine Angaben vor. Nach Angaben der AGPU (1998) werden 7 % des PVC in Deutschland zu Kabeln verarbeitet. Bezogen auf die gesamte verarbeitete Menge von 1.324.000 t entspricht dies bei einem angenommenen Bleigehalt von 2 Gew.-% ca. 1.850 t Blei.

Der Blei- und Kupferanteil in den Energie- und Telefonkabeln von Wohnsiedlungen wird wie folgt angegeben [kg/Haushalt]:

**Tabelle 6-53: Kupfer- und Bleibedarf für die Erschließung von Wohnsiedlungen mit Strom- und Telefonkabeln**

	Cu (innere Leitungser-schließung)	Cu (äußere Leitungs-erschließung)	Pb (äußere Leitungser-schließung)
Geschosswohnsiedlung	20	4	3
Einfamilienhaussiedlung	35	30	35

Quelle: Obernosterer et al. 1998.

Anhaltspunkte für den Blei- und Kupferbedarf und Lebensdauern für das Niederspannungs-, Mittelspannungs- und Hochspannungsnetz (Angaben für das Netz der Schweiz) liefert folgende Tabelle, wobei bereits eine Gewichtung mit den verschiedenen Leitungsmaterialien und Män-teln vorgenommen worden ist

**Tabelle 6-54: Blei- und Kupfereinsatz im Stromnetz der Schweiz**

	Niederspannung	Mittelspannung	Hochspannung
Kupfermenge [t/km]	1,5	1,4	4
Bleimenge [t/km]	0,3	0,8	2
Betriebsdauer der Freileitung[a]	30	40	40
Betriebsdauer der Kabel [a]	30	30	30

Quelle: ETH 1995, Anhang C.

Anmerkung: Die Daten liegen nur aggregiert vor: Im NS-Netz mit 35 % Massekabel und 65 % Kunststoffkabel, im MS-Netz mit 80 % Massekabel und 20 % Kunststoffkabel sowie im HS-Netz mit 50 % Massekabel, 40 % Kunststoffkabel und Glasfaserkabel 10 % (ETH 1995, Anhang C, S. 4-5).

Für Starkstromkabel nimmt Messner (1999, S. 610) eine Lebensdauer von 30-40 Jahren und eine Recyclingrate des Altmaterials von 98 % an.

Nach VDEW verteilen sich die Netzlängen für Stromkabel und -leitungen in Deutschland (1998) wie folgt auf die verschiedenen Spannungsebenen:

**Tabelle 6-55: Ausdehnung von Stromnetzen in Deutschland**

Überwiegende Nennspannung	Freileitungen [km]	Kabel [km]
Hochspannung ( 110 bis 380 kV)	110.194	4.644
Mittelspannung (6 bis 60 kV )	170.655	308.465
Niederspannung	196.507	771.549
Insgesamt	477.356	1.084.658

Quelle: VDEW 2001.

Bei Übertragung der Schweizer Kupfer- und Bleiintensität auf die deutsche Stromnetzlängen (VDEW 2001) ergibt sich ein **Bleibestand von etwa 900.000 t** und ein **Kupferbestand von etwa 2,6 Mio. t**.

Bleimäntel werden nur noch bei erdverlegten Hochspannungskabeln über 60 kV und auf Kundenwunsch auch bei 1 kV verlegt. Im Unterwasserbereich erfolgt kein Einsatz mehr. Die Kabel werden entweder zurückgewonnen, oder sie verbleiben. Eine genauere Aussage ist nicht möglich.<sup>216</sup>

Über die anfallenden Altkabelmengen gibt es keine öffentlich zugänglichen belastbaren Daten. Stelter (1998) gibt das Aufkommen an relativ sauberen Kabelschrotten für Anfang der 90iger Jahre mit 50.000 – 55.000 t an. „Wir liegen im Moment schätzungsweise bei ca. 25.000 t“ (für 1998). Hauptproduzent war die Deutsche Bundespost. Kupfergranulate aus der Kabelzerlegung enthalten ca. 90-98 % Kupfer. Der Arbeitsausschuss Kabelzerleger im Verein Deutscher Metallhändler e.V. gibt an, dass jährlich allein in Deutschland rund 140.000 t Altkabel anfallen. Aus den in Deutschland verbleibenden und verarbeiteten Kabeln werden beim Recycling über 50.000 t Kupfergranulat und andere NE-Metalle gewonnen.<sup>217</sup> Neben Altkabeln im eigentlichen Sinne zählt dieser Verband allerdings auch ausgesonderte Neukabel und Fehlchargen aus der Produktion zu dieser Menge hinzu.

<sup>216</sup> Interview mit Herrn Lindenberger (Fa. Siemens) 1.8.2001.

<sup>217</sup> Vgl. <http://www.kabelzerleger.de/>, 9.5.2001.

Zusammenfassend gibt es keine verlässliche Datenbasis über die mit Kabeln und Leitungen assoziierten Mengen. Erhebliche Bestandslager sind zu vermuten, deren Zuführung zum Recycling allerdings auch ohne verlässliche Datenbasis in Angriff genommen werden sollte.

### **6.8.3 Problemlagen: Defizite, Verwertungspotenziale und Substitution**

#### **Expandierende Telekommunikationsnetze**

Im Ferntransportbereich (WAN) hat Glasfaser Kupfer weitgehend als Trägermaterial ersetzt. Unterseekabel und in einem geringen Umfang auch Erdkabel für die Telekommunikation werden jedoch nach wie vor mit Blei ummantelt.

Interoute errichtet derzeit eines der größten Glasfaserkabel-Netzwerke für Telekommunikationszwecke in Europa. Hintergrund ist nach Firmenangaben der wachsende Bedarf nach großen Übertragungsraten. In der ersten Phase sollen 46 Städte aus neun Ländern über 18.000 km verbunden werden, wobei eine Übertragungsrate von einem petabit/s (1000 terabits pro Sekunde) erreicht werden soll. Acht Ringe sind über Brücken, z.B. in Köln, miteinander verknüpft. Das deutsche Ringnetz bildet die Außengrenze nach Nordosten. Dabei werden für die Unterwasserstrecken bleiummantelte Kabel von der Fa. Alcatel eingesetzt (Interoute 2001). Eine direkte Kommunikation zwischen Europa und Asien soll durch einen „Euro-Asian Broadband Transit Shortcut“ gewährleistet werden, den die russische TransTeleCom anbietet. Bislang erfolgt ein Großteil der Telekommunikation zwischen Europa und Ostasien über die USA. In jüngster Zeit präsentieren sich auch russische Unternehmen als gateway in den fernen Osten. So will die russische Gasprom seine Gasleitungs-Infrastruktur künftig für Telekommunikationsdienstleistungen nutzen.

Etwa fünf Nutzerkonsortien/Besitzer der langen Unterseekabel für Telekommunikationszwecke soll es geben, darunter das Unternehmen AT&T, das entweder Platz in den Kabelrohren oder einzelne Fasern ihrer Glasfaserkabel vermietet (144 Fasern pro Kabel als typische Größe). Dominierender Hersteller und Verleger ist Alcatel.<sup>218</sup> In naher Zukunft geplante Großprojekte sind ein neues Transatlantikkabel zwischen Europa und Nordamerika, ein Kabel von Südafrika entlang der Westküste nach Europa, mit Stichwegen in die Küstenländer, und ein Kabel entlang der Ostküste nach Südostasien, wobei für letzteres allerdings die Finanzierung noch nicht gesichert ist.

In der Fernkommunikation besteht eine gewisse Konkurrenzbeziehung zur Satellitenübertragung, die jedoch eher zu additiven als substitutiven Infrastrukturen führen wird. Aber zwischen den Satellitenbetreibern besteht ein scharfer weltweiter Wettbewerb, in dem nach Auffassung von Brancheninsidern nur etwa eine Handvoll Satellitenbetreiber übrig bleiben werden.

Auch bezüglich der Medienkonvergenz sind eher additive als substitutive Effekte zu vermuten, die keine Einsparungen an Kabeln und somit auch nicht von Kupfer und Blei erwarten lassen. So soll noch in diesem Jahr das digitale terrestrische Fernsehen in einigen Gebieten Deutschlands den Regelbetrieb aufnehmen.<sup>219</sup> Der Konsument wird mit Hilfe einer set-top-box oder einer integrierten Multimedia-Plattform mit seinem Fernseher alle multimedialen Dienste nutzen können, z.B. video on demand, online-Dienste (e-mail, online-shopping, etc.), elektronische Programmführer, Pay per view, ... Besonderes Augenmerk finden auch das Telefonieren und

---

<sup>218</sup> Die Lage der Unterseekabel kann über <http://www.alcatel.com/> eingesehen werden.

<sup>219</sup> Es gibt dazu einen umfangreichen Sachstandsbericht des BMWi vom September 2000 („Digitaler Rundfunk in Deutschland“).

Fernsehen über das Internet. Es schält sich heraus, dass das Internet die technischen Standards setzt und alle anderen Anwendungen auf das Internet abgestimmt werden. Bei der sogenannten Powerline Technik wird ein spezielles Modem auf der einen Seite mit der Steckdose und auf der anderen Seite mit dem Computer, z.B. über eine USB-(Universal Serial Bus) Schnittstelle verbunden. Eine Netzverbindung muss gar nicht erst aufgebaut werden. Diese Powerline-Technik ist etwa 20 Mal schneller als ISDN. Andere Leitungen werden für eine Internetnutzung nicht benötigt. Unklarheit herrscht noch über Beeinträchtigungen durch andere Haushaltsgeräte und Strahlungen des Zugverkehrs, insbesondere von ICEs.

Die traditionellen Stadtver- und -entsorgungsbetriebe versuchen ihre Infrastruktur zur Überbrückung der „letzten Meile“ zu nutzen (MAN). Telekommunikations- und Stromkabel dürfen nicht unterhalb von und parallel zu Straßendecken verlegt werden. Deshalb hat in den großen Städten ein scharfer Wettbewerb der Telekommunikationsunternehmen um das knappe Erdreich unter den Fußwegen eingesetzt. In Hamburg sind etwa 25 Unternehmen zu befragen, wenn ein neues Telekommunikationskabel verlegt werden soll. Es gibt kein zentrales Kataster über Wasser-, Abwasser-, Gas-, Strom- und Telekommunikationsleitungen. Die Informationsdefizite bewirken einerseits, dass „ins Blaue“ gegraben wird, andererseits zeitigen sie ihre Wirkung in Form häufig aufgerissener Straßen und Fußwege.

Kupfer ist bei der Verdrahtung lokaler Netzwerke (LAN) nach wie vor ein sehr begehrtes Übertragungsmaterial. Glasfaserkabel sind im Bereich lokaler Netzwerke Kupfer in vielen Anwendungen noch unterlegen. Die Signaldämpfung („Attenuation“) bei Glasfasern erfordert eine opto-elektronische Signalverstärkung, weshalb im Nahbereich nach wie vor Kupfer-dominiert. Eine Konkurrenz könnte über drahtlose Übertragungstechniken aufkeimen. Wireless Local Area Networks (WLAN) unterscheiden sich von Bluetooth™ vor allem durch die größeren Reichweiten und Übertragungsraten. Bluetooth™ kann vor allem im Nahbereich, z.B. zwischen einzelnen Geräten im Haushalt oder zwischen einzelnen Komponenten eines Autos, Daten übertragen, während mit WLAN auch ganze Häuser wie z.B. Hotels und angrenzende Einrichtungen erreicht werden können.

Durch die Substitution von Kupfer durch Glasfaser im Nachrichtenkabelsegment entstehen jedoch auch Wechselwirkungen höherer Ordnung, die den Kupferverbrauch wiederum indirekt fördern können: Durch Glasfaser-Breitbandnetze können neue Dienstleitungen auf neuen Endgeräten implementiert werden, für die wiederum Kupfer benötigt wird. Eine Kupfer-basierte Elektrizitätsinfrastruktur ist auch für den Betrieb von Glasfasernetzen notwendig (Messner 1999, S. 558). Im Gegensatz zur werkstofflichen Substitution (Aluminium ersetzt Kupfer als Leitermaterial in Freileitungen) können bei Systeminnovationen (optische statt elektrische Nachrichtenübertragung) auch neue Anwendungen für das substituierte Material entstehen, die den Marktverlust womöglich bis zu einem gewissen Grade kompensieren.

Eine Prognose über die Entwicklung des Blei- und Kupfereinsatzes ist aufgrund der komplexen Substitutionsbeziehungen auf werkstofflicher (Glasfaser-Kupfer; Bleimantel-Kunststoffmantel) und systemischer Ebene (Konkurrenz durch Funk auf allen Ebenen: Satelliten, Richtfunk, WLAN, Bluetooth; Kommunikationsnetze - andere Netze voraussichtlich nicht möglich).

### **Ungenutzte Altkabelbestände im Erdreich und am Meeresboden**

Aufgrund der hohen Kosten für Fehlerbehebung und Bergung von Altkabeln besteht seitens der Hersteller ein Eigeninteresse, qualitativ hochwertige und langlebige Kabel zu konstruieren.

Vor allem in der Vergangenheit wurden Niederdruck-Ölkabel in Hochspannungsnetzen eingesetzt. Im Inneren des Leiters befindet sich dünnflüssiges Öl, weshalb die Kabelanlage ständig auf Dichtigkeit kontrolliert werden muss. Nach Ablauf der Nutzungsphase kann es deshalb kostengünstiger sein, sie aus dem Netz zu nehmen und zu bergen (VDEW 1997, S. 201). Bleiisolierte Massekabel enthalten dagegen eine Papierisolierung, die mit hochviskosem Öl getränkt ist. Da sie im Papier weitgehend gebunden ist, sind im Schadensfälle bei rechtzeitiger Reaktion keine großen Austrittsmengen zu erwarten. Beim Abkühlen im Schadensfälle oder bei der Aüßerbetriebnahme des Kabels vergrößert sich die Viskosität weiter und verringert damit die Mobilität. Deshalb fallen die Überwachungsmaßnahmen weg und sie können nach Ende der Nutzungsphase im Erdreich verbleiben. Häufig werden die erdverlegten Kabel nur dann zurückgeholt, wenn das Erdreich ohnehin ausgehoben werden muss (VDEW 1997, S. 201). Der überwiegende Kabelanteil in Deutschland hat eine Isolierung und einen Mantel aus Kunststoff. Erst bei einem pH-Wert von unter 3 treten Spuren von Blei als Bleioxid, Bleisulfat oder Bleichlorid aus PVC aus (VDEW 1997, S. 201). Im Boden treten solche Werte allerdings im Regelfall nicht auf.

Die Kabelortung ist sowohl zur Behebung von Kabelfehlern, als auch für die Zuführung aufgebener Kabel zum Recycling von Bedeutung. Dabei müssen sowohl die Trasse als auch die Verlegungstiefe bestimmt werden. Wesentliches Hindernis für die Altkabelmobilisierung sind die Bergungskosten, die in der Regel ein Ausheben des Erdreiches erfordern. Rückholssysteme ohne Bewegung des Erdreiches werden ebenfalls eingesetzt. Entscheidende Voraussetzung dafür ist die Verlegung von Kabeln in Kabelkanälen. Ob Unterseekabel wiedergewonnen werden ist ebenfalls zweifelhaft. Das Ausmaß dieser Materiallager ist unbekannt. Zentrale Lagekataster und Detektionsmethoden (z.B. mit IR-Strahlen) könnten dazu beitragen, dieses Potenzial zu erschließen. Rückholanforderungen (z.B. Kabelkanäle) sind perspektivisch zu stellen.

### **Lückenhaftes Kabelrecycling**

Wesentliches Recyclinghemmnis ist die Erfassung. Dabei muss zwischen den verschiedenen Einsatzgebieten unterschieden werden (z.B. Gebäudeverkabelung, Unterseekabel), was in den einzelnen Kapiteln dargestellt ist (Bau, Kfz, EE). Für das Kabelrecycling existieren etablierte Verfahren. Ausschlaggebend für die ökonomische Wiedergewinnung ist der Kupfergehalt, wobei dann i.d.R. auch Blei und PVC wiedergewonnen werden. Blei in Kabeln wird an Rohstoffbörsen notiert. Kennzeichnend für die Branche ist, dass sie über recycelte Einsatzmengen keine Auskunft erteilt, mithin bestehen Informationsdefizite.

Die Herkunftsbereiche von Altkabeln sind ebenso vielfältig wie ihre Erscheinungsformen. Der Arbeitsausschuss Kabelzerleger im Verein Deutscher Metallhändler e.V. subsumiert unter Altkabeln alte Kabel aus dem Abbruch, ausgediente Post- bzw. Kommunikationskabel aber auch im Produktionsprozess ausgesonderte Neukabel und Fehlchargen. „Die Zusammensetzung der verschiedenen Kabelsorten hat sich im Laufe der Jahre immer wieder geändert. Außer Kupfer, Aluminium, Blei und Stahl gibt es vor allem bei Isolationsmaterial nahezu unzählige Variationen. Sie reichen von PE- und Gummi- Ummantelungen über verschiedene PVC-Sorten bis hin zu vernetzten Kunststoffen. Bedenkt man, dass heute zu zerlegende Kabel bis 100 Jahre alt sein können, ist die ganze Bandbreite der in den Kabeln verarbeiteten Materialien zu ermessen. Eine



sach- und umweltgerechte Zerlegung erfordert daher ein hohes Maß an Sachkunde und technischem Wissen.“<sup>220</sup>

Beim Wareneingang der Kabelzerleger werden die Kabel zunächst sortiert und klassifiziert. Die thermische Kabelzerlegung ist aus Umweltschutzgründen - v.a. wegen Dioxinbildung - nicht mehr zulässig. Querschnittstarke Kabel mit vielen unterschiedlichen Aufbauten werden zunächst in etwa einen Meter lange Stücke geschnitten und der Längsseite nach mehrmals aufgeschlitzt. Das Bedienen und Beschicken der Maschinen ist ebenso wie die Trennung der Bestandteile fast ausschließlich Handarbeit und somit sehr personal- und kostenintensiv (VDEW 1997, S. 203). Dagegen können Kabel, die aus wenigen verschiedenen Materialien und Aufbauelementen bestehen, in Shreddern zerkleinert werden. Zerkleinerte Teile werden in einer Schneidmühle weiter zerschnitten, wobei sich die einzelnen Bestandteile wie Isolierungskunststoff und Metallteile voneinander trennen lassen. Durch Sortier- und Trennanlagen können die Fraktionen separat erfasst und dem Recycling zugeführt werden. Während Kupfer und Aluminium in hoher Reinheit wiedergewonnen werden können, ist PVC nur in Produkten einsetzbar, wo die Oberflächeneigenschaften nachrangig sind.

In der Altkabelaufbereitung ist vor allem die Blei-Kupfer-Trennung von Bedeutung. Der Blei-Kupfer-Separator hamos CLS z.B. basiert auf einem trockenen Trennungsprozess der Metallkörnerchen indem durch ein hochfrequentes Magnetfeld ein elektrischer Wirbelstrom induziert, der proportional zur Leitfähigkeit des Werkstoffes ist. Mit diesem Verfahren können nicht nur Blei und Kupfer, sondern auch andere Nichteisenfraktionen und Eisen getrennt werden. Voraussetzung ist, dass die Einsatzstoffe in Kornform vorliegen, was einen vorausgehenden Mahlungsschritt erfordert.<sup>221</sup>

Hauptdefizit für die Wiedergewinnung von Kupferkabeln und -leitungen ist die Rückholung aus Gebäuden (semi-dissipativ), für die anderen kompakten Mengen (Industrie, Bergbau, Schiffe) bestehen abgesehen von Erdkabeln und Unterwasserkabeln Marktanreize. Oberirdische Kupferleitungen dürften wegen ihrer leichten Rückholbarkeit zu einem hohen Anteil dem Recycling zugeführt werden, weshalb den Erdkabeln und Unterwasserkabeln erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte. Durch den Einsatz von vergleichsweise geringwertiger Glasfaser anstelle von Kupfer zur Übertragung von Nachrichten könnte ein Recycling von Blei und PVC ökonomisch unattraktiv werden. Die Kostenrelationen in 10-25 Jahren sind nicht absehbar.

### **Substitution**

Kupfer kann im Strombereich durch Aluminium und im Telekommunikationsbereich durch Glasfaser, Nutzung des Stromnetzes und Funk ersetzt werden. Grundsätzlich haben folgende Relationen Einfluss auf die Substitutionsfähigkeit von Kupfer durch Aluminium im Kabel und Leitungsbereich für den Stromtransport: Aluminium hat einen um 60% höheren elektrischen Widerstand als Kupfer, ein um 60% größeres Volumen als Kupfer bei vergleichbaren Kabeln, einen um 27% dickeren Kabeldurchmesser als Kupfer bei vergleichbaren Kabeln und ist um 48% leichter als Kupfer bei vergleichbaren Kabeln. Zudem beträgt der Materialpreis von Aluminium nur die Hälfte des Kupferpreises.

Die Gewichtspreisrelation ist in der Vergangenheit Schwankungen unterworfen gewesen. 1955 war eine t Aluminium noch halb so teuer wie Kupfer. 1966 lag Kupfer der Kupferpreis sogar

---

<sup>220</sup> Vgl. <http://www.kabelzerleger.de/>, 9.5.2001.

<sup>221</sup> Vgl. [http://www.hamos.com/serie\\_cls.html](http://www.hamos.com/serie_cls.html), 7.11.2000.

um den Faktor 2,64 über dem von Aluminium. Im Jahr 1986/87 fiel der Kupferpreis wieder unter den Aluminiumpreis und zu Beginn der 90er Jahre betrug der Aluminiumpreis wieder die Hälfte des Kupferpreises. Bestimmend für die Substitution in spezifischen Anwendungsfeldern ist jedoch das Volumenverhältnis von Kupfer und Aluminium. Da Aluminium ein um den Faktor 3,3 geringeres Materialgewicht besitzt erzielt es in strukturellen Anwendungen wesentliche Vorteile. Dieser Vorteil kommt zusammen mit den geringeren Materialpreisen in der Anwendung als Leitermaterial in Überlandleitungen für Starkstrom schon lange zum Tragen. Aufgrund des höheren Leitungsgewichts von Kupfer wäre eine weit größere Anzahl von Starkstrommasten mit erhöhter Stabilität erforderlich. Auch unterirdische Kupferkabel für Starkstrom sind keine prinzipielle Alternative zu Überlandleitungen, da unterirdische Kabel bei hohen Spannungen sehr hohe Übertragungsverluste aufweisen und zudem ihre Überlastreserve geringer ist.

Bei Starkstromkabel und -leitungen im Leistungsbereich zwischen 1-60 kV konnte sich Kupfer lange gegen Aluminium behaupten da der Preis des Isoliermaterials für die dickeren Aluminiumkabel ausschlaggebend waren. Doch durch technologische Entwicklungen wurde vergleichbare isolierte Aluminiumkabel zunehmend rentabel. Dieser Trend setzt sich weiter fort so dass sich Aluminium in allen Bereichen der Nieder- und Mittelspannung zunehmend durchsetzt. Gleichzeitig zeigt sich insbesondere aufgrund der oberirdischen Raumproblemen in Ballungsgebieten ein Trend von oberirdischen Leitungen zu unterirdischen Kabeln. Dieser Trend drosselt die Durchsetzung des Aluminiums etwas da der Gewichtsvorteil nicht mehr primär wirken konnte. In der gesamten Spannungskategorie für Nieder- und Mittelspannung zwischen 1-35kV stieg der Aluminiumeinsatz in der Kabelproduktion von 1975 bis 1996 um 81,5 % während im gleichen Zeitraum der Kupfereinsatz um 16,5% fiel. Damit ist der Aluminiumanteil von 43% auf 63% angewachsen.<sup>222</sup>

In Bezug auf die Knappheit ist die Substitution von Kupfer durch **Aluminium** und Glasfaser positiv zu beurteilen. Zum einen liegt die Aluminiumkonzentration im Bauxiterz mit 20 % um über den Faktor 20 höher als bei Kupfererzen, zum anderen ist Aluminium nach Sauerstoff und Silizium das dritthäufigste Element in der Erdkruste. Die **ökologischen Implikationen** einer Substitution von Kupfer durch Aluminium sind ambivalent. Aluminium besitzt **Vorteile** durch die höheren Erzkonzentrationen, geringere Abraumengen (Rotschlamm), geringere Materialintensität durch die geringere Dichte, geringeren Wasserverbrauch und geringere Staubemissionen. **Nachteilig** wirken sich der um 25% höhere PE-Einsatz für die Kabelisolierung sowie die energieintensiven Raffinationsprozesse mit ihren hohen Wasser- und Chemikalienverbräuchen aus.

Eine weitere mögliche Substitution ist durch den Einsatz von supraleitenden Materialien denkbar. Es handelt sich dabei um Keramikoxiden auf Kupferoxidbasis. Eine praktische Erprobung erfolgt ab November 2001 durch ein Konsortium von Pirelli Cables, American Superconductor und der staatlichen US Energiebehörde in Detroit. Dort wird als Material ein Keramikoxid mit Wismut, Strontium, Kalzium, Kupfer und Sauerstoff erprobt. Es werden dabei neun alte Kupferkabel mit einem Gewicht von 8 t durch drei Supraleiter von 110 kg ersetzt. Problematisch ist jedoch die Wechsellastspannung, so dass auf langer Sicht Gleichstromnetze anvisiert werden. Aufwändig erweist sich auch die notwendige Kühlung. So muss der Keramikwerkstoff aufwändig mit Silber ummantelt und zu langen Fasern ausgewalzt werden. Die Fasern werden um ein Rohr gelegt, das von einem Kühlmittel durchströmt wird. In Kopenhagen ist seit Mai 2001 ein 30 m

<sup>222</sup> Unter Berücksichtigung daß ein Al Kabel nur 48,5% des Gewichts eines gleichwertigen Kupfer-Kabel besitzt.

langes 30kV supraleitendes Kabel in der Erprobung. Der Hersteller NKT Cabels betont zwar die Zuverlässigkeit, die Anwendung ist jedoch noch nicht marktfähig (ZEIT Nr. 45/01).

Die Substitution von Kupfer durch **Glasfaser** bei Kabeln der Informationsübertragung hat ebenfalls vielfältige ökologische Implikationen. So ist Silizium deutlich weniger knapp und hat eine geringere Materialintensität, gleichwohl ist die energieintensive Herstellung aufgrund der hohen Reinheitsanforderungen und die geringe Recyclingfähigkeit aufgrund der werkstofflichen Komplexität nachteilig. Darüber hinaus ist die Erzeugung von Laserlicht sehr energieaufwendig und erfordert Kristalle mit In, Ga, As, P. Ferner enthalten Glasfasern auch geringe Mengen an B und Ge und benötigen opto-elektronische Verstärker und Kristalldetektoren. Dennoch wird Glasfaser aufgrund der geforderten Übertragungsraten Kupfer in der Datenübertragung zunehmend verdrängen. Dabei ist abzuwägen in wie weit durch die Nutzung der IuK Technologie ökologische Nutzen entstehen (Email statt Brief, Videokonferenzen statt Verkehr) oder neue Nachteile durch die vermehrte Nachfrage nach recyclinguntauglichen IuK-Endgeräten entstehen.

Da sich viele drahtlose Übertragungstechniken wie Bluetooth und WLAN erst im Aufbau befinden, liegen auch noch keine validen Informationen über die ökologischen Implikationen vor. Eine weitere mögliche Option zur Kupfersubstitution in der Datenübertragung ist die Nutzung des Stromnetzes zur Datenübertragung (powerline-Technik). Allerdings krankt diese Technik noch an technischen Problemen.

Die Hauptdefizite in Bezug auf eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung lauten wie folgt:

- **Informationsdefizite:** Bezüglich der Menge, der Zusammensetzung, der Lage, dem Alter und der Nutzungsstruktur von Kabeln liegen keine belastbaren Daten vor. Die derzeitige regionale Informationsbeschaffung ist aufwendig und unvollständig. Eine Übersicht über die Kupfer- und Bleibestände in Kabeln und Leitungen liegt nicht vor. Somit lassen sich keine Aussagen über die Menge der rückbaubaren Kabelmassen und mögliche Bergungsvorhaben machen.
- **Export:** Bezüglich der Kabelzerlegung existiert eine ausgeprägte Exportneigung -insbesondere in das osteuropäische und ostasiatische Ausland in dem geringere Umweltstandards vorherrschen und die Kabelverschmelzung üblich ist. Im Anschluss daran erfolgt die Einschleusung des Kupfers in die lokalen Stoffkreisläufe. In welchem Maße diese Sekundärrohstoffe wieder genutzt oder reimportiert werden ist nicht bekannt.
- **Ungenutzte Bestandslager:** Die Bestandslager von Blei und Kupfer in aufgegebenen Kabeltrassen dürften beträchtlich sein. Deren Rückbau, Bergung, separate Erfassung und Einschleusung in den Stoffkreislauf findet weitgehend unregelt, unkoordiniert mit andern Tiefbautätigkeiten und unvollständig statt.
- **Planungsdefizite:** Das Verlegen von Kabeln ist nur im sehr geringen Maße abgestimmt mit anderen Tiefbauarbeiten. Insbesondere eine Abstimmung mit baulichen Maßnahmen der Infrastruktur wie Gas, Wasser, Abwasser und dem allgemeinen Straßen- und Wegebau findet nur eingeschränkt statt.

#### 6.8.4 Initiativen und Instrumente für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung

Instrumente mit dem expliziten Ziel einer rückholgerechten Verlegung von Kabeln und Leitungen außerhalb von Gebäuden existieren nicht. Auch für die Dokumentation des Bestandes und die Rückholung von Kabeln und Leitungen gibt es keine Regelungen, die auf die Wiedergewinnung von Rohstoffen abzielen.

Für die Neuverlegung existieren zwar Bestimmungen über die Zulassung der Anlagen, einheitliche Genehmigungstatbestände, gibt es jedoch nicht. Weder in Landesbauordnungen noch in ausgesprochenen Baugenehmigungen sind umweltbezogene Pflichten erforderlich. Bezüglich bestehender Kabel- und Leitungsnetze sind ebenfalls keine expliziten instrumentellen Regelungen

gen bekannt, die Anforderungen hinsichtlich der Bestandspflege beinhalten, welche über eine akute Gefahrenabwehr entsprechend schutzwürdiger Güter hinausgehen. Für die Rückholung sind ebenfalls keine expliziten Regelungen bekannt. Jedoch lassen sich Verpflichtungen zur Kabelbergung aus den allgemeinen Entsorgungspflichten des Abfallerzeugers und –besitzers ableiten. Eine derartige ohnehin bestehende allgemeine Entsorgungsverantwortung kann, wie das Beispiel der verpflichtenden Sicherheitsleistungen für Deponiebetreiber zeigt, auch entsorgungsbezogene Vorfinanzierungspflichten beinhalten. Die Anwendungen derartiger Verpflichtungen zur Bildung ausreichender Rücklagen für die Bergung und Entsorgung, ist jedoch für Altkabel bisher noch nicht erfolgt. Auch in Fällen in denen die öffentliche Hand der Besitzer und Eigentümer von Kabel- oder Leitungsnetzen ist, sind keine besonderen ressourcenorientierten Regelungen zur Sicherstellung oder Unterstützung der Kreislaufführung des Kabelmaterials bekannt.

Der Danish Lead Ban sieht ein Verbot der Bleiummantelung von Erdkabeln unter 24 kV vor, da mit Aluminium und Kunststoffen geeigneter Ersatz zur Verfügung steht. Ansonsten bleiben die Substitutionsbeziehungen von Blei und Kupfer durch andere Werkstoffe in Europa den Marktkräften überlassen.

### **6.8.5 Handlungsbedarf für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung**

#### **Infrastrukturkataster**

Um eine breite Informationsbasis über Menge, Art, Ort und Nutzung von Kabeln und Leitungen zu erhalten, ist die Schaffung eines Katasters zu erwägen. Ein solches Kataster sollte andere leitungsgebundene Infrastrukturen wie Wasser- und Abwasserrohre, Gasrohre etc. einschließen. Das **Infrastrukturkataster** sollte zentral geführt werden und regional vorhandene Informationen zusammenführen und fortschreiben. Auf der Grundlage eines Infrastrukturkatasters ließen sich Aussagen über die Menge und den zeitlichen Anfall der rückführbaren Kupfer- und Bleiströme ermitteln und konzeptionelle Planungen für eine gezielte und systematische Bergung entwickeln.

#### **Effiziente Bergungskonzepte**

Da es sich bei Kabeln und Leitungen um langlebige Kupfer- und Bleianwendungen handelt, ist die Gefahr des Informationsverlustes insbesondere über Ort, Lage, Art, Menge und Nutzung unterirdisch verlegten Kabel besonders hoch. Darüber hinaus sind Entsorgungsanforderungen in Form von Rückholbarkeitspflichten in der Praxis schwer über sehr lange Zeiträume aufrechtzuerhalten. Daher erscheint eine Finanzierung der Bergung durch **Entsorgungsfinanzierungspflichten der Besitzer** erfolgversprechend. Grundsätzlich ist flankierend dazu eine ordnungsrechtliche Verpflichtung zur **rückholgerechten Kabelverlegung** zu erwägen.

Um eine effiziente Bergung zu erzielen sind Akteurskooperationen in Form von **Contracting-Modellen** denkbar. In derartigen Vertragsgestaltungen überträgt der Kabelbesitzer sein Kabeleigentum an ein Bergungsunternehmen, das wiederum die Bergung und umweltgerechte Verwertung garantiert. Durch diese Akteurskooperationen soll eine Win-Win-Situation entstehen, bei dem die Materialerlöse die Bergungskosten finanzieren. Bergungsunternehmen können aus ihrem technischen und personellen know-how Kapital schlagen. Der Kabelbesitzer kann seiner Entsorgungspflicht nachkommen, indem er einen Spezialisten beauftragt, der die Entsorgung billiger darstellen kann, als er selbst. Darüber hinaus ist sowohl die Verlegung als auch die Bergung in die öffentliche Bauleitplanung insbesondere der Tiefbautätigkeiten zu integrieren.

#### **Export von Altkabeln**

Die Tendenz, Kabel zur Kupferwiedergewinnung in Länder mit geringeren Umweltstandards zu exportieren, ist kritisch zu beurteilen. Exportbeschränkungen oder Andienungspflichten an zertifizierte Kabelverwerter könnten dem Export zum Unterlaufen von Umweltauflagen Einhalt gebieten. Die Exportbeschränkungen könnten durch eine definitorische Erfassung von Kabelschrott als Abfall und einer entsprechenden Klassifizierung im Baseler Abkommen erreicht werden. Allerdings kollidiert eine derartige Regelung ggf. mit dem Welthandelsrecht.

### **Verbesserung der Recyclingpraxis**

Um die technologische Effizienz der Kabelzerlegung zu erhöhen und insbesondere die manuellen Prozesse der Kabelzerlegung zu minimieren sind Innovationsimpulse sinnvoll. Dazu kommt eine Forschungsförderung in Betracht, die verstärkt auf eine maschinelle Sichtung, Sortierung, Zerlegung und Zerkleinerung der Altkabel zielt. In Kombination mit der Entsorgungsfinanzierungspflicht und des Contracting-Modells dürften Altkabel nur von zertifizierten Betrieben aufbereitet und recycled werden, wobei sich allerdings das Problem der Kontrollierbarkeit im internationalen Rahmen stellt.

Zusammenfassend stellen die hier vorgeschlagenen Maßnahmen eine konzeptionell kombinierbare Verschränkung dar, die darauf abzielen vor allem die Rückführung der erheblichen Kupferbestände aus Kabeln in den Kupferkreislauf sicher zu stellen.

## **6.9 Handlungsfeld Wirtschafts- und Kristallglas**

Der geschätzte Bleieinsatz für Wirtschafts- und Kristallglas für Haushaltswaren liegt bei ca. 10.000 t pro Jahr, was etwa 3 % des berichteten jährlichen Bleiverbrauchs in Deutschland entspricht. Die Nutzungshase der Glaswaren in Haushalten und Gewerbe wird häufig erst durch Glasbruch beendet, was einer Rückführung in die Glasschmelze aufgrund der kleinen und diskret anfallenden Mengen erhebliche Grenzen setzt. Der Einsatz von Blei in Wirtschafts- und Kristallglas ist vorwiegend unter toxikologischen, nicht aber ressourcenpolitischen Gesichtspunkten diskutiert worden.

### **6.9.1 Materialien, Einsatzbereiche und Produkte**

Das Bleioxid im Wirtschafts- und Kristallglassektor dient der Verbesserung der optischen Eigenschaften (**Glanz**) und der Erweiterung des Temperaturbereichs der Schmelze bei der Verarbeitung. Auch die chemische Beständigkeit und Spülmaschinenfestigkeit sind Eigenschaften, die von den Herstellern im Vergleich zu bleifreien Alternativen positiv hervorgehoben werden. Der Kunde ist vielfach bereit, für Produkte aus Bleikristall auch bei marginalen optischen Differenzen einen höheren Preis zu bezahlen, da Bleikristall traditionell mit besonderer Qualität verbunden ist.<sup>223</sup>

Maßgeblich für die Kennzeichnung bleihaltigen Wirtschafts- und Kristallglases sind das Kristallglaskennzeichnungsgesetz-(BGBl. 1971 I S. 857) und dessen Änderungen. Man unterscheidet zwischen Hochbleikristallgläsern mit einem Bleigehalt von über 30 % und Bleikristallgläsern mit mindestens 24 % Bleidioxid. In Kristallglas ist Bleioxid teilweise oder ganz durch Barium-, Zink- oder Kaliumoxide ersetzt, insgesamt tragen diese vier Oxide zu mindestens 10 % des Kristallglasgewichtes bei. Hamidovič (1997, S. 37) gibt einen Bleioxidgehalt von 2,8 % PbO im Wirtschaftsglas an.

---

<sup>223</sup> Interview mit Herrn Martinek (Fa. Nachtmann) 2001.

Bleihaltiges Wirtschafts- und (Blei-)Kristallglas wird für Trinkgläser, Tischzubehör, Küchen- und Haushaltsgeräte eingesetzt. Zu den Glaswaren für Tisch- und Küche gehören z.B. Salz- und Pfefferstreuer, Essig- und Öl-Flaschen, Glasteller, Schütten, Schalen, Vasen, Karaffen und Leuchter. Zu den sonstigen Glaswaren zählen u.a. Geschenkartikel.

### **6.9.2 Stoffströme**

Nach Angaben der Verbandsorganisation Fachvereinigung der Kristall- und Wirtschaftsglashersteller e.V. im BV Glas wurden 1999 105.000 t von 42 Betrieben hergestellt. Das Inlandsabsatzniveau mit Kristall- und Wirtschaftsglas für den „gedeckten Tisch“ und die Gastronomie lag 1999 bei ca. 1,2 Mrd. DM, wovon ca. 40 % des Marktes durch deutsche Hersteller abgedeckt wurden. Dem Import in Höhe von 720 Mio. DM stand 1999 ein Export im Werte von ca. 755 Mio. DM gegenüber. Allerdings ergänzen auch inländische Hersteller ihre mittel- und hochpreisigen Qualitätssegmente mit preisgünstiger Ware aus Glashütten anderer europäischer Länder.  
<sup>224</sup>

Dominierender Hersteller und Vertreiber von Kristallglas und Blei-Kristallglas in Deutschland und Europa ist die Fa. Nachtmann, die zwischen 50 und 60 % ihrer Produktion, v.a. auch in die USA und nach Ostasien exportiert.

Weitere deutsche Hersteller von Kristall- und Bleikristallglas, die dem BV Glas angehören, und ihre Produkte sind in folgender Tabelle zusammengestellt, wobei auch das breite Verarbeitungsspektrum –von mundgeblasen bis vollautomatisiert- ersichtlich wird:

---

<sup>224</sup> Vgl. <http://www.bvglas.de/>; 18.7.2001.

**Tabelle 6-56: Hersteller von Wirtschafts- und Kristallglas in Deutschland**

Hersteller	Produkte
BEYER & CO. KRISTALL-GLAS GMBH	Bleikristall, mundgeblasen, gepreßt und handgeschliffen; Trinkgläser und Geschenkartikel
Glashütte Döbern GmbH	Bleikristall und Kristallglas, auch farbig, mundgeblasen und maschinell hergestellt; Trinkgläser, Geschenkartikel und Flakonagen
GLASAX Glasherstellungs- und Vertriebsgesellschaft mbH	Wirtschaftsglas, gepreßt, geschleudert, handgearbeitet und veredelt;
IRA Glasveredelungs GmbH	Geschenkartikel, Wirtschaftsglas, veredelt und dekoriert
Franz Kaspar Kg Kristallglaswerk	Bleikristall, auch farbig, mundgeblasen; Trinkgläser, Geschenkartikel und Künstlerunikate
CRISTALLERIE OBERURSEL GmbH	Bleikristall, auch farbig, mundgeblasen und gepreßt; Trinkgläser, Geschenkartikel, Beleuchtungsglas und Lüsterbehang
SCHOTT JENAer GLAS GmbH	Hitzebeständiges Hauswirtschaftsglas <sup>225</sup>
Villeroy und Boch AG Cristallerie	Bleikristall, mundgeblasen und gepreßt, Trinkgläser und Geschenkartikel
CONCORDE Kristallglas GmbH	Bleikristall, mundgeblasen und gepreßt, Trinkgläser und Geschenkartikel
SCHOTT Zwiesel AG	Kristallglas, auch farbig, mundgeblasen und maschinell hergestellt, Trinkgläser und Geschenkartikel
Theresienthaler Krystallglasmanufaktur GmbH	Kristallglas, auch farbig, mundgeblasen, geschleudert, handbemalt und handgeschliffen, veredelt; Trinkgläser und Geschenkartikel
ULLMANNGLASS	Bleikristall, mundgeblasen, veredelt, handgeschliffen und dekoriert; Geschenkartikel, Parfumflaschen und Lüsterbehang

Quelle: <http://www.bvglas.de/> vom 18.7.2001.

1994 wurden in Deutschland 4.500 t Blei für die Produktion von Bleikristallglas eingesetzt. In Bleikristallglas wurden im selben Jahr 800 t Blei importiert und 3.000 t Blei exportiert, woraus unter Vernachlässigung von Bestandsänderungen ein Verbleib von 2.300 t Blei in Bleikristallglas resultiert (Balzer 1995). Neuere Angaben zu den Bleiströmen liegen nicht vor. Im Jahresbericht des BV Glas (2000) finden sich aktuellere Angaben über die Produktionszahlen von Wirtschafts- und Kristallglas aufgeschlüsselt nach Warengruppen. Unter Abschätzung typischer Stückgewichte und Bleioxidgehalte lässt sich, unter Berücksichtigung des Molmassenanteils von Blei in Bleioxid, der Bleibedarf der Wirtschafts- und Kristallglasbranche grob abschätzen:

<sup>225</sup> hitzebeständiges Hauswirtschaftsglas kann z.B. Borosilikatglas sein. In der Statistik des BV-Glas wird dieser Anteil getrennt ausgewiesen.

**Tabelle 6-57: Abschätzung des Bleiverbrauchs in der Wirtschafts- und Kristallglasproduktion in Deutschland**

Produkt	Gewicht	PbO-Gehalt	Anzahl 1998	Gesamtmenge	Pb-Menge
	kg/Stück	%	1000 St.	t	t
Trinkglas aus Bleikristall	0,25	24	54.319	13.580	3.028
Trinkglas aus Kristall- und Wirtschaftsglas	0,2	2,8	249.993	49.999	1.300
Glaswaren für Tisch und Küche aus Bleikristall	0,5	24	52.384	26.192	5.841
sonst. Glaswaren usw. aus Kristallglas	0,2	2,8	11.420	2.284	59
Summe			368.116	92.055	10.228

Quelle: BV Glas 1999; eigene Annahmen zum Stückgewicht und PbO-Gehalt.

Die Differenz der Gesamtmenge von etwa 92.000 t zur von BV Glas angegebenen Gesamtmenge des Wirtschafts- und Kristallglases in Höhe von 105.000 t kann u.a. dadurch erklärt werden, dass in der globalen Angabe das hitzebeständige Hauswirtschaftsglas inbegriffen ist.

Auf der Homepage von BV Glas wird für 1999 eine Exportquote von 62,7 %, bezogen auf die Produktion von 105.000 t erwähnt, was ca. 65.000 t entspricht. Ist die Außenhandelsbilanz nach Umsatz gemäß BV Glas mit einem Nettoexportsaldo von ca. 35 Mio. DM bei einem Inlandsvolumen von ca. 1,2 Mrd. DM nahezu ausgeglichen, so ergibt sich bei den rudimentären Mengenangaben nach BV Glas (2000) ein anderes Bild. Trinkgläser, Tischwaren und Geschenkartikel aus Kristallglas sind 1998 in Höhe von 84.541 t und 1999 in Höhe von 79.941 t ausgeführt worden. Die entsprechenden Einfuhrzahlen sind 178.667 t für 1998 bzw. 177.614 t für 1999 (BV Glas 2000). Ursachen für diese Diskrepanz können Unterschiede im Preisniveau. Die Handelsströme von Bleikristall werden nicht getrennt von Kristall- und sonstigem Wirtschaftsglas ausgewiesen. Die unzureichende Differenzierung der Statistiken lässt keine valide Einschätzung der Daten zu. Zusammenfassend wird in dieser Arbeit von folgenden geschätzten Stoffflüssen ausgegangen:

- In Deutschland werden ca. 100.000 t bleihaltiges Wirtschafts- und Kristallglas im Jahr hergestellt.
- Die **ingesetzte Bleimenge** dürfte sich grob geschätzt auf rund 10.000 t Blei pro Jahr belaufen, wobei auf Trinkglas aus Bleikristall etwa 30 %, Trinkglas aus Kristall- und Wirtschaftsglas etwa 10 % und auf sonstige Glaswaren für Tisch und Küche aus Bleikristall etwa 60 % der verwendeten Bleimenge entfallen dürften.
- Das Außenhandelsaldo nach Umsatz ist sehr gering, wohingegen das Außenhandelsaldo nach Gewicht einen Importüberschuss bei Waren aus Kristallglas um etwa einen Faktor zwei nahelegt. Konservativ geschätzt wird der **Bleiverbleib** in Wirtschafts- und Kristallglas mit etwa 10.000 t angenommen.

**Abnehmer** von Wirtschafts- und Kristallglas sind sowohl der Einzelhandel zum Weiterverkauf an Privatkunden als auch der Großhandel zum Weiterverkauf an gastronomische Einrichtungen. Die Aufteilung der Absatzkanäle ist unbekannt.

Ändern sich die Glassortimente von gastronomischen Betrieben, so können die bleihaltigen Gläser, auch bevor sie als Bruch anfallen, ausgemustert und den Glasherstellern als Sekundärrohstoff zur Verfügung gestellt werden. Da es sich um hochwertige Gläser handelt ist davon auszugehen, dass dieser **Entsorgungspfad** gegenüber dem Ende als Glasbruch von untergeordneter Bedeutung ist. In den Haushalten akkumulieren hochwertige Kristallgläser im Laufe der



Haushaltsgeschichte und fallen mit zeitlicher Verzögerung von mehreren Jahren bis zu Jahrzehnten als Abfall an oder sie werden zuvor auf Flohmärkten weiter verkauft. Fällt das Kristallglas als Abfall an, so wird es entweder als Bruch über den Hausmüll oder, weniger wahrscheinlich über das Behälterglasrecycling entsorgt.

Insgesamt ist die Abbildung der Bleiflüsse in Wirtschafts- und Kristallglas **mit großen Unsicherheiten behaftet**, was auch an der geringen Informations- und Kooperationsbereitschaft einzelner Teilverbände der Glasindustrie und Firmen liegt.

### 6.9.3 Problemlagen: Defizite, Verwertungspotenziale und Substitution

Zu den Strategien für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung gehören:

- Maßnahmen zur Senkung des Bleigehaltes in Kristallglas
- Substitute für Blei
- Verlängerung der Nutzungsdauer
- Kreislaufführung von Produktionsabfällen und Altprodukten

Die Nutzungsdauer hängt vor allem vom Nutzerverhalten ab, wobei die Zerstörung des Glases in der Regel nicht im Interesse des Akteurs liegt und nur schwer beeinflussbar. Erfolgversprechender sind die Strategien der Kreislaufführung und der Reduktion des Bleigehaltes im Kristallglas bis hin zur vollständigen Substitution.

#### Verwertung von Wirtschafts- und Kristallglas

In den letzten Jahren haben vor allem die großen Hersteller von Wirtschafts- und Kristallglas ihre Anlagen modernisiert, wobei häufig auch die weitestgehende Kreislaufführung von Produktionsabfällen realisiert wurde. So werden z.B. bei der Fa. Nachtmann Abfälle aus dem Säurepolieren von Bleikristall wieder in der Schmelze eingesetzt.

Kristall- und Wirtschaftsglas wird am Ende der Nutzungsphase entweder als Bruch mit dem Restmüll beseitigt, oder dem Glasrecycling zugeführt. Der zeitlich diskrete und lokale Anfall als Abfall **verhindern eine Erfassung** zur Rückführung des Altglases aus dem Consumer-Bereich. Der Entsorgungspfad Behälterglasrecycling ist weniger wahrscheinlich, da der Transport von Glasscherben die Gefahr von Verletzungen und von Beschädigungen des Transportbehälters birgt. Aufgrund des hohen Bleigehaltes ist ein Recycling über den Behälterglaskreislauf auch nicht wünschenswert. Das Blei wird vorwiegend in den Restmüll eingetragen und ist für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung verloren.

Werden größere Mengen an Wirtschafts- und Kristallglas aus dem Gastronomiegewerbe ausgemustert, so können diese theoretisch in gewissen Mengen wieder in die Glasschmelze zurückgeführt werden. Voraussetzung dafür ist die Toleranz des Verfahrens gegenüber Inhomogenitäten des Inputmaterials. Ein FuE-Projekt der Universität Erlangen hat auch die mikrobiologische Eliminierbarkeit von Blei aus Bleikristall nachgewiesen.<sup>226</sup> Allerdings steht jeder Verwertung entgegen, dass die **Altglasströme** sowohl in qualitativer als auch quantitativer Hinsicht **nicht zuverlässig zur Verfügung** gestellt werden können.

#### Reduktion des Bleieinsatzes und Substitution

Der Reduktion des spezifischen Bleieinsatzes sind bei Aufrechterhaltung gleicher Funktionalität Grenzen gesetzt. Bezüglich der Benutzung von Bleiglas im Kontakt mit Lebensmitteln besteht vor allem in Gegenwart saurer Flüssigkeiten die Möglichkeit des Herauslösens von Blei-Ionen.

---

<sup>226</sup> Interview mit Dr. Weissmann (Universität Erlangen) 2001.

Öffentliche Diskussionen über das Herauslösen von Blei aus dem Wirtschafts- und Kristallglas haben jedoch einige Hersteller dazu veranlasst, völlig **bleifreie Alternativen** zu entwickeln.

Die Firma Schott hat in Zusammenarbeit mit der Universität Erlangen-Nürnberg Blei- und Bariumfreies Kristallglas entwickelt. Auf dem Markt befinden sich z.B. die Weingläser der Kollektion „Diva“. Einige Unternehmen verwenden anstelle von Blei Mischungen auf Basis von Bariumcarbonat und Strontium-, Zink- und Titanoxiden. Dieser Mix ist erforderlich, um annähernd die Eigenschaften von Blei zu erreichen. Die International Crystal Federation hat eine Studie für KMU erstellt, die das know-how zur Kontrolle und Bewertung der Sicherheit sowie sich über den Lebenszyklus erstreckende Informationen über die bleifreien Mischungen bereitstellen.<sup>227</sup>

Die möglichen optischen Qualitätsverluste sind mit bloßem Auge kaum feststellbar. Eine Umstellung auf bleifreie Gläser scheint zwar technisch möglich, berührt jedoch kulturelle Werte, da Bleikristall mit Produktqualität, Lebensqualität und Tradition verbunden ist. Von den großen Produzenten hat Schott den Weg zur Bleifreiheit eingeschlagen, wohingegen Nachtmann mit ihrer Bleikristallsparte nach wie vor rentabel wirtschaftet. Daneben gibt es noch einige mittelständische Hersteller, oft Familienbetriebe, die Bleikristall herstellen und verarbeiten. Der mir einer Umstellung auf bleifreie Alternativen verbundene Entwicklungsaufwand könnte zahlreiche vor allem kleine Betriebe vor große technische und finanzielle Probleme stellen.

#### **6.9.4 Initiativen und Instrumente für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung**

Die beträchtlichen Mengen an Blei, die in diese dissipative Anwendung gehen und für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung aufgrund von Glasbruch und fehlenden Recyclingsystemen verloren sind, legen Verwendungsbeschränkungen für die Produktion nahe. Der Bleieinsatz und damit auch das maximale Einsparpotenzial dürften trotz erheblicher Unsicherheiten in der Größenordnung von etwa 10.000 t liegen. Da ein beträchtlicher Teil des Wirtschafts- und Kristallglases international gehandelt wird, ist nicht nur die Produktion, sondern auch die Vermarktung ins Auge zu fassen.

##### **Initiativen und Instrumente**

Insbesondere aus Dänemark und den USA besteht Druck, Blei in Verwendungen wie Kristallglas zu eliminieren. Die Industrie vermutet, dass sie vom Gesetzgeber gezwungen werden wird, nach Alternativen für Blei zu suchen. **Initiativen** zu bleifreiem Wirtschaftsglas gingen bislang **von einzelnen Herstellern** aus, die auf die öffentlichen Diskussion über die Herauslösung von Blei-Ionen aus dem Glas im Kontakt mit Nahrungsmitteln zurückgehen. Auch die **Kenzeichnungsvorschrift** in den USA mit Warnhinweisen für den Käufer war ein Auslöser für einige Firmen, ihr Sortiment auf bleifreie Alternativen umzustellen.

Der Danish Lead Ban sieht gegenwärtig kein Verbot von Blei in Kristallglas vor. Bei allen nationalen Ansätzen muss berücksichtigt werden, dass der Produktionsanteil von Wirtschafts- und Kristallglas in Deutschland nur 10 % an der EU-Produktion beträgt. Es werden sowohl beträchtliche Mengen importiert als auch exportiert. Gegenwärtig steht (Blei-)Kristall in Deutschland allerdings nicht im Visier der Politik.

---

<sup>227</sup> BRST-CT97-5122-Evaluation of the Biosafety of Lead Substitutes in the Manufacture of Unleaded Crystal Glass; [www.cordis.lu/itt/itt-de/00-1/innov3.htm](http://www.cordis.lu/itt/itt-de/00-1/innov3.htm); 17.7.2001.

## Bewertung

Nach Angaben der Fa. Nachtmann hat die Kennzeichnungspflicht für bleihaltige Gläser in den U.S.A. zu keinen Umsatzeinbußen geführt.<sup>228</sup> Die Initiativen einzelner Hersteller für bleifreie Kollektionen können zu einer signifikanten Reduktion des Bleibedarfs führen, langfristig ist jedoch zu erwägen, ob nicht Blei generell aus Wirtschafts- und Kristallglas zu eliminieren ist. Die bisherigen Instrumente, die sich auf den Bleigehalt von Wirtschafts- und Kristallglas beziehen sind vorwiegend **toxikologisch motiviert, ressourcenpolitische Aspekte sind von untergeordneter Bedeutung**. Weder bei den Firmen noch bei staatlichen Stellen besteht ein Problembewußtsein über die beträchtlichen Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung.

### 6.9.5 Handlungsbedarf für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung

Da die Märkte für Wirtschaftsglas stark international ausgerichtet sind, sind internationale Lösungen anzustreben. Auf EU-Ebene ist die WEEE u.a. damit begründet worden, dass sich Blei-Ionen im sauren Milieu aus dem Glas von Bildschirmröhren herauslösen können, was ggf. auch ein Ansatzpunkt für eine **Verwendungsbeschränkung** von Blei in Wirtschaftsglas sein könnte. Allerdings steht dies gegenwärtig nicht auf der Agenda. Anders als beim CRT-Recycling und bei der Substitution von Blei in PVC-Stabilisatoren scheinen aufgrund der Heterogenität der Branche und divergierender Einzelinteressen **Roadmaps** mit anspruchsvollen Zielen zum Bleiausstieg derzeit nicht realisierbar.

Da Bleikristall mit mindestens 24 % PbO in allen Anwendungen durch Kristallglas mit einem Bleigehalt in der Größenordnung von wenigen Prozent mit nur geringen Qualitätsabstrichen ersetzt werden kann, wäre mit **ressourcenpolitischer Begründung** auch ein Verbot von Bleikristall zu erwägen, das eine geringere Eingriffstiefe als ein generelles Bleiverbot in Wirtschafts- und Kristallglas hat, aber dennoch zu signifikanten Bleieinsparungen führen könnte. Bei den Formulierungen aus Kristallglas wird vielfach Blei zur Einstellung der Schmelzqualität verwendet, weshalb ein generelles Verbot besonders bei kleineren und mittleren Betrieben zu unverhältnismäßigen Änderungszwängen führen könnte.

Eine Verwendungsbeschränkung muss berücksichtigen, dass Bleikristall in hohem Maße zum Umsatz der Branche beiträgt und sich dieser Umsatz vermutlich nicht gleichwertig durch bleifreie Produkte kompensieren lässt. Aus Gründen der Verhältnismäßigkeit müssten außerdem Übergangsfristen vorgesehen werden. Als **flankierende Instrumente** sollten die Diffusion von Substituten gefördert und **Stoffbilanzen** erstellt werden, um die Entwicklungen und Effekte der Maßnahmen einschätzen zu können.

Grundsätzlich ist im Sinne einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung von Blei ein Verbot des Einsatzes von Blei für Kristallglas und Bleikristall auf EU-Ebene mit entsprechenden Ausnahmetatbeständen und Übergangsfristen anzustreben, wobei ein toxikologisch begründeter Rechtsakt größere Realisierungschancen aufweist.

### 6.10 Handlungsfeld Munition

Blei und Bleilegierungen sind aufgrund ihrer hohen Dichte und Härteeigenschaften als Munitionshauptbestandteil geeignet. Der Einsatz von Munition erfolgt teils in offenen teils in geschlossenen Systemen. Allein die bei der Jagd verschossenen Bleimengen in Deutschland liegen

---

<sup>228</sup> Interview mit Herrn Martinek (Fa. Nachtmann) 2001.

in der Größenordnung aller Emissionen aus Industrie, Verkehr und Kraftwerken zusammen. Die Angaben zu den für Munition eingesetzten und verschossenen Bleimengen weisen sehr hohe Bandbreiten von 1.500-9.000 t/a auf, sind insgesamt jedoch nicht nur von toxikologischer sondern aufgrund ihrer Menge auch von ressourcenpolitischer Bedeutung.

### 6.10.1 Einsatzbereiche, Materialien und Produkte

Die **Einsatzbereiche** von bleihaltiger Munition können nach der Art des Projektils, dem Verwendungsmuster oder nach Akteuren gegliedert werden. Blei findet sowohl als Bleischrot als auch in Form von Einzelgeschossen Anwendung. Die Einzelgeschosse sind entweder Vollgeschosse aus legiertem Blei oder Mantelgeschosse mit einem Bleikern und einer Ummantelung aus Kupfer oder Stahl. Bleischrote setzen sich zu etwa 96 Gew.-% aus Blei und 4 Gew.-% Legierungsbestandteilen zusammen. Zu den Legierungsbestandteilen gehören Antimon (bis zu 2 Gew.-%), Arsen und Kupfer. Einige Schrotarten sind mit Nickel beschichtet.<sup>229</sup> Schrotpatronen enthalten zwischen 20 und 40 g Blei, im Mittel etwa 30 g. Je nach Kaliber hat Jagdeinzelschussmunition einen Bleigehalt von 2-30 g, der Schwerpunkt liegt im Segment zwischen 6-13 g. Der Großteil der Pistolenmunition hat einen Bleigehalt von 8 g.<sup>230</sup> Eine Patrone für das Wurftaubenschießen enthält maximal 32 g Schrot; schießsportlich sind 24 g vorgeschrieben (Schemel 2000). Für Sportschützen liegt der Bleianteil durchschnittlich bei 26 g pro Patrone (Schleederer 2001).

Beim Schießen mit einem Einzelprojektil wird i.d.R. aus einem Schützenhaus hinaus ins Freie geschossen. In einem Geschosfang werden die verschossenen Projektile aufgefangen. Bei Luftdruckwaffen sind überdachte Schießstände üblich. Beim Wurftaubenschießen wird mit Schrotladungen auf ein bewegliches Ziel geschossen. Die Bleikugeln werden dabei weit verteilt. Auf Trap- und Skeetanlagen wird zu mehr als 90 % Bleischrot eingesetzt (51. UMK 1998, S. 7). Bei der Jagd mit Bleischrot fliegt mit rund 90 % ein Großteil der Schrotkörner am Tier vorbei (Schulze, Lindeiner 1997), wohingegen mit Einzelprojektilen bei der Jagd und für hoheitliche Aufgaben deutlich höhere Trefferquoten erzielt werden.

Bei der Verwendung von Blei für Munition ist zwischen den privaten **Akteuren** Schießsportler und Jäger auf der einen Seite und hoheitlichen Aufgaben (Polizei, Bundesgrenzschutz, Militär) auf der anderen Seite zu unterscheiden. Beide Akteursgruppen praktizieren sowohl im Feld, als auch zur Übung und im Wettkampf auf Schießständen. Während die hoheitlichen Aufgaben von staatlichen Organen wahrgenommen werden sind die Jagd und der Schießsport weit verbreitet und werden auf verschiedenen Ebenen durch Verbände repräsentiert. In Deutschland gab es 2001 insgesamt 336.840 Jagdscheininhaber, wovon 90 % durch den Deutschen Jagdverband DJV als Zusammenschluss der 16 Landesjagdverbände repräsentiert werden. Etwa 1,56 Mio. Schützen sind in über 14.600 Vereinen organisiert. Der Dachverband ist der Deutsche Schützenbund DSB, der 9.000 geschlossene und 5.500 offene Anlagen in Deutschland angibt. Nach Angaben des Bundesverbandes Schießstätten gibt es ca. 15.000 Anlagen, davon 2.500 Kugelanlagen (90 % offen, 10 % geschlossen), 12.000 Luftgewehr-Anlagen (mehr indoor als bei Kugel-

---

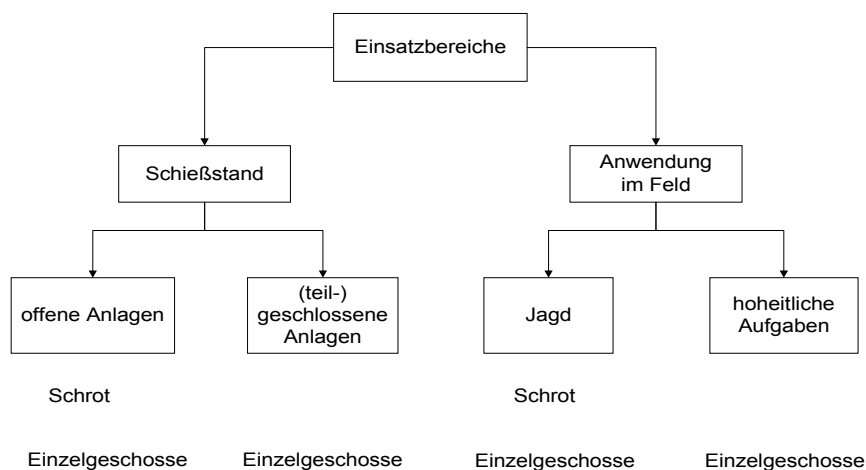
<sup>229</sup> Als Initialsprengstoff kommen bleihaltige (Triazid) Zündsätze zum Einsatz (Bleinitroresorciant, Tetrazen). Auch schadstoffreduzierte (Diazol) Zündsätze stehen zur Verfügung. Letztere werden vorwiegend in geschlossenen Räumen (z.B. der Polizei) eingesetzt. Die Mengen an Blei in Initialsprengstoffen sind im Vergleich zum Bleieintrag aus dem Schrot gering (51. UMK 1998, S 22).

<sup>230</sup> Interview mit Herrn Schomberg (Fa. Dynamit Nobel) 2001.

anlagen) und 500 Schrotschießanlagen.<sup>231</sup> Der Verband JSM vertritt die Interessen der Hersteller von Jagd-, Sportwaffen und –Munition.

Folgende Abbildung zeigt die Einsatzbereiche von Einzelgeschossen und Schrot für verschiedene Anlagen und Zwecke im Überblick:

**Abbildung 6-20: Einsatzgebiete für bleihaltige Munition**



Quelle: Eigene Systematisierung.

### 6.10.2 Stoffströme

Über die Herstellung bleihaltiger Munition sowie die verschossenen und in Munition gelagerten Bleimengen liegen zur Zeit nur stark differierende, teils widersprüchliche und wenig verlässliche Angaben vor. In folgender Tabelle sind einige Angaben zusammengestellt:

**Tabelle 6-58: Mengenangaben zu Herstellung, Märkten und Verwendung von Blei für Munition in Deutschland in der Literatur**

Produktion	Sport: Markt und Verwendung	Jagd: Markt und Verwendung
Munition & Kugeln 1999: 13.300 t Pb (nach Maßstab Eurometaux 2000) Jagdschrot 1996: 12.200 t Pb (nach Maßstab ZVEI 1999) Jagdschrot 1994: 14.400 t Pb (Balzer 1995)	Sportschrot 2000 (M): 1.300 t Pb-Schrot (Schlederer 2001) Sportschrot 1996 (V): 6.750 t Pb-Schrot (Schulze, Lindeiner 1997) Sport- und Jagdschrot 1991 (V): 3.000-4.000 t Pb (DNR 1-2/1992) Sportschrot 1988 (V): 1.350 t Pb (UBA 1989)	Jagdschrot 2000 (M): 1.300 t Pb-Schrot (Schlederer 2001) Jagdschrot 1996 (V): 2.250 t Pb-Schrot (Schulze, Lindeiner 1997) Sport- und Jagdschrot 1991 (V): 3.000-4.000 t Pb (DNR 1-2/1992) Jagdschrot 1988 (V): 620 t Pb (UBA 1989) Jagdschrot Niederwildjagd 1995 (V): 500 t (NABU 5/1996)

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

Anmerkung: M = Markt, V = Verwendung

<sup>231</sup> Interview mit Herrn Streitberger (BVS) 2001; In den fünf neuen Ländern gab es nur wenige Wurfscheibenanlagen, jetzt kommen jedoch mehrere neue Anlagen hinzu.

Nach Aussage des Verbandes der Hersteller von Jagd-, Sportwaffen und –Munition gibt es in Deutschland nur noch wenige Firmen, die Bleischrote herstellen. Aus Gründen der Geheimhaltung veröffentlicht das statistische Bundesamt deshalb keine Statistiken.<sup>232</sup>

Größter **Hersteller** von Munition (Bleifrei und bleihaltig) in Deutschland ist die Firma Dynamit Nobel. Schrotpatronen werden jährlich in Höhe von 40 Mio. Stück produziert, je zur Hälfte etwa für Sport und Jagd. Etwa 80 Mio. Einzelgeschosse werden jährlich hergestellt, wovon 70 Mio. an Bundeswehr und Polizei gehen und 10 Mio. für die Jagd bestimmt sind. Die Marktanteile für Luftgewehrmunition, Pistolenmunition, Sportschrot, Jagdschrot, Militär und Übungsmunition liegen zwischen 30 und 70 %. Bei Schrot- und Einzelgeschosspatronen für Sport und Jagd liegt der Anteil bei jeweils 50-60 %. Billigimporte aus dem Ausland wurden allerdings bei den Marktanteilen nicht berücksichtigt. Die Exportquote beträgt zwischen 10-20 %.<sup>233</sup> Die Märkte sind aufgrund der konservativen Kundengruppe Jäger stabil.

Aus den **Produktionszahlen** von Dynamit Nobel für Munition und den typischen Bleigehalten (vgl. Kap. 6.10.1) lässt sich der Bleibedarf abschätzen zu ca. 1.200 t für Jagd- und Sportschrot, 100 t für Einzelgeschosse (Jagd und Sport) sowie 500-600 t für hoheitliche Aufgaben. Die Dynamit Nobel bezieht Blei in Form von Legierungen vorwiegend von der Fa. Hetzel und auch aus dem Ausland. Unter Berücksichtigung einer durchschnittlichen Exportquote von 15 % für Dynamit Nobel und einem Marktanteil von 50 % berechnet sich das jährliche Marktaufkommen zu ca. 2.000 t Blei in Schrot für Jagd und Sport, ca. 200 t Blei in Einzelgeschossen für Jagd und Sport sowie knapp 1.000 t Blei in Patronen für Pistolen für hoheitliche Aufgaben.

Ca. 9 Mio. Schuss Einzelpatronen werden auf Schießständen pro Jahr **verschossen** und eine Million Einzelpatronen auf der Jagd (das meiste geht daneben, viel geht durch das Wild und nur wenig bleibt stecken). Schlederer (2001) gibt eine Schwankungsbreite in der Literatur von 1500-9000 t Bleischrotverbrauch pro Jahr in Deutschland an. Die alten Schätzungen des UBA von 1989 sind „vom BVS fortgeschrieben worden“.<sup>234</sup> Demnach werden insgesamt etwa 2000 t Schrot pro Jahr verschossen, wovon etwa 1300 t Blei auf Wurfscheibenschießen und 300-400 t Blei auf die Jagd entfallen. Zu den Produktions- und Verwendungsmengen von bleihaltigen Einzelgeschossen gibt es keine Statistiken.

Die Diskrepanz zwischen Produktion und Verwendung lässt sich zum einen auf statistische Mängel (Abgrenzung Munition, Jagdschrot, Schrot, Einzelprojekte, schwere Kaliber) zurückführen, zum anderen sind die Export- und Importmengen unbekannt. Im folgenden wird von diesen Größenordnungen ausgegangen:

- Ca. 12.000 t Blei werden pro Jahr für die Munitionsherstellung insgesamt eingesetzt.
- Ein beträchtlicher, aber unbekannter Teil des Bleieinsatzes entfällt auf Einzelgeschosse und andere Munitionsarten
- Zwischen 2.000-4.000 t Blei wird jährlich verschossen, davon etwa je die Hälfte beim Schießsport und bei der Jagd.

Das Blei steht bei der Anwendung im Feld keiner weiteren Nutzung zur Verfügung. Anders stellt sich die Situation bei Schießanlagen dar. bei geschlossenen Schießständen wird das Blei aufgefangen, eingesammelt und an Bleihersteller zur Herstellung neuer Bleiprodukte geliefert.

---

<sup>232</sup> Interview mit Herr Gotzen (JSM-Verband) 2001.

<sup>233</sup> Interview mit Herrn Schomberg (Fa. Dynamit Nobel) 2001.

<sup>234</sup> Interview mit Herrn Streitberger (BVS) 2001; Die Schätzungen basieren auf dem in etwa konstanten jährlichen Wurfscheibenverbrauch von ca. 30 Mio. Stück.

Bei offenen Anlagen, z.B. zum Wurftaubenschießen unterbleibt eine Bodenaufbereitung mit Wiedergewinnung des Bleis.

### 6.10.3 Problemlagen: Defizite, Verwertungspotenziale und Substitution

Die besondere Bedeutung der Anwendung von bleihaltiger Munition liegt darin, dass der Bleieintrag in die Umwelt durch Munition in der Größenordnung aller Emissionen aus Verkehr, Industrie und Kraftwerken liegt.

Die Strategien zur Senkung des Bleiverbrauchs für Munition stellen sich wie folgt dar: Der Senkung des Bleigehaltes in **Jagdmunition** sind Grenzen gesetzt, da die Schockwirkung eine gewisse Menge Blei erfordert. Der DJV hatte verfügt, dass bei den Meisterschaften im jagdlichen Schießen ab 1999 nur noch Patronen mit 24 g (bis dahin 28 g) eingesetzt werden dürfen, was die Landesjagdverbände umsetzen sollten. Die Beschränkung gilt in keiner Weise für die Jagd, das Übungsschießen und die Jägerprüfungen. Als weitergehender Ansatz steht die Substitution durch Weicheisen im Vordergrund. Der Senkung des Bleigehaltes in **Sportmunition** sind Grenzen gesetzt, da die internationalen schießsportlichen Anforderungen auf Bleimunition ausgelegt sind. Auch hier ist Weicheisen als Ersatzstoff in der Diskussion. Darüber hinaus bestehen Potenziale zum Auffangen und zur Wiedergewinnung des Bleis.

Deshalb besteht einerseits ein Bedarf zur Etablierung geschlossener Systeme (z.B. im Schießsport) und andererseits, wenn dies nicht möglich ist, zur Substitution von bleihaltiger Munition, (z.B. bei der Jagd). Große Informationsdefizite bestehen über die eingesetzten Mengen für Einzelgeschosse und großkalibrige Munition.

#### Verwertungsoptionen

Das interne **Recycling** bei den Munitionsherstellern ist ausgereizt, Produktionsabfälle werden wieder eingeschmolzen. Der Rückfluss aus Schießständen gelangt wieder zu den Bleiherstellern, von denen Dynamit dann wieder Legierungen bezieht. Über die Menge an verschossenen Einzelprojektilen in Schießanlagen gibt es keine Angaben, diese werden jedoch vorwiegend von Kugelfängen erfasst, deren Inhalt zur eigenen Verwertung oder an die öffentlichen Entsorger zur externen Verwertung abgegeben wird. Erfassungs- und Recyclingquoten sind nicht bekannt.<sup>235</sup> Optimierungsmöglichkeiten gibt es nach DSB (2000) im Mündungsbereich und bei den Geschossfängen. Auf geschlossenen Schießständen ist die Wiedergewinnung des Bleis weitgehend Stand der Technik, nicht so aber bei offenen Anlagen. Insbesondere im Bereich der Truppenübungsplätze und Schießstände sind Altlasten entstanden.

Durch das **Wurftaubenschießen** mit Schrot kommt es zu einer weiten Verteilung von Bleischrot. Älteren Angaben zufolge können auf einer einzigen Anlage jährlich bis zu 30 Tonnen Schwermetall, darunter vor allem Blei, niedergehen (Schemel 2000). Zur Verhinderung des Bleieintrages in den Boden kommen bodennahe Auffangeinrichtungen, regelmäßig austauschbare Feinsandschichten, Auffangnetze und sog. Wall-Anlagen in Frage (DSB 2000, 51. UMK 1998, S. 55). Eine weitere Maßnahmen zur Senkung der Bleiemissionen ist die Verwendung bleiarmer Munition, der allerdings aus schießsportlichen Gründen Grenzen gesetzt sind. Problematisch bei Blei aus Munitionsresten (Bleigeschosse und -schrote) ist die Vermengung mit Bodenmaterial, was dessen Wert schmälert oder eine aufwendige Bodenreinigung erfordert. Zur Zeit werden effiziente Maschinen zur Rückgewinnung der Kugeln aus stark verunreinigten Böden entwickelt (Alloway 1999, S. 54). In den USA wird mehr Schrot auf Wurftaubenanlagen

<sup>235</sup> Interview mit Herrn Streitberger (BVS) 2001.

verschossen als bei uns, so dass Recyclingfirmen profitabel wirtschaften können und sich den Erlös mit den Schießplatzbetreibern teilen. Das Recycling erfolgt über eine abgetrennte obere Schicht, die dann gesiebt wird. In Deutschland wird mit 30 Mio. Wurfscheiben „zu wenig geschossen“.<sup>236</sup> Gegenwärtig werden Wurfscheibenneuanlagen so konstruiert, dass das Blei in beträchtlichem Maße wiedergewonnen werden kann. Für Besitzer von Altanlagen könnten Sanierungsaufgaben hohe Kosten nach sich ziehen und den Konkurs bedeuten.

Problematisch bei der Verwendung von **Bleischrot zur Jagd** ist zum einen der irreversible Verlust eines Rohstoffes, zum anderen die Toxizität. Die offene Anwendung bei der Jagd macht eine Wiedergewinnung des Bleis unmöglich, weshalb vor allem in diesem Bereich die Voraussetzungen für eine umfassende Substitution der bleihaltigen Munition zu klären sind.

### Substitutionsoptionen

Die Diskussion über bleifreie Munition erstreckt sich über den Jagdbereich und den Schießsport. Der Landesjagdverband Bayern fordert, Blei in Jagdmunition sofort und in Sportmunition so weit wie möglich zu ersetzen (Schulze, Lindeiner 1997) und auch im Bereich von Einzelgeschossen für hoheitliche Aufgaben, vor allem im militärischen Bereich, werden Alternativen diskutiert.

Gründe für die Verwendung von **Bleischrot** sind nach Herstellerankunft Preis, Ressourcenverfügbarkeit, Lagerbeständigkeit, gute Verarbeitbarkeit und hervorragende ballistische Eigenschaften. Die Substitute müssen eine hohe Dichte haben. Sie müssen einerseits weich genug sein, um den Lauf zu schonen und im Ziel nicht zu zerplatzen, andererseits müssen sie so hart sein, dass sie sich im Lauf nicht verformen (Senkung der Randschrote). Als Substitute werden Zink, Wismut, Molybdän und Weicheisen diskutiert und erprobt (Schemel 2000), in den USA wird auf Wolfram gesetzt.<sup>237</sup> Nickel kommt aufgrund seiner Toxizität und Gold aufgrund seines exorbitanten Preises nicht in Betracht.

Nach Angaben von Dynamit Nobel sind Eisenschrotgeschosse in etwa gleich teuer wie Bleischrotgeschosse, Zinkschrote sind 2,5 Mal so teuer, Wismut- und Molybdän-Kunststoffgeschosse über 4 Mal so teuer. Wismut scheidet aufgrund seiner geringen Ressourcenverfügbarkeit als Substitut in größerem Umfang wahrscheinlich aus. Die Daten zum Umweltverhalten sind unzureichend (51. UMK 1998). Mit Ausnahme von Weicheisen sind alle anderen Stoffe als wassergefährdend eingestuft, weshalb Eisenschrot als einzige realistische Alternative erwogen werden sollte.

Durch die geringere Dichte von Eisen im Vergleich zu Blei wird ein größerer Durchmesser des Schrotkorns benötigt, um bei der **Jagd** die gleiche tödliche Schockwirkung zu erzielen.<sup>238</sup> Deshalb sind bei gleichem Kaliber jedoch weniger Schrotkugeln in der Hülse. Bei Schrot wirkt nur die Vielzahl der Treffer tödlich auf das Nervensystem. Erhöhter Windwiderstand und größere Streuung infolge geringerer Dichte verringern die Schussdistanz von 30-35m bei Blei auf 25-30m bei Eisen. Durch Schrotbrecher aus PVC kann die Streuung vermindert werden. Die gerin-

---

<sup>236</sup> Interview mit Herrn Streitberger (BVS) 2001.

<sup>237</sup> Die Heerespräzisionswaffen der amerikanischen Streitkräfte hat angekündigt, dass US-Gewehrpatronen anstelle von Blei aus dem weniger giftigen Wolfram sein sollen. Die Mehrkosten lägen zwar bei 3 Cent pro Stück, die Massenproduktion würde jedoch die Kosten senken und Millionen können für die Reinigung verseuchter Truppenübungsplätze eingespart werden (VDI Nachrichten vom 11.5.2001).

<sup>238</sup> Auch bei zu spröden Substituten wie Wismut wurde eine Verminderung der Schockwirkung beobachtet.



gere Distanzreserve, die größere Streuung und die schlechtere Schockwirkung führen möglicherweise zu erhöhten Quoten von angeschossenem Wild.

Dynamit Nobel bietet Weicheisenschrote an, die Nachfrage ist allerdings noch gering.<sup>239</sup> Bei modernen Waffen kann ohne Einschränkungen mit Eisenschrot geschossen werden, wohingegen bei älteren Modellen verstärkte Abnutzungserscheinungen möglich sind (51. UMK 1998, S. 19). Die Hersteller von Jagd- und Sportwaffen stellen sich nach Angaben von nicht gegen das Bleiverbot bei der Jagd von Wasserwild in Feuchtgebieten, da sie für den Gebrauch von Weicheisen mehr neue Flinten verkaufen können. Der Widerstand der Jäger ist verhalten.<sup>240</sup>

Blei für das **Wurftaubenschießen** ist schießsportlich international vorgeschrieben, weshalb Substitutionsbestrebungen auch aus Traditionsgründen nur sehr schwierig zu realisieren sein dürften.

Bleifreie Kugeln für Einzelgeschosse befinden sich in der praktischen Erprobung. Bei **Einzelgeschossen** gibt es aufgrund der Bleidiskussionen Versuche seitens der Industrie mit Zink und Tombak (Messing-Legierung). Die Produkte sind zwar noch nicht serienreif, man möchte jedoch etwas in der Tasche haben, falls man vom Gesetzgeber zur Substitution verpflichtet würde.<sup>241</sup>

#### 6.10.4 Initiativen und Instrumente für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung

Trotz großer Informationsdefizite, vor allem auch über hoheitliche Anwendungen und großkalibrige Munition, besteht in diesem Anwendungsfeld von Blei Handlungsbedarf. Allerdings sind die konkreten Handlungsmöglichkeiten für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung durch die weite und komplizierte Rechtslandschaft praktisch erheblich erschwert.

##### Initiativen und Instrumente

Für die einzelnen Munitionsanwendungen greifen unterschiedliche Rechtsquellen. Gelten für die MunitionsHersteller grundsätzlich das Bundesimmissionsschutzgesetz, Wasserhaushalts- und Kreislaufwirtschaftsgesetz, so sind hinsichtlich der Munitionsanwendung folgende Differenzierungen vorzunehmen:

- Jagdrecht (Bundes- und Landesgesetze) für Jagdmunition
- internationale Vorschriften für die Beschaffenheit von Sportmunition
- Anlagenbezogenes Recht und Bundesbodenschutzgesetz für Schießstände
- zahlreiche Ausnahmetatbestände im geltenden Umweltrecht für militärische Anwendungen

Darüber hinaus gibt es punktuelle Empfehlungen und freiwillige Initiativen zu zahlreichen Einzelthemen, wie z.B. die Empfehlungen der Landesjagdverbände auf bleihaltige Munition bei der Jagd in Feuchtgebieten zu verzichten.

##### Jagdmunition

Folgende Tabelle gibt eine Übersicht über Verwendungsbeschränkungen für Bleischrot bei der Jagd in verschiedenen Ländern:

---

<sup>239</sup> Interview mit Herrn Schomberg (Fa. Dynamit Nobel) 2001.

<sup>240</sup> Interview mit Dr. Lammel (BMI) 2001.

<sup>241</sup> Interview mit Herrn Streitberger (BVS) 2001.

**Tabelle 6-59: Regelungen zu Bleischrot für die Jagd in verschiedenen Ländern**

	<b>Verbot bei der Jagd auf Wasserwild</b>	<b>generelles Verbot für Bleischrot</b>	<b>freiwilliger Verzicht bei Jagd in Feuchtgebieten</b>
seit 1990	USA, DK		
seit 1994	N, S	DK, NL	D, GB
seit 1996	CDN, SF		J

Quelle: Dynamit Nobel, wiedergegeben nach 51. UMK 1998, S. 18.

Ende 1993 haben BML und der DJV empfohlen bei der Jagd auf Wasserwild ausschließlich „Nicht-Bleischrote“ zu verwenden. Infolgedessen haben einige Landesjagdverbände ihre Mitglieder aufgerufen fortan bleifreie Munition bei der Jagd in Feuchtgebieten zu benutzen.

Das Vogelschutzabkommen AEWA enthält einen Aktionsplan, wonach die Mitgliedsstaaten bis 2000 darauf hinwirken sollten („endeavour“), den Einsatz von Bleischrot bei der Jagd auf Wasservogel in Feuchtgebieten zu unterbinden. Anfang Juli 2001 hat das BMI die Bundesländer angeschrieben, dem Beispiel der Landesjagdgesetze von Niedersachsen und Schleswig-Holstein zu folgen<sup>242</sup> und ihre Landesjagdgesetze im Sinne des Abkommens AEWA zu ändern.<sup>243</sup>

### **Schießstätten**

Wichtige Rechtsgrundlagen für die Genehmigung und den Betrieb von Schießstätten sind das BImSchG, KrWG, BBSchG und das WHG. Maßstab für die Genehmigung ist § 5 (3) BImSchG. Wichtige Technische Richtlinien für Schießstätten sind die „Richtlinien für die Errichtung, die Abnahme und den Betrieb von Schießständen“ des DSB und die „Technische Richtlinie für Geschossfangsysteme“, die v.a. Sicherheitsaspekte regelt (geplant als ein Baustein für die Typzulassung). Im DIN wird zur Zeit eine Norm zur Sanierung von Schießplätzen erarbeitet, wobei auf einen österreichischen Entwurf zurückgegriffen wird.

BMV und BMF haben seit 1991 die Schließung von Schießständen auf Bundeswehr- und NATO-Liegenschaften in Wasserschutzgebieten verfolgt und „die ausschließliche Verwendung von Eisenschrot spätestens ab 01.02.1993 auf den weiter betriebenen Schießständen angeordnet.“ (51. UMK 1998, S. 20).

Für eine Umstellung des Schießbetriebs an Schießständen sind landesrechtliche Jagdvorschriften zu ändern. So wurde Weicheisenschrot durch das zuständige Ministerium in Baden-Württemberg versuchsweise für die Jägerprüfungsordnung zugelassen. An einigen privat betriebenen Schießständen wurde die Verwendung von Eisenschrot durch die Behörden durchgesetzt (Augsburg, Karlsruhe).

Internationale Wettkampfvorschriften schreiben die Beschaffenheit der Bleimunition für das Wurftaubenschießen global vor. In den Niederlanden sind seit dem 1.1.1998 Bleischrot und PAK-haltige Wurfscheiben an allen Schrotständen verboten. Ausnahmen für Turnierstände soll es bis spätestens 2012 geben. Gesetzliche Einschränkungen der Bleischrotverwendung beim Wurfscheibenschießen sind in Deutschland nicht bekannt.

<sup>242</sup> §29 (3) Nr. 2 Landesjagdgesetz Schleswig-Holstein: „Es ist verboten, bei der Jagd auf Wasserwild Bleischrot zu verwenden“ und §24 (1) des Landesjagdgesetzes Niedersachsens: „Es ist verboten [...] die Jagd auf Wasserfederwild unter Verwendung von Bleischrot auszuüben“.

<sup>243</sup> Interview mit Dr. Lammel (BMI) 2001.

## Bewertung

**Bleischrot** gänzlich als Munition zu **verbieten** würde eine Änderung des **Bundesjagdgesetzes** erfordern. Dies wäre gleichbedeutend mit einer kompletten Gesetzesnovelle, was in dieser Legislaturperiode nicht mehr zu leisten ist.<sup>244</sup> 1994 gab es eine Grundgesetzänderung, die Eingriffe des Bundes in die Länderkompetenzen bei der Rahmengesetzgebung grundsätzlich untersagt, was verfassungsrechtliche Probleme bei einer Novelle des Bundesjagdgesetzes mit sich bringen könnte. Eine Verordnung nach dem Bundesbodenschutzgesetz ist zwar möglich, jedoch sollte der Bürger aus Transparenzgründen alle jagd-relevanten Regelungen in den Jagdgesetzen finden können.

Bezüglich eines Verbotes bleihaltiger Munition ist zudem sicherzustellen, dass nicht auch andere humantoxische oder wassergefährdende Substitute wie Nickel oder Zink verwendet werden können. Der größte Hersteller von Jagd- und Sportmunition in Deutschland hat bleifreie Alternativen, vor allem auf Weicheisenbasis, im Produktsortiment und ist bei beiden Munitionsklassen marktbeherrschend. Am Widerstand von Dynamit Nobel dürfte ein solches Verbot voraussichtlich nicht scheitern.

Die **Verbände BVS und DSB kritisieren** die Umstellung auf Weicheisenschrot wie folgt (51. UMK 1998, S. 20):

- Bei internationalen Wettbewerben auf Trap- und Skeetanlagen ist Bleischrot vorgeschrieben
- Eingeschränkte Sicherheit am Schießstand und beim Jagdbetrieb (z.B. bei Treibjagden) bei Verwendung von Weicheisenschrot
- Korrosionsneigung des Eisenschrots führt zu optischen Beeinträchtigungen
- Sanierungsaufgaben bei bleibelasteten Schießplätzen führen zum Konkurs der Besitzer

Angesichts der Verwendungsbeschränkungen in den Niederlanden und Dänemark stellt sich die Frage nach dem Vollzug. Der **Umweltpfennig in den Niederlanden**, erhoben von den Betreibern zur Sanierung von Altanlagen, hat sich nicht etablieren können, da der Staat von seinen Zusagen zurückgetreten sei.<sup>245</sup>

Die **51. UMK (1998)** hat sich ausführlich mit Umweltbelastungen auf Bodenschießplätzen beschäftigt. Die UMK schließt:

- Mit den Verbänden sollten **freiwillige Vereinbarungen** zur Reduktion des Bleieinsatzes getroffen werden, da ein rechtliches Verbot rechtlich derzeit nicht durchsetzbar ist.
- Als Substitut ist nur Weicheisen zu empfehlen.
- Beim Sportschießbetrieb sollte auf internationaler Ebene darauf hingewirkt werden, dass auf Weicheisenschrot umgestellt wird.
- Die Ergebnisse sollten auch auf Schießstände für Einzelgeschosse, militärische und hoheitliche Schießstände (Polizei, BGS) angewendet werden, sofern möglich.
- Genehmigung neuer Anlagen nur nach BImSchG
- FuE-Bedarf, u.a. zu Bleisubstituten, Sanierungstechniken und bundesweite Bestandsaufnahme von Schießständen nach einheitlichen Kriterien

Aus der UMK-Empfehlung ist keine Initiative geworden. Grund war vermutlich der Regierungswechsel 1998.<sup>246</sup> Zudem scheint die Bereitschaft der Verbände für konsensuale Lösungen

<sup>244</sup> Interview mit Dr. Lammel (BMI) 2001

<sup>245</sup> Interview mit Herrn Streitberger (BVS) 2001.

<sup>246</sup> Interview mit Dr. Bannick (UBA) 2001.

zu fehlen. Ein umweltgerechter Betrieb und das Recycling sind nach Auffassung des BVS ausreichend, die UMK- Initiative sei „kontraproduktiv“.<sup>247</sup>

Ein Verbot von Bleischrot für die Jagd und von Bleischrot im Schießsport könnte jeweils zu einem verringerten Bleibedarf in Höhe von maximal 1000-2000 t führen. Im Einzelgeschossbereich ist unklar, welche Mengen aus Geschossfängen recycled werden können. Angesichts der großen nicht erfassten Bleiströme, z.B. in großkalibriger Munition, ist dieses **Potenzial als nicht wesentlich für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung** von Blei zu bewerten. Die praktischen Begründungen für Maßnahmen sind deshalb toxikologisch und nicht ressourcenpolitisch begründet.

#### 6.10.5 Handlungsbedarf für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung

Sowohl bei der Verwendung von Jagdmunition als auch von Sportmunition (Schrot und Einzelgeschosse) bestehen erhebliche Informationsdefizite über die Stoffströme. Auch um gegebenenfalls die Lenkungswirkungen von Maßnahmen auf die Substitute erfassen zu können, sind alle Munitionstypen für die Jagd- und Sportmunition dergestalt abzubilden, dass eine getrennte Ausweisung der einzelnen Ströme knapper Ressourcen möglich ist. Um dieses Defizit zu beseitigen sollten **Stoffbilanzen** über die verkauften und verwendeten Mengen an Jagd- und Sportmunition, differenziert nach Schrot und Einzelgeschossen geführt werden. Gleiches gilt für Munition für hoheitliche Aufgaben.

Ein umfassendes Verwendungsverbot von Bleischrot (**Verwendungsanforderung**) wie in den Niederlanden ist möglich und aus Gründen der Vorsorge (Human- und Ökotoxizität) anzustreben. Die Widerstände gegen ein solches Verwendungsverbot sind vor allem schießtechnisch und finanziell begründet. Mit Weicheisen steht jedoch ein adäquater Ersatz für Bleischrot zur Verfügung, der weder knapp noch toxikologisch bedenklich ist. Das Ausweichen auf andere knappe und toxische Substitute ist zu verhindern. Aus Gründen der Verhältnismäßigkeit sind im Einzelfall Ausnahmen und Übergangsfristen vorzusehen. Eine Begründung kann voraussichtlich nur toxikologisch motiviert sein, nicht aber ressourcenpolitisch. Die Machbarkeit eines **Verbotes** von Bleischrot **bei der Jagd** auf Wasserwild in Feuchtgebieten ist hinreichend nachgewiesen, für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei allerdings von untergeordnetem Interesse. Als Nebeneffekt könnte bei einigen Jägern eine gänzliche Umstellung auf bleifreie Munition erfolgen. Grundsätzlich kann bei der Jagd gänzlich auf bleifreie Schrote zurückgegriffen werden. Die Schlussfolgerung der 51. UMK (1998), wonach mit den Verbänden freiwillige Vereinbarungen zur Reduktion des Bleieinsatzes auf **Schießständen** getroffen werden sollten, ist aufzugreifen und in eine **Initiative** umzusetzen. Dazu müssten die Erfahrungen der Verbände, die seit langem ein solches Verbot fordern und die Erfahrungen aus Dänemark und den Niederlanden ausgewertet werden. Darauf aufbauend könnte eine EU-weite Regelung angestrebt werden. Aus Gründen der Verhältnismäßigkeit sind wie in den Niederlanden Übergangsfristen und internationale Sportvorschriften beim Wurftaubenschießen zu berücksichtigen. Die Ergebnisse der 51. UMK sollten auch auf ihre Anwendbarkeit auf Schießstände für Einzelgeschosse sowie auf militärische und hoheitliche Schießstände überprüft werden sein.

Im Bereich der Schießstätten ist bei Schießständen mit Einzelgeschossen ein weitgehendes Auffangen und Rückführen der Bleimunition zum Recycling sichergestellt (**Entsorgungsanforderung**). Die Genehmigungsanforderungen nach BImSchG, BBSchG, KrWG und WHG für Neu-

---

<sup>247</sup> Interview mit Herrn Streitberger (BVS) 2001.

anlagen scheinen im Hinblick auf eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei ausreichend zu sein. Grundsätzlich sollten beim Einsatz von Bleischrot Erfassungs- mit Verwertungsquoten erhoben und, bei hohem Optimierungspotenzialen einzelner Anlagen, gegebenenfalls in einer Bundesverordnung als Zielgrößen festgelegt werden. Hierfür **fehlt** allerdings noch die **Informationsbasis**.

Insgesamt hat sich in diesem Anwendungsfeld gezeigt, dass das beträchtliche Mengenpotenzial für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei einer sehr differenzierten Einschätzung in den Teilanwendungsgebieten erfordert. Von der Jagdmunition über das Wurftaubenschießen, Einzelgeschosse der Polizei bis hin zur Munition der Bundeswehr kommen zahlreiche Regelungen zum Tragen und die Substitutionssituation stellt sich sehr unterschiedlich dar. Die Potenziale zur Senkung der Bleiemissionen durch Jagdmunition sind zwar toxikologisch zu begründen jedoch angesichts der vergleichsweise geringen Mengen nicht ressourcenpolitisch. Insgesamt hat sich dieses **Handlungsfeld** als **wenig geeignet zur Verfolgung weiterer instrumenteller Schritte** für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei erwiesen.

### 6.11 Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung

10 Handlungsfelder wurden nach den Kriterien der Verwendungsmenge und der vermuteten Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung ausgewählt und in über 50 Experteninterviews vertieft. Im Zentrum der Analyse standen die Stoffströme und die spezifischen Problemlagen in den einzelnen Handlungsfeldern sowie Strategien, Initiativen und Instrumente für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung. Durch die vertiefende Betrachtung der Handlungsfelder konnten die wesentlichen Determinanten der Blei- und Kupfernachfrage identifiziert werden. Aus der Vielzahl der Strategien für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung haben sich die Kreislaufführung von End-of-Life-Produkten und das Ecodesign (v.a. die Substitution) handlungsfeldübergreifend als Kernstrategien herauskristallisiert, allerdings hängt die erfolgreiche Umsetzung von zahlreichen Faktoren ab. Die Blei- und Kupferbestände sind abschließend in Anlehnung an das McKelvey-Diagramm für Primärrohstoffe klassifiziert worden. Dieses McKelvey-Diagramm für Sekundärrohstoffvorräte spiegelt auch die Eignung der Kernstrategien für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung wider.

#### 6.11.1 Schlüsselgrößen für die Blei- und Kupfernachfrage

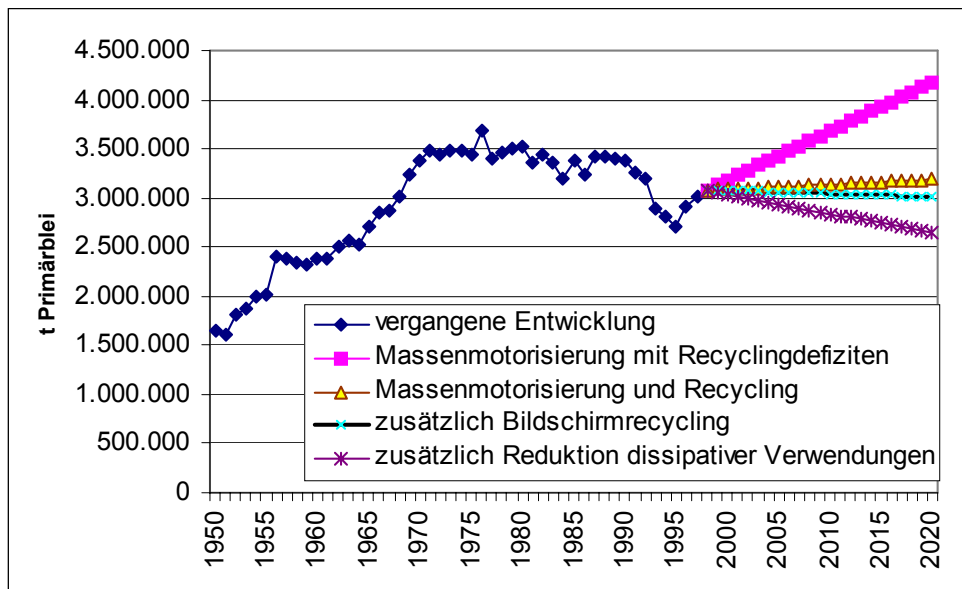
Über allgemeinen Parameter wie die Bevölkerungsentwicklung und die Weltkonjunktur hinaus hängt die Nachfrage nach Blei- und Kupferprimärrohstoffen auch von spezifischen Entwicklungen und Maßnahmen ab.

##### **Blei**

Die treibende Kraft der Bleinachfrage ist die Entwicklung der weltweiten Motorisierung. Die Rückführungslogistik in den Entwicklungs- und Schwellenländern wird den Primärressourcenbedarf wesentlich bestimmen. Im Bereich der Kathodenstrahlröhren gibt es beträchtliche ungenutzte Recyclingpotenziale. Trotz abnehmender Marktanteile steigen die absoluten globalen Verkaufsmengen von Kathodenstrahlröhrenglas weiterhin. Die dissipativen Bleiverwendungen (vgl. Kap. 1.1 und 3.5) betragen global und in Deutschland rund 25 % des Raffinadebleiverbrauchs. Die Substitutionsoptionen und –hemmnisse von Blei stellen sich je nach Verwendung unterschiedlich dar. Zu den dissipativen Anwendungen zählen auch die unüberschaubaren Kleinverwendungen, von Keramikmassen über Lametta bis hin zu Angelblei, die in der vertiefenden Analyse der Handlungsfelder nicht untersucht werden konnten. Andererseits scheint das Recycling von den ebenfalls nicht untersuchten Verwendungen Yachtkiele, kompakte Strahlen-

schutzanwendungen und Industrieanlagen durch Marktkräfte ausreichend unterstützt zu werden. In folgender Abbildung sind mögliche Entwicklungen der globalen Nachfrage nach Primärblei qualitativ skizziert, wobei auch andere Entwicklungen und Geschwindigkeiten denkbar sind:

**Abbildung 6-21: Szenarien für die Entwicklung des weltweiten Primärbleiverbrauchs**



Quelle: Eigene Zusammenstellung.

Die Primärbleinachfrage kann jedoch durch folgende zwei Unwägbarkeiten auch folgende Extremausschläge einnehmen:

- Drastischer Rückgang der Primärbleinachfrage durch die Substitution von Bleiakkus und Strahlenschutzanwendungen
- Drastischer Anstieg der Primärbleinachfrage durch neue dissipative Bleianwendungen

Gibt es bislang für die baldige Substitution von Bleiakumulatoren keine ernsthaften Anzeichen, so ist zumindest durch den langfristigen Ausstieg aus der Kernenergienutzung, zumindest in Deutschland, und die Substitution von CRTs durch neue Technologien mit einem verringerten Bedarf an Blei für Strahlenschutz Zwecke zu rechnen. Andererseits ist es auch denkbar, dass dissipative Bleianwendungen aufgrund ihrer Toxizität soweit verringert werden, dass nur noch ein geringer ressourcenpolitisch motivierter Handlungsbedarf besteht.

Da die weltweite Massenmotorisierung eine Frage außerhalb des engeren Fokus des Konzeptes der nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung ist, sind weltweiter Massenwohlstand, die globale Verkehrspolitik und im nationalen Rahmen die technische Zusammenarbeit beim Aufbau von Rückführungslogistik von Akkumulatoren die entscheidenden Determinanten der Nachfrage nach Bleiprimärressourcen. Auf europäischer und nationaler Ebene gibt es vor allem beim Bildschirmrecycling und bei der Reduktion dissipativer Verwendungen Gestaltungsspielräume.

## Kupfer

Um Möglichkeiten der zukünftigen Entwicklung der Kupferproduktion qualitativ anzudeuten wurden drei Szenarien mit einem Zeithorizont bis ins Jahr 2050 gebildet, da Kupfer in bedeutenden Mengen in langlebige Anwendungen geht. Grundlage der Szenarien ist die globale Primärproduktion von Kupfer zwischen 1900 und 2000 (vgl. Kap. 2.2.2).

Die Fortschreibung des Status Quo ohne weitere Maßnahmen wird als Referenzszenario bezeichnet. Das Referenzszenario geht von einer mäßigen Steigerung der Primärproduktion von 5 % pro Jahr aus. Das entspricht eine Gesamtsteigerung für die kommenden 50 Jahre in Höhe von 28 %. Die zurückliegenden 50 Jahre wiesen eine Gesamtsteigerung von 442 % auf. Für das Referenzszenario wurde ferner eine globale mittlere Sekundärstoffeinsatzquote vom 30% zugrundegelegt.

Um Aussagen über zukünftige Recyclingoptionen abzuleiten wurde die deutsche Verbrauchsstruktur (vgl. Abb.4-1) auf die globale Ebene übertragen und in die Zukunft fortgeschrieben. Die Verbrauchsstruktur wurde anschließend entsprechend der typischen Lebensdauer der Einsatzprodukte und des geschätzten Kupfergehaltes<sup>248</sup> charakterisiert. Lebensdauer und Kupfergehalt geben wichtige Hinweise auf die Recyclingfähigkeit in der Zukunft. Das Ergebnis zeigt folgende Tabelle:

**Tabelle 6-60: Abschätzung der weltweiten Verwendung von Kupfer nach deutschem Maßstab sowie der Lebensdauer und des Kupfergehaltes der Anwendungen**

Anwendungen	Verbrauch [1000 t]	Anteil am Verbrauch [%]	Lebensdauer [Jahre]	Cu-Gehalt [Gew.-%]	
Stromkabel	60	5%	> 50	> 50%	36%
Gebäudekabel	190	15%	> 50	> 50%	
Dächer und Fassaden	40	3%	> 50	> 50%	
Rohre	180	14%	> 50	> 50%	
Telekommunikationskabel	20	2%	> 50	10-50%	11%
Maschinenbau	120	9%	> 50	10-50%	
Kraftfahrzeuge	155	12%	10-50	<10%	27%
Klima- u. Kühlanlagen, ind. Armaturen	200	15%	10-50	<10%	
EE Geräte	50	4%	< 10	<10%	25%
Chemikalien	10	1%	<10	<10%	
Restliche Güter	270	21%	< 10	<10 %	
Summe	1.295	100%			100%

Quelle: Eigene Schätzungen und Berechnungen.

Das **Szenario 1** geht von einer Einschleusung der Kupferfrachten aus den langlebigen und wenig dissipativen Anwendungen

- Stromkabel
- Gebäudekabel
- Dächer und Fassaden
- Rohre

mit hohen Kupfergehalten in den sekundären Stoffkreislauf aus. Die Sekundärstoffeinsatzquote könnte bis 2050 gegenüber dem Referenzszenario von 30 % auf 66 % steigen.

Das **Szenario 2** geht zusätzlich von einer Nutzung der Kupferfrachten in den langlebigen und mittelmäßig dissipativen Anwendungen

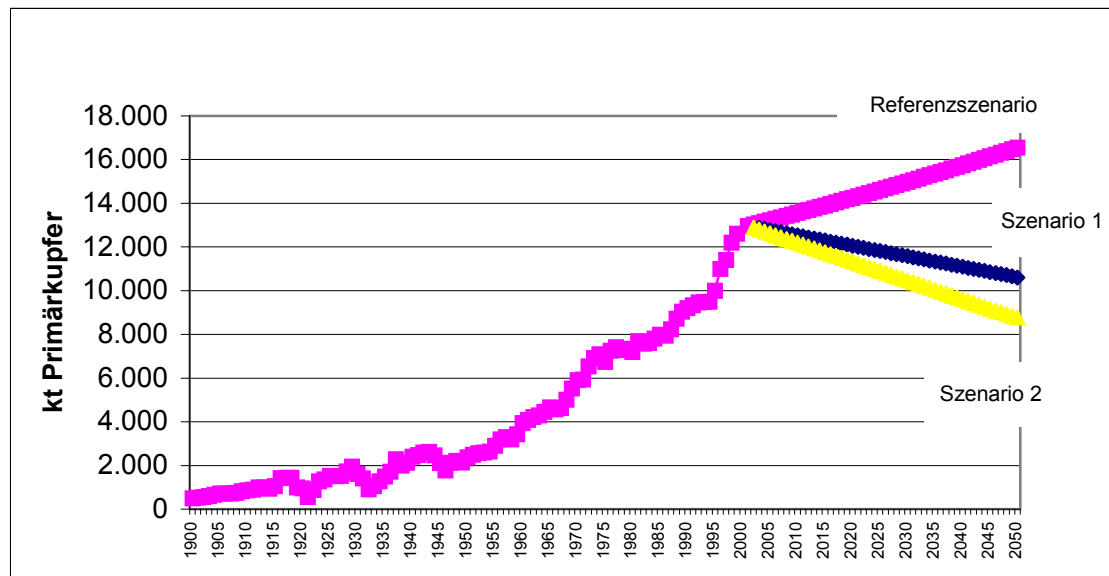
- Telekommunikationskabel

<sup>248</sup> Die Dissipation und der Kupfergehalt beziehen sich auf die Anwendung und nicht auf einen Abfallstrom mit dem die kupferhaltige Anwendung unter Umständen erfasst wird.

➤ Maschinenbau

als Sekundärrohstoff aus. Die Sekundäreinsatzquote könnte dann bis 2050 auf 77 % gesteigert werden. Das Ergebnis zeigt folgende Abbildung:

**Abbildung 6-22: Szenarien für die Entwicklung des weltweiten Primärkupferverbrauchs**



Quelle: Eigene Zusammenstellung.

Gemäß obiger Abbildung gelingt die Trendwende in der globalen Kupferproduktion bereits, wenn die Kupferanwendungen in Stromkabeln, Gebäudekabeln, Dächern und Fassaden sowie Rohren vollständig dem Recycling zugeführt werden. Eine Erweiterung um Telekommunikationskabel und Maschinenbaukabel erhöht die Sekundärrohstoffeinsatzquote um weitere 11 % gegenüber Szenario 1.

### 6.11.2 Möglichkeiten und Grenzen der Strategien und Handlungsfeldperspektive

Im Anschluss an den prioritären Handlungsbedarf werden Erfolgsfaktoren für die Kernstrategien Recycling und Ecodesign (v.a. Substitution), aber auch Grenzen der Strategien und der Handlungsfeldperspektive gezeigt.

Die **vier Strategien** Eco-Design, Prozessoptimierung, ökologische Nutzung und Kreislaufführung sind für jedes Handlungsfeld geprüft worden. Bei der Prozessoptimierung gibt es übergreifend nur geringe Potenziale, weil zum einen die großen Metallhütten in Deutschland hinsichtlich ihrer Prozessausbeute optimiert sind, zum anderen lassen sich metallische Blei- und Kupferhaltige Produktionsabfälle bei der Verarbeitung problemlos wieder einschmelzen. Aber auch die bleihaltigen Werkstoffe PVC und Gläser können wieder in die Schmelze zurückgeführt werden. Die ökologische Nutzung ist teilweise an das Eco-Design gebunden. Generell lassen sich weiche Faktoren wie der Einfluss des zeitlosen Designs auf die tatsächliche Nutzungsdauer und die Auswirkungen auf die Blei- und Kupfernachfrage nur schwer operationalisieren.

Für die untersuchten Metalle Kupfer und Blei existiert zwar ein weitgehend funktionsfähiger Sekundärrohstoffmarkt, handlungsfeldübergreifend stellen jedoch dissipative Verwendungen ein zentrales Problemfeld dar, aus dem einerseits Recyclingprobleme und andererseits die Erfordernis einer Substitutionsprüfung herrühren. Deshalb haben sich die Strategien des Ecode-



signs (Miniaturisierung, Substitution, Design for Recycling) und des Recyclings (Altprodukt-Erfassung, Zuführung zum werkstofflichen Recycling) als **Kernstrategien** für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung herauskristallisiert:

**Tabelle 6-61: Kernstrategien und Handlungsbedarf für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung**

Handlungsfeld	Recyclingpotenziale	Potenziale für Ecodesign	prioritärer Handlungsbedarf	Instrumente
Kraftfahrzeuge	Demontage kupferhaltiger Bauteile	Recyclinggerechte Konstruktion; Substitution von Blei in Schwingungsdämpfern;	Entfrachtung der SL- und Stahlfraktion	Weiterentwicklung produktbezogenen Rechtes
Akkumulatoren	geringe Potenziale Recyclingquote (95-99 %)	Ressourceneffizienz durch Marktkräfte unterstützt; keine ökonomischen Substitute vorhanden	Stoffstrommonitoring	Weiterentwicklung produktbezogenen Rechtes
EE-Geräte	separate Erfassung v.a. mülltonnengängiger Geräte	Recyclinggerechte Konstruktion; keine gleichwertigen Substitute für Kupfer vorhanden	Erhöhung der Erfassungsquote	Weiterentwicklung produktbezogenen Rechtes
Bildschirme	werkstoffliches Recycling bietet große Potenziale	Substitution von CRT durch LCD wird durch Marktkräfte unterstützt	Beseitigung der Recyclingdefizite	Roadmap für Displays
Weichlote	Recyclingpotenzial gering	Substitution ist angelauten	Diffusion der Substitutionsprozesse	Roadmap für bleifreie Weichlote
Gebäude	Wiedergewinnung von Kabeln aus Gebäudebestand	rückholgerechte Kabelverlegung; überwiegend Substitute für Halbzeuge vorhanden	Rückholbarkeit für Kabel ermöglichen	Weiterentwicklung produktbezogenen Rechtes
PVC	Wiedergewinnung des Bleis nicht realistisch, Dissipation beim werkstofflichen Recycling	Substitute überwiegend vorhanden	Diffusion der Substitutionsprozesse	Roadmap für bleifreies PVC/ produktbezogene Verwendungsbeschränkung
Kabel und Leitungen	ungenutzte Bestände in aufgegebenen Kabeltrassen	Kupfer in TK-Kabeln wird substituiert	Verbesserung der Bergungsbedingungen	Dokumentations- / Entsorgungspflichten
Wirtschafts- und Kristallglas	Recyclingpotenzial gering	Substitution möglich	Diffusion der Substitutionsprozesse	produktbezogene Verwendungsbeschränkung
Munition	Recyclingpotenzial gering	Substitution in Teilbereichen möglich	Verbesserung der informatischen Grundlagen	Dokumentationspflicht

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

Entsprechend der dominierenden Defizite zeigt sich der prioritäre **Handlungsbedarf** vor allem bezüglich der Schaffung einer geeigneten Informationsbasis für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung (z.B. für Munition), bei Verwendungs- (z.B. Kanalverlegung von Kabeln) und

Entsorgungsanforderungen (z.B. Erfassungs- und Verwertungsquoten) sowie bezüglich von Innovationen für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung und flankierenden Maßnahmen für ihre breite Diffusion (z.B. Bildschirmrecycling). Die instrumentellen Anknüpfungspunkte werden in Kapitel 6.12 erläutert.

Für die Kernstrategien des Recyclings und des Ecodesigns haben sich handlungsfeldübergreifende Hemmnisse und Erfolgsfaktoren herausgeschält.

Ein dominierendes **Recyclinghemmnis** sind Erfassungsprobleme, die sich aufgrund aufwendiger Demontage, geringer und diskret anfallender bzw. unbekannter Mengen einstellen (z.B. Blei und Kupfer in Kfz, in EE-Geräten und Gebäuden). Die Erfassungs- und Demontagesysteme sowie Sekundärstofflogistik und –verfahren ziehen dann hohe Kosten nach sich und werden zum ökonomischen Hemmnis (z.B. selektiver Rückbau von Gebäuden, Bergung aufgegebener Kabel, Bildschirmrecycling). Bei fehlender Standardisierung bereitet die Heterogenität der Altmaterialien technische Probleme beim Einsatz in der Produktion (z.B. Bildschirmrecycling). Alternativ dazu werden häufig billigere Entsorgungswege eingeschlagen (z.B. Verbrennung von bleistabilisiertem PVC), wozu auch der Export (z.B. Alttautos und Altkabel) und die Verschleppung in andere Entsorgungswege (z.B. Kupfer beim Stahlrecycling) zu zählen sind. In einigen Fällen werden diese Entsorgungswege durch Vollzugsdefizite beim bestehenden Recht nicht unterbunden (z.B. EE-Geräte).

Wichtige Voraussetzung für das Recycling ist die recyclinggerechte Konstruktion. Allerdings kann die Miniaturisierung von Produkten mit der wirtschaftlichen Wiedergewinnung von Blei und Kupfer kollidieren. Insbesondere bei Blei hat sich die Substitution als wichtigste Teilstrategie des **Ecodesigns** erwiesen. Die **Substitution** scheitert bei einigen Verwendungen am Fehlen funktionell äquivalenter Substitute (z.B. Blei in Akkumulatoren, Kupfer als Leitmaterial)<sup>249</sup> oder am Fehlen von Langzeiterfahrungen (z.B. PVC-Stabilisatoren und Weichlote), bei anderen stehen kulturell-ästhetische Aspekte seitens der Nachfrager (z.B. Kristallglas, Sportmunition) einer Substitution im Wege. Im Unternehmenskalkül dominieren in der Regel weitgehend die ökonomischen Hemmnisse, wozu der Umstellungsaufwand in der Produktion (z.B. bleifreie Lote), die Preisrelationen verschiedener Materialien (z.B. Bleistabilisatoren) und die Verarbeitungskosten (z.B. Kupferrohre für Heizungszwecke, Bleidichtungen im Bauwesen) gehören.

Über die punktuelle Behebung der konkreten Recycling- und Substitutionshemmnisse gibt es verallgemeinerbare vorwiegend weiche Faktoren, die eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung begünstigen. Zu den **Erfolgsfaktoren** zählen insbesondere Prozesse der Visionsbildung und mittelfristiger Zielsetzungen, Akteurskooperationen und Informationsflüsse, die ökonomische Darstellbarkeit von Maßnahmen sowie eine verlässlicher Ordnungsrahmen.

Auf unternehmerischer Ebene schaffen vor allem diejenigen Firmen Lösungen im Sinne einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung, die über die ökonomische Zielsetzung hinaus das **Leitbild** der nachhaltigen Entwicklung konkret mit Leben erfüllen. Beispielhaft sei hier das Stiftungsunternehmen Schott Glas hervorgehoben, das in Europa als einziger Hersteller von CRT-Glas ambitionierte Ziele und Maßnahmen zum CRT-Altglasrecycling verfolgt. Weitere wichtige Visionen für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung sind Null-Emissions-Fabriken, Demontagefabriken (Reverse Manufacturing) oder die Stadt als Stofflager.

---

<sup>249</sup> Die funktionelle Äquivalenz schließt Gebrauchs- und Fertigungseigenschaften ein.

Diese Visionen werden teils von einzelnen Firmen in Form von konkreten Zielen operationalisiert, teils aber auch von **Akteurskooperationen** (Industrie, Staat, NRO). Die gemeinsame Suche nach proaktiven Strategien für eine nachhaltige Entwicklung fördert ein Klima des Vertrauens und trägt somit auch zur Planungssicherheit bei. Bei bleifreien Weichloten z.B. kann beobachtet werden, dass Umstellungen zögerlich verlaufen, weil die Unternehmen Unsicherheiten über die staatliche Beurteilung der Substitute (z.B. Wismut) verspüren. Die Verbindlichkeit einer Akteurskooperation ist ein wichtiger Erfolgsfaktor.

In vielen Fällen ermöglichen erst bestimmte **Informationsflüsse** eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung. Sowohl für das Recycling als auch für die Substitution gibt es Informationsdefizite, z.B. über die Eigenschaften von Substituten für Bleilote oder die Lage kupferhaltiger Kabel. Aufgabe von Informationsbrokern im B2B-Bereich kann es z.B. sein, größere Gebinde an Sekundärmaterialien mit definierten Qualitätseigenschaften zusammenzustellen (vgl. Lead Industries Association). Wichtige Informationen sind auch die Kennzeichnung der Lage kupfer- und bleihaltiger Bauteile in Kraftfahrzeugen und Gebäuden sowie Kundeninformationen, z.B. mit Labels wie „bleifrei“ oder „90 % Recyclingmaterial“. Die Informationsflüsse zur Kennzeichnung blei- und kupferhaltiger Bauteile müssen im Gebäudebereich so gestaltet sein, dass sie auch nach 50 oder 100 Jahren eine effektive Demontage und getrennte Erfassung der Teile ermöglichen.

Das Kauf- und Nutzungsverhalten des Kunden ist eine Schlüsselgröße für die Diffusion nachhaltiger Lösungen. Beispielhaft sei der Erwerb eines bleifreien Walkmans oder die Entsorgung eines Staubsaugers über den Fachhandel und nicht über die Mülltonne hervorgehoben. Auf der Produktebene müssen geeignete **Märkte** für Recyclingprodukte wie aufgearbeitete Bauteile und Geräte vorhanden sein, um einen Nettoerlös erzielen zu können. Die relative Preisentwicklung von Primär- und Sekundärrohstoffen spielt bei Blei und Kupfer nur eine untergeordnete Rolle. Ausschlaggebend sind die Kosten für die Erfassung, Aufbereitung und Logistik, wobei eine getrennte und kostengünstige Erfassung durch demontagegerechte Konstruktion (z.B. Kabel in Kabelkanälen) unterstützt wird.

Wichtige Voraussetzung für Investitionen in nachhaltige Lösungen sind **verlässliche Rahmenbedingungen**, die Planungssicherheit gewährleisten. Dazu zählen die Produktverantwortung für alle Hersteller und Vertreiber, aber auch ökonomische Anreize. Für die materialsparende Gebäudeverkabelung z.B. bestehen nur geringe Marktanreize, da die Personalkosten die Materialkosten deutlich übersteigen. Wenn die Demontageskosten hoch im Vergleich zu den Entsorgungskosten sind, versickert die Produktverantwortung hin zum Produzenten womöglich auch beim Schaffen ökonomischer Anreize, da viele Akteure mitwirken bzw. zeitlich weit auseinander liegen (z.B. beim Gebäudeabriss). Ein verlässlicher Ordnungsrahmen stellt sich somit als notwendige, aber auch sehr schwierige Gestaltungsaufgabe dar.

Die **Strategien** für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung haben spezifische Wirkungsweisen, aber auch **Grenzen**. Dazu zählen insbesondere:

- Ökologischer Break-even-point für das Recycling
- Problemverlagerung durch Substitution
- Nutzungsdauerverlängerung als Diffusionsbremse und unsichere Zukunft
- Effizienzfalle

Für die Rückholung mit anschließendem Recycling gibt es einen ökologische Break-Even-Point (Logistik, Energie, ...), bei dem eine Produktion aus Primärressourcen eine geringere ökologi-

sche Last mit sich bringen würde. Insbesondere bei hohen Recyclingraten nimmt der Grenznutzen bei weiterer Steigerung ab, z.B. beim Kabelrecycling. Bei der Substitution werden Probleme ggf. nur verlagert, indem z.B. ein wenig knappes Substitut durch erhöhte Verwendung selbst verknappt wird, wie z.B. bei Wismut- anstelle von bleihaltigen Lötlegierungen. Lange Nutzungsdauern können die Diffusion effizienter Neugeräte verlangsamen. Der zukünftige Rohstoffbedarf, Märkte und Recyclingbedingungen der Zukunft in 20 bis 100 Jahren sind unbekannt. Durch die langfristige Bindung im Bestand werden angesichts knapper Reichweiten von Blei und Kupfer andere Nutzungen der Sekundärrohstoffe blockiert, was bislang in der Forschungsliteratur noch nicht thematisiert worden ist. Bei allen Effizienzsteigernden Maßnahmen besteht die Möglichkeit der Kompensation durch Mengenwachstum infolge der Nutzausweitung – auch Rebound-Effekt genannt (z.B. bei Ressourceneffizienz von Akkumulatoren).

Stehen für die **Bewertung** von Substituten und dem Recycling mit Ökobilanzen zwar aufwendige, aber prinzipiell geeignete Instrumente zur Verfügung, so herrscht über die makroökonomischen Implikationen der Effizienzstrategie (z.B. durch Prozessoptimierung, Miniaturisierung, Nutzungsintensivierung) in Bezug auf Nachhaltigkeit weitgehend Ratlosigkeit in der Fachöffentlichkeit (vgl. OECD 2001). Problematisch bei der Bewertung von Substituten sind zudem Informationsasymmetrien, die den Blick auf toxikologisch gut untersuchte Stoffe wie Blei lenken. Negative Effekte von Substituten sind bisweilen nur deshalb nicht bekannt, weil sie nicht im Zentrum der Forschung standen (z.B. FCKW bis etwa 1985). Insbesondere das Ausweichen auf Exoten wie z.B. Indiumlegierungen birgt die Gefahr nicht richtungssicherer Substitution.

Die Erlöse für Blei sind im Vergleich zur umgebenden Matrix häufig gering (z.B. Kupfer aus Kabeln) und andere Umweltbelastungen stehen im Vordergrund (z.B. PVC). Wenn Blei und Kupfer nur in geringem Maße zum Wert oder zu den ökologischen Belastungen eines Produktes beitragen, so werden aus gutem Grunde **andere Prioritäten** gesetzt, wie z.B. die Entwicklung neuer Antriebstechniken für Kraftfahrzeuge. Neben einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei sind auch die Potenziale durch Verwendung von Blei und Kupfer für andere Nachhaltigkeitsziele im Auge zu behalten. So können Bleibatterien z.B. zur dezentralen photovoltaischen Stromerzeugung beitragen, der Strombedarf für das Eisenbahnnetz kann durch Zugabe von Kupfer in den Leitungen gesenkt werden. Angesichts des Beitrages von Blei und Kupfer zur Nachhaltigkeit ist die Problematik der Bestandsbewirtschaftung im Einzelfall von untergeordneter Bedeutung, was die Steuerbarkeit der Blei- und Kupferströme praktisch einschränkt. Im Zentrum der Nachhaltigkeitsforschung stehen deshalb weniger stoffbezogene Einzelbetrachtungen sondern Zugriffsebenen höherer Ordnung wie z.B. Systeminnovationen und Lebensstile.

Auch die **Handlungsfeldorientierung** nach Verwendungen weist ihre **Grenzen** auf. Die im Bestand gespeicherten Blei- und Kupfermengen sind unbekannt, weshalb hilfsweise die Verwendungsstruktur von Blei und Kupfer als Auswahlkriterium für die Handlungsfelder herangezogen wurde. Dies stellt eine Momentaufnahme dar, wohingegen der reale Rückfluss aus dem Bestand aus sehr unterschiedlichen Zeiten stammt. Auch der Außenhandel kann so nicht ausreichend berücksichtigt werden, da länderübergreifende Blei- und Kupferströme in Produkten nicht adäquat abgebildet werden können. Intransparente statistische Abgrenzungen (z.B. Einsatz von Sekundärmaterial in Primärhütten) und Informationslücken (z.B. Geheimhaltung aufgrund marktbeherrschender Stellung bei Akkumulatoren- und Munitionsherstellung) erschweren zudem die Interpretation der Stoffströme. Die Handlungsfeldorientierung bietet den Vorteil, dass spezifische Problemlagen vertieft und Strategien fundiert beurteilt werden können. Sie birgt

aber auch die Gefahr der Verzettelung im Detail, weshalb ebenso Instrumente der Grobsteuerung betrachtet werden (vgl. Kap. 5.3).

### 6.11.3 Mc-Kelvey-Diagramm für Bestandslager in der Technosphäre

In Anlehnung an das McKelvey-Diagramm für Primärrohstoffe kann ein McKelvey-Diagramm für Sekundärrohstoffe erstellt werden. Parameter sind zum einen die Sicherheit der Vorräte zum anderen die wirtschaftliche Gewinnbarkeit zu heutigen und zukünftigen Bedingungen. Sind die derzeit wirtschaftlich gewinnbaren Sekundärrohstoffe, wie z.B. großteilige Kupferhalbzeuge aus dem Bauwesen und Blei aus Akkumulatoren, unproblematisch, so sind die Recyclinganstrengungen auf die Klasse der zu zukünftigen Preisen gewinnbaren Bestandslager zu konzentrieren. Hierzu zählen z.B. kleinteiligere Kupferhalbzeuge in Gebäuden oder auch z.B. Schwingungsdämpfer aus Blei in Kraftfahrzeugen. Die technisch-wirtschaftlich nicht gewinnbaren Vorräte geben einen Eindruck vergangener Rohstoffverschwendung. Für diese Einsatzbereiche, z.B. Bleikristall und kupferhaltige Kleinstbüroartikel, sollte vorwiegend die Substitutionsstrategie verfolgt werden. Die folgenden beiden Abbildungen zeigen eine vereinfachte Klassifizierung beispielhafter Blei- und Kupfereinsatzbereiche in Form des McKelvey-Diagramms:

**Abbildung 6-23: McKelvey-Diagramm für Kupfer im Bestand**

	Identifizierte Vorräte		Nicht identifizierte Vorräte	
	sicher	Wahr-scheinlich	Bekannte Gebiete	Unbekannte Gebiete
Derzeit wirtschaftlich gewinnbar	offene Leitungen und Rohre, Kupferdächer		Kupfer im Deponiekörper (hypothetisch)	illegale Müllkippen (spekulativ)
Wirtschaftlich gewinnbar zu zukünftigen Preisen	kleinteiligere Kupferhalbzeuge (Türbeschläge) Kabel im Bauschutt	aufgegebene Kabeltrassen		
Technisch-wirtschaftlich nicht gewinnbar	Gebrauchsgüter (z.B. Büroklammern)	Düngemittel		

Quelle: Eigene Darstellung.

Anmerkung: Schattierung - ohne: Reserven; hell: id. Ressourcen; dunkel: nicht id. Ressourcen

**Abbildung 6-24: McKelvey-Diagramm für Blei im Bestand**

	Identifizierte Vorräte		Nicht identifizierte Vorräte	
	sicher	Wahr-scheinlich	Bekannte Gebiete	Unbekannte Gebiete
Derzeit wirtschaftlich gewinnbar	offene Leitungen und Rohre, Starterbatterien		Blei im Deponiekörper (hypothetisch)	illegale Müllkippen (spekulativ)
Wirtschaftlich gewinnbar zu zukünftigen Preisen	kleinteiligere Bleihalbzeuge (z.B. Schwingungsdämpfer); Bildschirmglas	aufgegebene Kabeltrassen		
Technisch-wirtschaftlich nicht gewinnbar	Kristallglas (Bruch)	Jagdmunition		

Quelle: Eigene Darstellung.

Anmerkung: Schattierung - ohne: Reserven; hell: id. Ressourcen; dunkel: nicht id. Ressourcen

Aufgrund der Lückenhaftigkeit der Bestandsdaten gibt die folgende Tabelle für die **Vorräte von Blei in der Technosphäre** beispielhaft zusätzlich zu den groben Schätzungen über den Bestand

die ungefähre jährliche Zuführung zum Bestand nach Verwendungen an, wobei die Wirtschaftlichkeit nur orientierend aus der Analyse der Handlungsfelder eingeschätzt wurde.

**Tabelle 6-62: Abschätzung des Eintrages an Blei in identifizierte Bestandslager der Technosphäre nach McKelvey-Klassifikation in Deutschland**

Vorräte	Anwendung	Bestand	Zuführung zum Bestand
Derzeit wirtschaftlich gewinnbar	Starterbatterien / Traktions- und ortsfeste Batterien	428.000 t / 200.000-300.000 t	Gesamt : ca. 200.000 t/a
	Großteilige Halbzeuge im Bau	einige 100.000 t	10.000-20.000 t/a
Wirtschaftlich gewinnbar zu zukünftigen Preisen	Auswuchtgewichte und Schwingungsdämpfer	20.000-25.000 t	1.500-2.000 t/a
	Kathodenstrahlröhren:	110.000 t	ca. 27.000 t/a
	Kleinteilige Halbzeuge im Bau	wenige 100.000 t	10.000-20.000 t/a
Technisch-wirtschaftlich nicht gewinnbar	Weichlote	20.000-50.000 t	6.700 t/a
	Wirtschafts- und Kristallglas	20.000-50.000 t	10.000 t/a
	Munition	unbekannt	1.500-9.000 t/a
	Nischenanwendungen in Kfz	ca. 20.000-25.000 t	1.500-2.000 t/a
	Bleistabilisatoren in PVC	100.000-300.000 t	ca. 12.000 t/a

Quelle: Eigene Darstellung.

Obige Tabelle zeigt trotz großer Unsicherheiten über die tatsächlichen Bestandszahlen, dass alleine im Akkumulatorenbereich mit 600.000-700.000 t etwa das Äquivalent einer zweifachen nationalen Jahresproduktion von raffiniertem Blei steckt. Dazu kommt als Rohstofflager der Bestand im Bauwesen, der allerdings aufgrund der sehr langen Nutzungszeiten keine praktische Planungsrelevanz besitzen dürfte. Die durch die Recyclingstrategie zusätzlich mit vertretbarem Aufwand zu zukünftigen Preisen gewinnbaren Bleivorräte belaufen sich auf einige Hundert Tausend Tonnen, wobei der Gebäudeanteil sehr unsicher ist. Es ist allerdings zu vermuten, dass die Zuführung zum Bestand (z.B. bei Rohrgelenken) auf nahezu Null gesunken ist, aber noch ein gewisser Rückfluss aus dem Bestand erfolgt. Der jährliche Bleieintrag der genannten Anwendungen in den Bestand, der nicht wiedergewonnen werden kann, liegt mit 30.000-40.000 t bei rund 10 % des berichteten Bleiverbrauchs. Zählt man die nicht untersuchten Anwendungen wie Keramik und Chemische Industrie hinzu, so liegt die jährlich dem Bestand zugeführte Menge hoch-dissipativer Anwendungen wohl bei ca. 20 % des berichteten Verbrauchs. Die Bleibestände in diesen Anwendungen sind für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung weitgehend verloren, ebenso wie die riesigen Stofflager auf Deponien. Für diese Verwendungen ist vordringlich die Substitutionsstrategie zu verfolgen.

Für **Kupfer** stellen sich die Sekundärrohstoffvorräte wie folgt dar:

**Tabelle 6-63: Abschätzung des Eintrages an Kupfer in identifizierte Bestandslager der Technosphäre nach McKelvey-Klassifikationen in Deutschland**

Vorräte	Anwendung	Bestand	Jährliche Zuführung in den Bestand
Derzeit wirtschaftlich gewinnbar	Gebäude Außenbereich (Dächer, Fassaden, Dachrinnen, Fallrohre)	888.000 t	40.000 t/a
	Kabel und Leitungen außerhalb von Gebäuden	2.600.000 t	150.000-200.000 t/a
	Kabelbaum in Kfz	260.000 t	28.000 t/a
	Anlasser in Kfz	260.000 t	28.000 t/a
Wirtschaftlich gewinnbar zu zukünftigen Preisen	Elektronik in Kfz	101.000 t	11.000 t/a
	Zündspule in Kfz	72.000 t	8.000 t/a
	Elektromotoren in Kfz	86.000 t	9.000 t/a
	EE-Geräte	600.000- 1.000.000 t	200.000-400.000 t/a
	Gebäudeverkabelungen (innere und äußere Erschließung)	1.000.000 t	183.000 t/a
	Sanitär- und Heizungsinstallation	1.500.000-2.000.000 t	50.000 t/a
Technisch-wirtschaftlich nicht gewinnbar	Beschläge und Halbzeuge (ohne Rohre und Drähte) in Gebäuden (Griffe, Schienen, Stangen, Bleche, u.ä.)	100.000-300.000 t	10.000-30.000 t/a
	Sonstige Legierungen in Kfz	460.000 t	50.000 t/a
	Haushalt- und Gebrauchwaren (Gefäße, Zierrat, Kleinteile u. ä.)	40.00-80.000 t	10.00-20.000 t/a
	Metallpulver	50.000-100.000 t	15.000 t/a
	Chemikalien (Lacke, Desinfektion, Pflanzenschutz, Dünger, Pharmazie u. ä..)	30.000-50.000 t	10.000 t/a

Quelle: Eigene Darstellung.

Die wesentlichen Bestandslager von Kupfer, die bereits derzeit wirtschaftlich genutzt werden, liegen im Gebäudeaußenbereich und in den Kabeln und Leitungen außerhalb von Gebäuden. Die Größenordnung dieser Bestandslager liegt ungefähr um den Faktor 3,3 über dem jährlichen Verbrauch an Kupfer in Deutschland. Zu zukünftigen Preisen wirtschaftlich gewinnbar sind insbesondere die Kupfermengen aus den Bestandslagern im Innenbereich von Gebäuden und in EE-Geräten. Bei den Gebäuden handelt es sich um ein Nutzungsfeld welches beträchtliche Kupfermengen akkumuliert. Fasst man alle Anwendungen im Gebäudebereich zusammen liegt das gesamte Bestandslager in einer Größenordnung von ca. 10 Millionen Tonnen Kupfer. Diese beträchtliche Akkumulation ergibt sich aus der langen Nutzungsphase von Bauwerken. Diese lange Nutzungsdauer erschwert zwar grundsätzlich die praktische Planbarkeit bei der Erschließung des gesamten Bestandslagers, impliziert aber gleichzeitig ein lange Verfügbarkeit. Im Gegensatz dazu handelt es sich im Anwendungsfeld EE-Geräte um beträchtliche Inputströme in Produkte mit relativ kurzer Lebensdauer. Die Kupfergehalte in EE-Geräten variieren erheblich und die Substitution ist nur nicht absehbar, denn als Leiterwerkstoff in Spulen und Wicklungen ist derzeit nur Kupfer großtechnisch erprobt. Entsprechend zielen Strategien zur Erschließung

dieses Bestandslagers auf die separate Erfassung und eine verfahrenstechnische Optimierung zur Aufbereitung mit anschließender metallurgischen Verwertung. Die zu zukünftigen Preisen gewinnbaren Bestandslager liegen in einer Größenordnung von 3,5 bis 4,6 Millionen Tonnen und entsprechen damit dem 2,8 bis 3,6-fachen des jährlichen Kupferverbrauchs in Deutschland. Erhebliche Unsicherheiten bestehen bei den Kupfermengen in Haushaltswaren und bei Verbrauchsgegenständen. Für großteilige Haushaltswaren wie Töpfe, Pfannen, Schalen, Vasen und Zierrat sind Rückführungsstrategien zwar prinzipiell denkbar, aufgrund der geringen Mengenrelevanz jedoch nicht vorrangig zu entwickeln. Als für eine Bestandsbewirtschaftung gänzlich verloren können die hoch dissipativen Anwendungen von Kupfer im Bereich der Pulverherstellung und der Chemikalien aufgefasst werden. Für einige dieser Anwendungen ergeben sich Substitutionspotentiale, die sich allerdings weniger aufgrund von Ressourcenschutz als vielmehr aus toxikologischer Sicht plausibel begründen lassen. Dazu zählen kupferhaltige Schiffsanstriche und Fungizide im Weinbau. Für den Bereich „sonstige Legierungen in Kraftfahrzeugen“ ist davon auszugehen, dass diese Kupfermengen im Stahlrecycling verloren gehen und für eine Bestandsbewirtschaftung nicht zugänglich sind. Insgesamt entspricht die Kupfermenge in technisch-wirtschaftlich nicht gewinnbaren Bestandslagern mit 0,5 bis 0,7 Millionen Tonnen ca. der Hälfte des jährlichen Kupferverbrauchs.

Eine vollständige Abbildung des Bestandes müsste darüber hinaus die in die Umwelt eingetragenen Bestände und die unbekanntenen Vorräte auf Deponien und illegalen Müllkippen mit einbeziehen. Da diese einer weiteren Nutzung praktisch nicht zur Verfügung stehen, schmälert ein Verzicht auf diese Posten die Aussagekraft nur marginal. Dies könnte sich jedoch in Zukunft ändern.

Im Unterschied zu Primärrohstoffen können die Sekundärrohstoffe nicht prinzipiell jederzeit, sondern erst am Ende der Nutzungsphase erschlossen werden. Anders als Vorräte für Primärrohstoffe fallen sie zeitlich und räumlich diskret an, was aufwendige Rückführungslogistik erfordert. Um einen konkurrenzfähigen Sekundärrohstoff anbieten zu können, sind effiziente Logistik und Aufbereitungsverfahren zu Recyclingprodukten hoher und definierter Qualität erforderlich. Trotz dieser Differenzen zum McKelvey-Diagramm für Primärrohstoffe bietet das **McKelvey-Diagramm für Bestandslager in der Technosphäre** folgende Vorteile:

- Übersicht über nutzbare und potenziell nutzbare Sekundärrohstoffe
- Einnahme einer Ressourcenperspektive für Bestandslager in der Technosphäre
- Hilfsmittel zur Ableitung von Strategien für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung

Die Einnahme einer Ressourcenperspektive für die Bestandslager der Technosphäre kann dazu beitragen, dass der Gedanke des Recyclings verstärkt die Ressourceneinsparung und weniger die Linderung der Abfallproblematik adressiert. In Gesprächen mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und mit anderen Akteuren der Rohstoffversorgung hat sich herausgestellt, dass diese die Rohstoffversorgung eines Landes vorwiegend unter Primärressourcenaspekten beurteilen, die Sekundärrohstoffperspektive ist noch wenig integriert. Das McKelvey-Diagramm für Sekundärrohstoffe dient somit auch als Kommunikationsinstrument.

## **6.12 Instrumente der Feinsteuerung für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei**

Aus der Analyse der Handlungsfelder haben sich die drei instrumentellen Stränge branchenorientierte Akteurskooperationen, Weiterentwicklung des produktbezogenen Rechts und umfassende Dokumentations- und Bilanzierungspflichten herausgeschält.



Bei **Blei** hat sich gezeigt, dass in einigen Anwendungen nur noch geringer Handlungsbedarf besteht. Beim Akkumulatorenrecycling in Deutschland ist eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung weitgehend verwirklicht. Zur Förderung des Recyclings von bleihaltigem Konusglas scheint eine Roadmap als Akteurskooperation mit noch zu klärendem Verbindlichkeitsgrad erfolgversprechend zu sein. Das toxikologisch begründete Bleiverbot in Lötlegierungen von EE-Geräten hat zahlreiche Aktivitäten zur Substitution ausgelöst, die wahrscheinlich mittelfristig zu einer umfangreichen Reduktion des Bleiverbrauchs in diesem Handlungsfeld führen werden. Bedarf zur Weiterentwicklung des produktbezogenen Rechts besteht jedoch in Bezug auf die Elimination von Bleistabilisatoren in PVC, wie es bereits im Grünbuch PVC der EU gefordert wird. Blei in Wirtschafts- und Kristallglas für Haushaltswaren ist ebenfalls durch bleifreie Substitute ersetzbar, gegenwärtig gibt es jedoch keine Bestrebungen, diese Verwendung zu beschränken. In den Produktströmen Kraftfahrzeuge und Gebäude liegen weitere Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei. In Kraftfahrzeugen bestehen Möglichkeiten zur Substitution und Wiedergewinnung von Schwingungsdämpfern sowie zur Erweiterung des Geltungsbereiches auf Krafträder und Nutzfahrzeuge. Die unsicheren Erfassungs- und Recyclingbedingungen in den langlebigen Anwendungen von Bleihalbzeugen in Gebäuden legen langfristig auch Maßnahmen zur Verringerung des Halbzeugeinsatzes im Bauwesen nahe. Die Analyse des Handlungsfeldes Munition hat ergeben, dass die Teilanwendungen Jagd, Wurftaubenschießen, Einzelgeschosse für hoheitliche Aufgaben und Bundeswehr eine sehr differenzierte Einschätzung erfordern. Die Erschließung weiterer Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei würde zahlreiche Eingriffe in eine komplexe Rechtslandschaft vom Bundesjagdgesetz bis hin zu internationalen Abkommen zum Wurftaubenschießen erfordern, weshalb diese Strategie angesichts vergleichsweise geringer Potenziale nicht weiter verfolgt wird. Insgesamt gibt es für Blei aufgrund seiner Toxizität bereits eine hohe Regulierungsdichte.

Für **Kupfer** haben die Analysen der Handlungsfelder ergeben, dass es einerseits in Produkten eingesetzt wird, die durch Langlebigkeit, erheblichen monetären Wert und großteiligen Kupfereinsatz geprägt sind. Dazu zählen insbesondere Gebäude und Infrastrukturkabel, teilweise aber auch Kfz und große EE-Geräte. Andererseits gibt es so gut wie kein technisches Produkt, in dem nicht Kupfer oder eines seiner Legierungen Bestandteil ist. Derartige Anwendungen sind teilweise auch durch Kurzlebigkeit und geringen monetären Wert der Produkte sowie durch kleinteiligen Kupfereinsatz geprägt. Insbesondere für die langlebigen Anwendungen hat sich aufgrund der zeitlichen Distanz von Produktion und Entsorgung die Notwendigkeit eines Informationsflusses über Art, Menge und mögliche Rückführung des Kupfers als wesentlich herausgestellt. Dazu eignen sich z.B. Gebäudepass und Infrastrukturkataster. Für die Wiedergewinnung von langlebigen Infrastrukturkabeln könnten Rückholbarkeitsanforderungen und Entsorgungsfiananzierungspflichten geeignete Impulse setzen. Um die Rückholung zu optimieren sind Akteurskooperationen zwischen Netzbesitzern und Bergungsunternehmen in Form einer Contracting möglich. Die bestehenden produktbezogenen Regelungen für Kfz und EE-Geräte bieten ausreichende Anknüpfungsmöglichkeiten zur Weiterentwicklung. Handlungsbedarf besteht in der Ausweitung des Geltungsbereiches des Regelwerkes von Pkw und leichten Nfz auch auf KRAD und sonstige Nfz. Für EE-Geräte ist die Erhöhung der Erfassungsquoten und ihre gerätespezifische Ausformulierung vordringlich. Zusätzlich sind im Handlungsfeld Kfz Akteurskooperationen zwischen Hersteller und Verwerter zur Verbesserung von Demontage und Wiederverwendung auszubauen und zu intensivieren. Dies gilt auch für die Gebäudeverkabelung, wo-

bei die Kooperation zwischen Installateur und Energieversorger mit dem Ziel einer materialeffizienten Architektur der Verkabelung erfolgen sollte.

Der im folgenden formulierte Prüfauftrag für die Instrumente aus den Handlungsfeldern umfasst branchenorientierte Akteurskooperationen, die Weiterentwicklung des produktbezogenen Rechts sowie umfassende Dokumentations- und Bilanzierungspflichten. Er bildet zusammen mit den Instrumenten der Grobsteuerung aus Kapitel 5.3 die Grundlage für Kapitel 7.

### **6.12.1 Branchenorientierte Akteurskooperationen**

Vier Ansatzpunkte mit großen Potenzialen für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei sind ins Blickfeld zu rücken:

- Roadmap für Bildschirmrecycling
- Akteurskooperation zur Demontage von Altfahrzeugen
- Akteurskooperation für die Verkabelung von Gebäuden
- Contracting zur Bergung erdverlegter Kabel und von Unterwasserkabeln

An der Roadmap für ein Bildschirmrecycling nehmen idealerweise die Akteure Glashersteller, Bildröhren- und Endprodukthersteller, Recyclingunternehmen, Branchenverbände und Umweltbehörden teil. Aufgabe ist es u.a., Recyclingoptionen auszuloten, Ziele festzulegen und Zeithorizonte von Entwicklungen und Maßnahmen für ein hochwertiges werkstoffliches Recycling des bleihaltigen Konusaltglases abzustimmen. Die Akteurskooperation zur Demontage von Altfahrzeugen umfasst die Hersteller von Kraftfahrzeugen und die Demontagebetriebe. Wesentliche Aufgabe ist die Sicherstellung von Informationsflüssen über die Lage und Entnahme von blei- und kupferhaltigen Bauteilen. Darüber hinaus sind Dokumentationen zur Überprüfung und Aufarbeitung von demontierten Bauteilen zur späteren Wiederverwendung Gegenstand der Zusammenarbeit. Sinnvolle Akteurskooperationen zur Gebäudeverkabelung bestehen mindestens aus Vertretern der Stromversorgungsunternehmen, Installationsunternehmen und Verbänden. Zentrale Aufgaben sind die Evaluierung von Möglichkeiten, effiziente Verkabelungsarchitekturen informatorisch und finanziell zu unterstützen sowie die Kommunikation der Vorteile einzelner Lösungen gegenüber den Installationsbetrieben. Das Contracting zur Bergung erdverlegter und Unterwasserkabel zielt auf die Erschließung ungenutzter Bestandslager. Der Erstbesitzer überträgt dabei etwaige Bergungs-, Entsorgungs- und Aufbereitungspflichten auf einen spezialisierten Contractingnehmer, der mit effizienten technischen Verfahren und dem Erlös aus der Vermarktung der Sekundärrohstoffe einen Nettogewinn erwirtschaftet. Branchenorientierte Akteurskooperationen sind grundsätzlich rechtlich unproblematisch, jedoch ist darauf zu achten, dass der Wettbewerb zwischen verschiedenen Marktakteuren gewährleistet ist.

### **6.12.2 Weiterentwicklung des produktbezogenen Rechts**

Insbesondere folgende Produktgruppen bergen Potenziale zur Weiterentwicklung einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei:

#### **Bewertung des bestehenden Regelwerkes zu Kraftfahrzeugen**

Angesichts der hohen Regulierungsdichte ist zu prüfen, ob das bestehende Regelwerk (Altautoverordnung, EU-Richtlinie 2000/53/EG, Altautogesetz) ausreichend ist bzw. erweitert werden kann:

- Ist eine Ausweitung des Geltungsbereiches der EU-Richtlinie 2000/53/EG von Pkw und leichten Nfz auch auf Krafträder und sonstige Nutzfahrzeuge möglich?
- Ist bei der Umsetzung der 2000/53/EG in nationales Recht ein zusätzliches Verbot von Blei in Schwingungsdämpfern möglich, oder kollidiert eine solche Regelung mit der Kennzeichnungs- und Demontagepflicht im Richtlinienetext?

Werden diese Fragen negativ beantwortet, so ist zu eruieren, wie die Grundlagen für diese weitreichenderen Regelungen im nationalen Recht geschaffen werden können.

### **Ambitionierte nationale Gesetzgebung für das EE-Altgeräterecycling**

Es ist zu prüfen, ob das Recycling von EE-Geräten mit der Umsetzung der WEEE in einer nationalen EE-VO stärker forciert werden kann als im WEEE-Entwurf vorgesehen. Eine Verschärfung der RoHS, indem das Bleiverbot auf andere Produktgruppen ausgeweitet wird, ist aufgrund der Analyse der Substitutionsmöglichkeiten nicht sinnvoll.

Eine nationale EE-VO sollte folgende Eckpunkte aufweisen:

- Erfassungsquoten getrennt nach den Produktgruppen
- Höhere Erfassungsquote insgesamt

Auf der anderen Seite sind billige Beseitigungsverfahren zu verhindern, die eine hochwertige Verwertung nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz blockieren. Flankierende Entsorgungsanforderungen sind in Kapitel 5.3 bereits produktgruppenübergreifend behandelt.

### **Verringerung des Einsatzes von knappen nicht erneuerbaren Halbzeugen im Bauwesen**

Für Blei und Kupfer als Halbzeuge im Bauwesen gibt es zahlreiche Ersatzstoffe, die großteils nicht nur weniger knapp, sondern auch weniger toxisch sind. Zwei instrumentelle Strategien für Blei- und Kupferhalbzeuge sind zu prüfen:

- Input-Lizenzpflicht
- Umfassende Verwendungsbeschränkungen

Von einer Lizenzpflicht langfristig betroffene Produkte im Bauwesen sind zum einen Dächer, Dachverkleidungen, Fassadenelemente, Dachrinnen und Fallrohre (Pb, Cu) und zum anderen Trinkwasser- und Abwasserrohre sowie Heizungsrohre (Cu). Die umfassenden Verwendungsbeschränkungen beziehen sich auf kleinteiligere Halbzeuge wie Schienen, Beschläge, Gussstücke (Cu) und Anschlussstücke (Pb), für deren Wiedergewinnung nur unzureichende Marktanreize bestehen.

Die Input-Lizenzpflicht ist durch Informationen über ökologische Baustoffe für Bauherren zu flankieren. Sowohl bei einer Input-Lizenzpflicht als auch bei umfassenden Verwendungsbeschränkungen ist zu untersuchen, inwieweit eine rechtliche Begründung aus der Perspektive der Ressourcenschonung möglich ist. Die Regelungen müssten sich über Blei und Kupfer hinaus auch auf andere nicht erneuerbare knappe Ressourcen wie z.B. Zink erstrecken.

### **Rückholbarkeitsanforderungen für Kabel im Hoch- und Tiefbau**

Bei der separaten Erfassung von Kabeln am Ende der Nutzungsphase gibt es beträchtliche Defizite. Um die Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung zu mobilisieren ist zu klären, ob ordnungsrechtlich festgelegt werden kann, dass sie so verlegt werden, dass eine Rückgewinnung auf technisch einfache Weise gesichert ist:

- Bietet das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz hierfür eine hinreichende Grundlage?
- Ist ein nationaler Alleingang mit dem EU-Recht vereinbar?

Flankierende Maßnahmen wie ein Gebäudepass und Kabelkataster werden in Kapitel 6.12.3 behandelt.

#### **Entsorgungsfinanzierungspflicht für erdverlegte Kabel und Unterwasserkabel**

Eine Entsorgungsfinanzierungspflicht für Besitzer ist auf folgende Punkte hin zu untersuchen:

- Bildung von finanziellen Rücklagen seitens des Kabelbesitzers
- Bildung eines Rücklagenfonds

Maßgeblich für die Wiedergewinnung von erdverlegten Kabeln und Unterwasserkabeln für Stromtransport und Telekommunikation ist es, inwieweit die Produktverantwortung über sehr lange Zeiträume aufrechterhalten werden kann und wie die Eigentumsverhältnisse bei der Ausformulierung des Instrumentes zu berücksichtigen sind.

Dieses Instrument ist besonders dann erfolgversprechend, wenn es im Wirkungszusammenhang mit Rückholbarkeitsanforderungen für Kabel und Kabelkatastern gesehen wird.

#### **Selektive Stoffverbote in produktbezogenen EU-Richtlinien**

Selektive Stoffverbote unterscheiden sich von den umfassenden Stoffverboten, wie im Danish Lead Ban statuiert, dadurch, dass sie sich auf ein konkretes Produkt mit einer Einzelfallbegründung beziehen. Sowohl für die im folgenden aufgeführten Blei- als auch Kupfer-Anwendungen gibt es weniger umweltschädliche und weniger knappe Substitute:

- Bleistabilisatoren in PVC und Blei in Wirtschafts- und Kristallglas
- Kupfer in Pflanzenschutz- und Desinfektionsmitteln zur Nutztierhaltung sowie Antifouling-Produkte

EU-weite Regelungen sind insbesondere bei diesen stark international gehandelten Produkten nationalen Regelungen vorzuziehen.

#### **6.12.3 Umfassende Dokumentations- und Bilanzierungspflichten**

Eine nationale Strategie für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei (vgl. Kap. 5.3) und auch viele singuläre Maßnahmen sind auf eine verlässliche Datenbasis angewiesen. Aufbauend auf der vertiefenden Analyse der Handlungsfelder, sollten Dokumentations- und Bilanzierungsvorschriften auf folgende Bereiche ausgerichtet werden:<sup>250</sup>

- stoffbezogene Bilanzierungspflichten für Teile des produzierenden Gewerbes
- Infrastruktur- und Deponiekataster
- Gebäudepass
- Export von gelöschten Altfahrzeugen

Die stoffbezogenen Bilanzierungspflichten für das produzierende Gewerbe erstrecken sich auf einen Kanon nicht erneuerbarer knapper Ressourcen und geben über den Gehalt in Produkten Aufschluss. In einem Infrastrukturkataster und Gebäudepass sind Lage, Zusammensetzung, Menge und Informationen für die Rückholung von Rohren und Kabeln zu verzeichnen. Der Export von gelöschten Kraftfahrzeugen sollte deren Anzahl nach groben Fahrzeugklassen (Pkw, Nfz, KRAD) umfassen. Zwar wird im Entwurf des BMU für eine Bergversatzverordnung für metallhaltige Abfälle bei Überschreiten von bestimmten Konzentrationen ein Ablagerungsverbot festgesetzt und ähnliches sollte auch in Zukunft für die Ablagerung auf Deponien gelten (vgl. Kap. 5.3). Für die Abfälle aber, die trotzdem abgelagert werden, ist jedoch aus Vorsorge-

---

<sup>250</sup> Der Rückfluss von Kupfer und Blei aus dem Gebäudebestand in naher Zukunft ist mit geringerem Aufwand wohl durch Forschungsvorhaben, als durch umfassende Bilanzierungspflichten abzubilden.

gründen ein Deponiekataster mit Angaben über Menge und Zusammensetzung zu führen, eine zukünftige Wiedergewinnung prinzipiell möglich bleibt.

Übergreifend ist zu untersuchen, in welchen rechtlichen Regelungen die einzelnen Dokumentations- und Bilanzierungsvorschriften sinnvoll verortet werden können.

Die drei instrumentellen Stränge der branchenorientierten Akteurskooperationen, der Weiterentwicklung des produktbezogenen Rechts und umfassender Dokumentations- und Bilanzierungspflichten aus der vertiefenden Analyse der Handlungsfelder haben ihre Grenzen in ihrer Fokussierung auf einzelne Regelungsbereiche. Deshalb sind auch die drei instrumentellen Stränge aus dem Kapitel 5.3, die globale Ressourcensteuerung, umfassende Verwendungsbeschränkungen im Rahmen der IPP sowie Getrennthaltungspflichten und Ablagerungsanforderungen für Abfälle im Auge zu behalten.

## 7 Instrumentenmix für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei

### 7.1 Einleitung

#### 7.1.1 Instrumentelle Stränge und Perspektiven

Aufgabe dieses Kapitels ist es, die grundsätzlich als sinnvoll eingestuften Instrumente zur nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei im Hinblick auf ihre Realisierbarkeit unter rechtlichen Aspekten zu überprüfen. Dabei werden die in den Kapiteln 5.3 und 6.12 formulierten Vorschläge zu Grunde gelegt, aus denen insgesamt sechs instrumentelle Handlungsstränge herausgefiltert wurden:

- Dokumentations- und Bilanzierungspflichten (Verbesserung der Informationsbasis)
- Branchenorientierte Akteurskooperationen (freiwillige Initiativen)
- Weiterentwicklung des produktbezogenen Rechts (Ausweitung der Produktverantwortung bei einzelnen Produkten)
- Umfassende Verwendungsbeschränkungen von Stoffen (IPP)
- Getrennthaltungspflichten und Ablagerungsanforderungen (Outputsteuerung)
- Globale Ressourcensteuerung (Inputsteuerung)

Ist die Verbesserung der **Informationsbasis** von grundlegender Bedeutung für alle anderen instrumentelle Stränge, so unterscheiden sich die Instrumente der Grobsteuerung grundsätzlich von denjenigen der Feinsteuerung.

Branchenorientierte Akteurskooperationen und das spezifische Produktrecht ermöglichen als Instrumente der **Feinsteuerung** punktgenaue Eingriffe für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung. Das produktbezogene Recht hat gegenüber branchenorientierten Akteurskooperationen häufig den Vorteil der ökologischen Treffsicherheit, ist jedoch auch weniger flexibel und hat einen großen Realisierungsaufwand. Branchenorientierte Akteurskooperationen sind zwar i.d.R. schneller umsetzbar, dagegen sind sie aber oft wenig ambitioniert und unverbindlich. Je nach Anwendungsfeld ist eine unterschiedliche Strategie zu verfolgen, sie können sich jedoch auch wechselseitig ergänzen. Nachteile der Feinsteuerung sind ihr reaktiver Charakter und die Gefahr, sich auf zahlreiche Details zu beziehen und damit zu einer hohen Regulierungsdichte beizutragen.

Deshalb sind auch Instrumente der **Grobsteuerung** zu verfolgen, die zwar nicht punktgenau greifen, jedoch richtungssichere Lenkungswirkungen im gesamten Stoffstrom auslösen können. Über die etablierten Entsorgungsanforderungen hinaus sind umfassende Verwendungsbeschränkungen im Rahmen der Integrierten Produktpolitik in den Blickpunkt der Politik gerückt, die aufgrund der Marktnähe der Endprodukte als vorteilhafte Schnittstelle für Ressourcen- und Schadstoffpolitik erscheinen. Langfristig sind auch die inputsteuernden Instrumente der Primärressourcensteuer und Lizenzpflicht ins Auge zu fassen.

Innerhalb der rechtlichen Untersuchung ist es erforderlich, sämtliche Ebenen des Rechts genau in den Blick zu nehmen. Die Möglichkeiten der Rechtssetzung in Deutschland sind nicht nur durch die Vorgaben des Grundgesetzes begrenzt, sondern in vielfältiger Weise von den übergeordneten Regelungen des Europa- und Völkerrechts abhängig. Die Schaffung von Rechtssätzen im deutschen Recht ist nur zulässig, soweit das europäische Gemeinschaftsrecht und das Völkerrecht – insbesondere das Welthandelsrecht der WTO – hierfür Spielräume offenhalten. Auch das europäische Gemeinschaftsrecht ist seinerseits an die Vorgaben des Völkerrechts gebunden.

Daraus ergibt sich ein nur noch schwer überschaubares Netz differenzierter rechtlicher Bindungen, dessen einzelne Fäden und Verknüpfungen in ihrer Bedeutung erfasst werden müssen, um einerseits der Sache nach zielführende, andererseits rechtlich tragfähige Instrumente für die nachhaltige Bestandsbewirtschaftung zu identifizieren.

Um das Verständnis für die später folgende rechtliche Analyse der einzelnen in Betracht kommenden Instrumente zu erleichtern, soll nachfolgend zunächst ein Überblick über die juristischen Kernprobleme für die Suche nach geeigneten Rechtsinstrumenten zur Entwicklung einer Strategie der nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung gegeben werden.

### **7.1.2 Zentrale Rechtsfragen einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung**

Ein großer Teil der möglichen Instrumente zur nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung wird mit typischen, in der einen oder anderen Variante oft wiederkehrenden rechtlichen Problemen konfrontiert. Das gilt für alle drei Ebenen des Rechts (deutsches, europäisches, internationales Recht), wobei die wichtigsten, hinsichtlich der juristischen Beurteilung oft besonders unsicheren und in ihren Auswirkungen häufig gravierenden Problemstellungen in den Begrenzungen der Handlungsspielräume durch das jeweils übergeordnete Recht liegen. Deshalb ist es, um die Kernprobleme auf den jeweiligen rechtlichen Ebenen zutreffend zu würdigen, von elementarer Bedeutung, die Grundstrukturen des Verhältnisses der Rechtsebenen zueinander zu erfassen.

Der entscheidende Gesichtspunkt für die juristische Beurteilung der Rechtmäßigkeit hoheitlicher Regelungen liegt – abgesehen von jeweils spezifischen Aspekten der Tatbestandssubsumtion – meist in der Frage, ob die in Aussicht genommene Maßnahme hinreichend gerechtfertigt ist, um den mit ihr verbundenen Eingriff in fremde Rechte oder Kompetenzbereiche zu legitimieren. Klassisches Muster hierfür ist im deutschen Recht die Prüfung der Verhältnismäßigkeit von Grundrechtseingriffen. Die Hürden der Verhältnismäßigkeitsprüfung liegen eher niedrig bei Eingriffen, die entweder nicht besonders tief gehen oder für die sich der Gesetzgeber auf besonders gewichtige, verfassungsrechtlich anerkannte Beweggründe berufen kann. Umgekehrt liegen sie eher hoch, wenn die hinter der jeweiligen Regelung stehenden Erwägungen von geringem Gewicht sind.

Prüfungsmuster dieser Art sind im Recht generell – auch international – stark verbreitet. Im Europarecht und im Welthandelsrecht tauchen sie vor allem hinsichtlich der Frage auf, ob es den Mitglied- bzw. Vertragsstaaten gestattet ist, von den an sich gesetzten Regeln des Europarechts oder des Welthandelsrechts abzuweichen. Beide „Rechtsordnungen“ haben sich in verschiedenartiger Ausprägung dem Ziel der Handelsliberalisierung verschrieben. Die Bewirtschaftung von Ressourcen als Bestandteilen von Handelswaren steht dieser Zielsetzung zwar nicht zwangsläufig in jedem Einzelaspekt entgegen, doch verfolgt sie vom Grundansatz her ein anderes Politikmodell. Sie will bewusst regulieren, also den Markt auf Grundlage bestimmter gemeinwohlbezogener Zielsetzungen gewissermaßen unter Kontrolle bringen. Dabei mag sie sich instrumentell zum Teil Marktmechanismen zu Nutze machen, so dass Einzelkonflikte mitunter durchaus vermieden werden können. Strukturell steht der Ansatz aber im Gegensatz zu dem Idealtyp der Handelsliberalisierung. Die Realisierung von Instrumenten der Bestandsbewirtschaftung stößt deshalb immer wieder auf gegenläufige Regelungsansätze im bestehenden Europa- und Welthandelsrecht. Diese Konfliktstellung durchzieht die folgende Untersuchung wie ein roter Faden.

Innerhalb der Zulässigkeitsprüfung für Abweichungen von den für die Liberalisierung gesetzten Regelungen treten grundsätzlich zwei Arten von Problemstellungen auf. Zum einen ist zu unter-

suchen, ob überhaupt eine Abweichung vorliegt. Die jeweiligen Liberalisierungsvorschriften erstrecken sich häufig nicht auf alle Sachverhaltsvarianten und lassen in mancherlei Hinsicht Raum für steuernde Eingriffe. Zum anderen kann es sein, dass eine Abweichung vorliegt, diese aber unter bestimmten Voraussetzungen zulässig sein kann. So liegt es beispielsweise im EG-Recht, wenn es an einer speziellen Harmonisierungsvorschrift zur Herstellung des freien Binnenmarkts fehlt. In solch einem Fall kommt der Grundsatz des freien Warenverkehrs zum Tragen (Art. 28 EGV), von dem aber unter bestimmten Voraussetzungen abgewichen werden darf. Ähnlich ist die Ausgangslage im Welthandelsrecht, wenn festgestellt worden ist, dass eine staatliche Vorschrift den internationalen Handel mit gleichartigen Waren beeinträchtigt (vgl. Art. 3 GATT). Das ist grundsätzlich unzulässig, doch sind unter bestimmten Voraussetzungen Ausnahmen davon möglich, zum Beispiel aus (bestimmten) Umweltschutzgründen.

Auf der letztgenannten, in vielen Konstellationen besonders bedeutsamen Prüfungsstufe kommt es meist maßgebend darauf an, aufgrund welcher Erwägungen die Abweichungen zulässig sind und welches Gewicht sie haben müssen, um die Durchbrechung des Grundsatzes legitimieren zu können. An dieser Stelle ähnelt die Rechtmäßigkeitsprüfung für Abweichungen von dem Grundsatz der Binnenmarktfreiheit des EG-Rechts bzw. des freien Weltmarkts für Waren des WTO-Rechts ihrer Art nach stark der oben angesprochenen Prüfung der Verhältnismäßigkeit von Grundrechtseingriffen. Immer geht es dabei um die Kernfrage, ob die hinter dem Lenkungsinstrument stehenden Beweggründe ihrem Inhalt nach anzuerkennen sind und sich im jeweiligen Konfliktfall als gewichtiger erweisen als der durchbrochene Grundsatz.

Im Kontext der auf diese Prüfungsstufe bezogenen Überlegungen zeigt die nähere Betrachtung deutlich ein Grundproblem des Ansatzes einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung auf: Im Unterschied zu Maßnahmen, die auf die Reduzierung der Umweltbelastung – insbesondere zum Zwecke des Gesundheitsschutzes – zielen, sind Instrumente der „reinen“ Bestandsbewirtschaftung im Recht noch relativ unbekannt. Zwar entfalten viele Staaten in den letzten Jahrzehnten stärker werdende Initiativen, die im weitesten Sinne der Bestandsbewirtschaftung zugeordnet werden können – insbesondere in der Abfallwirtschaft –, doch genießen derartige Maßnahmen in der Regel nur dann eine besonders hohe Anerkennung, wenn es zugleich um den (unmittelbaren) Schutz vor Umweltbelastungen geht.

Das darf zwar nicht als generelles Hindernis für die Strategie einer nachhaltigen Bewirtschaftung knapper Ressourcen missverstanden werden. Auch ist nicht zu übersehen, dass sich insbesondere im deutschen Verfassungsrecht – wo es sich in Art. 20a GG widerspiegelt – und im EG-Recht – wo es einen relativ starken Ausdruck in den Bemühungen im eine integrierte Produktpolitik findet – die Erkenntnis durchsetzt, dass es zur Wahrung des Wohls der Allgemeinheit einer umfassenden Politik der Ressourcenschonung bedarf. Aber es besteht noch eine relativ unsichere Grundlage zur Beurteilung der möglichen Reichweite derartiger Maßnahmen, wenn damit zugleich in Rechte Dritter – wie das Grundrecht der Berufsfreiheit im deutschen Verfassungsrecht – oder in übergeordnete Rechtsprinzipien – wie das des Freihandels eingegriffen wird.

Am Deutlichsten zeichnet sich im deutschen Recht ab, dass eine Politik der Ressourcenbewirtschaftung auch im Konflikt mit den Grundrechten der Wirtschaftsbeteiligten durchaus bestehen kann, da es in der Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts als gesicherte Linie angesehen werden kann, auch allgemeine Erwägungen des Gesetzgebers zum gemeinen Wohl als geeignete Gründe anzuerkennen, um – auch weitreichende – Einschränkungen der unternehmerischen Freiheiten zu rechtfertigen. Sofern der Gesetzgeber im Einzelfall gute Gründe für sein



Handeln vorweisen kann und genau geprüft hat, ob nicht mildere Mittel gleicher Wirkung in Betracht kommen oder die Maßnahme Rechte Einzelner unangemessen beschneidet, bestehen relativ gute Aussichten, um ein Instrument der Ressourcenschonung – wie ein solches des Gesundheitsschutzes – verfassungsrechtlich einwandfrei realisieren zu können.

Dabei kommt der Strategie innerhalb des deutschen Rechts zu Gute, dass das Grundgesetz – anders als das EG- und WTO-Recht, kein Verfassungsprinzip des freien Warenverkehrs kennt. Im Verhältnis zur deutschen Verfassung ist es deshalb nicht erforderlich, in eine spezifische Prüfung darüber einzutreten, ob die Maßnahme eine Gefahr für die „freie Warenverkehrsordnung“ darstellen könnte. Der praktische Wert dieses „Vorteils“ wird jedoch dadurch wieder genommen, dass entsprechende Grundprinzipien sowohl im EG-Recht als auch im Welthandelsrecht nicht nur als solche existieren, sondern sogar als tragende Säulen der jeweiligen Rechtsordnungen verstanden werden.

Für Maßnahmen innerhalb des deutschen Rechts ergibt sich daraus eine doppelte Schranke: Es müssen sowohl die Binnenmarktregeln der EG als auch die Vorgaben des WTO-Rechts eingehalten werden. Auch der „europäische Gesetzgeber“ ist seinerseits in seiner Ressourcenpolitik nicht frei. Er muss immerhin die Anforderungen des WTO-Rechts beachten. Diese enthalten – wie die nähere Betrachtung zeigen wird – in gewisser Hinsicht die am weitesten gehenden Restriktionen und zugleich die größten Rechtsunsicherheiten, weil die WTO-Regeln erstens noch relativ jung sind, und weil zweitens ein Organ der WTO für die Rechtsprechung zuständig ist, das – obgleich seine Entscheidungen folgenreicher sein können als die jedes nationalen Verfassungsgerichts – allein einem einzigen Vertragswerk verpflichtet ist, das seinerseits ein einzelnes Ziel der Wirtschaftspolitik zur übergeordneten Maxime erklärt.

Im Einzelnen haben die Freihandelsprinzipien im EG-Recht und im WTO-Recht verschiedenartige Ausprägungen erfahren:

Im EG-Recht findet sich der Grundsatz des Freihandels im Prinzip des freien Warenverkehrs innerhalb des Binnenmarkts wieder.

- Dort wird er einerseits dadurch geschützt, dass die Staaten grundsätzlich daran gehindert sind, Maßnahmen zu ergreifen, die den freien Binnenmarkthandel beeinträchtigen (Art. 28 EGV). Hiervon sind jedoch Ausnahmen möglich, sofern sich der Staat auf bestimmte legitime Regelungsinteressen stützen kann und diese sich im Hinblick auf den Binnenmarkteingriff als verhältnismäßig erweisen. Zu den insoweit anerkannten Erwägungen gehören auch Umweltschutzziele – wobei ungeklärt ist, ob und unter welchen Voraussetzungen sich der Mitgliedstaat auf Umweltschutzinteressen berufen kann, die sich hinsichtlich der Auswirkungen nicht auf das eigene Territorium beziehen.
- Andererseits findet der Grundsatz in spezifischen Regelungen zur Binnenmarktharmonisierung (meist in Gestalt von Richtlinien) seinen Ausdruck (erlassen nach Art. 95 EGV). Soweit die EG hiervon Gebrauch macht und nicht zugleich Regelungsspielräume für die Nationalstaaten offen hält, können die Staaten hiervon nicht zur Verfolgung von Umweltschutzziele abweichen. Anders liegt es bei Richtlinien, die selbst ihrem Hauptzweck nach Umweltschutzziele der Gemeinschaft dienen (erlassen nach Art. 175 EGV). In diesem Fall können die Staaten schärfere Bestimmungen erlassen (Art. 176 EGV). Zu betonen ist, dass die EG innerhalb ihrer eigenen Kompetenzen zur Binnenmarktharmonisierung und zur gemeinschaftlichen Umweltschutzpolitik relativ weitreichende Möglichkeiten hat, selbst eine Politik der nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung zu betreiben.

Im WTO-Recht kann nach wie vor der GATT-Vertrag als materieller Hauptvertrag angesehen werden. Im Rahmen der förmlichen Bildung zur WTO (1994) wurden jedoch einige zusätzliche Verträge geschlossen, die für den vorliegenden Kontext ebenfalls von Bedeutung sein können:

- Der GATT-Vertrag verbietet unter anderem grundsätzlich Steuerungsmaßnahmen, mit denen „gleichartige Produkte“ ungleich – also benachteiligend – behandelt werden (vgl. Art. III GATT).

Ungleichbehandlungen sind demnach zulässig, soweit sie an unterschiedlichen Produktmerkmalen anknüpfen (z.B. an den Schadstoffgehalt). Es ist weithin unklar, ob Beschaffenheitskriterien, die der Ware nicht messbar anhaften (wie z.B. der Sekundärstoffgehalt) ein zulässiges Unterscheidungskriterium darstellen können. Geht man von einer an sich unerlaubten Unterscheidungsbehandlung aus, so kann dies ausnahmsweise gerechtfertigt sein, und zwar sowohl aus Umweltschutzgründen als auch aus Gründen der Ressourcenschonung (vgl. Art. XX b) und g) GATT). Hierfür ist aber nicht sicher, ob sich die Abweichung vom Grundsatz der Handelsfreiheit auch auf extraterritoriale Schutzgüter beziehen darf. Außerdem ist der Staat nach der neueren Rechtsprechung des WTO-Streitbeilegungsorgans gehalten, zuvor eine bilaterale Lösung mit den jeweils betroffenen Staaten zu suchen. Unklar ist auch, ob und inwieweit anderweitigen Abkommen des Völkerrechts innerhalb der Prüfung besonderes Gewicht zuzusprechen ist.

- Außerhalb des GATT können im vorliegenden Zusammenhang zwei Übereinkommen von Bedeutung sein, einerseits das Abkommen über technische Handelshemmnisse (TBT), andererseits das über gesundheitspolizeiliche Maßnahmen (SPS). Die inhaltliche Reichweite und die Anwendungsbereiche der beiden Regelwerke haben sich noch nicht klar konturiert. Klar ist aber, dass mit dem TBT bezweckt wird, eine weltweite Vereinheitlichung der technischen Vorschriften zu erreichen. Als technische Vorschrift wird dabei jede Art der Beschaffenheitsanforderung verstanden (vom Schadstoffgehalt bis zur Kennzeichnungsvorschrift). Eigenständige nationale Vorschriften hierzu solcher Art sind danach nur zulässig, soweit sie durch bestimmte Gründe legitimiert sind (u.a. Umweltschutzgründe). Hier stellt sich wiederum die Frage, inwieweit extraterritoriale Schutz- und Vorsorgeerwägungen angestellt werden dürfen. Außerdem ist umstritten, ob das grundsätzliche Verbot nationaler Alleingänge auch gilt, wenn kein Verstoß gegen das Ungleichbehandlungsverbot des GATT vorliegt.

Die folgende Tabelle gibt zur Erleichterung des Verständnisses eine Übersicht über die wichtigsten juristischen Probleme auf den drei Rechtssetzungsebenen. Sie differenziert dabei zwischen Maßnahmen zum Zwecke der Schadstoffreduktion und zum Zwecke der „reinen“ Ressourcenschonung. Sie verdeutlicht damit, dass sich die Beurteilungsmaßstäbe hinsichtlich der Vereinbarkeit mit dem übergeordneten Recht für diese beiden Zielbereiche stark voneinander unterscheiden. Das hat auf den hier betrachteten Untersuchungsgegenstand erhebliche Auswirkungen, da sich die Ziele der Ressourcenschonung im Falle von Blei weitenteils mit denjenigen der Schadstoffreduktion decken bzw. überschneiden – und deren Umsetzung deshalb im Ergebnis erheblich weniger rechtlichen Hindernissen gegenübersteht als der Ressourcenpolitik für Kupfer, dessen Schadstoffpotenzial vergleichsweise unbedeutend ist.

**Tabelle 7-1: Zentrale Rechtsfragen der Bestandsbewirtschaftung**

	<b>Ziel Schadstoffreduktion</b>	<b>Ziel Ressourcenschonung</b>
Rechtfertigung von Belastungen	→ Gesundheitsschutz (Art. 2 II GG) → Staatsziel Umweltschutz (Art. 20a GG)	→ Staatsziel Umweltschutz (Art. 20a GG)
Realisierungsgrad im deutschen Recht	→ mittleres Niveau → Rechtsgrundlagen im ChemG, KrW-/AbfG und anderen Fachgesetzen vorhanden → Gebrauch bisher zurückhaltend	→ geringes Niveau → nur lückenhaft als Teilaspekt im KrW-/AbfG aufgegriffen, zurückhaltender Gebrauch → keine Instrumente zur Mengensteuerung des Verbrauchs
Vereinbarkeit mit EG-Recht	→ einige Regelungen hierzu im EG-Recht vorhanden → Zulässigkeit nationaler Alleingänge hängt davon ab, a) ob harmonisierende Regelung Freiräume belässt (differenzierte Betrachtung erforderlich; bei Umweltschutzrichtlinien Berufung auf Verstärkungsklausel des Art. 176 EGV möglich, bei Binnenmarktrichtlinien nicht) b) ob Eingriff in die Warenverkehrsfreiheit (Art. 28 EGV) hinreichend gerechtfertigt (häufig anzunehmen)	→ nur im Abfallrecht der EG Ansätze vorhanden → keine Mengensteuerung des Verbrauchs → nationale Alleingänge: a) können in bestimmten Bereichen mit Regelungen der Binnenmarktharmonisierung kollidieren (z.B. Bauprod-RL, harmonisierte Normen) b) beeinträchtigen den Warenverkehr – unklar, ob extraterritoriale Schutzziele Eingriffe legitimieren können
Vereinbarkeit mit WTO-Recht	→ ja, an die Belastungswirkungen anknüpfende Eingriffe in den freien Warenverkehr grundsätzlich zulässig	→ Maßnahmen, die den Warenverkehr beeinträchtigen, sind häufig problematisch, insb. weil unklar ist, ob/inwieweit Berufung auf extraterritoriale Schutzziele zulässig ist

Quelle: Eigene Darstellung

## 7.2 Dokumentations- und Bilanzierungspflichten

Nationale Pläne für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von knappen nicht erneuerbaren Ressourcen stellen als solche keine Rechtsinstrumente dar, weil sie keine nach außen hin bindenden Rechtsfolgen nach sich ziehen. Rechtliche Hindernisse für die Realisierung sind nicht ersichtlich. Allerdings sind in Teilbereichen Änderungen des bestehenden Rechts erforderlich, um die nötige Datengrundlage für die zuverlässige Planung und die Evaluation der ergriffenen Maßnahmen zu schaffen.

Generell ist die Informationsbasis für die Feinsteuerung insbesondere bei langlebigen Anwendungen, wie dem Rückfluss aus dem Gebäudebestand, aber auch bei kurzlebigeren Massenanwendungen, wie Traktionsbatterien und ortsfeste Batterien, dürftig. In Kapitel 6.12 wurde näher erläutert, dass es für die zuverlässige Orientierung der Ressourcenpolitik und den zielgerichteten Einsatz der steuernden Instrumente einiger Verbesserungen hinsichtlich der Datenbasis bedarf. Soweit es um den Rückfluss von Blei und Kupfer aus dem Gebäudealtbestand geht, wurde die

Lösung über Forschungsvorhaben präferiert. Außerhalb dieses speziellen Segments wurden vier datenbezogene Instrumente identifiziert, mit deren Hilfe eine wesentliche Planungs erleichterung erreicht werden könnte:

- stoffbezogene Bilanzierungspflichten für das produzierende Gewerbe,
- die Führung von Infrastruktur- und Deponiekatastern,
- die Pflicht zur Führung eines Gebäudepasses
- Dokumentationspflichten über den Export von gelöschten Kraftfahrzeugen.

### 7.2.1 Stoffbezogene Bilanzierungspflichten

Als Anknüpfungspunkt für die Bilanzierungsinstrumente wurde insbesondere das Umweltstatistikgesetz erörtert, für Teilbereiche auch die einschlägigen fachgesetzlichen Regelungen.

Aus juristisch-instrumenteller Sicht erscheint das Umweltstatistikgesetz für die hier verfolgten Zwecke nur begrenzt geeignet. Von seiner Funktion her kann es zwar den Staat in die Lage versetzen, auf erweiterte Informationen für seine Politikformulierung zurückzugreifen. Nach dem Konzept des Gesetzes findet jedoch keine Rückkoppelung zu denjenigen statt, die die Daten erfasst und geliefert haben. Gerade hierin könnte jedoch ein bedeutsamer Zusatznutzen von Bilanzierungspflichten liegen: dass sie den betreffenden Unternehmen Informationen über den eigenen Ressourcenverbrauch liefern und so selbst in den Stand versetzt werden, zielgerichtet Verhaltensänderungen in ihren eigenen Unternehmen anzugehen. Als in diesem Sinne durchaus erfolgreiches Vorbild können die Pflichten des Abfallrechts über Abfallbilanzen und Abfallwirtschaftspläne herangezogen werden.

Aus diesem Grunde empfiehlt es sich, die angesprochenen Bilanzierungspflichten zum Ressourceneinsatz im *produzierenden Gewerbe* durch einen entsprechenden neuen Tatbestand in einem der Umwelt-Fachgesetze zu verankern. Hierfür kommen vom Ansatz her sowohl das KrW-/AbfG als auch das ChemG in Betracht. Auch eine Verankerung im BImSchG als dem zentralen Gesetz für die Anlagenzulassung erscheint möglich. In allen Fällen stehen dem Bund die erforderlichen Gesetzgebungskompetenzen zu (Art. 74 Abs. 1 Nr. 11, 22, 24 GG). Konflikte mit dem europäischen Gemeinschaftsrecht und dem Welthandelsrecht können hier nicht entstehen.

### 7.2.2 Infrastrukturkataster

Das hier als *Infrastrukturkataster* bezeichnete Instrument passt sich in das Konzept des Umweltstatistikgesetzes gut ein, sofern sein funktionaler Schwerpunkt darin liegen soll, den Staat über den vorhandenen Bestand an Ressourcen zu unterrichten. Soweit es aber darum geht, die Daten als Grundlage für die Rückholung der Wertstoffe zu verwenden, empfiehlt sich die Schaffung besonderer Rechtsvorschriften des materiellen Anlagenzulassungsrechts bzw. Umweltrechts.<sup>251</sup>

Das geltende Recht kennt eine Verpflichtung zur Führung von Kabelkatastern nicht. Adressaten einer solchen Rechtspflicht wären die Eigentümer und Betreiber der Netze für die Versorgung mit Elektrizität und Telekommunikationsmöglichkeiten. Rechtlich muss insoweit zwischen einer Katasterpflicht für Neuverlegungen und der Erfassung des Bestandes unterschieden werden.

Als rechtstechnischer Anknüpfungspunkt für die Statuierung einer Katasterpflicht für *Neuverlegungen* kommen an sich die jeweiligen Bestimmungen über die Zulässigkeit der betreffenden

---

<sup>251</sup> Siehe unten, 7.6.

Anlagen in Betracht. Die betreffenden Regelungen eignen sich jedoch nicht für die hier angedachte Maßnahme:

- Das für die Zulässigkeit von Versorgungsleitungen im öffentlichen Elektrizitätsnetz maßgebende *Energiewirtschaftsgesetz* (EnWG)<sup>252</sup> aus dem Jahr 1998 enthält keinen eigenständigen Genehmigungstatbestand für Elektrizitätsleitungen. Die Errichtung und der Betrieb der Leitungen bedürfen also keiner vorherigen Genehmigung. Es findet nur eine Nachkontrolle statt: Die zuständigen Behörden können die erforderlichen Maßnahmen treffen, um sicherzustellen, dass die materiellen Anforderungen des Gesetzes erfüllt werden (§ 18 Abs. 1 EnWG). Damit spricht die Vorschrift die Vorgaben des § 16 EnWG an, nach denen Energieanlagen so zu errichten und zu betreiben sind, dass die technische Sicherheit gewährleistet ist und „vorbehaltlich sonstiger Rechtsvorschriften“ die allgemein anerkannten Regeln der Technik beachtet werden (§ 16 Abs. 1 EnWG). Durch Rechtsverordnung können Anforderungen an die technische Sicherheit erlassen werden (§ 16 Abs. 4 EnWG).
- Auch das *Telekommunikationsgesetz* (TKG)<sup>253</sup> verzichtet vom instrumentellen Ansatz her auf die Normierung eines vollen Zulassungstatbestands. Den Lizenznehmern des Bundes (das heißt die Netzbetreiber) wird von Gesetzes wegen gestattet, die öffentlichen Wege (des Bundes, der Länder und der Gemeinden) kostenlos für ihre Leitungen zu benutzen (vgl. § 50 Abs. 1 und 2 TKG). Die Leitungen müssen den „Anforderungen der Sicherheit und Ordnung sowie den anerkannten Regeln der Technik genügen“ (§ 50 Abs. 2 Satz 2 TKG). Die Verlegung bedarf der Zustimmung des Wegebausträgers, der die Zustimmung mit „technischen Bedingungen und Auflagen“ versehen kann (§ 50 Abs. 3 TKG).

Damit ergibt sich, dass die bestehenden gesetzlichen Regelungen in beiden Bereichen keine Grundlage dafür bieten, von den Betreibern die Führung eines Kabelkatasters zu verlangen. Eine solche Forderung würde mit dem Konzept der beiden Gesetze in Konflikt geraten, möglichst geringfügige Anforderungen an die Verlegung und den Betrieb zu stellen. Andererseits machen die Vorschriften in beiden Bereichen deutlich, dass die jeweiligen Regelungen keinen abschließenden Charakter tragen sollen: Im Energiewirtschaftsrecht gelten die Anforderungen „vorbehaltlich sonstiger Rechtsvorschriften“ (§ 16 Abs. 1 EnWG), im Telekommunikationsrecht sind neben den anerkannten Regeln der Technik diejenigen der „Sicherheit und Ordnung“ einzuhalten (§ 50 Abs. 2 TKG). Es bleibt also genügend Raum, um an anderer Stelle die Forderung nach Einführung von Kabelkatastern zu erheben.

Die abfallwirtschaftliche Motivation des Regelungsvorschlags lässt es naheliegend erscheinen, die Pflicht in das KrW-/AbfG einzuflechten. Dieser Weg dürfte auch der kompetenzrechtlich saubere sein, da das BVerfG Art. 74 Abs. 1 Nr. 24 GG als Grundlage für eine umfassende Bundeskompetenz für Regelungen auf der Abfallwirtschaft betrachtet.<sup>254</sup> Der Vorschlag kann dann auch regelungstechnisch sinnvoll mit den oben angesprochenen Rückholbarkeitsanforderungen für Kabel<sup>255</sup> verknüpft werden, die sinnvollerweise im Bereich von Elektrizitäts- und Datenübertragungsnetzen ebenfalls zur Anwendung kommen sollten.

Verfassungs-, europa- und welthandelsrechtlich erhebliche Problemstellungen sind in diesem Bereich nicht zu erkennen.

Soweit es um die *Erfassung des Bestandes* geht, muss folglich ebenfalls das abfallrechtliche Instrumentarium genutzt bzw. entsprechend erweitert werden.

---

<sup>252</sup> Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz – EnWG) vom 24. April 1998, BGBl. I S. 730, zuletzt geändert durch Gesetz vom 29. März 2000, BGBl. I S. 305.

<sup>253</sup> Gesetz vom 25. Juli 1996, BGBl. I S. 1120, zuletzt geändert durch Gesetz vom 26. August 1998, BGBl. I S. 2521.

<sup>254</sup> BVerfGE 98, S. 106, 120.

<sup>255</sup> Siehe oben, 7.2.4.

In diesem Zusammenhang können sich aus dem Verfassungsrecht gewisse Grenzen für das Instrument ergeben. Mit der Pflicht zur katastermäßigen Erfassung des erdverlegten Kabelbestandes wird in den vorhandenen Eigentumsbestand eingegriffen, indem an das Eigentum bzw. dessen wirtschaftliche Nutzung eine bestimmte Verhaltenspflicht geknüpft wird.

Es kann zwar grundsätzlich angenommen werden, dass für die Beschränkung des Eigentumsgrundrechts (Art. 14 Abs. 1 GG) ein vernünftiger Grund des Gemeinwohls vorliegt. Auch dürfte sich die Katasterregistrierung als solche ihrer Intensität nach in der Regel als eher geringfügige Grundrechtsbeschränkung darstellen. In bestimmten Fallgestaltungen kann es jedoch vorkommen, dass eine allzu detaillierte Erfassung zu unzuträglichen Belastungen der Eigentümer und Nutzer führen würde. Deshalb wird dafür Sorge zu tragen sein, dass der Detailliertheitsgrad der Anforderungen nicht über das Maß dessen hinausgeht, das den Eigentümern und Nutzern im Hinblick auf den Zweck der Maßnahmen wirtschaftlich regelmäßig zugemutet werden kann. Möglicherweise wird es auch erforderlich sein, besondere Ausnahme- bzw. Härtefallklauseln in die Regelung aufzunehmen.

### 7.2.3 Gebäudepass

Mit dem Instrument des Gebäudepasses soll die Verwendung insbesondere längerfristig gebundener Ressourcen im Gebäudebereich umfassend dokumentiert werden, um das Wiederauffinden und damit die Rückholung brauchbarer Wertstoffe aus Gebäuden zu erleichtern. Rechtsdogmatisch handelt es sich um eine relativ milde Form der Inhalts- und Schrankenbestimmung des Grundrechts der Eigentumsfreiheit im Sinne von Art. 14 Abs. 1 Satz 2 GG, die sich ohne weiteres durch den dahinter stehenden gemeinwohlbezogenen Zweck rechtfertigen lässt. Die Auferlegung von Verhaltenspflichten aus Gründen des öffentlichen Wohls stellt in der Rechtsordnung nichts Ungewöhnliches dar. Verfahrenstechnisch bietet sich an, den Gebäudepass mit der Baugenehmigung zu verknüpfen. Von daher scheint sich die Idee auf den ersten Blick eher in das Bauordnungsrecht (der Länder) als in das Abfallrecht (des Bundes) einzufügen. Es darf jedoch nicht übersehen werden, dass die Regelung der Sache nach abfallwirtschaftlich motiviert ist und das Bundesverfassungsgericht die Auffassung vertritt, dass das gesamte Abfallwirtschaftsrecht – sogar einschließlich der Abfallvermeidung – in die konkurrierende Gesetzgebungskompetenz des Bundes fällt.<sup>256</sup> Europarechtliche Probleme sind nicht erkennbar. Eine Kollision mit der BauProd-RL ist nicht zu befürchten, da es sich nicht um eine spezifisch auf die Produkte bezogene Regelung handelt, sondern um eine auf das Gebäude bezogene Verpflichtung. Welthandelsrechtliche Restriktionen sind nicht vorstellbar.

### 7.2.4 Datenbeschaffung über den Altfahrzeugexport

Ein konstruktives Problem zeigt sich bei der Beschaffung der gewünschten Daten über den *Altfahrzeugexport*. Die generelle Einstufung gelöschter (abgemeldeter) Fahrzeuge als überwachungsbedürftiger Abfall dürfte ins Leere gehen, weil es sich bei ins Ausland veräußerten Fahrzeugen nach dem Regelungssystem des KrW-/AbfG überhaupt nicht um Abfall handelt. Einfacher dürfte es sein, die Datensammlung des Verkehrsregisters über die Abmeldung von Kfz nutzbar zu machen. In der Sache löst sich das Exportproblem von Alt-Kfz (hoffentlich) ohnehin weitgehend bereits durch die ab 2007 geltende Verpflichtung der Hersteller und des Handels zur kostenlosen Altfahrzeugrücknahme bzw. durch deren Ausweitung auf sämtliche Kfz-Arten.

---

<sup>256</sup> BVerfGE 98, S. 106, 120.

### 7.3 Branchenorientierte Akteurskooperationen

Vier Ansatzpunkte mit großen Potenzialen für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei sind in Kapitel 6.12 genannt:

- Roadmap für Bildschirmrecycling
- Akteurskooperation zur Demontage von Altfahrzeugen
- Akteurskooperation für die Verkabelung von Gebäuden
- Contracting zur Bergung erdverlegter und Unterwasserkabel

Branchenorientierte Akteurskooperationen begegnen vom Ansatzpunkt her keinen verfassungsrechtlichen Bedenken. Als Ausdruck des sog. Kooperationsprinzips gelten sie innerhalb des Abfallwirtschaftsrechts sogar als ausdrücklich erwünscht.<sup>257</sup>

Auf der Ebene des Europarecht sowie des einfachen deutschen Rechts – also unterhalb der verfassungsrechtlichen Ebene – können sich jedoch erhebliche Probleme zeigen, wenn die Akteurskooperationen zur Ausschaltung oder Beeinträchtigung des Wettbewerbs führen.

Sowohl im deutschen Recht als auch im EG-Recht gehört das Verbot von wettbewerbswidrigen Absprachen – „Kartellverbot“ – zu den wesentlichen Elementen der Marktwirtschaft. Hierbei geht es nicht darum, den Einfluss des Staates auf den Markt einzuschränken, sondern der Entstehung von marktbeherrschenden Positionen seitens einzelner Unternehmen zu Lasten der Konkurrenten und Konsumenten entgegen zu wirken. Die kartellrechtlichen Vorgaben des deutschen und des gemeinschaftlichen Wettbewerbsrechts ähneln sich in ihren Grundstrukturen, aber nicht in jeder einzelnen Anforderung.

Die Verbotstatbestände des deutschen Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkungen (GWB) und des EGV setzen leicht unterschiedliche Akzente. So heißt es in § 1 GWB:

"Vereinbarungen miteinander im Wettbewerb stehender Unternehmen, Beschlüsse von Unternehmensvereinigungen und aufeinander abgestimmte Verhaltensweisen, die eine Verhinderung, Einschränkung oder Verfälschung des Wettbewerbs bezwecken oder bewirken, sind verboten."

Die parallele Vorschrift des Art. 81 EGV lautet:

"Mit dem Gemeinsamen Markt unvereinbar und verboten sind alle Vereinbarungen zwischen Unternehmen, Beschlüsse von Unternehmensvereinigungen und aufeinander abgestimmte Verhaltensweisen, welche den Handel zwischen den Mitgliedstaaten zu beeinträchtigen geeignet sind und eine Verhinderung, Einschränkung oder Verfälschung des Wettbewerbs innerhalb des Gemeinsamen Marktes bezwecken oder bewirken, insbesondere (...)"

Die Formulierung des EGV verdeutlicht, dass sich der EGV insoweit nur für diejenigen Kartelle interessiert, die auf den Wettbewerb im Gemeinsamen Markt Auswirkungen haben können. Es bedarf insoweit also nicht zwingend einer Vereinbarung zwischen Unternehmen verschiedener Mitgliedstaaten. Entscheidend ist die grenzüberschreitende Auswirkung, die etwa auch darin liegen kann, dass ein EG-ausländisches Unternehmen am Zugang zu einem nationalen Markt in Deutschland gehindert wird.<sup>258</sup> Die dadurch entstehende große Reichweite des EG-Kartellrechts wird jedoch dadurch wieder relativiert, dass der EuGH eine "spürbare" Beeinträchtigung des Binnenmarktes verlangt<sup>259</sup> und die EU-Kommission hierfür in ihrer sog. Bagatellbekannt-

<sup>257</sup> Vgl. BVerfGE 98, S. 106, 120, 121 ff.

<sup>258</sup> Vgl. EuGH, Rspr. 1966, S. 389 (Consten-Grundig).

<sup>259</sup> Grundlegend EuGH, Rspr. 1971, S. 351 (Cardillon).

machung entschieden hat, dass dies erst bei einem Markt- oder Umsatzanteil der beteiligten Unternehmen von 5 % im Gemeinsamen Markt der betreffenden Branche(n) anzunehmen ist., bei vertikalen Absprachen sogar erst ab 10 %.<sup>260</sup>

Mit der Einbeziehung von "vertikalen" Absprachen ist ein weiteres Unterscheidungsmerkmal zum deutschen Recht angesprochen. Unter "vertikalen" im Gegensatz zu "horizontalen" Absprachen werden im Wettbewerbsrecht Vereinbarungen verstanden, die nicht zwischen im Wettbewerb stehenden Unternehmen stattfinden, sondern zwischen Unternehmen verschiedener Branchen bzw. Handelsstufen. Typisches Beispiel dafür ist eine Kooperation zwischen Herstellern und Handel innerhalb eines gemeinsamen Rücknahmesystems – weshalb es nahe liegt, Konstruktionen wie die des Dualen Systems im Verpackungssektor vom Tatbestand her als (an sich unzulässiges) Kartell anzusehen.<sup>261</sup>

Da sich Branchenkonzepte im Bereich der Ressourcenbewirtschaftung häufig wesentliche auf gemeinsame Rücknahmesysteme stützen, kann davon ausgegangen werden, dass das kartellrechtliche Risikopotenzial in derartigen Fällen relativ groß ist. Das betrifft auch andere Inhalte von branchenbezogenen oder branchenübergreifenden Kooperationsmodellen. Immer dann, wenn die Konzepte darin münden, dass sich die Marktteilnehmer gegenseitig oder bestimmten Dritten exklusive Rechte am Markt schaffen, muss dies vom Grundsatz her als verbotenes Kartell angesehen werden.

Aus diesem Dilemma gibt es nur zwei Auswege. Entweder die Branchenkonzepte erreichen nicht die Ebene der Wettbewerbsbeeinträchtigung oder sie werden unter dem Dach einer förmlichen Freistellung vom Kartellverbot gebildet. Für die zweite Variante halten sowohl das EG-Recht als auch das bundesdeutsche Recht bestimmte Ausnahmetatbestände bereit, deren Erfüllung jedoch in den meisten Fällen von (mitunter restriktiven) Voraussetzungen abhängig ist.<sup>262</sup>

Unterhalb der Wettbewerbsbeeinträchtigung dürften (im Hinblick auf die Anforderungen sowohl des EG-Rechts als auch des deutschen GWB) etwa Absprachen bleiben, bei denen sich die Kooperation auf die Ebene der gemeinsamen Entwicklung von Produkten oder der Einigung auf bestimmte Wege im Recycling beschränkt – wie bei Roadmaps. Im Falle von Rücknahmesystemen müsste sichergestellt sein, dass die Beteiligung an den Systemen für Dritte uneingeschränkt offen gehalten wird. Das Contracting dürfte geradezu prädestiniert für eine wettbewerbskonforme Art des kooperativen Handelns zwischen Unternehmen sein, weil es sowohl hinsichtlich der Auswahl des Contractors als auch hinsichtlich der Bestimmung der ausführenden Unternehmen wettbewerbsoffen ist.

Die zweite Alternative – Freistellung vom Kartellverbot – kann in zwei Varianten auftreten. Zum einen ermächtigt Art. 81 Abs. 3 EGV die zuständigen Organe der EG, im Verordnungs- oder Richtlinienwege Freistellungen auszusprechen. Solche kommen grundsätzlich in Betracht, wenn die Kooperation für die Verbraucher vorteilhaft ist oder zur Förderung des technischen Fortschritts beitragen. Zusätzliche Voraussetzung ist, dass die Wettbewerbsbeeinträchtigung nicht größer als notwendig ist, um das gesetzte Ziel zu erreichen. Für produkt- oder entsorgungsbezogene Absprachen der Kreislaufwirtschaft dürfte eine Anwendung der Freistellungsbe-

---

<sup>260</sup> ABl. EG 1997 Nr. C 372, 13.

<sup>261</sup> Vgl. Faber, Altautoentsorgung: Umweltschutz und Wettbewerb, in: UPR 1997, S. 431 ff.; Köhler, Abfallrückführungssysteme im Spannungsfeld von Umweltrecht und Kartellrecht, in: Betriebsberater 1996, S. 2577 ff.; relativierend Koch, die neuen Verpackungsverordnung, in: NVwZ 1998, S. 1155 ff.

<sup>262</sup> Siehe im Einzelnen Art. 81 Abs. 3 EGV sowie §§ 2 bis 8 GWB.



stimmung zumindest grundsätzlich in Betracht kommen. Zum anderen kann eine Art gesetzlicher Freistellung erfolgen, indem die EG innerhalb von Richtlinien selbst Regelungen erlässt, die Wettbewerbsbeschränkungen zur Folge haben (z. B. Vorgaben für Rücknahmesysteme formuliert).

Innerhalb des deutschen Wettbewerbsrechts sind die Freistellungs Voraussetzungen etwas anders akzentuiert, doch dürften jedenfalls für produktbezogene bzw. entsorgungsbezogene Kooperationsmodelle auch hier ebenfalls gute Chancen auf die Erteilung von Freistellungen bestehen. Zur Anwendung kann hier § 7 Abs. 1 GWB kommen. Danach können Freistellungen unter bestimmten Voraussetzungen ausgesprochen werden für Vereinbarungen, die "unter angemessener Beteiligung der Verbraucher an dem entstehenden Gewinn zu einer Verbesserung der Entwicklung, Erzeugung, Verteilung, Beschaffung, Rücknahme oder Entsorgung von Waren oder Dienstleistungen beitragen (...)". Dabei ist zu betonen, dass die "Gewinnbeteiligung" nicht im Wortsinne zu verstehen ist, sondern darauf hinaus läuft, dass den Verbrauchern Vorteile im Hinblick auf den Preis *oder* die Qualität zukommen müssen.<sup>263</sup> Letzteres ist auch im Falle von Verbesserungen der "ökologischen Qualität" anzunehmen, sofern sich insoweit ein verbessertes Preis-Leistungs-Verhältnis ergibt.

Im Resultat bleibt mithin festzuhalten, dass sich aus dem Kartellrecht grundsätzlich deutliche Beschränkungen der Handlungsfreiheiten für Unternehmenskooperationen ergeben, im Bereich der hier diskutierten konkreten Modelle jedoch tatsächliche Kollisionen mit den Anforderungen des Kartellrechts weitgehend vermeidbar sein dürften, da die Modelle vom Ansatz her nicht auf Wettbewerbsbeschränkungen hin angelegt sind. Im Übrigen stehen sowohl im deutschen als auch im europäischen Wettbewerbsrecht Freistellungstatbestände zur Verfügung, deren Anwendung zumindest für bestimmte Konstellationen von Absprachen zum Zwecke einer verbesserten Entsorgung in Betracht gezogen werden kann.

#### **7.4 Weiterentwicklung des produktbezogenen Rechts**

Die Ausweitung der Produktverantwortung birgt in folgenden fünf Produktgruppen große Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei:

- Ausbau des Regelwerks über Altfahrzeuge
- Aufbau eines ambitionierten Regelwerks für EE-Geräte
- Verringerung des Einsatzes knapper nicht erneuerbarer Ressourcen im Bauwesen
- Rückholbarkeitsanforderungen für Kabel um Hoch- und Tiefbau
- Entsorgungsfinanzierungspflicht für erdverlegte und Unterwasserkabel

##### **7.4.1 Ausbau des Regelwerks über Altfahrzeuge**

Grundlage der rechtlichen Würdigung sind die gemeinschaftsrechtlich bindenden Vorgaben der Richtlinie 2000/53/EG über Altfahrzeuge.<sup>264</sup> Hierzu wurden in Kapitel 6.12 zwei Fragenkreise eröffnet:

- Ist eine Ausweitung des Geltungsbereiches auf andere Fahrzeugarten möglich?
- Ist ein zusätzliches Verbot des Einsatzes von Blei in Schwingungsdämpfern möglich?

---

<sup>263</sup> Vgl. Faber, UPR 1997, S. 431, 438 m.w.N.

<sup>264</sup> Richtlinie 2000/53/EG über Altfahrzeuge, ABl. EG 2000 Nr. L 269, S. 34.

### **Ausweitung des Konzepts der Altfahrzeug-RL auf andere Fahrzeugarten**

Die *erste Frage* lässt sich auf Basis der Richtlinie relativ einfach mit “Ja” beantworten. Für eine Ausweitungstrategie auf der Ebene des *Gemeinschaftsrechts* ergibt sich dies ohne weiteres daraus, dass das fachliche Regelungsbedürfnis bei anderen Fahrzeugarten nicht geringer ist. Einem Hinausgreifen der *nationalen* Umsetzungsvorschriften über den eigentlichen Anwendungsbereich der Richtlinie steht die betreffende Rechtsvorschrift nicht entgegen.

Die Organe der EU haben die Altfahrzeug-RL auf die Umweltschutzkompetenzen des EGV gestützt (Art. 175 EGV). Daraus folgt, dass im Anwendungsbereich der Richtlinie Art. 176 EGV zur Anwendung kommt. Danach sind die Mitgliedstaaten befugt, gegenüber Umweltschutzrichtlinien “verstärkte Schutzmaßnahmen beizubehalten oder zu ergreifen”. Vergleichbar strenge Restriktionen wie im Bereich der Bauprodukte<sup>265</sup> gelten hier nicht. Die Ausweitung des Konzepts der Altfahrzeug-RL auf andere Fahrzeugarten erweist sich bei genauerer Betrachtung allerdings nicht als “Verstärkung” der dortigen Bestimmungen, sondern als deren Ergänzung um einen weiteren Anwendungsbereich. Deshalb dürfte Art. 176 EGV an dieser Stelle keine praktische Bedeutung zukommen.

Im Falle einer Ausweitung des Richtlinienkonzepts auf andere Fahrzeugarten sind die bereits erwähnten spezifischen Anforderungen der EG-Richtlinie über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der Normen und technischen Vorschriften (sog. *Informationsrichtlinie*) zu beachten.<sup>266</sup> Die Absicht der Regelung ist also bei der EU-Kommission anzumelden. Die Annahme der Regelung durch den Mitgliedstaat ist erst nach Durchlaufen bestimmter Schritte in einer Art Anhörungsverfahren zulässig (vgl. Art. 8 und 9 der Richtlinie).

Materiell ist der mit der Ausweitung verbundene Eingriff in die Marktverhältnisse an Art. 28 EGV zu messen.<sup>267</sup> An dieser Stelle kommt es daher im Kern darauf an, ob sich die Maßnahme im Sinne der ständigen Rechtsprechung des EuGH zu Art. 28 EGV “zum Schutz von zwingenden und vom Gemeinschaftsrecht anerkannten Erfordernissen” als notwendig darstellt.<sup>268</sup> Grundsätzlich dürfte das anzunehmen sein, da in der Rechtsprechung des EuGH geklärt ist, dass sich die Mitgliedstaaten insoweit auf Umweltschutzerwägungen stützen können, die von Art. 174 EGV getragen werden, sofern sie sich als erforderlich darstellen, weil ein den Binnenmarkt weniger beeinträchtigendes Mittel gleicher Wirksamkeit nicht vorhanden ist.<sup>269</sup> Wegen der Einzelheiten der Rechtsprechung zu Art. 28 EGV sei auf die Ausführungen im Zusammenhang mit der Input-Lizenzpflicht verwiesen.<sup>270</sup>

Zwar könnte problematisiert werden, dass mit der Altfahrzeug-RL bereits eine gemeinschaftsrechtliche Regelung besteht und deshalb für die darüber hinausgehenden Maßnahmen nicht mehr von “im Gemeinschaftsrecht anerkannten” zwingenden Erfordernissen ausgegangen werden könne. Die EG habe sich ja auf der sekundärrechtlichen Ebene dafür entschieden, *nur* eine

---

<sup>265</sup> Siehe unten, 7.7.2 und 7.4.3.

<sup>266</sup> Grundlegend hierfür ist zunächst die Richtlinie 98/34/EG über ein Informationsverfahren auf dem Gebiete der Normen und technischen Vorschriften (ABl. EG 1998 Nr. L 204, S. 37).

<sup>267</sup> Das gilt sowohl innerhalb als auch außerhalb des Anwendungsbereiches von Art. 176 EGV.

<sup>268</sup> EuGH, Slg. 1979, S. 649, 662 (“Cassis de Dijon”).

<sup>269</sup> Vgl. EuGH, Slg. 1979, S. 649, 662.; Slg. 1991, S. 939, 967 - Abfallrahmenrichtlinie -; EuGH, Slg. 1988, S. 4607, 4630 - Pfandflaschen -; eingehend Müller-Graff in: Groeben u. a., EGV Art. 30 Rn. 203 ff., 224 ff.; Geiger, EGV, Art. 30 Rn. 19 m.w.N.

<sup>270</sup> Siehe unten, 7.7.2 (b).

Regelung über die von der Altfahrzeug-RL erfassten Fahrzeugarten für erforderlich zu erachten. Dem ist jedoch entgegen zu halten, dass die Richtlinie insoweit nicht als abschließend betrachtet werden kann. Weder in ihren Einzelregelungen noch in den Erwägungsgründen wird zum Ausdruck gebracht, dass sinngleiche Regelungen außerhalb des Anwendungsbereiches der Altfahrzeug-RL für unzulässig erklärt werden sollten. Die Festlegung des Anwendungsbereiches hat hier lediglich die Funktion, den gefundenen "gemeinsamen Nenner" der Mitgliedstaaten auszudrücken, nicht die Aufgabe, Regelungen außerhalb dieses Anwendungsbereiches für unerwünscht zu erklären.

Von daher besteht nach hiesiger Auffassung im Ergebnis kein ernstlicher Zweifel daran, dass der betreffende Eingriff in den Binnenmarkt mit den Vorgaben des EGV vereinbar ist.

Als Rechtsgrundlagen stehen im nationalen Recht die Kataloge der §§ 6, 7, 23 und 24 KrW-/AbfG zur Verfügung. Soweit es um die Vermeidung von Umweltgefährdungen geht, die nicht im Zusammenhang mit der Entsorgung stehen, ist auf die Verordnungsermächtigung des § 17 ChemG zurückzugreifen.

#### **Verbot von Blei in Schwingungsdämpfern**

Gemeinschaftsrechtlich werden die Mitgliedstaaten durch die Richtlinie 2000/53/EG nicht daran gehindert, innerhalb des Anwendungsbereiches der Richtlinie schärfere Anforderungen an den Einsatz von Stoffen in Kfz zu stellen. An dieser Stelle kann sich der einzelne Mitgliedstaat auf die Verstärkungsbefugnis aus Art. 176 EGV berufen. Die betreffenden Maßnahmen müssen schließlich noch mit den sonstigen Bestimmungen des EGV vereinbar sein. Sie bedürfen also insbesondere eine hinreichenden Rechtfertigung im Hinblick auf Art. 28 EGV und müssen sich zur Erreichung des verfolgten Zieles als erforderlich darstellen. Dies vorausgesetzt, bestehen keine grundlegenden Hindernisse des Gemeinschaftsrechts für die erwogene Maßnahme. Die *zweite Frage* kann daher ebenfalls mit "Ja" beantwortet werden. Es ist prinzipiell möglich, auch den Gebrauch von Blei in Schwingungsdämpfern zu verbieten.

Nationalrechtlich kommt hier eine Berufung auf § 23 Nr. 1 und 2 KrW-/AbfG in Betracht. Aus fachlicher Sicht muss beurteilt werden, ob es insofern primär darum geht, die ordnungsgemäße Verwertung bzw. Beseitigung sicherzustellen (vgl. § 23 Nr. 1 KrW-/AbfG) oder darum, dass bei der Entsorgung anderenfalls mit der Freisetzung gefährlicher Stoffe gerechnet werden müsste (vgl. § 23 Nr. 2 KrW-/AbfG). Soweit die Vermeidung von nicht im Zusammenhang mit der Entsorgung stehenden Umweltbeeinträchtigungen angestrebt wird, kann auf die Verordnungsermächtigung aus § 17 ChemG zurückgegriffen werden.

Unter verfassungsrechtlichen Gesichtspunkten ist im Übrigen dafür Sorge zu tragen, dass die Anforderungen des Verhältnismäßigkeitsgebots eingehalten werden.<sup>271</sup> Im vorliegenden Fall dürften daran wenig Zweifel bestehen, dass die Maßnahme dem standhalten würde, da geeignete Ersatzstoffe und andere konstruktive Maßnahmen zur Verfügung stehen.

#### **Verfassungsrechtliche Probleme des Konzepts der Altfahrzeug-RL**

*Verfassungsrechtlich* könnte in Frage gestellt werden, ob es mit dem sog. Rückwirkungsverbot für Grundrechtseingriffe im Einklang stehen kann, dass die aufgestellte Pflicht der Hersteller zur kostenlosen Rücknahme von Fahrzeugen auch für solche Kfz gilt, die vor Inkrafttreten der Richtlinie (bzw. der nationalen Umsetzungsvorschriften hierzu) in den Verkehr gebracht wurden. Sofern man überhaupt eine Rückwirkung annimmt, handelt es sich jedenfalls nur um eine

---

<sup>271</sup> Siehe dazu auch die Ausführungen unter 7.4.3

solche relativer Natur, weil tatbestandlich an den Zeitpunkt angeknüpft wird, indem das Fahrzeug zu Abfall wird ("unechte Rückwirkung"). Solcherart Grundrechtseingriffe sind zulässig, wenn ein vernünftiger Rechtfertigungsgrund vorliegt und die Maßnahme im Übrigen verhältnismäßig ist.<sup>272</sup> Im Zuge der Verhältnismäßigkeitsprüfung ist zu berücksichtigen, dass die Adressaten der Regelung nicht auf den Bestand der alten Rechtslage vertrauen durften. Denn sie mussten bereits seit Geltung des Abfallgesetzes 1986 mit der Einführung einer Rücknahmeverpflichtung rechnen, weil jenes Gesetz eine entsprechende Verordnungsermächtigung enthielt.<sup>273</sup>

### **Welthandelsrechtliche Probleme des Konzepts der Altfahrzeug-RL**

Mit den Vorgaben des *Welthandelsrechts* könnten theoretisch diejenigen Vorschriften im Konflikt stehen, die sich auf die Beschaffenheit der Neufahrzeuge beziehen, konkret also die Verbotbestimmungen zum Einsatz bestimmter Stoffe und die allgemeinen Verpflichtungen zur verstärkten Verwendung von Sekundärmaterial.

Während ein Verstoß gegen Art. III Abs. 4 GATT durch die Verbotbestimmungen für gefährliche Stoffe schon deshalb nicht festgestellt werden kann, weil keine Ungleichbehandlung zwischen gleichartigen Produkten vorliegt,<sup>274</sup> kann dies für die Vorgaben zum verstärkten Einsatz von Sekundärmaterial nicht von vornherein angenommen werden. Die Vereinbarkeit mit Art. III Abs. 4 GATT hängt insoweit wesentlich davon ab, ob man funktionsgleiche Produkte mit hohen bzw. niedrigen Anteilen an Primär- und Sekundärmaterial bzw. mit anderweitigen Substituten als "gleichartig" zu erachten hat. Nimmt man das an, so stellen die Regelungen an sich nicht statthafte Freihandelsbeschränkungen dar, die vor dem GATT nur Bestand haben können, wenn sie nach Maßgabe des Art. XX GATT als hinreichend gerechtfertigt angesehen werden können.

Nach der Rechtsprechung des obersten Streitschlichtungsorgans der WTO, des Appellate Body, kann nicht sicher beantwortet werden, ob in einer derartigen Konkurrenz von "gleichartigen Produkten" gesprochen werden muss. Dafür spricht die übereinstimmende Funktion, ihre Substituierbarkeit. Dagegen lässt sich anführen, dass es sich bei dem Sekundärstoffgehalt (oder der Verwendung eines stofflichen Substituts) um ein zumindest von Teilen der Verbraucher als wesentlich angesehenes Unterscheidungsmerkmal handelt. Der Appellate Body erkennt in seiner Rechtsprechung die unterschiedlichen Verbraucherpräferenzen als tragendes Merkmal für die Unterscheidung von Produkten an. Infolgedessen liegt es nahe, hier wie im inzwischen anerkannten Falle der zulässigen Unterschiedsbehandlung von schadstoffhaltigen und schadstofffreien Produkten<sup>275</sup> davon auszugehen, dass es sich nicht um gleichartige Produkte im Sinne des Art. III GATT handelt. Für eine Nutzbarkeit umweltschutzbezogener Produktmerkmale zur Feststellung der Gleichartigkeit im Sinne von Art. III GATT spricht schließlich auch, dass die WTO sich in ihrer Präambel seit 1994 dem Prinzip der nachhaltigen Entwicklung zugewandt hat. Anderenfalls bliebe die für den Nachhaltigkeitsgedanken tragende integrative Betrachtung von wirtschaftlichen, ökologischen und sozialkulturellen Zielen an dieser entscheidenden Schnittstelle zwischen Ökologie und Ökonomie aus.

Hält man dennoch an der Auffassung fest, es handele sich auf Grund ihrer übereinstimmenden Funktion um gleichartige Produkte, so eröffnet Art. XX GATT zwar im Prinzip die Möglichkeit

<sup>272</sup> Zur Rückwirkungsproblematik grundlegend BVerfGE 57, S. 361, 391; E 72, S. 175, 196.

<sup>273</sup> Überzeugend Versteyl, in Kunig/ Paetow/ Versteyl, KrW-/AbfG § 22 Rn. 40 m.w.N.; ähnlich Hoffmann, in Brandt/ Ruchay/ Weidemann, KrW-/AbfG, § 24 Rn. 9.

<sup>274</sup> Vgl. Appellate Body, EC/Asbestos, WT/DS135/AB/R, 12 March 2001, Tz. 104 ff.

<sup>275</sup> Grundlegend dazu Appellate Body, EC/Asbestos, Tz. 99 ff.

einer ausnahmsweisen Rechtfertigung für die Durchbrechung des Freihandelsgebots aus Gründen des Umwelt- und Ressourcenschutzes. Es ist aber nicht geklärt, ob und inwieweit sich der betreffende Staat auf Erwägungen berufen kann, die sich nicht auf Schutzaspekte im Hinblick auf sein eigenes Territorium beziehen. Die Rechtsprechung des Appellate Body lässt insoweit noch keine klaren Konturen erkennen. Der Appellate Body verlangte in seiner Grundsatzentscheidung zum "Shrimps-Turtles-Fall" einen "Nexus" zu nationalen Schutzziele.<sup>276</sup> In der Rechtsliteratur ist die Auffassung verbreitet, dass es danach zumindest möglich sein dürfte, Maßnahmen zum Schutz globaler Umweltgüter zu ergreifen, die auch für das Gemeinwohl des betreffenden Staates wesentlich sind (z. B. Klima, biologische Diversität).<sup>277</sup> Dieser Gruppe von Umweltschutzaspekten lassen sich zumindest in einem weiten Sinne auch die erschöpflichen Rohstoffressourcen zuordnen.

Nimmt man auf dieser Basis an, dass die Intentionen der Bestandsbewirtschaftung in diesem Kontext im Prinzip anerkennungsfähig sind, so kommt als schwierige zusätzliche Hürde hinzu, dass der Appellate Body von den jeweiligen Staaten verlangt, vor dem Ergreifen einseitiger nationaler Maßnahmen eine bilaterale Einigung mit den wirtschaftlich benachteiligten Staaten zu treffen.<sup>278</sup>

Zu bedenken ist jedoch weiter, dass die Festlegungen von Produktbeschaffenheiten in der Richtlinie als "technische Vorschriften" dem TBT<sup>279</sup> unterfallen. Verfahrensrechtlich führt dies dazu, dass sie gegenüber der WTO notifizierungspflichtig sind (vgl. Art. 2 Abs. 9 TBT). Materiellrechtlich ist bislang für das TBT nicht geklärt, inwieweit es im Hinblick auf die dortigen Anforderungen (noch) darauf ankommt, ob gegen das GATT-Verbot der Ungleichbehandlung gleichartiger Produkte verstoßen worden ist.<sup>280</sup> Auslegungsbedürftig sind insoweit insbesondere Art. 2 Abs. 1 und 2 TBT:

- Art. 2 Abs. 1 TBT verbietet wie Art. III Abs. 4 GATT die Unterschiedsbehandlung gleichartiger Produkte, ohne jedoch in seinem Wortlaut erkennen zu lassen, dass Ausnahmen aus Umweltschutzgründen möglich sein sollen. Es liegt zwar nahe, insoweit Art. XX GATT als anwendbar anzusehen. Sicher ist das jedoch nicht.
- Art. 2 Abs. 2 TBT verbietet es, technische Vorschriften zu erlassen oder anzuwenden, die "unnötige Hemmnisse" für den internationalen Handel schaffen (vgl. Satz 1). Zu diesem Zweck dürfen technische Vorschriften den Handel nicht weiter beschränken, als es notwendig ist, um ein "berechtigtes Ziel" zu erreichen (vgl. Satz 2). Zu den berechtigten Zielen zählt unter anderem auch der "Schutz der Umwelt" (vgl. Satz 3). Unklar ist, ob die Staaten auch insoweit an die durch die Streitbeilegungsorgane der WTO für Art. XX GATT entwickelten Begrenzungen im Hinblick auf solche Zielsetzungen gebunden sind, die sich auf Umweltbeeinträchtigungen außerhalb des oder ohne Wirkung auf das eigene Hoheitsgebiet beziehen.

Die Auslegungs- und Entscheidungsmacht über diese (und andere) Fragen zum TBT liegt allein bei den zuständigen Organen der WTO. An dieser Stelle kann nur festgestellt werden, dass das

---

<sup>276</sup> Grundlegend Appellate Body, U.S./Import Prohibition of Certain Shrimps („Shrimps/Turtles“), WT/DS58/AB/R, 12 October 1998, VI C 1.8.

<sup>277</sup> Entsprechend Ginzky, ZUR 2000, S. 216, 220 f.; Winter, in: GfU 2001, S. 71, 89; Hilf, NVwZ 2000, S. 481, 485; SRU 2000, Tz. 90 f.

<sup>278</sup> Vgl. Appellate Body, U.S./Shrimps-Turtles, VI C 2.24 ff. (2.29).

<sup>279</sup> Übereinkommen über technische Handelshemmnisse („Technical Barriers on Trade“) vom 15. April 1994, ABl. EG Nr. L 336, S. 86.

<sup>280</sup> Bejahend Winter, in: GfU 2001, S. 71, 80 f.; hierfür spricht auch, dass der Appellate Body im Asbestos-Fall eine vollständige Prüfung des Art. XX GATT durchführte, obwohl er das TBT für anwendbar erklärte (vgl. Appellate Body, EG/Asbestos, WT/DS135/AB/R, 12 March 2001, Tz. 82 f.).

TBT Regelungen enthält, die für die von der EG verfolgte und in Teilen bereits realisierte "integrierte Produktpolitik" zu Fallstricken werden können, wenn der Dispute Settlement Body der WTO eine harte Auslegungslinie zum TBT entwickeln sollte.

Die in diesem Kapitel erläuterten Unsicherheiten im Hinblick auf die Vereinbarkeit mit dem WTO-Recht sollten nicht dahin missverstanden werden, dass deshalb davon abgeraten würde, den Weg des Ausbaus der Produktverantwortung im Rahmen des Ziels einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung knapper Ressourcen zu gehen. Es gibt – wie aufgezeigt – gute Argumente, um eine Vereinbarkeit mit dem WTO-Recht zu bejahen. Das Problem liegt hier weniger in der Rechtslage selbst, die erhebliche Spielräume für eine "umweltfreundliche" Auslegung des WTO-Rechts lässt, als in der Unsicherheit, auf welche Weise die entscheidungsbefugten Organe der WTO mit den Vorschriften umgehen werden, wenn es tatsächlich zu Konflikten um solche Regelungen wie die Altfahrzeug-RL kommen sollte.

#### **7.4.2 Aufbau eines ambitionierten Regelwerks für EE-Geräte**

Das kurz vor der Realisierung stehende Konzept der EG für den Umgang mit Elektro- und Elektronikgeräten erstreckt sich auf zwei unterschiedliche Instrumente. Zum einen geht es um die Konstitution von Systemen, die eine kostenlose Rücknahme von Altgeräten gewährleisten und durch die Herstellerseite finanziert werden. Dies soll auf Grundlage der geplanten Richtlinie über Elektro- und Elektronikaltgeräte (sog. WEEE-Richtlinie) geschehen.<sup>281</sup> Die vorgeschlagene Richtlinie soll in gewissem Umfang auch Verwertungsanforderungen formulieren. In einer davon getrennten weiteren Richtlinie sollen Beschränkungen für den Einsatz von gefährlichen Stoffen in solchen Geräten ausgesprochen werden (sog. RoHS-Richtlinie).<sup>282</sup>

Das Normsetzungsverfahren für die WEEE-RL ist auf Grundlage des Art. 175 EGV eingeleitet worden. Es wird somit auf die Gesetzgebungskompetenzen der EG zum Zwecke des Umweltschutzes gestützt. Demgegenüber soll die Verabschiedung der RoHS-RL auf Grundlage der Kompetenzen der EG für die Schaffung von Regelungen der Binnenmarktharmonisierung (Art. 95 EGV) erfolgen. Das hat zur Folge, dass die Mitgliedstaaten gemäß Art. 176 EGV nationale Verschärfungen innerhalb des Anwendungsbereiches der WEEE-RL vornehmen können, nicht aber im Hinblick auf den abschließend durch die RoHS-RL geregelten Komplex des Einsatzes gefährlicher Stoffe in EE-Geräten. Denn die Verstärkungsklausel des Art. 176 EGV ist für auf Art. 95 EGV gestützte Regelsetzungen der EG nicht anwendbar.

Für die hier vorgeschlagenen erweiterten Maßnahmen hat dies jedoch keine Bedeutung, da diese das Rücknahmesystem, die Verwertung und die Beseitigung betreffen (Festlegung bestimmter Erfassungsquoten, ergänzende Pfandpflicht für Kleingeräte, bestimmte Demontage- und Trennungspflichten, Getrennthaltungs- und Dokumentationsvorschriften), nicht aber die Frage des Stoffeinsatzes. Auf der Ebene des Sekundärrechts der EG sind gegen derartige Maßnahmen folglich keine Einwände zu erheben. Primärrechtlich, d. h. im Hinblick auf die übergeordneten Vorgaben des EGV, ist im Einzelfall wiederum die Übereinstimmung mit Art. 28 EGV zu prü-

---

<sup>281</sup> Ursprünglicher Vorschlag der EU-Kommission zur WEEE-RL: Drs. KOM(2000)347 endg.; geänderte Fassung Drs. KOM(2001) 315 endg.; Gemeinsamer Standpunkt des Rates und des EU-Parlaments noch unveröffentlicht; siehe dazu Pressemitteilung SEK /2001/2023 endg. v. 7. Juni 2001.

<sup>282</sup> Ursprünglicher Vorschlag der EU-Kommission zur RoHS-RL: Teil 2 der Drs. KOM(2000)347 endg.; geänderte Fassung Drs. KOM("001) 316 endg.; Gemeinsamer Standpunkt des Rates und des EU-Parlaments noch unveröffentlicht; siehe dazu Pressemitteilung SEK /2001/2023 endg. v. 7. Juni 2001.

fen.<sup>283</sup> Sofern die betreffenden Maßnahmen fachlich fundiert begründet werden können, dürften sie dieser Prüfung standhalten können.

Im bundesdeutschen Recht können die erweiterten Anforderungen überwiegend wiederum auf die Kataloge der §§ 6, 7, 23 und 24 KrW-/AbfG gestützt werden. Eine Ausnahme gilt für die angesprochene Verpflichtung zur Führung eines Deponiekatasters. Hierfür fehlt es im geltenden Recht an einer ausdrücklichen Rechtsgrundlage. Es bietet sich an, eine solche in den Zulassungsvorschriften des KrW-/AbfG für Deponien zu verankern.

Im Hinblick auf die Anwendbarkeit der Rücknahmeverpflichtungen aus der WEEE-Richtlinie auf vor dem Inkrafttreten der Richtlinie in den Verkehr gebrachte Altgeräte gelten die oben zum Bereich Altfahrzeuge ausgeführten Bemerkungen zum Rückwirkungsverbot entsprechend.<sup>284</sup>

Hinsichtlich der Vereinbarkeit mit den Übereinkommen des Welthandelsrechts kann an dieser Stelle ebenfalls auf die Erörterungen zum Komplex der Altfahrzeugregelungen verwiesen werden.<sup>285</sup>

### 7.4.3 Verringerung des Einsatzes knapper nicht erneuerbarer Ressourcen im Bauwesen

Zum Zwecke der Minimierung des Einsatzes von knappen und toxischen Stoffen werden in Kap. 6.12 zwei Alternativen in Aussicht genommen, zum einen die Input-Lizenzpflicht für Baustoffe, zum anderen die Strategie umfassender Verwendungsbeschränkungen.

#### Input-Lizenzpflicht im Bauwesen

Hinsichtlich der *Vereinbarkeit mit dem europäischen Gemeinschaftsrecht* muss beachtet werden, dass die Lizenzregulierung einen relativ intensiven Eingriff in die Marktbeziehungen darstellt. Bedeutsam ist das – da sich das Lizenzsystem auf Bauprodukte erstreckt – insbesondere die speziellen Regelungen des EG-Rechts über Bauprodukte. Auf die für sämtliche produktbezogenen Lizenzsysteme im Übrigen relevanten allgemeinen Schutzbestimmungen für den Binnenmarkt im EGV wird weiter unten eingegangen.<sup>286</sup>

Die *Bauproduktenrichtlinie*<sup>287</sup> (BauProd-RL) regelt das Inverkehrbringen und die Verwendung von Bauprodukten. Sie ist in deutsches Recht durch das Bauproduktengesetz<sup>288</sup> (BauPG) und die Bauordnungen der Länder umgesetzt worden.<sup>289</sup> Grundsätzlich darf ein Bauprodukt nach der Richtlinie nur in Verkehr gebracht werden, wenn es den "wesentlichen Anforderungen" der Richtlinie entspricht (Art. 2). Das wird widerlegbar vermutet, wenn es von den einschlägigen harmonisierten oder anerkannten Normen nicht wesentlich abweicht. Umgekehrt darf die Verwendung von dem entsprechenden Produkten durch die Mitgliedstaaten nicht behindert werden (Art. 6 Abs. 1). Dabei sind harmonisierte Normen solche, die nach dem im Rahmen der "neuen Konzeption" festgelegten Verfahren auf EG-Ebene zustande gekommen sind (Art. 7 Abs. 1).

---

<sup>283</sup> Siehe dazu die Ausführungen unter 7.4.1.1.

<sup>284</sup> Siehe oben, 7.4.1.

<sup>285</sup> Siehe oben, 7.4.1.

<sup>286</sup> Siehe unten, 7.7.2.

<sup>287</sup> Richtlinie 89/106/EWG des Rates v. 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte, ABl. EG 1988 L 40, S. 12 ff., zuletzt geändert durch Richtlinie 93/68/EWG ABl. EG 1993 L 220, S. 1.

<sup>288</sup> Gesetz v. 10. August 1992, BGBl. I S. 1495, zuletzt geändert durch Gesetz v. 25. März 1998, BGBl. I S. 607.

<sup>289</sup> Vgl. z. B. §§ 18 ff. der Bauordnung für Berlin v. 3. September 1997, GVBl. S. 422.

Anerkannte Normen sind solche, die von der Kommission als übereinstimmend mit den Anforderungen der Richtlinie anerkannt worden sind (vgl. Art. 4 Abs. 3, Art. 5 Abs. 2).<sup>290</sup>

Soweit eine harmonisierte oder anerkannte Norm hiernach *nicht* besteht, sind die Staaten nicht gehindert, eigene Vorschriften zu erlassen, welche mit einer nur potenziellen Bauproduktnorm kollidieren könnten. In derartigen Fällen besteht lediglich die Pflicht zur Notifizierung bei der EU-Kommission. Da es bislang noch immer weitgehend an harmonisierten bzw. anerkannten Normen für Bauprodukte fehlt, sind derzeit grundsätzliche Hinderungsgründe für einzelstaatliche Aktivitäten zur Vorgabe von Produktmerkmalen aus abfallwirtschaftlichen Gründen nicht ersichtlich. Erforderlich ist es jedoch, entsprechende Vorstellungen in die Normungsprozesse auf europäischer Ebene einzubringen.<sup>291</sup>

Gleichwohl dürfte das Konzept eines Lizenzsystems mit den Konditionen der BauProd-RL nur bedingt kompatibel sein. Gegenwärtig ist Deutschland durch die Richtlinie zwar nicht daran gehindert, die Verwendung bestimmter Bauprodukte einschränkend zu regulieren, da es ganz überwiegend an auf Grundlage der Richtlinie harmonisierten Normen fehlt (vgl. Art. 6 Abs. 1 BauProd-RL). Mit zunehmender Harmonisierungsdichte ändert sich das jedoch, soweit für die betreffenden Produkte harmonisierte Normen vorhanden sind, wird das Lizenzsystem – automatisch – nachträglich unanwendbar.

Die Bundesrepublik hat die Möglichkeit, ihre eigenen Vorstellungen von der Produktbeschaffenheit in den Normierungsprozess einzubringen und die Normfindung dadurch gewissermaßen mit zu steuern. Dabei ist sie allerdings an die von der Richtlinie vorgegebenen Kriterien des Anhangs I für die “wesentlichen Anforderungen” an das Bauwerk gebunden. Zu den “wesentlichen Anforderungen” zählt die Richtlinie zwar auch gewisse umweltbezogene Anforderungen, nicht aber solche der Materialeinsparung oder des Ressourcenschutzes. Daher bestehen schon Zweifel daran, ob es überhaupt möglich ist, spezielle Anforderungen in Richtung eines ressourcenschonenden Materialeinsatzes in den Normierungsprozess einzubringen, ohne hierfür die BauProd-RL zu ändern.

Jedenfalls fehlt es an der Möglichkeit, das Lizenzsystem selbst zum Gegenstand der Normierung zu machen. Das Lizenzsystem ist ein reines Marktregulierungsinstrument. Es beschreibt weder Produktqualitäten, noch stellt es technische Anforderungen auf. Das System kann also in den Normierungsprozess nicht als “Vorschlag für die Normsetzung” eingebracht werden. Deshalb müsste befürchtet werden, dass das Lizenzsystem vom EuGH nicht als geeignete Grundlage für die Normenfestlegung akzeptiert und infolgedessen als Verstoß gegen das Verbot der Behinderung von im Binnenmarkt frei handelbaren Baustoffen gewertet würde.

Damit erweist sich das System einer (nur) national gültigen Lizenzpflicht für bestimmte Baustoffe längerfristig als nicht ausreichend abgesichert. Das gilt unabhängig davon, ob das Konzept auf sämtliche Verwendungszwecke der betreffenden Stoffe oder nur auf den Bereich der Baumaterialien erstreckt wird.

Erwägenswert ist die Konstruktion eines entsprechenden Systems jedoch auf gesamt-europäischer Ebene.

Auch für das Lizenzsystem muss konstatiert werden, dass erhebliche Unsicherheiten im Hinblick auf die Vereinbarkeit mit den Bestimmungen der WTO bestehen, die an dieser Stelle nicht

---

<sup>290</sup> Vgl. Brandt/Röckseisen, Teil 4, II 4. d) aa).

<sup>291</sup> Eingehend Brandt/Röckseisen, ebenda sowie Teil 4, IV. 4. j) aa).



vollständig ausgeräumt werden können. Das sollte die EG allerdings nicht an der Verfolgung eines derartigen Konzepts hindern, zumal sich die EG für ihre Position auf gute Argumente stützen könnte.<sup>292</sup> Es bietet sich an, entsprechende Vorstellungen alsbald auf europäischer Ebene einzubringen, da die EU-Kommission mit ihrem “Grünbuch zur integrierten Produktpolitik” soeben den Startschuss für eine ökologische (Um-) Orientierung der europäischen Normung gesetzt hat, ohne in diesem Zusammenhang allerdings Überlegungen in Richtung eines Lizenzsystems anzustellen.<sup>293</sup>

### **Strategie umfassender Verwendungsbeschränkungen**

Bei der zweiten erwogenen Strategie der *Einzelverbote und -beschränkungen* im Bauwesen geht es im Kern um Verwendungsbeschränkungen. Es sollen nicht die Stoffe als solche verboten werden, sondern lediglich ihre Anwendung für bestimmte Zwecke.

#### **(a) Implikationen des europäischen Gemeinschaftsrechts**

Verbote und Verwendungsbeschränkungen für Bauprodukte, also auch für den Einsatz bestimmter Stoffe, sind nach dem *europäischen Gemeinschaftsrecht* nur zulässig, soweit es die BauProd-RL gestattet. Die Richtlinie ist auf Grundlage der Kompetenzen zur Binnenmarktharmonisierung ergangen. Nationale Verschärfungen sind folglich grundsätzlich<sup>294</sup> nicht zulässig, es sei denn die Richtlinie selbst lässt den Mitgliedstaaten hierfür die nötigen Spielräume.

Das ist in gewissem Umfang der Fall:

- Soweit auf Grundlage der Richtlinie eine harmonisierte Bauproduktnorm besteht, gestattet die Schutzklausel des Art. 21 BauProd-RL den Mitgliedstaaten die Festlegung von Verboten und Beschränkungen, wenn die im Anhang I der Richtlinie beschriebenen “wesentlichen Anforderungen” nicht erfüllt werden. Dazu gehört auch die Vermeidung von Gefährdungen der Gesundheit und der Umwelt (Anhang I Nr. 3). Keine Berücksichtigung finden im Anhang I der Richtlinie allerdings Knappheitserwägungen. Folglich können in diesem Kontext allenfalls Gefahrenaspekte berücksichtigt werden.
- Soweit eine harmonisierte Norm auf EG-Ebene (noch) fehlt – wie es im Baubereich ganz überwiegend der Fall ist – haben die Mitgliedstaaten die Freiheit, eigenständige auf Bauprodukte bezogene Festlegungen zu treffen. Das folgt daraus, dass das von Art. 6 Abs. 1 BauProd-RL ausgesprochene Behinderungsverbot nur für Produkte gilt, die “der Richtlinie entsprechen”.

In der Konsequenz bedeutet das, dass Deutschland gegenwärtig – vorbehaltlich hier nicht überblickbarer einzelner bereits harmonisierter Normen – durch die BauProd-RL nicht daran gehindert wird, im Bauwesen wirksame nationale Verbote und Beschränkungen für die Verwendung von bestimmten Stoffen/Produkten aus Gründen des Umweltschutzes auszusprechen. Das gilt auch für Beschränkungen auf Grund von Knappheitserwägungen – jedenfalls wenn man mit der hier vertretenen Auffassung zu dem Ergebnis gelangt, dass das Ziel des weltweiten Ressourcenschutzes eine ausreichende Rechtfertigung vor dem mit der Handelsbeschränkung verbundenen Eingriff in den Binnenmarkt im Sinne von Art. 28 EGV darstellen kann.<sup>295</sup>

Dem Konzept fehlt jedoch für den Teilbereich der Verwendungsbeschränkungen aus Gründen des Ressourcenschutzes die wünschenswerte längerfristige Absicherung, weil derartige Erwägungen in den Prozess der europäischen Normung nach den derzeitigen Vorschriften der Bau-

---

<sup>292</sup> Siehe oben, 7.4.3.

<sup>293</sup> EU-Kommission, Grünbuch zur integrierten Produktpolitik, Drs. KOM(2001) 68 endg. vom 7. Februar 2001, S. 24 ff.

<sup>294</sup> Unter besonderen (sehr engen) Voraussetzungen sind Ausnahmen möglich, vgl. Art. 95 Abs. 3 bis 6 EGV.

<sup>295</sup> Siehe unten, 7.7.2 (b).

Prod-RL nicht eingebracht werden können. Das könnte sich jedoch in absehbarer Zeit ändern, da die EU-Kommission in ihrem Grünbuch zur integrierten Produktpolitik angekündigt hat vorzuschlagen, das Institut der Normung für eine systematische Berücksichtigung von Umweltmerkmalen zu öffnen.<sup>296</sup>

Der Erlass einzelstaatlicher Beschränkungen und Verbote für den Einsatz von Stoffen kann auch mit den chemikalienrechtlichen (gefahrstoffrechtlichen) Vorschriften der EG in Konflikt geraten. Das Chemikalienrecht der EG ist insgesamt relativ umfassend geregelt. Die Konzeptionen der nationalen Chemikaliengesetze sind dadurch weitgehend vorgeprägt. Der EuGH hat jedoch zu der hier interessierenden Frage nach den Möglichkeiten für nationale Verbots-Alleingänge in seiner Entscheidung vom 11. Juli 2000 über das schwedische Verbot von "Tri" verbindlich festgestellt, dass die an sich für Verwendungsbeschränkungen einschlägige Richtlinie 76/769/EWG ("Beschränkungsrichtlinie")<sup>297</sup> keine abschließenden Regelungen enthält, sondern den Mitgliedstaaten die Freiheit belässt, weitere Verwendungsbeschränkungen festzulegen.<sup>298</sup> Voraussetzung ist, dass sich die Beschränkungen im Hinblick auf den damit verbundenen Eingriff in den Binnenmarkt vor Art. 28 EGV hinreichend rechtfertigen lassen; für das schwedische Vermarktungsverbot für "Tri" wurde das bejaht.<sup>299</sup>

Für den denkbaren Fall einer Anwendung der Strategie auch in anderen Nutzungsbereichen der betreffenden Stoffe sei hinzugefügt, dass insoweit eine jeweils spezielle Prüfung der Harmonisierungsregelungen des Gemeinschaftsrechts erfolgen müsste. Für den Bereich Kfz<sup>300</sup> und EE-Geräte<sup>301</sup> sind diese bereits angesprochen worden. Auch in anderen Bereichen können sich gewisse Restriktionen zeigen (z. B. im Pflanzenschutzmittelzulassungsrecht, das weitgehend europarechtlich determiniert ist).<sup>302</sup>

### (b) Implikationen des Welthandelsrechts

Welthandelsrechtlich ergibt sich folgendes Bild:

- Verbote und Beschränkungen des Stoffeinsatzes zum Zwecke der Belastungsminderung im Inland sind nach Maßgabe des GATT grundsätzlich möglich. Die von einem Stoff ausgehende Umweltbelastung ist ein Merkmal, dass zur Bestimmung der "Gleichartigkeit" mit heranzuziehen ist.<sup>303</sup> Verbote und Beschränkungen der Verwendung von Stoffen gelten im Übrigen allgemein und wirken folglich nicht als Ungleichbehandlung. Von der oben diskutierten Unterschiedsbehandlung zwischen Primär- und Sekundärstoffen setzt sich die betrachtete Situation insoweit ab, als die hier inkriminierten Stoffe nicht durch physisch mehr oder weniger identische (Sekundär-) Stoffe ersetzt werden, sondern durch physisch hiervon verschiedene Ersatzstoffe.
- Für Maßnahmen zum Schutze von (außerhalb Deutschlands gelegenen) knappen Ressourcen gilt nach hiesiger Auffassung im Ergebnis das Gleiche, da auch hier davon auszugehen ist, dass sich die (nunmehr begünstigten) Ersatzstoffe von den in ihrer Verwendung eingeschränkten Stoffen auf die eine oder andere Art unterscheiden. Die Substituierbarkeit von Produkten reicht zur Feststellung der Gleichartigkeit nur aus, wenn die Waren aus der Sicht der Konsumenten uneingeschränkt als aus-

<sup>296</sup> Vgl. EU-Kommission, Grünbuch, KOM(2001) 68 endg., S. 24 f.

<sup>297</sup> ABl. EG 1976 Nr. L 262, S. 202, zuletzt geändert durch Richtlinie 1999/77/EG, ABl. EG 1999 Nr. L 207, S. 18.

<sup>298</sup> EuGH ("Kemikalieninspektionen"), NVwZ 2000, S. 1402, 1404 (Tz. 30).

<sup>299</sup> EuGH, NVwZ 2000, S. 1402, 1404 f. (Tz. 34 ff.).

<sup>300</sup> Siehe oben, 7.4.1.

<sup>301</sup> Siehe oben, 7.4.3.

<sup>302</sup> Siehe insbesondere die Pflanzenschutzmittelrichtlinie 91/414/EWG, ABl. EG 1991 Nr. L 230, 1, zuletzt geändert ABl. EG 1997 Nr. L 365, 87.

<sup>303</sup> Vgl. Appellate Body, EC/Asbestos, Tz. 122 f.

tauschbar betrachtet werden.<sup>304</sup> Das ist bei Ersatzstoffen aber regelmäßig gerade nicht der Fall, weil sie gewisse unterschiedliche Eigenschaften und Qualitäten aufweisen.

- Die Prüfung an den Maßstäben des TBT führt nur für die Knappheitsstrategie zu einem anderen Ergebnis. Die Beschränkung des Stoffeinsatzes in Produkten stellt eine technische Vorschrift im Sinne des TBT dar. Das TBT findet daher Anwendung. Unterstellt man, dass die Maßnahme eine Handelsbeschränkung auslöst und deshalb von Art. 2 Abs. 2 TBT erfasst wird – was keineswegs eindeutig ist<sup>305</sup> –, so wird man im Weiteren zwischen den “Knappheitsmaßnahmen” und den “Gefährlichkeitsmaßnahmen” differenzieren müssen. Im Falle von Vorschriften zum Zwecke der Minderung inländischer Umweltbelastungen wird sich der Staat auf die in Art. 2 Abs. 2 TBT ausdrücklich eingeräumten Ausnahmegründe berufen können. Ob das auch für allgemeine Überlegungen zur Politik der Schonung knapper Ressourcen gilt, hängt davon ab, ob und inwieweit die Rechtsprechung des Appellate Body im “Shrimps-Turtles-Fall” auch auf das TBT übertragen werden kann, nach der es nicht ausgeschlossen erscheint, auch extraterritorial bezogene Schutzmotive unter bestimmten Voraussetzungen als Rechtfertigungsgründe für Handelsbeschränkungen akzeptieren zu können.<sup>306</sup>

### (c) Implikationen des bundesdeutschen Rechts

Als Rechtsgrundlage für die Festlegung von Verboten und Beschränkungen kommt insbesondere der Gebrauch der Verordnungsermächtigung aus § 17 Abs. 1 ChemG in Betracht. Diese Vorschrift gestattet den Erlass von Verboten und Beschränkungen jedoch nur für “*gefährliche Stoffe*”. Ihre Anwendung kommt derzeit daher nur für Maßnahmen zur Beschränkung des Einsatzes toxischer (oder sonst gesundheits- bzw. umweltgefährdender) Stoffe in Frage. In diesem Kontext ist es schon bisher verbreitet, bereichsspezifische Verwendungsbeschränkungen auszusprechen (vgl. die verschiedenen Einzelregelungen in dem Chemikalienverbotsverordnung – ChemVerbotsV).

Für Verbote und Beschränkungen aus Gründen des *Ressourcenschutzes* steht im deutschen Recht gegenwärtig noch keine adäquate Rechtsgrundlage zur Verfügung. § 17 Abs. 1 ChemG greift nicht. Auch die Verordnungsermächtigungen des KrW-/AbfG zur Produktverantwortung passen nicht, weil sie von ihren Voraussetzungen her allein auf die Vermeidung bzw. Verminderung von Umweltbelastungen im Zusammenhang mit der Entsorgung abstellen. Deshalb bedarf es der Schaffung einer spezifischen Rechtsgrundlage für derartige Fallgestaltungen. Erreichbar ist eine solche Lösung über eine entsprechende Ausweitung entweder des chemikalienrechtlichen oder des abfallrechtlichen Regulariums.

Weniger günstig – wenn auch rechtlich möglich – erscheint die Variante der Regelung über eine Änderung des Bauproduktengesetzes. Dieser Weg würde nach außen hin den Eindruck erwecken, als gehe es um gezielte Eingriffe in die Warenverkehrsfreiheit von Bauprodukten im Binnenmarkt. Innerhalb des ChemG bzw. des KrW-/AbfG würde demgegenüber der Umweltschutzcharakter besser zum Ausdruck kommen.

Mit Verboten und Beschränkungen der Verwendung von Stoffen wird in die grundrechtlich gesicherten Rechtspositionen der Berufsfreiheit (Art. 12 Abs. 1 GG) bzw. der allgemeinen Handlungsfreiheit (Art. 2 Abs. 1 GG) eingegriffen. Außerdem kann der Gleichheitsgrundsatz (Art. 3 Abs. 1 GG) betroffen sein.

---

<sup>304</sup> Im Fall Asbestos wurde das verneint, weil die Konsumenten hohen Wert auf die Unterscheidung von Produkten unterschiedlichen Gefährstoffgehalts legen; vgl. Appellate Body, EC/Asbestos, Tz. 122 f.

<sup>305</sup> Siehe bereits oben, 7.4.1. sowie unten, 7.7.2.

<sup>306</sup> Siehe bereits oben, 7.4.1.

Die Qualität eines Eingriffs in die *Berufsfreiheit* kommt den Beschränkungen insoweit zu, als diese steuernd auf die Art und Weise der unternehmerischen Betätigung einwirken, und zwar einerseits der Hersteller und andererseits der Verwender innerhalb wirtschaftlicher Bereiche. Das Eigentumsgrundrecht (Art. 14 Abs. 1 GG) dürfte demgegenüber regelmäßig zurücktreten, denn die Benachteiligungswirkung greift nicht primär in das Innehaben und die Verwendung vorhandener Vermögensgüter ein, sondern in die unternehmerische Leistungs- und Erwerbsfähigkeit. Die Berufsfreiheit ist daher hier als das speziellere Grundrecht zu betrachten.<sup>307</sup> Im Sektor privater Verwendungen ist (ohnehin nur) das Auffanggrundrecht der *allgemeinen Handlungsfreiheit* betroffen.

Im Hinblick auf die einzelnen Grundrechte sind jeweils die Anforderungen des *Verhältnismäßigkeitsprinzips* zu beachten. Das erfordert für jede Einzelfestlegung eine genaue Prüfung der Eingriffsfolgen auf der einen und der Wirksamkeit der Maßnahmen im Hinblick auf die verfolgten Ziele andererseits. Welche Konsequenzen daraus für einzelne Beschränkungsregelungen zu ziehen sind, kann im Zusammenhang der hier nur möglichen Grobprüfung allenfalls abgeschätzt, nicht aber im Einzelnen zuverlässig beschrieben werden. Die Grobprüfung soll hier vereinfacht am Maßstab des Art. 12 Abs. 1 GG vorgenommen werden, weil die erwogenen Maßnahmen insoweit die schwerwiegendste Eingriffsqualität zukommt.

Das Verhältnismäßigkeitsprinzip fordert auf der ersten Prüfungsstufe das Vorliegen einer hinreichenden sachlichen Legitimation für den Eingriff in den grundrechtlichen Schutzbereich. Im Weiteren ist dann zu prüfen, ob die jeweilige Maßnahme zur Erreichung des Zieles “geeignet”, “erforderlich” und “angemessen” ist:

- Hinsichtlich des Erfordernisses einer genügenden sachlichen *Legitimation* kommt es maßgebend auf die Schwere des Grundrechtseingriffes an.<sup>308</sup> Im vorliegenden Fall geht es weder darum, bestimmte Arten wirtschaftlicher Tätigkeit zu unterbinden noch wesentlich zu erschweren. Der Eingriff beeinflusst vielmehr lediglich die Art und Weise der Berufsausübung (eine Berufsausübungsmodalität). In derartigen Fällen müssen vernünftige Gründe des Allgemeinwohls den Eingriff rechtfertigen. Das kann für die hier verfolgten Zwecke vor dem Hintergrund des Art. 20a GG ohne weiteres angenommen werden. Für Erwägungen der Ressourcenschonung gilt das nicht weniger als für den Zweck der Verminderung von Gesundheits- und Umweltbelastungen.
- *Geeignet* ist ein Mittel, wenn mit seiner Hilfe der gewünschte Erfolg gefördert werden kann.<sup>309</sup> Dem Normgeber wird insoweit aber ein weiter Einschätzungsspielraum zugebilligt, zumal dieser eine Entscheidung prognostischen Charakters zu fällen hat. Seine Prognose wird nur dann zurückgewiesen werden können, wenn die Maßnahme bei Ausschöpfung aller Erkenntnismöglichkeiten im Zeitpunkt des Erlasses als zweckuntauglich einzustufen ist.<sup>310</sup>
- *Erforderlich* ist der Eingriff, wenn ein anderes, gleich wirksames, aber das Grundrecht weniger einschränkendes Mittel fehlt.<sup>311</sup> Auch in dieser Hinsicht wird dem Gesetz- und Verordnungsgeber ein erheblicher Gestaltungsspielraum zugestanden. Nur, wenn sich zweifelsfrei feststellen lässt, dass eine weniger einschneidende, gleichwohl in ihrer Wirkung ebenso geeignete Maßnahme hätte ergriffen werden können, kann der Eingriff als nicht erforderlich angesehen werden.<sup>312</sup> An dieser Stelle wird für Verbote und Beschränkungen zu berücksichtigen sein, dass nur mit Hilfe dieser Art von Maßnahmen treffsichere Vermeidungseffekte erzielt werden können. Gleich wirksame, aber weni-

<sup>307</sup> Zu diesem Abgrenzungsmaßstab BVerfGE 85, S. 360, 383 m.w.N. für die st. Rspr.

<sup>308</sup> Grundlegend BVerfGE 77, S.84, 106 f.

<sup>309</sup> Vgl. BVerfGE 30, S.292, 315 f.

<sup>310</sup> Vgl. BVerfGE 39, S.210, 230 f.

<sup>311</sup> Vgl. BVerfGE 80, S.1, 30.

<sup>312</sup> Vgl. BVerfGE 37, S.1, 20 f.; E 39, S.210, 231.

ger einschränkende Mittel dürften daher zur Vermeidung von Umweltbeeinträchtigungen häufig nicht zur Verfügung stehen. Wesentlich anders sieht die Situation jedoch bei rein ressourcenpolitisch motivierten Handlungen des Staates aus, in denen es nicht um die Behebung von Gefahrenlagen geht, sondern um eine grobe Mengenregulation. Hierfür dürften in der Regel andere mindestens ebenso geeignete Mittel zur Verfügung stehen (wie etwa produktbezogene Anforderungen, abgabenrechtliche Instrumente oder Lizenzsysteme).

- *Angemessen* (verhältnismäßig im engeren Sinne) ist die Maßnahme schließlich, wenn der Grundrechtseingriff nicht außer Verhältnis zu dem angestrebten Zweck steht ("Übermaßverbot"). Insofern sind Eingriffsintensität und Zweck der jeweiligen Maßnahme in ein konkretes Verhältnis zu setzen. Je tiefer der Eingriff, desto gewichtiger muss der Zweck sein.<sup>313</sup> Geht mit der Verbots- und Beschränkungsstrategie eine Wirkung einher, die die Existenz ganzer Berufsausübungsarten in Frage stellt, so werden sehr hohe Anforderungen zu stellen sein. Das dürfte hier jedoch nicht der Fall sein.
- Wichtige Fragen für den Prüfungsschritt der Angemessenheit sind generell, wie groß die wirtschaftliche Belastung ist und ob geeignete Ersatzstoffe zur Verfügung stehen bzw. entwickelt werden können, deren Verwendung den Betroffenen sogleich oder jedenfalls zu einem späteren Zeitpunkt zugemutet werden kann. Erforderlichenfalls kann der Verbotstermin einige Jahre vorab bestimmt werden, um den Wirtschaftsbeteiligten genügend Zeit zu lassen, um geeignete Ersatzstoffe zu entwickeln. So ist es beispielsweise erfolgreich und verfassungsrechtlich unbeanstandet bei der FCKW-Verbots-Verordnung und bei der Einführung der Katalysator-Pflicht für Pkw praktiziert worden.

Interessanterweise enthält § 17 Abs. 2 ChemG bereits heute eine ausdrückliche Bestimmung, nach der es möglich ist, Verbote und Beschränkungen für Gefahrstoffe "unter Berücksichtigung der Entwicklung von Stoffen, ... Erzeugnissen oder Verfahren, deren Herstellung, Verwendung, Entsorgung oder Anwendung mit einem geringeren Risiko für Mensch und Umwelt verbunden ist", festzusetzen. Es ist – im Einklang mit dem Verhältnismäßigkeitsgebot – demnach nicht unbedingt notwendig, dass Ersatzstoffe bereits entwickelt sind, sondern lediglich, dass ihre Entwicklung unter wirtschaftlich vertretbaren Bedingungen bevorsteht bzw. erwartet werden kann. Durch die Vorab-Festsetzung des Verbotstermins kann Derartiges auch initiiert werden.

§ 17 Abs. 2 ChemG stellt zugleich auch klar, dass der jeweils inkriminierte Stoff in seiner jeweiligen Anwendung nicht zwingend in einem ganz besonderen Maße gefährlich sein muss. Das Aussprechen von Verboten und Beschränkungen setzt lediglich voraus, dass einerseits überhaupt eine (nicht nur unerhebliche) Gefährlichkeit vorliegt und andererseits der Einsatz weniger gefährlicher Stoffe möglich und zumutbar ist.

Die Gesamtbetrachtung der Verhältnismäßigkeitskriterien zeigt, dass die Prüfung der Zulässigkeit einer einzelnen Maßnahme nur zuverlässig zu Ende geführt werden kann, wenn eine Vielzahl relevanter Sachverhaltsfaktoren berücksichtigt wird. Im vorliegenden Kontext lassen sich deshalb nur Tendenzaussagen formulieren. Danach ist deutlich, dass eine relativ große Chance für die Zulässigkeit eines Verbotseingriffs dann besteht, wenn es um die Bekämpfung konkreter (Umwelt-) Gefahren oder um die Verwirklichung wichtiger Vorsorgeziele im Hinblick auf die Vermeidung von Umweltbeeinträchtigungen geht.

Unter verfassungsrechtlichen Gesichtspunkten bestehen zwar keine grundsätzlichen Bedenken dagegen, Verbotseingriffe auch (rein) ressourcenpolitisch zu begründen. Das Problem dürfte hier jedoch darin liegen, dass dieses Mittel in der Regel nur bedingt geeignet sein dürfte, den Einsatz knapper Ressourcen sinnvoll zu steuern. Anders dürfte es nur liegen, wenn es um spezifische Verbote von Verwendungen geht, die für die Ressourcenschonung einerseits von großer Bedeutung sind, sich aber mit anderen Instrumenten nicht sinnvoll steuern lassen – wie etwa im

---

<sup>313</sup> Vgl. BVerfGE 30, S.292, 316.

Fälle sehr problematischer dissipativer Verwendungen, in denen die Rückholbarkeit nicht gewährleistet ist, also eine Kreislaufführung nicht möglich ist. Liegt die Situation in einem derartigen Falle so, dass den Verwendern die Substitution unter Angemessenheitsgesichtspunkten zugemutet werden kann, so kommt eine Anwendung dieses Instruments auch zum Zwecke der Ressourcenschonung ernsthaft in Betracht.

#### **(d) Folgerungen**

Für das Modell einer umfassenden Strategie der Verwendungsbeschränkungen im Bauwesen muss grundlegend zwischen den Sektoren der Gefahrstoffpolitik und der Ressourcenpolitik differenziert werden.

- Im Gefahrstoffsektor sind die Spielräume für eine nationale Strategie der Verwendungsbeschränkungen groß. Das ChemG hält ein hierfür brauchbares Instrumentarium bereits vor. Welthandelsrechtliche Probleme sind nicht ersichtlich. Das europäische Gemeinschaftsrecht steht nationalen Alleingängen ebenfalls grundsätzlich nicht entgegen. Etwas anderes gilt erst, wenn auf Grund der BauProd-RL harmonisierte Normen zum Baustoffsektor vorliegen. Auf den Schutz vor gesundheits- und umweltbelastenden Wirkungen bezogene Anforderungen kann Deutschland jedoch in den Normungsprozess einbringen und dadurch gemeinschaftsrechtlich absichern.
- Soweit es um die Minderung des Verbrauchs knapper Ressourcen geht, fehlt es gegenwärtig an einer Rechtsgrundlage im nationalen Recht. Eine solche kann aber geschaffen werden (etwa als Ausweitung des Konzepts von § 17 ChemG, aber auch im Zusammenhang mit dem KrW-/AbfG), ohne dass insoweit unlösbare verfassungsrechtliche Konfliktlagen zu befürchten wären. Allerdings ist zu beachten, dass das Mittel nur dort als geeignet und damit verhältnismäßig anzusehen sein dürfte, wo anderweitige Steuerungsoptionen nicht wirksam greifen. Deshalb dürfte die Anwendung nur in Betracht kommen, wenn es um ressourcenpolitisch sehr problematische Verwendungsarten geht, bei denen eine Rückholung des Stoffes in den Wirtschaftskreislauf nicht adäquat sichergestellt werden kann. Welthandelsrechtliche Probleme sind unwahrscheinlich, da keine Ungleichbehandlung von gleichen Stoffen vorliegen dürfte. Die BauProd-RL der EG lässt allerdings bislang keinen Raum dafür, Knappheitsabwägungen zum Gegenstand künftiger gemeinschaftsweit einheitlicher Baunormen zu machen. Eine längerfristige Perspektive haben die betreffenden Vorstellungen daher nur, wenn es gelingt, den Prozess der europäischen Normung für die Formulierung von Anforderungen des Ressourcenschutzes zu öffnen – wie es die EU-Kommission in ihrem Grünbuch zur integrierten Produktpolitik bereits in Aussicht gestellt hat.

#### **7.4.4 Rückholbarkeitsanforderungen für Kabel im Hoch- und Tiefbau**

Inhalt des Instruments ist eine ordnungsrechtliche Festlegung, nach der Drähte und Kabel (u.a. aus Kupfer) im Hoch- und Tiefbau auf eine Weise verwendet (eingebaut) werden müssen, bei der die Rückholung auf technisch einfache Weise sichergestellt ist (z. B. Verlegung in Kabelkanälen).<sup>314</sup>

Das KrW-/AbfG hält in seiner derzeit gültigen Fassung keine Ermächtigungsgrundlage für eine Verordnung über Rückholbarkeitsanforderungen bereit. Die Anwendung des § 23 Nr. 1 KrW-/AbfG, in der die "Verwendungsbeschränkung" ausdrücklich geregelt ist, betrifft nur die Zulässigkeit des Inverkehrbringens von Erzeugnissen für bestimmte Verwendungen. Sie ist nicht darauf gerichtet, Anforderungen an die Art und Weise der Verwendung selbst zu regeln. Das folgt schon daraus, dass sich ihr Regelungszweck allein auf die Konkretisierung der Produktverantwortung bezieht.<sup>315</sup> Adressat kann nur der (potentiell) *Produktverantwortliche* im Sinne des § 22 Abs. 1 Satz 1 KrW-/AbfG sein (Hersteller, Be-/Verarbeiter, Vertreiber), während hier daran gedacht ist, den *Verwendern* der Stoffe Pflichten aufzuerlegen. Der bloße Verwender des

<sup>314</sup> Vgl. IZT et. al. (2000).

<sup>315</sup> Vgl. Versteyl in Kunig/Paetow/Versteyl, KrW-/AbfG, § 23 Rn. 7.

Endprodukts kann auch nicht als "Verarbeiter" im Sinne des § 22 Abs. 1 Satz 1 KrW-/AbfG angesehen werden, weil die Vorschrift nur diejenigen erfassen soll, die an dem Herstellungs- und Verteilungsprozeß bis zur Abgabe an den Endverbraucher beteiligt sind.<sup>316</sup>

Die Ermächtigungsalternativen des § 7 KrW-/AbfG geben Entsprechendes ebenfalls nicht her. Sie richten sich zwar an den (an sich) Entsorgungspflichtigen und damit auch an den Verwender von Produkten in seiner Rolle als Abfallerzeuger. § 7 KrW-/AbfG enthält jedoch keine Ermächtigung zum Erlass einer Vorschrift, mit der Rückholbarkeitsanforderungen schon auf der Stufe der Verwendung von Produkten gestellt werden können.<sup>317</sup>

Theoretisch denkbar wäre zwar eine Berufung auf § 7 Abs. 1 Nr. 2 (Anforderungen an die Getrennthaltung von Abfällen) oder Nr. 3 KrW-/AbfG (Anforderungen an das Bereitstellen). Beide Bestimmungen setzen aber nach ihrem eindeutigen Wortlaut bereits begrifflich das Vorhandensein von *Abfällen* voraus.<sup>318</sup> Solange eine Substanz noch nicht zu Abfall im Sinne des § 3 Abs. 1 KrW-/AbfG geworden ist, sind die Ermächtigungen unanwendbar. Zwar legt der Sinn der Vorschriften - die Erfüllung der Pflichten des § 5 KrW-/AbfG sicherzustellen (vgl. die Eingangsformulierung des § 7 Abs. 1 KrW-/AbfG) - eine weitergehende Anwendung durchaus nahe. Der Gesetzgeber hat für eine derartige Absicht aber hier - anders als bei Nr. 4 - keine verwertbaren Hinweise gegeben. Dieser hätte es aber bedurft, da die damit verbundenen weitergehende Einflussnahme auf die Produktverwendung einen deutlich tieferen Eingriff (zumindest) in die allgemeine Handlungsfreiheit des Verwenders darstellt.

Zur rechtsförmigen Festsetzung der Verwendungsanforderungen ist es deshalb erforderlich, eine entsprechende gesetzliche Bestimmung zu schaffen. Die Gesetzgebungskompetenz für das Instrument liegt beim Bund. Er kann sich insoweit auf Art. 74 Abs. 1 Nr. 24 GG für Regelungen auf dem Gebiet der Abfallwirtschaft berufen. Die Formulierung "Abfallbeseitigung" ist nach der Rechtsprechung des BVerfG umfassend im Sinne von "Abfallwirtschaft" zu verstehen.<sup>319</sup> Erfasst ist damit auch die Abfallvermeidung.<sup>320</sup> Da die diskutierte Regelung der Sache nach abfallwirtschaftlich motiviert ist – sie zielt darauf, die stoffliche Wiederverwertung zu ermöglichen – kommt Art. 74 Abs. 1 Nr. 24 GG zur Anwendung. Für eine an sich ebenfalls denkbare Regelung im Kontext der Landesbauordnungen bedürfte es daher nach hiesiger Auffassung einer entsprechenden Öffnungsklausel im KrW-/AbfG.<sup>321</sup>

Grundlegende Probleme im Hinblick auf die betroffenen Grundrechte sind nicht ersichtlich.

Wie in anderem Zusammenhang bereits erörtert, hängt die Zulässigkeit von Verwendungsanforderungen wesentlich davon ab, ob auf Grundlage der Harmonisierungsvorschriften der Bau-Prod-RL der EU harmonisierte technische Normen zu dem betreffenden Bereich ergangen sind. Eine Regelungskompetenz seitens der Einzelstaaten besteht nur, soweit das (noch) nicht der Fall ist.

---

<sup>316</sup> Einleuchtend Hoffmann in Brandt/Ruchay/Weidemann, KrW-/AbfG, § 22 Rn. 37.

<sup>317</sup> Vgl. die Gesetzesmaterialien, BT-Drs. 12/5672, S. 12 und 45, sowie BT-Drs. 12/7240, S. 8 und 15, schließlich BT-Drs. 12/8084.

<sup>318</sup> Vgl. Hösel/von Lersner, § 7 KrW-/AbfG Rn. 2.

<sup>319</sup> Vgl. BVerfGE 98, S. 106, 120 (Kommunale Verpackungssteuer).

<sup>320</sup> Vgl. Pieroth, in: Jarass/Pieroth, GG, Art. 74 Rdnr. 58 m.w.N.

<sup>321</sup> Vom Gegenteil gehen offensichtlich Brandt/Röckseisen aus, in: Konzeption für ein Stoffstromrecht, Teil 4, A. II 4. a).

Die hier erörterten Rückholbarkeitsanforderungen dürften aber ohnehin nicht geeignet sein, die Verwendung von harmonisierten Bauprodukten der betreffenden Art zu "behindern", wie es Art. 6 Abs. 1 BauProd-RL lediglich verbietet. Denn das Instrument bezieht sich nicht auf die *Zulässigkeit* der Verwendung für bestimmte Zwecke (Verwendbarkeit), sondern knüpft an den (unbeschränkten) Vorgang der Verwendung lediglich eine zusätzliche bautechnische "Auflage" hinsichtlich der Art und Weise der Verwendung. Die BauProd-RL zielt aber nicht darauf, jede Art von verwendungsrelevanten Vorschriften zu reglementieren, sondern nur solche Arten, die sich auf die Freiheit der Verwendbarkeit für den vorgesehenen Zweck beziehen (vgl. den 12. Erwägungsgrund der Präambel zur BauProd-RL). Würde man die BauProd-RL anders verstehen, so müssten jegliche – auch indirekte – Regelungen, die auf die Verwendung der Bauprodukte einen Einfluss haben können, von dem Verbot erfasst sein (so z. B. auch Baugestaltungsvorgaben, Entsorgungsvorschriften u.ä.). Ein derartig umfassender Wille kann der BauProd-RL aber nicht entnommen werden.

Die Richtigkeit dieses Verständnisses der BauProd-RL ergibt sich auch aus einer systematischen Betrachtung. Zwar wird mit der Richtlinie insgesamt bezweckt, die Sicherheit und Funktionstüchtigkeit von Bauwerken zu gewährleisten (vgl. Art. 1 Abs. 1 sowie Anhang I der BauProd-RL). Hinsichtlich der Absicht zur Schaffung harmonisierter Normen beschränkt sie sich jedoch auf das einzelne Bauprodukt als Regelungsgegenstand (vgl. Art. 3 Abs. 1, Art. 7 Abs. 1 BauProd-RL). Angestrebt wird die "Brauchbarkeit" des einzelnen Produktes (vgl. Art. 2 Abs. 1, Art. 8 Abs. 1 BauProd-RL) im Hinblick auf die im Anhang I formulierten Anforderungen an das Bauwerk. Damit wird aber weder das Bauwerk selbst noch die Bauweise zum Harmonisierungsobjekt. Harmonisiert werden lediglich die nationalen Vorgaben über das einzelne Produkt. Sie betreffen die Beschaffenheit und die Eigenschaften des Produkts. Eine Sperrwirkung für nationale Bauwerke kann den harmonisierten Normen folglich nur entnommen werden, sofern sich die nationale Vorschrift ebenfalls auf das Bauprodukt als solches bezieht. Vorgaben über die *Bauweise*, also die Technik des Bauwerks im übrigen, enthält die BauProd-RL nicht. Deshalb kann sie nationalen Vorschriften hierüber auch nicht im Wege stehen. Etwas Anderes kann allenfalls gelten, wenn von diesen eine mittelbare Behinderungswirkung auf die Freiheit des Verkehrs und der Verwendung ausgeht (Art. 6 Abs. 1 BauProd-RL).

Rückholbarkeitsanforderungen der hier erörterten Art unterfallen demnach nicht der BauProd-RL, weil es sich nicht um Vorschriften über das Bauprodukt, sondern lediglich über dessen Verwendungsweise im Bauwerk – die Bauweise – handelt. Auch nach dem Erlass von harmonisierten Normen in diesem Bereich dürften diese deshalb durch EU-Recht nicht in Frage gestellt sein.

Ein Verstoß gegen die Warenverkehrsfreiheit liegt nicht vor. Eine Benachteiligung von Produkten aus anderen EU-Staaten ist nicht zu erwarten. Jedenfalls würden die Rückholbarkeitsanforderungen, die in ihrer Zielrichtung von der Abfallrahmenrichtlinie gedeckt sind, einer gegebenenfalls notwendigen Verhältnismäßigkeitsprüfung ohne weiteres standhalten.

Welthandelsrechtliche Hindernisse sind ebenfalls nicht erkennbar.

#### **7.4.5 Entsorgungsfinanzierungspflicht für erdverlegte Kabel und Unterwasserkabel**

Im Rahmen eines Konzepts zur Wiedergewinnung von erdverlegten Kabeln und Unterwasserkabeln wird in Kapitel 6.12 die Einführung einer Rücklageverpflichtung für die Entsorgung von Kabeln ("Entsorgungsfinanzierungspflicht") in Aussicht genommen.



Die Pflicht zur Finanzierung der Entsorgung von erdverlegten Kabeln korrespondiert unmittelbar mit der Entsorgungspflicht des Abfallerzeugers und -besitzers, von der das geltende Abfallrecht ausgeht (vgl. § 5 Abs. 2 KrW-/AbfG). Es handelt sich um eine selbstverständliche Folge der an sich ohnehin bestehenden Entsorgungsverantwortung. Sie bedarf von daher keiner besonderen, über das von § 5 Abs. 2 KrW-/AbfG aufgegriffene Verursacherprinzip hinausgehenden Rechtfertigung.

Soweit im vorliegenden Zusammenhang daran gedacht ist, die Finanzierungspflicht durch eine Pflicht zur Bildung ausreichender Rücklagen für die Bergung und Entsorgung von Altkabeln zu ergänzen, handelt es sich aus rechtlicher Sicht nicht um einen qualitativ neuen Grundrechtseingriff, sondern lediglich um die besondere Ausprägung einer als solcher bereits existierenden Grundrechtseinschränkung. Die Adressaten der Pflicht werden zwar mit der entsorgungsbezogenen Vorfinanzierungspflicht in gewissem Umfang zusätzlich belastet, sie sind jedoch als spätere Entsorgungspflichtige auch selber die potenziellen Nutznießer der Regelung. Von daher ist die (zusätzliche) Eingriffsintensität der Rücklagepflicht als relativ gering einzustufen.

Das geltende Recht kennt ähnliche Verpflichtungen an vielerlei Stellen. Als Beispiel möge hier § 32 Abs. 3 KrW-/AbfG genügen, nach dem die Abfallbehörde den Deponiebetreiber zu einer Sicherheitsleistung für den späteren Fall der Sicherung, Sanierung und Nachsorge für die Ablagerungsstätte verpflichten kann. Entsprechendes bietet sich auch im vorliegenden Fall an. Die Vorschriften des KrW-/AbfG könnten in diesem Sinne ergänzt werden, ohne dass insofern grundlegende rechtliche Probleme ersichtlich wären.

Eine Verpflichtung zur Sicherheitsleistung oder einer anderen Art der Rücklagenbildung könnte auch für bereits im Boden oder Wasser befindliche Kabel nachträglich geschaffen werden. Eine derartige Regelung würde zwar auf den vorhandenen Eigentumsbestand einwirken. Sie würde jedoch nicht mit dem verfassungsrechtlichen Rückwirkungsverbot<sup>322</sup> im Konflikt stehen. Der Verpflichtung käme nicht die Bedeutung einer "echten Rückwirkung" zu, weil sie wie die hinter ihr stehende Entsorgungsverantwortung des Abfallerzeugers / Abfallbesitzers tatbestandlich an einen in der Zukunft liegenden Vorgang – den Bergungs- und Entsorgungsfall – anknüpft.

Im Falle der hier diskutierten Rücklagepflicht des Kabelbesitzers stellt sich jedoch ein anderes rechtliches Problem: Es kann im Einzelfall nicht mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass die Bergung und Entsorgung in absehbarer Zeit überhaupt notwendig wird. Geht ein Kabelbesitzer mit seinem Kabelbestand sorgsam um, so wird er die Rückholbarkeit durch technische Maßnahmen ohnehin weitgehend sicherstellen. Veräußert er seine Altkabel, so könnte man ihm die Sicherheitsleistung erstatten oder die Pflicht zur Rücklage aufheben. Benutzt er die Kabel aber selbst weiter, so bliebe er auf seiner Sicherheitsleistung sitzen bzw. könnte über seine Rücklage weiterhin nicht verfügen. Diese Konsequenz wäre unangemessen, weil sie gerade denjenigen trifft, der sich abfallwirtschaftlich vorbildlich verhält. Man könnte ihn jedoch nicht von der Verpflichtung freistellen, weil das maßgebende Verhalten in der Zukunft liegt und daher nicht als gesichert betrachtet werden kann.

Vor diesem Hintergrund sollte über ein anderes Modell vertieft nachgedacht werden, das auf die Konstruktion eines Rücklagenfonds hinausläuft, welcher aus folgenden Elementen bestehen könnte:

---

<sup>322</sup> Zur Rückwirkungsproblematik grundlegend BVerfGE 57, S. 361, 391; E 72, S. 175, 196; siehe auch unten, 7.7.1.

- Einzahlungspflichtig und entnahmeberechtigt sind ausschließlich die Betreiber von Versorgungsnetzen für Strom und Telekommunikationsleistungen.
- Die Einzahlungspflicht wird gekoppelt an die Inbetriebnahme von Versorgungsleitungen.
- Als Inbetriebnahme wird auch der Betrieb einer Leitung zum Zeitpunkt des Inkrafttretens der Regelung betrachtet.
- Die Aufgabe einer Versorgungsleitung löst den Anspruch des bisherigen Betreibers auf Bergung der Kabel durch den Fonds bzw. auf finanzielle Leistung aus dem Rücklagenfonds für die Bergung aus.
- Ist der Betreiber insolvent oder sonst zur Bergung nicht in der Lage, wird die Aufgabe direkt durch den Fonds erledigt.

Durch die Begrenzung des Anwendungsbereiches wird erreicht, dass der Kreis der Adressaten überschaubar bleibt. Kleinverwendungen und Gebäudeverkabelungen werden nicht erfasst. Es handelt sich um denjenigen Adressatenkreis, für den die Schaffung einer speziellen Regelung zur Sicherstellung der sachgerechten Kabelbergung besonders wichtig ist, weil es um ein großes Volumenpotenzial geht und – aufgrund fortschreitender Techniken einerseits und nicht voraussehbarer wirtschaftlicher Entwicklungen andererseits – die Gefahr besonders groß ist, dass der Boden praktisch als Ablagerungsstätte für nicht mehr verwendete Kabel missbraucht wird.

Indem die Bergung bzw. ihre Finanzierung zur Aufgabe des Fonds erklärt wird, ist gewährleistet, dass das eingezahlte Geld wieder der Gruppe der Einzahlenden zugute kommt. Der Fonds stellt die Bergung und sachgerechte Verwertung auch in den besonders bedeutsamen Insolvenzfällen sicher, wenn also die an sich bestehende Entsorgungspflicht des Abfallerzeugers / Abfallbesitzers ins Leere gehen würde.

Die mit der Fondslösung verbundenen rechtlichen Risiken erscheinen bei der hier nur möglichen summarischen Prüfung eher gering. Finanzverfassungsrechtlich wäre ein solcher Fonds zwar den Sonderabgaben mit Finanzierungsfunktion zuzuordnen, deren Zulässigkeit vom BVerfG nur unter äußerst engen Voraussetzungen bejaht wird.<sup>323</sup> Den hiernach zu beachtenden Kriterien dürfte das Modell jedoch durchaus gerecht werden.

Sonderabgaben mit Finanzierungsfunktion werden vom BVerfG (nur) als zulässig erachtet, wenn sie durch eine besondere Sachaufgabe legitimiert werden, die Gruppe der Belasteten eine spezifische Nähe zu dieser Sachaufgabe aufweist und die Einnahmen im Interesse der Gesamtgruppe der Belasteten (“gruppennützig”) verwendet werden.<sup>324</sup> Das dürfte hier der Fall sein.

- Die zu finanzierende Aufgabe fällt ihrer Natur nach nicht den staatlichen Aufgaben zu. Es handelt sich mithin um eine außerhalb der originär öffentlichen Aufgaben liegende “besondere Sachaufgabe”, deren Erfüllung an sich in der (Entsorgungs-) Verantwortung der jeweiligen Leitungsbetreiber liegt.
- Die mit der Geldleistungspflicht belastete Gruppe hat aus diesem Blickwinkel eine spezifische Nähe zu der zu finanzierenden Aufgabe; sie trägt die Gruppenverantwortung.
- Die eingenommenen Geldmittel kommen den Mitgliedern dieser Gruppe schließlich auch zugute, indem sie ausschließlich für gruppennützige Zwecke verwendet werden.

Von daher dürfte ausnahmsweise von der finanzverfassungsrechtlichen Zulässigkeit des Modells eines Rücklagenfonds auszugehen sein.

<sup>323</sup> Vgl. insbesondere BVerfGE 55, S. 274, 304 f.; E 67, S. 256, 276; E 82, S. 159; E 91, S. 186; E 92, S. 91, 114.

<sup>324</sup> Grundlegend BVerfGE 55, S. 274, 274 f. (Ls.) und 305 ff.

#### 7.4.6 Zwischenbewertung

Die bestehende Orientierung der Abfall- und Kreislaufwirtschaft auf nationaler und auf EU-Ebene an Produkten ist grundsätzlich auch in Bezug auf eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei und Kupfer zielführend, bedarf aber der Weiterentwicklung. Das produktspezifische Recht in Deutschland bietet große Spielräume für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei und Kupfer. Unbehelligt von der Frage anspruchsvollerer EU-Regelungen, sind nationale Verschärfungen der Erfassungsquoten von EE-Geräten im WEEE-Entwurf und die Ausweitung der Regelungen der EU-Altfahrzeugrichtlinie auf weitere Fahrzeugklassen wie Lkw und KRAD möglich. Auch eine Entsorgungsfinanzierungspflicht für die Bergung und Verwertung aufgegebener Kabel ist im nationalen Rahmen möglich. Das KrW-/AbfG hält aber in seiner derzeit gültigen Fassung keine Ermächtigungsgrundlage für eine Verordnung über Rückholbarkeitsanforderungen bei der Verlegung von Kabeln und Drähten im Hoch- und Tiefbau bereit. Zur rechtsförmigen Festsetzung ist es deshalb erforderlich, eine entsprechende gesetzliche Bestimmung zu schaffen. Hinsichtlich der Vereinbarkeit eines nationalen Alleingangs bei der Input-Lizenzpflicht mit der BauProd-RL der EG, nach der die Verwendung gemeinschaftlich normierter Bauprodukte durch einzelstaatliche Regelungen nicht behindert werden darf (Art. 6 Abs. 1 BauProd-RL), bestehen erhebliche Bedenken, weshalb eine europäische Lösung angestrebt werden müsste.

### 7.5 Verwendungsbeschränkungen im Rahmen der integrierten Produktpolitik

#### 7.5.1 Selektive Stoffverbote in produktbezogenen EG-Richtlinien

Der Vorschlag, in einzelnen produktbezogenen EG-Richtlinien Stoffverbote für bestimmte Verwendungen (rechtlich gesehen also Verwendungsbeschränkungen) auszusprechen, lässt sich vom Ansatz her mit der Strategie der EU-Kommission gut vereinbaren. In ihrem Grünbuch zur integrierten Produktpolitik schlägt die Kommission zum einen eine Ausdehnung des Konzepts der "Produzentenverantwortung" auf weitere Bereiche der Gemeinschaftsregelungen vor (ohne insoweit allerdings ins Detail zu gehen).<sup>325</sup> Zum anderen befürwortet sie eine stärkere Bindung der technischen Normen an umweltbezogenen Maßstäbe, auch durch zielgerichtete Setzung von Anforderungen durch verbindliche Rechtsvorschriften der Gemeinschaft.<sup>326</sup> Die darin zum Ausdruck kommende Tendenz zur Verschärfung der gefahrstoffbezogenen Anforderungen findet auch in dem Weißbuch der EU-Kommission zur Chemikalienpolitik vom Februar 2001 seinen Niederschlag.<sup>327</sup>

Zu beachten ist insoweit, dass nicht alle in Kap. 6.12 angesprochenen Möglichkeiten für Verwendungsbeschränkungen in direktem Bezug zum Abfallrecht stehen. Zum Teil geht es auch um Zwecke der Minderung unmittelbarer Umweltbelastungen durch die Produkte selbst bzw. der schlichten Verbrauchsreduktion. Häufig wird es erforderlich sein, die Einzelmaßnahmen in umfassendere Regelungskonzepte für die jeweiligen Anwendungsbereiche einzubinden, um Fehlentwicklungen (z. B. in Richtung gefährlicherer Substitute) vermeiden, angemessene Übergangsregelungen zu schaffen und die nötigen Differenzierungen vornehmen zu können. In Anbetracht der Verschiedenartigkeit der Anforderungen und Sachbereiche dürfte die Verwirklichung der Strategie einen recht hohen kommunikativen und zeitlichen Aufwand erfordern.

<sup>325</sup> EU-Kommission, Grünbuch zur integrierten Produktpolitik, Drs. KOM(2001) 68 endg., Anhang III, S. 36.

<sup>326</sup> EU-Kommission, a.a.O. S. 24 f. und 37.

<sup>327</sup> EU-Kommission, Weißbuch "Strategie der zukünftigen Chemikalienpolitik", Drs. KOM(2001) 88 endg.

### Selbstbindung des EG-Rechts

Will die EG außerhalb ihrer ausschließlichen Zuständigkeit gemeinschaftsrechtliche Aktivitäten entfalten, so ist sie hierbei an die Gebote der Subsidiarität und der Verhältnismäßigkeit gebunden:

Im Anwendungsbereich des Subsidiaritätsprinzips darf die Gemeinschaft nur tätig werden, "sofern und soweit die Ziele ... auf Ebene der Mitgliedstaaten nicht ausreichend erreicht werden können und daher wegen ihres Umfangs oder ihrer Wirkungen besser auf der Gemeinschaftsebene erreicht werden können" (Art. 5 Abs. 2 EGV). Damit ist die Frage angesprochen, in welchen Fallgestaltungen und mit welchen Regelungsabsichten die Organe der Gemeinschaft tätig werden dürfen.

Über den Gehalt des Subsidiaritätsprinzips bestehen weithin Unsicherheiten, weil es an einer breit gefächerten Rechtsprechung hierzu fehlt.<sup>328</sup> Immerhin hat der EuGH in einer Entscheidung ausgeführt, dass ein gemeinschaftsweites Vorgehen unvermeidlich sei, soweit es darum gehe, die unterschiedlichen Bestimmungen der Einzelstaaten auf Grundlage eines vorhandenen Kompetenztitels gemeinschaftsweit zu harmonisieren.<sup>329</sup> Art. 174 EGV gestattet den EG-Organen die Rechtssetzung zur Harmonisierung der Umweltschutzanforderungen auf einem hohen Niveau. Sofern es um produktbezogene Umweltschutzanforderungen geht, würden nationale Alleingänge regelmäßig die Wettbewerbsverhältnisse zwischen den Staaten berühren. Daher dürfte der EG im Bereich der produktbezogenen Umweltschutzanforderungen auch vor dem Maßstab des Subsidiaritätsprinzips in aller Regel die Kompetenz zuzusprechen sein, umfassend tätig zu werden.

Das Verhältnismäßigkeitsprinzip des Art. 5 Abs. 3 EGV gebietet, dass Maßnahmen der Gemeinschaft – ungeachtet der Frage, ob außerdem das Subsidiaritätsprinzip zur Anwendung kommt – nicht über das für die Erreichung der Ziele des EGV erforderliche Maß hinausgehen dürfen. Die Bestimmung regelt im Unterschied zum Subsidiaritätsprinzip nicht das "Ob", sondern das "Wie" der Wahrnehmung gemeinschaftsrechtlicher Kompetenzen.<sup>330</sup> Sie ist sowohl im Hinblick auf Eingriffe in Rechte von Bürgern als auch im Verhältnis zu den Kompetenzen und Interessen der Mitgliedstaaten zu beachten.<sup>331</sup> Auf dieser Annahme beruht unter anderem auch die Maastricht-Entscheidung des Bundesverfassungsgerichts.<sup>332</sup>

Im Einzelnen fordert das Prinzip die Geeignetheit, Erforderlichkeit und Angemessenheit (Verhältnismäßigkeit im engeren Sinne) der betreffenden Maßnahmen. Die Maßstäbe ähneln denen des im deutschen Verfassungsrecht entwickelten Verhältnismäßigkeitsprinzips, können jedoch nicht in jeder Hinsicht als deckungsgleich betrachtet werden.<sup>333</sup>

Das Teilgebot der Geeignetheit spielt in der Rechtsprechung des EuGH eine unbedeutende Rolle; es werden nur Extremfälle als ungeeignet betrachtet, in denen das gewählte Mittel "offensichtlich ungeeignet zur Verwirklichung des angestrebten Zieles" erscheint.<sup>334</sup> Den beiden anderen Maßstäben kommt eine größere Relevanz zu. Durch das Gebot der Erforderlichkeit wird den

<sup>328</sup> Vgl. Callies, in: Callies / Ruffert, EGV, Art. 5 Rdnr. 37 m.w.N.; Pache, in: NJW 2000, S.1033, 1038.

<sup>329</sup> Vgl. EuGH, Slg. 1996 I-5755, Tz. 46 f. (obiter dictum).

<sup>330</sup> Eingehend Pache, in: NJW 2000, S.1033, 1037 f.

<sup>331</sup> Überzeugend Callies, in: Callies / Ruffert, EGV, Art. 5 Rdnr. 47 m.w.N.; Pache, in: NJW 2000, S.1033, 1037 f.

<sup>332</sup> Vgl. BVerfGE 89, S.155, 212.

<sup>333</sup> Vgl. v. Bogdandy / Nettesheim, in: Grabitz / Hilf, EU, Art. 3 b (a.F.) EGV, Rdnr. 45 sowie 50 ff. m.w.N.; Oppermann, Europarecht, § 6 Rdnr. 521.

<sup>334</sup> So EuGH Slg. 1975, I-125, Tz. 14.

Gemeinschaftsorganen insbesondere vorgegeben, zur Erreichung des jeweiligen Zieles das mildeste Mittel zu wählen.<sup>335</sup> Insoweit soll das Prinzip des “schonendsten Ausgleich” gelten.<sup>336</sup> Harmonisierungsmaßnahmen, die über Rahmenvorgaben hinaus ins einzelne Detail oder gar bis hin zur “Totalharmonisierung” gehen, bedürfen jeweils einer spezifischen Rechtfertigung.<sup>337</sup> Schließlich wird unter dem Kriterium der Angemessenheit eine Abwägung zwischen den widerstreitenden Interessen gefordert.<sup>338</sup>

Allerdings ist zu beachten, dass den Gemeinschaftsorganen bei der Rechtssetzung ein grundsätzlich relativ weiter Ermessens- und Beurteilungsspielraum zuzugestehen ist, da es hier um politische Entscheidungen geht, die notwendigerweise einen weit gespannten Rahmen haben.<sup>339</sup> Die Einhaltung des Verhältnismäßigkeitsprinzips unterliegt zwar auch der Kontrolle des Europäischen Gerichtshofs; diese kann sich daher ihrer Natur nach jedoch nur auf die Überprüfung von Beurteilungs- und Ermessensfehlern beziehen.<sup>340</sup> Das bedeutet in der Konsequenz, dass Verstöße regelmäßig nur vorliegen können, wenn die Gemeinschaftsorgane den Sachverhalt unzureichend ermittelt, sich nicht an den Kernbestand der prozeduralen Pflichten gehalten oder ihren Ermessensspielraum materiell offensichtlich überschritten haben.<sup>341</sup>

Vor diesem Hintergrund dürften Konflikte mit dem Verhältnismäßigkeitsgebot des Art. 5 Abs. 3 EGV in den hier angesprochenen Bereichen regelmäßig vermeidbar sein.

#### **Implikationen des Welthandelsrechts**

Die EG ist in ihren eigenen Betätigungsfeldern im Übrigen an die übergeordneten Konditionen des WTO-Rechts gebunden. Hieraus können sich für Strategien der Ausweitung von Verwendungsbeschränkungen Restriktionen ergeben. Die Problemlage gleicht hier im Ansatz der oben für Verwendungsbeschränkungen im Baubereich erörterten Situation, so dass an dieser Stelle auf die dortigen Ausführungen verwiesen werden kann.<sup>342</sup>

Im Ergebnis läuft das darauf hinaus, dass die Spielräume für die Schaffung weiterer produktbezogener Regelungen auf EG-Ebene als groß erachtet werden können, soweit es um die (auch vorsorgende) Minimierung von innerstaatlichen Umweltbelastungen aufgrund der Verwendung von Blei oder Kupfer in bestimmten Produkten bzw. durch deren Entsorgung geht. Denn der Appellate Body der WTO geht im Anwendungsbereich des GATT davon aus, dass das Gefährdungspotenzial eines verwandten Stoffes in einem Produkt ein Unterscheidungsmerkmal von anderen Produkten derselben Verwendung darstellt, so dass ein Verstoß gegen Art. III Abs. 4 GATT nicht vorliegen kann.<sup>343</sup> Und im Anwendungsbereich des TBT – das hier einschlägig sein

---

<sup>335</sup> Vgl. v. Bogdandy / Nettesheim, in: Grabitz / Hilf, EU, Art. 3 b EGV (a.F.) Rdnr. 42 ff. m.w.N.; Zuleeg, in: v. d. Groeben / Thiesing / Ehlermann, EGV, Art. 3 b (a.F.), Rdnr. 31 m.w.N.

<sup>336</sup> So Callies, in: Callies / Ruffert, EGV, Art. 5 Rdnr. 52.

<sup>337</sup> Eingehend Callies, in: Callies / Ruffert, EGV, Art. 5 Rdnr. 51 f. m.w.N.

<sup>338</sup> Vgl. Callies, in: Callies / Ruffert, EGV, Art. 5 Rdnr. 46 m.w.N.

<sup>339</sup> Ähnlich EuGH, Slg. 1992, I-5383, 5430; vgl. v. Bogdandy / Nettesheim, in: Grabitz / Hilf, EU, Art. 3 b (a.F.) EGV, Rdnr. 49; Zuleeg, in: v. d. Groeben / Thiesing / Ehlermann, EGV, Art. 3 b (a.F.), Rdnr. 30 f.

<sup>340</sup> Vgl. EuGH, Slg. 1977, I-1211, 1221.

<sup>341</sup> In diese Richtung, wenn auch weniger scharf konturiert, EuGH Slg. 1996, I-5755, Rdnr. 57 ff.; EuGH, Slg. 1997, I-2405, Rdnr. 54 ff.

<sup>342</sup> Siehe oben, 7.4.3 (b).

<sup>343</sup> Vgl. Appellate Body, EC/Asbestos, Tz. 122 f.

dürfte – werden Erwägungen der Minderung innerstaatlicher Umweltbelastungen als berechtigte Gründe für staatliche Regulierungen akzeptiert.

Soweit es demgegenüber um Maßnahmen geht, die auf umfassende Überlegungen zum Ressourcenschutz als solchem zurückzuführen sind, ist die Rechtslage als weniger sicher zu betrachten. Auf Grundlage der bisher nur fragmentarisch vorliegenden Rechtsprechung des Appellate Body spricht zwar Einiges dafür, im Rahmen der Rechtfertigung von Eingriffen in den freien Welthandel gemäß Art. XX GATT auch Erwägungen des globalen Ressourcenschutz gelten zu lassen.<sup>344</sup> Sicher kann das jedoch nicht angenommen werden. Außerdem ist offen, ob und inwieweit dies auch im Rahmen des TBT gilt.<sup>345</sup> In Anbetracht dessen muss für diesen Bereich die bereits oben ausgesprochene Empfehlung unterstrichen werden, eine welthandelsrechtlich abgesicherte Strategie der globalen Ressourcenschonung zu entwickeln.

### 7.5.2 Umfassende nationale Stoffverbote

Umfassende nationale Stoffverbote können zum einen mit der Reduzierung von schädlichen Belastungen, zum anderen mit der Ressourcenschonung begründet werden.

#### Zur Reduzierung von schädlichen Belastungen durch Stoffe

Eine Strategie umfassender nationaler Stoffverbote ist auf Basis des geltenden Chemikalienrechts in Deutschland schon heute grundsätzlich möglich, soweit es um die Bekämpfung des Eintrags von für den Menschen und/oder die Umwelt *gefährlichen Stoffen* im Sinne von § 3 a ChemG geht. Hierfür bietet § 17 ChemG eine vom Ansatz her geeignete Rechtsgrundlage, von der insbesondere in Gestalt der ChemVerbotsV bereits für einige Stoffgruppen Gebrauch gemacht worden ist.

Der Weg des Danish Lead Ban<sup>346</sup> unterscheidet sich von diesem Regelungsmodell zwar in Einzelaussagen, nicht aber strukturell. Wird dort von einem “Import- und Vermarktungsverbot” gesprochen, so spricht das deutsche Recht von der Möglichkeit, durch Rechtsverordnung unter anderem zu bestimmen, dass gefährliche Stoffe oder solche enthaltende Erzeugnisse “nicht, nur in bestimmter Beschaffenheit oder nur für bestimmte Zwecke hergestellt, in den Verkehr gebracht oder verwendet werden dürfen” (§ 17 Abs. 1 Nr. 1 a) ChemG). Die damit und in den übrigen Vorschriften des § 17 Abs. 1 ChemG eröffneten Regelungsmöglichkeiten umfassen ihrer Art und ihrem möglichen Inhalt nach ein vergleichbares Maßnahmenpektrum wie der Danish Lead Ban.

Steht demnach für bereichsbezogen differenzierte Anwendungsverbote im Hinblick auf Blei mit der ChemVerbotsV ein geeignetes Regelungsgerüst zur Verfügung, so stellt sich im Folgenden insoweit nur noch die Frage, ob die im Einzelnen auszusprechenden Verbote mit dem Verhältnismäßigkeitsprinzip und dem Gleichheitsgrundsatz im Einklang stehen. Hierzu kann auf die ausführlichen Erörterung zur betreffenden Thematik für das Bauwesen Bezug genommen werden.<sup>347</sup>

Wie sich aus § 17 Abs. 1 und 2 ChemG ergibt, setzt die Anwendung von Verwendungs- und Beschränkungsverboten nicht zwingend voraus, dass der betreffende Stoff in der jeweiligen

---

<sup>344</sup> Vgl. Ginzky, ZUR 2000, S. 216, 220 f.; Winter, in: GfU 2001, S. 71, 89; Hilf, NVwZ 2000, S. 481, 485; SRU 2000, Tz. 90 f.

<sup>345</sup> Siehe oben, 7.4.1.

<sup>346</sup> Statutory Order No. XXX of XXX on Prohibition of Import and Marketing of Products Containing Lead.

<sup>347</sup> Siehe oben, unter 7.4.3. (c).

Verwendung eine “besondere”, “erhebliche” oder “unmittelbare” Gefahr mit sich bringt. Gemäß § 17 Abs. 1 ChemG muss die Maßnahme lediglich erforderlich sein, um Menschen und/oder Umwelt vor schädlichen Einwirkungen zu schützen (sie insbesondere erkennbar zu machen, abzuwenden oder ihrem Entstehen vorzubeugen, vgl. § 1 ChemG). § 17 Abs. 2 ChemG schafft der Sache nach darüber sogar noch hinausgehend die Möglichkeit, Verbote und Beschränkungen (auch) bereits dann zu verhängen, wenn weniger risikobehaftete Ersatzstoffe bzw. -erzeugnisse zur Verfügung stehen oder in dem in Aussicht genommenen Zeitraum verfügbar gemacht werden können. Die Vorschrift verlangt nicht die Verfügbarkeit des Ersatzstoffes zu übereinstimmenden Marktpreisen. Von daher dürften den betreffenden Marktteilnehmern wirtschaftliche Zusatzbelastungen jedenfalls in gewissem Umfang zugemutet werden können.

Bei dieser rechtlichen Ausgangslage kann nach hiesiger Auffassung davon ausgegangen werden, dass umfassende und zugleich differenzierte *Stoffverbote für Blei* nach dem Modell des Danish Lead Ban in Deutschland möglich sind. Es trifft nicht zu, dass das deutsche Recht – auch nicht das Verfassungsrecht – Stoffverbote nur bei besonders gravierenden Umwelt- und Gesundheitsgefahren zuließe. Das Verhältnismäßigkeitsprinzip gebietet es allerdings, für jeden einzelnen Verwendungsbereich in den Blick zu nehmen, ob eine mildere Maßnahme vergleichbarer Wirkung ergriffen werden kann. Außerdem müssen der ökologischen Nutzen und die mit der Maßnahme verbundenen ökonomischen Belastungen genau ermittelt und wertend ins Verhältnis zueinander gesetzt werden, um gegebenenfalls einschränkende oder abfedernde Maßnahmen zur Vermeidung besonderer Härten zu ergreifen.

Hiervon abweichend sind chemikalienrechtliche Verwendungsbeschränkungen indessen für die Anwendung von *Pflanzenschutzmitteln* nicht möglich. Hierfür genießt das Reglementarium des Pflanzenschutzgesetzes (PflSchG) als das insoweit speziellere Gesetz Anwendungsvorrang. Das PflSchG enthält seinerseits eine § 17 ChemG ähnliche Ermächtigung zum Erlass von Anwendungsverböten für Pflanzenschutzmittel mit bestimmten Stoffen (§ 7 PflSchG). Anwendungsbeschränkungen können danach zum Schutz der Gesundheit von Mensch und Tier sowie zum Schutz vor Gefahren für den Naturhaushalt ausgesprochen werden. Hierbei ist zu beachten, dass im Zusammenhang des § 7 PflSchG – anders als bei § 17 ChemG – das Vorsorgeprinzip keine Anwendung findet. Um die Anwendbarkeit des Instruments im Einzelfall feststellen zu können, wird deshalb genauer ermittelt werden müssen, welche konkrete Bedeutung der Kupfereintrag durch Pflanzenschutzmittel in das Grundwasser (als Trinkwasserreservoir) für den Menschen bzw. in Oberflächengewässer hat.

Auch die Einschränkung der Verwendung von Blei in *Jagdmunition* kann auf Basis des § 17 ChemG erfolgen. Das Jagdrecht als eigenständige Rechtsmaterie regelt nur den Komplex der Berechtigung zur Ausübung der Jagd (vgl. § 1 des Bundesjagdgesetzes – BJagdG). Es entfaltet keine Sperrwirkung für stoffbezogene Bestimmungen des Chemikalienrechts oder produktbezogene Anforderungen etwa des Abfallrechts.

Im Gefahrstoffsektor sind, wie bereits mehrfach angesprochen, die Restriktionen des übergeordneten Rechts der EG und der WTO verhältnismäßig gering:

- Die chemikalienrechtlichen Richtlinien der EG lassen für weitergehende nationale Verbote und Beschränkungen grundsätzlich Raum, da sie nicht als abschließende Bestimmungen konzipiert sind. Allerdings ist insoweit Art. 28 EGV zu beachten. Nationale Alleingänge müssen daher aus Gründen der Gefahrenabwehr oder der Gefahrenvorsorge gerechtfertigt sein. Es obliegt dem einzelnen Mitgliedstaat, hierfür das Schutzniveau festzulegen. Er muss sich bei der Bewertung der Gefahren von

wissenschaftlichen Methoden leiten lassen, ist aber nicht an die wissenschaftliche Mehrheitsmeinung gebunden.<sup>348</sup>

- Eine gewisse Bedeutung mag für neue Verwendungsbeschränkungen auf der EG-Ebene dem aus der Informationsrichtlinie<sup>349</sup> folgenden Notifizierungsgebot bei der EU-Kommission zukommen. Das in der Informationsrichtlinie verbindlich festgeschriebene Prozedere verleiht der EU-Kommission und den anderen Mitgliedstaaten aber keine neuen materiellen Eingriffsbefugnisse gegenüber dem handelnden Mitgliedstaat, sondern nur die Möglichkeit, im Rahmen ihrer Kompetenzen rechtzeitig selbst tätig zu werden, um einen unerwünschten nationalen Alleingang zu verhindern bzw. diesem zuvor zu kommen (vgl. Art. 9 der Informations-RL). Auch im Falle des Danish Lead Ban wurde das Notifizierungsverfahren durchlaufen, ohne dass Dänemark an der Verabschiedung gehindert worden wäre.
- Im WTO-Recht stellt sich die Sachlage materiellrechtlich im Ergebnis ähnlich wie im Europarecht dar. Produkte verschiedener stofflicher Zusammensetzung sind nach der Rechtsprechung des Appellate Body nicht als "gleichartig" im Sinne von Art. 3 Abs. 4 GATT zu betrachten, wenn sie Menschen oder die Umwelt in unterschiedlichem Maße gefährden.<sup>350</sup> Ein Verstoß gegen Art. 3 Abs. 4 GATT kann folglich nicht vorliegen, wenn die Verwendung des Stoffes in einem Produkt auf Grund seines Gefährdungsgrades unterbunden wird. Das TBT als bereichsspezifisches Abkommen für technische Vorschriften räumt den Vertragsstaaten ebenfalls dann die Möglichkeit ein, spezifische Beschaffenheitsanforderungen für Produkte aufzustellen, wenn es dem Staat darum geht, die innerstaatlichen Umweltbelastungen zu vermindern.

Aus alledem kann gefolgert werden, dass auf nationaler Ebene hinreichend Spielräume vorhanden sind, um eine umfassende Strategie von Verwendungsbeschränkungen für den Menschen und/oder die Umwelt gefährdende Stoffe zu entwickeln und umzusetzen.

### **Zum Zwecke der Ressourcenschonung**

Demgegenüber bietet das geltende Recht für ein umfassendes Verbot von Kupfer aus Gründen der *Ressourcenschonung* keine ausreichende Grundlage. Das deutsche Chemikalienrecht stellt ausschließlich auf schädliche Einwirkungen auf Mensch und Umwelt durch gefährliche Substanzen ab (vgl. § 1 ChemG). Damit fokussiert es zwar nicht nur auf humantoxikologische Aspekte, sondern betrachtet negative Umwelteinwirkungen als diesen gegenüber von der Herangehensweise her grundsätzlich gleichwertig. Es lässt aber keine Bezugnahme zu Zielsetzungen der Ressourcenschonung erkennen.

Auch das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz nimmt den Ansatz der Ressourcenschonung nur aus einem bestimmten Blickwinkel auf. Es dient der "Förderung der Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen" (§ 1 KrW-/AbfG) und erfasst deshalb insoweit auch die "Vermeidung" von Abfällen (§ 2 Abs. 1 Nr. 1 KrW-/AbfG). Damit steht das Ziel der Ressourcenschonung zwar als Leitmotiv hinter den gesetzlichen Regelungen des deutschen Abfallrechts. Damit wird das Abfallrecht aber nicht zu einem umfassenden Rechtsgebiet der Ressourcenschonung aufgewertet.

Das bestätigt sich in den Bestimmungen zur Produktverantwortung, die zwar bestimmte Instrumente zur Förderung der Wiederverwendbarkeit, Verwertbarkeit und Langlebigkeit von Produkten oder für den vorrangigen Einsatz von Sekundärstoffen enthalten (vgl. § 22 Abs. 2 Nr. 1 und 2 KrW-/AbfG), aber nicht die Möglichkeit schaffen, das Inverkehrbringen von Primärstoffen

<sup>348</sup> Vgl. EuGH ("Kemikalieninspektionen"), NVwZ 2000, S. 1402, 1404 f. (Tz. 30 und 34 ff.).

<sup>349</sup> Richtlinie 98/34/EG, ABl. EG 1998 Nr. L 204, S. 37; siehe dazu unten, 7.7.1. und 7.7.2.

<sup>350</sup> Vgl. Appellate Body, EC/Asbestos, Tz. 99 ff. und 122 f.



allein deshalb ordnungsrechtlich einzuschränken oder gezielt zu verdrängen, weil es sich um nicht erneuerbare knappe Ressourcen handelt.

Strebt man auf nationaler Ebene die Schaffung eines Reglementariums für eine umfassende Steuerung der Verwendung knapper Ressourcen an, so bedarf es folglich einer Erweiterung der Handlungsmöglichkeiten auf der Ebene der Gesetzgebung, sei es im Kontext des Abfallwirtschaftsrechts oder des Chemikalienrechts. Verfassungsrechtlich dürfte dies grundsätzlich möglich sein. Art. 20a GG gebietet dem Gesetzgeber seinem Sinne nach sogar ein besonnenes Handeln in dieser Richtung, auch wenn hieraus keine konkreten Handlungspflichten der Legislative abgeleitet werden können.

Allerdings bedarf es zur Formulierung konkreter gesetzlicher Bestimmungen schon aus rein fachlichen Gründen der Konzipierung eines in sich schlüssigen Gesamtsystems, welches derzeit nicht erkennbar ist. Anwendungsverbote dürften hierbei eine eher untergeordnete Rolle spielen, da sie sich im Regelfall schon von ihrer instrumentellen Wirkungsweise her nicht dazu eignen, den Einsatz knapper Ressourcen sinnvoll zu steuern.

Rechtlich würde das Problem der mangelnden Eignung auf die Verhältnismäßigkeit durchschlagen. Zu bedenken ist auch, dass es ganz überwiegend um den Schutz global bedeutsamer Ressourcen geht, zu dem auf nationaler Ebene durch Anwendungsverbote nur unwesentlich beigetragen werden könnte. Erheblich sinntragender erscheint deshalb die Entwicklung einer umfassenden Strategie der Ressourcenschonung, die von vornherein in erster Linie auf die gesamteuropäische und die globale Regelungsebene orientiert und hierbei andere, für die übergreifende Steuerung geeignete Instrumente in den Blick nimmt.

### 7.5.3 Substitutionsgebot für Gefahrstoffe

Das deutsche Chemikalienrecht stuft die Substituierbarkeit gefährlicher durch weniger gefährliche Stoffe als möglichen Grund für die Schaffung von Beschränkungsvorschriften im Verordnungswege ein (vgl. § 17 Abs. 2 ChemG). Eine generelle Substitutionspflicht kennt das deutsche Recht jedoch nicht.

#### Übertragbarkeit des norwegischen Modells

In Norwegen gilt seit Anfang 2000 demgegenüber eine allgemeine Substitutionsverpflichtung. § 3 a des norwegischen "Product Control Act" lautet:

"Any enterprise which uses products containing chemical substances that may have an impact of a type set out in section 1 of the Product Control Act<sup>351</sup> shall evaluate whether there are alternatives that entail a lower risk of such impacts. If such alternative exists, the enterprise shall use them provided that it does not cause unreasonable cost or inconvenience."<sup>352</sup>

Praktisch wird die Bestimmung dahin verstanden, dass die Verwender gefährlicher Substanzen im ersten Schritt feststellen müssen, ob die verwendete Substanz Gefahren für Mensch und Umwelt mit sich bringt. Ist das der Fall, so besteht eine generelle Substitutionspflicht durch weniger gefährliche Substanzen, es sei denn dies würde zu unverhältnismäßig hohen Kosten oder Unannehmlichkeiten führen.<sup>353</sup>

<sup>351</sup> Sec. 1 bezeichnet als abzuwehrende Auswirkungen "damage to health or disturbance of the environment".

<sup>352</sup> Übersetzung der Norwegian Pollution Control Agency.

<sup>353</sup> Norwegian Pollution Control Agency (SFT): Replacing Hazardous Substances with Less Hazardous Alternatives, Updated Information, 01.10.2000 (<http://69.92.38.7/Topics/Chemicals/IPP/sub/sub.stm>).

Dabei hat die Vorschrift einen sehr breiten Anwendungsbereich. Die Verpflichtung gilt für alle wirtschaftlichen Unternehmen sowie für den öffentlichen Sektor. Ausgenommen von der Anwendung ist lediglich der private Konsum. Die Bestimmung erfasst nicht nur die (Erst-) Verwendung in unverarbeiteter Form, sondern jede Verwendung unabhängig vom Verarbeitungsgrad. Die Folgen für Mensch und Umwelt müssen in jeder Hinsicht betrachtet werden, sei es im Hinblick auf Produktions- und Verarbeitungsprozesse, Nebenwirkungen des Gebrauchs oder Nachwirkungen als späterer Abfall.<sup>354</sup>

Die mit dem Product Control Act statuierte generelle Substitutionspflicht für gefährliche Stoffe ist aus fachlicher und rechtlicher Sicht als ein interessanter Regelungsansatz anzusehen. Das Substitutionsprinzip ergänzt die bestehenden Regelungen des norwegischen Chemikalienrechts, die – ebenso wie das deutsche Recht – auch das Verhängen von Verboten und Beschränkungen für gefährliche Stoffe ermöglichen. Die norwegische Regierung macht von der Möglichkeit, über im Verordnungswege konkrete Verwendungsbeschränkungen auszusprechen, nach wie vor Gebrauch.

Der Erfolg des Substitutionsgebots dürfte im Wesentlichen davon abhängig sein, ob und inwieweit es in der Praxis tatsächlich befolgt wird. Da es außerordentlich breit angelegt ist, besteht die Gefahr, dass eine effektive Kontrolle nicht möglich ist, so dass die Wirkung der Bestimmung in der Praxis weitgehend versickern könnte. Die norwegischen Umweltbehörden haben zur Unterstützung der Umsetzung unter anderem eine Liste von Kriterien unerwünschter Eigenschaften herausgegeben.<sup>355</sup> Eine spezielle Form der Dokumentationspflicht seitens der Verwender ist im Gesetz nicht vorgesehen. Weitere Einzelheiten über die Art der Erfüllungskontrolle sind hier nicht bekannt. Die Wirksamkeit der norwegischen Regelung lässt sich deshalb an dieser Stelle nicht zuverlässig beurteilen.

Das Substitutionsprinzip statuiert eine neuartige Verhaltenspflicht für die Verwender von gefährlichen Stoffen. Eine gewisse Wirkung dürfte sie bereits dadurch entfalten, dass sie von den Verwendern der Stoffe verlangt, die Umweltauswirkungen der betreffenden Stoffe und Produkte genau in den Blick zu nehmen. Allein dies kann in vielen Fällen dazu führen, dass sich die Verwender für den Einsatz alternativer Substanzen entscheiden. Ähnlich den Wirkungen der Verpflichtung zur Erstellung von Abfallbilanzen und Abfallwirtschaftsplänen im deutschen Abfallrecht (vgl. §§ 19, 20 KrW-/AbfG) kann damit gerechnet werden, dass schon die Ermittlung der Umweltauswirkungen entscheidende Umdenkprozesse auslöst.

Andererseits erscheint es jedoch unrealistisch anzunehmen, dass die eigentliche Substitutionspflicht allein auf Grund der so gewonnenen neuen Erkenntnisse über die Umweltauswirkungen auf breiter Ebene befolgt wird – vor allem wenn ihre Befolgung zu wirtschaftlichen Zusatzbelastungen der Unternehmen führt. Deshalb dürfte es für den Fall einer Übertragung auf Deutschland angebracht sein, entweder behördliche Kontroll- bzw. Anordnungsmöglichkeiten für den Einzelfall zu schaffen oder weitreichende Sanktionen für den Fall der Nichtbefolgung vorzusehen.

Eine Übertragung auf das deutsche Recht erscheint unter rechtlichen Gesichtspunkten durchaus denkbar. Grundsätzliche verfassungsrechtliche Hindernisse sind nicht ersichtlich:

---

<sup>354</sup> Norwegian Pollution Control Agency, ebenda.

<sup>355</sup> Norwegian Pollution Control Agency: The Authorities Criteria for Undesirable Properties (<http://69.92.38.7/Topics/Chemicals/IPP/undesire/undesire.stm>).

- Die auf der *ersten Stufe* ausgesprochene Ermittlungspflicht für die Umweltauswirkungen bleibt in ihrer Eingriffsintensität deutlich hinter den nach § 17 ChemG möglichen Verboten und Beschränkungen zurück. Sie betrifft nach dem norwegischen Konzept allerdings erheblich größere Adressatenkreise. Gerechtfertigt werden kann dies durch die Erwägung, dass es schon unterhalb der Schwelle für verbindliche Verwendungsbeschränkungen aus Gründen der Vorsorge geboten ist, Anreize zur Minimierung von Umweltbelastungen zu geben.
- Für die auf der *zweiten Stufe* bestehende, eigentliche Substitutionspflicht gilt das jedoch nicht. Sofern sich der bisher verwendete Stoff nach der Ermittlung seiner Auswirkungen als durch eine weniger gefährliche Substanz substituierbar erweist und der Substitution keine Verhältnismäßigkeits-erwägungen entgegenstehen, gleicht die Eingriffsintensität derjenigen eines Anwendungsverbots im Einzelfall. Zulässig dürfte der Eingriff jedoch trotzdem sein, weil er sich im Einzelfall (ohnehin) als verhältnismäßig darstellen muss. Im Vergleich zu § 17 ChemG kann das allgemeine Substitutionsprinzip eine erheblich breitere Wirkung entfalten, weil seine Anwendung nicht den Erlass einer Rechtsverordnung voraussetzt.

Um ein hohes Maß an Wirksamkeit sicherzustellen, bietet es sich an, die Verpflichtung für verschiedene Stoffe und Anwendungsbereiche differenziert aufzubauen und mit jeweils spezifischen Mitteln zur Durchsetzung zu versehen:

- Zunächst könnte eine allgemeine Verpflichtung zur Ermittlung von Umweltauswirkungen und zur Substitution durch weniger gefährliche Stoffe nach norwegischem Muster eingeführt werden, die durch eine Ermächtigung der zuständigen Behörden zu Substitutionsanordnungen im Einzelfall ergänzt wird.
- In besonders wichtigen Anwendungsbereichen der Wirtschaft könnten die Adressaten zusätzlich zur Dokumentation der Substitutionsprüfung angehalten werden (etwa nach dem Muster der Abfallbilanz und des Abfallwirtschaftskonzepts).
- Daneben bzw. darüber hinausgehend könnte die Ermächtigung zum Erlass von Substitutionsverordnungen gemäß § 17 Abs. 2 ChemG beibehalten werden, um Fallgestaltungen zu erfassen, in denen generell (unabhängig von Einzelfallsituationen) eine Substitution gefährlicher Stoffen für erforderlich erachtet wird.

### Implikationen des europäischen Gemeinschaftsrechts

Europarechtlich ähnelt die rechtliche Ausgangssituation einer derartigen Strategie grundsätzlich derjenigen des Vorschlags für umfassende nationale Stoffverbote. Da es hier im Wesentlichen um Aspekte der Abwehr von Gefahren bzw. der Verminderung von Belastungen im Inland geht, bestehen im Prinzip ausreichende Spielräume für nationale Regelungen in Richtung eines Substitutionsprinzips. Konflikte mit Art. 28 EGV entstehen jedenfalls dann nicht, wenn die Gefährlichkeit des Stoffes durch wissenschaftliche Erkenntnisse bestätigt wird und eine andere, den Binnenmarkt weniger stark beeinträchtigende Maßnahmen entsprechender Wirkung nicht ersichtlich ist.<sup>356</sup>

Differenzierter stellt sich die Situation für das Verhältnis zwischen einem nationalen Substitutionsgebot einerseits und gegebenenfalls konkurrierenden Regelungen einzelner EG-Richtlinien dar. Insoweit kommt es maßgebend darauf an, ob und inwieweit den speziellen EG-Richtlinien ein abschließender Charakter zuzusprechen ist.

Für die chemikalienrechtliche *Beschränkungsrichtlinie 76/769/EWG*<sup>357</sup> wird dies seitens des EuGH verneint, weil die Richtlinie nur Mindestanforderungen festlegt.<sup>358</sup> Das europäische

<sup>356</sup> Vgl. EuGH ("Kemikalieninspektionen"), NVwZ 2000, S. 1402, 1404 f. (Tz. 34 ff.)

<sup>357</sup> Richtlinie 76/769/EWG, ABl. EG 1976 Nr. L 262, S. 202, zuletzt geändert durch Richtlinie 1999/77/EG, ABl. EG 1999 Nr. L 207, S. 18.

<sup>358</sup> Vgl. EuGH ("Kemikalieninspektionen"), NVwZ 2000, S. 1402, 1404 f. (Tz. 30).

Chemikalienrecht steht der Einführung eines allgemeinen Substitutionsgebots folglich nicht entgegen.

Anders könnte dies jedoch sein, wo sich das Substitutionsprinzip mit speziellen produktbezogenen Richtlinien des Gemeinschaftsrechts überschneidet, welche selbst Regelungen über die Anwendbarkeit von Stoffen in Produkten enthalten. So liegt es insbesondere im Bereich der EG-Richtlinie über Altfahrzeuge und der geplanten Richtlinie über den Einsatz von gefährlichen Stoffen in elektrischen und elektronischen Geräten (sog. RoHS-Richtlinie), aber auch bei der BauProd-RL.

Im Anwendungsbereich der *Altfahrzeug-RL* besteht allerdings schon inhaltlich keine Konkurrenz unterschiedlicher Anforderungen. Die dort statuierten Einsatzverbote für bestimmte gefährliche Stoffe sind als Mindestanforderungen konzipiert. Die Richtlinie fordert die Mitgliedstaaten selbst auf, zusätzliche Anstrengungen zu unternehmen, um die Verwendung gefährlicher Stoffe im Fahrzeugbau zu reduzieren (vgl. Art. 4 Abs. 1 und 2 der Richtlinie). Abgesehen hiervon ist die Richtlinie auf Grundlage des Art. 175 EGV ergangen, so dass ohnehin von der Verstärkungsbefugnis des Art. 176 EGV Gebrauch gemacht werden könnte.

Demgegenüber besteht eine echte inhaltliche Konkurrenz zu den vorgesehenen Festlegungen der *RoHS-RL*. Die Richtlinie wird nicht auf die Umweltschutzkompetenzen der Gemeinschaft gestützt, sondern auf die legislativen Rechte zur Harmonisierung des Binnenmarkts (Art. 95 EGV), so dass die Verstärkungsbefugnis des Art. 176 EGV nicht zur Anwendung gebracht werden kann.

Ihres sachlichen Gehalts nach ist die Richtlinie bewusst so konzipiert, dass den Mitgliedstaaten keine Möglichkeiten verbleiben sollen, selbst strengere Beschaffenheitsanforderungen an die erfassten Produktgruppen zu stellen. Das ergibt sich aus Art. 1 sowie aus Erwägungsgrund 1 des ursprünglichen Richtlinienvorschlags<sup>359</sup>, der im weiteren Verfahren insoweit nicht geändert wurde.<sup>360</sup> Danach ist es das Ziel der Richtlinie, die unterschiedlichen Rechtsvorschriften der verschiedenen Staaten über die Verwendung gefährlicher Stoffe in EE-Geräten anzugleichen. Für produktbezogene Beschaffenheitsanforderungen ist die Richtlinie demnach als abschließend zu betrachten. Das gilt auch im Verhältnis zu nationalen Substitutionsgeboten allgemeinerer Art für die betreffenden Produkte, wie sich daraus ableiten lässt, dass die Kompetenz zur Aufstellung und Aktualisierung von Substitutionsregelungen nach dem Stand der technischen Entwicklung der Kommission zugewiesen wird, die hierbei von einem noch zu bildenden Ausschuss unterstützt wird.<sup>361</sup> Mit eigenständigen nationalen Substitutionsbestimmungen würde diese Kompetenzzuweisung unterlaufen.

Es ist hierbei nicht ganz eindeutig, welche sachliche Reichweite der aus dem abschließenden Charakter herrührenden Sperrwirkung der Richtlinie im Hinblick auf solche nationalen Regelungen zukommt, die im engeren Sinne zwar keine Beschaffenheitsanforderungen an die betreffenden Produkte formulieren, als *Querschnittsbestimmungen* die Stoffauswahl für die Produkte aber derart beeinflussen können, dass sie faktisch wie eine Verschärfung der Richtlinienbestimmungen wirken. So liegt es im Falle eines allgemeinen, vom Ansatz her stoffbezogenen (und nicht produktbezogenen) Substitutionsgebots. Die gleiche Problematik stellt sich auch

---

<sup>359</sup> Vgl. EU-Kommission, Drs. KOM(2009) 347 endg., S. 81 f..

<sup>360</sup> Vgl. EU-Kommission, Drs. KOM(2001) 316 endg., S. 1 ff.

<sup>361</sup> Vgl. EU-Kommission, Art. 6 und 7 des ursprünglichen Richtlinienvorschlags, Drs. KOM(2000) 347 endg., S. 85.

sonst im allgemeinen Chemikalienrecht, soweit dies Verwendungsbeschränkungen für bestimmte Substanzen ausspricht, die sich aufgrund ihres anwendungsbereichsübergreifenden Charakters auch auf die Verwendung von Stoffen in elektrischen und elektronischen Geräten auswirken können.

Die damit aufgeworfene Frage kann an dieser Stelle nicht abschließend beantwortet werden, zumal das Gesetzgebungsverfahren noch nicht abgeschlossen ist. Von der Zielsetzung der vorgesehenen Richtlinie spricht Einiges dafür, dass die Sperrwirkung der RoHS-Richtlinie auch *nicht* unmittelbar produktbezogene Regelungen erfasst, soweit sich diese wie eine Verschärfung auswirken. Anderenfalls könnte das Harmonisierungsziel nicht vollständig erreicht werden. Zu berücksichtigen ist auch, dass ein Abänderungsvorschlag des EU-Parlaments im legislativen Verfahren erfolglos blieb, nach dem die Festlegungen der Richtlinie unbeschadet der Beschränkungsrichtlinie 76/769/EWG ergehen sollten.<sup>362</sup> Die zuständigen Organe sind sich bei der Verabschiedung der RoHS-Richtlinie also durchaus dessen bewusst gewesen, dass die Richtlinie in den Anwendungsbereich des allgemeinen Chemikalienrechts hinein wirkt.

Geht man daher – konservativ – davon aus, dass die RoHS-Richtlinie einer Anwendung des allgemeinen Substitutionsgebots im konkreten Kollisionsfall entgegenstehen kann, so darf dies jedoch nicht dahin missverstanden werden, die Mitgliedstaaten würden dadurch daran gehindert, ein allgemeines Substitutionsgebot einzuführen oder beizubehalten. Im Verhältnis zwischen nationalen und konkurrierenden EG-rechtlichen Vorschriften genießt das EG-Recht zwar Anwendungsvorrang.<sup>363</sup> Einer Richtlinie entgegenstehende innerstaatliche Regelungen werden demnach durch das Gemeinschaftsrecht im Kollisionsfall verdrängt. Die konkurrierende nationale Regelung wird dadurch aber nicht als Ganze unzulässig oder nichtig.<sup>364</sup> Außerhalb des konkreten Kollisionsbereiches bleibt die nationale Regelung daher wirksam.

Nicht eindeutig ist, ob Entsprechendes auch für die Anwendung des Substitutionsprinzips im Überschneidungsbereich zur *BauProd-RL* gilt, welche es den Mitgliedstaaten untersagt, die Einfuhr und die Verwendung von auf Grundlage der Richtlinie normierten Produkten zu behindern. Im deutschen Recht wird bisher davon ausgegangen, dass die BauProd-RL die Anwendbarkeit des allgemeinen Umweltschutzrechts unberührt lässt.<sup>365</sup> Hierfür spricht, dass die Richtlinie im Unterschied zum RoHS-Konzept ihren Ursprung im Sachbereich der technischen Normen hat, der für sich vom Regelungsansatz her nicht beansprucht, die Zulässigkeit der Verwendung von Stoffen in Produkten umfassend und abschließend zu regeln, sondern – auch bei Aufnahme einzelner Umweltschutzkriterien – die allgemeine Brauchbarkeit der (End-) Produkte sicherzustellen. Vor diesem Hintergrund dürfte der BauProd-RL nicht die weiterreichende Absicht zuzusprechen sein, praktisch auch den Anwendungsbereich des allgemeinen (stoffbezogenen) Chemikalienrechts zu “überregeln”. Folgt man dieser Argumentation nicht, so wird auch im Bereich der Verwendung von Bauprodukten das Substitutionsgebot zurückstehen müssen und damit praktisch unanwendbar sein.

---

<sup>362</sup> Vgl. EU-Kommission, Drs. KOM(2001) 316 endg., S. 4.

<sup>363</sup> Grundlegend EuGH, Rspr. 1964, S. 1251, 1269 (Tz. 8 ff.).

<sup>364</sup> EuGH, Rspr. 1984, S. 483, 500 (Tz. 6); eingehend Streinz, Eurparecht, Rdnr. 180 ff. m.w.N.

<sup>365</sup> Vgl. § 4 Abs. 5 BauProdG.

### Implikationen des Welthandelsrechts

Im Hinblick auf die Anforderungen des Welthandelsrechts kann auf die Ausführungen zu den selektiven Stoffverboten auf EG-Ebene und den umfassenden nationalen Stoffverboten verwiesen werden, die auf die hiesige Fallgestaltung übertragen werden können.<sup>366</sup>

### Folgerungen

Die Erörterungen zur Vereinbarkeit eines allgemeinen Substitutionsgebots mit höherrangigem Recht führen zu dem Ergebnis, dass der Verwirklichung auf nationaler Ebene keine wesentlichen Hürden entgegenstehen, auf europäischer Ebene jedoch einige Friktionen auftreten (können), weil produktbezogene Richtlinien zum Teil für sich beanspruchen, die Verwendung von gefährlichen Stoffen in den betreffenden Bereichen abschließend zu regeln. Ein nationales Substitutionsgebot würde in derartigen Kollisionsfällen zurücktreten, weil der einschlägigen EG-Richtlinie ein Anwendungsvorrang zukäme. Deshalb erscheint es sinnvoll, die Einführung des Instrument auf der gemeinschaftsrechtlichen Ebene zu erwägen.

Von der Wirkungsweise her dürften von dem Instrument zwar gewisse Erfolge erwartet werden können. Eine effektive Umsetzung dürfte jedoch voraussetzen, dass das Substitutionsgebot mit einer Ermächtigung der Behörden zur Anordnung im Einzelfall verknüpft und – zumindest in relevanten Anwendungsbereichen – mit konkreten Dokumentationspflichten für die ermittelten Umweltauswirkungen verbunden wird. Damit wäre jedoch ein gewisser administrativer Aufwand verbunden.

Ein allgemeines Substitutionsgebot ist nicht geeignet, die chemikalienrechtlich bereits heute möglichen Verwendungsbeschränkungen im Verordnungswege vollständig oder gleichwertig zu ersetzen. Seine Rolle dürfte eher darin zu finden sein, das härtere Verordnungsinstrument als "weichere" Grundverpflichtung zu ergänzen. Diese Rolle dürfte es besonders gut erfüllen können, wenn es – mit Dokumentationspflichten versehen und durch konkrete Anordnungsmöglichkeiten unterlegt – in Bereichen von wirtschaftlichen Massenwendungen problematischer Stoffe zum Tragen gebracht wird.

#### 7.5.4 Zwischenbewertung

In Dänemark ist mit dem **Danish Lead Ban** ein umfassendes Import- und Vermarktungsverbot von bleihaltigen Produkten in Kraft getreten. Bei der rechtlichen Ausgangslage kann nach hiesiger Auffassung davon ausgegangen werden, dass umfassende und zugleich differenzierte *Stoffverbote für Blei* nach dem Modell des Danish Lead Ban in Deutschland möglich sind. Das Verhältnismäßigkeitsprinzip gebietet es allerdings, für jeden einzelnen Verwendungsbereich in den Blick zu nehmen, ob eine mildere Maßnahme vergleichbarer Wirkung ergriffen werden kann. Dabei ist auch zu berücksichtigen, inwiefern andere Regelungen (z.B. selektive Stoffverbote auf Grund von EG-Richtlinien) bereits ein ausreichendes Schutzniveau gewährleisten. Außerdem müssen der ökologischen Nutzen und die mit der Maßnahme verbundenen ökonomischen Belastungen genau ermittelt und wertend ins Verhältnis zueinander gesetzt werden, um gegebenenfalls einschränkende oder abfedernde Maßnahmen zur Vermeidung besonderer Härten zu ergreifen. Allerdings ist ein solches Gesetz toxikologisch und nicht ressourcenpolitisch zu begründen, weshalb für ein umfassendes Verbot von Kupfer aus Gründen der Ressourcenschonung keine ausreichende Grundlage besteht.

---

<sup>366</sup> Siehe oben, 7.5.1 und 7.5.2.

In **Norwegen** wurde eine Prüfpflicht für Unternehmen und die öffentliche Hand eingeführt, ob toxische und persistente Stoffe wie Blei in Produkten substituiert werden können. Das **Substitutionsprinzip** statuiert eine neuartige Verhaltenspflicht für die Verwender von gefährlichen Stoffen. Eine gewisse Wirkung dürfte sie bereits dadurch entfalten, dass sie von den Verwendern der Stoffe verlangt, die Umweltauswirkungen der betreffenden Stoffe und Produkte genau in den Blick zu nehmen. Andererseits erscheint es jedoch unrealistisch anzunehmen, dass die eigentliche Substitutionspflicht allein auf Grund der so gewonnenen neuen Erkenntnisse über die Umweltauswirkungen auf breiter Ebene befolgt wird. Deshalb dürfte es für den Fall einer Übertragung auf Deutschland angebracht sein, entweder behördliche Kontroll- bzw. Anordnungsmöglichkeiten für den Einzelfall zu schaffen oder weitreichende Sanktionen für den Fall der Nichtbefolgung vorzusehen. Dies würde allerdings erheblichen behördlichen Aufwand verursachen. Grundlegende Bedenken rechtlicher Natur gegen die Übertragbarkeit des Modells auf Deutschland sind nicht ersichtlich.

## 7.6 Getrennthaltungspflichten und Ablagerungsanforderungen

Die im vorliegenden Kontext betrachteten Stoffe Kupfer und Blei gehören zu denjenigen Substanzen, deren Rückführung in den Stoffkreislauf ungeachtet gewisser Marktpreisschwankungen schon heute wirtschaftlich relativ interessant sein kann. Das gilt jedoch nicht oder jedenfalls in deutlich vermindertem Umfang, sofern die Rückführung als solche mit verhältnismäßig hohen Kosten verbunden ist, sei es weil es sich um mehr oder weniger verstreute Kleinmengen handelt oder weil die Stoffe erst von anderen Materialien getrennt werden müssen. Deshalb landen insgesamt recht große Mengen sinnvoll stofflich verwertbarer Materialien auf der Deponie oder in einer – im Verhältnis zu dem potenziellen stofflichen Nutzen – minderwertigen energetischen Verwertung, z. B. von bleihaltigem PVC.

Diesen Problemen kann durch die oben diskutierten Instrumente in Teilbereichen bereits begegnet werden. Zur Unterstützung und Abrundung des Maßnahmenpakets erscheint es jedoch sinnvoll, ein System relativ strenger Anforderungen zur Entsorgung der betreffenden Wertstoffe aufzubauen. Bestandteile eines solchen Anforderungssystems könnten sein:

- die Bestimmung eines generellen Vorranges der stofflichen vor der energetischen Verwertung für bestimmte Abfallarten mit relevanten Metallanteilen (Wertstoffanteilen),
- das Verbot der Ablagerung von Abfällen bei Überschreiten bestimmter Metallgehalte (Wertstoffgehalte),<sup>367</sup>
- (alternativ hierzu) die genauere Bestimmung des Umgangs mit potenziell nutzbaren metallhaltigen Abfällen auf Deponien (z. B. mit EE-Schrott), um eine spätere Rückholung zu ermöglichen (z. B. in Gestalt einer Trennung von anderen Abfallarten auf der Deponie oder einer Katasterpflicht für Deponien).

Das geltende Abfallrecht stellt mit den Verordnungsermächtigungen des § 6 Abs. 2 Satz 3 KrW-/AbfG (für den Vorrang der stofflichen Verwertung) und des § 12 Abs. 1 KrW-/AbfG (für Deponierungsanforderungen) geeignete Rechtsgrundlagen zur Verfügung, um die genannten Instrumente realisieren zu können.

Die beiden derzeit im Diskussionsstadium befindlichen Entwürfe des BMU bzw. der Bundesregierung für eine Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV-E)<sup>368</sup>, für eine Deponieverordnung (De-

---

<sup>367</sup> So der Vorschlag des Öko-Instituts, Stellungnahme zum Entwurf der Verordnung über Deponien und Langzeitlager v. 22.10.2001, S. 21 f. und im Entwurf der Bergeversatzverordnung

ponieV-E)<sup>369</sup> und für eine Bergversatzverordnung (VersatzV-E)<sup>370</sup> bleiben hinter diesen anspruchsvollen Vorstellungen zurück. Sie enthalten jedoch einige Elemente, die sich auf die hier verfolgten Ziele positiv auswirken können:

- Der Entwurf der *Gewerbeabfallverordnung* verpflichtet gewerbliche Abfallerzeuger / Abfallbesitzer insbesondere grundsätzlich dazu, die einzelnen Abfallarten getrennt zu halten, um zu verhindern, dass ihre Verwertung durch nachträgliche Mischung erschwert wird. Zu den getrennt zu erfassenden Abfallfraktionen gehören auch Metalle (vgl. § 3 Abs. 1 GewAbfV-E). Für besonders überwachungsbedürftige Abfälle gilt, dass sie getrennt nach Abfallschlüsseln jeweils gesondert zu entsorgen sind (§ 3 Abs. 7 GewAbfV-E). Die energetische Verwertung gemischter Abfälle kommt grundsätzlich nur in Betracht, wenn dem Abfallerzeuger die Getrennterfassung oder die nachträgliche Sortierung technisch nicht möglich ist oder nicht zugemutet werden kann (§ 3 Abs. 3 GewAbfV-E). Für die energetische Verwertung werden Mindestanforderungen formuliert, um die Hochwertigkeit der Verwertung sicherzustellen. Metalle dürfen sich danach in energetisch zu verwertenden Mischabfällen nicht befinden (vgl. § 6 Abs. 1 GewAbfV-E). Für die ebenfalls unter bestimmten Umständen mögliche Zuführung zu einer Vorbehandlungsanlage gilt, dass dort eine Verwertungsquote von 85 % einzuhalten ist (vgl. § 5 GewAbfV-E). Damit schafft die geplante Gewerbeabfallverordnung im Bereich der dem Siedlungsabfall ähnlichen Gewerbeabfälle (einschließlich der Bauabfälle) einen weitgehenden Vorrang der stofflichen Verwertung von Metallen. Außerhalb der dem Siedlungsabfall ähnlichen Gewerbeabfälle wird derzeit offenbar kein dringender Regelungsbedarf gesehen. Entsprechendes gilt für die Abfälle aus privaten Haushaltungen. Die Einschränkung des Anwendungsbereiches der Verordnung auf "gewerbliche Siedlungsabfälle" ist unbefriedigend. In Teilbereichen anderer gewerblicher Abfälle (z. B. aus Elektronikanwendungen) besteht eine vergleichbare Problemlage. Die Formulierungen des Verordnungsentwurfs lassen nicht eindeutig erkennen, ob Elektronikabfälle aus gewerblichen Anwendungen erfasst sind. Sinnvoll wäre zudem die Schaffung ähnlicher Regelungen auch für den Bereich der Abfälle aus Privathaushalten. Aus rechtlicher Sicht würden derartige Weiterungen nicht auf Bedenken stoßen.
- Der Entwurf der *Deponieverordnung* dient der Umsetzung der EG-Deponierichtlinie.<sup>371</sup> Er gibt in erster Linie technische und organisatorische Anforderungen an die Errichtung, den Betrieb sowie die Stilllegung und Nachsorge von Abfallablagerungsstätten vor und ist insoweit eng mit den bereits existierenden Vorschriften der Abfallablagerungsverordnung (AbfAbIV) sowie der TA Abfall und der TA Siedlungsabfall verzahnt. Vorgaben in Richtung einer späteren Rückholbarkeit einzelner Abfallfraktionen oder eines Deponiekatasters kennt der Entwurf nicht. Entsprechendes wäre im Bereich der Siedlungsabfälle mit dem Konzept der Ablagerungsverordnung (AbfAbIV) und der TA Siedlungsabfall nicht zu vereinbaren, nach dem die Deponierung von Abfällen grundsätzlich nur noch nach einer Vorbehandlung zulässig sein soll. Erreicht wird dies in erster Linie durch die Zuordnungskriterien des Anhangs 1 der AbfAbIV. Folgt man dem Konzept der vorrangigen Vorbehandlung zum Zwecke der Inertisierung aus grundsätzlichen abfallwirtschaftlichen Erwägungen, so wäre es wünschenswert, schärfere Grenzlinien für die Zulässigkeit der Ablagerung von hochwertig stofflich verwertbaren Abfällen zu ziehen, also etwa die Ablagerung von Abfällen mit relativ hohen Metallanteilen zu untersagen. Rechtliche Hinderungsgründe hierfür sind nicht ersichtlich.
- Der Entwurf der *Bergversatzverordnung* enthält ein Ablagerungsverbot für Metalle, das sich danach bemisst, ob die Konzentration des jeweiligen Stoffes im Abfall über dem Eineinhalbfachen der natürlichen Erzkonzentration liegt. Für Blei wird diese Schwelle bei zehn Gewichtsprozent, für Kupfer bei einem Gewichtsprozent angenommen. Die Bleikonzentrationen in den wichtigsten Abfallströmen, die ein Potenzial für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung bieten, liegen nach den Er-

---

<sup>368</sup> BMU, vom Bundeskabinett am 7. November 2001 beschlossener Entwurf über eine Verordnung über die Entsorgung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen (GewAbfV). BMU, Entwurf einer Verordnung über Deponien und Langzeitlager (DepV), Stand: 4. September 2001.

<sup>369</sup> BMU, Entwurf einer Verordnung über Deponien und Langzeitlager (DepV), Stand: 4. September 2001.

<sup>370</sup> BMU, vom Bundeskabinett beschlossener Entwurf einer Verordnung über den Versatz von Abfällen unter Tage und zur Änderung von Vorschriften zum Abfallverzeichnis vom 6. Februar 2002.

<sup>371</sup> Richtlinie 1999/31/EG über Abfalldeponien, ABl. EL 1999 Nr. L 182, S. 1.



kennnissen dieser Studie unterhalb dieser Werte: Der Bleigehalt in PVC beträgt zwischen 1 und 2 %, in Bildschirmglas liegt er bei 7,5 %. Demgegenüber liegt der Kupfergehalt in relevanten Abfallgruppen oberhalb der genannten Schwelle. Der Kupfergehalt vieler EE-Geräte liegt zwischen zwei und 20 Gew.-%, so dass diese nicht mehr abgelagert werden dürften. In Bauschutt, Siedlungsabfällen und der Schredderleichtfraktion liegen die Blei- und Kupfergehalte deutlich unterhalb der Grenzwerte. Eine positive Lenkungswirkung wäre demnach zwar für Kupfer, nicht aber für Blei in Abfällen zu erwarten.

## 7.7 Globale Ressourcensteuerung

Durch ein Best Available Techniques Reference Document und möglicherweise einer Neukonzeption des Haftungsrechts sollen auf EU-Ebene höhere Standards für den Bergbau geschaffen werden. Die Diskussion von Sozial- und Umweltstandards für den Bergbau steckt auf WTO-Ebene noch in den Kinderschuhen. Angesichts einer wachsenden Weltbevölkerung mit wachsenden materiellen Bedürfnissen könnten jedoch langfristig auf globaler Ebene auch eine globale Primärressourcensteuer oder Abbaulizenzen ins Blickfeld rücken. Diese Ansätze werden allerdings derzeit lediglich in akademischen Kreisen diskutiert.

### 7.7.1 Einführung einer Primärressourcensteuer

Das Modell der Besteuerung von Primärressourcen kommt grundsätzlich sowohl auf der Ebene des nationalen als auch des europäischen Gemeinschaftsrechts in Betracht.

Regelungstechnisch wird hier davon ausgegangen, dass die Steuer auf den (Erst-) Einsatz von Primärmaterial erhoben wird. Sie erstreckt sich als solche nicht auf verarbeitete Produkte. Importierte Fertigprodukte mit Anteilen der betreffenden Primärrohstoffe würden daher von der Steuer nicht erfasst. Das könnte zu Wettbewerbsnachteilen der deutschen Hersteller von Endprodukten führen.

Denkbar ist, zum Zwecke des Ausgleichs dieser Nachteile eine entsprechend hohe Steuer auf Importprodukte mit Primärstoffbestandteilen einzuführen. Dadurch würde der regulative Aufwand allerdings erhöht, weil hierfür ein umfangreiches produktbezogenes Kontrollsystem eingerichtet werden müsste.<sup>372</sup> Ist aber die Konstruktion eines produktbezogenen Kontrollsystems ohnehin erforderlich, so bietet sich als Alternative an, die Steuer von vornherein nicht am Umfang des Primärstoffeinsatzes in Herstellungs- und Verarbeitungsprozessen auszurichten, sondern am Anteil der Primärstoffe in den betreffenden Endprodukten.

### Gemeinschaftsrechtliche Lösung

*Gemeinschaftsrechtlich* könnte die Einführung einer Primärstoffsteuer auf Art. 93 EGV gestützt werden. Nach dieser Vorschrift können die zuständigen Organe der EG Bestimmungen über die Harmonisierung der Rechtsvorschriften über die Verbrauchsabgaben und sonstige indirekte Steuern erlassen, soweit die Harmonisierung für das Funktionieren des Binnenmarkts notwendig ist.

Damit liegt innerhalb des Gemeinschaftsrechts grundsätzlich eine geeignete Rechtsgrundlage vor, für die im Einzelnen noch geklärt werden müsste, inwieweit diese einer Inanspruchnahme für die hier verfolgten umweltpolitischen Regelungsmotive zugänglich wäre. Das dürfte im Grundsatz anzunehmen sein, weil die alternativ denkbare Erhebung nationaler Steuern auf Primärstoffe zu relativ schwer wiegenden Friktionen im Binnenmarkt führen könnte.

---

<sup>372</sup> Vgl. IZT et. al. 2000.

Diese Erwägungen sind jedoch von relativ untergeordneter praktischer Bedeutung, da für die Ergreifung steuerlicher Maßnahmen auf Gemeinschaftsebene gemäß Art. 93 EGV ein einstimmiger Beschluss des Rates erforderlich ist. Eine Erreichung dieses Quorums erscheint unrealistisch.

### **Bundesdeutsche Lösung**

Auf *nationaler Ebene* ist eine Primärstoffsteuer als Verbrauchssteuer im Sinne des Art. 106 Abs. 1 Nr. 2 GG einzustufen, da sie den Verbrauch von konsumierbaren Gütern mit einer Abgabe belegt und ihre Abwälzung auf den Endverbraucher möglich ist.<sup>373</sup> Für Verbrauchssteuern steht dem Bund gemäß Art 105 Abs. 2 GG die konkurrierende Gesetzgebungskompetenz zu.

Die Steuer stellt einen Eingriff in das Grundrecht der Berufsfreiheit (Art. 12 Abs. 1 GG) dar, weil mit ihr gezielt die objektiven Bedingungen unternehmerischer Tätigkeiten beeinflusst werden. Der Eingriff ist jedoch von eher geringem Gewicht, soweit sie nicht in ihrer Wirkung direkten ordnungsrechtlichen Eingriffen gleichkommt. Eine hinreichende Rechtfertigung für einen solchen Eingriff liegt vor. Er kann als Maßnahme zur Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen auf das "Staatsziel Umweltschutz" (Art. 20a GG) gestützt werden. Der Verhältnismäßigkeitsprüfung im Hinblick auf den Eingriff in Art. 12 Abs. 1 GG dürfte die Steuer ohne weiteres standhalten können.<sup>374</sup>

Im Hinblick auf die übergeordneten Vorgaben des europäischen Gemeinschaftsrechts ist die Steuer an den Vorgaben der Richtlinie 92/12/EWG des Rates vom 25. Februar 1992 über das allgemeine System, den Besitz, die Beförderung und die Kontrolle verbrauchsteuerpflichtiger Waren<sup>375</sup> zu messen. Art. 3 Abs. 1 der Richtlinie reguliert die Einführung von Verbrauchssteuern auf Mineralöle, Alkohol und alkoholische Getränke sowie Tabakwaren in den Mitgliedstaaten. Gemäß Absatz 3 der Vorschrift ist es den Mitgliedstaaten gestattet, Steuern auf *andere* als die in Absatz 1 genannten Waren einführen oder beibehalten, sofern diese Steuern im Handelsverkehr zwischen Mitgliedstaaten keine mit dem Grenzübertritt verbundenen Formalitäten nach sich ziehen. Diese Voraussetzung kann das System bei entsprechender Ausgestaltung erfüllen.

Im Übrigen bleibt die Steuer an Art. 90 EGV zu messen. Danach dürfen die Mitgliedstaaten auf Waren aus anderen Mitgliedstaaten weder unmittelbar noch mittelbar höhere Abgaben gleich welcher Art erheben, als gleichartige inländische Waren unmittelbar oder mittelbar zu tragen haben.

Der insoweit maßgebende Begriff "gleichartig" setzt an den Beschaffenheitsmerkmalen der betreffenden Produkte an. Anders als bei Art. III Abs. 4 GATT kommt es insoweit nicht auf die Substituierbarkeit an. Da im Ausgangsmodell der Primärstoffsteuer inländisch wie ausländisch erzeugtes Primärmaterial gleich hoch belastet wird, kann ein Verstoß gegen Art. 90 EGV durch die Steuer selbst nicht vorliegen.

Weniger eindeutig fällt die Prüfung für die in Aussicht genommene Ausgleichsbesteuerung auf Importprodukte mit entsprechenden Primärstoffanteilen aus. Insoweit müsste strikt dafür Sorge getragen werden, dass die Ausgleichsbesteuerung im Ergebnis nicht – auch nicht in Einzelfällen

---

<sup>373</sup> Zum Begriff der Verbrauchssteuer vgl. BVerfGE 27, S. 375, 384; BVerfGE 98, S. 106, 123 f.

<sup>374</sup> Vgl. IZT et. al. 2000; zum vergleichbaren Fall einer Primärenergiesteuer vgl. Kloepfer/Thull, DVBl. 1992, S. 195, 199 ff. m.w.N.

<sup>375</sup> ABl. EG Nr. L 76 vom 23. März 1992 S. 1, zul. geändert durch die Änderungsrichtlinie 94/74/EG des Rates vom 22. Dezember 1994 (ABl. EG Nr. L 365 vom 31. Dezember 1994, S. 46.

– zu einer effektiven Höherbelastung der Importprodukte gegenüber der Abgabenlast für die entsprechenden einheimischen Waren führt. Dieses Problem stellte sich nicht, wenn die Steuer von vornherein am Primärstoffanteil in Endprodukten festgemacht würde.

In verfahrensrechtlicher Hinsicht ist zu beachten, dass die EG-Richtlinie über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der technischen Normen und technischen Vorschriften (sog. Informationsrichtlinie)<sup>376</sup> die Notifizierung neuer nationaler Rechtsvorschriften verlangt, sofern diese die Zusammensetzung von Erzeugnissen beeinflussen können (vgl. Art. 8 der Richtlinie). Für den Fall einer abgabenrechtlichen Lösung sieht die Richtlinie jedoch nicht vor, dass der Mitgliedstaat vor dem Inkrafttreten den Eingang einer Stellungnahme seitens der EU-Kommission abwarten muss.<sup>377</sup>

### Welthandelsrechtliche Implikationen

*Welthandelsrechtlich* sind die Modelle der Primärstoffbesteuerung an Art. III Abs. 2 GATT zu messen. Nach Satz 1 dieser Vorschrift dürfen eingeführte Waren “weder direkt noch indirekt höheren inneren Abgaben oder sonstigen Belastungen ausgesetzt werden als gleichartige inländische Waren”. Satz 2 ergänzt die Bestimmung dahin, dass die Vertragsstaaten “auch sonst” ihre inneren Abgaben nicht in einer Weise anwenden dürfen, die den Grundsätze des Art. III Abs. 1 widerspricht. Die in Bezug genommene Vorschrift des Art. III Abs. 1 GATT verbietet Maßnahmen, mit denen inländische Waren “geschützt” werden.

Der Appellate Body der WTO interpretiert die Bedeutung des Begriffes “gleichartig” an dieser Stelle anders als in Art. III Abs. 4. In beiden Fällen kommt er zwar zum gleichen Gesamtergebnis, nämlich dass es um Waren gehen muss, die entweder gleiche *Beschaffenheitsmerkmale* aufweisen oder auf dem Markt praktisch *austauschbar* (substituierbar) sind. Im Falle des Absatzes 2 ordnet er die erste Gruppe dem in Satz 1 benutzten Begriff “gleichartig” zu (Satz 1), die zweite Gruppe den milderen Vorgaben des Satzes 2. Im Falle des Absatzes 4 sieht er beide Kriterien durch den Begriff “gleichartig” verkörpert.<sup>378</sup>

Für die hier im Hinblick auf Abgabenbelastungen in Betracht kommende Anwendung des Art. III Abs. 2 GATT hat das eine wichtige Konsequenz. Geht man nämlich von dem engen Kriterium der gleichen Produktbeschaffenheit aus, so sind Produkte, in denen der betreffende Stoff durch einen anderen ersetzt wird (auch einen Sekundärstoff) nicht als “gleichartig” einzustufen. Produkte, die unterschiedlich beschaffen sind, jedoch in unmittelbarer Marktkonkurrenz zueinander stehen und daher substituierbar sind, fallen insoweit lediglich unter den weniger umfassenden Schutz des Art. III Abs. 2 Satz 2 GATT.

Für den Fall der Primärstoffsteuer bedeutet das:

- Vergleicht man die Behandlung inländischer und importierter Primärstoffe bei dem Ausgangsmodell der Primärstoffsteuer, so liegen zwar gleichartige Produkte im Sinne von Art. III Abs. 2 Satz 1 GATT vor. Es fehlt aber an einer Ungleichbehandlung.<sup>379</sup>
- Vergleicht man auf Basis des Modells einer Primärstoffsteuer mit Ausgleichsabgabe die Behandlung *inländischer* und *ausländischer Endprodukte*, die in unterschiedlichem Umfang Primärstoffe

<sup>376</sup> ABl. EG 1998 Nr. L 204, S. 37.

<sup>377</sup> Das verlangt Art. 9 der Informationsrichtlinie grundsätzlich für alle “technischen Vorschriften”. Die EU-Kommission ist insoweit an bestimmte Fristen gebunden. Abgabenrechtliche Instrumente sind insoweit privilegiert (vgl. Art. 10 Abs. 4 der Richtlinie).

<sup>378</sup> Eingehend Appellate Body, EC/Asbestos, Tz. 93 ff.

<sup>379</sup> So auch Winter, in: GfU 2001, S. 71, 92.

enthalten, so liegen bei diesem Modell keine gleichartigen, aber substituierbare Waren vor. Die Produkte werden unterschiedlich behandelt. Nur ausländische Endprodukte werden einer Ausgleichsabgabe unterworfen, weil nur sie von der Primärstoffabgabe nicht erfasst werden. Die Ungleichbehandlung ist (nur) unzulässig, wenn sie (objektiv) zum Schutz inländischer Ware vor ausländischer Konkurrenz führt (Art. III Abs. 2 Satz 2/Art. III Abs. 1 GATT). Das ist nach Auffassung des GATT-Streitbeilegungsorgans im Fall "Superfund" aber nicht der Fall, wenn die Maßnahme nur dazu dient, die anderenfalls vorliegende Höherbelastung von Inlandsware auszugleichen ("border tax adjustment").<sup>380</sup> Daher sollte sichergestellt werden, dass die Effektivbelastung durch die Ausgleichsabgabe nicht höher ist als diejenige der (inländischen) Endprodukte mit Primärstoffanteilen.

- Vergleicht man die mit der Primärstoffbesteuerung unterschiedlich behandelten in- und ausländischen *Sekundärstoffe einerseits* und die (im Falle von Kupfer allein) ausländischen *Primärstoffe* andererseits, so ist unklar, ob die WTO-Organe die beiden Kategorien als gleichartig einordnen würden. Dafür spricht, dass die physische Beschaffenheit (zumindest) identisch sein kann. Dagegen spricht jedoch, dass die Verwendung von Sekundärstoffen aus dem Blickwinkel des Nachhaltigkeitsziels zu den entscheidenden Beurteilungskriterien für Produkte zählt. Der (zunehmend umweltbewusste) Markt realisiert dies zumindest in Teilbereichen bereits. Da sich auch die WTO mittlerweile dem Ziel der nachhaltigen Entwicklung verpflichtet sieht (vgl. die Präambel zum WTO-Abkommen 1994), dürften zumindest gewisse Chancen bestehen, dass sich diese Sichtweise auch in der WTO durchsetzt. Nimmt man bei vorsichtiger Herangehensweise *gleichwohl* einen tatbestandlichen Verstoß gegen das Gebot des Art. III Abs. 2 Satz 1 GATT an, so ist im Folgenden zu prüfen, ob die Maßnahme den Anforderungen des Art. XX GATT standhält. In diesem Zusammenhang stellt sich (erneut) die Frage, ob und in welchen Fallgestaltungen sich ein Vertragsstaat auf extraterritorial bezogene Umweltschutzzwecke berufen kann. Einige Argumente sprechen dafür, das jedenfalls bei Ressourcen von (welt-) gemeinschaftlichem Interesse anzunehmen, deren Erschöpfung alle Staaten als Verlust treffen würde.<sup>381</sup> Die Ressourcen mögen zwar tatsächlich nur in bestimmten Staaten belegen sein, sie gingen jedoch im Falle ihrer Erschöpfung für den gesamten Naturhaushalt und die Weltgemeinschaft unwiederbringlich verloren. Geht man auf dieser Grundlage davon aus, dass das Ziel der Ressourcenschonung potenziell von Art. XX GATT gedeckt sein kann, so ist allerdings im Weiteren zu beachten, dass der Appellate Body der WTO *konkrete* Bemühungen um die Vermeidung eines Handelskonflikts zwischen den betreffenden Staaten verlangt. Im Übrigen ist eine Berufung auf Art. XX GATT (selbstverständlich) möglich, soweit es um inländische Umweltbelastungen geht. Im Falle von Zielen des Gesundheitsschutzes sind dabei die Modifikationen des SPS zu beachten.
- Vergleicht man die Behandlung inländischer *Ersatzstoffe* anderer Art (z. B. im Falle eines Verzichts auf Blei) mit ausländischen *Primärstoffen*, so ist demgegenüber die Gleichartigkeit zu verneinen, die Substituierbarkeit jedoch zu bejahen. Folglich findet Art. III Abs. 2 Satz 2 GATT Anwendung. Eine Ungleichbehandlung liegt hier vor. Dem Verdikt der zugrunde liegenden Vorschrift unterfällt die Unterschiedsbehandlung aber nur, wenn sie eine Schutzwirkung für inländische Produkte entfaltet. Anderenfalls wäre auch hier eine Prüfung am Maßstab des Art. XX GATT vorzunehmen.

### Folgerungen

In der Konsequenz ergibt sich für das Modell der Primärressourcenbesteuerung ein zentraler Problembereich. Geht man – konservativ – davon aus, dass die WTO-Organe Primär- und Sekundäreinsatzstoffe als "gleichartig" im Sinne des Art. III Abs. 4 GATT einstufen, so ist die Unterschiedsbehandlung vor dem Regime der WTO nur tragfähig, wenn eine Rechtfertigung im Sinne des Art. XX GATT vorliegt und die Besteuerung insoweit einer Verhältnismäßigkeitsprüfung standhält. Bei einer Besteuerung zum Zwecke der Verminderung des Schadstoffeintrags im Inland dürfte dies ohne weiteres angenommen werden können. Im Hinblick auf Ziele der

<sup>380</sup> In diesem Sinne der Bericht des GATT-Panels im Fall U.S./Superfund, L/6175-34S/136, Nr. 5.2.5. ; vgl. dazu Winter, in: GfU 2001, S. 71, 93 f.

<sup>381</sup> Vgl. Ginzky, ZUR 2000, S. 216, 220 f.; Winter, in: GfU 2001, S. 71, 89; Hilf, NVwZ 2000, S. 481, 485; SRU 2000, Tz. 90 f.

(weltweiten) Ressourcenschonung ist das nicht im gleichen Maße sicher, auch wenn die bisherige Rechtsprechung des Appellate Body für eine derartige Position gewisse Spielräume erkennen lässt. Erforderlich sind in diesem Falle jedoch zwischenstaatliche Bemühungen um die Vermeidung eines Handelskonflikts.

Anders liegt es, wenn – wie hier vertreten – der unterschiedliche Sekundärstoffgehalt als Kriterium für die Feststellung einer “Ungleichartigkeit” von Produkten akzeptiert wird. Geht man hiervon aus, so bleibt für die Ergreifung abgabenrechtlicher Instrumente durch die Vertragsstaaten der WTO mit dem Ziel der Förderung des Sekundärstoffeinsatzes ein relativ breiter Raum.

Über diese Frage wurde im Rahmen der WTO noch nicht entschieden. Immerhin sprechen einige Entscheidungen der WTO-Streitbeilegungsorgane und ihrer Vorgänger dafür, nicht nur Aspekte der physischen Beschaffenheit im engeren Sinne, sondern auch der stofflichen Wirkungen<sup>382</sup> und der Verbraucherpräferenzen am Markt<sup>383</sup> als maßgebend für die Feststellung der Gleichartigkeit heranzuziehen. Der Appellate Body betont generell, dass nur eine einzelfallbezogene Betrachtung geeignet sein könne, um festzustellen, ob verschiedene Produkte als gleichartig anzusehen sind oder nicht.<sup>384</sup> Die Entscheidungen lassen zumindest gewisse argumentative Spielräume deutlich werden, auf deren Grundlage es gelingen kann, das Merkmal des Sekundärstoffgehalts als Unterschiedskriterium für die Bestimmung der (Un-) Gleichartigkeit von Produkten im Sinne von Art. III Abs. 2 und 4 GATT zur Anerkennung zu bringen.

Grundlegende europa- und verfassungsrechtliche Probleme sind demgegenüber nicht zu erkennen.

Somit ergibt die Gesamtbetrachtung für die Chancen zur Einführung einer Primärstoffsteuer ein günstigeres Bild als für die Strategie, das Inverkehrbringen von Produkten an die Erfüllung bestimmter Umweltstandards im Erzeugerstaat zu koppeln bzw. im Falle der Nichteinhaltung solcher Standards Nachteile für die betreffenden Produkte zu statuieren.

### **7.7.2 Einführung einer Lizenzpflicht für Primärrohstoffe**

Die Einführung eines Lizenzsystems für Primärrohstoffe lässt sich wie die Primärstoffsteuer prinzipiell sowohl auf gemeinschaftsrechtlicher als auch auf einzelstaatlicher Ebene vorstellen.

#### **Gemeinschaftsrechtliche Lösung**

*Gemeinschaftsrechtlich* stehen hierfür sowohl die relativ weit reichenden Kompetenzen der EG auf dem Gebiete des Binnenmarkts (Art. 95 EGV) als auch die Befugnisse für Regulierungen zum Zwecke des Umweltschutzes (Art. 174 f. EGV) zur Verfügung. Von welcher der beiden in Betracht kommenden Vorschriften Gebrauch gemacht wird, hängt von der schwerpunktmäßigen Zielsetzung des Instruments ab.<sup>385</sup> Da die komplette Installierung eines besonderen Marktsystems einen engen Bezug zum Binnenmarkt hat, dürfte eher die Kompetenz für Binnenmarktregulierungen einschlägig sein.

---

<sup>382</sup> GATT-Panel, US/Taxes on Automobiles, US/DS31/R, Tz. 5.8, 5.9.

<sup>383</sup> Vgl. Appellate Body, Japan – Alcoholic Beverages, WT/DS8, 10, 11/AB/R, S. 22 f.; Korea/Alcoholic Beverages, WT/DS75, 84/AB/R, Tz. 137.

<sup>384</sup> Appellate Body EC/Asbestos, Tz. 102 f.

<sup>385</sup> Vgl. die Entscheidung des EuGH zur Abfallrahmenrichtlinie, nach der es auf den “Hauptzweck” ankommt, EuGH, Slg. 1993, S. 939; relativierend dazu Streinz, Europarecht (1999), Rdnr. 946 m.w.N.

### Bundesdeutsche Lösung

Für eine *deutsche* Lösung ist nicht ganz eindeutig, auf welche Kompetenznorm des GG sich der Gesetzgeber stützen könnte. Eine einheitliche Kompetenz zur Gesetzgebung auf dem Gebiete des Umweltschutzes existiert nicht. Die Befugnis zur Gesetzgebung auf dem Gebiete der “Abfallbeseitigung” (Art. 74 Abs. 1 Nr. 24 GG) reicht dafür nicht aus. Näher liegt es, die Kompetenznorm des “Rechts der Wirtschaft” (Art. 74 Abs. 1 Nr. 11 GG) in Anspruch zu nehmen, die das BVerfG definiert als “alle Normen, die das wirtschaftliche Leben und die wirtschaftliche Betätigung regeln”.<sup>386</sup> Die in die Klammer des Art. 74 Abs. 1 Nr. 11 GG gezogene Aufzählung ist nicht erschöpfend.<sup>387</sup> Auch das ebenfalls stoffbezogene Chemikalienrecht wird dieser Kompetenznorm zugeordnet.<sup>388</sup>

Mit dem Lizenzsystem werden die unternehmerischen Betätigungsfelder in einem bestimmten Marktsegment eingeschränkt. Das Instrument formuliert demnach eine “objektive Berufszulassungsschranke” im Sinne der Rechtsprechung des BVerfG zu Art. 12 Abs. 1 GG.<sup>389</sup> Der Staat kann die Ergreifung des Instruments vor den Anforderungen des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes grundsätzlich durch die verfolgten Ziele der Minderung von Umweltbelastungen und der Ressourcenschonung hinreichend rechtfertigen (vgl. insbesondere Art. 20a GG). Hinsichtlich der Einzelheiten wird er indessen sehr differenziert in den Blick nehmen müssen, welche Wirtschaftsbeteiligten auf welche Weise konkrete Nachteile erfahren. Das gilt auch im Hinblick auf die Grundrechte der Konsumenten, da die Lizenzpflicht die Handlungsspielräume der Verbraucher deutlich beeinflusst (z. B. der Bauherren im Hinblick auf die Auswahl der Baustoffe). Vom Ansatz her sind gegen ein solches System verfassungsrechtlich aber keine durchgreifenden Bedenken zu erheben.<sup>390</sup>

Die *Input-Lizenzpflicht* wurde in ihren Grundstrukturen bereits im Kapitel über Baustoffe erörtert.<sup>391</sup> Dabei wurde für einen entsprechenden nationalen Alleingang herausgearbeitet, dass erhebliche Bedenken hinsichtlich der Vereinbarkeit eines solchen Konzepts mit der BauProd-RL der EG<sup>392</sup> bestehen, nach der die Verwendung gemeinschaftlich normierter Bauprodukte durch einzelstaatliche Regelungen nicht behindert werden darf (Art. 6 Abs. 1 BauProd-RL). Deutschland hat zwar die Möglichkeit, seine eigenen Vorstellungen über Anforderungen an Bauprodukten in den gemeinschaftlichen Normungsprozess einzubringen. Das Lizenzsystem formuliert jedoch keine Produkthanforderungen, sondern reguliert den Produkteinsatz. Damit passt sich das Instrument in das Konzept der BauProd-RL nicht ein.<sup>393</sup>

Allenfalls für einen gewissen Übergangszeitraum – bis EG-weite Normen hinsichtlich der betreffenden Produkte aufgestellt sind – stünde der Bundesrepublik noch genügend Raum zur

---

<sup>386</sup> BVerfGE 8, S. 143, 148 f.; entsprechend BVerfGE 55, S. 274, 308; BVerfGE 68, S. 310, 330.

<sup>387</sup> Vgl. BVerfGE 29, S. 402, 408 ff.; BVerwGE 45, S. 1, 3.

<sup>388</sup> Vgl. Pieroth, in: Jarass/Pieroth, GG, Art. 74 Rdnr. 26 m.w.N.

<sup>389</sup> Zur Systematik des Grundrechts der Berufsfreiheit vgl. BVerfGE 25, S.1, 12 ff.; E 30, S.292, 316; E 37, S.1, 17 ff.; E 39, S.210, 225 f.

<sup>390</sup> Eingehend und differenzierend Brandt/Röckseisen, Konzeption für ein Stoffstromrecht, Berichte des Umweltbundesamtes 7/00, Berlin 2000, Teil 4, A IV. 4. sowie Teil 5, B.

<sup>391</sup> Siehe oben, 7.4.3.

<sup>392</sup> Richtlinie 89/106/EWG des Rates v. 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte, ABl. EG 1988 L 40, S. 12 ff., zuletzt geändert durch Richtlinie 93/68/EWG ABl. EG 1993 L 220, S. 1.

<sup>393</sup> Siehe oben, 7.4.3.

Verfügung, um ein solches Instrument einzuführen. Das System müsste jedoch sukzessive beschränkt werden, soweit auf Grundlage der BauProd-RL harmonisierte Normen für die erfassten Baumaterialien entwickelt worden sind.

Die hinsichtlich des speziellen Lizenzsystems im Bauproduktbereich erhobenen Bedenken gelten auch gegenüber der Einführung einer allgemeinen Inputlizenz für knappe Ressourcen, sofern nicht daran gedacht ist, den Bausektor auszuschließen.

Soweit es nicht um den Bereich der Bauprodukte geht, ist die bereits im Zusammenhang der Primärstoffsteuer erwähnte Richtlinie über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der technischen Normen und Vorschriften (sog. *Informationsrichtlinie*)<sup>394</sup> zu beachten. Die Informationsrichtlinie, die in ihrer ursprünglichen Fassung von der EG im Rahmen der sog. "neuen Konzeption" ("New Approach") für das Normungswesen ergangen ist,<sup>395</sup> enthält selbst zwar keine materiellrechtlichen Anforderungen, verlangt von den Mitgliedstaaten jedoch die Durchführung eines *Notifizierungsverfahrens*, falls beabsichtigt ist, eine neue nationale "technische Vorschrift" zu erlassen.

Zu den "technischen Vorschriften" zählt die Richtlinie einerseits jede Art der verbindlichen Festsetzung von Spezifikationen für Produkte, andererseits auch jede sonstige verbindliche innerstaatliche Regelung, die "zum Schutz der Verbraucher oder der Umwelt erlassen wird und den Lebenszyklus des Erzeugnisses betrifft, sofern diese die Zusammensetzung oder die Art des Erzeugnisses oder seine Vermarktung wesentlich beeinflussen können" (vgl. Art. 1 Nr. 1 und 3 in Verbindung mit Art. 1 Nr. 9 der Richtlinie). Geplante nationale technische Vorschriften dürfen grundsätzlich erst in Kraft gesetzt werden, wenn den anderen Mitgliedstaaten und der EU-Kommission in genauer bestimmter Weise und unter Wahrung bestimmter Fristen Gelegenheit gegeben worden ist, Einwände zu erheben (vgl. Art. 8 und 9 der Richtlinie). In bestimmten Fällen sind partielle Ausnahmen bzw. Modifikationen vorgesehen (u. a. für Herstellungsverbote, freiwillige Vereinbarungen und abgabenrechtliche Bestimmungen, vgl. Art. 10 der Richtlinie).<sup>396</sup>

Relativ geringfügige Unsicherheiten ergeben sich aus der im Übrigen erforderlichen materiellen Prüfung am Maßstab der *primärrechtlichen* Bestimmungen der EG im EGV:

Art. 28 EGV verbietet grundsätzlich mengenmäßige Einfuhrbeschränkungen und alle Maßnahmen *gleicher Wirkung*. Hierzu kann vom Ansatz her auch die Marktregulation über ein Lizenzsystem gerechnet werden. Die Lizenzpflicht kann demgegenüber nicht als eine (echte) mengenmäßige Einfuhrbeschränkung betrachtet werden, weil hier nicht der Import als solcher, sondern die Verwendung von Stoffen geregelt wird.

Art. 30 EGV gestattet Ausnahmen von dem Verbot von Maßnahmen gleicher Wirkung wie mengenmäßigen Einfuhrbeschränkungen unter anderem zum Schutze der Gesundheit und des Lebens von Menschen, Tieren oder Pflanzen; sie dürfen aber weder ein Mittel zur willkürlichen Diskriminierung noch zur verschleierte Beschränkung des Handels zwischen den Mitgliedsstaaten sein. Nach der gefestigten Rechtsprechung des EuGH kommt es allerdings bei einer Berufung auf Ziele des Umweltschutzes in der Regel *nicht* auf diese Ausnahmevorschrift an, weil schon eine Maßnahme gleicher Wirkung nicht vorliegen soll, wenn eine anzuerkennende

---

<sup>394</sup> ABl. EG 1998 Nr. L 204, S. 37.

<sup>395</sup> Richtlinie 83/189/EWG (ABl. EG 1983 Nr. L 109, S. 8).

<sup>396</sup> Zur Ausnahme für abgabenrechtliche Bestimmungen siehe bereits oben, 7.7.1.

Rechtfertigung des Umweltschutzes vorliegt.<sup>397</sup> Der Tatbestand des Art. 28 EGV wird entsprechend restriktiv ausgelegt.<sup>398</sup> Bereits innerhalb der Prüfung dieser Vorschrift ist deshalb auch eine Erforderlichkeits- bzw. Verhältnismäßigkeitsprüfung durchzuführen.<sup>399</sup>

Eine Maßnahme gleicher Wirkung liegt nach der "Dassonville-Formel" des EuGH bei einer abstrakt-generellen Festsetzung (also einer Vorgabe durch außenwirksame Rechtsvorschrift) vor, wenn diese geeignet ist, den innergemeinschaftlichen Handel unmittelbar oder mittelbar, tatsächlich oder potentiell zu behindern.<sup>400</sup> Dies gilt nach der neueren Rechtsprechung des EuGH zwar nur für solche staatlichen Reglementierungen, die die Beschaffenheit der Handelsware selbst betreffen, nicht aber jene, die sich lediglich auf den innerstaatlichen Vertrieb beziehen (etwa Verkaufs- und Vertriebsmodalitäten).<sup>401</sup> Im Falle einer Lizenzregulierung geht es jedoch nicht nur um die Art und Weise des Vertriebs, sondern im Kern um die Begrenzung des Einsatzes bestimmter Stoffe. Von daher kann das Privileg für Verkaufs- und Vertriebsmodalitäten hier nicht aktiviert werden.

Allerdings ist die Lizenzregelung dennoch nicht als "Maßnahme gleicher Wirkung" wie eine Importbeschränkung gemäß Art. 28 EGV zu begreifen, wenn sie sich im Sinne der Judikatur des EuGH "zum Schutz von zwingenden und vom Gemeinschaftsrecht anerkannten Erfordernissen" als notwendig darstellt.<sup>402</sup>

Unter "vom Gemeinschaftsrecht anerkannten zwingenden Erfordernissen" versteht der EuGH Erwägungen des Gemeinwohls, die einerseits den Erfordernissen des freien Warenverkehrs im Einzelfall vorgehen und deshalb dessen Zurückstehen erfordern, aber andererseits nicht zu einer gemeinschaftsrechtlichen Regelung geführt haben. Dazu können neben Gründen des Gesundheits- und Verbraucherschutzes auch (verschiedenartige) Erwägungen des Umweltschutzes gehören.<sup>403</sup> Der EuGH erkennt dabei ausdrücklich an, dass das Verbot von Maßnahmen gleicher Wirkung auch insoweit eingeschränkt sein kann, als sich der einzelne Mitgliedsstaat zur Rechtfertigung seiner potenziell handelsbeeinträchtigenden Maßnahme auf Erwägungen eines vorsorgenden Umweltschutzes berufen kann. Das folgt daraus, dass derartige Zielsetzungen durch das Gemeinschaftsrecht selbst anerkannt sind (vgl. Art. 174 bis 176 EGV).<sup>404</sup> Damit ist geklärt, dass auch Zielsetzungen der Ressourcenschonung vor Art. 28 EGV grundsätzlich als Rechtfertigung geeignet sein können.

Allerdings hat der EuGH in einem Streitfall zum Vogelschutz die Möglichkeit der Berufung auf solcherart Umweltschutzgründe verneint, die von den Schutzinteressen des Mitgliedsstaates selbst völlig losgelöst sind.<sup>405</sup> Hieraus wird in der Rechtsliteratur zum Teil geschlossen, dass die Berufung auf Umweltschutzintentionen generell nicht zulässig sei, wenn es um den Schutz von

---

<sup>397</sup> Vgl. EuGH, Slg. 1979, S. 649, 662.

<sup>398</sup> Vgl. Epiney, ZUR 1995, S. 24, 25 f. m.w.N.; Brandt/Röckseisen, S. 448.

<sup>399</sup> Vgl. Müller-Graff, in: v. Groeben u.a., EGV (a.F.), Art. 30 Rn. 231 m.w.N.

<sup>400</sup> Vgl. EuGH, Slg. 1974, S. 837, 852 ("Dassonville").

<sup>401</sup> Vgl. EuGH, EuZW 1993, S. 770, 771 ("Keck"); eingehend Epiney, ZUR 1995, S. 24, 27 ff.

<sup>402</sup> Grundlegend EuGH, Slg. 1979, S. 649, 662 ("Cassis de Dijon").

<sup>403</sup> Vgl. EuGH, Slg. 1979, S. 649, 662.; Slg. 1991, S. 939, 967 - Abfallrahmenrichtlinie -; EuGH, Slg. 1988, S. 4607, 4630 - Pfandflaschen -; eingehend Müller-Graff in: Groeben u. a., EGV Art. 30 Rn. 203 ff., 224 ff.; Geiger, EGV, Art. 30 Rn. 19 m.w.N.

<sup>404</sup> Vgl. Müller-Graff, in: Groeben u.a., EGV (a.F.), Art. Rn. 203 ff. m.w.N.; Geiger, EGV, Art. 30 Rn. 15.

<sup>405</sup> Vgl. EuGH, Slg. 1990, I-2143 ff.



Gütern geht, die sich außerhalb des eigenen Territoriums befinden (etwa von seltenen Arten oder erschöpflichen Bodenschätzen). Etwas anderes könne allenfalls gelten, wenn zugleich an ein innerstaatliches Schutzbedürfnis angeknüpft wird, welches allein eine hinreichende Rechtfertigung darstellt (denkbar z. B. beim Klimaschutz), oder etwa wenn ein innerstaatliches Reglementarium ansonsten nicht funktionsfähig wäre.<sup>406</sup>

Es ist jedoch zweifelhaft, ob der genannten Entscheidung eine derart grundsätzliche Bedeutung zukommt.<sup>407</sup> Der EuGH hatte sich im konkreten Fall nicht mit den allgemeinen Vorschriften des EGV zum Schutz des freien Warenverkehrs befasst, sondern lediglich die Vogelschutzrichtlinie 79/409/EWG<sup>408</sup> in der gezeigten Weise ausgelegt. Dabei ging es um ein Einfuhrverbot für eine Vogelart, die weder von der Vogelschutzrichtlinie noch von einem einschlägigen internationalen Artenschutzabkommen erfasst wurde.<sup>409</sup> Zu beachten ist, dass die Vogelschutz-RL bereits 1979 verabschiedet wurde, d. h. zu einem Zeitpunkt, in dem der damalige EWGV weder ausdrückliche Gesetzgebungskompetenzen zum Umweltschutz noch eine mit Art. 176 EGV vergleichbare Verstärkungsklausel enthielt.<sup>410</sup>

Vor diesem Hintergrund gilt die Grundsatzfrage nach der Möglichkeit einer Berufung auf extraterritoriale Schutzinteressen im Rahmen der Art. 28 und 30 EGV nach wie vor als offen. In der Rechtsliteratur findet sich eine Reihe von Stimmen, die dies jedenfalls dann bejahen, wenn an internationale Schutzinteressen angeknüpft wird<sup>411</sup> bzw. wenn es um den Schutz von Rechtsgütern geht, die einer "globalen Gesamtverantwortung" zugeordnet werden können.<sup>412</sup> Zum Teil wird sogar jedes extraterritoriale Schutzgut als möglicher Anknüpfungspunkt akzeptiert, sofern anderen Staaten das eigene Schutzniveau nicht aufgedrängt wird.<sup>413</sup>

Zu bedenken ist in diesem Zusammenhang auch, dass der EGV neuerdings in Art. 6 verlangt, bei der Festlegung der Gemeinschaftspolitiken und -maßnahmen Erfordernisse des Umweltschutzes "insbesondere zur Förderung einer nachhaltigen Entwicklung" einzubeziehen. Unter dem Eindruck dieses Gebots liegt es erst recht nahe, den Mitgliedstaaten die Möglichkeit einer Berufung auf Ziele der (weltweit) nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung auch im Rahmen der Art. 28 und 30 EGV zuzubilligen.

Im Rahmen der Prüfung des Art. 28 EGV muss der Mitgliedsstaat die Gründe, die er zu seiner Rechtfertigung anführt, schließlich im Einzelnen dartun.<sup>414</sup> Liegt danach ein im Prinzip anerkannter (legitimer) Grund für die innerstaatliche Regelung vor, so muss sich diese noch als ein verhältnismäßiges Mittel darstellen, also geeignet, erforderlich und angemessen sein.<sup>415</sup> Vom Ansatz her gilt hier Ähnliches wie für die Verhältnismäßigkeitsprüfung im Rahmen der

---

<sup>406</sup> In diese Richtung Brandt/Röckseisen, Teil 5, VII. 1. c) cc).

<sup>407</sup> Zum Ganzen überzeugend Epiney, in: Callies/Ruffert, EGV, Art. 30 Rdnr. 16 ff. m.w.N.

<sup>408</sup> Richtlinie 79/409/EWG über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten, ABl. EG 1979 Nr. L 103, S. 1.

<sup>409</sup> Vgl. EuGH, Slg. 1990, I-2143, Tz. 15.

<sup>410</sup> Die Umweltschutzkompetenzen und die darauf bezogene Verstärkungsklausel wurden erst durch die Einheitliche Europäische Akte (EEA) im Jahr 1987 in den EGV eingefügt (vgl. Art. 130 r und 130 s EGV a.F.).

<sup>411</sup> Vgl. Kahl, Umweltpolitik und Gemeinschaftsrecht, 1993, S. 192 f.; Middeke, nationaler Umweltschutz im Binnenmarkt, 1994, S. 167 f.

<sup>412</sup> So Müller-Graff, in: v. Groeben u.a., EGV (a.F.), Art. 36 Rdnr. 37 ff.

<sup>413</sup> So Epiney, in: Callies/Ruffert, EGV, Art. 30 Rdnr. 19.

<sup>414</sup> Vgl. Müller-Graff, in: Groeben u.a., EGV, Art. 36 Rn. 101 m.w.N.

<sup>415</sup> Vgl. Müller-Graff, in: Groeben u.a., EGV, Art. 30 Rn. 231 m.w.N., ferner zu Art. 36 Rn. 92 ff.; Geiger, EGV, Art. 30 Rn. 17 m.w.N.

Anwendung von Grundrechten. Für die konkrete Prüfung ist auf den Schutzzweck des Art. 28 EGV abzustellen: Es kommt darauf an darzutun, dass keine andere Maßnahme ebenso geeignet ist, aber geringere Auswirkungen auf den gemeinschaftlichen Warenverkehr mit sich bringt.<sup>416</sup> Das dürfte im vorliegenden Fall möglich sein.

Gleichwohl sind die Spielräume zur Konzipierung eines Lizenzsystems auf nationaler Ebene auf Grund gemeinschaftsrechtlicher Bedenken im Ergebnis zurückhaltend zu beurteilen, da erhebliche Zweifel an der Zulässigkeit im Hinblick auf den notwendigerweise berührten Bereich der Bauprodukte bleiben.

### **Implikationen des Welthandelsrechts**

*Welthandelsrechtlich* stellt sich die Situation ähnlich derjenigen bei der Primärstoffsteuer dar. Maßgebende Prüfungsgrundlage ist in diesem Falle Art. III Abs. 4 GATT, der den Vertragsstaaten untersagt, importierte Waren im Hinblick auf ihren Verkauf, das Angebot, die Beförderung, Verteilung oder Verwendung schlechter zu stellen als gleichartige Waren inländischer Herkunft. Die Ungleichbehandlung gleichartiger Produkte kann unter Umständen nach Maßgabe des Art. XX GATT rechtfertigungsfähig sein.

Ob verschiedene Waren als gleichartig einzustufen sind, ist nach Auffassung der zuständigen WTO-Streitbeilegungsorgane anhand von einzelfallbezogenen Kriterien festzustellen. Dabei sind insbesondere die physische Beschaffenheit, die Wirkungseigenschaften und die Bewertung der Produkte am Markt in die Betrachtung einzubeziehen. Entscheidend ist, ob Primärstoffe und (physisch nicht oder kaum unterscheidbare) Sekundärstoffe als gleichartig eingestuft werden müssen. Gegen eine Bewertung als gleichartig lässt sich einwenden, dass der Sekundärstoffanteil unter Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit zu den wesentlichen Beurteilungsmaßstäben für Produkte zählt. Ob diese Argumentation von den WTO-Organen als tragfähig zur Bildung von Unterscheidskriterien akzeptiert wird, ist allerdings offen.<sup>417</sup>

Geht man demgegenüber von der Gleichartigkeit von Primär- und Sekundärrohstoffen im Sinne des Art. III Abs. 4 GATT aus, so bedarf es für Unterschiedsbehandlungen einer Rechtfertigung nach Art. XX GATT. Für Maßnahmen zum Zwecke der Minderung von Umweltbelastungen im Inland dürfte die Norm in Anspruch genommen werden können. Für Instrumente zum Schutz natürlicher Ressourcen in anderen Ländern unterliegt dies gewissen Unsicherheiten.<sup>418</sup>

### **Folgerungen**

Mithin erscheint die Ebene des europäischen Gemeinschaftsrechts unter rechtlichen (wie unter umweltpolitisch-fachlichen) Gesichtspunkten am ehesten als für die Konstruktion eines Lizenzsystems geeignet. In diesem Rahmen könnten insbesondere die bestehenden gemeinschaftsrechtlichen Hindernisse für nationale Alleingänge dieser Art überwunden werden.

Auch bei einem Tätigwerden auf der Ebene des Gemeinschaftsrechts bleiben zwar gewisse Unsicherheiten im Hinblick auf die Kompatibilität mit den Vorgaben der WTO. Das muss die EG aber nicht unbedingt daran hindern, einen entsprechenden Weg einzuschlagen. Zum einen erscheint es durchaus erfolversprechend – wenn auch nicht sicher – dass sich die hier vertretenen Auffassungen zur Auslegung des Gleichartigkeitsbegriffes in Art. III GATT hinsichtlich des

---

<sup>416</sup> Vgl. EuGH, Slg. 1984, S. 2727, 2752, 2754 ("Campus Oil"); EuGH, Slg. 1989, S. 617, 639 ("Schumacher"); eingehend Müller-Graff, Art. 36 Rn. 135 ff. m.w.N.

<sup>417</sup> Siehe oben, 7.7.1.

<sup>418</sup> Siehe oben, 7.4.1. sowie 7.7.1.

Sekundärstoffeinsatzes einerseits und zur Möglichkeit der Berufung auf extraterritoriale Schutzintentionen andererseits perspektivisch durchsetzen lassen. Zum anderen ist es in der Perspektive ohnehin sinnvoll, die Ziele der nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung innerhalb der WTO offensiv zum Thema zu machen.

Eine Globalsteuerung auf der Basis von Mengenzielen erscheint für Metalle wenig effizient und vermindert die Flexibilität der Unternehmen auf Markterfordernisse zu reagieren. Strikte Mengengrenzungen und Reduzierungsziele hätten einen radikalen Einschnitt in die bisherige Form des Wirtschaftens zur Folge. Überdies wirft eine strikte Umlaufbegrenzung (kartell-)rechtliche und institutionelle Fragen auf. Nach dem derzeitigen Kenntnisstand ist zudem kaum zu erwarten, dass nach Knappheit und Umweltbelastung differenzierte und akzeptierte Mengenziele bestimmt werden können.

Eine Ressourcensteuer lässt flexiblere Reaktionen der Wirtschaft zu. Durch die Besteuerung von Primärrohstoffen kann der Einsatz von Sekundärrohstoffen prinzipiell begünstigt werden. Die Wirkungen einer Primärressourcensteuer in einem nationalen Alleingang könnten durch Importe und die Abwanderung einheimischer Industrie konterkariert werden. Falls dagegen andere Volkswirtschaften zu einem späteren Zeitpunkt folgen, können die einheimischen Unternehmen jedoch eventuell profitieren, weil sie früher entsprechende Innovationen umgesetzt haben (first mover advantage). Um diese Unsicherheit auszuschließen, vor allem aber um eine größere ökologische Breitenwirkung zu erzielen, sind international abgestimmte Maßnahmen aber auf jedem Fall vorzuziehen. Die Besteuerung von Ressourcen kann nicht singulär für einen oder wenige Stoffe erfolgen, sondern müsste in ein Gesamtkonzept eingebettet sein, das ökologische und ökonomische Aspekte z.B. der Ressourcenverknappung und der Substituierbarkeit von Ressourcen im Kontext nationaler und internationaler Ressourcenströme berücksichtigt. Für eine umfassende Besteuerung des Ressourceneinsatzes wäre erst noch eine geeignete Konzeption zu entwickeln, die jedoch auf erhebliche praktisch-technische Schwierigkeiten stößt.

## 7.8 Fazit

### (1) Mangelnde Verankerung des Ressourcenschutzes in den Rechtssystemen

Die juristische Prüfung weist für die verschiedenen erörterten Instrumente ungeachtet bestimmter Einzelfragen bestimmte wiederkehrende Problemlagen aus, die auf das komplizierte und in vielerlei Hinsicht ungeklärte hierarchische Verhältnis zwischen den drei relevanten Ebenen der Rechtssetzung – Deutschland, Europa, Welthandelsrecht – zurückzuführen sind.

Für alle drei Ebenen der Rechtssetzung ist kennzeichnend, dass der Spielraum für Maßnahmen zum Zwecke der Verminderung von Umweltbelastungen im eigenen Inland (bzw. innerhalb des EG-Raums) erheblich größer ist als für Instrumente, mit denen extraterritoriale Schutz- oder Vorsorgezwecke verfolgt werden. Sowohl im EG-Recht als auch in der Rechtsprechung der WTO-Organen lässt sich zwar eine gewisse Tendenz (deutlicher im EG-Recht, schwächer im WTO-Recht) ausmachen, nach der es zumindest unter gewissen Voraussetzungen möglich sein dürfte, extraterritorial bezogene Schutzzwecke zu verfolgen, soweit es um Schutzgüter von gemeinschaftlichem globalen Interesse geht. Ob und inwieweit sich diese Tendenz in der künftigen Rechtsprechung verwirklichen wird, lässt sich jedoch nicht sicher abschätzen.

Das hat erhebliche Auswirkungen auf die Strategie der Bestandsbewirtschaftung für die beiden Stoffe Kupfer und Blei. Da die Zielsetzung der Eingriffe im Falle von *Blei* in erster Linie auf Motive der Schadstoffreduktion (im Inland) zurückzuführen ist, sind hier die Handlungsoptionen relativ weit gesteckt. Anders ist es im Falle von *Kupfer*. Dort geht es überwiegend um den

Ressourcenschutz als solchen, mithin um eine im Prinzip extraterritoriale Intention, die bislang weder auf der nationalen noch auf der europäischen oder der welthandelsrechtlichen Ebene adäquat verankert ist. Zwar wächst auf allen Ebenen die Erkenntnis, dass es eines weiterreichenden globalen Schutzes von erschöpflichen Ressourcen bedarf. Diese Erkenntnis spiegelt sich jedoch bislang kaum in den jeweils maßgebenden Vorschriften wider, so dass hier weitgehend Neuland betreten werden muss.

Während man im nationalen Recht und auf EG-Ebene davon ausgehen kann, dass sich diese politischen Erkenntnisse über die in den verfassten Systemen vorgesehenen demokratischen Strukturen umsetzen lassen – einige Ansätze dafür existieren bereits –, sieht die Ausgangssituation im WTO-Recht deutlich schlechter aus. Die Entwicklung des WTO-Rechts ist abhängig von der Rechtsprechung Streitbeilegungsorgans DSB. Die Entscheidungen des DSB sind allgemein verbindlich und praktisch so gut wie unantastbar, weil ihre Korrektur – quasi auf “legislativer” Ebene innerhalb der WTO – voraussetzen würde, dass sich die WTO-Staaten mit der notwendigen Mehrheit erforderlichenfalls die Änderung des bestehenden Welthandelsregimes beschließen.

Damit wird deutlich, dass die wichtigste politische Maßnahme des Ressourcenschutzes darin besteht, auf den übergeordneten Ebenen des EG-Rechts und des WTO-Rechts tätig zu werden, um das Thema in den dortigen Debatten aufzuwerten und über tragfähige Konzepte des Ressourcenschutzes zu entwickeln. Für die Instrumente auf den jeweils niedrigeren Ebenen ist es essenziell, nach einer hinreichenden Absicherung im übergeordneten Recht zu suchen.

## **(2) Probleme im Verhältnis zum Welthandelsrecht**

Im Verhältnis zum Welthandelsrecht kann für die diskutierten Vorschläge zusammengefasst werden:

Relativ unkompliziert stellen sich alle Instrumente dar, die sich (direkt oder indirekt) handelsbeschränkend auswirken, wenn die Unterschiedsbehandlung an der (verschiedenen) Beschaffenheit der Ware ansetzt, also etwa an der Schadwirkung der Bestandteile. Hierfür lässt das WTO-Recht genügend Raum. Ungeklärt ist, ob das – wofür allerdings Einiges spricht – auch für Instrumente gilt, die den Primärstoffgehalt (begrenzend) beeinflussen und den Sekundärstoffein- und die Verwendung von Ersatzstoffen befördern. Das kann z. B. für die Input-Lizenzpflicht wichtig sein.

Knüpft die innerstaatliche Maßnahme an danach grundsätzlich unzulässige Unterscheidungskriterien an, so bedarf es einer spezifischen Rechtfertigung. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob und unter welchen Voraussetzungen sich die Staaten auf extraterritoriale Motive stützen dürfen. Hierzu gibt es noch keine gefestigte Rechtsprechung des DSB. Relevante Ansichten in der Rechtsliteratur leiten aus einigen Entscheidungen des DSB eine gewisse Bereitschaft dazu ab, sofern es um Schutzgüter von allgemeinem Interesse geht. Allerdings steht dies stets unter der Voraussetzung, dass zuvor im konkreten Fall versucht wurde, eine zwischenstaatliche Einigung zu erreichen, um den Konflikt zu vermeiden.

Weitgehend unklar ist auch, welche Folgen sich aus den speziellen Zusatzabkommen der WTO über gesundheitspolizeiliche Maßnahmen (SPS) und über technische Handelshemmnisse (TBT) ergeben. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass der DSB die Bestimmungen des TBT dahin liest, sie würden auch die Unterschiedsbehandlung von nicht gleichartigen Produkten erfassen. Dann bedürfte es auch in diesen Fällen einer spezifischen Rechtfertigung. Eindeutig ist demgegenüber, dass die WTO-Vertragsstaaten auf Grundlage des TBT verpflichtet sind, sämtliche

neuen Regelungen, die die Beschaffenheit der Ware beschreiben (z. B. den zulässigen Schadstoffgehalt) bei der WTO zu notifizieren.

### (3) Probleme im Verhältnis zum EG-Recht

Die Zulässigkeit nationaler "Alleingänge" innerhalb der EG ist je nach Sachbereich einer differenziert zu beurteilen:

- Soweit eine Harmonisierungsrichtlinie der EG besteht (z. B. für Bauprodukte, Altfahrzeuge, demnächst für elektrische und elektronische Geräte, Chemikalienbeschränkungsverordnung), sind die Mitgliedstaaten grundsätzlich daran gehindert, eigenständig Verschärfungen vorzunehmen, soweit die Richtlinie selbst hierfür nicht Spielräume belässt. Im Bereich der *Altfahrzeug-RL* und der *WEEE-RL* sind die Spielräume relativ groß, weil es sich um eine Umweltschutzrichtlinien handelt, so dass die Staaten die "Verstärkungsklausel" des Art. 176 EGV in Anspruch nehmen können. Für die anderen genannten Richtlinien gilt das nicht. Die *BauProd-RL* ist für eigene Verschärfungen nur offen, soweit keine harmonisierten technischen Normen bestehen. Die *RoHS-RL* löst eine strenge Sperrwirkung gegenüber anderweitigen schadstoffbezogenen Festlegungen aus. Die *Beschränkungsrichtlinie* des Chemikalienrechts wird vom EuGH demgegenüber als offen für nationale Alleingänge interpretiert.
- Soweit hiernach den Mitgliedstaaten Regelungsmöglichkeiten verbleiben, sind sie an das Primärrecht der EG – also an den EGV – gebunden. Maßgebend ist (insbesondere), ob die Maßnahme mit dem Verbot der (auch indirekten) *Beeinträchtigung des Warenverkehrs* (Art. 28 EGV) kollidiert. Das ist im Rahmen von Umweltschutzmaßnahmen in der Regel nicht der Fall, wenn der jeweilige Umweltbelang vom Gemeinschaftsrecht anerkannt ist und keine andere Maßnahme ersichtlich ist, die bei vergleichbarer Wirkung den Binnenmarkt weniger beeinträchtigt (Erforderlichkeitsprinzip). Es spricht Einiges dafür – ist aber vom EuGH noch nicht bestätigt worden –, dass die Ausnahme für Umweltschutzmaßnahmen auch geltend gemacht werden kann, wenn es dem Staat um die Verfolgung extraterritorialer Schutzzwecke (also etwa den allgemeinen Ressourcenschutz) geht.
- Unabhängig hiervon sind die Staaten nach der *Informationsrichtlinie* verpflichtet, neue Regelungen, die die Zusammensetzung von Produkten oder den Verkehr mit ihnen beeinflussen können, bei der EU-Kommission zu notifizieren.

### (4) Nationale Rechtsfragen

Im nationalen Recht ist zu beachten, dass jedes Instrument in spezifischer Weise Grundrechte der wirtschaftlichen Akteure und der Konsumenten berühren kann. Häufig ist mit Eingriffen in die Grundrechte der Berufsfreiheit (Art. 12 GG) und des Eigentums (Art. 14 GG) zu rechnen. Insoweit ist eine auf die jeweilige Eingriffskonstellation bezogene Verhältnismäßigkeitsprüfung durchzuführen. Grundsätzlich verfügen die hier erörterten Maßnahmen zum Schutze der Umwelt über eine hinreichende Legitimation (vgl. insbesondere Art. 20a GG). Ob sie im Einzelfall zulässig sind, hängt davon ab, inwiefern es gelingt, die Maßnahme konkret so auszugestalten, dass sie nicht zu unzuträglichen Belastungen Einzelner führt. Das dürfte bei den hier betrachteten Maßnahmen in aller Regel möglich sein.

Soweit das Mittel der Steuer (Primärstoffsteuer, PVC-Steuer) in Betracht gezogen wird, ergeben sich aus den finanzverfassungsrechtlichen Vorgaben keine wesentlichen Hindernisse.

Einige der angesprochenen Regelungen lassen sich bereits im vorhandenen Recht verwirklichen. Für eine Reihe von Maßnahmen bedarf es der Schaffung neuer gesetzlicher Grundlagen. Es fehlt an einem geschlossenen Instrumentarium des Ressourcenschutzes. Die Bestimmungen des KrW-/AbfG nehmen das Ziel der Ressourcenschonung nur insoweit auf, als es um die Reduzierung von Abfällen oder Umweltbelastungen durch die Entsorgung geht. Die Stoffströme als solche sind nicht Gegenstand des Abfallrechts. Die stoffbezogenen Regelungen des Chemikalienrechts sind bislang nur auf die Reduzierung gefährlicher Stoffe zugeschnitten. Der Bundesgesetzgeber ist kompetenzrechtlich nicht daran gehindert, andere eigenständige Regelungen

zum Ressourcenschutz zu schaffen oder die vorhandenen Instrumentarien des KrW-/AbfG und des ChemG entsprechend auszuweiten.

### (5) Die einzelnen Instrumente

Für die wichtigsten diskutierten Elemente einer umfassenden Strategie der nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei ergibt sich aus der Untersuchung das folgende

Bild: Die Einführung einer nationalen Primärressourcensteuer ist möglich, weil für abgabenrechtliche Instrumente sowohl auf Ebene des EG-Rechts als auch im WTO-Regelwerk besonders große Spielräume bestehen. Verfassungsrechtliche Einwände sind nicht zu erheben.

- Die Konstitution einer nationalen Input-Lizenzpflicht scheidet nach hiesiger Auffassung schon am EG-Recht, weil sie strukturell mit dem Konzept der Bauproduktenrichtlinie nicht in Einklang zu bringen ist. Das Instrument erscheint aber auf der EG-Ebene selbst sehr interessant. Die Rechtslage in der WTO ist weithin unsicher. Die bisherige Spruchpraxis des Appellate Body der WTO lässt es durchaus denkbar erscheinen, dass das Instrument auch welthandelsrechtlich akzeptiert wird.
- Das produktbezogene Regelwerk der EG über Altfahrzeuge lässt sich in seinem Anwendungsbereich auf andere Fahrzeuge ausweiten. Dabei lassen sich auch nationale Verschärfungen der Richtlinie (Weitere Verwendungsverbote für Blei, strengere Verwertungsregelungen) umsetzen, da Art. 176 EGV den Mitgliedstaaten nationale "Verstärkungen" gestattet.
- Solcherart Verstärkungen sind im Kontext der künftigen RoHS-Richtlinie für EE-Geräte nicht möglich, weil diese Richtlinie auf Art. 95 EGV gestützt wird, so dass Art. 176 EGV keine Anwendung findet.
- Die Input-Lizenzpflicht im Bauwesen dürfte ebenso wie die generelle Input-Lizenzpflicht an den Vorgaben der EG-Bauproduktenrichtlinie scheitern.
- Die Strategie umfassender Verwendungsbeschränkungen im Bauwesen dürfte relativ leicht realisierbar sein, soweit es um die Begrenzung des Einsatzes gefährlicher Stoffe geht. Im Bereich von Kupfer sieht die Ausgangslage schwieriger aus. Hier kommt es darauf an, künftig auch den Ansatz des Ressourcenschutzes in der Bauproduktenrichtlinie zu verankern. In Einzelfällen, in denen der Problemdruck groß ist und für die Rückholung des Stoffes in den Wirtschaftskreislauf keine adäquaten Instrumente zur Verfügung stehen, dürften Verwendungsverbote unter bestimmten Voraussetzungen aus verfassungsrechtlicher Sicht auch zur reinen Ressourcenschonung möglich sein.
- Im Bereich der "nachhaltigen Gebäudeverkabelung" bestehen im Rahmen einer verhältnismäßigen Ausgestaltung keine rechtlichen Bedenken gegen die Statuierung von Rückholbarkeitsanforderungen.
- Auch die Vorschläge zur Wiedergewinnung von verlegten Kabeln begegnen unter Wahrung des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes keinen grundsätzlichen Bedenken. Das gilt auch für die Bildung eines Rücklagenfonds für die Entsorgung von Kabeln, der den strengen Anforderungen des BVerfG für Sonderabgaben mit Finanzierungsfunktion gerecht werden kann.
- Das Instrument selektiver Stoffverbote (Verwendungsverbote) wird im EG-Recht schon bisher gelegentlich angewandt. Eine erheblich breitere Anwendung ist auf rechtlich bedenkenfreie Weise vorstellbar, soweit es um Ziele der Schadstoffreduktion geht. Im Hinblick auf die übergeordneten Vorgaben des WTO-Rechts bestehen aber Unsicherheiten, soweit es um Zwecke des Ressourcenschutzes geht.
- Umfassende nationale Stoffverbote (Verwendungsbeschränkungen) sind ebenfalls möglich, sofern die jeweilige Maßnahme auf die Reduzierung von Umweltbeeinträchtigungen zielt und hierbei auf fundierte wissenschaftliche Erkenntnisse (nicht unbedingt Mehrheitsansichten) gestützt werden kann. Sowohl das EG-Recht als auch das WTO-Regime lassen hierfür die nötigen Freiräume. Weitgehend ungeeignet ist das Instrument jedoch für Zwecke der Ressourcenschonung.
- Das norwegische Modell eines generellen Substitutionsgebots für gefährliche Stoffe ist auf das deutsche (bzw. das europäische) Recht übertragbar. Es kann jedoch von seiner Wirkungsweise das Instrument der Verwendungsbeschränkungen nur ergänzen, nicht ersetzen. Soll es effektiv umgesetzt werden, so ist zu empfehlen, es zumindest für die relevanten wirtschaftlichen Anwendungsbe-

reiche durch Dokumentationspflichten zu ergänzen und mit einer Ermächtigung der Behörden zu Anordnungen im Einzelfall zu verstärken.

- Hinsichtlich der Anforderungen an die Entsorgung erscheint es sinnvoll und rechtlich ohne weiteres möglich, die drei derzeit in der Diskussion befindlichen Entwürfe der Gewerbeabfallverordnung, der Deponieverordnung und der Bergversatzverordnung partiell zu ergänzen bzw. zu verschärfen. So könnte der Anwendungsbereich der Gewerbeabfallverordnung erweitert werden (z. B. auf sämtliche gewerbliche Elektronikanwendungen) und die Zulässigkeit der Ablagerung von Metallen auf Deponien und im Bergversatz eingeschränkt werden.

#### **(e) Ausblick**

Die Maßnahmen und Instrumente für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei und Kupfer sind in ihrer Wirkung unterschiedlich im Hinblick auf ökologische Effekte und ökonomische Effizienz. Eine Generallösung ist nicht in Sicht. Das Kernproblem bei allen Strategien ist die hohe Komplexität der mit der Gestaltung von Stoffströmen verbundenen Wirkungsgefüge. Deshalb werden auch nur ein gut aufeinander abgestimmtes Bündel von Maßnahmen und die Veränderung wesentlicher Rahmenbedingungen deutliche Innovationen in Richtung einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung auslösen. Die Verknüpfung von stoffstrombezogenen Defiziten in prioritären Handlungsfeldern mit Strategien und Instrumenten auf der einen Seite und die instrumentelle Globalperspektive auf der anderen Seite kann ein wesentlicher Beitrag zur Formulierung eines abgestimmten Instrumentenmixes leisten.

Ein Instrumentenmix für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei enthält neben branchenorientierten Akteurskooperationen und produktbezogenen Instrumenten ggf. auch allgemeine stoffbezogene Verwendungsanforderungen sowie Instrumente der Input- und/oder Outputsteuerung. Übergreifend sind informatorische Instrumente auszubauen, abzustimmen und zu verfeinern. Zusammenfassend ist festzuhalten:

- Aufgrund ihrer Verankerung in der politisch-rechtlichen Kultur Deutschlands sind die Strategien der Weiterentwicklung des produktbezogenen Umweltrechts (EE-Geräte, Kraftfahrzeuge, Gebäude) und der Deponierungsanforderungen (insbesondere für Kupfer) sowie branchenorientierte Akteurskooperationen (Bildschirmrecycling) anschlussfähig und mittelfristig auch für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei und Kupfer erfolgsversprechend.
- Die Übertragung des Danish Lead Ban oder des Norwegischen Substitutionsprinzips in Deutsches Recht ist zwar möglich, erfordert jedoch ein generelles Umdenken in der Stoffpolitik. Aufgrund der hohen Eingriffstiefe sind die beiden Konzepte nur bei toxikologischer Begründung und nicht aus Gründen des Ressourcenschutzes geeignet, weshalb sie v.a. für Blei, aber wohl nicht für Kupfer eine indirekte Relevanz haben.
- Trotz konzeptioneller Defizite sind langfristig angesichts der wachsenden Rohstoff- und Produktnachfrage der Schwellenländer langfristig auch unausgereifte Instrumente wie die Primärressourcensteuer bzw. Lizenzierung weiterzuentwickeln, Hemmnisse zu klären und Voraussetzungen für ihre Realisierung zu untersuchen.
- Es ist zu erwarten, dass sich die strategischen und instrumentellen Ansätze prinzipiell auch auf die nachhaltige Bestandsbewirtschaftung anderer knapper nicht erneuerbarer Ressourcen, z.B. Zink und Zinn, erweitern lassen. Die unterschiedlichen Nachhaltigkeitsstrategien und Begründungen für die Instrumentenwahl bei Kupfer und Blei haben jedoch deutlich gezeigt, dass jede knappe nicht erneuerbare Ressource im Detail untersucht werden muss.

Von entscheidender Bedeutung, ob eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Blei, Kupfer und anderen nicht erneuerbaren knappen Ressourcen erreichbar sein wird, ist die Frage, ob sich auf nationaler und europäischer Ebene ein Paradigmenwechsel hin zum stoffbezogenem Umwelt- und Ressourcenrecht durchsetzt und auf globaler Ebene die institutionellen Voraussetzungen für eine globale Stoffpolitik geschaffen werden können. Freiwillige Initiativen können institutionelles Handeln zwar ergänzen und punktuell, aber nicht generell ersetzen.

## 8 Zehn Thesen für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von nicht erneuerbaren knappen Ressourcen

### 8.1 Steigende ökologische Rucksäcke durch abnehmende Erzgehalte

Die Bergwerksproduktion an Kupfer hat in den letzten Hundert Jahren nahezu exponentiell zugenommen, wohingegen bei Blei Ende des 20. Jahrhunderts eine Sättigung zu beobachten ist. Die Konzentration von Blei in abbauwürdigen Bleierzen liegt etwa bei 4 %, die von Kupfer in abbauwürdigen Kupfererzen ist zwischen den Jahren 1940 bis 1980 um den Faktor 10 auf unter 0,5 % gesunken. Der sinkende Metallgehalt bewirkt zum einen drastisch steigende Abraum- und wachsenden Flächenverbrauch, zum anderen steigt der technische Aufwand für den Abbau und die Erzaufbereitung erheblich, was sich in erhöhtem Bedarf an Energie, Wasser und Prozesschemikalien manifestiert.

Blei und Kupfer werden zum einen in vergleichsweise einfachen Produkten wie Rohre und Elektrokabel eingesetzt, zum anderen aber auch in hochwertigen technischen Produkten wie Computer, Maschinen und Kraftfahrzeuge. Die Verbrauchsmengen der reichen Industrieländer an Blei und Kupfer können aus ökologischen Gründen kein Entwicklungsmaßstab für die ganze Welt sein. Deshalb ist eine erhebliche Steigerung der Ressourcenproduktivität in den Industrieländern erforderlich, um Spielräume für die Entwicklung ärmerer Länder zu schaffen.

Die Leitidee der nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung nicht erneuerbarer knapper Ressourcen ist eine Wirtschaftsweise, in der der Rohstoffbedarf einer Volkswirtschaft überwiegend aus der Technosphäre gedeckt wird. Würde der Bedarf an Blei und Kupfer in den reichen Industrieländern aus den Bestandslagern der Technosphäre gedeckt, so könnten entweder die globale Verknappung der natürlichen Ressourcen verlangsamt werden, oder aber die natürlichen Ressourcen werden zum Aufbau von Bestandslagern in ärmeren Ländern verwendet. Das Konzept der nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung nicht erneuerbarer knapper Ressourcen lässt sich deshalb auf folgendes Ziel eingrenzen:

**Fazit: „Im Rahmen des Konzeptes einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung nicht erneuerbarer knapper Ressourcen werden Strategien und Instrumente untersucht, die zur Senkung der absoluten Primärressourcenentnahme durch eine Bewirtschaftung der Ressourcenbestände in der Technosphäre geeignet sein können.“**

### 8.2 Die Dissipation von heute ist die Exposition von morgen

In Anlehnung an das McKelvey-Diagramm für Primärressourcen können Bestandslager in der Technosphäre zu den Reserven oder zu den Ressourcen gezählt werden. Die Reserven sind derzeit wirtschaftlich gewinnbare identifizierte Vorräte. Dazu gehören z.B. Alt-Starterbatterien für Blei und massive Kupferdächer. Bei diesen Anwendungen findet bereits jetzt eine Rückführung und stoffliche Verwertung statt. Innerhalb der Ressourcen gibt es Bestandslager, die zwar unter den gegenwärtigen Bedingungen nicht recycelt werden können, wohl aber unter möglichen zukünftigen Recyclingbedingungen (z.B. kleinteiligere Kupferhalbzeuge in Gebäuden und Schwingungsdämpfer aus Blei in Kraftfahrzeugen). Sind Vorräte auch unter sehr optimistischen zukünftigen Recyclingbedingungen nicht gewinnbar, zählen sie zwar ebenfalls formal zu den Ressourcen, sie sind jedoch für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung verloren (z.B. Büroklammern aus Kupfer oder Haushaltswaren aus Bleikristall).

Die technisch-wirtschaftliche Gewinnbarkeit sinkt mit zunehmendem Dissipationsgrad. Dissipative Verwendungen sind dadurch gekennzeichnet, dass sie in geringer Konzentration und in



geringen absoluten Mengen im Endprodukt vorliegen. In oder am Ende der Nutzungsphase wird das Metall emittiert (z.B. Jagdmunition aus Blei, Antifouling-Anstriche aus Kupfer), in andere Abfallströme eingetragen (z.B. in den Bauschutt, Siedlungsabfall) oder in andere Kreisläufe verschleppt (z.B. Kupfer in den Stahlkreislauf, bleihaltiges Bildröhrenglas in den Behälterglas-Kreislauf). Etwa ein Viertel des in Deutschland verarbeiteten raffinierten Bleis geht in dissipative Verwendungen und wird aufgrund der schlechten Steuerbarkeit (z.B. Blei in PVC 1-2 Gew.-%, PVC im Bauschutt etwa 0,2-0,3 Gew.-%) großteils einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung entzogen.

Da insbesondere Blei bio- und geoakkumulierbar ist, reichert es sich über biogeochemische Stoffkreisläufe in bestimmten Depots (z.B. Boden und Sedimente, Pflanzen und Fische) an und trägt früher oder später zur Exposition von Menschen bei. Die nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von nicht-essentiellen Metallen hält z.B. durch lückenlose Kreislaufführung und die Vermeidung dissipativer Anwendungen eine „toxikologische Dividende“ bereit, die sich langfristig vor allem bei Blei aufgrund seiner dissipativen Verwendungsmuster und hohen Toxizität auszahlen würde. Für Kupfer steht weniger die zukünftige toxische Wirkung der heutigen Dissipation als vielmehr die praktische Irreversibilität der Verteilung im Mittelpunkt, die das entscheidende Hemmnis für die zukünftige Bergung und Rückführung in den Stoffkreislauf darstellt.

**Fazit: „Der dissipative Charakter der Verwendungsstruktur nicht erneuerbarer knapper Ressourcen begrenzt die Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung entscheidend.“**

### 8.3 Langlebige Bestandslager als Minen der Zukunft

Liegt die Gebrauchsdauer von PCs bei 3-5 Jahren und von Pkw bei 10-12 Jahren, so werden Kabeltrassen sowie Halbzeuge und Kabel in Gebäuden durchaus 30, 50 oder auch über 100 Jahre genutzt. Insbesondere die Verwendungsstruktur von Kupfer wird mit etwa 50 % von sehr langlebigen Anwendungen über 20 Jahren dominiert. Der heutige Rückfluss aus Gebäuden und Infrastrukturen spiegelt lange zurückliegende Verbrauchsmuster von Kupfer wider. Genauso werden die heutigen Verbrauchsmuster sich erst in ferner Zukunft im Rückfluss aus dem Bestand niederschlagen. Die Recyclingbedingungen in 30, 50 oder 100 Jahren sind unbekannt. Im Konzept einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung liegt eine wesentliche Aufgabe darin, die heutige Verwendungsart so zu gestalten, dass die Rückholbarkeit in Zukunft unterstützt wird. Dazu zählen sowohl informatorische Maßnahmen (z.B. Kabelkataster und Gebäudepass) als auch die demontagegerechte Konstruktion (z.B. Verlegung von Kabeln in Kabelkanälen, gut lösbare Verbindungstechniken von kupferhaltigen Bauteilen). Soll eine Volkswirtschaft seinen Rohstoffbedarf aus dem Rückfluss aus der Technosphäre decken, so müssen auch Informationen über die Art und Menge der Bestandslager sowie ihrer zeitlichen und räumlichen Anfallstrukturen vorliegen. In allen Rückgewinnungsprozessen gibt es faktische Materialverluste, d.h. nach jedem Zyklus stünde eine geringere Menge an Rohstoff für die Volkswirtschaft zur Verfügung, es sei denn, es erfolgt eine partielle Ergänzung durch Primärressourcen. Unklar ist gegenwärtig, wie die Auswirkungen auf die rohstoffexportierenden Länder zu beurteilen sind. Kommt es auch in ärmeren rohstoffexportierenden Ländern durch wachsenden Wohlstand zum Aufbau von beträchtlichen Bestandslagern, so könnte langfristig auch deren Eigenbedarf aus Sekundärrohstoffen gedeckt werden.

**Fazit: „Die langlebigen Bestandslager nicht erneuerbarer knapper Ressourcen in der Technosphäre müssen über ihren funktionellen Nutzen hinaus auch als Minen der Zukunft konstruiert werden.“**

#### **8.4 Variable Systemgrenzen: von lokal bis global**

Die Stoffströme von Kupfer und Blei in Deutschland weisen ein ähnliches Außenhandelsprofil auf: Die Erze werden vorwiegend in Entwicklungs- und Schwellenländern abgebaut, aufbereitet und anschließend global gehandelt. Die Produktion der Kupfer- und Bleihütten in Deutschland wird zu hochwertigen Zwischen- und Endprodukten verarbeitet, die zu einem signifikanten Anteil wieder in andere Länder exportiert werden. Ein beträchtlicher Anteil des nationalen Kupfer- und Bleibedarfs wird mit Sekundärrohstoffen, teils aus dem Rückfluss aus der Technosphäre und teils importiert, gedeckt. Ist eine Verwertung nicht ökonomisch zu betreiben, so besteht eine Tendenz zum Export von Altprodukten.

Die Umweltanforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altfahrzeugen und Altkabeln in Deutschland und die Nachfrage nach diesen Produkten im Ausland bewirken zweierlei: Einerseits wird der nationalen Volkswirtschaft Blei und Kupfer entzogen, andererseits können durch transnationale Nutzungskaskaden von Kraftfahrzeugen (z.B. Reparatur und Wiederverwendung) Primärrohstoffe für Neufahrzeuge eingespart werden. Ob Blei und Kupfer am Ende der Nutzungsphase in anderen Ländern schließlich in höherem oder niedrigerem Maße wiedergewonnen werden, ist zwar pauschal nicht abschließend zu beurteilen, da es sich jedoch vorwiegend um Exporte in Räume mit geringeren Umweltanforderungen handelt, sind grundsätzliche Zweifel am umweltgerechten Umgang angebracht.

Die Bergbaukonzerne operieren weltweit. Umweltbelastungen, u.U. auch Einkommensgenerierung, erfolgen lokal im Umfeld der Blei- und Kupferminen. Auf den Weltmärkten konkurrieren die Hüttenbetreiber um hochwertige Erze. Der Absatz der transnational operierenden Hüttenkonzerne konzentriert sich auf die verarbeitenden Industrien in ausgewählten Regionen der reichen Industrieländer. Prozessspezifische Abfälle werden in Deutschland entweder in regionalen Kooperationsverbänden verwertet oder aber innerhalb der Staaten des Basler Übereinkommens beseitigt. Lokale hot spots der Umweltbelastungen können wiederum im Umfeld von Anlagen und Deponien auftauchen.

Sowohl für den Handel mit Primär- und Sekundärrohstoffen als auch mit Abfällen gibt es unterschiedliche Rechtsregimes. Wichtige Regelungen erfolgen auf Ebene der WTO, der EU und des Basler Übereinkommens über die Abfallverbringung. China ist einer der größten Bleiproduzenten weltweit und sorgt mit seiner großen Nachfrage nach Kupfersekundärrohstoffen für eine Verknappung auf den europäischen Märkten. Ein erheblicher Anteil der in Deutschland gelöschten Altfahrzeuge wird nach Osteuropa exportiert. Die EU-Osterweiterung und der Beitritt von China zur WTO können deshalb erhebliche Auswirkungen auf die Blei- und Kupferströme haben.

**Fazit: „Die Systemgrenzen für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung nicht erneuerbarer knapper Ressourcen sind problembezogen zu wählen und umfassen alle geografischen Maßstäbe von der lokalen bis zur globalen Ebene“**

#### **8.5 Nachhaltigkeitsstrategien auf dem Prüfstand**

Eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei kann durch die vier Strategien Prozessoptimierung, ökologische Nutzung, Ecodesign und Kreislaufführung sowie informatiori-

sche und kommunikative Maßnahmen gefördert werden. Die Mengenpotenziale der Prozessoptimierung sind eher gering, da Marktanreize für eine hohe Prozessausbeute und in der EU auch strenge Emissionsbegrenzungen wirken. Ökologische Nutzungsformen wie die Nutzungsintensivierung, Nutzungsdauerverlängerung und Suffizienz sind sehr unspezifisch im Hinblick auf Kupfer und Blei. Informatorische und kommunikative Maßnahmen haben eher flankierenden Charakter für andere Strategien und führen nicht per se zu einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung.

Als erfolgversprechende Kernstrategien für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei haben sich die Kreislaufführung (Erfassung, Behandlung, Verwertung) und das Ecodesign herauskristallisiert. Schlüsselgrößen für die Potenziale der Kreislaufführung sind dissipative Verwendungsmuster, die zusammen mit der recyclinggerechten Konstruktion maßgeblich die Kosten für die Rückführungslogistik bestimmen. Die Standardisierung von Produkten sowie billigere Entsorgungswege und Vollzugsdefizite beim bestehenden Abfallrecht sind weitere entscheidende Einflussparameter. Zum Ecodesign gehören neben der recyclinggerechten Konstruktion die Minimierung des Materialeinsatzes (z.B. effiziente Verkabelungsarchitekturen) und auch die Substitution (z.B. Blei in PVC). Zu den Haupthemmnissen für die Substitution zählen die fehlende funktionale Äquivalenz von Substituten (z.B. bleifreie Lötlegierungen, Aluminium als Leitmaterial), kulturell-ästhetische Hemmnisse (z.B. Bleikristall, Kupferfassaden), der Umstellungsaufwand (z.B. PVC-Extrusion) sowie die Preisrelationen von Materialien (z.B. Bleilote, PVC) und die Verarbeitung (Löten von Kupferrohren, Schweißen von Stahlrohren).

Die Nachhaltigkeitsstrategien stoßen jedoch auch auf generelle Grenzen ihrer Wirksamkeit. Die wichtigsten Einschränkungen sind Pendelbewegungen bei der Substitution, ökologische Grenzen des Recyclings, Nachteile langfristiger Bestandsbindung und die sogenannte Effizienzfalle. Bei der Substitution besteht die Gefahr, den Teufel mit dem Beelzebub auszutreiben: So hat das Cadmiumverbot in PVC-Stabilisatoren zu einem Anstieg des Verbrauchs von Bleistabilisatoren geführt. Wird jetzt der Bleieinsatz reduziert, so sind die ökologischen Folgewirkungen der Substitute symmetrisch zu analysieren. Vor allem bei Produkten mit einer hohen Recyclingrate (z.B. Starterbatterien, Kupferkabel) führt eine weitere Erhöhung der Recyclingrate zu einem abnehmenden Grenznutzen, da der Aufwand für das Recycling stark ansteigt. Entscheidend ist der ökologische Break-even-point, der im Einzelfall jedoch nur sehr aufwendig mit Ökobilanzen bestimmbar ist. Die Gebrauchsdauerverlängerung von kupfer- und bleihaltigen Produkten kollidiert mit der Diffusion effizienterer Neuprodukte und hemmt unter Umständen die Verwendung als Sekundärrohstoff. Alle Maßnahmen zur Erhöhung der Effizienz bergen die Gefahr, dass die spezifische Materialeinsparung nicht zu einer absoluten Materialeinsparung, sondern zur Nutzensausweitung verwendet wird (z.B. Starterbatterien mit erhöhter Leistung).

**Fazit: „Die Kernstrategien der nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung nicht erneuerbarer knapper Ressourcen, die Kreislaufführung und die Substitution, stoßen im Einzelfall auf erhebliche praktische Hemmnisse und auch auf generelle Grenzen ihrer Wirksamkeit“**

## **8.6 Innovation und Diffusion nachhaltiger Modelllösungen**

In der Ressourcenökonomie herrscht weitgehend Einigkeit darüber, dass der Markt prinzipiell auf die Verknappung nicht erneuerbarer Ressourcen mit Innovationen reagieren kann, aber auch darüber, dass die Anpassungsprozesse, u.a. durch Marktversagen infolge externer Kosten und der Gegenwartspräferenz aufgrund des Fehlens vollständiger Zukunftsmärkte, tendenziell zu

langsam sind. Dissens besteht nicht in der Notwendigkeit, sondern in der Art der Intervention der Akteure.

Die Knappheit von Kupfer und Blei ist im Konzept der nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung auch als Innovationsaufgabe zu verstehen. Wie die Rahmenbedingungen für Innovationen zum nachhaltigen Wirtschaften richtungssicher gestaltet werden können, ist erst seit kurzem Gegenstand von Forschungsanstrengungen. Die Ansätze für Modelllösungen sind auf allen geographischen Skalen anzutreffen: Die lokale Kompensation der Umweltauswirkungen einer Mine in Indonesien, regionale Kooperationen für eine nachhaltige Metallwirtschaft in Hamburg, Rahmenbedingungen für nationale Lead Markets (z.B. Windenergie in Dänemark), die Integrierte Produktpolitik in der EU und globale Agenda 21-Netzwerke. Im Zentrum des Interesses stehen bislang vor allem neue Systemlösungen, die sich an zentralen Umweltparametern wie Energieverbrauch und der Vermeidung von Schadstoffen orientieren, nicht aber primär auf die Einsparung an Primärressourcen von Blei und Kupfer gerichtet sind.

Innovationen können sowohl freiwillig als auch durch die Androhung rechtlicher Regelungen ausgelöst werden. So hat die Firma Schott als Stiftungsunternehmen Anstrengungen zum Kathodenstrahlröhrenglas-Recycling unternommen. Auf der anderen Seite hat die europäische Ankündigung des Verbotes von bleihaltigen Lötlegierungen in EE-Geräten japanische Hersteller zur Suche nach bleifreien Alternativen veranlasst. Die Diffusion von nachhaltigen Modelllösungen kann durch informatorische Maßnahmen (z.B. bleifreie Produkte beim Umweltzeichen Blauer Engel), Akteurskooperationen (Fahrzeughersteller und Demontagebetriebe), Selbstverpflichtungen (z.B. europäische PVC-Industrie), Roadmaps (Kathodenstrahlröhrenglas-Recycling) und flankierende Maßnahmen zur Unterstützung von Innovateuren (z.B. bei effizienten Verkabelungsarchitekturen) beschleunigt werden. Die Weiterentwicklung des produktbezogenen Rechts mit Übergangsfristen sowie dessen Vollzug führt dann idealerweise zur vollständigen Diffusion ehemals singulärer Innovationen. Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von Kupfer und Blei liegen in produktspezifischen Ansätzen wie der Ausweitung des nationalen Altautogesetzes auf Nutzfahrzeuge, anspruchsvoller Erfassungs- und Verwertungsquoten bei EE-Geräten, einer vorgeschriebenen rückholgerechten Kabelverlegung sowie europäischer Regelungen für PVC- und Bauprodukte. Entscheidend für die Wirksamkeit ist die Auswahl des am besten geeigneten Instrumentenmixes zum jeweils richtigen Zeitpunkt.

**Fazit: „Die aktuelle Innovationsforschung und –förderung verfolgt vor allem Systeminnovationen und nicht explizit eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung von nicht erneuerbaren knappen Ressourcen. Geeignete Maßnahmenbündel zur Diffusion von Nachhaltigkeitsinnovationen müssen in ein günstiges Zeitfenster fallen.“**

### **8.7 Von der Feinsteuerung zur Grobsteuerung?**

Die Umweltpolitik ist vom anlagen- und medienbezogenen Umweltschutz über branchenbezogene Ansätze und die integrierte Produktpolitik bis hin zur Stoffpolitik weiterentwickelt worden. Die ressourcenpolitische Debatte hat einen Wandel von der nationalen Rohstoffversorgung bis hin zu den ökologischen und ökonomischen Grenzen der Ressourcenentnahme vollzogen. Im Konzept der nachhaltigen Entwicklung ist die Ressourcendimension mit der Umweltdimension der Emission von toxischen Metallen verknüpft worden.

Branchenspezifische Akteurskooperationen und die Weiterentwicklung des produktbezogenen Rechts versprechen zwar gute Erfolgchancen in einigen konkreten Teilgebieten. Über die Stoffstromanalysen von Blei und Kupfer finden sie jedoch ihre methodischen Grenzen in der

Identifizierungsproblematik geeigneter Handlungsfelder. Der Bezug auf die aktuelle nationale Verwendungsstruktur von raffiniertem Blei und Kupfer blendet den Import von Blei und Kupfer in Zwischen-, End- und Abfallprodukten aus und vernachlässigt die Potenziale vergangener und zukünftiger Verwendungsstrukturen für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung. Darüber hinaus gibt es Informationslücken in der Produktionsstatistik und infolge der Unternehmenskonzentration werden zunehmend relevante Daten nicht mehr veröffentlicht. Die Untersuchung von Handlungsfeldern im Detail ermöglicht zwar die Identifikation spezifischer Hemmnisse für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung, birgt jedoch auch die Gefahr der Verzettelung im Detail und damit einer Überregulierung.

Über die gängige Analyse freiwilliger, ordnungsrechtlicher, finanzieller und informatorischer Instrumente hinaus sind deshalb auch Instrumente der Grobsteuerung in Betracht zu ziehen. Diese lassen sich in umfassende Verwendungsbeschränkungen, inputbezogene und entsorgungsbezogene Instrumente einteilen.

In Dänemark ist ein toxikologisch begründetes umfassendes Import- und Vermarktungsverbot für bleihaltige Produkte in Kraft getreten (Danish Lead Ban). Rechtlich lässt sich eine Regelung mit einer derartigen Eingriffstiefe ohne weiteres auch in Deutschland vorstellen – allerdings – wie in Dänemark – nur aus toxikologischen, nicht aus ressourcenpolitischen Erwägungen. Zwar ist es vom Ansatz her grundsätzlich auch denkbar, dass weit reichende Grundrechtseinschränkungen durch Gründe des Ressourcenschutzes gerechtfertigt sein können. Es erscheint jedoch nur in Ausnahmefällen möglich, dass Maßnahmen wie Verwendungsverbote im Kontext von reinen Ressourcenschutzerwägungen die Hürde der Verhältnismäßigkeitsprüfung nehmen können. Ein derartiges Mittel dürfte nur dort als geeignet und damit verhältnismäßig angesehen werden können, wo anderweitige Steuerungsoptionen nicht wirksam greifen. Deshalb dürfte die Anwendung nur in Betracht kommen, wenn es um ressourcenpolitisch sehr problematische Verwendungsarten geht, bei denen eine Rückholung des Stoffes in den Wirtschaftskreislauf nicht adäquat sichergestellt werden kann.

Im norwegischen Product Control Act findet sich ein Substitutionsgebot für einen Kanon an gefährlichen Stoffen, darunter auch Blei und Kupfer. Für Kupfer kann die Vorgabe jedoch nur von Bedeutung sein, soweit sich der Stoff im Einzelfall tatsächlich als gefährlich darstellt (etwa bei Wasserkontakt). Die Adressaten sind verpflichtet zu prüfen, ob sich der gefährliche Stoff durch einen weniger gefährlichen ersetzen lässt, und wenn das der Fall ist, diesen an Stelle des ursprünglich vorgesehenen zu benutzen. Praktisch trägt die Vorschrift den Charakter einer allgemeinen Verhaltenspflicht, die noch der Konkretisierung bedarf. Sie bildet so einen wichtigen Anstoß, um die Angesprochenen zu gezielten Substitutionsüberlegungen zu bewegen. Eine derartige Verpflichtung würde auch im deutschen Recht möglich sein. Um sie zu effektivieren, empfiehlt es sich, sie für besonders relevante Anwendungsbereiche mit Dokumentationspflichten und der Möglichkeit zum Erlass von behördlichen Anordnungen zu unterlegen.

Die entsorgungsbezogenen Anforderungen wie Erfassung, Demontage und Verwertung sind überwiegend produktbezogen ausgestaltet, während in den Entwürfen zur Verordnung über Deponien und Langzeitlager sowie einer Bergeversatzverordnung die Ablagerung von verwertbaren Metallen produktübergreifend verboten ist, soweit dies ökonomisch und technisch zumutbar ist. Im Entwurf zur Bergeversatzverordnung ist das Ablagerungsverbot in Form von Grenzkonzentrationen, die am eineinhalbfachen der natürlichen Erzkonzentration orientiert sind, konkretisiert. Für Blei beträgt diese Schwelle 10 Gew.-% und für Kupfer 1 Gew.-%. Die Bleikonzentrationen in den wichtigsten Abfallströmen, die ein zusätzliches Potenzial für eine nachhalti-

ge Bestandsbewirtschaftung bieten, liegen unterhalb dieser Schwelle: Der Bleigehalt in PVC beträgt zwischen 1 und 2 %, der in Bildschirmglas etwa 7,5 %. Anders stellt sich die Situation bei Kupfer dar: Der Kupfergehalt vieler EE-Geräte liegt zwischen zwei und 20 Gew.-%, so dass diese nicht mehr abgelagert werden dürften. In Bauschutt, Siedlungsabfällen, und der Schredderleichtfraktion liegen die Blei- und Kupfergehalte deutlich unterhalb der Grenzwerte. Auch wenn bei Kupfer eine Lenkungswirkung vorliegt, bestünde die Gefahr, dass die Recyclingfirmen verstärkt Export- und Downcyclingoptionen verfolgen.

Langfristig sind vor dem Hintergrund eines steigenden Kupfer- und Bleiverbrauchs ggf. auch inputsteuernde Maßnahmen in Betracht zu ziehen. Eine Primärressourcensteuer („Royalties“) oder Input-Lizenzpflicht würde nur international abgestimmt Sinn machen. Beide Instrumente müssten sich auf eine Gruppe nicht erneuerbarer knapper Ressourcen beziehen, wobei beim einen die Höhe der Steuer und beim anderen das Mengenziel kritische Bestimmungsgrößen sind. Zweifel bestehen hinsichtlich der Lenkungswirkung, da es zu den Hauptanwendungen von Blei (Akkumulatoren mit 60-70 %) und Kupfer (elektrische Leitmaterialien mit etwa 50 %) keine praktikablen stofflichen Alternativen gibt.

**Fazit: „Beträchtliche Potenziale für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung nicht erneuerbarer knapper Ressourcen können gezielt mit branchenorientierten Kooperationslösungen und der Weiterentwicklung des produktbezogenen Rechts erschlossen werden. Ist eine Flankierung durch Entsorgungsanforderungen sinnvoll und realistisch, so lassen sich tief greifende Verwendungsanforderungen in der Regel nur toxikologisch, nicht aber ressourcenpolitisch begründen. Für globale inputsteuernde Maßnahmen des Ressourcenschutzes gibt es noch keine überzeugenden Konzepte, auch die Lenkungswirkungen sind unsicher.“**

## 8.8 Der Nationalstaat als Global Player

Deutschland sieht sich Anfang des 21. Jahrhunderts in einer Situation, in der einerseits der politisch-rechtliche Einfluss der Europäischen Union stark wächst, andererseits ist mit der WTO eine globale Institution geschaffen worden, die vorrangig den Freihandel bezweckt. Weiterhin versteht sich der Nationalstaat immer noch als Anwalt der Interessen seiner Firmen und Bürger.

Deutschland hat auch im Weltmaßstab eine bedeutende Blei und Kupfer produzierende und verarbeitende Industrie. Der Staat ist einerseits an einem Fortbestand dieser Industrie interessiert, andererseits ist er sich gewahr, dass sie sich nur in einem Qualitäts- und nicht in einem Preiswettbewerb langfristig behaupten kann, da das Einkommens- und Umweltschutzniveau auf der Makroebene im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung hoch bleiben soll. Der Herausforderung eines Qualitätswettbewerbes ist in Deutschland z. B. mit der Förderung der Windenergie begegnet worden, die zu einer florierenden mittelständischen Industrie mit weltweit nachgefragten Produkten geführt hat. Indirekt tragen die kupferhaltigen Bauteile in Windanlagen (z.B. Generatoren) zu einer nachhaltigen Entwicklung bei. Langfristig liegt es aber auch im nationalstaatlichen Interesse, die externen Kosten des Blei- und Kupfereintrages in die Umwelt zu minimieren. Zur Internalisierung sind toxikologisch begründete nationale Verwendungsbeschränkungen oder Regelungen zur Erhöhung der Einsatzquote von Sekundärrohstoffen unter gewissen Randbedingungen rational. Interventionen zur Reduzierung der Ressourcenentnahme aus Gründen des Umweltschutzes in Bergbauländern oder zur Schonung der natürlichen Ressourcen sind jedoch nicht zu erwarten, wenn die Gegenwartspräferenz politischer Akteure und die Allmende-problematik natürlicher Ressourcen in Betracht gezogen werden. Die globalen Ressourcennmärkte verlangen deshalb nach globalen politischen Antworten. Dementsprechend sind In-

strumente wie eine Primärressourcensteuer oder eine Input-Lizenzpflicht nur denkbar, wenn sie in ein System internationaler Akzeptanz eingebunden sind.

Beträchtliche umweltrechtliche Impulse gehen von der Europäischen Union aus. So hat die Ankündigung des Bleiverbotes in der RoHS zuerst in Japan zu umfangreichen Substitutionsbestrebungen geführt. Angesichts der umfassenden Regelungskompetenz der EU in Handels- und Umweltschutzfragen stellt sich die Frage, ob statt nationaler Alleingänge nicht gleich eine europäische Lösung angestrebt werden soll. So sind die Regelungen des Basler Übereinkommens unmittelbar als EU-Verordnung kodifiziert worden und auch die statistische Überwachungspflicht für die Ausfuhr von Sekundärkupfermaterialien ist auf eine Entscheidung der EU-Kommission zurückzuführen. Dagegen spricht, dass Vereinbarungen im großen Rahmen oft lediglich den kleinsten gemeinsamen Nenner darstellen.

Angesichts der weltweiten Dimension der Ressourceninanspruchnahme stellt sich die Frage nach Global Governance. Erarbeitet der World Business Council on Sustainable Development gegenwärtig, auch aufgrund des Drucks von Nichtregierungsorganisationen, eine Strategie zu „Mining, Minerals and Sustainable Development“, so herrscht auf Ebene der WTO das Primat der Handelsfreiheit, dessen Einschränkung durch Umweltbelange nur als Ausnahmetatbestand zulässig ist. Die Vorschriften des WTO-Rechts enthalten eine Fülle von auslegungsbedürftigen Klauseln, deren Konturen durch die Rechtssprechung des Dispute Settlement Body der WTO (DSB) bislang nur undeutlich herausgearbeitet worden sind. Dazu gehört zum Beispiel die Frage, ob Vorschriften über den Sekundärstoffeinsetzung als Handelsbeeinträchtigungen anzusehen sind, weil Produkte mit höheren Primärstoffanteilen benachteiligt werden.

Bei enger Interpretation könnten die WTO-Regeln dahin verstanden werden, dass den Vertragsstaaten kaum noch produkt- oder stoffbezogene Umweltschutzregelungen erlaubt wären, sofern sie nicht toxikologisch begründet sind. Selbst innerhalb dieses Bereichs ist nicht sicher, ob den Staaten noch genügend Spielraum für eine vorsorgeorientierte Produktpolitik bleibt. Andererseits lassen sich gute Argumente auch innerhalb des WTO-Rechts anführen, nach denen davon ausgegangen werden könnte, dass solche Spielräume durchaus bestehen, auch im Hinblick auf Ziele des globalen Ressourcenschutzes. Diese Unsicherheiten über die Auslegung der welthandelsrechtlichen Bestimmungen ist mehr als unbefriedigend. Dies gilt umso stärker, als der DSB einseitig einem einzigen Vertragswerk verpflichtet ist, das seinerseits ein bestimmtes Ziel zum Oberziel erklärt hat: den freien Welthandel. Damit bietet die Machtfülle des DSB auch viel Sprengstoff im Verhältnis zu den multilateralen Umweltabkommen, da es faktisch so ist, dass der DSB auch hinsichtlich der Anwendbarkeit dieser Abkommen im Falle von Handelskonflikten die maßgebende Entscheidungsinstanz ist.

**Fazit: „Metallhaltige Abfälle und Sekundärrohstoffe werden innerhalb der EU gehandelt. Sind toxikologisch begründete Restriktionen u.U. auch im nationalen Alleingang sinnvoll, so ist weitgehend unsicher, ob und unter welchen Voraussetzungen dies auch für ressourcenpolitische Maßnahmen gilt. Auf globaler Ebene fehlen die institutionellen Voraussetzungen und ein gemeinsames Handlungsinteresse für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung nicht erneuerbarer knapper Ressourcen.“**

## 8.9 Forschungs- und Handlungsbedarf

Der vordringliche Forschungsbedarf lässt sich anhand von vier Themenblöcken festmachen:

### **Ausbau der theoretischen Grundlagen für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung**

Das Konzept der nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung nicht erneuerbarer knapper Ressourcen sollte in eine allgemeine Theorie der Dissipation und Entropie eingebettet werden. Insbesondere Unsicherheiten über die Zukunft (Märkte, Trends, Recyclingbedingungen) sind angemessen abzubilden. Von wirtschaftsethischer Bedeutung ist dabei auch die Frage der Verminderung von

Optionen durch die langfristige Bindung knapper Ressourcen in Bestandslagern. Wissensdefizite bestehen auch in der Wirkungsanalyse der Senkung der Primärproduktion an Kupfer und Blei auf die Märkte von Kuppelprodukten wie Silber und Zink.

### **Weiterentwicklung der Informationsbasis und von Stoffstrommodellen**

Durch eine umfassende Stoffflussrechnung sind die unterschiedlichen Datensysteme der Rohstoffversorgung, der Abfallwirtschaft, der Emissionen, der grenzüberschreitenden Stoffströme und aus den Forschungsprojekten zu verkoppeln. Unmittelbarer Bedarf besteht in der Berücksichtigung der Prozessverluste in den Produktionsdaten. Für eine nachhaltige Bestandsbewirtschaftung ist ein dynamisches Modell der Rückflüsse mit hoher räumlicher Auflösung zu entwickeln. Insbesondere ist zu klären, welche Daten zu erheben und welche Indikatoren zu bilden sind. Die Informationsbasis ist symmetrisch für einen Kanon ausgewählter wichtiger Stoffe von einer geeigneten Institution zu schaffen und zu pflegen.

### **Verbesserung der Kernstrategien einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung**

Ein wichtiger Forschungszweig ist die rückholgerechte bzw. demontagegerechte Konstruktion, wobei vor allem für die Bergung erdverlegter Kabel und die Rückholung von Kupfer und Blei aus Gebäuden, EE-Geräten und Kraftfahrzeugen verbesserte Verbindungstechniken und Informationsflüsse zu entwickeln sind. Um ein Recycling von Kupfer und Blei ökonomisch zu ermöglichen sind effizientere Verfahren des selektiven Rückbaus und Demontagefabriken v.a. für Altkraftfahrzeuge und größere EE-Geräte zu entwickeln. Bei der Aufrechterhaltung der Produktverantwortung über sehr lange Zeiträume bei Bauprodukten und Kabeltrassen sind vor allem die Politik- und Rechtswissenschaften adressiert. Forschungsbedarf besteht auch in der Organisation der Informationsflüsse der Zukunft und hier insbesondere, wie ein Infrastruktur- und Deponiekataster, ein Gebäudepass und Produktkennzeichnungen (z.B. Product Identification Units) optimal zu gestalten sind. Im Rahmen der Substitutionsforschung sind Instrumente zu entwickeln, die symmetrische Betrachtungen und eine richtungssichere Substitution gewährleisten. Knappe, toxische und akkumulierbare Stoffe sollten nur durch weniger knappe essentielle Stoffe fernab der Toxizitätsgrenze ersetzt werden.

### **Wirkung und Ausgestaltung von Instrumenten**

Übergreifend sind geeignete Rahmenbedingungen für Nachhaltigkeitsinnovationen zu untersuchen. Die Innovation und Diffusion nachhaltiger Modellösungen kann von staatlicher Seite beeinflusst werden, entscheidend ist es jedoch, das richtige Instrumentenbündel im richtigen Zeitfenster zu aktivieren. Sowohl über die Wirkungsverbünde als auch über die richtigen Zeitpunkte bestehen erhebliche Wissenslücken. Unsicheres Terrain ist auch die Analyse der Wirksamkeit weicher Instrumente wie Bauproduktkennzeichnungen in Gebäuden und Verbraucherinformationen, z. B. über den Sekundärrohstoffgehalt von Produkten. Insbesondere bei der Ausgestaltung und Institutionalisierung der Instrumente Primärressourcensteuer und Input-Lizenzpflicht besteht weiterer Forschungsbedarf.

Der Handlungsbedarf ist in den vorangehenden Blöcken beschrieben worden und erstreckt sich schwerpunktmäßig auf folgende Themen:

- Verstärkte Erschließung der Potenziale einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung durch informative Maßnahmen und branchenorientierte Akteurskooperationen
- Weiterentwicklung des produktbezogenen und entsorgungsbezogenen Rechts und Ergänzung der Regelwerke um ressourcenpolitische Komponenten
- Vollzug eines Paradigmenwechsels hin zum stoffbezogenen Recht, wie in den Entwürfen zum Umweltgesetzbuch angedeutet
- Forcierung einer umfassenden Regelung für Bauprodukte und -abfälle auf EU-Ebene unter Einschluss des Aspektes der Ressourcenschonung



- Stärkung der Nachhaltigkeit in globalen Institutionen und Abkommen
- Ausdehnung des Konzeptes der nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung auf andere Metalle entsprechend ihrer Knappheit, ihrem Verwendungsmuster und ihrer Toxizität.

**Fazit: „Der umfangreiche Forschungsbedarf auf theoretischem Gebiet, über die Informationsbasis, Strategien und die Wirksamkeit politischer Instrumente sowie der Handlungsbedarf auf nationaler, europäischer und globaler Ebene deuten auf die unzureichende Fundierung und Operationalisierung der Leitidee einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung nicht erneuerbarer knapper Ressourcen hin.“**

### **8.10 Vision Nachhaltige Bestandsbewirtschaftung nicht erneuerbarer knapper Ressourcen im Jahre 2030**

Blei und Kupfer sind nicht nur Gegenstand einer nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung, sondern tragen auch zur Nachhaltigkeit anderer Produktsysteme bei. So speichern Bleiakkumulatoren den Strom aus Photovoltaikanlagen und Kupfer in den Oberleitungen der Bahn senkt den Stromverbrauch. Ein vollständiger Verzicht auf Blei und Kupfer ist im Sinne einer übergreifenden nachhaltigen Entwicklung ohne Durchbrüche bei den Systeminnovationen nicht wünschenswert.

- 2030 sind Blei und Kupfer als Bestandteil eines breiten Verbundes an knappen nicht erneuerbaren Ressourcen EU-weit geregelt. Dazu zählen insbesondere andere knappe Metalle wie Zink und Zinn. Diese Ressourcen sind in Verwendungen, bei denen eine Rückgewinnung mit außergewöhnlich hohem Aufwand verbunden wäre, durch weniger knappe, weniger biologisch akkumulierbare und weniger toxische Stoffe wie Eisen und Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen ersetzt worden. Der Rohstoffbedarf an knappen nicht erneuerbaren Metallen wird ausschließlich aus dem Rückfluss der Technosphäre gedeckt. Die Verluste werden durch geeignete Informationsflüsse, Reverse Manufacturing von Gebäuden, Kraftfahrzeugen und EE-Geräten und Verwertung in Zero-Emission Anlagen minimiert. Dadurch steht im stationären Gleichgewicht jedes Jahr nur eine geringfügig verminderte Rohstoffmenge zur Verfügung, die durch ein wachsendes Verbraucherbewusstsein inzwischen problemlos eingespart werden kann. Der Energiebedarf ist erheblich gesenkt und wird überwiegend durch regenerierbare Energieträger gedeckt.
- Auch die ärmeren Länder haben inzwischen erhebliche Bestände an nicht erneuerbaren knappen Ressourcen aufgebaut, Wirtschaften zu einem Großteil damit und sind dadurch reicher geworden. Trotz eines beträchtlichen Motorisierungsgrades sind die Bleiverluste durch eine effiziente Rückführungslogistik auf das Niveau der reicheren Länder gesunken. Die Kupfer- und Bleihütten sowie die verarbeitenden Industrien sind im Umfeld der noch operierenden Minen und in der Nähe der großen städtischen Ballungszentren zur Verarbeitung von Sekundärmaterialien entstanden. Die Wertschöpfung aus der Verarbeitung bleibt größtenteils in den Förderländern.
- Für Blei in Akkumulatoren gibt es zwar immer noch kein Substitut, Kupfer in Telekommunikationskabeln ist jedoch weltweit durch Glasfaser und Funk weitgehend ersetzt worden. Bei der Entwicklung neuer Materialien und Produkte ist die Ermöglichung der Wiedergewinnung von knappen nicht erneuerbaren Ressourcen bereits in die frühe Konzeptionsphase integriert.

**Fazit: „Die globale Primärrohstoffentnahme an nicht erneuerbaren knappen Ressourcen ist auf ein Viertel des Niveaus des Jahres 2000 gesunken und wird ausschließlich von ärmeren Ländern verwendet. Die weltweiten Effizienzfortschritte gepaart mit Suffizienz in den reicheren Ländern haben den ärmeren Ländern ausreichend Spielräume für eine eigenständige Entwicklung ermöglicht, ohne dass die globalen Umweltsenken übermäßig beansprucht werden.“**

## 9 Literatur

- Achterbosch, M., Arendt, F.; Brune, D.: Stoffströme und Stoffstrommanagement, AGF Forschungsthemen 8 (1995).
- AdLink 2001: AdLink Internet Media Net <http://www.adlink.de/websites/service.php>.
- AEAT 1999: AEA Technology: The Feasibility of a European Ecolabel for TVs, December 1999
- AEAT 2000: AEA Technology: Economic Evaluation of PVC Waste Management. Report for the European Environment Directorate, Culham (UK), Juni 2000
- AgV 2001: Arbeitsgemeinschaft Verbraucherverbände e.V : Jetzt: Bundesverband der Verbraucherverbände, Verbraucherverbände, Verbraucherzentrale Bundesverband <http://www.agv.de/infothek/onlinethk/haushalt/> Stand: 31.7.2002.
- AGPU 1996: Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt: „Mehrkosten bei der Substitution von PVC“. AGPU Bonn 1996
- AGPU 1997: Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt: „PVC-Daten, Fakten, Perspektiven“. AGPU Bonn 9/1997
- AGPU 1998: Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt: „PVC-Produktion/Marktentwicklung ausgewählter PVC-Produkte“. AGPU Bonn 7/1998
- AGPU 1999: Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt: „Ökobilanzen von PVC-Produkten: Grüne Kompass für ökologische Zukunftsfähigkeit.“ AGPU Bonn 03/1999
- AGPU 2000: Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt: „volkswirtschaftliche Daten und Fakten zu PVC.“ AGPU Bonn 01/2000
- AGPU 19.10.2000: Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt: „PVC: Ein zukunftsfähiger Werkstoff auf dem Weg zur Nachhaltigkeit.“ AGPU Bonn 19.10.2000
- AGPU 2001: PVC Bauprodukte stehen heute für Langlebigkeit, Reparaturfreundlichkeit und Wiederverwertbarkeit. AGPU Bonn 7/2001
- Alloway 1999: Alloway, Brian J. (Hrsg.): „Schwermetalle in Böden: Analytik, Konzentrationen und Wechselwirkungen“. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1999
- ARGE 2000 : ARGE Altauto: „I. Monitorbericht der ARGE-Altauto gemäß Punkt 3.6 der Freiwilligen Selbstverpflichtung des VDA u.a. zur umweltgerechten Entsorgung von Altfahrzeugen (Pkw) im Rahmen des KrW/AbfG“. Der Bundesregierung vorgelegt am 31.3.2000.
- Andrä 1994: Andrä, Hans-Peter; Schneider, Rüdiger: 'Achtung Baustelle', Müll und Abfall 1/1994, S.11-14, Berlin 1994
- Arpaci 2000: Arpaci, Emin: Kupfer –Werkstoff der Zukunft-. Trends der Technologie- und Marktentwicklung. Studie im Auftrag der Otto Brenner Stiftung, Berlin, August 2000.
- Ayres et al. 2001 : Ayres, R.U., Råde, I. u.a.: „The life Cycle of copper, its co-products and by-products“. Center for the management of environmental resources. INSEAD. Fontainebleau Cedex Frankreich und Physical Resource Theory Department, School of Physics, Calmer University of Technology, Gothenburg, Schweden 2001.
- Balzer 1995: Balzer, Dieter: Eintrag von Blei in die Umwelt. LGA Bayern, Nürnberg 1995
- Bau- und Umweltchemie Schweiz: Reto Coutilides u.a. : „Produkt- und Ökopprofil von Metalldüngern“ Bau- und Umweltchemie, Zürich 2000

- BDE 1994: Bundesverband der deutschen Entsorgungswirtschaft e.V.: Erfassung und Verwertung von elektrischen und elektronischen Geräten. Konzept des Bundesverbandes der deutschen Entsorgungswirtschaft. Selbstverlag. Köln 1994
- BAFA 2001: Bundesamt für Wirtschafts- und Ausfuhrkontrolle: Erhebungsergebnisse der NE-Metallfachstatistik. Berichtsjahr 2000, BAFA, Eschborn 2001
- BAM 2000: Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (Hrsg.): „Recycling von beschichteten Bauteilen“, Forschungsbericht 239, 2000
- BAW 1999: Bundesamt für Wirtschaft: Erhebungsergebnisse der NE-Metallfachstatistik. Berichtsjahr 1998, Bundesamt für Wirtschaft, Eschborn 1999
- BAW 2000: Bundesamt für Wirtschaft: Erhebungsergebnisse der NE-Metallfachstatistik. Berichtsjahr 1999, Bundesamt für Wirtschaft, Eschborn 2000
- BBR 1998: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung: ‘Prognose der mittel- und langfristigen Nachfrage nach mineralischen Rohstoffen’, Reihe Forschungsberichte der BBR, Heft 85, Bonn
- BDSV 2000: Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen, Fachgruppe Shredder: Qualität hat Vorrang, Informationsschrift, Düsseldorf 2000.
- BDSV 2001a: Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen, Europäische Stahlschrottsortenliste, Düsseldorf 2001.
- BDSV 2001b: Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen, Statistik für die Stahlrecycling-Wirtschaft 03/01, Düsseldorf 2001
- Breer 1992: Breer, J. u.a.: „Computerschrottreycling -Stand und Entwicklungsmöglichkeiten-„. In: Fleischer, G. (Hrsg.): Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis; Band 51. Erich Schmidt Verlag Berlin 1992.
- Behrendt, Steil 1997: Lead-Acid Batteries: State of Environmentally Sound Recovery and Recycling. In: “R’97 Congress Proceedings”, Volume I, P.34-41
- BGR 1999: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffen: Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien XXIII Bundesrepublik Deutschland Rohstoffsituation 1998. Hannover 1999.
- BGR 2000: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffen: Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien XXIII Bundesrepublik Deutschland Rohstoffsituation 1999. Hannover 2000.
- Birnbacher 1998: Birnbacher, Dieter: „Verantwortung für zukünftige Generationen.“ Philipp Reclam Jun., Stuttgart 1988
- BITKOM 2001: Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien: „Wege in die Informationsgesellschaft –Status quo und Perspektiven Deutschlands im internationalen Vergleich“. Frankfurt/Berlin 2001.
- Bögel 2000: Bögel, D. u.a.: „Kupferwerkstoffe im Kraftfahrzeugbau.“ In: Zeitschrift: Metall, 54. Jahrgang 1-2/2000.
- Brandt et al. 2000: Brandt, Edmund; et al.: „Konzeption für ein Stoffstromrecht“. UBA-Berichte 7/2000. Erich Schmidt Verlag, Berlin 2000
- Bundeskartellamt 2000: Beschluss des Bundeskartellamts imVerwaltungsverfahren über die Fusion von Exide und GNB. B 7 – 177/00 vom 31 Oktober 2000
- BV Glas 2000: Bundesverband Glasindustrie und Mineralfaserindustrie: Jahresbericht 1999. Düsseldorf 2000

- BVSE 1998: Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung: „Elektroschrottverwertung“ UBG Medienzentrum, Rheinbach 1998.
- BZL, DPU 2000: Deutsche Projekt Union und BZL Kommunikation und Projektsteuerung: „Studie zu den abfallwirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen der im Arbeitsentwurf einer Abfallverwaltungsverfahren (AbfVwV) vertretenen Rechtspositionen.“ Hrsg.: Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg. Stuttgart, August 2000
- Consultic 2000: Produktions- und Verbrauchsdaten für Kunststoffe in Deutschland unter Einbeziehung der Verwertung 1999 – Ergebnisse einer Umfrage. Endbericht der Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH, Großostheim, September 2000
- Copper Data Center 2001: A service of the Copper Development Association for the copper and brass industries in the USA. <http://www.csa.com/copperdata/> Stabd: 15.10.2001.
- DAT 1999: Deutsche Automobil Treuhand Infodienst 9/99
- DepV-E 2001: BMU: [http://www.bmu.de/download/dateien/abfallw\\_deponiev\\_entw.pdf](http://www.bmu.de/download/dateien/abfallw_deponiev_entw.pdf); 2001
- DFIU 1996: Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung, Universität Karlsruhe (TH): Stoffstrommanagement in der Eisen- und Stahlindustrie. Im Auftrag des Umweltbundesamtes (Hrsg.), UBA-Berichte 5/96, Erich Schmidt Verlag Berlin 1996
- DFIU 2001: Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung, Universität Karlsruhe (TH): untersuchung von Batterieverwertungsverfahren und –anlagen hinsichtlich ökologischer und ökonomischer Relevanz unter besonderer Berücksichtigung des Cadmiumproblems. Im Auftrag des Umweltbundesamtes (Hrsg.), Forschungsprojekt 299 35 330, Berlin 2001
- DIW 1999: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung: „Versorgung mit Metallrohstoffen auch langfristig weltweit gesichert.“ DIW-Wochenbericht 21/99
- DKI 95: Deutsche Kupferinstitut: „Sachbilanz einer Ökobilanz der Kupfererzeugung und –verarbeitung“, DKI Sonderdruck, Düsseldorf 8/95.
- DKI 1997: Deutsches Kupferinstitut, Kupfer - Vorkommen, Gewinnung, Eigenschaften, Verarbeitung und Verwendung, DKI Informationsdruck 004, 1997
- DKI 1999: Deutsche Kupferinstitut: „Kupfer – Vorkommen, Gewinnung, Eigenschaften, Verarbeitung, Verwendung“ DKI Informationsdruck, Düsseldorf 2/99.
- DKI 2000: Deutsches Kupferinstitut: Kupfer in der Elektrotechnik Kabel und Leitungen, Düsseldorf März 2000
- DNR 1-2/1992: WWF und NABU im Deutschen Naturschutz Ring: DNR-Kurier-Heft 1-2/1992
- Döring, Oberle 2000: Döring, E.; Oberle, T.: „Wertstoffkreisläufe für Spezialgläser schließen. Eine Bestandsaufnahme mit Blickrichtung Zukunft“. Dokumentation des Symposiums Recycling von End-of-Life Bildröhren. Schott Glas, 07. und 08.09.2000 in Mainz
- DSB 2000: Deutscher Schützenbund: Inforbreicht zum Kongress „Sportschießstände und Umwelt“ am 29.4.2000 in Ulm. DSB, Wiesbaden 2000
- EA NRW 2002: Energieagentur Nord-Rhein-Westfalen: „Besonders sparsame Haushaltsgeräte 2002“ - Eine Verbraucherinformation aus dem Impuls-Programm RAVEL NRW, <http://www.spargeraete.de/eانrw> Stand: 31.7.2002.
- EAWAG/ETH 2001: Gebäude im Umbau urbaner Kulturlandschaften <http://www.s+e.ethz.ch>; 2001
- Eberle 1996: Eberle, U.; Griebhammer, R. (Hrsg.): ‘Ökobilanzen und Produktlinienanalyse’, Freiburg 1996

- ECI 2000: European Copper Institute (Hrsg.): Dewison, Paul: „Energy Cabel Consumption in Western Europe in 1999“ European Copper Institute 2000.
- EEE 2001: Working Paper for a Directive of the European Parliament ant the Council on the Impact on the environment of electrical and electronic equipment. Version: Febr. 2001
- Eenhorn, Stevels 2000: Eenhorn, G.-J.; Stevels, A.: Environmental Benchmarking of Computer Monitors.” in “Electronics Goes Green 2000+” (Tagungsband), 11.-13. September 2000, Hrsg.: Reichl, Herbert und Griese, Hansjörg, VDE-Verlag Berlin, Offenbach 2000
- EIPPCB gl 2000: European IPPC Burreau: Draft Reference Document on Best available techniques in the Glass industry. Draft July 2000
- EIPPCB nfm 1999: European IPPC Burreau: Draft Reference Document on Best available techniques in Non Ferrous Metals industries. Draft July 1999
- EITO 1997: European Information Technology Observatory, Nr. 97, 1997, Mainz.
- EITO 1999: EITO (Hrsg.): „European Information Technology Observatory 99”, Frankfurt am Main 1999
- Endres, Querner 1993: Endres, Alfred; Querner, Immo: Die Ökonomie natürlicher Ressourcen – eine Einführung. Wiss. Buchges., Darmstadt 1993
- Enquete 1994: Bericht der Enquête-Kommission ”Schutz des Menschen und der Umwelt” des 12. Deutschen Bundestages: ”Die Industriegesellschaft gestalten - Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen”. Hrsg.: Deutscher Bundestag, Drucksache 12/8260, Bonn 12.07.1994
- Enquete 1996: Deutscher Bundestag, Bericht der Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" - Bewertungskriterien und Perspektiven für umweltfreundliche Stoffkreisläufe in der Industriegesellschaft, Bonn 1996
- Enquete 1998: Abschlußbericht der Enquête-Kommission ”Schutz des Menschen und der Umwelt” des 13. Deutschen Bundestages – ”Konzept Nachhaltigkeit, Vom Leitbild zur Umsetzung”. Hrsg.: Deutscher Bundestag, Referat Öffentlichkeitsarbeit, Bonn 1998
- Ernsting, Klingholz 2001: Ernsting, T.; Klingholz, R.: Revoldution auf Rädern – Das Auto von Morgen. In Geo 9/2001, Gruner + Jahr AG, Hamburg 2001
- ETH 1995: Ökoinventare für Energiesysteme. Hrsg.: Bundesamtes für Energiewirtschaft Schweiz, 2. Afl., Zürich 1995
- EUROBAT 18.9.2000: Eurobat position on Lead-Acid SLI (Starting, Lighting, Ignition) Batteries. 18. September 2000
- EUROBAT 2001: Position Paper on DG environment Draft proposal for the Replacement of Directive 91/157/EEC on Batteries and Accumulators (30.03.2001). April 2001
- EU IPP 2001: „Grünbuch zur Integrierten Produktpolitik.“ KOM (2001) 68 endgültig, EU-Kommission, Brüssel 2001
- EU PVC 2000: Unterrichtung durch die Bundesregierung: „Grünbuch der Kommission der Europäischen Gemeinschaften zur Umweltproblematik von PVC“, Bundesratsdrucksache 529/00 vom 30.08.00
- Eurometaux 2000 : Eurometaux: „Activity Report 1999”, Bruxelles 2000
- EVCM et al. 2001 : Selbstverpflichtung zum nachhaltigen Wirtschaften von ECVM, EuPC, ECPI und espa. 2001

- Fellmuth, Bräutigam 1999 : Fellmuth, Petra ; Bräutigam, Andreas : Verwertung von Bleiakкумуляtoren. In MuA Lfg. 9/1999, Blatt 8528.2
- FFU 1997: Forschungsstelle für Umweltpolitik: Ökologische Innovationen in der chemischen Industrie: umweltentlastung ohne Staat? Ffu Report 97-4, Berlin 1997
- FHG-ISI 1992: Untersuchung über die Auswirkungen geplanter gesetzlicher Beschränkungen auf die Verwendung, Verbreitung und Substitution von Cadmium in Produkten. Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, UFOPLAN 10408320, i. A. Umweltbundesamt, Berlin 1992
- FHG-ISI 2001: Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung: Bilanzierung des Eintrages von Schwermetallen in Gewässer. UFOPLAN 29828243, 2001
- Forschungsstelle für Energiewirtschaft: Ganzheitliche Bilanzierung von Grundstoffen und Halbzeugen, Teil III Metalle – Kupfer, München, Juli 1999
- Frank 1998: Frank, E. Mark u.a.: „Charakterisierung und Entfrachtung von Reststoffen aus Autore-shredderanlagen“. In: Müll und Abfall 12-98.
- Frey et al. 2000 : Frey, S. et al.: Environmental Assessment of Electronic Products using LCA and Ecological Footprint.“ in “Electronics Goes Green 2000+“ (Tagungsband), 11.-13. September 2000, Hrsg.: Reichl, Herbert und Griese, Hansjörg, VDE-Verlag Berlin, Offenbach 2000
- FZ Jülich 2001: Forschungszentrum Jülich GmbH: Nachhaltiges Management metallischer Stoffströme – Indikatoren und deren Anwendung. Schriften des FZ Jülich, Reihe Umwelt/Environment Band 31, Jülich 2001
- GewAbfV-E 2001: BMU [http://www.bmu.de/download/dateien/gewerbeabf\\_verord.pdf](http://www.bmu.de/download/dateien/gewerbeabf_verord.pdf); 2001
- GfK 2001: GfK Marketing Services GmbH und ZVEI Hausgeräte Fachverband: „Zahlenspiegel des deutschen Elektro-Hausgerätemarktes 2001“. Nürnberg-Frankfurt a.M. 14.1.2002.
- GFU 2001: gfu Gesellschaft für Unterhaltungs- und Kommunikationselektronik mbH und GfK Marketing Services GmbH: „Der Deutsche Markt für consumer Electronics 2000“ Frankfurt a.M. 2001.
- von Gleich et al. 2001: von Gleich, Armin; et al.: Nachhaltige Metallwirtschaft Hamburg. Fachhochschule Hamburg, BMBF-Projekt, 2001
- Griese et al. 1997: Griese, H.J.; Müller, J.; Sietmann, R.: Kreislaufwirtschaft in der Elektronikindustrie, Berlin 1997
- Griese et al. 2000: Griese, H. et al.: “Environmental assessment of Lead Free Interconnection Systems.” in “Electronics Goes Green 2000+“ (Tagungsband), 11.-13. September 2000, Hrsg.: Reichl, Herbert und Griese, Hansjörg, VDE-Verlag Berlin, Offenbach 2000
- Greenpeace 11/2000: Downloads von [www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de). „PVC im Baubereich“, „Elektrokabel ohne PVC“, „Dachbahnen ohne PVC“, „Fensterrahmen ohne PVC“, „Rohrleitungen ohne PVC“. Greenpeace, Hamburg 11/2000
- GRS Batterien 2001: Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien: Entsorgung verbrauchter Gerätebatterien. GRS, Hamburg 2001
- GTZ 1999: Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit: „Umweltverträgliche Batterieentsorgung und –verwertung“. Umwelt-Handbuch-Arbeitsmaterialien zur Erfassung und Bewertung von Umweltwirkungen, Hrsg.: BMZ, 1999

- Hafkesbrink 1998: Hafkebrink, Joachim u.a.: Abschätzung der innovativen Wirkung umweltpolitischer Instrumente in den Stoffströmen Elektroaltgeräte/Elektronikschrott. Untersuchungen des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung (Hrsg.) Heft 26, Essen 1998.
- Hamidović 1997: Hamidović, Jasna: „Industrielle Konzepte zum Altglasrecycling“. Europäische Hochschulschriften, Reihe V Volks- und Betriebswirtschaft, Peter Lang Europäischer Verlag der Wissenschaften, Frankfurt am Main 1997
- Handke 1995: Handke, V.: „Die Umweltrelevanz mülltonnengängiger Elektroaltgeräte“. Diplomarbeit TU-Berlin, Berlin 1995.
- Hansen 2000: Hansen, U. et al.: „Industrial Remanufacturing of WEEE Needs Effective Reverse Logistics.“ in „Electronics Goes Green 2000+“ (Tagungsband), 11.-13. September 2000, Hrsg.: Reichl, Herbert und Griese, Hansjörg, VDE-Verlag Berlin, Offenbach 2000
- Hauff 1987: Hauff, V. (Hrsg.): Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung; Eggenkamp-Verlag, Greven 1987
- Huber 1995: Huber, Joseph: Nachhaltige Entwicklung – Strategien für eine ökologische und soziale Erdpolitik. Edition Sigma, Berlin 1995
- Hullmann et al. 2001: Hullman, Heinz et al.: „Einsatz von Kupfer und Zink bei Dächern, Dachrinnen und Fallrohren“. Sachstandbericht im Auftrag der WVM. Düsseldorf September 2001.
- Hunklinger 2000: Hunklinger, Ralph: „Abfalltechnische Kennzahlen zur umweltgerechten Produktentwicklung“. Dissertation TU Darmstadt, Eigenverlag, Darmstadt 2000.
- ILZSG 2001: International Lead and Zink Study Group; [www.ilzsg.org](http://www.ilzsg.org); 2001
- INTECUS in SBB o.J.: „Rückbau, teilentkernung oder Abbruch – Ein Kostenvergleich am beispiel eines Bauvorhabens in Berlin/Pankow“ in SBB: „Kostensparen durch abfallarmes Bauen“. SBB, Berlin o.J.
- Interoute 2001: „the interroute pocket glossary – Telecommunications and Networking Terms Explained. Interoute 2001
- ITAS 1998: Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse des Forschungszentrums Karlsruhe (ITAS); Institut für industrielle Bauproduktion der Universität Karlsruhe (ifib): ‘Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen’, siehe ENQUETE-KOMMISSION 1998
- IZT 1996: Kreibich, Rolf (Hrsg.): Nachhaltige Entwicklung – Leitbild für die Zukunft von Wirtschaft und Gesellschaft. ZukunftsStudien, Band 17, Beltz Verlag, Weinheim Basel 1996
- IZT 1998: Behrendt, S.; Kreibich, R.; Lundie, S.; Pfitzner, R.; Scharp, M.: Ökobilanzierung komplexer Elektronikprodukte, Heidelberg, 1998.
- IZT, DIW 1998: Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung und Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung: Innovationen zur Nachhaltigkeit. Ökologische Aspekte der Informations- und Kommunikationstechniken. Im Auftrag der Enquête-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestages (Hrsg.), Springer Verlag Berlin Heidelberg New York 1998
- IZT, FWI 2001 : Scharp, M. et al.: "Nachhaltigkeit des Bauens und Wohnens", im Auftrag der Schäbisch Hall-Stiftung 'bauen-wohnen-leben', Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung und Führungsakademie der Wohnungs- und Immobilienwirtschaft, Endbreicht Mai 2000

- IZT, NIK 2002: Roadmap „Displays“ i Rahmen des Projektes „Nachhaltigkeit in der Informations- und Kommunikationstechnik“, gefördert vom BMBF, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin 2002
- IZT 1999: Behrendt et al. : Wettbewerbsvorteile durch ökologische Dienstleistungen –Umsetzung in die Unternehmenspraxis. Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung. Springer, Berlin Heidelberg 1999
- IZT 1999b: Behrendt, S. et al.: „Ökologische Bewertung der Telefonanlage Loewe Alpha Tel E und „Grünes Telefon““ WerkstattBericht Nr.34, IZT Mai 1999.
- IZT 1999c: Behrendt, S. u.a.: „Ökologische Bewertung von Bodenstaubsaugern“ WerkstattBericht Nr.34, IZT Mai 1999.
- IZT et al. 2000 : Behrendt et al.: „Machbarkeitsstudie für eine stoffstrombezogene Abfallwirtschaftspolitik“, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, DRA Stefan Klinski und ARGUS TU-Berlin, im Auftrag des Umweltbundesamtes Berlin, 2000
- Jakob 1997 : Jakob, George: ‘Baustellenabfallentsorgung’, Müll und Abfall Nr. 3, S.158-167, 1997
- Kaiser 1998: Kaiser T. u.a.: „Einträge von Stoffen in Böden –eine Abschätzung des Gefährdungspotentials“ Logos Verlag. Berlin 1998
- Kaiser 1999: Kaiser, Michael: „Erste Erfahrungen mit bleifreien Fertigungstechnologien“. In „Elektronik-Design ,99 & Baugruppenfertigung“ (Vortragsband), Hrsg.: Fachverband Elektronik-Design (FED), 1999
- KBA 2001: Kraftfahrbundesamt: Statistische Mitteilungen Flensburg 2001.
- KBA 2002: Kraftfahrbundesamt: Statistische Mitteilungen Flensburg 2002.
- Kohler 1999: Kohler, N.: ‘Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen’, Bonn 1999
- KRV 2000: Fachverband der Kunststoffrohr-Industrie, Jahresbericht 2000, Bonn Mai 2001.
- Kuriyama et al. 2000 : Kuriyama, Y. et al.: “Benefits ans Safety of LCDs.” in “Electronics Goes Green 2000+” (Tagungsband), 11.-13. September 2000, Hrsg.: Reichl, Herbert und Griese, Hansjörg, VDE-Verlag Berlin, Offenbach 2000
- LAGA 2000: Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall Nr 31. Elektro-Altgeräte-Richtlinie. Fassung vom November 2000. Erich Schmidt Verlag Berlin, 2001
- Lahl 1999: Lahl, U.: „Abgrenzung der Abfälle zur Beseitigung von Abfällen zur Verwertung“ in: Dohmann, M(Hrsg.): „Entwicklungen der Entsorgung von Industrieabfällen – vom Rahmenkonzept bis zum Abfallwirtschaftsplan“. RWTH Aachen, Oytten 1999
- Lahl 2000: Lahl, U.: „Defizitanalyse und ökologische Bewertung der Abfallverbrennung.“ in: „Restabfallentsorgung“, Hrsg.: Thome-Kozmiensky, TK Verlag Neuruppin 2000
- Leisinger 2000: Leisinger, Klaus M.: Die sechste Milliarde – Weltbevölkerung und nachhaltige Entwicklung. C.H. Beck, München 2000
- LME 2001: London Metal Exchange; www.lme.co.uk, 2001
- Meadows et al. 1972: Meadows, Dennis L.; Meadows, Donella H.; Zahn, Erich; Milling, Peter: Die Grenzen des Wachstums. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart 1972
- Meadows et al. 1992: Meadows, Donella H.; Meadows, Dennis L.; Randers Jörgen: Die neuen Grenzen des Wachstums. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart 1992



- Messner 1999: Messner, F.: „Nachhaltiges Wirtschaften mit nicht erneuerbaren Ressourcen-Die vier Ebenen einer nachhaltigen Materialnutzung am Beispiel von Kupfer und seinen Substituten“ Europäische Verlag der Wissenschaften Frankfurt a.M. 1999.
- Metall 1-2/1999: „Schlechte Konjunktur für Kabelhersteller“ S. 34, Nr. 1-2/1999 Metall (Zeitschrift)
- Miric 2000: Miric, Zoran: „Lead-Free Soldering: Legislation, Projects, Alternatives, Outlook“ in „Electronics Goes Green 2000+“ (Tagungsband), 11.-13. September 2000, Hrsg.: Reichl, Herbert und Griese, Hansjörg, VDE-Verlag Berlin, Offenbach 2000
- NABU 5/1996: Obert, Michael; Höller, Thomas: „Schweres Geschütz“ in „Naturschutz heute“ (Zeitschrift) Heft 5/96, S. 32-33
- Nickel 1996: Nickel, Werner (Hrsg.): Langner, Bernd E.: „Recycling von Kupfer“ In: Recycling Handbuch Strategien-Technologien-Produkte. VDI Düsseldorf 1996
- Norddeutsche Affinerie 1998: Geschäftsbericht 1998, Hamburg 1999
- Norddeutsche Affinerie 2002: Geschäftsbericht 1999-2000. Download: [http://www.na-ag.com/html/investorrelations/geschaeftsbericht/geschaeftsbericht\\_99\\_00.pdf](http://www.na-ag.com/html/investorrelations/geschaeftsbericht/geschaeftsbericht_99_00.pdf); Stand: 30.7.2002.
- Obernosterer, R.; Möslinger, J.; Brunner, Paul H., Der Einfluß der Raumplanung auf den regionalen Stoff- und Energiehaushalt, Wien 1998
- Öko-Institut 2001: Stellungnahme zum Entwurf der Verordnung über Deponien und Langzeitlager. Stand: 04.09.2001. Öko-Institut, Darmstadt 2001; [http://www.oeko.de/bereiche/chemie/documents/stelldepv\\_221001.pdf](http://www.oeko.de/bereiche/chemie/documents/stelldepv_221001.pdf)
- Ökopol 2000: Lohse, J. u.a.: „Heavy Metals in Vehicles“. Final Report for the Directorate General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection of the Commission of the European Communities, Hamburg, March 2000.
- Ökopol 2001: Lohse, J. u.a.: „Heavy Metals in Vehicles II“. Final Report for the Directorate General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection of the Commission of the European Communities, Hamburg, July 2001.
- Prognos 1994: Konversion Chlorchemie. Studie i. A. des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten. Wiesbaden, Dezember 1994
- Prognos AG et al. 2000: Prognos AG, Plastic Consult, COWI: „Mechanical recycling of PVC Wastes.“ Study for DG XI of the European Commission. Basel, Milan, Lyngby, Januar 2000
- Prognos AG 2000a: „Teilreport A: Siedlungsabfälle.“ Prognos 16.8.2000
- Prognos AG 2000b: „Handlungsinstrumentarium zur Effizienzverbesserung bei der Gewinnung und Verarbeitung mineralischer Rohstoffe im Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung am Beispiel Kupfer“. I.A. des Bundesministeriums für Wirtschaft, Dezember 2000
- Puder 1998: Puder, Franz: „Beurteilung der Verwertungsmöglichkeiten für Behälterglas, Flachglas, Bildschirmglas und Leuchtstofflampen“. In „Vollzug des Kreislaufwirtschaftsgesetzes“, Referatesammlung zum 18. Abfallwirtschaftlichen Kolloquium am 18. und 19. März 1998 in Saarbrücken, Hrsg.: Entsorgungsverband Saar 1998
- Puder 2000: Puder, F.: Bildschirmglasrecycling. Dokumentation des Symposiums Recycling von End-of-Life Bildröhren. Schott Glas, 07. und 08.09.2000 in Mainz
- PVCplus et al. 2/2000: PVCplus, PVC Api, PVCH: Produktinformationen Nr. 1 PVC, 2/2000
- Rathke, Siegel 2000: Rathke A, Siegel F: „Ökobilanz eines PC“ Belegarbeit FHTW Berlin Bei: Informationswirtschaft Prof. Dr. Junker 7.Juli 2000.

- RecTec 2000: „Roh- und Sekundärstoffgewinnung aus elektronischen Altgeräten aus der Sicht eines mittelständischen Entsorgungsunternehmens. Dokumentation des Symposiums Recycling von End-of-Life Bildröhren. Schott Glas, 07. und 08.09.2000 in Mainz
- Rheinzink 2000: ARBEITSGEMEINSCHAFT UMWELTVERTRÄGLICHES BAUPRODUKT E.V.: Rheinzink -Titanzink Made in Germany. Bauproduktprüfung, 2000
- RoHS 2000: Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlamentes und des Rates zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in elektrischen und elektronischen Geräten vom 28.08.2000; 2000/0159/COD
- Rudolph 1997: Rudolph, Karl-Ullrich u.a.: „Stand der Behandlung und Verwertung von Shredderrückständen aus Altautos“. In: Müll und Abfall 12-97.
- Rudolphi in SBB o.J.: Rudolphi, A.: „Umweltgerechte, abfallarme Konstruktion – Langlebigkeit, Wiederverwendbarkeit und Umweltverträglichkeit“ In: SBB: „Kostensparen durch abfallarmes Bauen“ Teil III Abfallarme Konstruktion und Baustoffe
- Rutkowski 1998: Rutkowski, Sven: Abfallpolitik in der Kreislaufwirtschaft – Grundzüge einer effizienten und umweltgerechten Abfallwirtschaft. Erich Schmidt Verlag, Berlin 1998
- Sames 1971: Sames, Carl-Wolfgang: Die Zukunft der Metalle. Suhrkamp Wissen, Frankfurt am Main 1971
- Sarkar 2001: Sarkar, Saral: Die nachhaltige Gesellschaft – Eine kritische Analyse der Systemanalysen. Rotpunktverlag, Zürich 2001
- SBB 2000: Sonderabfallgesellschaft berlin/Brandenburg mbH. Referat zum Symposium vom 08.09.2000. Dokumentation des Symposiums Recycling von End-of-Life Bildröhren. Schott Glas, 07. und 08.09.2000 in Mainz
- Schemel, Hans-Joachim (Hrsg.): „Handbuch Sport und Umwelt“. 3. Aufl., Meyer und Meyer Verlag, Aachen 2000
- Schiele-Trauth, Ursula: „Mit Blei nicht mehr im Lot“. In VDI-Nachrichten, 16. April 1999
- Schleederer 2001: Schleederer, S.: Bleischrot gefährdet Mensch, Tier und Umwelt. [www.oejv.de/archiv/bleischrot.htm](http://www.oejv.de/archiv/bleischrot.htm); 07.08.2001
- Schlögl 1995: Schlögl, M.: Recycling von Elektro- und Elektronikschrott, Vogel-Buchverlag, Würzburg 1995
- Schulze, Klaus Georg; von Lindeiner, Andreas: „Vogelschutz und Wasservogeljagd aus der Sicht des Landesbandes für Vogelschutz“. Schriftenreihe des Landesjagdverbandes Bayern, Band 4, 1997
- Shell 2001: Mehr Autos –weniger Verkehr? Szenarien des Pkw-Bestands und der Neuzulassungen in Deutschland bis zum Jahr 2020. Shell, 2001
- Soldera 1995: Soldera, Maeco: „Öko-Computer –Vergleich eines Öko-PC mit einem herkömmlichen PC anhand von Lebenszyklusanalysen LCA“. Projektarbeit an der HTL Chur/Liechtensteiner Ingenieurschule. Gebenstorf 5.4.1995.
- SRU 1994: Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen: Umweltgutachten 1994 – Für eine dauerhaft-umweltgerechte Entwicklung. BT-Drucksache 12/6995, Bonn
- Statistisches Bundesamt 1999: Statistisches Bundesamt: Produktion ausgewiesener Erzeugnisse, Fachreihe 2-1, 1999, Wiesbaden 2000
- StaBA 2000: Statistisches Bundesamt: Zeitreihenservice. Online-Zugriff am 27.09.2000

- StaBA 2000b: Statistisches Jahrbuch 2000 für die Bundesrepublik Deutschland. Metzler-Poeschel, Stuttgart, September 2000.
- Steil 2000: Steil, H.U.: Abschätzung der Umweltbelastung durch Verwendung von bleihaltigen Teilen beim Kraftfahrzeug, Metall Vol. 4. 2000
- Stelter 1998: Stelter, M. (Technische Akademie Freiberg), 1998
- Thomé 1995: Thomé-Kozmiansky (Hrsg.): „Management der Kreislaufwirtschaft“. EF-Verlag Berlin 1995
- TNO 1999: TNO Institute of Strategy, Technology and Policy: Chemical recycling of Plastics Waste (PVC and other Resins), Delft (NL), 12/1999
- Töpfer 1994: Töpfer, Peter: „Management Summary –Elektronikschrotte- Entsorgung/-Recycling“. Aschaffenburg 1994.
- Tötsch 1993: Tötsch, W.: Mitteilung an die Enquete-Kommission. Hüls AG, 30.12.1993
- Turbini et al. 2000: „Assessing the Environmental Implications of Lead-Free Soldering“ in “Electronics Goes Green 2000+“ (Tagungsband), 11.-13. September 2000, Hrsg.: Reichl, Herbert und Griese, Hansjörg, VDE-Verlag Berlin, Offenbach 2000
- UBA 1989: Die Belastung von Böden auf Sportschießplätzen durch Bleischrot und Wurftauben. Hrsg.: Umweltbundesamt. UBA-Texte 39/89, Berlin 1989
- UBA 1997: Umweltbundesamt (Hrsg.): Daten zur Umwelt – Der Zustand der Umwelt in Deutschland. Ausgabe 1997, Erich Schmidt Verlag Berlin 1997
- UBA 1999: „Handlungsfelder und Kriterien für eine vorsorgende nachhaltige Stoffpolitik am Beispiel PVC“. Beiträge zur Nachhaltigen Entwicklung, Hrsg.: Umweltbundesamt, Erich Schmidt-Verlag, Berlin 1999
- UBA 20.7.2001: Batterien und Akkus. Umweltbundesamt. [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de); 20.7.2001
- UBA 2001: Umweltbundesamt: Jahresbericht 2000. Berlin 2001
- UBA 2001b: Umweltbundesamt (Hrsg.): Daten zur Umwelt – Der Zustand der Umwelt in Deutschland 2000. Erich Schmidt Verlag, Berlin 2001
- UBA-Texte 42/1996: Böttcher- Tiedemann, Christiane Perspektiven eine Umweltzeichens für Elektro- und Elektronik geräte im Haushalt. UBA Texte 42/96, Berlin 1996.
- UBA-Texte 61/1996: Arbeitsgruppe Umweltstatistik an der Technischen Universität Berlin: Stand der Entsorgung von elektrischen und elektronischen Kleingeräten in der Bundesrepublik Deutschland. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, UBA-Texte 61/96
- UBA-Texte 26/1998: Maßnahmen zur Emissionsminderung bei stationären Quellen in der Bundesrepublik Deutschland – Minderung von Schwermetallemissionen. Band 2. Umweltbundesamt, Berlin, UBA-Texte 26/98
- UBA/BGR 1999: Umweltbundesamt und Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Stoffmengenflüsse und Energiebedarf bei der Gewinnung ausgewählter mineralischer Rohstoffe, Stuttgart 1999
- UKM 1988: "Usancen und Klassifizierungen des Metallhandels". Hrsg.: VDM 2001
- UPI 1995: Umwelt- und Prognose-Institut Heidelberg: Folgen einer globalen Motorisierung. UPI-Bericht Nr. 35, März 1995
- USGS 2001: U.S. Geological Survey 2000, [www.minerals.usgs.gov](http://www.minerals.usgs.gov); 2001

- UT 2001: University of Tennessee: Desktop Computer Monitors: A Life-Cycle Assessment. Hrsg.: Environmental Protection Agency, 2001; [www.epa.gov.dfe](http://www.epa.gov.dfe)
- VDA 2001: Verband der Automobilindustrie: „Auto Jahresbericht 2001“ Frankfurt M. 2001.
- VDA 2001 a-c, Verband der Automobilindustrie:  
[http://www.vda.de/de/aktuell/statistik/jahreszahlen/kfz\\_bestand/index.htm](http://www.vda.de/de/aktuell/statistik/jahreszahlen/kfz_bestand/index.htm) 17.9.2001.  
<http://www.vda.de/de/aktuell/statistik/jahreszahlen/export/index.htm> 17.9.2001.  
<http://www.vda.de/de/aktuell/statistik/jahreszahlen/produktion/index.htm> 17.9.2001.
- VDA Fax 2001: „Materialien in Kraftfahrzeugen“. Faxmitteilung des Verband der Automobilindustrie, Frankfurt a/M. 7.2.2001.
- VDA, WVM 2000: Stellungnahme der Wirtschaftsvereinigung Metalle (WVM) und des Verbandes der Automobilindustrie zum Ökopol-Gutachten „Heavy Metals in Vehicles“ (Draft Final Report February 2000)
- VDEh 2001: Verein deutscher Eisenhüttenleute Hr Ewers: „Analysevorschriften und Materialeinsatz für Brammen und Knüppel“ Faxmitteilung von Herrn Cohn 14.8.2001.
- VDEW 1997: VDEW: Kabelhandbuch. Hrsg. VDEW, 5. Aufl. 1997
- VDEW 2001: VDEW: Faxmitteilung über die Länge der deutschen Leitungs- und Kabelnetze für Stromtransport und –verteilung, 31.01.2001
- VDI 1996: VDI Handbuch Recycling. Langner: Recycling von Kupfer. Düsseldorf 1996.
- Verbraucheranalyse 2000: „Verbraucheranalyse 2000“ Codeplan. Axel Springer Verlag AG (Hrsg.): Hamburg 2000.
- Verkehr in Zahlen (VIZ) 2001: BMVBM Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: „Verkehr in Zahlen 2001/2002“: Deutscher Verkehrs-Verlag GmbH, 2001
- VersatzV-E 2002: BMU: [http://www.bmu.de/download/dateien/bergversatz\\_verord.pdf](http://www.bmu.de/download/dateien/bergversatz_verord.pdf), 2002
- vke 1994: Verband kunststoffzeugender Industrie: Argumentarium Bleistabilisatoren. vke Frankfurt 3/94
- Walker 1994: Walker, Isa; Tränkler, Josef: ‘Undurchschaubares Gemenge’, Müllmagazin Nr. 1, S.43-47, 1994
- WEEE 2000 Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlamentes und des Rates über Elektro- und Elektronikgeräte vom 28.08.2000; Dokument 500PC0347(01)
- Wicke 1991: Wicke, Lutz: Umweltökonomie und Umweltpolitik. C.H. Beck, München 1991
- Wellmer, Dahlheimer 2001: Wellmer, Friedrich-W.; Dahlheimer, M.: „Die Nutzung metallischer Rohstoffe am Beginn des 3. Jahrtausends“. Vortrag auf dem Workshop: „Nachhaltiges Management metallischer Stoffströme –Indikatoren und ihre Anwendung“ des Forschungszentrums Jülich und des SFB 525 der RWTH Aachen vom 27.-28.6.2001 im Congressentrum Rolduc/Kerkrade
- WVM 2000: Wirtschaftsvereinigung Metalle: „Metallstatistik 1999“ Düsseldorf 2000.
- WVS 2001a: Wirtschaftsvereinigung Stahl-Beschaffung und Logistik: „Zur Lage auf dem Stahlschrottmarkt“ Kurzbericht Düsseldorf, Mai 2001.
- WVS 2001b: Wirtschaftsvereinigung Stahl –Stahl-Zentrum: „Stahl in Zahlen“, Düsseldorf 2001
- Zeltner et al. 1998: Zeltner, Ch.; Bader, H.-P.; Scheidegger, R.; Baccini, P.: Methode zur nachhaltigen Bewirtschaftung von Metallen am Beispiel des Kupfers in den USA. Basel 1998
- ZEIT Nr, 45/01 Strassmann B: „Widerstand zwecklos“ In : Die ZEIT vom 31.10.2001 Seite 38.

- ZVEI 1996: Arbeitskreis Bildröhrenrecycling im ZVEI: „Wiederverwendung von Bildröhrenglas“, Arbeitsergebnisse, Stand August 1996
- ZVEI 1999: ZVEI (Hrsg.): „Bleifreies Löten: Materialien, Komponenten, Prozesse“. Leitfaden, 1999
- ZVEI 1999: ZVEI Bleiverbot in der Elektronikindustrie. Fakten und Argumente zum Thema. März 1999
- ZVEI 2000b: Fachverband Kabel und isolierte Drähte: „Jahresbericht 1999“ Köln 2000
- ZVEI 2001: Hausgeräte-Fachverband: „Zahlenspiegel des deutschen Elektro-Hausgerätemarktes“. Frankfurt a. M. 12-2001.
- ZVEI 2001b: Fachverband Elektrowerkzeuge: „Branchenbericht Elektrowerkzeuge“. Frankfurt a. M. 29.1.2001
- ZVEI PR 2000: Pressemitteilungen des Zentralverbandes der Elektrotechnik- und der Elektronikindustrie 2000 unter <http://www.zvei.de/news/presseinformationen> Stand: 3.4.2001.
- Pressemitteilung 38/2000: „Elektrowerkzeuge: Wachsender Weltmarkt, Stagnation in Europa, Rückgang des deutschen Marktes“
- Pressemitteilung 102/2000: „Elektronische Bauelemente in Deutschland: 2000 bestes Jahr der Geschichte“
- Pressemitteilung 103/2000: „Weltmarkt für elektronische Bauelemente: ZVEI und Marktforscher bescheinigen überragendes Wachstum“
- Pressemitteilung 109/2000: „Aktueller Bericht: Elektro-Hausgeräte auf Wachstumskurs“
- Pressemitteilung 115/2000: „Elektroindustrie meldet zweistelliges Wachstum für 2000“
51. UMK 1998: „Bodenbelastungen auf Schießplätzen.“ Beschluss der 51. Umweltministerkonferenz am 19./20. November 1998 in Stuttgart.
- 2000/53/EG: Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlaments und des Rates von 18. September 2000 über Altfahrzeuge. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L269/34