

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Förderkennzeichen 200 44 318

**Erarbeitung von Maßnahmenvorschlägen zur Substitution
umweltrelevanter Flammschutzmittel bei Leiterplatten,
Außengehäusen für IT- und TV-Geräte sowie Polyurethan-
Dämm- und Montageschäumen**

Workshop-Berichte

Dr. André Leisewitz
Dr. Winfried Schwarz

Öko-Recherche
Büro für Umweltforschung und -beratung GmbH
Frankfurt/M.

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

September 2001

<i>Maßnahmenvorschläge zur Substitution umweltrelevanter Flammschutzmittel</i>	1
<u>VORBEMERKUNG</u>	2
<u>1. Workshops zu ausgewählten Anwendungsbereichen umweltrelevanter Flammschutzmittel</u>	3
<u>2. Leiterplatten</u>	6
<u>2.1 Stand der Entwicklung und Einführung von halogenfrei flammgeschützten duroplastischen Leiterplatten</u>	6
<u>2.2 Eingesetzte Flammschutzmittel, Halogensubstitution, Recycling – Einzelfragen</u>	8
<u>2.3 Angepasster Flammschutz</u>	9
<u>2.4 Maßnahmenvorschläge des Umweltbundesamtes</u>	10
<u>2.5 Schlußfolgerung: Überarbeitete Maßnahmenvorschläge Leiterplatten</u>	13
<u>3. Außengehäuse für IT- und TV-Geräte</u>	15
<u>3.1 Trendbestimmende Faktoren beim Flammschutz für Außengehäuse: technische Entwicklung</u>	15
<u>3.2 Rahmenbedingungen (Brandschutzdiskussion, Marketing, Labelling, Kosten)</u>	16
<u>3.3 Entsorgung/Recycling</u>	17
<u>3.4 Maßnahmenvorschläge des Umweltbundesamtes</u>	17
<u>3.5 Schlußfolgerung: Überarbeitete Maßnahmenvorschläge Außengehäusewerkstoffe für IT- und TV-Geräte</u>	19
<u>4. Polyurethan-Dämm- und Montageschäume</u>	21
<u>4.1 Trend der Schaumformulierung und der flammhemmenden Ausrüstung</u>	21
<u>4.2 Flammschutzmittelemissionen bei PUR-Dämm- und Montageschäumen</u>	25
<u>4.3 Entsorgung und Abfallverbrennung</u>	26
<u>4.4 Maßnahmenvorschläge des Umweltbundesamtes</u>	28
<u>4.5 Schlußfolgerung: Überarbeitete Maßnahmenvorschläge Polyurethan-Dämm- und Montageschäume</u>	31
<u>5. Was treibt und was hemmt Substitution und Minderung umweltrelevanter Flammschutzmittel?</u>	32
<u>5.1 Widersprüchlicher Trend in den untersuchten Anwendungsbereichen</u>	32
<u>5.2 Technische Entwicklungsmöglichkeiten und Entwicklungskooperation</u>	34
<u>5.3 Technische Normen, Labelling</u>	35
<u>5.4 Umweltpolitik und Gesetzgebung</u>	37
<u>5.5 Kosten</u>	42
<u>5.6 Internationalisierung/Globalisierung der Märkte</u>	44
<u>5.7 Unterschiedliche Interessenlagen bei Produzenten und Verbrauchern</u>	45
<u>6. Quellen und Nachweise</u>	48
<u>Anhang</u>	50

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht gibt eine Übersicht zu drei Workshops, die im Anschluß an die Vorlage der UBA-Studie „Erarbeitung von Bewertungsgrundlagen zur Substitution umweltrelevanter Flammschutzmittel“ (Umweltbundesamt Texte 25/01 - 27/01) im Mai und Juni 2001 in Berlin abgehalten wurden. Ziel der Workshops war die Erarbeitung von Maßnahmenvorschlägen zur Substitution und Minderung umweltrelevanter Flammschutzmittel. Die Diskussion wird in ihren wesentlichen Aspekten dokumentiert, zusammengefasst und hinsichtlich einiger neuer Aspekte aufgearbeitet.

Die im Anschluß an die Workshop-Diskussionen überarbeiteten Maßnahmenvorschläge des Umweltbundesamtes für Leiterplatten, Außengehäusewerkstoffe für IT- und TV-Geräte sowie für Polyurethan-Dämm- und Montageschäume sind im Anhang enthalten.

Öko-Recherche GmbH

Frankfurt/M., September 2001

1. Workshops zu ausgewählten Anwendungsbereichen umweltrelevanter Flammschutzmittel

Im Mai und Juni 2001 veranstaltete das Umweltbundesamt drei Workshops über „Maßnahmenvorschläge zur Substitution umweltrelevanter Flammschutzmittel“ bei Leiterplatten, IT- und TV-Außengehäusen sowie Dämm- und Montageschäumen aus Polyurethan.

Grundlage der Diskussion waren die Studie „Erarbeitung von Bewertungsgrundlagen zur Substitution umweltrelevanter Flammschutzmittel“ (Umweltbundesamt Texte 25/01 - 27/01)¹ sowie die vom UBA erarbeiteten Maßnahmenvorschläge. Zur Diskussion standen Stand und Trend der flammhemmenden Ausrüstung sowie Möglichkeiten der Flammschutzmittelsubstitution und -Einsatzminderung in den genannten Anwendungsbereichen einschließlich der zu ergreifenden Maßnahmen.

Sinn der Workshops war es, die Bestandsaufnahme und Bewertung der Flammschutzmittelanwendungen und der angewandten Flammschutzmittel einschließlich Substitutionsempfehlungen der Studie sowie die daraus entwickelten Maßnahmenvorschläge des Umweltbundesamtes mit Experten aus der gesamten Hersteller- und Anwenderkette zu erörtern und aktuelle Trends zu erfassen.

Auswahlbegründung/Substitutionsnotwendigkeit: Die genannten Anwendungsbereiche Leiterplatten, Außengehäuse sowie PUR-Dämm- und Montageschäume wurden ausgewählt, weil bei ihnen aus Sicht des Umweltbundesamtes die Substitution und Verbrauchsminderung umweltrelevanter Flammschutzmittel wünschenswert ist. Auf eine Diskussion über die anderen in der Studie untersuchten Anwendungsfelder – Schienenfahrzeuge: Innenausbau- und Außenteile aus ungesättigten Polyesterharzen; Textilanwendungen: Polsterverbunde für Polstermöbel und Matratzen – wurde verzichtet. Beim gegenwärtigen Stand der Dinge besteht hier kein Handlungsbedarf.

Bei den *Duroplasten für Schienenfahrzeuge*² sind halogenierte Flammschutzmittel in den 90er Jahren weitgehend durch neuentwickeltes thermostabiles ATH substituiert worden.

Bei *Polsterverbunden und Matratzen*³ spielt in der Bundesrepublik flammhemmende Ausrüstung nur eine marginale Rolle („Objektbereich“) und es hat gegenwärtig nicht

¹ UBA-FB 000171/1: Erarbeitung von Bewertungsgrundlagen zur Substitution umweltrelevanter Flammschutzmittel. Band I: Ergebnisse und zusammenfassende Übersicht. Verf. A. Leisewitz, H. Kruse, E. Schramm, Umweltbundesamt Texte 25/01, Berlin 2001;

UBA FB 000171/2: Erarbeitung von Bewertungsgrundlagen zur Substitution umweltrelevanter Flammschutzmittel, Band II: Flammhemmende Ausrüstung ausgewählter Produkte – anwendungsbezogene Betrachtung: Stand der Technik, Trend, Alternativen. Verf. A. Leisewitz, W. Schwarz, Umweltbundesamt Texte 26/01, Berlin 2001;

UBA FB 000171/3: Erarbeitung von Bewertungsgrundlagen zur Substitution umweltrelevanter Flammschutzmittel, Band III: Toxikologisch-ökotoxikologische Stoffprofile ausgewählter Flammschutzmittel. Verf. H. Kruse, O. Paulsen, C. Schau, M. Wieben, U. Böhde, Umweltbundesamt Texte 27/01, Berlin 2001.

Die Studie wird im folgenden mit Band-Nummer und Seitenzahl zitiert.

² Vgl. Bd. I, S. 139-149 (Zusammenfassung Innenausbau- und Außenteile für Schienenfahrzeuge); Bd. II, S. 1-35 (anwendungsbezogene Betrachtung) sowie die zugehörigen Flammschutzmittelbewertungen und Stoffprofile in Bd. I und Bd. III.

den Anschein, dass die immer wieder in einzelnen Ländern der Europäischen Gemeinschaft aufkommende Anregung zur Ausrüstung von Polstermöbeln für den privaten Bereich praktisch wirksam wird. Sollte dies allerdings eintreten, müsste der Bereich erneut betrachtet werden, da dann umweltrelevante Flammschutzmittel in größerem Maßstab eingesetzt werden würden, was aus Umwelt- und Gesundheitsgründen sehr problematisch wäre.

Bei *Leiterplatten*⁴ und bei *Außengehäusen für E+E-Geräte*⁵ ist es der halogenierte (bromierte) Flammschutz, der sowohl unter Gesichtspunkten der Toxizität/Ökotoxizität der eingesetzten Flammschutzmittel und ihrer Abbauprodukte (insbesondere TBBA) wie unter dem Gesichtspunkt der Entsorgung der Altware nach Alternativen verlangt. Da es sich hier um Komponenten von Elektro- und Elektronikgeräten handelt, sind bei der Substitutionsdiskussion die beiden Richtlinienvorschläge des Europäischen Parlaments über Elektro- und Elektronikaltgeräte (WEEE) und über die Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in E+E-Geräten (ROHS) zu berücksichtigen, die auf der Ratstagung der EU am 7. Juni 2001 beschlossen wurden.⁶

Bei *Dämm- und Montageschäumen aus Polyurethan*⁷ ist der halogenierte Flammschutz (bromiert-chlorierte Polyole; TCPP) wegen Entsorgung und der Umweltfunde von TCCP kritisch zu betrachten und möglichst zu substituieren.

Diskussionsschwerpunkte: Die Diskussion zu den jeweiligen Anwendungsbereichen orientierte sich an den Problemkreisen „Trend der Ausrüstung mit Flammschutzmitteln“, „Bewertung des Potenzials der Alternativen“, „Möglichkeiten und Voraussetzungen weitergehender Flammschutzmittelsubstitution und -minderung“ sowie „Maßnahmenvorschläge“. Ergebnisprotokolle wurden den Workshop-Teilnehmern übermittelt.

Berichtsgliederung: Die folgende Übersicht zu den Workshop-Diskussionen in der Reihenfolge Leiterplatten, Außengehäuse, PUR-Hartschäume (Abschnitte 2-4) gliedert sich nach den sachlichen Schwerpunkten der Workshops und gibt die wichtigsten Diskussionsergebnisse wieder. Auf eine Nennung der Diskussionsredner wird (anders als bei den Ergebnisprotokollen) verzichtet, soweit es sich um konsensuale, nicht „umstrittene“ Beiträge handelte. Die Abschnitte gliedern sich nach

- Stand und Trend der flammhemmenden Ausrüstung;
- Einzelfragen der Trendentwicklung und Substitutionsdiskussion mit unterschiedlicher Akzentuierung bei den verschiedenen Workshops;

³ Vgl. Bd. I, S. 184-190 (Zusammenfassung Textilanwendungen – Bezugstoffe für Polstermöbel und Matratzen) sowie Bd. II, S. 281-317 (anwendungsbezogene Betrachtung) sowie die zugehörigen Flammschutzmittelbewertungen und Stoffprofile in Bd. I und Bd. III.

⁴ Vgl. Bd. I, S. 164-173 (Zusammenfassung Duroplastische Leiterplatten); Bd. II, S. 139-212 (anwendungsbezogene Betrachtung) sowie die zugehörigen Flammschutzmittelbewertungen und Stoffprofile in Bd. I und Bd. III.

⁵ Vgl. Bd. I, S. 174-183 (Zusammenfassung Thermoplastische Außengehäuse für IT- und TV-Geräte); Bd. II, S. 213-279 (anwendungsbezogene Betrachtung) sowie die zugehörigen Flammschutzmittelbewertungen und Stoffprofile in Bd. I und Bd. III.

⁶ Pressemitteilung 2355. Tagung des Rates Umwelt v. 7.6.2001. Beide Richtlinienentwürfe müssen zur zweiten Beratung in das EU-Parlament (Stand September 2001).

⁷ Vgl. Bd. I, S. 150-161 (Zusammenfassung PUR-Dämm- und Montageschäume); Bd. II, S. 37-116 (anwendungsbezogene Betrachtung) sowie die zugehörigen Flammschutzmittelbewertungen und Stoffprofile in Bd. I und Bd. III.

- Diskussion zu den Maßnahmenvorschlägen einschließlich der zugrundegelegten Stoffbewertungen, die z.T. kontrovers gesehen wurden;
- Schlußfolgerungen zu den Maßnahmenvorschlägen unter Berücksichtigung der Diskussionsergebnisse.

Im *Schlußkapitel* wird zusammenfassend auf die Frage eingegangen, welche Faktoren die Substitution und Einsatzminderung umweltrelevanter Flammschutzmittel vorantreiben oder hemmen.

Im *Anhang* werden eine Reihe Anlagen dokumentiert: Zwei schriftlich nachgereichte Stellungnahmen zur Stoffbewertung von PBDE, TBBA und TCPP (EBFRIP 2001 und Elastogran 2001), Kommentare der Bearbeiter der Studie zu diesen Stellungnahmen (Kruse 2001; Leisewitz 2001 a und b) sowie die im Anschluß an die Workshop-Diskussionen überarbeiteten Maßnahmenvorschläge des Umweltbundesamtes.

2. Leiterplatten

Im Mittelpunkt des Workshops standen Berichte und Diskussion zu:

- Stand von Entwicklung und Einführung halogenfrei flammgeschützter Leiterplatten (Basismaterial und komplette Leiterplatten, unbestückt) einschließlich Diskussion der „Rahmenbedingungen“;
- Einzelfragen hinsichtlich Einsatz, Kenntnisstand, Bewertung von Flammschutzmitteln bei Leiterplatten und Anforderungen an „halogenfreie Elektronik“ sowie Recycling ;
- das Problem „angepasster bzw. überzogener Flammschutz und dessen Auswirkungen auf die Halogensubstitution;
- Probleme im Zusammenhang mit den Maßnahmenvorschlägen des Umweltbundesamtes einschließlich Stoffbewertungsfragen.

2.1 Stand der Entwicklung und Einführung von halogenfrei flammgeschützten duroplastischen Leiterplatten

Trend: Die Entwicklung von halogenfrei mit Phosphor- und Stickstoffverbindungen flammgeschütztem Laminat und prepregs für Leiterplatten wird in der Bundesrepublik seit gut zehn Jahren betrieben. Die Materialien sind kostengünstiger geworden. Das in der Bundesrepublik bzw. Europa entwickelte Basismaterial steht den Konkurrenzprodukten von japanischen und anderen asiatischen Unternehmen in qualitativer Hinsicht nicht nach. Die asiatischen Unternehmen verfolgen jedoch eine aggressive Marketingstrategie bei „green electronics“. Die von ihnen entwickelten Harze dienen primär für Eigenprodukte und sind auf dem internationalen Markt nicht allgemein zugänglich.

Alternativen auf Basis von halogenfreiem Flammschutz werden für alle Leiterplattentypen (einschließlich Multilayer) entwickelt. Sie stehen allerdings noch nicht für sämtliche Anwendungsbereiche bereit. Beim Standard-FR4-Material (Epoxidharz-Glasgewebe, ca. 90 Prozent der Nachfrage; nur hierüber wurde im einzelnen diskutiert) kann Material mit einer niedrigeren Glasübergangstemperatur (T_g-Wert) von 135 - 150 abgedeckt werden. Bei höherem T_g (170 - 190) ist dies nach Expertenmeinung noch nicht der Fall. Bei den Materialanforderungen gibt es dabei einen starken Trend zu höherem T_g. Im EU-Raum macht der Anteil von Material mit T_g 150/160 ca. 40 % aus, in den USA wird nur noch T_g 170 nachgefragt, was den Trend bestimmen dürfte.

Entwicklungs-Beispiel: Berichtet wurde über ein gerade abgeschlossenes Einführungsprojekt einer halogenfrei flammgeschützten FR4-Leiterplatte mit halogenarmem Lötstopplack für den Telekommunikationsbereich/Standtelefon (Gemeinschaftsprojekt des Basismaterial-Herstellers Nelco-Dielektra/Köln und des Leiterplattenherstellers Vogt-electronic Fuba GmbH/Gittelde als Vorlieferanten des Siemens-Konzerns; vgl. Krüger/Bach 2001; PARK nelco 2001). Die Entwicklung begann im Mai 1999 und

wurde mit der internen Vogt-Fuba-Freigabe im Dezember 2000 abgeschlossen. Der Leiterplattenhersteller hatte dabei Kompatibilität des neuen Materials mit den installierten Fertigungsprozessen verlangt, um Umrüstkosten zu vermeiden. Insgesamt sollte das Material nicht teurer sein. Der Flammschutz erfolgt hier durch Einreaktion einer Phosphorverbindung in einem mit Dicyandiamid in üblicher Konzentration gehärteten Epoxidharz (Hellmig 2001).

Treibende und hemmende Momente: Aus der Sicht der Basismaterialhersteller wird die Entwicklung halogenfreier Leiterplatten gegenwärtig weniger von technischen Erwägungen oder Zwängen getrieben, sondern primär unter Marketinggesichtspunkten. Die Vorverlegung der Fristen bei der WEEE und ROHS⁸ dürfte nach Meinung von Basismaterial-Herstellern den Einführungs-Prozeß beschleunigen. Andererseits gibt es gegenwärtig noch keinen relevanten Markt für halogenfrei flammgeschützte Leiterplatten. Als hemmendes Momente gilt hier ein „Akzeptanzproblem“, das mit technischen Aspekten und Unsicherheit hinsichtlich der Langfristverläßlichkeit des neuen Materials sowie mit Kosten zu tun hat.

Technische Aspekte: Für Standardmaterial mit höherem Tg sind noch Entwicklungsarbeiten notwendig. Vergleichsuntersuchungen an halogeniert und halogenfrei flammgeschütztem Laminat, die von BSEF/APME⁹ durchgeführt wurden, ergeben, dass die Eigenschaften beider Materialien nahe beieinander liegen. Schwachpunkt des halogenfrei flammgeschützten Materials dürfte die Wasseraufnahme sein (vgl. Bd. II, S. 177, 179). Sie erfordert zusätzliche Trocknung bei der Verarbeitung, beeinflusst die Lagerstabilität von prepregs und erschwert das Bestehen des „pressure cooker test“ (10 sec bei 288 °C). Es bedarf hier noch praktischer Anwendungserfahrungen über längere Fristen. Zum Vergleich: Das halogenierte Standardmaterial, an dem sich die Alternativen zu messen haben, hat einen dreißigjährigen Prozess der Optimierung durchlaufen. Technische Entwicklungsprobleme stellen sich im einzelnen auch hinsichtlich der Verarbeitbarkeit des Alternativmaterials (z.B. Bohren, Lötbadempfindlichkeit). Die beim Workshop berichteten Praxisbeispiele zeigen jedoch, dass diese Probleme zu bewältigen sind. So setzt Sony gegenwärtig u.a. in Camcodern und Notebooks drei neue halogenfreie Lamine ein, die im Vergleich zum traditionellen Standardmaterial einen etwas höheren Wassergehalt haben. Sony will bis März 2006 komplett auf halogenfreie Materialien umstellen. (Die Verschiebung des bereits für 2003 angekündigten Termins auf 2006 hängt nach Unternehmensauskunft mit Zuliefererproblemen zusammen.) Etliche Produkte entsprechen bei Leiterplatten bereits heute diesem Standard. Insgesamt wird die Erwartung geäußert, dass der breitere Einsatz von halogenfreiem Material und eine längerfristige Erfahrung zu optimierten Produkten führen werden, die qualitativ besser als das heutige Standardmaterial mit halogeniertem Flammschutz sind.

Kostenfrage: Die Kostenfrage dürfte der wichtigste Hemmschuh für die Einführung halogenfreier Lamine sein. Höhere Kosten ergeben sich bei den Flammhemmern, weil die Phosphorchemie im Vergleich zur Bromchemie teurer ist, und bei der Verar-

⁸ Das EU-Parlament hatte eine Vorverlegung der Frist von 2008 auf 2006 vorgeschlagen; diese Frist wurde bei der Ratstagung am 7. Juni 2001 auf 2007 abgeändert. Vgl. Europa-Rat, Pressemitteilung 2355. Tagung des Rates Umwelt v. 7.6.2001. Außerdem beschloß der Rat, dass die Verbotliste der ROHS zwei Jahre nach Inkrafttreten anhand neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips überprüft werden soll (der Vorschlag des EU-Parlaments enthielt einen festen Termin: Überprüfung bis 31.12.2003).

⁹ BSEF: Bromine Science and Environmental Forum, Brüssel (Gemeinschaftseinrichtung der Brom-Industrie); APME: Association of Plastics Manufacturers in Europe, Brüssel.

beitung durch zusätzliche Trocknung wg. Wasseraufnahme sowie durch Umstellungen im Verarbeitungsprozess (z.B. beim Bohren der Leiterplatten). Sonys halogenfreie Lamine sind 20-30 Prozent teurer. Bei größeren Serien und zunehmender Erfahrung wird – ähnlich wie bei der Einführung halogenfreier Kabel – Kostendegression erwartet bzw. bereits berichtet. Phosphor-ATH-flammgeschütztes Laminat für Leiterplatten, die in der Londoner Underground eingesetzt werden, ist nach Herstellerangaben insgesamt nicht teurer als Standard FR4 auf TBBA-Basis (vgl. Bd. II, S. 179, Angaben von Toshiba und Martinswerke).

2.2 Eingesetzte Flammschutzmittel, Halogensubstitution, Recycling – Einzelfragen

Definition „halogenfrei“: „Grüne Elektronik“ bedeutet aus Endabnehmer-Sicht (Elektronik-Industrie) die Entwicklung von vollständig „halogenfreien“ Geräten. Insofern wird es als unzureichend angesehen, nur Einzelkomponenten, in diesem Fall das Laminat bzw. die Leiterplatten, zu betrachten. Als Definition für „halogenfrei“ schlägt die Siemens AG bei Leiterplatten und Lötstopp-Lack einen maximalen Halogengehalt von jeweils < 0,18 Gew.-Prozent vor.¹⁰

Informationsstand zur Toxikologie/Ökotoxikologie von Substituten: Der verfügbare Kenntnis- bzw. Informationsstand über die TBBA-Alternativen ist bei den einzelnen Produkten und Herstellern sehr unterschiedlich. Grundsätzlich wurde bestätigt, dass bei Standard FR4-Material nach UL94-V0-Einstufung gegenwärtig eine Kombination von reaktivem Phosphor und Stickstoff (letzterer über den Härter einzubringen) eingesetzt werden muss, weil mit Phosphor allein kaum alle FR4-Parameter zu erreichen sind. Außerdem kann thermisch stabilisiertes ATH in Kombination mit Phosphor als Flammschutz-Komponente dienen (so bei der Londoner Underground).

Beim Workshop wurde moniert, dass bei den von asiatischen Herstellern verwendeten Basismaterialien (oft) keine Listung z.B. nach TOSCA (US-Toxic Substances Control Act von 1976) vorliegt. In Europa bzw. der Bundesrepublik entwickelte Materialien (z.B. Struktol von Schill + Seilacher) sind zwar gelistet, jedoch bleibt auch hier festzuhalten, dass der Kenntnis- und Informationsstand gegenüber dem relativ gut untersuchten (und derzeit im Risk Assessment nach 793/93/EG befindlichen) TBBA bei den TBBA-Alternativen geringer ist. Dies stellt ein bei Substitutionsprozessen häufiger auftretendes Problem dar, wobei solche Kenntnisdefizite weitgehend behoben werden müssen. Das Ausmaß der toxikologisch/ökotoxikologischen Untersuchung sollte sich dabei aber auch an dem zu vermutenden Risikopotential des Stoffes orientieren (vgl. Abschn. 2.4).

Elektronikschrott und Flammschutzmittel: Zu den in der Studie mitgeteilten PBDE-Funden bei (entstückten) Leiterplatten (vgl. Bd. II, S. 173 f.) wurde festgestellt, dass das mengenmäßig dominierende FR4-Material bisher immer mit TBBA ausgerüstet und PBDE auch in Papierlaminaten nicht verwendet wurden. Bei entsprechenden Funden müsse es sich daher um Verunreinigungen handeln, die nicht vom Laminat sondern ev. von der Bestückung stammen.

¹⁰ Siemens gibt den aktuellen Halogen-Gehalt bei Laminat und prepregs mit über 8 Gew.-Prozent Brom und 0,2 Gew.-Prozent Chlor, beim Lötstopp-Lack mit etwa 4 Gew.-Prozent Chlor und Brom an (Zeiningner 2001).

Recyclingfrage: Gegenüber den in der Studie zusammengestellten Entsorgungsschemata und Stoffflussdaten (vgl. Bd. II, S. 196 – 202: naßchemische Aufarbeitung; Metallrückgewinnung in Kupferhütten; werkstoffliche Verwertung von Granulat; Verbrennung/Deponie) ergab die Workshop-Diskussion grundsätzlich keine neuen Erkenntnisse. Verwiesen wurde darauf, dass Sekundärkupferhütten wegen ungenügender Abgasreinigung (Dioxin-/Furanemissionen) keinen Leiterplattenschrott verarbeiten können. Eine komplette Trennung von halogeniert flammgeschützten und nichthalogenierten Leiterplatten dürfte in Zukunft kaum möglich sein.

Konstruktive Alternativen: Neben der Stoffsubstitution werden auch werkstoffliche bzw. konstruktive Alternativen zur herkömmlichen duroplastischen Leiterplatte entwickelt, die den Verzicht auf umweltrelevante Flammschutzmittel und Recycling (werkstoffliche Wiederverwertung) ermöglichen (vgl. Bd. II, S. 192-195). Dieser Substitutionsstrang wurde beim Workshop nicht weiter diskutiert, seine Bedeutung jedoch hervorgehoben. Erwähnenswert ist hier die Fortsetzung der Entwicklungsarbeiten, die bislang im Rahmen des BMBF-Projekts „Grüner Fernseher“ betrieben wurden und die sich derzeit auf die Entwicklung halogenfreier Leiterplatten aus geschäumten Thermoplasten konzentrieren (vgl. Öko-Institut 2001).

2.3 Angepasster Flammschutz

Aktueller Stand: Leiterplatten werden weltweit fast ausschließlich nach UL94-V0 (Underwriter's Laboratories) flammhemmend ausgerüstet (vgl. im einzelnen Bd. II, S. 157/158 mit Erläuterung der Brennbarkeitsklassen V0 und V1). Seit langem wird darauf hingewiesen, dass dies in weiten Bereichen technisch nicht begründet ist und einen „überzogenen“ Flammschutz bedeutet. Die am Weltmarkt maßgebliche Norm von NEMA (National Electronics Manufacturers Association, USA) verlangt für FR4 mindestens V1, nicht V0. Bei dem Workshop wurde bekräftigt, dass bei einem großen Teil der Leiterplatten, z.B. für tragbare Elektronik, die V0-Einstellung technisch nicht erforderlich ist. Dem stehen jedoch „Markt-Erfordernisse“ und kundenseitige Sicherheitsanforderungen entgegen.

Halogensubstitution und V0/V1-Standard: Bei einem Verzicht auf die V0-Einstellung z.B. zugunsten von V1 würde sich der notwendige Flammschutzmittelgehalt bei halogeniertem wie bei halogenfreiem Flammschutz vermindern. Für die Halogensubstitution wäre dies insofern eine Erleichterung, als bei geringerer Zugabe von reaktivem Phosphor die geforderten technischen Parameter der Leiterplatten leichter zu gewährleisten sind als bei FR4-V0-Material. Außerdem könnten bei geringerem Phosphorgehalt leichter höhere Glasübergangstemperaturen eingestellt werden, die am Markt an Bedeutung gewinnen. Insgesamt wäre das Material auch kostengünstiger.

Hemmende Momente: Die Entscheidung V0/V1 ist jedoch, wie die Diskussion zeigte, weniger technisch, sondern primär marktbestimmt. Bei Siemens mit vornehmlich industriellen Kunden wirken sich die Anforderungen des US-Marktes (V0 verbindlich; Praxis von Schadenersatzforderungen im Brandfall) stark aus, ebenso die u.a. von den „US-Fire Marshals“¹¹ forcierte Diskussion um externe Brandquellen bei Elektronikprodukten. Berichtet wurde, dass die im Rahmen eines entsprechenden Arbeitskreises der deutschen Automobilindustrie erwogene Umstellung von V0 auf V1 bei

¹¹ Vgl. Bd. II, S. 222.

Leiterplatten für PKW-Elektronik trotz Bereitschaft bei relevanten Automobilherstellern (z.B. BMW) mit Verweis auf den US-Markt nicht realisiert werden konnte. Bei anderen Automobilkomponenten (z.B. Automobilsitze) ist aber eine regionalspezifische Ausrüstung mit unterschiedlicher Flammhemmung durchaus üblich.

Gegenläufige Trends: Als Hemmnisse für die Umstellung von V0 auf V1 dort, wo V0 nicht erforderlich ist, wurden genannt: Die Dominanz der zertifizierenden Underwriter's Laboratories und des US-Marktes, psychologische Faktoren (das absatzförderliche Argument „größere Sicherheit“), Logistik-Probleme für den Fall der Doppelbevorratung von V0/V1-Material bei einer großen Zahl von Leiterplattenspezifikationen; die bisherige „Verwöhnung“ der Abnehmer mit V0 („zusätzliche Sicherheit“) zu niedrigen Kosten.

Diese an sich absurde Situation verlangt nach einer Lösung auf EU-Ebene. Das Umweltbundesamt will sich hierum bemühen. Umweltverbände (hier: BUND) verlangen darüberhinaus, sich nicht auf die Alternative V0-V1 zu beschränken, sondern auch je nach technischer Anforderung niedrigere Einstufungen (V2) in Betracht zu ziehen. Zu bedenken ist auch, dass V0 nur einen Aspekt (Selbstverlöschung) betrifft, aber die sonstigen Brandnebenerscheinungen (wie Rauchgasdichte und -Toxizität), d.h. die „Gesamtsicherheit“, stärker beachtet werden müsste.

Bei der Automobilindustrie sollte wegen der Altautoverschrottung generell Interesse an „halogenfrei“ bestehen; dies wird ihrerseits auch betont. Trotzdem wurde hier in der Diskussion momentan eher ein Zurück zu halogenierten FSM gesehen. Die Automobilentsorgung könnte sich dann als „technischer Treiber“ für die Umstellung auf halogenfreie Leiterplatten und V1 erweisen, wenn eine halogenfreie Ausrüstung aller Automobilkomponenten möglich ist („Komplettlösung“). Die längerfristig beabsichtigte Umstellung der Automobil-Bordnetze von derzeit 12 auf 42 Volt (vgl. Schlott 2001) stellt hier kein grundsätzliches Problem dar (Isola AG 2001).

2.4 Maßnahmenvorschläge des Umweltbundesamtes

Zusammenfassung der Vorschläge: Die Maßnahmenvorschläge des UBA bei Leiterplatten sahen im Entwurf ein Verbot von PBDE und PBB wegen gelegentlich noch auftretender Funde in Altware vor (vgl. dazu die Diskussion unter 2.2). Die Studie empfiehlt die Substitution von TBBA (reaktiv), wobei die Maßnahmenvorschläge hier eine forcierte Entwicklung der Alternativen (halogenfrei flammgeschützte Leiterplatten) für notwendig erachten (Einrichtung eines entsprechenden Arbeitskreises der herstellenden Industrie; Überprüfung der Vergaberichtlinien des „Blauen Engel“; verbesserte Information auf technischen Merkblättern). Außerdem wird ein Abgehen von durchgängiger V0-Listung zugunsten einer den technischen Erfordernissen angepaßten flammhemmenden Ausrüstung (UL94-V1 statt V0) vorgeschlagen. Zugleich werden weitergehende Untersuchungen/Datenoffenlegung bei den Substituten für notwendig erachtet.

Diskussionsschwerpunkte: In der kontroversen Diskussion dazu standen folgende Aspekte im Mittelpunkt:

- Bewertung der eingesetzten Stoffe und der Substitute;
- Verhältnis von nationalen und internationalen Regelungen;

- Arbeitskreis zur Förderung der Halogensubstitution;
- Möglichkeit/Grenzen von Kennzeichnungen;
- Angepasster Flammschutz.

Bewertung der eingesetzten Stoffe und der Substitute: Hinsichtlich PBDE verwiesen die Hersteller bromierter Flammschutzmittel darauf, dass bei Penta ab 2003 ein Verbot zu erwarten ist (Folge des Risk Assessments nach EU-Altstoffverordnung¹²), während Deca im laufenden Risk Assessment (1. Prioritätenliste v. 25.5.1994) nicht als toxisch/ökotoxisch klassifiziert werde. Die Herstellung von PBB sei eingestellt, mithin entfielen die vom UBA angeführten Voraussetzungen für Verbotsmaßnahmen bei Deca und PBB. Die Vertreter des Umweltministeriums empfahlen Abwarten des Risk Assessments. Außerdem wurde darauf hingewiesen, dass PBDE und PBB gemäß Richtlinienentwurf ROHS bei E+E-Geräten mit Wirkung vom 1.1. 2007¹³ ersetzt werden sollen.

Hinsichtlich TBBA (nunmehr ebenfalls im Risk Assessment, 4. Prioritätenliste v. 25.10.2000) wurde beim Workshop geltend gemacht, dass der zuletzt vorgelegte Meßwert für die Wasserlöslichkeit von TBBA deutlich niedriger liegt als der in der Bewertung der UBA-Studie (vgl. Bd. I, S. 83-87) und in der Begründung der Maßnahmenvorschläge zugrundegelegte Wert. Da die NOAEL-Werte weit über diesem Wert für die Wasserlöslichkeit von TBBA lägen, müssten auch die Angaben zur Toxizität neu bewertet werden. Insofern gehen die Hersteller davon aus, dass TBBA nicht als umweltgefährlich (N) und „sehr giftig für Wasserorganismen“ eingestuft werden muss. Aus ihrer Sicht entfallen damit wesentliche Voraussetzungen für Substitutionsempfehlungen. In der schriftlichen Stellungnahme von EBFRIIP wird außerdem das Vorkommen von TBBA in Muttermilch angezweifelt. (Vgl. EBFRIIP 2001; Anlage I zu diesem Bericht.)

Kritik der Einwendungen¹⁴: Die von EBFRIIP vorgeschlagene Einstufung des im Rahmen der Studie näher geprüften DecaBDE und von TBBA als toxikologisch unbedenklich kann nicht geteilt werden. Toxikologisch bewertungsrelevant sind im Fall Deca die begründeten Hinweise auf Kanzerogenitätsverdacht (Bd. I, S. 81; Bd. III, S. 18-20), die es nicht ermöglichen, Deca als „nicht toxisch“ einzustufen. Hinsichtlich der Wasserlöslichkeit von TBBA ist es bei der großen Streuung der vorliegenden Meßwerte zur Wasserlöslichkeit (vgl. Bd. III, S. 49, IUCLID Daten 1995 und BSEF 2000) unter Vorsorgegesichtspunkten nicht legitim, sich auf den mit Abstand niedrigsten Wert zu stützen. Für die Bewertung ist unter Vorsorgegesichtspunkten der worst-case-Wert des IUCLID-Datensatzes heranzuziehen. (Die IUCLID-Daten liegen auch der bisherigen Einstufung von TBBA zugrunde.) Auf Rückfrage wurde beim Workshop Leiterplatten zudem mitgeteilt, dass eine Neueinstufung von TBBA bisher nicht erfolgt ist. Hinsichtlich des Vorkommens von TBBA in Muttermilch ist die Bedeutung der entsprechenden Befunde – auch wenn sie noch unter Vorbehalt gestellt wurden (vgl. Bd. III, S. 62) – unbedingt zu unterstreichen, zumal TBBA auch in Fisch

¹² Das Risk Assessment zu PentaBDE (2. Prioritätenliste v. 27.9.2005) liegt inzwischen ebenso vor (vgl. EUJRC 2001) wie ein Verbotsvorschlag der EU-Kommission für Penta ab 1. Juli 2003 (EU-Dokument 501PC0012 v. 21.05.2001).

¹³ Vom Europa-Rat in seiner Sitzung vom 7. Juni 2001 von 2006 abgeändert in 2007; vgl. FN 8.

¹⁴ Da Dr. Kruse als zuständiger Sachbearbeiter krankheitsbedingt am Workshop nicht teilnehmen konnte, wurde dieser Punkt nicht näher besprochen und in schriftlichen Stellungnahmen (Kruse 2001; Leisewitz 2001a) beantwortet.

nachgewiesen wurde. (Vgl. Kruse 2001 und Leisewitz 2001a, Anlagen III - V zu diesem Bericht.)

Vergleichbarkeit Substitute/TBBA: Weiter wurde seitens der Hersteller von bromierten Flammschutzmitteln und bromiert flammgeschützten Harzen gefragt, ob die Substitute unter toxikologisch/ökotoxikologischen Gesichtspunkten verträglicher seien als reaktives TBBA. Die Alternativen müssten, bevor Entscheidungen getroffen werden könnten, ebenso gut untersucht sein wie die zu substituierenden Stoffe.

Aus der Sicht des Umweltbundesamtes kommt es beim Vergleich von Substituten und zu substituierenden Stoffen darauf an, ökologische Sicherheit in der Beurteilung der Stoffe zu gewinnen. Insofern ist „vergleichbarer Kenntnisstand“ anzustreben. Daher hält das UBA weitergehende Untersuchungen zu den Substitutionsprodukten sowohl bezüglich der Reinstoffe wie der flammgeschützten Produkte bzw. Datenoffenlegung seitens der an der Produktkette beteiligten Unternehmen für notwendig (Maßnahmenvorschläge, Ziff. B2). Das kann aber nicht bedeuten, dass bei Substituten ohne Vorliegen von entsprechenden Risiko-Anhaltspunkten Untersuchungen durchgeführt werden müssen, die die Substitutentwicklung unbegründet belasten bzw. behindern. (Z.B. sind aufwendige Kanzerogenitätsuntersuchungen dann, aber auch nur dann notwendig, wenn entsprechende Verdachtshinweise bestehen.)

Die Ankündigung eines Flammschutzmittel- und Harz-Herstellers (Schill + Seilacher), dass für sein Substitutionsprodukt weitergehende Stoffprüfungen incl. einer Kanzerogenitätsstudie durchgeführt werden, ist zu begrüßen.

Verhältnis von nationalen und internationalen Regelungen: Die Wirksamkeit nationaler Regelungen, wie z.T. vom UBA vorgeschlagen, wurde mit Verweis auf anstehende EU-Regelungen (Risk Assessments zu PBDE und TBBA) problematisiert. Außerdem wurde argumentiert, dass problemstoffhaltige Importware auch mit einer EU-Regelung praktisch nicht ausgeschlossen werden könne. Zu letzterem wurde seitens des BMU darauf verwiesen, dass Kontrollprobleme kein Argument gegen notwendige gesetzliche Regelungen sein können; im Fall einer EU-Regelung sei die heimische Industrie im übrigen aufgefordert, über problematische Importe zu informieren. Zudem wurde betont, dass trotz EU-Regelungskompetenz auch auf nationaler Ebene Handlungsspielräume bestehen.¹⁵ Dies gilt auch für das Verlangen nach weitergehenden Untersuchungen bei problematischen Altstoffen. Die Stoffprüfung auf EU-Ebene verläuft in eng formalisierten Bahnen (EG-AltstoffV 793/93/EG, OECD-Tests), die ggfs. in rechtlich verbindliche Maßnahmen münden. Die unter Gesichtspunkten eines vorsorgenden Umweltschutzes notwendige Dynamisierung bei der Stoffbewer-

¹⁵ Die Begrenzung von Stoffregulierungen im nationalstaatlichen Rahmen durch die wachsende Bedeutung des EG-Gemeinschaftsrechts war ein durchgängiges Problem bei der Maßnahmendiskussion aller Workshops. In der Regel wurden seitens der Unternehmensvertreter unter Verweis auf eine anstehende Regulierung auf europäischer Ebene bzw. die Freizügigkeit des Warenverkehrs die Möglichkeiten eigenständiger Maßnahmen in der Bundesrepublik als kaum gegeben betrachtet; behördlicherseits werden größere Spielräume gesehen. Hier ist eine konkrete Abwägung im jeweiligen Fall notwendig. U.a. ist von Belang, auf welchen Artikel des EG-Vertrages entsprechende Richtlinien gegründet werden. Bei Richtlinien nach Art. 95 EG-Vertrag (Binnenmarkt – Angleichung der Standards) bieten sich kaum Möglichkeiten einer weitergehenden nationalstaatlichen Regelung; anders bei Richtlinien wie der WEEE, die sich auf Art. 157.1 EG-Vertrag (Umweltschutz, Mindeststandards) stützen (vgl. Abschn. 5.4).

tung setzt aber voraus, dass auf nationaler Ebene weitergehende Stoffprüfungen und -bewertungen erfolgen, die sich (wie im Rahmen der vorliegenden Studie) nicht nur auf die für die EU-Ebene politisch verbindlich festgelegten Kriterien beschränken (vgl. Bd. I, S. 60 ff.).

Arbeitskreis zur Förderung der Halogensubstitution: Ein entsprechender Arbeitskreis sollte, wenn er für sinnvoll erachtet wird, die gesamte Herstellernetze umfassen. Im ZVEI sind die Leiterplatten- und Basismaterial-Hersteller vertreten, nicht jedoch die vorgeschalteten Rohstoff-(Harz-)Hersteller. Ferner wurde eingewandt, dass es sich hierbei nur um ein nationales Gremium handelt. Eine supranationale Kooperation betreibt demgegenüber der Siemens-Konzern, der mit anderen internationalen Geräteherstellern und Zulieferern der E+E-Branche in Kontakt steht, um einen gemeinsamen Standard auf internationaler Ebene festzulegen. Angesichts der Globalisierung sei dies der erfolgversprechendere Weg. Vereinbarungen müssten mindestens die europäische Ebene betreffen.

Möglichkeit/Grenzen von Kennzeichnungen: Es wurde zu Ziff. B3 der UBA-Maßnahmenvorschläge (Überprüfung der Vergaberichtlinien des „Blauen Engel“) seitens der Laminat-Hersteller dafür plädiert, auch bei halogeniertem Flammschutz, soweit er unter Umweltgesichtspunkten unbedenklich ist, einen „Blauen Engel“ zu erteilen. Der BUND forderte, halogenfreie Leiterplatten sollten schon zwecks Erleichterung bei der Trennung von halogenfreiem und halogenhaltigem Elektronikschrott bei der Entsorgung gekennzeichnet werden. Verwiesen wurde auf die heute bereits erfolgende Kennzeichnung auf Sicherheitsdatenblättern und auf der Leiterplatte selbst (UL-Auszeichnung). Deren Transparenz für Endkunden und Entsorger ist aber in Frage zu stellen.

Angepasster Flammschutz: Die nichttechnischen Rahmenbedingungen stehen einer Lockerung des V0-Standards zugunsten z.B. V1 dort, wo sie sachlich angezeigt ist, entgegen; insofern, so die Schlußfolgerung, bleibt zu prüfen, ob über eine allgemeine Empfehlung hinausgehende Maßnahmen möglich sind.

2.5 Schlußfolgerung: Überarbeitete Maßnahmenvorschläge Leiterplatten

Unter Berücksichtigung der Diskussion im Workshop enthalten die überarbeiteten Maßnahmenvorschläge des UBA für den Bereich Leiterplatten (vgl. Anlage VI zu diesem Bericht) folgende Punkte:

A) Gesetzliche Regelungen

A1: Für PBDE und PBB besteht bei Leiterplatten keine Anwendungsnotwendigkeit. Angesichts gelegentlich berichteter PBDE - Funde bei Leiterplatten hält das UBA wegen der kritischen Umwelteigenschaften (Persistenz, Toxizität, Ökotoxizität) dieser Stoffe ein Verbot von PBDE und PBB für notwendig. Der Verbotsvorschlag von PBDE und PBB in der ROHS (Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment = Richtlinie zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in elektrischen und elektronischen Geräten“ [ROHS]) wird unterstützt.

A2: Angesichts des gegenwärtigen Kenntnisstandes der Substitutionsprobleme bei Leiterplatten hält das UBA aktuell über A1 hinausgehende gesetzliche Regelungen (Stoffverbote) nicht für angezeigt, befürwortet jedoch Maßnahmen zur Reduzierung der Wissensdefizite und darauf aufbauende weitergehende Empfehlungen auf Basis des Artikel 6 der ROHS. (So schlägt z.B. der Umweltausschuß des EU-Parlaments in obigem Richtlinienentwurf eine erneute Überprüfung der Substitutionsnotwendigkeit bei sonstigen halogenierten Flammschutzmitteln im Jahr 2003 vor [§6].)

B) Weitere Maßnahmen

B1: Das UBA empfiehlt die Einrichtung eines Arbeitskreises zur Entwicklung und Einführung halogenfrei flammgeschützter Leiterplatten unter Einbeziehung der an der Produktkette beteiligten Akteure insbesondere auch der Rohstoffhersteller z.B. beim ZVEI oder einem anderen geeigneten Gremium in Bereich der betroffenen Industrie.

B2: Das UBA hält mit Blick auf halogenfrei flammgeschützte Leiterplatten weitergehende Untersuchungen zu den Substitutionsprodukten (toxikologisch-ökotoxikologische Eigenschaften der Reinstoffe und der flammgeschützten Produkte) bzw. Datenoffenlegung seitens der an der Produktkette beteiligten Unternehmen für notwendig.

B3: Das UBA wird die Vergaberichtlinien Blauer Engel mit Blick auf optimierten Flammschutz der Leiterplatten hinsichtlich Umwelt (Entsorgung) und Gesundheit überprüfen, wobei insbesondere halogenfreie Lösungen zu berücksichtigen sind.

B4: Das UBA empfiehlt, soweit dies bisher nicht geschieht, eine allgemein verständliche Ausweisung der Flammschutzmittel in den Technischen Merkblättern. Zur leichteren praktischen Unterscheidung der Flammschutzmittelausrüstung, z.B. im Rahmen der Verwertung, sollte eine geeignete farbliche Kennzeichnung der halogenfreien Leiterplatten vorgenommen werden („blaue Leiterplatten“).

B5: Bei Geräten, die mit geringer Spannung betrieben werden und deren Leiterplatten nur einer geringen thermischen Belastung unterliegen, wird eine angepaßte halogenfreie flammhemmende Ausrüstung (UL94-V1 statt V0) empfohlen.

B6: Bei der Entsorgung der Leiterplatten besteht die Gefahr der Freisetzung von Schadstoffen. Auch eine Dioxin- bzw. Furanbildung ist potentiell möglich, da bei bestimmten Temperaturen die Bromverbindungen im Material unter katalytischer Wirkung des Kupfers Dioxine bzw. Furane bilden können.

Das UBA schlägt vor, die wesentlichen Recyclingverfahren für Leiterplatten im Hinblick auf Mengenströme und schadstoffbelastete Emissionen zu untersuchen.

3. Außengehäuse für IT- und TV-Geräte

Bei diesem Workshop standen folgende Fragen im Mittelpunkt der Diskussion:

- Technische Trends, die für die Ausrüstung der Gehäusewerkstoffe mit Flammschutzmitteln bzw. die Brandschutzgewährleistung gegenwärtig und in Zukunft von Bedeutung sind;
- Rahmenbedingungen wie Brandschutzdiskussion, Marketing, Labelling, Kosten;
- die Entsorgungs- und Recyclingfrage;
- Probleme im Zusammenhang mit den Maßnahmenvorschlägen des Umweltbundesamtes einschl. Stoffbewertungsfragen.

3.1 Trendbestimmende Faktoren beim Flammschutz für Außengehäuse: technische Entwicklung

Kunststoffabhängigkeit: Der Flammschutzmitteleinsatz ist bekanntermaßen kunststoffabhängig (vgl. Bd. II, S. 223-237). Außengehäuse werden aus Kunststoff auf Polyolefin-Basis hergestellt. Im Gegensatz zu Kleinteilen kommen bei Außengehäusen mineralische Flammschutzmittel nicht in Frage, weil mit ihnen wegen der hohen Einsatzmengen die mechanischen Belastungen (Falltests) und sonstigen konstruktiven Aufgaben sowie Gewichtsanforderungen nicht bewältigt werden können.

Miniaturisierung: Der Trend zur Miniaturisierung gilt für die Geräte insgesamt wie für die einzelnen Bauteile. Die damit verbundene Verringerung innerer Abstände in den Geräten erschwert konstruktive Lösungen der Brandschutzanforderungen, sofern sie mit der Einhaltung von Mindestabständen etc, also raumbeanspruchenden Maßnahmen zusammenhängen. Als Beispiel wurde das Abgehen von Bildschirmröhren zugunsten von Plasmabildschirmen bei TV-Geräten genannt. Damit entfällt eine Menge „Stauraum“ im Gerät, was auch höhere Temperaturen im Gerät bewirken kann.

Energieaufnahme, Verlustleistung: TV-Geräte mit Plasmabildschirm haben einen bedeutend höheren Stromverbrauch als Röhrenbildschirme und erfordern daher eher eine stärkere FSM-Ausrüstung. Andererseits handelt es sich um teure Geräte, die nur für ein kleineres Marktsegment produziert werden. Dass es sich hier um gegenläufige Trends handelt, zeigt umgekehrt der Übergang zu LCD-(Flüssigkristall-)Flachbildschirmen, die etwa 50 Prozent weniger Energieaufnahme als traditionelle Monitore haben. Auch bei Einsatz von Leuchtdioden (LED) für optische Anzeigen sinkt die Energieaufnahme drastisch. Hier sind wegen niedrigerer Spannung und aufgenommener Ströme und damit geringerer Verlustleistung die Brandschutzanforderungen einfacher zu erfüllen. Der Geräteanteil mit LCD-Bildschirmen wird bei Monitoren in Zukunft deutlich ansteigen (es wurden Marktschätzungen von 15-20 Prozent in fünf Jahren genannt).

3.2 Rahmenbedingungen (Brandschutzdiskussion, Marketing, Labelling, Kosten)

Brandschutzdiskussion und Flammschutz bei TV-Geräten: Fernsehgeräte werden in Europa für den europäischen Markt im wesentlichen ohne Flammschutzmittel im Außen-Gehäuse ausgerüstet; die Hersteller gewährleisten den Brandschutz meist durch konstruktive Maßnahmen (vgl. Bd. II, S. 236). Jedoch wird bei TV-Geräten z.T. wieder eine Brandschutzausrüstung nach UL94 V0 eingeführt. Sony (dies gilt auch für andere fernöstliche Hersteller) setzt z.B. seit 2000 im Außengehäuse wieder flammgeschütztes Material ein (Flammschutzmittel auf Phosphor-Basis). Auslösendes Moment ist die u.a. durch entsprechende Studien (vgl. Bd. II, S. 250/251) forcierte Diskussion über äußere Zündquellen als Ursache von TV-Bränden. Seitens des Umweltbundesamtes und einzelner Unternehmensvertreter (OEMs) wurde betont, dass die entsprechenden Videos und TV-spots zu Fernseherbränden keiner wissenschaftlichen Kritik standhalten und einer suggestiven Marktbeeinflussung dienen. Soweit dazu Veröffentlichungen vorliegen, sind die statistischen Grundlagen der Berichte über Zusammenhänge zwischen der Häufigkeit von Fernseher-Bränden und Flammschutzausrüstung der Gehäuse nicht tragfähig. Da sich aber europäische Verbraucherverbände auf diese Szenarien beziehen, sieht sich ein Hersteller wie Sony gezwungen, darauf zu reagieren. Damit bekommen die Phosphorsäure-Flammschutzmittel für diesen Anwendungs-Bereich ein gewisses Gewicht. (Bei Einsatz von ABS werden Monitor-Außengehäuse mit Brandschutz nach UL94-V0 in Europa i.d.R. aus PC/ABS mit phosphororganischem Flammschutz, in Asien dagegen aus ABS mit bromiertem Flammschutz hergestellt.) Außerdem besteht bei den TV-Geräte-Herstellern offenbar die Neigung, aus Kostengründen nicht mehr regional-spezifisch zu produzieren, sondern internationale Märkte mit einheitlichen Produkten zu bedienen. Damit gewinnen die Brandschutzanforderungen des US-Marktes (UL94 V0) an Gewicht.

Labelling: Große Hersteller von TV- und IT-Geräten drängen darauf, die unter Aspekten der „Kundensicherheit“ wichtigsten und strengsten Normen für die Triade-Märkte zu kombinieren und dabei auch Ökolabel mit weltweiter Geltung als Marketing-Instrument zu nutzen. Brandschutz hat in dieser „Normenmischung“ aus den genannten Gründen aus Sicht von OEMs eine wichtige Bedeutung. Während der „Blaue Engel“ nur auf einen nationalen Absatzmarkt – die Bundesrepublik – zugeschnitten ist, gewinnt die TCO-Kennzeichnung weltweit Bedeutung. TCO (Tjänstemannens Centralorganisation, Schweden) selbst ist daran interessiert, weil sie sich über den Label finanziert. Da TCO halogenierte Flammschutzmittel ausschließt (vgl. Bd. II, S. 246), fördert dies den Einsatz halogenfreier phosphororganischer Flammschutzmittel.

Kostenfrage: Beim Kostenvergleich für halogeniert bzw. halogenfrei oder konstruktiv flammgeschützte Gehäuse kann nicht nur auf die Preisverhältnisse bei den Flammschutzmitteln gesehen werden. Phosphororganische Flammschutzmittelausrüstung ist grundsätzlich teurer als Flammschutz auf halogenierter (bromierter) Basis. Da Phosphororganika aber zugleich als Weichmacher wirken, ist ihr Einsatz auch technisch begrenzt. Die Kostengestaltung richtet sich aber in erster Linie nach der Kunststoffwahl, von der wiederum die Flammschutzmittelausrüstung abhängig ist. Bei PC/ABS ist die entscheidende Variable das Verhältnis von PC zu ABS. Der Systempreis für das Gesamtcompound mit bromiertem oder mit halogenfreiem Flammschutz liegt dabei um maximal zehn Prozent auseinander. Welche Kunststoffe und Flammschutzmittel eingesetzt werden, hängt primär von der Preiskalkulation für das Endprodukt (Gerätepreis) ab. Höherpreisige Geräte werden ohne halogenierten Flamm-

schutz, Billiggeräte mit geringerwertigem Kunststoff und mit bromierten Flammschutzmitteln gefertigt. (Polycarbonat ist teuer, ABS mittelpreisig, PC/ABS flammgeschützt teurer als HIPS. Letzteres ist ein kostengünstiger Werkstoff für Endgeräte im unteren Preissegment.) Konstruktive Lösungen des Brandschutzes sind theoretisch überall realisierbar. Das grundsätzliche Argument, dass Flammschutzmittel als Spezialchemikalien i.d.R. immer teurer als der Kunststoff sind, also das Compound von den Material- und Arbeitskosten her teurer machen, und konstruktive Lösungen damit kostengünstiger sind, trägt aber nur begrenzt. Konstruktive Lösungen benötigen oft einen deutlichen Mehrverbrauch an Material. Damit können höheres Gewicht und größerer Transportaufwand verbunden sein. Insofern, so die Argumentation, sind grundsätzliche Aussagen hier nicht möglich und ist eine Einzelfallbetrachtung bzw. eine systemische Kostenbetrachtung pro Produkteinheit notwendig.

3.3 Entsorgung/Recycling

Recyclingpraxis: Die engen Grenzen des Recyclings von Gehäusewerkstoffen – die Praxis war in Bd. II (S. 252-261) ausführlich dargestellt worden – wurden im Verlauf des Workshops weitgehend bestätigt. Zusatzinformationen betrafen Hinweise auf die gesetzlichen Regelungen zur Zurücknahme von Altgeräten (TV und andere) in Japan und Beispiele japanischer OEMs (Ricoh, Fuji-Xerox), die ABS mit bromiertem Epoxid als Flammschutzmittel werkstofflich recyceln wollen (begrenzter Zusatz von Recyclat zur Primaware).

Kunststofferkennung: Sony hat ein Recycling-Center, in dem Altware mit einem Kunststofferkennungs-System via IR (Bruker Analytik, Karlsruhe) nach Kunststofftypen unterschieden wird (vgl. Bd. II, S. 258 f.). Verwiesen wurde seitens der Brom-Industrie auf die Möglichkeit, bromierte/nichtbromierte Kunststoffe mit RFA (Röntgenfluoreszenzanalytik) zu trennen, was mit Blick auf die WEEE/ROHS von Bedeutung sein könnte. Doch sind, so die beim Workshop geäußerte Meinung, hier die Kosten für entsprechende logistische Maßnahmen (Gehäuseselektion, Transport etc.) zu kalkulieren, die entsprechende Sortiersysteme teuer machen.¹⁶

3.4 Maßnahmenvorschläge des Umweltbundesamtes

Zusammenfassung der Vorschläge: Die Maßnahmenvorschläge des UBA sahen bei Außengehäusen für IT- und TV-Geräte ein Verbot von PBDE und PBB sowie ein Verbot von TBBA (additiv) vor. Anzustreben seien EU-weite Regelungen, unabhängig davon jedoch auch nationale Regelungen. Ferner verweist das UBA auf mögliche weitergehende Maßnahmen im EU-Rahmen, so im Zusammenhang der ROHS mit der im Richtlinienentwurf für Ende 2003 vorgesehenen Überprüfung der Liste der verbotenen Substanzen.¹⁷ Neben diesen Vorschlägen für gesetzliche Maßnahmen befürwortete das UBA die Förderung des konstruktiven Brandschutzes, der zur Minderung des Chemikalieneinsatzes beiträgt und das Recycling erleichtert und insofern auch mit Blick auf die WEEE von Vorteil ist. Die halogenfreien Substitute sollten, so

¹⁶ IBM hat zeitweilig eine Kunststofferkennung nach Flammschutzmittelgruppen mit mittlerem Infrarot durchgeführt, jedoch aus Kostengründen (Anlage zu langsam) wieder zugunsten der Verbrennung eingestellt (vgl. Bd. II, S. 259, FN 47).

¹⁷ Bzw. zwei Jahre nach Inkrafttreten (vgl. FN 8). Die ROHS muss, da auf Artikel 95 EG-Vertrag gegründet, bindend und ohne Veränderungsmöglichkeit in nationales Recht übernommen werden.

das UBA, gründlicher toxikologisch-ökotoxikologisch untersucht bzw. bei den Unternehmen ggfs. vorhandene Daten offengelegt werden. Das UBA kündigte eine Überprüfung der Vergaberichtlinien für den „Blauen Engel“ bei IT- und TV-Geräten an.

Diskussionsschwerpunkte: Wie zu erwarten war auch hier angesichts unterschiedlicher Interessenlagen die Diskussion über die Maßnahmenvorschläge kontrovers. Dies betraf

- Bewertung der eingesetzten Stoffe;
- Verhältnis von nationalen und internationalen Regelungen;
- Sonstige Details.

Bewertung der eingesetzten Stoffe und der Substitute: Hinsichtlich der PBDE und PBB sowie von TBBA, das bei Gehäusepolymeren nicht reaktiv, sondern additiv eingesetzt wird, wurden die gleichen Vorbehalte seitens der Hersteller bromierter Flammschutzmittel gemacht wie bei der Diskussion im Leiterplatten-Workshop (vgl. Abschn. 2.4). Bei additivem TBBA sieht die Industrie außerdem ein Problem in einem „segmentbezogenen“ Verbot bei Gehäusen für IT- und TV-Geräten, da es auch in anderen Produkten als Außengehäusen eingesetzt wird.

Kritik der Einwendungen:¹⁸ Dass der von EBFRIP vorgeschlagenen Bewertung von DecaBDE als „nicht toxisch“ nicht gefolgt werden kann, war bereits ausgeführt worden. Gleiches gilt für die TBBA-Bewertung, bei der die bestehende Einstufung als „umweltgefährlich“ und „sehr giftig für Wasserorganismen“ sowie die inzwischen berichteten Funde in Fisch und Muttermilch für die Bewertung und Substitutionsempfehlung relevant sind (vgl. Abschn. 2.4 sowie EBFRIP 2001, Kruse 2001, Leisewitz 2001a im Anhang.)

PBDE-haltige Importware: Bei den PBDE wurde von seiten eines großen Kunststoffherstellers auf die freiwillige Verzichtserklärung der verbandsgebundenen Chemieunternehmen in der Bundesrepublik hingewiesen. Sie reiche jedoch nicht aus. Da es hier nach wie vor Importware auf dem deutschen Markt gibt, die von nicht an die freiwillige Vereinbarung gebundenen Verarbeitern eingesetzt werden, sei ein europaweites Verbot sinnvoll. Die Hersteller bromierter Flammschutzmittel sehen dies nicht so und pochen auf eine „differenzierte Betrachtung“ der im Risk Assessment befindlichen PBDE.

Halogenierte Stoffe als Substitute? Moniert wurde von einem Hersteller halogener Flammschutzmittel, dass bei den weiter zu prüfenden Substituten nur halogenfreie Flammschutzmittel genannt werden. Die Frage, ob Gehäusewerkstoffe, die mit toxikologisch/ökotoxikologisch unbedenklichen halogenierten Flammschutzmitteln ausgerüstet sind, einen „Blauen Engel“ bekommen können, wurde seitens des UBA grundsätzlich bejaht, da es hier nicht um eine „ideologische“ Debatte, sondern um konkrete Prüfung gehe. Insofern könne das Adjektiv „halogenfrei“ entfallen. Der ausdrückliche Verweis auf halogenfreie Verbindungen sollte allerdings unterstreichen, dass gerade bei diesen als Substitute in Frage kommenden Verbindungen Informations- und Kenntnisdefizite gesehen werden, die soweit wie notwendig behoben werden müssten.

¹⁸ Vgl. FN 14.

Verhältnis von nationalen und internationalen Regelungen: Das Spannungsverhältnis von nationalen Maßnahmen und weitgehender Regelungskompetenz auf EU-Ebene wird auch bei den Maßnahmenvorschlägen für Außengehäuse-Brandschutz virulent. Das UBA betonte, dass es sich um Vorschläge für BRD-bezogene Maßnahmen handelt, bei denen EU-Regelungen zu berücksichtigen sind; der Vorschlag für ein Verbot von additivem TBBA hätte auch in den ROHS-Entwurf eingebracht werden können. Der Verband der Kunststoffherstellenden Industrie (VKE) empfiehlt, die Risk Assessments für PBDE und TBBA abzuwarten, da nationale Maßnahmen auf gesetzlicher Basis „kaum Chancen“ hätten. Weiter wurde argumentiert, dass der Richtlinienentwurf für die WEEE (nach Art. 157 [1] EG-Vertrag) weitergehende nationale Maßnahmen zulässt, dies im Fall des Entwurfs der ROHS aber ausgeschlossen ist (nach Art. 95 EG-Vertrag). Auf jeden Fall sind in mittlerer Sicht das Risk Assessment und die bereits erwähnte Revisionsklausel (Prüfung der Liste betroffener Substanzen) der ROHS zu beachten und als Ansatzpunkt für weitergehende Maßnahmen zu betrachten. Ferner wurde seitens des UBA betont, dass anders als im Rahmen der Chemikalien-Prüfung auf EU-Ebene, wo es faktisch nur um stoffliche Substitution geht, auf nationaler Ebene stärker die Möglichkeiten des konstruktiven Flammschutzes berücksichtigt werden sollten.

Sonstige Details: Von Industrieseite kam die Anregung, das UBA solle die kontrovers diskutierten und auch im Rahmen des Workshops thematisierten Fragen der Brandschutzphilosophie (externe/interne Zündquellen) in seine Untersuchungen aufnehmen. Seitens des UBA wurde die Wichtigkeit dieser Frage bestätigt und Prüfung der Anregung zugesagt.

3.5 Schlußfolgerung: Überarbeitete Maßnahmenvorschläge Außengehäusewerkstoffe für IT- und TV-Geräte

Unter Berücksichtigung der Diskussion im Workshop enthalten die überarbeiteten Maßnahmenvorschläge des UBA für den Bereich Außengehäusewerkstoffe für IT- und TV-Geräte (vgl. Anlage VII zu diesem Bericht) folgende Punkte:

A) Gesetzliche Regelungen

A1: PBDE und PBB sind bei Außengehäusen, sofern sie (noch) eingesetzt werden, substituierbar. Insofern besteht bei Außengehäusen keine Anwendungsnotwendigkeit. Das UBA hält wegen der kritischen Umwelteigenschaften (Persistenz, Toxizität, Ökotoxizität) dieser Stoffe ein Verbot von PBDE und PBB für notwendig und unterstützt in diesem Punkt die entsprechenden Stoffverbotsvorschläge des Richtlinienentwurfes ROHS (Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment = Richtlinie zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in elektrischen und elektronischen Geräten“ [ROHS]).

A2: Das UBA hält ein Verbot von TBBA (additiv) aus toxikologisch/ökotoxikologischen Gründen für notwendig. Es sind EU-weite Regelungen anzustreben. Derzeit wird TBBA im Rahmen des Europäischen Altstoffprogramms durch ein risk assessment bewertet. Ferner wird vorgeschlagen, ein Stoffverbot für TBBA (additiv) in die Richtlinienarbeit der ROHS einzubringen, mit dem Ziel, bei der

Überprüfung der Maßnahmen das Stoffverbot für TBBA aufzugreifen. (So schlägt z.B. der Umweltausschuss des EU-Parlaments für die o.g. Richtlinie eine erneute Überprüfung der Substitutionsnotwendigkeit bei sonstigen halogenierten Flammschutzmittel im Jahr 2003 vor [§6]).

A3: Das UBA hält zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine weiteren, über A1 und A2 hinausgehenden gesetzlichen Regelungen (Stoffverbote) für angezeigt.

B) Weitere Maßnahmen

B1: Das UBA betrachtet mit Blick auf Außengehäuse für IT- und TV-Geräte den konstruktiven Brandschutz als eine sinnvolle, den Chemikalieneinsatz mindernde und damit das Kunststoffrecycling erleichternde Maßnahme, die unter Beachtung der gültigen Brandschutzvorschriften voll ausgeschöpft werden sollte. Dies gilt auch angesichts der Anforderungen der europäischen WEEE (Elektronikschrott-Richtlinie und der ROHS).

B2: Das UBA hält mit Blick auf Außengehäuse für IT- und TV-Geräte weitergehende Untersuchungen zu den Substitutionsprodukten (toxikologisch-ökotoxikologische Eigenschaften der Reinstoffe und der flammgeschützten Produkte) bzw. Datenoffenlegung seitens der an der Produktkette beteiligten Unternehmen für notwendig.

B3: Das UBA wird die Vergaberichtlinien Blauer Engel dementsprechend überprüfen.

B4: In Übereinstimmung mit den Regelungen der europäischen Elektronikschrott-Richtlinie (WEEE) hält das UBA die Förderung der Verwertung von Gehäuse - Kunststoffen außer solchen, die mit PBDE flammgeschützt sind, für erforderlich. Dazu sollen Gehäuse und Gehäuseteile im Verwertungsprozess von den Entsorgern separiert werden. Kunststoffteile ohne Flammschutzmittel sollten vorrangig werkstofflich verwertet werden. Ferner sind Verfahren zur Detektion von Flammschutzmitteln (oder deren chemischen Systemen) und zur Separierung der entsprechend ausgerüsteten Kunststofffraktionen zu entwickeln und anzuwenden, um eine sichere Verwertung auch flammgeschützter Kunststoffe zu ermöglichen. Recyclate sollten besonders bei der Herstellung neuer Gehäuse verwendet werden.

4. Polyurethan-Dämm- und Montageschäume

Im Workshop kamen folgende Themenbereiche zur Sprache:

- Trend der Schaumformulierung und der flammhemmenden Ausrüstung bei Montageschaum, Platten- und Bandschaum sowie Sandwich-Elementen;
- Emissionsverhalten und Innenraumfunde von TCPP;
- Entsorgung und Abfallverbrennung;
- Probleme im Zusammenhang mit den Maßnahmenvorschlägen des UBA einschließlich der Stoffbewertung für TCPP.

4.1 Trend der Schaumformulierung und der flammhemmenden Ausrüstung

Quantitative Bedeutung des PUR-Schaums: Dämm- und Montageschäume aus Polyurethan haben von den synthetischen Dämmstoffen mit ca. 6 Prozent den kleinsten Flächenanteil am Dämmstoffmarkt, enthalten aber etwa zwei Drittel der hier verarbeiteten Flammschutzmittel (vgl. Bd. II, S. 40). Bei der Gewichtung ihrer Bedeutung muss aus der Sicht von Vorproduktlieferanten (Systemhäusern) und Schaumherstellern aber auch ihr wertmäßiger Anteil am Dämmstoffmarkt berücksichtigt werden. Er liegt bei ca. 30 Prozent. Es handelt sich also um vergleichsweise teure Produkte mit hoher wirtschaftlicher Bedeutung.

Ursachen des hohen FSM-Anteils: Der höhere Flammschutzmittelverbrauch von PUR im Vergleich zu dem anderen wichtigen synthetischen Dämmstoff Polystyrol (EPS)¹⁹ ergibt sich daraus, dass EPS als Thermoplast vor der Flamme wegschmilzt und daher eine geringere Flammschutzmittelausrüstung benötigt, um den Brandtest zu bestehen, während PUR als Duroplast „sich der Flamme stellt“. Der Vergleich verweist insofern auch auf die Problematik der Aussagefähigkeit von Brandtests, da beim Realbrand mit genügend starker äußerer Zündquelle das Wegschmelzen vor der Flamme keine Bedeutung hat (sh. Düsseldorfer Flughafenbrand). Anders ausgedrückt: Es bleibt stets zu berücksichtigen, dass sich die einem Werkstoff oder Polymer zugeschriebene Brennbarkeitseigenschaft grundsätzlich auf sein Verhalten in der jeweiligen Testanordnung bezieht und nicht unabhängig von dieser gesehen werden kann (zur Testproblematik vgl. Troitzsch 1990, 76 ff.).

4.1.1 Montageschaum

FSM-Verbrauch zunehmend: Auf Montageschäume entfallen rd. 21 Prozent des PUR-Verbrauchs, aber etwa 36 Prozent vom Flammschutzmittelverbrauch bei den PUR-Dämm- und Montageschäumen insgesamt (Bd. II, S. 86). Während für den aktuellen Stand die Angaben der Studie hinsichtlich Gesamtmengen, Formulierungen

¹⁹ Vgl. Bd. II, S. 105f. Bei PUR-Dämmschäumen (ohne Montageschaum) liegt der FSM-Gehalt bei ca. 10 Gew.-Prozent; bei Polystyrol-Dämmschäumen bei ca. 2 Gew.-Prozent (HBCD plus Dicumylperoxid als Synergist). Rechnet man in kg FSM/m³, so beträgt der Gehalt bei PUR über 4, bei Polystyrol etwa 0,3 kg. Der Flächenanteil von Polystyrol liegt bei über 40 Prozent.

und eingesetzten FSM bestätigt wurden, dürften sich zukünftig im Zusammenhang mit der Einführung einer einheitlichen Baustoffklassifizierung in Europa (europäische Bauprodukt-Richtlinie) und neuen, darauf bezogenen Testverfahren (SBI-Test; vgl. Bd. II, S. 53) die Flammschutzmittelverbräuche für Montageschaum noch weiter erhöhen. Denn nach Auskunft der Hersteller wird es bei Beibehaltung der heute gängigen Schaumformulierung für B2-Schaum mit halogenierten Flammschutzmitteladditiven (TCPP) nicht möglich sein, die vergleichbare Euroklassifizierung E bzw. F zu erreichen (die zukünftige Neu-Einstufung wird in den Landesbauordnungen festgelegt werden). Dies hängt mit einer verlängerten Beflammungszeit im zugehörigen Kleinbrenner-Testverfahren zusammen. Die Substitution von HFKW 134a/152a durch brennbares Propan/Butan/Dimethylether als Treibgas mache außerdem bei den B2-Schäumen eine Erhöhung des FSM-Zusatzes um ca. 20-25 Prozent erforderlich. Insgesamt wird auf Basis des Zahlenwerks der Studie mit einer Erhöhung des FSM-Gehalts um ca. 30 Prozent gerechnet. Dabei wird einkalkuliert, dass auf europäischer Ebene Länder, die bisher B3-Schaum einsetzen, auf B2-Schaum mit entsprechendem Flammschutzmehrverbrauch umsteigen werden.

Testproblematik: Die Brandprüfung wird bei frischem, d.h. noch Treibmittel-haltigem Montageschaum durchgeführt. Mit Alterung gast das brennbare Treibmittel bekanntlich aus. Insofern ist, wie seitens des UBA angemerkt wurde, zu bezweifeln, dass die Erhöhung des FSM-Gehalts real zu besserem Flammschutz führt. Ihr Sinn ist es, den neuen Test und die Euroklassifizierung zu bestehen. Die PUR-Hersteller sehen dies nicht anders, verweisen aber auf die Notwendigkeit, die Baugesetzgebung einzuhalten ist, zumal die Versicherungen im Brandfall Regress fordern würden.

TCPP-Substitution: Halogenfrei flammgeschützter Montageschaum wird anstelle von TCPP mit DPK (Diphenylkresylphosphat) bzw. TEP (Triethylphosphat) formuliert. Entsprechender Schaum ist gegenwärtig etwa 15-20 Prozent teurer und damit auf dem stark umkämpften Markt für Montageschaum nicht konkurrenzfähig. Bei „gleichbleibenden Rahmenbedingungen“ ist insofern nicht mit einer TCPP-Substitution zu rechnen, obwohl es aus Sicht der Hersteller keine grundsätzlichen technischen Probleme für die Formulierung halogenfreier Montageschäume gibt.

Kosten: Die Kostenfrage kann sich bei breitem Umstieg auf andere FSM durch Skaleneffekte entspannen. Folgende Rechnung wurde dafür angeführt: Halogenfrei formulierter B1-Schaum, der derzeit zu weniger als 100.000 Dosen abgesetzt wird, ist bei einer so kleinen Losgröße etwa 20 Prozent teurer als halogeniert flammgeschützter B1-Schaum. Bei einer Absatzsteigerung auf 10 Mio Dosen wäre nur noch mit einem um ca. 5 Prozent höheren Preis zu rechnen, der Skaleneffekt würde sich also deutlich auswirken.²⁰

4.1.2 Block- und Plattenschaum

FSM-Gehalt und -Einsatz: Bei Block- und Plattenschaum mit flexiblen Deckschichten (rd. 35 Prozent vom PUR-Dämm- und Montageschaum; vgl. Bd. II, S. 58-64) ist die Umstellung von PUR- auf PIR-Schaum weit vorangeschritten. Gegenüber dem in der Studie referierten Stand – ca. 40 Prozent PUR- und 60 Prozent PIR-Schaum – hat sich der PIR-Anteil weiter erhöht. Da hier die Umstellung auf Pentan als Treibmittel bereits erfolgt ist, braucht man nicht mit einer treibmittelbedingten Erhöhung des

²⁰ Da es sich bei B1-Schaum um ein reines Nischenprodukt handelt, hat diese Berechnung eher illustrativen Charakter.

Flammschutzmittelbedarfs zu rechnen.²¹ Auch in Zukunft kann daher von den genannten Formulierungen und Flammschutzmittelgehalten (ca. 4 Prozent) ausgegangen werden. Anders als beim Montageschaum werden der SBI-Test und die Euro-Normen keine grundsätzlichen Veränderungen gegenüber dem heutigen B2-Schaum bringen. Die Klasse E wird mit ähnlichen wie den für heute angegebenen Formulierungen zu erreichen sein.

Als Flammschutzmittel werden im PIR-Schaum TCPP und halogenfreie Phosphorsäureester im Verhältnis 1:1 eingesetzt; bromierte Polyole sind beim PIR-Schaum ohne Bedeutung. Der FSM-Gehalt gilt heute bereits als minimiert. Ein völliger Verzicht auf halogenierte Verbindungen wird aus verschiedenen Gründen als kontraproduktiv angesehen. Erstens gingen damit synergistische Effekte zwischen den FSM verloren, so dass unter dem Strich ein höherer FSM-Gehalt notwendig werde. Zweitens ist der Weichmachereffekt von Phosphorsäureestern zu beachten. Der flammenschutzmittelbedingte Halogengehalt für pentangetriebene PIR-Schäume wird mit ca. einem Prozent bestätigt (vgl. Bd. II, S. 63; bei PUR-Schaum dagegen ca. 5 Gew.-Prozent).

Ammoniumpolyphosphat: Als TCPP-Substitut wird Ammoniumpolyphosphat angeboten. Hier ergab die Diskussion mit APP-Herstellern und -Anwendern, dass bei Weich- und Integralschaum vielfältige Anwendungserfahrungen vorliegen (APP-Verbrauch über 1.000 Tonnen/a), dass die Praxis-Versuche beim Hartschaum auf Doppelbandanlagen jedoch bisher noch große Probleme zeigen. Solche Probleme betreffen insbesondere die Verschäumbarkeit des Polyurethans, außerdem erhöhten Anlagenverschleiß (Mischköpfe) infolge der Abrasivität des Feststoffes. Feststoffe verspröden zudem den Schaum und führen zum Verlust der Dimensionsstabilität. Block- und Platten-Hartschäume mit APP als FSM sind demnach in vertretbarer Qualität erst ab einer Rohdichte von ca. 40 kg herstellbar. Die übliche Handelsware hat eine Rohdichte von 30-35 kg (vgl. Bd. II, S. 58 und 62), so dass sich bei APP-Einsatz wegen erhöhter Rohdichte deutlich höhere Kosten (und Gewichte) ergeben würden. Praktisch wird APP daher in der ganzen Branche für Block- und Plattenschaum nicht in Betracht gezogen. Das gilt auch für andere Feststoffe wie Melamin. Melamin wirkt zellzerstörend. Es kann im offenzelligen Weichschaum eingesetzt werden, im Hartschaum jedoch nicht.

4.1.3 Sandwich-Elemente

Trend: Der Sandwich-Bereich verbraucht von allen PUR-Dämmstoffen den größten Flammschutzmittelanteil (etwas über 40 Prozent am PUR- und am FSM-Verbrauch; also kein „überproportionaler“ Anteil am FSM-Verbrauch wie beim Montageschaum; vgl. Bd. II, S. 86), so dass hier für den Umstellungsfall das größte Substitutions- bzw. Minderungspotential anzunehmen ist. Die noch vor kurzem geäußerte Erwartung, dass nach der Treibmittelumstellung von HFCKW auf Pentan nunmehr auch eine Umstellung von PUR- auf PIR-Schaum bei Sandwich-Elementen erfolgen könne (vgl.

²¹ Mit der Umstellung auf Pentan als Treibmittel bei Plattenschaum erhöhte sich die Brandlast des Schaums um ca. fünf Prozent. Daher muss für pentangetriebenen PUR-Schaum etwas mehr Flammschutzmittel eingesetzt werden als bei Einsatz der vorher üblichen halogenierten Treibmittel. Beim Übergang zu schwerer entflammbarem PIR-Schaum reduzierte sich der Flammschutzmittelgehalt überproportional, so dass im Endeffekt bei pentangetriebenem PIR-Schaum eine FSM-Minderung erfolgt.

Bd. II, S. 64-68), erscheint zumindest gegenwärtig aus technischen Gründen nicht realisierbar zu sein.

PUR/PIR-Umstellung: Von verschiedenen Sandwich-Herstellern (Selbstformulierern wie Systemkunden) wurde über intensive Versuche mit pentangetriebenem PIR-Schaum berichtet.

PIR-Schaum ist für Sandwich-Hersteller an sich nichts Neues (vgl. Bd. II, S. 66). Eine entscheidende Variable in der Geschichte der Sandwich-Produktion ist die Treibmittelwahl. Anfang der achtziger Jahre wurde von FCKW-11-getriebenem PUR- auf PIR-Schaum mit entsprechender Änderung der Flammschutzmittelformulierung umgestellt. PIR-Schaum ist im Vergleich zu PUR-Schaum kostengünstiger. Die dabei auftretenden Probleme mit der Deckschichthaftung (Blechablösung) konnten damals bewältigt werden. Anfang der 90er Jahre musste der FCKW-Einsatz wegen seiner Umweltschädigung (Ozonschichtzerstörung) sukzessive reduziert (PUR mit vermindertem R-11-Einsatz) bzw. Mitte der 90er Jahre zugunsten zuerst von HFCKW getriebenem PUR und schließlich von Pentan/PUR eingestellt werden. HFCKW getriebene PIR-Schäume wurden nicht entwickelt, da diese Treibmittel-Variante von Anfang an als Übergangslösung betrachtet wurde. Pentangeschäumtes PUR für Sandwich-Elemente gilt heute als „stabiles System“. Vor ca. fünf Jahren begannen Versuche, auf PIR/Pentan umzusteigen. Seit ca. zweieinhalb Jahren wird mit pentangetriebenem PIR-Schaum experimentiert. Ein Hersteller berichtete von mehreren Großversuchen auf zwei Doppelbandanlagen mit mehreren Tonnen Material. Auch hier geht es primär um Kosteneinsparung.

Deckschichthaftung: Das Hauptproblem stellt nach wie vor die Blechhaftung dar. Die Deckschichthaftung zwischen Blech und Schaum ist für die Stabilität von mit Sandwich-Elementen errichteten Bauten wie Kühlhäusern, Lagerhallen usw. von großer Bedeutung, da die Sandwichelemente hier nicht nur isolierende, sondern auch statische Funktionen wahrzunehmen haben. Bei Kühlhäusern können z.B. im Sommer bei starker Sonneneinstrahlung große Temperaturdifferenzen zwischen dem Inneren (-30 °C) und der Außenbeschichtung (+ 70 °C) und damit starke Spannungen und Temperaturschwingungen auftreten, die bei ungenügender Blechhaftung ggfs. zum Abspringen der Außenbleche oder ähnlichen Schäden führen. Hier sind zur Prüfung der Langzeitstabilität aus Sicht der Hersteller Langzeitversuche unumgänglich.

Sonstige Verarbeitungsprobleme: PIR-Schaum erfordert im Vergleich zu PUR-Schaum wegen der PIR-spezifischen Isocyanat-Vernetzung höhere Verschäumtemperaturen. Heizt man die für PUR-Schaum ausgelegten Bandanlagen der Sandwich-Hersteller entsprechend auf ca. 60-70 Grad C auf, ergibt sich hoher, kostenträchtiger Verschleiß. Die alten Doppelbandanlagen sind nach Auskunft der Betreiber nicht nachzurüsten. Wieviele der in der Bundesrepublik derzeit installierten zwölf Doppelbandanlagen für Sandwich-Elemente umrüstbar sind und welche Kosten damit entstehen würden, blieb ungeklärt.

Treibmittelfrage: Die Entwicklung von pentangetriebenem PIR-Schaum für Sandwich-Elemente wird insgesamt also skeptisch beurteilt, anders als dort, wo keine statischen Belastungen auftreten. Von seiten eines Systemlieferanten wurde argumentiert, dass bei Umstellung auf HFCKW als Treibmittel entsprechender PIR-Schaum realisierbar wäre, da dann eine bessere Adhäsion zu erwarten ist und die im Vergleich zu PUR auftretende Versprödung des Schaums etwas geringer ausfällt als

beim pentangetriebenen PIR-Schaum. HFKW als Treibmittel hätten aber den Nachteil der Treibhauswirksamkeit und des Fluor-Eintrags in den Schaum, was sich ungünstig auf Brandfolgerscheinungen (Rauchgasdichte, Fluorwasserstoff) auswirken würde.

4.1.5 Zusammenfassung Trend

Bei den drei diskutierten Anwendungsbereichen (Ortschaum wurde nicht weiter diskutiert, da sich hier keine relevanten Veränderungen zeigen) ergibt sich also folgender Trend:

- Beim *Montageschaum* wird wegen der Euroklassifizierung und neuen Testbedingungen bei Beibehaltung der aktuellen Schaumformulierung der Flammschutzmittelgehalt (TCPP) deutlich ansteigen; halogenfrei flammgeschützte Montageschäume sind grundsätzlich formulier- und lieferbar. Bei den bestehenden „Rahmenbedingungen“ (= Kostenrahmen) ist ihre Einführung jedoch zu teuer, wobei langfristig bei großvolumigem Absatz Kostenreduktion als wahrscheinlich betrachtet wird.
- Bei flexibel beschichteten *Block- und Plattenschäumen* ist ein weitere Anteilszunahme des PIR-Schaums zu beobachten; zukünftig werden keine wesentlichen Veränderungen in der Flammschutzmittelausrüstung erwartet. Der Halogengehalt liegt bei derzeit ca. 1 Gew.-Prozent.
- Die in die Einführung von pentangetriebenem PIR-Schaum für *Sandwich-Elemente* gesetzten Hoffnungen scheinen sich derzeit aus technischen Gründen (Deckschichthaftung) und aus Kostengründen (Anlagenumstellung wegen erforderlicher höherer Prozesstemperaturen) nicht zu realisieren.

4.2 Flammschutzmittelemissionen bei PUR-Dämm- und Montageschäumen

Emissionsbefunde: TCPP und andere organische Phosphorsäureester werden regelmäßig in Gewässern und Sedimenten sowie in Innenräumen (Hausstaubproben) gefunden (vgl. Bd. II, S. 89f.). Die Diskussion im Workshop über die – im einzelnen nicht bekannten – Quellen entsprechender Funde ergab keine grundsätzlich neuen Informationen. Da sich die sechs Prozent Marktvolumen von PUR (Anteil am Dämmstoffmarkt) mit der Häufigkeit der TCPP-Funde in Innenräumen nicht decken, müssen auch andere Materialien als Emissionsquellen in Betracht gezogen werden wie Tapeten, Bodenbeläge, Polster usw. Weiter wurde argumentiert, dass PUR-Dämm- und Montageschäume i.d.R. außen verbaut bzw. durch emissionshemmende Beschichtung abgedeckt werden und insofern nicht innenraumrelevant sind. Zudem gehöre TCPP nicht zu den leicht ausgasenden Substanzen. Bei schwerflüchtigen Verbindungen kann es aber zeitverzögert durchaus zu einem Emissionsanstieg kommen. Außerdem ist die Staubbindung schwerflüchtiger Verbindungen zu berücksichtigen. Zu TCPP-Funden in Flußsedimenten (vgl. Bd. III, S. 137) wurde von Systemhausseite angemerkt, dass angesichts der starken Differenzen in den Konzentrationen eher von Punktquellenbelastung, vielleicht aus der Behälterreinigung von Ortschaftschäumern, als von einer durchgehenden Belastung auszugehen sei.

Emissionen bei flexibler Beschichtung: Flexibel beschichtete Block- und Platten-schäume erhalten zu ca. 60 Prozent eine etwa 5 µ starke Aluminiumfolie als Abde-ckung, die als Migrationsbarriere wirkt; rd. 40 Prozent tragen eine diffusionsoffene Beschichtung (Mineral-/Fliespapier)²². Im Auftrag des IVPU im WKI (Wilhelm-Klauditz-Institut – Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Braunschweig) durchgeführte Untersuchungen an Plattenware mit diffusionsoffener Beschichtung (8-10-tägige Prüfkammer-Tests) haben, so wurde berichtet, keine TCPP-Ausgasungen, wohl aber Freisetzung von Treibmitteln ergeben. Der insgesamt noch wenig klaren Frage des Emissionsverhalten von Flammschutzmitteln aus PUR-Schäumen wird im Rahmen einer UBA-Studie bei der Bundesanstalt für Materialforschung/Berlin näher nachge-gangen.

4.3 Entsorgung und Abfallverbrennung

Sachstand: Die Diskussion bestätigte, dass es bei PUR-Schäumen faktisch kein roh-stoffliches Recycling von Altware und nur sehr wenig werkstoffliches Recycling gibt (vgl. zusammenfassend Bd. II, S. 92 ff.). Abbruchmaterial wird deponiert oder ver-brannt. Die jeweiligen Mengen-Anteile sind nicht bekannt. Eine sortenreine Erfas-sung beim Bauabfall ist aus der Sicht der Lieferanten praktisch nicht möglich.

Abfall und Abfallverbrennung: Mit Reduzierung des Halogengehalts in den pentange-triebenen PIR-Schäumen (Rückführung von bromierten Polyolen und TCPP) auf an-nähernd 1 Gew.-Prozent sind nach Meinung der PUR-Branche bei der Verbrennung in modernen MVAs keine Probleme zu erwarten. Auch bei der Pyrolyse von Stan-dard-PUR-Schaum mit bromiertem Polyol werden, so vorgelegte Meßdaten eines Polyol-Herstellers, toxikologisch relevante Mengen an Dibenzodioxinen und -furanen nicht gefunden. Die Mitverbrennung von geringen Mengen an PUR-Schaum (2-6 Prozent) mit Holz erhöht zwar den Stickstoff-Gehalt im Abgas, nicht jedoch die Di-oxin/Furan-Bildung, da sie zu höheren Temperaturen und damit einer saubereren Verbrennung führe – so ein weiteres Argument. Beim PUR-Abfall auf den Abbruch-baustellen fällt heute jedoch angesichts der langen Lebensdauer der Produkte halo-genierte Altware mit Halogenanteilen sowohl aus dem Treibmittel wie aus Flamm-schutzmitteln als Hauptfraktion an. Dazu kommt PIR-Altschaum mit reduziertem Ha-logengehalt (jedoch – sh. Mengenbilanz beim Einsatz, Bd. II, S. 55 – nur in geringen Anteilen, da in den Hauptanwendungen wie Sandwich-Elemente oder Montage-schaum das halogenierte Material eingesetzt wird). Auf die zukünftige Abfallentsor-gung kommen insofern große Menge Altware mit einem hohen Halogengehalt zu.

Interessen der Systemhäuser: Die Systemhäuser verwiesen ausdrücklich darauf, dass die Abfallgesetzgebung Druck in Richtung auf Halogensubstitution ausübt und dass sie daher durchaus an Halogensubstitution interessiert seien. Mit dem fak-tischen Verlangen der EU, PUR-Abfall mit einem Halogengehalt >1 Gew. Prozent in die Sonderabfallverbrennung zu verbringen²³, würden die Anstrengungen der Her-

²² Die Beschichtungsart hängt davon ab, ob die entsprechenden Bauteile (z.B. Dächer) hinterlüftet oder diffusionsdicht abgeschlossen werden sollen.

²³ Hier spielen Gesamthalogengehalt und FCKW als halogenierte Treibmittel eine Rolle. Die EG-Verbrennungsrichtlinie (vgl. Amtsblatt L 332, S. 91 v. 28. 12. 2000) sieht für die Verbrennung oder Mitverbrennung von gefährlichen und nicht gefährlichen Abfällen ab Ende 2005 im wesentlichen die-selben Emissionsgrenzwerte vor. Die Richtlinie ist innerhalb von zwei Jahren in nationales Recht um-zusetzen; für bestehende Anlagen gilt eine Übergangsfrist von fünf Jahren (nach Inkrafttreten). Sie ist in Verbindung mit der im Januar 2001 beschlossenen „Verordnung über die umweltverträgliche Sied-

steller zur Halogenminderung nicht „honoriert“, da Abfall mit einem Halogengehalt kleiner oder größer ein Prozent nicht zu unterscheiden sei. Deswegen sei bei der nationalen Umsetzung der Richtlinie eine Sondererlaubnis für die Verbrennung von PUR-Abfällen angezeigt. Drängender und größer sind demgegenüber aus der Sicht des UBA die Probleme bei der Erfassung der organischen Bauschuttbestandteile; deren getrennte Sammlung ist nach Ansicht der PUR-Lieferanten praktisch nicht möglich.

Importproblematik: Die PUR-Hersteller erwarten steigende Importe bei Dämm- und Montageschäumen mit der Einführung der Europa-Norm (Bauprodukt-Richtlinie). Damit werde erneut halogeniertes Material in Bereichen, wo schon Halogenminderung gegriffen hat, auf den Markt kommen. Eine Reduzierung beim TCPP als nationale Maßnahme würde dann auch durch solches Importmaterial konterkariert und sei insofern nicht sinnvoll.

lungsabfallentsorgung und über biologische Behandlungsanlagen“ (Ende der Deponiemöglichkeit für unbehandelten organischen Abfall ab Juni 2005) auch für PUR-Dämmschäume im Bauschutt (vgl. Bd. II, S. 92) von Belang. „Klassische“ FCKW-geschäumte und bromiert-chloriert flammgeschützte PUR-Schäume haben einen Chlorgehalt von ca. 6 Prozent (Bayer AG 2001). Für die Verbrennung von gefährlichen Abfällen mit einem Gehalt von mehr als einem Gewichtsprozent an halogenierten organischen Stoffen (berechnet als Chloride) wird in der EG-Verbrennungsrichtlinie vorgeschrieben, dass die Temperatur der Verbrennungsgase nach der letzten Zuführung von Verbrennungsluft für mindestens zwei Sekunden auf 1100 °Celsius erhöht werden muss, um die Bildung von Dioxinen zu verhindern und mögliche Vorläuferverbindungen zu zerstören. Diese Temperatur wird i.d.R. nur in Drehrohröfen von Sondermüllverbrennungsanlagen erreicht; normale MVAs sind auf ca. 850° - 900 ° C Maximaltemperatur ausgelegt. Die PUR-Hersteller verweisen demgegenüber darauf, dass auch heute bei entsprechender Abgasreinigung in MVAs bei Mitverbrennung von PUR-Dämmschäumen keine Erhöhung der Dioxin-/Furanemissionen zu beobachten sei (vgl. Bd. II, S. 91). Als gefährlicher Abfall (überwachungsbedürftiger Abfall) eingestuft PUR-Schaum muss demnach in die Sondermüllverbrennung überführt werden. Die Angabe „> 1 Gew.-Prozent Halogengehalt“ ist dabei entweder auf die Monofraktion zu beziehen; eine „Verdünnung“ durch Untermischen ist hier nicht statthaft. Oder sie betrifft gemischte Sonderabfälle, in denen der PUR-Schaum die bestimmende Größe in Bezug auf den Chlorgehalt darstellt. Wird der PUR-Schaum wie gegenwärtig üblich nicht als überwachungsbedürftiger Abfall eingestuft, kann er auch mit einem Halogengehalt > 1 Gew.-Prozent in normalen MVAs verbrannt werden.

Hier ist jedoch eine Änderung der Abfallklassifizierung zu erwarten. Das EG-Abfallverzeichnis (Europäischer Abfallkatalog, EAK; vgl. 200/532/EG mit Änderungen durch 2001/118/EG und 2001/573/EG) klassifiziert im Kapitel „Bau- und Abbruchabfälle“ Isoliermaterialien unter Code 1706 in drei Gruppen: asbesthaltiges Dämmmaterial (170601), „anderes Dämmmaterial, das aus gefährlichen Stoffen besteht oder solche Stoffe enthält“ (Code 170603) sowie „Dämmmaterial mit Ausnahme desjenigen, das unter 170601 und 170603 fällt“ (Code 170604). Die Einstufung in einer dieser Klassen richtet sich nach dem Gefahrstoffrecht sowie der nationalen Interpretation der sog. „Spiegeleinträge“ (Abfälle, die je nach Gehalt von schädlichen Verunreinigungen als gefährlich oder nicht gefährlich eingestuft werden; erarbeitet durch die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, LAGA). Wegen ihres Gehalts an ozonschichtschädigendem FCKW ist im Fall klassischer PUR-Schäume zukünftig eine Einstufung als „gefährlicher“ Abfall (Code 170603) zu erwarten. Dann würde die Sondermüllverbrennung nach EU-Verbrennungsrichtlinie notwendig.

Zur Problematik der Mitverbrennung von PUR ist folgendes anzumerken: Mitverbrennungsgut mit einem Chlorgehalt > 1 Prozent wird von modernen Zementwerken aus anlagentechnischen Gründen (Bildung fester Ansätze am Drehrohr und anderen Anlagenteilen mit Gefahr des „Zuwachsens“) als Problemstoff betrachtet, wobei ein Prozent bereits eine obere Grenze darstellt, die nur für moderne Anlagen mit „Bypass“ tolerabel ist. Über den „Bypass“ werden chlor-, alkali- und schwermetallhaltige Rauchgase abgesaugt und der belastete Staub abgetrennt. Viele Zementwerke haben einen solchen „Bypass“ nicht; für sie stellt ein Chlorgehalt von 0,3 Prozent bereits eine möglichst einzuhaltende Grenze dar (Rüdersdorfer Zementwerke 2001). Eine Mitverbrennung von PUR-Schäumen kommt derzeit überhaupt nur bei nicht flammgeschütztem und FCKW-entgastem Schaum (wie Konstruktions-schaum aus Kühlschränken) in Frage (Bayer 2001).

4.4 Maßnahmenvorschläge des Umweltbundesamtes

Zusammenfassung der Vorschläge: Die Maßnahmenvorschläge des UBA sahen hinsichtlich TCPP vor, „auf Grund nicht vollständig gekläarter kritischer Wirkungen, der nachgewiesenen Umweltbelastungen, der hohen Tonnage und des Emissionsverhaltens gesetzliche Regelungen weiter zu prüfen“. Innenraumbelastungen sollte ein besonderes Augenmerk gewidmet werden. Darüberhinaus wurden weitergehende Untersuchungen unter toxikologisch/ökotoxikologischen Gesichtspunkten (bzw. Datenoffenlegung) bei den halogenfreien Phosphorsäureestern als Substitutionsprodukte für TCPP gefordert. Dazu kam die Anregung einer mit einem Monitoring verbundenen freiwilligen Verpflichtung zur schrittweisen Substitution halogener FSM bei den in Frage stehenden PUR-Dämm- und Montageschäumen incl. Sandwich-Elementen sowie die Empfehlung, das Kriterium „halogenfreie Flammschutzausrüstung“ bei zukünftigen Umweltzeichen des „Blauen Engel“ für Bau-Produkte zu berücksichtigen.

Diskussionsschwerpunkte: Die kontroverse Diskussion betraf die Bewertung von TCPP und TCPP-Emissionen sowie den Sinn einer „freiwilligen Vereinbarung“ und eines „Blauen Engel“ für PUR-Dämmschäume als Bau-Produkte.

Bewertung von TCPP: Gegen die TCPP-Bewertung im Rahmen der Studie (vgl. Bd. I, S. 97-100 sowie das zugrundeliegende Stoffprofil in Bd. III, S. 124-150) wurde eine Reihe von Einwänden vorgebracht (schriftliche Stellungnahme nachgereicht; vgl. Schupp 2001; Anlage II zu diesem Bericht). Im Kern laufen die Einwände auf folgende Punkte hinaus:

TCPP könne nicht als potentiell bioakkumulativ angesehen werden, da der $\log K_{ow}$ unter 3 und der gemessene BCF bzw. berechnete BCF unter 100 lägen. Gegen Umweltpersistenz spreche das anzunehmende Verteilungsverhalten von TCPP in Kombination mit dem raschen Abbau in der Luft; die Sedimentfunde müssten als Punktbelastungen interpretiert werden. Der abgeleitete Wert für eine duldbare Konzentration in Wasser sei übertrieben hoch. Die verfügbaren Angaben zu Augen- und Hautreizungen sowie zu Mutagenität würden überinterpretiert und gäben im letztgenannten Fall keine ernstzunehmenden Anhaltspunkte für einen Kanzerogenitätsverdacht. Auch die IPCS-Studie zu TCPP (WHO, 1998) habe festgestellt, dass Kanzerogenitätsuntersuchungen nicht erforderlich seien. Zugleich wurde moniert, dass verschiedenen Stoffe ungleich behandelt würden – für TCPP verlange die Studie eine Kanzerogenitätsuntersuchung, für APP, das trotz weitaus mehr offener Punkte (Kenntnisdefizite) als Substitut genannt werde, dagegen nicht. Daraus wurde der Schluß gezogen, dass die Substitutionsempfehlung für TCPP und die Maßnahmenvorschläge des UBA nicht haltbar seien.

Die aufgeführten Angaben und Argumente beinhalten kaum neue Sachinformationen. Sie stellen primär eine andere Akzentuierung in der Stoffbewertung dar. Neben den konkreten Einwänden, auf die zuerst eingegangen werden soll, wurden damit auch allgemeinere Fragen der Stoffbewertung aufgeworfen.²⁴

²⁴ Während des Workshops wurden die auf Stoffbewertung bezogenen Einwendungen im einzelnen nicht besprochen; vgl. FN 14.

Kritik der Einwendungen: Die Möglichkeit einer Bioakkumulation ist bei TCPP nicht auszuschließen, da der $\log K_{OW}$ bei ca. 3 liegt. (Auch hier ist es nicht angemessen, für die Bewertung den niedrigsten und insofern günstigsten Wert heranzuziehen; aussagefähig sind $\log K_{OW}$ bzw. BCF.) Rascher Abbau in der Luft, wie bei TCPP beobachtet, spricht nicht gegen die Möglichkeit der Akkumulation in anderen Medien, wo kein so rascher Abbau erfolgt. Bei dem empfohlenen Wert von 0,1 $\mu\text{g/l}$ handelt es sich um einen vorsorgeorientierten Toleranzwert, der sich auf die Bioakkumulation in der aquatischen Nahrungskette bezieht und den Eintrag in Nahrungsnetze verhindern soll. Die Kanzerogenitätshinweise bei TCPP müssen als ernstzunehmend und bewertungsrelevant interpretiert werden (vgl. hierzu und zu sonstigen Anmerkungen Kruse 2001; Leisewitz 2001a, als Anlagen III und IV zu diesem Bericht).

Allgemeine Fragen der Stoffbewertung: Grundsätzlich sind bei Stoffbewertungen, die von gleicher Datenbasis ausgehen, unterschiedliche Positionen und Sichtweisen denkbar, weil in die Bewertungen i.d.R. unterschiedliche Gewichtungen von Sachaussagen einfließen.²⁵ Dabei sollte man sich des pragmatischen und entwicklungsbedürftigen Charakters von Stoffbewertungen bewußt sein.²⁶ Dass im Rahmen der vorliegenden Studie im Vergleich zu den gegebenen Bewertungsverfahren (im Rahmen des Chemikaliengesetzes bzw. der EG-Altstoffverordnung) eine stärkere Gewichtung intrinsischer Stoffeigenschaften und des Vorsorgeprinzips vorgenommen werden würde, war bereits beim 2. Workshop im Rahmen des Projektes²⁷ diskutiert worden und wird in der vorliegenden Studie (vgl. Bd.I, S. 51-73) näher ausgeführt. Dies ist unter Vorsorgegesichtspunkten im übrigen durchaus auch Praxis im Rahmen der Risk-Assessments nach EG-Altstoffverordnung²⁸ und wird bei der Weiterentwick-

²⁵ Vgl. z. B. die unterschiedliche Einstufung des krebserzeugenden Potentials von Antimontrioxid oder von TCEP, das durch TCPP substituiert wurde. Für TCEP gibt es in der MAK-Liste bisher keine Einstufung (jedoch seit 1997 zur Überprüfung anstehend); die TRGS 905 stuft es in Kat. 2 (als krebserzeugend für den Menschen anzusehen) ein, die Richtlinie 67/548/EWG (Einstufungs- und Kennzeichnungs-Richtlinie) in Kat. 3, derzufolge es „wegen möglicher krebserzeugender Wirkung Anlaß zur Besorgnis“ gibt (vgl. HVBG 2001, S. 123). Antimontrioxid wird nach 47/548/EWG ebenfalls in Gruppe 3 geführt, in der MAK-Liste aber unter Kat. 2, „als krebserzeugend für den Menschen anzusehen“ (vgl. DFG 2001, S. 23, 122). Decabromdiphenylether wird nach TRGS 905 als krebserzeugend/Stufe 3 bewertet (HVBG 2001, S. 31).

Zur Absicherung einer im Rahmen des Projekts möglichst konsensualen Datenbasis waren die bei den Stoffbewertungen zugrundegelegten „Stoffprofile“ entsprechend den Vereinbarungen beim 2. Workshop ausgewählten Hersteller-Unternehmen, die sich jeweils zur Verfügung gestellt hatten, zur Kommentierung übermittelt worden. Bd. III der Studie dokumentiert diese Kommentare. Sie wurden in den Endfassungen der Stoffprofile, soweit dies sachdienlich erschien, berücksichtigt.

²⁶ Ein in gängigen Lehrbüchern der Ökotoxikologie nachlesbarer Sachverhalt. „Die Bewertung von Substanzen bezüglich ihrer Umweltgefährlichkeit ist eine notwendigerweise pragmatische Entscheidung, die wissenschaftlich unterstützt, aber nicht abgesichert werden kann. Der Prozess und die Mittel der Entscheidung müssen Gegenstand ständiger Diskussion sein und bleiben. (...) In der Öffentlichkeit muss die Stoffbewertung als das vertreten werden, was sie ist: Keine wissenschaftliche Prognose über die Gefährlichkeit oder Unbedenklichkeit, sondern ein behördlicher Kompromiss zwischen Wissenschaftlichkeit, Handlungsfähigkeit und Kosteneffizienz.“ Holler u.a. 1996, S. 407.

²⁷ Zweiter workshop im Rahmen des Projektes „Erarbeitung von Bewertungsgrundlagen zur Substitution umweltrelevanter Flammschutzmittel“, Berlin, Umweltbundesamt, 6.4.2000.

²⁸ „Im Rahmen der EG-Altstoffverordnung wird derzeit das Flammschutzmittel Pentabromdiphenylether (PentaBDPE) bewertet. Einstimmig wurde von den Experten der Mitgliedstaaten beschlossen, dass für PentaBDPE trotz vorhandener Datenlücken das Bewertungsergebnis ‚Risikominderungsmaßnahmen erforderlich‘ und nicht ‚weitere Tests erforderlich‘ gelten solle. Die Entscheidung wurde aus Vorsorgegründen und im Lichte der Eigenschaften und der vorhandenen Informationen getroffen (u.a. Konzentrationen in der Muttermilch) und nicht auf der Grundlage von adäquatem wissenschaftlichen Wissen über Konzentrations-Wirkungs-Beziehungen. Zeit und Aufwand für eine endgültige wissenschaftliche Abklärung vor Maßnahmenergreifung wurden als inakzeptabel eingeschätzt.“ (Ahlers u.a. 2000, S. 150) Hauptverwendung von PentaBDE: Polyurethan-Weichschaum für Automobilsitze,

lung der europäischen Chemikalienpolitik berücksichtigt (vgl. EU-Weißbuch zur Chemikalienpolitik: Ahlers u.a. 2001).

Von einer „unterschiedlichen Behandlung“ verschiedener Flammschutzmittel im Rahmen der Studie (angeführtes Beispiel: Forderung nach Kanzerogenitätsprüfung bei TCPP, aber nicht bei APP) kann insofern nicht gesprochen werden, als die Forderung nach entsprechenden aufwendigen Untersuchungen wie Kanzerogenitätsprüfung dann (aber auch nur dann) zu erheben ist, wenn hierfür die nachgewiesenen oder vermuteten schädlichen Eigenschaften sowie Exposition und Einsatzmengen der Chemikalien Verdachts- und Anhaltspunkte liefern. Dies ist im einzelnen zu prüfen und Teil der Stoffbewertung. Selbstverständlich ist auf eine weitgehend vergleichbare Informationsbasis bei den zu untersuchenden Flammschutzmitteln – Substitute wie zu substituierende Substanzen – zu dringen. Die Forderungen nach näherer Charakterisierung der halogenfreien Substitute für TCPP zielen gerade in diese Richtung. Zugleich ist aber auch darauf zu achten, dass der Substitutionsprozess umweltrelevanter Verbindungen durch weniger umweltschädliche Stoffe nicht durch unverhältnismäßige Prüfanforderungen behindert wird. Von einem solchen Gebot der Verhältnismäßigkeit wird im übrigen sowohl im Chemikaliengesetz wie im EU-Weißbuch zur Chemikalienprüfung (REACH-Verfahren) ausgegangen.

Sonstige Stoffbewertungs-Aspekte: In den genannten Punkten bestanden bzw. bestehen mithin *Bewertungsunterschiede*. *Konsensual* war dagegen die Auffassung, dass das Risk-Assessment, dem TCPP im Rahmen der EU wegen vermuteter Umweltschädlichkeit nunmehr unterliegt²⁹, im Zusammenhang mit den Maßnahmenvorschlägen Berücksichtigung finden muss. Wann Ergebnisse aus dem Risk-Assessment vorliegen werden, ist derzeit schwer abzusehen; die Prognosen für die Vorlage des ersten Draft bewegten sich zwischen Ende 2001 und Ende 2002 (Abschluß vermutlich spätestens in 2005). Außerdem sind die Ergebnisse der BAM-Untersuchungen zu Emissionen von Flammschutzmitteln aus PUR-Dämm-Schäumen abzuwarten. Bei der Frage der TCPP-Innenraumbelastung ist es notwendig, sämtliche potentiellen TCPP-Quellen zu prüfen.

Grenzen nationalstaatlicher Maßnahmen: Der Einwand, dass in Zukunft Dämmschaum-Importe mit halogenierten Flammschutzmitteln eine größere Rolle spielen werden, ist beim Vorschlag für eine freiwillige Selbstverpflichtung auf Halogen-Reduktion zu bedenken. Hier spielt also die Problematik der Wirksamkeit von Maßnahmen im nationalen Rahmen bei wachsender Bedeutung des EU-Wirtschaftsraumes herein.

Selbstverpflichtung, Labelling: Gegen „freiwillige Selbstverpflichtungen“ wurde industrieseitig eingewandt, dass sie bisher kaum geklappt hätten. Hier zeichnete sich als Diskussionsfazit ab, dass auf eine entsprechende freiwillige Selbstverpflichtung verzichtet werden sollte. Begründung der angesprochenen Akteure: Aus technischen (Sandwich-Elemente) bzw. Kostengründen (Montageschaum) sei eine TCPP-Substitution in den mengenmäßig entscheidenden Anwendungsbereichen derzeit nicht machbar. Außerdem sollte das Risk Assessment abgewartet werden, da die Bewertung von TCPP umstritten sei. Ein Montageschaum-Hersteller verwies im Zusammenhang mit dem „Blauen Engel“ darauf, dass neben der im Workshop umstrit-

Polstermöbel und Verpackungen. Das Risk Assessment zu PentaBDE liegt seit August 2000, ein Verbotsantrag der EU-Kommission seit Mai 2001 vor (vgl. FN 12).

²⁹ 4. Prioritätenliste v. 25. 10. 2000. Bearbeiter ist UK/Irland (vgl. FN 40).

tenenen TCPP-Bewertung auch der Isocyanat-Gehalt der Montageschäume zu beachten sei, der einer Auszeichnung im Wege stünde. Gedacht ist lt. UBA jedoch nicht speziell an einen „Blauen Engel“ für Montageschäume, sondern eine Auszeichnung für Bauprodukte insgesamt.

4.5 Schlußfolgerung: Überarbeitete Maßnahmenvorschläge Polyurethan-Dämm- und Montageschäume

Unter Berücksichtigung der Diskussion im Workshop enthalten die überarbeiteten Maßnahmenvorschläge des UBA für den Bereich Dämm- und Montageschäume aus Polyurethan (vgl. Anlage VIII zu diesem Bericht) folgende Punkte:

A) Gesetzliche Regelungen

A1: Bei TCPP sind auf Grund nicht vollständig geklärter kritischer Wirkungen, der nachgewiesenen Umweltbelastungen, der hohen Tonnage und des Emissionsverhaltens gesetzliche Regelungen weiter zu prüfen. Dies gilt insbesondere für verbrauchernahe Anwendungen von PUR-Dämm- und Montageschäumen. Dabei ist insbesondere auf Innenraumbelastungen zu achten. Hierbei ist die zur Zeit laufende Bewertung von TCPP im Rahmen der Europäischen Altstoffbewertung zu berücksichtigen.

B) Weitere Maßnahmen

B1: Das UBA hält mit Blick auf PUR-Dämm- und Montageschäume weitergehende Untersuchungen zu den halogenfreien Phosphorsäureestern als Substitutionsprodukte für TCPP (toxikologisch-ökotoxikologische Eigenschaften der Reinstoffe und der flammgeschützten Produkte) bzw. Datenoffenlegung seitens der an der Produktkette beteiligten Unternehmen für notwendig.

B3: Das UBA empfiehlt die Berücksichtigung des Kriteriums „Halogenfreie Brandschutzausrüstung“ bei zukünftigen Umweltzeichen „Blauer Engel“ für Dämmstoffe.

5. Was treibt und was hemmt Substitution und Minderung umweltrelevanter Flammschutzmittel?

5.1 Widersprüchlicher Trend in den untersuchten Anwendungsbereichen

Fasst man die qualitativen Ergebnisse der Studie und der Workshops zur Substitution und Minderung umweltrelevanter Flammschutzmittel in den letzten zehn Jahren in Kurzform zusammen, so zeigt sich folgendes Bild:

- In allen Anwendungsbereichen, die untersucht wurden, sind Produkte mit halogenfreiem Flammschutz bzw. konstruktivem Brandschutz entwickelt worden;
- bei einigen der Anwendungen sind diese Entwicklungen auch praktisch realisiert und umweltrelevante, in erster Linie halogenierte Flammschutzmittel substituiert bzw. im Einsatz gemindert worden;
- nur in einem Anwendungsbereich stellen sich derzeit (noch?) nicht lösbare technische Probleme.

Unter Berücksichtigung der quantitativen Seite lassen sich die einzelnen Anwendungsbereiche so charakterisieren:

Bei *duroplastischen Konstruktionselementen für Schienenfahrzeuge* ist der halogenierte Flammschutz weitgehend durch neuentwickelte mineralische Flammschutzmittel (thermostabilisiertes ATH) substituiert worden.

Bei *duroplastischen Leiterplatten* sind Lamine mit halogenfreiem Flammschutz auf phosphororganischer/Stickstoff-Basis statt Tetrabrombisphenol A entwickelt worden. Sie befinden sich in der Einführungsphase, spielen jedoch am Markt bisher keine quantitativ relevante Rolle.

Bei *thermoplastischen Außengehäusen für IT- und TV-Geräte* ist eine deutliche Verschiebung von halogeniertem Flammschutz zu konstruktivem Flammschutz (besonders bei TV-Geräten) bzw. Einsatz von halogenfreien Flammschutzmitteln (Phosphororganika) zu registrieren. Das positive Bild wird jedoch getrübt, weil wegen des starken Umsatzwachstums bei IT- und TV-Geräten nach wie vor große, sich kaum vermindern Mengen an Elektro- und Elektronikgeräten mit umweltrelevanter Flamm- schutzausrüstung anfallen.

Bei *Polyurethan-Dämm- und Montageschäumen* ist teils eine deutliche Minderung des Einsatzes von halogenierten Flammschutzmitteln (bromierte Polyole, TCPP) dank veränderter Schaumformulierung (PIR-Block- und Plattenschaum), teils die Entwicklung entsprechender halogenfreier Flammschutzmittelformulierungen ohne praktische Umsetzung in quantitativ relevantem Ausmaß (Montageschaum) zu beobachten, wobei die Hersteller sogar einen ansteigenden Verbrauch halogenerter Flammschutzmittel prognostizieren. Trotz mehrjähriger Entwicklungsversuche gibt es demgegenüber für den bedeutendsten Anwendungsbereich halogenerter Flamm- schutzmittel bei PUR-Dämmschäumen, die Sandwich-Elemente, noch keine befriedi-

gende Alternative. (Für die mengenmäßig untergeordneten Ortschäume sind entsprechende Alternativen nicht in Entwicklung.)

Bei *Polsterverbunden (Textile Bezüge/PUR-Weichschaum)* stellt sich die Substitutions-Frage in der Bundesrepublik derzeit wegen des nach wie vor geringen Ausrüstungsstandes nicht; hier gibt es für die meisten Anwendungsbereiche praktisch erprobte Alternativen zu halogenierten Flammschutzmitteln.

Trendbewertung: Trotz weitreichender Möglichkeiten sind Substitution und Minderung des Einsatzes der genannten umweltrelevanten Flammschutzmittel also nur begrenzt vorangekommen (IT- und TV-Außengehäuse; PUR-Platten- und Blockschäume; Bauelemente aus ungesättigten Polyesterharzen für Schienenfahrzeuge). Bei duroplastischen Leiterplatten und Montageschäumen hat die Einführung der verfügbaren Entwicklungsprodukte (wie halogenfreie Flammschutzmittel, halogenfrei flammgehemmte Polymere bzw. Endprodukte) mit massiven Anwendungshemmnissen zu kämpfen; bei Sandwich-Elementen liegen noch keine technisch befriedigenden Alternativen vor.

Das Bild ist also widersprüchlich. Die Fallstudien bewegen sich zwar einerseits im Rahmen des in Bd. I berichteten Trends beim Flammschutzmittelverbrauch insgesamt (vgl. Bd. I, S. 21f.: Abschwächung bei bromierten und chlorierten Verbindungen – ohne TCCP; Stabilität bei mineralischen FSM; Zuwachs bei Phosphororganika u.a.). Dies gilt auch für die dort zitierten Trendaussagen von Flammschutzmittelherstellern (wachsende Bedeutung von Produkten, die niedrigen Dampfdruck haben, migrationsstabil und halogenfrei sind). Andererseits sind die in den letzten Jahren mit den neuen Anwendungsentwicklungen aufgebauten Substitutions- und Minderungspotentiale bisher nur z.T. realisiert worden.

Treibende und hemmende Momente: Diese widersprüchliche Situation wirft die abschließend zu beantwortende Frage nach treibenden und hemmenden Momenten bei der Minderung und Substitution umweltrelevanter Flammschutzmittel auf. Der Überblick zeigt, dass eine ganze Reihe von Faktoren und Interessenlagen das Handeln der Akteure – der Hersteller von Flammschutzmitteln bzw. flammgeschützten Produkten, der industriellen und privaten Verbraucher sowie staatlicher (nationaler und supranationaler) Institutionen – beeinflussen. Neben technischen Faktoren sind dies im wesentlichen die „politische Gestaltung“ über Normen und Gesetzgebung sowie meist als „ökonomische Sachzwänge“ interpretierte wirtschaftliche Faktoren, die mit Kosten-Konkurrenz und Veränderungen der Absatzmärkte zusammenhängen. Wie sich das Verhältnis von technischen Bedingungen, politischer Rahmensetzung und „ökonomischen Sachzwängen“ im einzelnen gestaltet, hängt stark von der Durchsetzung unterschiedlicher Interessen der beteiligten Akteure, d.h. den Produzenten von Flammschutzmitteln und flammzuschützenden Produkten sowie den Verbrauchern, auf den Märkten sowie in Öffentlichkeit und Politik ab. Folgende Faktoren sind aus unserer Sicht von Belang:

- Technische Entwicklung;
- Normen;
- Umweltpolitik und Gesetzgebung;
- Internationalisierung von Produktion und Märkten;
- Kostenfrage;
- unterschiedliche Interessenlagen bei Produzenten und bei Verbrauchern.

Wir betrachten zuerst die im engeren Sinne technischen Faktoren.

5.2 Technische Entwicklungsmöglichkeiten und Entwicklungskooperation

Technische Hemmnisse: Nur in wenigen Bereichen stellen sich, sofern entsprechende technische Entwicklungen in Angriff genommen wurden, ernsthafte Hindernisse für die Substitution bzw. Minderung umweltrelevanter Flammenschutzmittel. Beispiele, wo derzeit solche technischen Hindernisse noch bestehen, sind PUR-Sandwich-Elemente, Leiterplatten mit höherem Tg oder Außengehäuse aus ABS mit Flammenschutzadditiven.

Entwicklungsbedingungen der FSM-Substitution: Die Entwicklungen in den einzelnen Anwendungsbereichen zeigen, dass es generell um angepasste Lösungen geht. Eine 1:1 Substitution eines Flammenschutzmittels durch ein anderes nach dem drop-in-Verfahren ist wegen der stoffspezifischen Wechselwirkungen zwischen Flammschutzmittel, Polymer und Endprodukteigenschaften faktisch nirgendwo möglich. Außerdem sind die Verarbeitungseigenschaften zu beachten. Die Substitution von Flammenschutzmitteln erfolgt dabei in einem sich technisch verändernden Umfeld. Beispiele sind die Miniaturisierung bei E+E-Geräten; die Umstellung bei Treibmitteln für PUR-Verschäumung; Multilayer-Technik, steigende Tg-Anforderungen und Lotsubstitution bei Leiterplatten; Werkstoffwechsel bei Außengehäusen oder Veränderung der Testanforderungen im Zusammenhang mit der europäischen Bauproduktrichtlinie. Die Entwicklung muss daher i.d.R. als kooperativer Prozess zwischen den Beteiligten der Wertschöpfungs-Kette, also Flammschutzmittellieferanten, Polymer- und Endproduktherstellern gestaltet werden, die jeweils ihre Produkt- und Entwicklungskompetenz sowie -Interessen einzubringen haben. Bei verschiedenen Entwicklungen wurde über entsprechende Entwicklungsgemeinschaften berichtet (vgl. z.B. UP-Harze für Schienenfahrzeuge, Bd. II, S. 23/24; Leiterplatten, Bd. II, S. 175 ff. und Workshop Leiterplatten; Gehäuse: Bd. II, S. 249ff.).

Entwicklungs- und Substitutionsdauer: Generell gilt: je komplexer das Produkt, desto länger die Entwicklungsdauer. Die Zeitspanne von der Produktentwicklung bis zur Einführung kann bis zu zehn Jahre dauern. Bei halogenfrei flammgeschützten *FR4-Leiterplatten* betrug die Entwicklungszeit für Flammenschutzmittel und Laminat gut zehn Jahre: Das BMBF-geförderte Siemens-Kooperationsprojekt lief von 1990-1995; seine Umsetzung in vermarktbar Produkte dauerte noch einmal ca. fünf Jahre, ohne dass die Substitution selbst schon in Gang gekommen wäre (Bd. II, S. 175 ff.). Eine wenig kürzere Dauer brauchte die Entwicklung von *CEM3-Leiterplatten*, die mit thermostabilisiertem ATH flammgeschützt werden (vgl. Bd. II, S. 169, 173). Bei *UP-Harzen für Schienenfahrzeuge* erforderte die Halogensubstitution ca. 5-7 Jahre (vgl. Bd. II, S. 22f.), bei *Gehäusen* zog sich die bis heute nicht abgeschlossene Substitution ebenfalls über annähernd zehn Jahre hin (Bd. II, S. 245 ff.). Dort, wo bei PUR-Dämmschäumen auf flammschutzmittelgeminderten PIR-Schaum umgestellt wurde, dauerte die Entwicklung gleichfalls einige Jahre. Sie ist, wie berichtet, bei Montage-schäumen und Sandwichelementen mit unterschiedlicher Reife noch im Gange.

Entwicklungskooperation: Wie gut und rasch der angestoßene Entwicklungsprozess vorankommt, hängt nicht nur von den technischen Möglichkeiten ab, also davon, ob entsprechende praktikable Lösungen zu finden sind, sondern auch vom Ausmaß der Interessengemeinsamkeiten im Rahmen der Wertschöpfungs-Kette. Als ein Vorteil

der japanischen Leiterplattenhersteller hatte sich gezeigt, dass sie das Konzept „green electronics“ meist unter einem Konzerndach vorantreiben, was entsprechende Abstimmungen zwischen den einzelnen Produktionsschritten erleichtert. Die beim Workshop Leiterplatten berichtete Entwicklung einer halogenfrei flammgeschützten Leiterplatte für Standtelefone vollzog sich im Rahmen einer produktorientierten Arbeitsgemeinschaft (Laminateur/Leiterplattenhersteller/Endabnehmer). Umgekehrt können sich Interessendifferenzen bei Unternehmen der Wertschöpfungskette hemmend auswirken (etwa bei fehlender Nachfrage vom Endprodukthersteller: Beispiel konstruktiver Brandschutz bei Monitoren durch Metallinnengitter; insgesamt mangelnde Nachfrage nach halogenfrei flammgeschützten Leiterplatten oder V1-Material). Gleiche Kompetenz statt starker Abhängigkeitsverhältnisse der Beteiligten an der Herstellerkette dürfte auf jeden Fall für die Realisierung von Entwicklungen förderlich sein (Beispiel Block- und Plattenschaumentwicklung durch Selbstformulierer). Soweit ersichtlich liegt im Rahmen der Entwicklungsketten der dynamische Faktor eher auf der Nachfrageseite, also bei den vermarktenden Zwischen- und Endproduktherstellern, die Anforderungen an die Vorlieferanten formulieren und auf „Marktanforderungen“ reagieren.

5.3 Technische Normen, Labelling

Normen und Labelling stellen Aspekte der „technisch-politischen Gestaltung“ von Rahmenbedingungen für Flammschutzausrüstung dar.

Technische Normen dienen der Standardisierung von Industrieerzeugnissen. Neben den institutionell begründeten Normen der anerkannten nationalen und internationalen Norm-Institutionen (wie DIN oder CEN) sind hier auch am Markt durchgesetzte „informelle“ und damit für die Hersteller faktisch verbindliche Normen von Industrieverbänden zu berücksichtigen. Eine ähnlich informell-normative Funktion haben auch umweltbezogene Label, die von verschiedenen Institutionen vergeben werden (Blauer Engel/RAL; TCO u.a.).

Die technischen Normen gehören zu den „Rahmenbedingungen“, die beim Substitutions- und Minderungsprozess zu beachten sind. Dies schließt neben anderen auch die Sicherheits- und Brandschutznormen ein. Normen, Materialeigenschaften sowie Herstellungs- und Verarbeitungsverfahren stellen meist einen über längere Zeit optimierten Komplex dar, der die Veränderung einzelner Parameter (wie z.B. Flammschutzausrüstung eines Werkstoffs) erschwert, weil die anderen Parameter unverändert bleiben sollen. Substitutionserschwerend wirkt sich z.B. die informelle, am Markt durchgesetzte Norm für Brandschutzausrüstung von FR-4-Leiterplatten (UL 94-V0)³⁰ aus, die nach Auskunft aller an der Leiterplattenherstellung beteiligten Akteure ohne Eingriff von staatlicher Seite faktisch nicht aufzuheben ist, obwohl sie in vielen Bereichen unter Brandschutzgesichtspunkten nicht notwendig wäre (Workshop Leiterplatten).

³⁰ Zur Normung von Leiterplatten vgl. Bd. II, S. 142 f. und 157 f. Als Standard-FR4-Material entsprechend den Anforderungen der National Electronics Manufacturers Association (NEMA, USA) wird am Markt Material verlangt, das der Brandschutzklasse V0 der (von Versicherungsunternehmen getragenen) Underwriter's Laboratories entspricht. Hier hat sich einerseits die NEMA-Norm durchgesetzt und zweitens eine informelle „Markt-Norm“, da NEMA als Brandschutz nicht V0, sondern nur „mindestens V1“ vorschreibt.

Normwechsel: Die Veränderung von Normen kann Alternativen im Brandschutz erleichtern oder erst ermöglichen. Beispiele für Auswirkungen: Während für Fernsehgeräte früher bestimmte Brennbarkeitseigenschaften der Rückwände vorgeschrieben waren, eröffnet die heute gültige Sicherheitsnorm auch die Möglichkeit des konstruktiven Flammschutzes (vgl. Bd. II, S. 221f.). Die mit der europäischen Bauprodukt-richtlinie und dem SBI-Test verbundene Änderung bei den Brandschutznormen bewirkt bei halogeniert flammgeschützten Montageschäumen zukünftig wahrscheinlich einen erhöhten Flammschutzmitteleinsatz. Die Substitution halogenerter Flammschutzmittel würde dadurch aber nicht behindert; sie kommt derzeit aus anderen Gründen – wegen höherer Kosten der halogenfreien Produkte – nicht zum Zuge (Workshop PUR-Dämmschäume). Mit der stärkeren Beachtung von Brandfolgeprodukten bei Brandschutznormen wie Rauchgasdichte und -toxizität (Bsp. Schienenfahrzeuge; vgl. Bd. II, S. 9; Bauprodukte, ebd., S. 53) gewinnen Faktoren an Bedeutung, die die Halogensubstitution fördern.³¹ Der mineralische Flammschutz bei Duroplasten für Schienenfahrzeuge hätte sich ohne die neuen Anforderungen, wie sie bei der London Underground formuliert wurden, nicht etablieren können. In die Normung gehen also auch unterschiedliche Interessen (Wege des Brandschutzes) und Wertorientierungen (wie Gewichtung von Brandfolgeprodukten) ein.

Marktwirkung von Normen: Normen müssen auch als Elemente der „Marktabgrenzung“ und „Marktbildung“ betrachtet werden (Bsp: Während auf dem US-Markt für TV-Gehäusewerkstoffe UL 94-V0 gefordert wird, kann der in der EU-Norm festgelegte Brandschutz für TV-Geräte in Europa konstruktiv ohne entsprechende Ausrüstung des Gehäusewerkstoffs gewährleistet werden.) Insofern ist die Etablierung von verbraucherorientierten Sicherheitsstandards (Schutz vor Brandrisiko) aus Sicht der Flammschutzmittel-Hersteller ein interessanter Hebel zur Markterweiterung. Entsprechende Bestrebungen, über die Beeinflussung der Öffentlichkeit durch die Medien mit *informellen* Normen den Markt zu gestalten, können bei Außengehäusen für TV-Geräte und Monitoren sowie bei Polstermöbeln beobachtet werden, wo u.a. von Seiten der Flammschutzmittelhersteller Sicherheitsbedürfnisse der Verbraucher zwecks Flammschutzausrüstung mobilisiert werden. Wie beim Workshop Gehäusewerkstoffe berichtet, sehen sich auch große international operierende OEMs gezwungen, einem solchen Trend zu folgen, auch wenn sie die Ausrüstung der Gehäuse mit Flammschutzmitteln angesichts des gegebenen konstruktiven Brandschutzes eigentlich nicht für notwendig erachten. Die auf nationale Märkte ausgerichtete Polstermöbelindustrie steht dagegen in den meisten EU-Ländern einer generellen Flammschutzausrüstung ihrer Produkte teils aus Kostengründen, teils wegen der Skepsis ihrer Kundschaft gegenüber einem solchen Chemikalieneinsatz ablehnend gegenüber (vgl. Bd. II, S. 297 f.).

³¹ Beim Eindringen von Kunststoffen in den Elektro- und Baubereich nach dem zweiten Weltkrieg erwies sich ihre flammhemmende Ausrüstung als ein Schlüsselfaktor der Markterweiterung. Die brandschutztechnischen Normen wurden im Zusammenhang mit dieser Markterweiterung entwickelt (vgl. Schramm u.a., S. 23 ff., S. 32ff.). Die dabei aus pragmatischen Gründen erfolgte Verengung auf das Kriterium der Flammwidrigkeit begünstigte die vielseitig einsetzbaren und effektiven halogenierten Flammschutzmittel, deren Brandfolgeprodukte dabei außer Betracht bleiben. Für dieses Verfahren sprachen sowohl dessen prüftechnischen Vorzüge (Betrachtung eines Faktors) wie der Umstand, dass bei ausreichendem Brandschutz der Brandfall (und damit die Brandfolgeprodukte) relativ selten auftritt. Mit der Ausweitung des Einsatzes flammgeschützter Kunststoffe, der wachsenden Bedeutung von Brandschutz in geschlossenen Räumen und dem Evakuierungsproblem (Flugzeuge, Schienenfahrzeuge, Gebäude usw.) rückten die Brandfolgeprodukte stärker in den Mittelpunkt der Betrachtung (vgl. Troitzsch 1990, S. 75ff.). Wie in den Einzelfallstudien dargestellt waren dabei auslösende Momente für die Substitutionsbemühungen der letzten anderthalb Jahrzehnte große Brandunfälle (z.B. Londoner Underground) und die generelle Dioxin-Diskussion.

Labelling: Verbraucherorientierte Umwelt-Label wie der Blaue Engel oder das TCO-Siegel mit Forderung nach Halogenfreiheit (vgl. Bd. II, S. 246-248) sind in gewissem Sinne mit den technischen Normen vergleichbar. Auch sie enthalten technische Vorschriften und wirken marktbildend. Sie werden jedoch von Institutionen festgelegt, die anders als die Norm-Institutionen über den technisch-wirtschaftlichen Bereich hinaus stärker der öffentlichen Diskussion und politischen Willensbildung geöffnet sind.³² Große Endprodukthersteller neigen angesichts der Tendenz zur Internationalisierung von Märkten („Globalisierung“) dazu, die unter Sicherheits- und Umweltgesichtspunkten „strengsten“ Normen zu kombinieren und global durchzusetzen. Hier sind Konflikte zwischen Umwelt- und Sicherheitsstandards zu erwarten (Workshop Gehäuse). Beim Brandschutz ist darauf zu dringen, dass er auf die umweltverträglichste Weise bewirkt wird.

Freiwilliger PBDE-Verzicht: Als „Norm mit begrenzter Reichweite“ kann man auch die 1986 eingegangene freiwillige Selbstverpflichtung der VKE- und TEGEWA-Mitglieder zum Verzicht auf PBDE in der Bundesrepublik betrachten. Sie stellte eine für die Mitglieder verbindliche Reaktion der entsprechenden Unternehmensverbände auf die öffentliche Dioxin-Diskussion dar. Wegen der freien Verfügbarkeit der PBDE für nicht verbandsgebundene Verarbeiter und wegen dem Vorkommen von PBDE in Importware hatte sie nur beschränkte Wirkung, war für den Substitutionsprozess aber nicht unbedeutend, weil sie den PBDE-Einsatz verminderte und die Verzichtbarkeit der PBDE unmittelbar unter Beweis stellte.

5.4 Umweltpolitik und Gesetzgebung

Umweltpolitik und Gesetzgebung, in denen sich die gesellschaftliche Diskussion und Auseinandersetzung über den Umgang mit Chemikalienrisiken zu einer rechtlich verbindlichen Regelung verdichten, sind – ähnlich wie die brandschutzrelevanten Normen – ein entscheidendes Element unter den Rahmenbedingungen der Flammschutzmittelsubstitution. Die Diskussion in den Workshops über Möglichkeit und Grenzen von Regulierungsmaßnahmen auf der nationalstaatlichen Ebene der Bundesrepublik verweist dabei auf die gegenwärtig sich vollziehende Verschiebung der Regelungskompetenz von der nationalen auf die supranationale Ebene der EU bzw. das Nebeneinander von nationaler und europäischer Regelung. Bei der Frage, ob und wo gesetzliche Vorgaben in der Vergangenheit ggfs. treibende Momente der Flammschutzmittelsubstitution darstellten, ist die Verschränkung von nationaler und supranationaler Ebene generell zu berücksichtigen, da beide Ebenen auch in der Vergangenheit eng miteinander verwoben waren. Das Umweltrecht gehört zu den am stärksten vergemeinschaftlichten Rechtsbereichen in der EU. Wir betrachten zuerst die bundesdeutsche, dann die europäische Ebene der Chemikalienpolitik.

Chemikalienpolitik BRD: Bezogen auf die im Rahmen der Studie untersuchten Flammschutzmittel und Anwendungsbereiche gibt es in der Bundesrepublik mit we-

³² In der Bundesrepublik Deutschland z.B. das RAL/Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., das in Verbindung mit dem Umweltbundesamt und den Bundesländern unter Beteiligung einer Jury den „Blauen Engel“ als Umweltzeichen (Zeichenbenutzungsvertrag) vergibt. Der „Blaue Engel“ wurde 1977 von den für Umweltschutz zuständigen Ministern der Länder und des Bundes eingeführt.

nigen Ausnahmen³³ keine direkten Verbote oder Einschränkungen. Von Bedeutung sind jedoch einige indirekte Regelungen.

In den achtziger Jahren gerieten die von Dioxinen und Furanen ausgehenden Gefahren in den Blickpunkt des umweltpolitischen Interesses in der Bundesrepublik.³⁴ Neben den zuerst diskutierten polychlorierten Dioxinen und Furanen galt dies seit 1985 auch für die polybromierten Dibenzodioxine und -furane (PBDD/DF). Ein erster Bericht über PBDD/DF wurde vom UBA 1985 vorgelegt, ein zweiter Sachstandbericht 1989. In der öffentlichen Diskussion (in Parlamentsausschüssen des Bundestages und Länderparlamenten, Medien, Bund/Länder-Gremien usw.) wurde dabei u.a. auf Veröffentlichungen der amerikanischen Umweltschutzbehörde EPA zurückgegriffen. Die US-EPA hat Ende 1985 auch eine erste Regelung für chemische Produkte initiiert, die auf Dioxin/Furanverunreinigung untersucht werden sollten (hauptsächlich bromierte Flammschutzmittel; Inkrafttreten 1987). Auf Industrieseite folgte 1985 die Gründung des „Brominated Flame Retardant Industry Panel“ (Zusammenschluß der amerikanischen Hersteller bromierter Flammschutzmittel zwecks Wahrung ihrer Interessen im Rahmen der Dioxin-Diskussion). In der Bundesrepublik erklärten 1986 die TEGEWA/VKE-Unternehmen ihre Bereitschaft, Ersatzprodukte für PBDE einzusetzen und aus dem PBDE-Einsatz auszusteigen. Die im gleichen Jahr von VCI und UBA initiierten Zersetzungsuntersuchungen von halogenierten Flammschutzmitteln und flammgeschützten Kunststoffen ergaben u.a., dass auch unter normalen Kunststoffverarbeitungsbedingungen PBDD/DF gebildet werden können. Dies zog Arbeitsplatzuntersuchungen sowie medizinische Untersuchungen an langjährigen Beschäftigten aus der Kunststoffextrusion bei der BASF nach sich (1989), bei denen erhöhte PBDE-Belastungen gefunden wurden (vgl. auch Bd. I, S. 81, Bd. III, S. 18). Der UBA-Sachstandbericht von 1989 und der Bericht der UMK-Arbeitsgruppe „Bromhaltige Flammschutzmittel“ von 1989 lösten weitere öffentliche Diskussionen und rechtliche Regelungen aus.³⁵

Unter den rechtlichen Regelungen ist neben der 17. BImSchV (1990; Dioxin/Furan-Grenzwerte für Müllverbrennungsanlagen; vgl. Johnke 1993) die Dioxin-Verordnung zum Chemikaliengesetz von 1994³⁶ (Dioxin/Furan-Grenzwerte in Zubereitungen und Erzeugnissen) besonders hervorzuheben. Die genannten Verordnungen setzen bei der Entsorgung (Müllverbrennung) und bei der Verarbeitung bzw. dem Recycling von

³³ Verbot von Tris-2,3-dibrompropylphosphat, Phosphorsäuretriethylimid und PBB in Bedarfsgegenständen, die unter Verwendung von Textilien hergestellt werden (vgl. Bd. II, S. 292).

³⁴ Einen Überblick geben UBA 1989, S. 2/3, sowie Pohle 1990.

³⁵ Das UBA hatte 1989 bereits u.a. ein Verbot der PBDE nach §17 ChemG, die Initiierung einer gleichgerichteten EG-Richtlinie und Regelung der PBDD/DF entsprechend PCDD/DF in der GefStoffV empfohlen. Vgl. UBA 1989 und Pohle 1990. Die UMK-Arbeitsgruppe „Bromhaltige Flammschutzmittel“ ging davon aus, dass ein alleiniges PBDE-Verbot in der Bundesrepublik in Konflikt mit dem Gemeinschaftsrecht geraten würde und plädierte daher für eine EU-einheitliche Verbotsregelung. Der 1991 von der Bundesrepublik, den Niederlanden, Dänemark und Schweden eingebrachte Verbotsvorschlag für PBDE wurde von der EU-Kommission auf Druck von England, Frankreich und Italien abgelehnt. Die EU-Kommission verwies auch auf die von der OECD veranlaßten Untersuchungen zu PBDE, deren Ergebnisse erst abgewartet werden mußten. Vgl. Schramm u.a. 1996, S. 119f., 130. Auf das anstehende PentaBDE-Verbot wurde bereits verwiesen.

³⁶ Erste Verordnung zur Änderung der Chemikalien-Verbotsverordnung v. 15.7.1994, BGBl 1994, T.I, S. 1493-1495. In der „Dioxin-Verordnung“ wurden erstmals auch bromierte Dioxine/Furane berücksichtigt. Anstelle eines MAK-Wertes gibt es für Dioxine/Furane wg. Krebserzeugung einen TRK-Wert. Dieser 1993 festgelegte Wert (50 pg/m³) bezieht sich anders als die Dioxin-Verordnung nur auf chlorierte Dioxine/Furane. Für PBDD/DF gilt seit 1998 ein Empfehlungswert des AGS (ebenfalls 50 pg/m³) (Vgl. HVBG 2001)

flammgeschützten Kunststoffen an. Wenn es heißt, bromiert flammgeschützte Kunststoffe könnten in normalen MVAs „unproblematisch“ mitverbrannt werden, so ist daran zu erinnern, dass dies nur der aufwendigen Abgasreinigung nach 17. BImSchV zu verdanken ist. Die Dioxin-Verordnung hat dagegen eher Vorsorgecharakter. Sie begrenzt in der Praxis den Einsatz von PBDE und fördert damit generell die Suche nach Substituten. Mit Blick auf die Zukunft wichtig ist die TA Siedlungsabfall von 1993³⁷, die das unbehandelte Verbringen organischer Abfälle auf Deponien langfristig unterbinden soll. Flammgeschützte Kunststoffe wie PUR-Schäume müssen danach ab 2005 verbrannt werden. Hier besteht, wie auch durch die Europäische Verbrennungsrichtlinie (2001), Druck in Richtung auf Halogenminderung.

Aus dem *Gefahrstoff-Recht und Grenzwertvorgaben* ergeben sich keine direkten Substitutions-Veranlassungen. Die in der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) festgelegte *Kennzeichnungspflicht* von Stoffen gem. der EG-Einstufungsrichtlinie (67/548/EWG) ist insofern substitutionsrelevant³⁸, als sie in begrenztem Maße einen Vergleichsmaßstab für verschiedene Stoffe entsprechend ihrer jeweiligen Einstufung abgibt (Gefahrensymbol, R- und S-Sätze).

OECD- Chemikalienpolitik: Die OECD veröffentlichte auf der Grundlage des 1990 beschlossenen OECD Council Acts für „Cooperative Investigation and Risk Reduction of Existing Chemicals“ 1994 eine Studie zu Risiken bromierter Flammschutzmittel (OECD 1994). Hintergrund war auch hier die Diskussion über Dioxine/Furane in den USA und Europa. Der Studie folgte eine freiwillige Verpflichtung der bedeutendsten Hersteller bromierter Flammschutzmittel zu risikomindernden Maßnahmen (u.a. mechanistische und Toxizitätsstudien; Festschreibung des status-quo mit einem Verzicht auf Herstellung sowie Import/Export von PBB mit Ausnahme von DecaBB sowie der nichtkommerziellen PBDE, sofern sie nicht Bestandteil der Handelsprodukte sind; Verbesserung der Stoffreinheit; emissionsmindernde Maßnahmen). Entsprechende Berichte an die OECD ergingen 1998 und 1999 (vgl. Bd.I, S. 30f.)³⁹.

EG-Altstoff-Verordnung: Für Altstoffe gilt in der EU die Verordnung 793/93/EG des Rates zur Bewertung und Kontrolle der Umweltrisiken chemischer Altstoffe von 1993. Diese Verordnung ist die rechtliche Grundlage der Risk-Assessments, denen eine Reihe von Flammschutzmitteln derzeit unterzogen werden. Werden hierbei Risiken für Umwelt und Gesundheit festgestellt, müssen rechtlich bindende Risikominde-

³⁷ Für die Ablagerung gilt ab Februar 2001 die „Verordnung über die umweltverträgliche Siedlungsabfallentsorgung und über biologische Behandlungsanlagen“ (sh. FN 21).

³⁸ Der TCEP-Verzicht zugunsten von TCPP (ISOPA-Empfehlung vom Anfang der 90er Jahre, vgl. Bd. II, S. 79) stellte eine Reaktion auf die R-40-Einstufung von TCEP dar („irreversibler Schaden möglich“). Da die EG-Einstufungsrichtlinie auf Art. 95 (ex-Art. 100a) des EWG-Vertrages beruht, sind die entsprechenden Einstufungen für die einzelnen Länder bindend. Beim *Arbeitsschutz* stellen die EG-Festlegungen Mindeststandards dar, so dass gegenüber der EG-Stoffeinstufung ggfs. weitergehende nationale Regelungen wie die TRGS 905 („Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe“) berücksichtigt werden müssen (vgl. Bender 2000). Solche unterschiedlichen Einstufungen nach DFG, EWG und TRGS 905 zeigten sich z.B: bei TCEP und Antimontrioxid oder Decabromdiphenylether (vgl. FN 25). Strengere nationale Regelungen müssen bei der EU-Kommission entsprechend Art. 95.3 des EWG-Vertrages als begründete Ausnahme genehmigt werden, was zur Voraussetzung hat, dass ein besonderes nationales Problem vorliegt und akzeptiert wird.

³⁹ „Voluntary Industry Commitment by the US and European Producers of Selected Brominated Flame Retardants covered under OECD’s Risk Reduction Programme“ vom 30.6.1995. Berichterstatter war die CMA (US-Chemical Manufacturers Association) namens BFRIP als CMA-Mitglied und der europäischen Flammschutzmittelhersteller-Vereinigung (EBFRIP als Mitglied von CEFIC).

rungsmaßnahmen eingeleitet werden.⁴⁰ Betroffene Flammschutzmittel sind die drei wichtigsten PBDE (Octa-, Penta- und DecaBDE), TBBA und HBCD, TCEP und TCPP sowie Antimontrioxid. Bei PentaBDE liegt ein Verbotsantrag vor (vgl. FN 12). Die lange Dauer und der vergleichsweise große Aufwand, die mit dieser Altstoffprüfung verbunden sind, haben eine rasche Regulierung bei den entsprechenden Flammschutzmitteln eher hinausgezögert und sich insofern als zumindest zeitweilige Bestandsgarantie erwiesen, da unter Verweis auf das laufende Risk Assessment nationale Maßnahmen, wie sie u.a. auch von skandinavischen Ländern gefordert wurden⁴¹, auf die Wartebank geschoben werden. Die Entwicklung rascherer, flexiblerer und stärker intrinsische Stoffeigenschaften (z.B. PBT-Kriterien) berücksichtigender Prüfverfahren ist Gegenstand der Neukonzeptionierung der europäischen Chemikalienpolitik mit dem EU-Weißbuch (vgl. Ahlers u.a. 2001).

EU-Elektronikschrott-Richtlinie (WEEE, ROHS): Die am 7. Juni 2001 vom Rat verabschiedeten Entwürfe der beiden Elektronikschrott-Richtlinien sehen mit Blick auf umweltrelevante Flammschutzmittel folgendes vor: *Erstens:* Ausbau von gedruckten Leiterplatten und von bromiert flammgeschützten Kunststoffen aus Elektro- und Elektronikaltgeräten, die der Verwertung zugeführt werden sollen (WEEE). Die in der WEEE vorgesehenen Verwertungsquoten schränken die Möglichkeit ein, unbegrenzt belasteten Kunststoff einzusetzen und durch Verbrennung zu entsorgen. Die Ausbaupflicht verteuert die Entsorgung von bromiertem Kunststoff. *Zweitens:* Verbot von PBB und PBDE ab 1.1.2007 (ROHS). Die Liste der verbotenen Stoffe soll zwei Jahre nach Inkrafttreten der Richtlinie unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips aktualisiert werden.⁴² Beide Maßnahmen werden die Substitution von bromierten Flammschutzmitteln fördern (vgl. Workshop Leiterplatten).

EU-Verbrennungsrichtlinie: Die 2001 verabschiedete EU-Verbrennungsrichtlinie (vgl. Abschn. 4.3) erzwingt bei als gefährlich (überwachungsbedürftig) eingestuften Abfällen mit einem Halogengehalt über einem Gew.-Prozent die Verbrennung als Sondermüll. Falls es zukünftig bei Überarbeitung des Europäischen Abfallkatalogs zu einer Einstufung von PUR-Abfällen (Bauschutt) als „gefährlich“ (überwachungsbedürftig) kommen sollte, würde sich die Entsorgung entsprechender PUR-Dämmstoffe erheblich verteuern (Logistik; Verbrennungskosten).

Gemeinschaftsrechtliche Begrenzung eigenständiger Regulierung in der Bundesrepublik: Dieses Problem spielte in allen Workshops bei der Maßnahmendiskussion eine Rolle. Sofern eine gemeinschaftsrechtliche Regulierung auf Basis von Art. 95

⁴⁰ Die Auswahl der Stoffe erfolgt über Prioritätenlisten nach festgelegtem Verfahren. Zwischen 1994 und 2000 wurden vier Prioritätenlisten mit insgesamt 140 Stoffen verabschiedet. Betroffene Flammschutzmittel: 1. Prio-Liste (1994): DecaBDE, OctaBDE; 2. Prio-Liste (1995): TCEP, HBCD, PentaBDE; 4. Prio-Liste (2000): TBBA, ATO, TCPP. Für 11 dieser 140 Risk Assessments liegen bisher Abschlußberichte vor. Es handelt sich um Stoffe der ersten Prioritätenliste von 1994 mit Ausnahme von PentaBDE (zweite Prio-Liste von 1995; siehe: <http://ecb.ei.jrc.it>).

⁴¹ Vgl. Ministry of the Environment, Sweden/Ministry of Environment and Energy, Denmark, 24 November 1999, „Memorandum from Sweden and Denmark on Brominated flame retardants – Environmental Council 13-14 December 1999“. Dieses Memorandum empfahl, auf europäischer Ebene so schnell wie möglich die Verwendung von PBDE und PBB einzustellen. Das Umweltdirektorat der EU-Kommission schlug 1999 ein entsprechendes Verbot vor. Vgl. ENDS Daily v. 12. August 1999. Hintergrund war u.a. eine Studie der schwedischen Chemikalienbehörde KEMI: Phase-out of PBDEs and PBBs. Report on a Governmental Commission, Solna 1999 (vgl. auch KEMI press release v. 15.3.1999 sowie Arbeit&Ökologie-Briefe Nr. 12 v. 16.6.1999, S. 5).

⁴² Vgl. Europa-Rat, Pressemitteilung 2355. Tagung des Rates Umwelt v. 7.6.2001.

des EG-Vertrages (Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten) vorliegt, wie z.B. im Fall der ROHS-Richtlinie, sind die Möglichkeiten eigenständiger Maßnahmen eng begrenzt. Nach Art. 95.3 soll in den Bereichen Gesundheit, Sicherheit, Umweltschutz und Verbraucherschutz „von einem hohen Schutzniveau“ ausgegangen werden, wobei „alle auf wissenschaftliche Ergebnisse gestützten neuen Entwicklungen“ zu berücksichtigen sind. Art. 95 ermöglicht zwar grundsätzlich vom EG-Recht abweichende einzelstaatliche Bestimmungen zum Schutz von Umwelt oder Arbeitsumwelt, jedoch setzt dies ein Notifizierungsverfahren voraus, d.h. Billigung oder Ablehnung der entsprechenden Regelung durch die EU-Kommission. Dabei soll geprüft werden, ob es sich um eine durch ein „spezifisches Problem“ des Mitgliedsstaates gerechtfertigte einzelstaatliche Bestimmung oder um „ein Mittel zur willkürlichen Diskriminierung und eine verschleierte Beschränkung des Handels zwischen den Mitgliedsstaaten“ handelt, die das Funktionieren des Binnenmarktes behindern (Art. 95.6). Der übergeordnete Gesichtspunkt ist hier die Vollenendung des Binnenmarktes. Bei Regelungen nach Art. 175.1 EG-Vertrag (Umweltschutz – Mindeststandards), wie z.B. im Fall der WEEE, ist der Spielraum etwas größer, da die Mitgliedstaaten grundsätzlich die Möglichkeit haben, „verstärkte Schutzmaßnahmen beizubehalten oder zu ergreifen“. Auch hier gilt aber, dass die Maßnahmen mit dem Vertrag vereinbar sein und der Kommission notifiziert werden müssen (Art. 176 EG-Vertrag).

In der Praxis erschwert dies eine weitergehende, an vorsorgendem Umweltschutz orientierte Regelung auf der nationalen Ebene und erfordert einen längerfristigen Verhandlungs- und Ausgleichsprozess für die Verallgemeinerung entsprechender, „auf neue wissenschaftliche Kenntnisse“ gestützter Regelungen auf der EU-Ebene. Vom Standpunkt der *öffentlichen Diskussion und umweltpolitischen Meinungsbildung in der Bundesrepublik* kommen insofern auf der EU-Ebene bei der Substitution umweltrelevanter Flammschutzmittel eher retardierende Momente zum Tragen.

Fazit Umweltpolitik: Der Rückblick zeigt, dass umweltpolitische Maßnahmen zur Beförderung der Substitution umweltrelevanter Flammschutzmittel Ende der 80er Jahre durch die öffentliche Dioxin-Diskussion in Gang gebracht wurden, mit Ausnahme einiger rechtlicher Regelungen auf nationaler Ebene in der ersten Hälfte der 90er Jahre jedoch nur schleppend vorankamen. Dabei macht sich insbesondere der große Zeitaufwand, der mit der EG-Altstoffbewertung verbunden ist, bemerkbar. Die aktuell relevanten Maßnahmen kommen in erster Linie aus dem Bereich des europäischen Abfallrechts (WEEE, ROHS). Mit der Europäisierung des Umweltrechts gewinnt neben der nationalen „Lobby- und Ausgleichsebene“, auf der die unterschiedlichen Interessen der Akteure entlang der Wertschöpfungskette, von Produzenten und Verbrauchern usw. im Prozess ihrer Einflußnahme auf den Gesetzgebungsgang zur Geltung gebracht und abgearbeitet werden, ein zweiter supranationaler Ausgleichsmechanismus übergeordnete Bedeutung. Die Umsetzung von gesellschaftlicher Chemikaliendiskussion (primär auf nationaler Ebene) in Gesetzgebung (zunehmend auf europäischer Ebene) unterliegt damit einem weiteren Filter, der sich auch wegen der notwendigen Abstimmungs- und Umsetzungsmechanismen auf zwischenstaatlicher Ebene zeitverzögernd auswirkt und den verbandlich organisierten Unternehmensinteressen breite Einflußschneisen eröffnet.

5.5 Kosten

Mit der Betrachtung der Kosten gehen wir über zu den wirtschaftlichen Faktoren, die sich für Produzenten und Konsumenten als Sachzwänge darstellen, die sich weitgehend ihrer Gestaltung entziehen, die jedoch durchaus politisch beeinflussbar sind (z.B. Entsorgungskosten).

Produktions- und Verarbeitungskosten: Ein durchgängig bestimmender Faktor bei der Substitution/Minderung von umweltrelevanten Flammschutzmitteln sind die anfallenden Kosten. Dies gilt sowohl für die Kosten von Vorprodukten (Flammschutzmittel, flammgeschützte Polymere usw.) und die Bereitschaft der industriellen Abnehmer, ggfs. Kostensteigerung bei Substitution umweltrelevanter Flammschutzmittel zu akzeptieren, wie für die Endproduktkosten, wo in der Regel damit argumentiert wird, das ggfs. höhere Preise für ökologisch optimierte Produkte „am Markt“ nicht durchzusetzen seien. Dort, wo Alternativen kostengünstiger sind, ist auch das Kostenargument das entscheidende Argument für Substitution. Die Kosten des flammgeschützten Werkstoffs (Polymers) bzw. Endprodukts hängen nur zum Teil von den Flammschutzmittelkosten ab. Dies relativiert etwas den meist gegebenen Kostenvorteil der bromierten Flammschutzmittel. Außerdem können im konkreten Fall die Umstellungskosten (Entwicklung, Verfahrens- und Anlagenumstellung) gegenüber den reinen Vorproduktkosten ausschlaggebend sein. Ein ständig diskutiertes Problem sind ferner die Kosten für toxikologisch/ökotoxikologische Stoffprüfungen der Flammschutzmittel, bei denen abgewogen wird, ob ein Produkt z.B. eine Kanzerogenitätsprüfung „trägt“ oder ob eine solche Investition angesichts begrenzter Absatzerwartungen das Flammschutzmittel zu teuer macht und daher inopportun ist.

Kostenträgerschaft und Kostenentwicklung: Bei den Produktionskosten stellt sich regelmäßig die Frage, wer sie im Rahmen der arbeitsteiligen Wertschöpfungskette tragen soll und inwieweit sie „weitergegeben“ werden können. Hier entscheidet die jeweilige Markt-Macht, über die Vorproduktlieferanten und Endabnehmer verfügen. Die Kosten sind jedoch stark von Skaleneffekten abhängig, d.h. von der Menge der abgesetzten Güter. Insofern wird überall zugestanden, dass mit Verbreiterung der Umstellung auf weniger umweltrelevante Flammschutzmittel auch deren Kosten bzw. die Kosten der flammgeschützten Produkte sinken sollten (vgl. Workshops PUR-Dämmstoffe und Leiterplatten).

Entsorgungskosten: Neben den Hersteller-Kosten wächst die Bedeutung der bei Entsorgung anfallenden Kosten (z.B. durch Elektronikschrott-Richtlinie, Abfallklassifizierung, Verbrennungsrichtlinie). Im Unterschied zu den Produktionskosten handelt es sich hier jedoch faktisch durchgehend um Kosten, die erst infolge entsprechender Rechtsakte bei den Unternehmen entstehen, in dem ihnen kostenträchtige Auflagen (Rücknahme, Verwertung, umweltschonende Entsorgung) zum Umgang mit Abfall gemacht werden. Diese Kostenart ist also hochgradig politikabhängig.

Leiterplatten: Bei Leiterplatten nennen die Basismaterial-Hersteller als letztlich entscheidendes Hemmnis für die Halogensubstitution die höheren Kosten des phosphororganisch flammgeschützten Basismaterials (Preisdifferenzen zwischen 10 und 30 Prozent wurden genannt) sowie Umstellungskosten bei der Weiterverarbeitung (Trocknung wegen höherer Wasseraufnahme; Veränderungen beim Bohren usw.). Die Endabnehmer würden nur geringe Kostensteigerungen akzeptieren. Jedoch gibt es bereits jetzt Beispiele für kostenneutrale Umstellung (vgl. Workshop Leiterplatten).

Die japanischen Hersteller gehen in ihrer Marketingstrategie davon aus, dass die europäischen Konsumenten höhere Preise für „green electronics“ zahlen werden (vgl. Bd. II, S. 154/155). Ihre schnellere Markt-Präsenz mit halogenfrei flammgeschütztem Material dürfte, wie dargestellt, auch mit einfacherer Kostenzurechnung der Entwicklungs- und Umstellungskosten im Rahmen von Konglomeraten zusammenhängen; jedoch setzt Sony als führendes Unternehmen bei der Umstellung auf „halogenfrei“ beim Basismaterial keine Eigenentwicklungen ein. Druck in Richtung Substitution könnten in Zukunft die Entsorgungskosten im Zusammenhang mit der WEEE (Aussortierung bromiert flammgeschützter Leiterplatten) bewirken.

Gehäuse: Bei Gehäusen zeigt sich, dass der Systempreis der Compounds entscheidender als der Preis der einzelnen Flammschutzmittel ist. Die low-cost-(bromierten) Flammschutzmittel haben ihre Domäne in erster Linie bei Endgeräten im unteren Preissegment. Auch hier dürften die Entsorgungskosten mit der WEEE zu einem sensiblen Punkt werden, der die Halogensubstitution unterstützen dürfte.

PUR-Schäume: Für die hinsichtlich der Flammschutzmittel umweltentlastende Umstellung von PUR- auf PIR-Schaum bei den *PUR-Dämm-Schäumen* (Block- und Platten-schaum) ist das Kostenmotiv ein treibender Faktor, da PIR-Schäume kostengünstiger sind (vgl. Workshop PUR-Dämmschäume). Hemmend wirken sich dagegen die höheren Kosten für halogenfreien Flammschutz bei *Montageschäumen* aus, wobei die Hersteller davon ausgehen, dass der „umkämpfte Markt“ Preiserhöhungen ohne gesetzliche Flankierung nicht hergibt. Bei den *Sandwich-Elementen* wurden neben den technischen Umstellungsproblemen auch die Umstellungskosten im Zusammenhang mit den höheren Verfahrenstemperaturen für PIR-Schaum genannt (Neuinvestitionen in Anlagen, sofern die Altanlagen nicht mit neuen Heizaggregaten nachrüstbar sind).

Kosten vs. erweiterte Absatzfelder: Höhere Kosten bei der Herstellung, die für eine Reihe der untersuchten Anwendungen bei Umstellung auf halogenfreien Flammschutz erwartet werden, sind in der Kostenkalkulation der Unternehmen jedoch nur ein Aspekt; auf der anderen Seite wird nach Marktanteilen und Gesamterlösen gerechnet, wobei die Marketing-Effekte und die mögliche Stabilisierung bzw. Ausweitung des Absatzfeldes durch umweltverträglichere Produkte zu veranschlagen sind. Dies ist für die Unternehmen, die „green electronics“ favorisieren, ein wichtiger Gesichtspunkt.

Konstruktiver Brandschutz: Für die Kosten konstruktiver Maßnahmen zum Brandschutz kann, so das Ergebnis der Workshops, keine eindeutige Trendaussage gemacht werden. Neben Einspareffekten durch Verzicht auf Flammschutzmittel sind ggfs. Materialmehrverbrauch, Gewichtserhöhung u.ä. Effekte zu berücksichtigen, die kostenerhöhend wirken können (z.B. beim Transportaufwand; vgl. Workshop Gehäuse).

Trend: Unter dem Strich ergibt sich der Eindruck, dass die Substitution und Minderung des Einsatzes umweltrelevanter Flammschutzmittel nur zum Teil zu Kostenerhöhungen für die Endprodukte führt, dass aber die unvermeidlichen Entwicklungs- und Umstellungskosten bei den Anwendern und Verarbeitern sowie die bei Neueinführung von Produkten wegen mangelnder Skaleneffekte höheren Anfangskosten ein wesentliches, wenn nicht das entscheidende Umstellungshemmnis darstellen. Zugleich zeigt sich, dass ein politisches „Drehen an der Kostenschraube“, das nicht nur

nur über Abgaberegelungen, sondern auch über stoffliche Auflagen (z.B. Verwertungsquoten und -verfahren) erfolgen kann, einen wichtigen Hebel für die Beförderung von umweltpolitisch erwünschten Substitutionen sein kann.

5.6 Internationalisierung/Globalisierung der Märkte

Unter den Faktoren, die die Flammschutzmittelumstellung beeinflussen, ist auf jeden Fall die Internationalisierung von Produktion und Absatzmärkten („Globalisierung“) zu nennen. Die Europäisierung der Umweltpolitik und -gesetzgebung (vgl. Abschn. 5.4) stellt einen Reflex und ein Beschleunigungsmoment dieser Internationalisierung dar. Sie läßt aber auch erkennen, dass es sich nicht um einen rein wirtschaftlichen, sondern politisch beeinflussbaren Vorgang handelt.

Internationalisierung von Märkten vs. Umweltstandards: Bei der Diskussion in den Workshops wurde hervorgehoben, dass in jenen Bereichen, in denen global agierende Unternehmen und globalisierte Zuliefer- und Absatzmärkte bestehen – dies gilt besonders für die die E+E-Geräte incl. ihrer Komponenten Leiterplatten und Außengehäuse – über den europäischen Raum hinausreichende Kräfte der Produkt- und Kostenkonkurrenz wirken. Mit der Internationalisierung der Märkte kann eine Verallgemeinerung von Standards verbunden sein, bei der Umweltbelange nicht berücksichtigt werden; sie kann eine Ausweitung im Warenverkehr bedeuten, die über die Preiskonkurrenz regional gegebene Umweltverträglichkeit-Standards von Produkten absenkt (wo keine rechtsverbindliche Regulierung gegeben ist); sie kann aus wirtschaftlichen Gründen zu einer Vereinheitlichung von Produktpaletten führen, die umweltverträglichere Produkte verdrängt und in Widerspruch zu binnenmarktbezogenen Regulierungsmaßnahmen steht.

Leiterplatten: E+E-Geräte und ihre Komponenten werden heute weltweit gehandelt. Bei *Leiterplatten* besteht ein globaler Markt für weltweit standardisiertes Material (hauptsächlich FR4, V0, nach NEMA-Norm). Die internationale Standardisierung hemmt die TBBA-Substitution. An eine partielle Umstellung bei der Brandschutznorm von V0 auf V1 ist nach Herstellermeinung aus dem gleichen Grund derzeit kaum zu denken. Insgesamt äußert sich hier eine Dominanz des US-Marktes und seiner Anforderungen (vgl. Workshop Leiterplatten). Hebel, um die Substitution in Gang zu setzen, waren staatliche Forschungsförderung (BMBF-Siemens-Projekt 1995; BMBF-Projekt „Grüner Fernseher“) und die daran anknüpfende „green-electronics“-Kampagne, wie sie insbesondere von japanischen Unternehmen betrieben wird. Reale Veränderungen setzen ein Vorgehen einzelner Unternehmen (OEMs) voraus, was u.a. über Labelling gefördert werden könnte (Stärkung der Nachfrageseite).

Außengehäuse werden ebenfalls weltweit gehandelt. Es sind große internationale Märkte mit unterschiedlichen Brandschutz-Standards (Normen) zu unterscheiden (Europa: Brandschutz eher konstruktiv; USA: Brandschutz additiv nach UL94 V0). Auf Einzelmärkten (Europa: Bundesrepublik, Skandinavien) ist hier unter öffentlichem Druck (Dioxin-Diskussion; Halogen-Diskussion seitens der Umweltverbände; Abwertung halogenierter Flammschutzmittel in Test-Zeitschriften und sonstigen Medien) die Substitution halogenierter Flammschutzmittel deutlich vorangekommen. Trotz Akzeptanz durch die Underwriter's Laboratories konnten sich aber z.B. konstruktiv flammgeschützte PC-Monitorgehäuse (Nokia; Samsung-BASF-Modell) auf dem US-Markt nicht etablieren, weil hier Vorbehalte gegen Gehäuse ohne Flammschutz bestehen

(vgl. Bd. II, S. 250). Dabei wird u.a. auf das Produkthaftungsrecht in vielen US-Staaten verwiesen, das (anders als das Schadensersatzrecht z.B. in Deutschland) Strafschadensersatz und damit das Risiko hoher Regreßsummen einschließt. Auf internationalem Parkett wird in Zusammenhang mit global orientierter Produktion und Vermarktung (einheitliches Material, einheitliche Produkte) und der Neigung, möglichst „sichere“ Standards zu kombinieren, eine Tendenz zu vermehrter Flamm-schutzausrüstung z.B. bei Fernseher-Gehäusen berichtet (Workshop Gehäuse). Die Interessen des US-Marktes werden hierbei offensiv vertreten (sh. Fire-Marshals, Drohung mit Handelsbeschränkungen; vgl. Bd. II, S. 222).

Polyurethan-Dämmstoffe (Block- und Plattenware) werden eher regional vermarktet. Anders *Sandwich-Elemente* und besonders *Dosenschäume*, für die mehr oder weniger europaweite Märkte bestehen. Die Systemhäuser, die die PUR-Vorprodukte liefern, operieren weltweit. Die Internationalisierung zeigt sich in bereits gegebenen hohen Importquoten (bei Montageschäumen > 75 Prozent des Inlandsabsatzes; vgl. Bd. II, S. 72) oder zukünftig erwartetem Importanstieg für Dämmplatten, wenn die Europa-Norm der Baustoffrichtlinie in Kraft tritt. Die Möglichkeit und Wirksamkeit nationaler Maßnahmen zur Flammschutzmittelsubstitution (bromierte Polyole, TCPP) wird mit Blick auf mögliche halogenhaltige Importe bezweifelt (Workshop PUR-Dämmstoffe).

5.7 Unterschiedliche Interessenlagen bei Produzenten und Verbrauchern

Vorantreibende und hemmende Momente ergeben sich schließlich aus unterschiedlichen Interessenlagen bei Herstellern und Verbrauchern.

Produzenten-/Konsumenteninteressen: Auf *Produzentenseite* ist zu berücksichtigen, dass in der Wertschöpfungskette vom Flammschutzmittel-Produzenten über den Werkstoff-/Polymer-Lieferanten bis zum Endprodukthersteller die Bindung der Unternehmen an bestimmte Einsatzstoffe und Verfahren ab- und damit auch die Offenheit für Substitutionen zunimmt. Auf *Verbraucherseite* liegen deren Interessen an möglichst preiswerten Produkten, an Sicherheit und an Gesundheits- und Umweltschutz i.d.R. in Widerstreit. Kosten, Sicherheit und Umweltschutz sind zugleich Faktoren, die für die Konkurrenz der Hersteller auf den verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette von Bedeutung sind.

Endprodukthersteller: Bei allen untersuchten Anwendungen und in allen drei Workshops kam zum Ausdruck, dass die *Endprodukthersteller* primär nicht am Einsatz bestimmter Stoffe, sondern an der Einhaltung von geforderten Normen und z.T. am Ausschluß bestimmter unerwünschter Stoffe aus Arbeits- und Verbraucherschutzgründen interessiert sind. Große OEMs können, sofern auf Grund von Nachfragedruck seitens der Endkonsumenten bzw. gesetzlicher Regelungen und Kosten bei ihnen Interesse an halogenfreiem Flammschutz besteht, dieses Interesse z.B. entweder über eigene konstruktive Maßnahmen (TV-Hersteller) oder über Markt-Macht (Forderungen an Werkstoff-Lieferanten) durchsetzen (Elektro/Elektronikindustrie; vgl. Siemens, Leiterplatten-Workshop). Letzteres setzt verfügbare Angebote an Alternativen voraus. Sofern keine gesetzlichen Zwänge vorliegen, entscheiden die Endprodukthersteller nach Kostengesichtspunkten und Gewinnchancen. Dies ist auch im Rahmen der internationalen Konkurrenzbeziehungen so und gilt auch für „Green electronics“ als Marketing-Konzept, das von der Annah-

me ausgeht, dass Umweltschutzstandards größeres Gewicht erlangen und vom Endkonsumenten für ökologisch verbesserte Produkte auch höhere Preise gezahlt werden (vgl. Bd. II, S. 155).

Vorlieferanten: Umgekehrt sind die *Hersteller der einzelnen Flammschutzmittel* auf die Vermarktung ihrer jeweiligen Produkte bzw. Produktlinien und die Ausweitung ihres Absatzfeldes angewiesen. Ihre enge Produktbindung⁴³ führt zwangsläufig auch zu einer Sicht auf die toxikologisch/ökotoxikologischen Eigenschaften ihrer Stoffe, die bemüht ist, Vermarktungshemmnisse zu umgehen. Dies betrifft auch die Hersteller von Zwischenprodukten, für die die entsprechenden Flammschutzmittel als essentiell und nicht substituierbar gelten (Beispiel Polyurethan-Schäume). Bei den Workshops zeigte sich das insbesondere in der Diskussion um die Bewertung von TCPP und TBBA als zwei mengenmäßig und wertmäßig für die Hersteller phosphororganischer bzw. bromierter Flammschutzmittel zentrale Produkte. Dass die Hersteller umweltrelevanter, zur Substitution empfohlener Flammschutzmittel Bestandsschutz für ihre bestehenden Produkte fordern⁴⁴ und entsprechend Lobbyarbeit⁴⁵ betreiben, liegt auf der Hand.

Umstrukturierung der Flammschutzmittelindustrie: Die mit der öffentlichen Diskussion um Chemikalien – hier insbesondere der Dioxin-Diskussion seit den 80er Jahren, aber auch der Medien-Diskussion um Innenraumfunde von phosphororganischen Flammschutzmitteln (u.a. TCEP, TCPP) – verbundene Sensibilisierung insbesondere gegenüber halogenierten Verbindungen, zunehmende Regulierungsmaßnahmen auf diesem Gebiet und die Entwicklung von Substituten führte in den letzten fünf Jahren zu einer Neugruppierung der Flammschutzmittel-Industrie. Die Hersteller bromierter Flammschutzmittel haben sich aus der einseitigen Bindung an diese Stoffklasse gelöst und sind (hauptsächlich durch Firmenaufkäufe) zu großen Herstellern von phosphorbasierten Flammschutzmitteln aufgestiegen (vgl. Bd. I, S. 22; Arias 2001, S. 8). Die 2001 erfolgte Übernahme des bedeutendsten Herstellers mineralischer Flamm-

⁴³ Die Bedeutung der bromierten Flammschutzmittel für die drei großen Unternehmen der Bromindustrie kann aus folgenden Angaben ersehen werden: Flammschutzmittel sind für die Bromindustrie das mengenmäßig bedeutendste Absatzgebiet. Zwischen 1975 und 2000 nahm der Anteil der bromierten Flammschutzmittel am Bromverbrauch von 8 Prozent auf 38 Prozent zu; der Gesamtverbrauch verzehnfachte sich in diesem Zeitraum. Dibromethan (Ethylenbromid, Antiklopfmittel für bleihaltigen Treibstoff), das 1975 mit rd. 52 Prozent den Hauptanteil beim Bromverbrauch ausmachte, ging im gleichen Zeitraum auf 11 Prozent zurück. Der Gesamtverbrauch reduzierte sich hier auf ein Drittel. (Arias 2001, S. 2). Unter den Produkten stehen TBBA und DecaBDE mit Abstand an der Spitze. Nach Angaben von BSEF für 1999 entfielen vom weltweiten Verbrauch an bromierten Flammschutzmitteln auf TBBA 59 Prozent und auf DecaBDE 27 Prozent, zusammen also 86 Prozent. Das zum Verbot anstehende PentaBDE machte gerade 4 Prozent aus (vgl. Bd. I, S. 20, Tab. II/3).

Bei den als Flammschutzmittel eingesetzten organischen Phosphorsäureestern dominiert mit Abstand TCPP, auf das in Europa rd. 80 Prozent vom Gesamtverbrauch an chlorierten phosphororganischen Flammschutzmitteln entfallen (vgl. ebd., S. 33).

⁴⁴ Auf Bestandsschutz orientierte risikomindernde Maßnahmen bei den Flammschutzmittel-Herstellern („clean production“) betreffen u.a. Erhöhung der Produkt-Reinheit und Minderung von Emissionen bei Produktion, Transport und Vermarktung sowie beim verarbeiteten Produkt, einschließlich vergleichbarer Maßnahmen bei ihren Kunden (Beratung von Verarbeitern). Hierher gehören auch Versuche der Beeinflussung der Entsorgung (Flammschutzmittelrecycling). Ein Beispiel sind die im Rahmen der OECD vorgenommenen freiwilligen Risikominderungsmaßnahmen bei bromierten Flammschutzmittel (vgl. Abschn. 5.4) oder Risikominderungsmaßnahmen im Zusammenhang mit EU-Risk-Assessments.

⁴⁵ Vgl. „Bromine is best ... A newsletter from the Bromine Flame Retardant Industry“ 2001, Nr. 1-4, herausgegeben vom „Bromine Science and Environmental Forum“ (BSEF) der Bromindustrie im Zusammenhang mit der Auseinandersetzung um die WEEE- und ROHS-Richtlinien. Die Alusuisse Martinswerk GmbH reagierte darauf mit einem eigenen „Fact-Sheet of a Halogen-Free Flame Retardants Producer“ (Bergheim, May 2001).

schutzmittel (Alusuisse Martinswerk GmbH, Bergheim) durch die Albemarle Corp. (einer der drei großen Hersteller bromierter Flammschutzmittel) setzt diesen Trend der Neustrukturierung der Flammschutzmittelindustrie fort. Auch dies könnte längerfristig den Umstieg auf weniger umweltbelastende Flammschutzmittel erleichtern; es bedeutet allerdings auch eine stärkere Kontrolle der Flammschutzmittelindustrie insgesamt durch die Bromindustrie. Die konkurrierenden Hersteller von phosphororganischen Verbindungen und mineralischen Flammschutzmitteln haben ihrerseits Anstrengungen unternommen, in das Absatzgebiet von bromierten Flammschutzmitteln mit Substituten einzudringen (vgl. die umfangreichen Entwicklungsarbeiten zur Substitution halogenierter Flammschutzmittel bei UP-Harzen für Schienenfahrzeuge oder die Entwicklung halogenfrei flammgeschützter Gehäusewerkstoffe; Bd. II, S. 23-28, S. 226 - 233).

Konsumenten: Das *Verbraucherverhalten* als Nachfragefaktor wird hochgradig von Kostengesichtspunkten bestimmt. Die z.B. für IT- und TV-Geräte berichtete unterschiedliche flammhemmende Ausrüstung von Geräten der unteren und oberen Preisklassen (halogeniert/halogenfrei; vgl. Workshop Außengehäuse) hängt hiermit zusammen.

Brandschutz/Umweltschutz: Daneben konkurrieren bei den Endverbrauchern zwei *Gebrauchswertinteressen*: Sicherheit vor Brandunfällen, d.h. Brandschutz, einerseits und Schutz vor Chemikalienbelastung (ökologische und gesunde Produkte) andererseits. Die Gewichtung dieser beiden Interessen bzw. Wertorientierungen ist regional und sozial je nach kulturellen und politischen Besonderheiten unterschiedlich. Auf dem US-Markt spielen im Gegensatz zu Europa z.B. Umweltaspekte gegenüber dem Sicherheitsaspekt eine geringere Rolle. Die us-amerikanische Brandschutzphilosophie betont bei der Gerätesicherheit traditionell aus wirtschaftlichen und kulturellen Gründen stärker die Bedeutung äußerer Zündquellen, während die europäischen Brandschutzregelungen i.d.R. nur vor inneren Zündquellen schützen sollen. Die Definition und Gewichtung der beiden meist konkurrierenden Interessen an Sicherheit vor Brandrisiko und Schutz vor Chemikalienbelastung unterliegt der gesellschaftlichen Auseinandersetzung. Hieran sind alle Akteure und deren Verbände – Hersteller von Flammschutzmitteln und von flammgeschützten Produkten; Brandschutzinstitutionen einschl. Feuerwehr; Verbraucher- und Umweltverbände, politische Institutionen – unter Einschluß der Medien beteiligt. Dies zeigte sich auch bei der Workshop-Diskussion mit der Frage nach Einschaltung des Umweltbundesamtes in die Diskussion um „Brandschutz-Philosophie“ (Bedeutung externer Zündquellen).

Wandel der Risikowahrnehmung: Die als Reaktion auf die großen Chemieunfälle der 70er und 80er Jahre zu beobachtende Verschiebung in der öffentlichen Risikowahrnehmung und –bewertung, die zu einer stärkeren Gewichtung von Umwelt- und Gesundheitsschutz im öffentlichen Interessenspektrum geführt hat, dürfte der wichtigste, über die Umweltpolitik und die Konsumentennachfrage vermittelte Faktor sein, der in den letzten Jahren zumindest in begrenztem Maße zur Substitution und Minderung umweltrelevanter Flammschutzmittel und zur Entwicklung von Alternativen geführt hat, die in Zukunft Bedeutung erlangen können.

6. Quellen und Nachweise

- Ahlers, J./T. Beulshausen/B. Schwarz-Schulz/H.-Chr. Stolzenberg 2000: Anwendbarkeit des Vorsorgeprinzips. EU-Kommission und Bewertungspraxis, in: UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox. 12, 2000, S. 149-151
- Ahlers, J./B. Schwarz-Schulz/H.-Chr. Stolzenberg, 2001: Strategie für eine zukünftige Chemikalienpolitik. Das neue EU-Weißbuch, in: UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox. 13, 2001, S. 75-78
- Arias, P.A. 2001: Brominated Flame Retardants – An Overview. The Second International Workshop on Brominated Flame Retardants, May 14-16, Stockholm University, Sweden (Manuskript)
- Bayer AG, 2001: Dr. Eckehard Weigand, Bayer AG, Leverkusen, pers. Mitt.
- Bender, H.F. 2000: Sicherer Umgang mit Gefahrstoffen. Sachkunde für Naturwissenschaftler, 2.A., Weinheim u.a. 2000
- DFG 2001: Deutsche Forschungsgemeinschaft. Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Mitt. 37: MAK- und BAT-Werte-Liste 2001, Weinheim 2001
- EBFRIP 2001: European Brominated Flame Retardant Industry Panel, Dr. Klaus Rothenbacher, Schreiben an das Umweltbundesamt v. 18.6.2001, Anlage I zu diesem Bericht
- EIJRC 2001: European Commission, Joint Research Centre, European Chemical Bureau: Diphenylether, Pentabromo Derivative, Summary Risk Assessment Report, Ispra 2001 (<http://ecb.ei.jrc.it>)
- Elastogran GmbH 2001: Elastogran GmbH, Geschäftsbereich Hartschaum und Blockweichschaum, Lemförde, Dr. Thomas Schupp, Schreiben an das Umweltbundesamt v. 18.6.2001, Anlage II zu diesem Bericht
- Hellmig, K.-D. 2001: Klaus Dieter Hellmig, Nelko-Dielektra, Köln, pers. Mitt.
- Holler, S./C. Schäfers/J. Sonnenberg 1996: Umweltanalytik und Ökotoxikologie, Berlin-Heidelberg-New York 1996
- HVVG 2001: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, BIA-Report 4/2001, Grenzwerteliste 2000, Sankt Augustin 2001
- Isola AG 2001: Herr Schumacher, Isola AG, Düren, pers. Mitt.
- Johnke, B. 1993: Dioxinmissionen aus Abfallverbrennungsanlagen, in: UTA, H. 5/1993, S. 383-387
- Krüger, E./W. Bach 2001: Die grüne Leiterplatte – LP frei von Halogenen und Blei, Charts Vogt electronic, Februar 2001
- Kruse, H. 2001: Stellungnahmen zu den Schreiben von EBFRIP und von Elastogran vom 18.06.2001 an das Umweltbundesamt, Anlage III zu diesem Bericht
- Leisewitz, A. 2001a: Stellungnahme zu dem Schreiben von Dr. Rothenbacher, EBFRIP, an das Umweltbundesamt vom 18.6.2001, Anlagen IV zu diesem Bericht
- Leisewitz, A. 2001b: Stellungnahme zu dem Schreiben von Dr. Schupp, Elastogran, an das Umweltbundesamt vom 18.6.2001, Anlage V zu diesem Bericht
- OECD 1994: Risk Reduction Monograph No. 3: Selected Brominated Flame Retardants. Background and National Experience with Reducing Risk, Paris 1994 (Verf.: Pedro Arias)
- Öko-Institut 2001: Thermoplastische Leiterplatten für die Elektronik von morgen, Pressemitt. v. 25.7.2001

- PARK nelco 2001: Die Grüne Leiterplatte. LP frei von Halogen und Blei. Erfahrungen Vogt Fuba Nelco-Dielektra auf dem Weg zur grünen Leiterplatte, Charts, 29.03.2001
- Pohle, H. 1990: Polybromierte Diphenylether. Verbot als Flammschutzmittel, in: UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox. 3, 1990, 148-150
- Rüdersdorfer Zementwerke 2001: Dr. Uta Tietze, Rüdersdorfer Zementwerke GmbH, Rüdersdorf, pers. Mitt.
- Schlott, St. 2001: Im Auto soll die Spannung steigen, in: VDI-Nachrichten v. 30.7.2001
- Schramm, E. u. a., 1996: Stoffflüsse ausgewählter umweltrelevanter chemischer Stoffe: Beispiele für ein Produktliniencontrolling, Umweltbundesamt Texte 80/96, Berlin 1996
- Troitzsch, J. H. 1990: International Plastics Flammability Handbook. Principles – Regulations – Testing and Approval. 2nd Ed., Munich u.a. 1990
- UBA 1989: Umweltbundesamt, Sachstand Polybromierte Dibenzodioxine (PBDD), Polybromierte Dibenzofurane (PBDF), Februar 1989
- UMK-Arbeitsgruppe 1989: Polybromierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane (PBDD/PBDF) aus bromhaltigen Flammschutzmitteln - Risikoabschätzung und Maßnahmenvorschläge. Bericht der UMK-Arbeitsgruppe „Bromhaltige Flammschutzmittel“ an die Umweltministerkonferenz, Bonn, September 1989
- Zeininger, H. 2001: Dr. Heinz Zeininger, Siemens AG/Erlangen, Halogenfree Electronics, Charts UBA Workshop v. 29.5.2001

Anhang

- EBFRIP 2001: European Brominated Flame Retardant Industry Panel, Dr. Klaus Rothenbacher, Schreiben an das Umweltbundesamt v. 18.6.2001, Anlage I
- Elastogran GmbH 2001: Elastogran GmbH, Geschäftsbereich Hartschaum und Blockweichschaum, Lemförde, Dr. Thomas Schupp, Schreiben an das Umweltbundesamt v. 18.6.2001, Anlage II
- Kruse, H. 2001: Stellungnahmen zu den Schreiben von EBFRIP und von Elastogran vom 18.06.2001 an das Umweltbundesamt, Anlage III
- Leisewitz, A. 2001a: Stellungnahme zu dem Schreiben von Dr. Rothenbacher, EBFRIP, an das Umweltbundesamt vom 18.6.2001, Anlage IV
- Leisewitz, A. 2001b: Stellungnahme zu dem Schreiben von Dr. Schupp, Elastogran, an das Umweltbundesamt vom 18.6.2001, Anlage V
- Umweltbundesamt: Maßnahmenvorschläge Leiterplatten, Anlage VI
- Umweltbundesamt: Maßnahmenvorschläge Außengehäusewerkstoffe für IT- und TV-Geräte, Anlage VII
- Umweltbundesamt: Maßnahmenvorschläge Polyurethan-Dämm- und Montageschäume, Anlage VIII