

## **Bromierte Flammschutzmittel in Elektro- und Elektronikgeräten:**

### **Das Flammschutzmittel Decabromdiphenylether (DecaBDE) ist durch umweltverträglichere Alternativen ersetzbar**

Decabromdiphenylether ist mit 56.000 Tonnen im Jahr das bromierte Flammschutzmittel mit der weltweit zweithöchsten Produktionsmenge. Es kommt zu rund 80 Prozent in Elektro- und Elektronikgeräten zum Einsatz. Wegen seiner weiten Verbreitung in der Umwelt und der nicht hinreichend geklärten Unbedenklichkeit fordert das Umweltbundesamt (UBA) seit vielen Jahren den Verzicht auf seine Verwendung. DecaBDE ist schwer abbaubar (persistent) und reichert sich in Lebewesen an. Rückstände dieses Flammschutzmittels fanden sich beispielsweise in Greifvögeln, Eisbären, Seerobben, Füchsen und in Muttermilch. Weiterhin besteht der begründete Verdacht auf neurotoxische Wirkungen und auf den teilweisen Abbau zu stärker toxischen, bereits verbotenen Stoffen wie Penta- oder Octabromdiphenylethern. Im Brandfall und bei unkontrollierter Entsorgung bildet DecaBDE zudem hochgiftige Dioxine und Furane.

DecaBDE wurde zunächst mit der Richtlinie 2002/95/EG zur „Beschränkung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten“ (RoHS) zum 1. Juli 2006 verboten. Die europäische Kommission hat dieses Verbot jedoch bereits im Herbst 2005 gegen den Willen des Europäischen Parlaments wieder aufgehoben. Das EU-Parlament und Dänemark haben daraufhin beim europäischen Gerichtshof Klage gegen die Aufhebung des Verwendungsverbots von DecaBDE eingereicht. Stoffverbote in der RoHS dürfen nur aufgehoben werden, wenn der Einsatz von Ersatzstoffen technisch nicht möglich ist oder die Ersatzstoffe noch schädlichere Wirkungen haben. Beides ist bei DecaBDE nicht der Fall. Eine Reihe von Unternehmen verzichtet schon seit Jahren auf den Einsatz von DecaBDE zugunsten weniger schädlicher Flammschutzmittel oder alternativer Gerätekonstruktionen, u.a. Hewlett Packard, Dell, Sony, Ericsson und IBM. Das Umweltbundesamt unterstützt die Klage von EU-Parlament und Dänemark. In diesem Fachpapier informiert das UBA über die politischen und rechtlichen Zusammenhänge dieser Klage, den aktuellen Kenntnisstand der Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen von DecaBDE sowie die möglichen Ersatzstoffe.

## Regelungen von bromierten Flammschutzmitteln in Elektro- und Elektronikgeräten

Seit März 2005 ist das Elektro- und Elektronikgerätegesetz – ElektroG in Deutschland in Kraft. Es setzt zwei Richtlinien der Europäischen Union um, mit denen die Beschränkung bestimmter Schadstoffe in Elektro- und Elektronikgeräten und die umweltverträgliche Entsorgung der Altgeräte innerhalb der EU erreicht werden sollen: die RoHS-Richtlinie 2002/95/EG (Directive on the Restrictions of the Use of certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment – Richtlinie zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten) und die WEEE-Richtlinie 2002/96/EG (Directive on the Waste of Electrical and Electronic Equipment – Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräte). Eine ausführliche Darstellung des ElektroG findet sich unter: <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/elektrog/index.htm>.

Die RoHS-Richtlinie schließt die Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten von vorn herein aus.<sup>1</sup> Neben verschiedenen Schwermetallen zählen hierzu die Flammschutzmittelgruppen der polybromierten Biphenyle (PBB) und der polybromierten Diphenylether (PBDE). Polybromierte Biphenyle werden wegen ihrer gefährlichen Stoffeigenschaften seit einigen Jahren so gut wie nicht mehr als Flammschutzmittel in Elektro- und Elektronikgeräten verwendet; das Verwendungsverbot im Rahmen der RoHS dient vor allem der Absicherung dieser Tatsache. Von den drei technischen Handelsformen der polybromierten Diphenylether (Penta-, Octa- und Decabromdiphenylether) wurde die Verwendung von Penta- und Octabromdiphenylether ab Juli 2004 generell für alle Produkte in der EU verboten.<sup>2</sup> Die größte Relevanz hatte die Beschränkung der PBDE in der RoHS somit für Decabromdiphenylether (DecaBDE), da dieses als einziges der beschränkten Flammschutzmittel heute noch in großen Mengen eingesetzt wird. Die Europäische Kommission hat das Verwendungsverbot für Decabromdiphenylether jedoch im Oktober 2005 durch eine Ausnahmeregelung in der RoHS wieder außer Kraft gesetzt (Ausnahmen von Stoffverboten werden im Anhang der RoHS angegeben).

Die WEEE-Richtlinie legt zudem fest, dass alle Kunststoffabfälle, die bromierte Flammschutzmittel enthalten, getrennt gesammelt werden müssen.<sup>3</sup> Grund dafür ist, dass Kunststoffe, die verbotene bromierte Flammschutzmittel enthalten, nicht werkstofflich recycelt werden dürfen, da Produkte aus Recyclingwerkstoffen sonst diese verbotenen Stoffen enthalten würden. Da es nicht möglich ist, die noch in den Altgeräten vorhandenen Flammschutzmittel PBB, Penta- und OctaBDE separat auszusortieren, müssen alle bromierten Flammschutzmittel abgetrennt werden. Die bromfreien Kunststoffe können dann als Recyclingwerkstoffe eingesetzt werden.

---

<sup>1</sup> Richtlinie 2002/95/EG, Artikel 4 Absatz 1, Artikel 5 Absatz 1a.

<sup>2</sup> Richtlinie 76/769/EWG, Anhang 1 Nr. 44 u. 45.

<sup>3</sup> Richtlinie 2002/96/EG, selektive Behandlung gemäß Artikel 6 Absatz 1, Anhang II Nr. 1.

## Decabromdiphenylether: Struktur und Stoffeigenschaften

Bei DecaBDE handelt es sich um das bromierte Flammschutzmittel mit der weltweit zweitgrößten Produktionsmenge.<sup>4</sup> Im Jahr 2003 wurden insgesamt 56.400 Tonnen eingesetzt (BSEF 2006a), rund 80 % davon zum Flammschutz von Elektro- und Elektronikgeräten. Der zehnfach bromierte Diphenylether mit der CAS-Nr. 1163-19-5 hat folgende chemische Struktur:

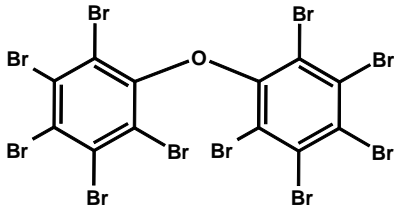


Bild: Chemische Struktur von Decabromdiphenylether (DecaBDE)

DecaBDE ist bei Raumtemperatur fest und schmilzt bei ca. 300° C. Oberhalb von 320°C zersetzt es sich im flammgeschützten Kunststoff unter anderem durch Bildung von gasförmigem Bromwasserstoff, der eine flammhemmende Wirkung entfaltet. Es gilt als universell einsetzbares Flammschutzmittel, da es sich mit vielen Kunststoffen mischen lässt, ohne deren technische Eigenschaften zu verändern. Die technische Handelsform von DecaBDE enthält in der Regel rund 3% des neunfach bromierten Diphenylethers NonaBDE als Verunreinigung. DecaBDE wird häufig zusammen mit Antimontrioxid ( $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ) eingesetzt, das ebenfalls problematische Umwelt- und Gesundheitseigenschaften aufweist. Antimontrioxid steht im Verdacht krebserzeugend zu sein (krebserzeugend Kategorie 3) und ist wassergefährdend (Wassergefährdungsklasse 2).

DecaBDE ist biologisch nur schwer abbaubar und zeichnet sich durch eine hohe Persistenz und weite Verteilung, auch in entlegenen Regionen der Welt, aus. Hinsichtlich seines Verhaltens in der Umwelt sind weiterhin sein niedriger Dampfdruck, seine sehr geringe Wasserlöslichkeit und seine hohe Affinität zu Fetten (Lipophilie) von Bedeutung. Diese Eigenschaften führen dazu, dass sich DecaBDE in der Umwelt vor allem im Sediment, an Staubpartikeln oder im Fett biologischer Organismen findet.

## Europäisches Tauziehen um Decabromdiphenylether

Die im Jahr 2002 vom EU-Parlament und vom Rat verabschiedete Richtlinie 2002/95/EG zur „Beschränkung der Verwendung von bestimmten gefährlichen Stoffen in Elektro- und Elektronikgeräten“ (RoHS) sah ein Verbot aller polybromierten Diphenylether (PBDE) als Flammschutzmittel zum 1.7.2006 vor. Das Verbot wurde dahingehend präzisiert, dass der analytisch nachweisbare Gehalt der PBDE nicht über 0,1 Gewichts-% je homogenem Werkstoff liegen darf. Für DecaBDE wurde

---

<sup>4</sup> Das weltweit meistverwendete bromierte Flammschutzmittel ist Tetrabrombisphenol A (TBBPA) mit einer Produktionsmenge von ca. 145.000 Tonnen jährlich.

diese Stoffbeschränkung durch die Entscheidung 2005/717/EG der Europäischen Kommission im Oktober 2005 jedoch bereits vor Inkrafttreten wieder aufgehoben.

In der RoHS-Richtlinie ist genau festgelegt, unter welchen Bedingungen Ausnahmen von Stoffbeschränkungen zugelassen werden dürfen (Artikel 5 Absatz 1b). Voraussetzung für eine Ausnahmeregelung ist, dass

- a) die Beseitigung / Substitution technisch oder wissenschaftlich nicht praktikabel ist, oder
- b) die möglichen Ersatzstoffe schädlicher als die beschränkten Stoffe sind.

Beide rechtlich möglichen Begründungen für eine Rücknahme der Stoffbeschränkung treffen für das Flammenschutzmittel DecaBDE nicht zu. Auf dem Markt sind weniger umwelt- und gesundheitsschädigende Flammenschutzmittel verfügbar, die bereits für Kunststoffe aus dem Elektro- und Elektronikbereich verwendet werden. Darüber hinaus ist die Substituierbarkeit von DecaBDE in mehreren umfangreichen Studien ausführlich untersucht und dokumentiert worden (z.B. EPA Dänemark 2000, 2001, 2006a und 2006b, UBA 2001, schwedische Chemikalienaufsicht KEMI 2005, Lowell Center 2005).

Die EU-Kommission hat für die Aufhebung des DecaBDE-Verbots in der Entscheidung 2005/717/EG auch keine der beiden möglichen Begründungen angeführt. Vielmehr wurde argumentiert, dass die laufende EU-Risikobewertung für DecaBDE im Rahmen der EU-Altstoffbewertung keine Notwendigkeit für weitere rechtliche Maßnahmen zur Risikoreduktion festgestellt hat. Diese Begründung deckt sich mit keiner der beiden zugelassenen Ausnahmen der RoHS und greift der endgültigen Entscheidung im Altstoffverfahren vor. Hier wurde die Entscheidung auf das Jahr 2010 vertagt, um in der Zwischenzeit verbleibende Unsicherheiten über das langfristige Risikopotenzial von DecaBDE zu klären. Die Rücknahme des Verbots ist somit rechtlich nicht haltbar und widerspricht dem Vorsorgegrundsatz. Darüber hinaus sind die vorläufigen Schlussfolgerungen der Risikobewertung unter den am Altstoffverfahren beteiligten Experten umstritten (s.u.).

Die EU-Kommission hat das Verwendungsverbot von DecaBDE im so genannten Komitologieverfahren zurückgenommen. Nachdem der auf Grundlage der RoHS eingesetzte, für Ausnahmeregelungen zuständige Ausschuss dem Kommissionsvorschlag zur Aufhebung des DecaBDE-Verbots nicht zustimmte, hat die Kommission den Vorgang an den Europäischen Rat weitergegeben. Parallel dazu verabschiedete das Europäische Parlament eine Entschließung gegen den Kommissionsvorschlag, in der das Parlament auf die mangelnde Berücksichtigung der vorhandenen, weniger schädlichen Substitute hinweist (EU-Parlament 2005). Im Rat fand sich jedoch keine qualifizierte Mehrheit gegen den Kommissionsvorschlag, so dass die Kommission in letzter Entscheidung die Aufhebung des Verbots von DecaBDE in Elektro- und Elektronikgeräten beschlossen und im Oktober 2005 veröffentlicht hat.

Im Januar 2006 haben das Europäische Parlament und Dänemark gegen die Entscheidung der Europäischen Kommission beim Europäischen Gerichtshof Klage eingereicht. Hauptargument ist, dass die in der RoHS genannten Ausnahmeregelungen für DecaBDE nicht erfüllt werden und ausreichend sichere Stoffalternativen vorhanden sind. Die Kommissionsentscheidung steht daher nicht im Einklang mit der

vom Parlament und vom Rat erlassenen Richtlinie. Das Urteil im Gerichtsverfahren ergeht vermutlich im Jahr 2008.

Nach Festlegung der Ausnahmeregelung für DecaBDE bleiben alle anderen polybromierten Diphenylether in Elektro- und Elektronikgeräten weiterhin verboten. In der Folge traten zunächst Interpretationsschwierigkeiten der Ausnahmeregelung auf, da DecaBDE in der Praxis als technisches Gemisch eingesetzt wird, das rund 3 % NonaBDE als Verunreinigung enthält. Bei einer erlaubten Zugabe von beispielsweise 10 % technischem DecaBDE zu einem flammgeschützten Kunststoff enthält dieser dann ebenfalls 0,3 % NonaBDE und sollte nach Maßgabe der RoHS verboten sein. In der folgenden Diskussion, ob sich die Ausnahmeregelung auf den Reinstoff DecaBDE oder auf dessen technisches Gemisch bezieht, hat die EU-Kommission dann im Juni 2006 klargestellt, dass sich die Formulierung der Ausnahme, ihrer Meinung nach, nur auf den Reinstoff bezieht. Welche Konsequenz diese Interpretation in der Praxis haben wird, ist noch unklar. Denkbar ist ein „de facto-Verbot“ von DecaBDE, aber auch, dass zukünftig DecaBDE in größerer Reinheit hergestellt wird oder evtl. gar eine Neuformulierung der Ausnahmeregelung erfolgt. Bislang sind jedenfalls noch keine Elektrogeräte vom Markt genommen worden, weil sie den Grenzwert für NonaBDE nicht einhalten.

### **Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen von Decabromdiphenylether: Ergebnisse der Risikobewertung nach EU-Altstoffverordnung**

Das Flammschutzmittel DecaBDE ist bereits seit Mitte der 80er Jahre wegen seiner Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit in der wissenschaftlichen Diskussion. Seit 1994 unterliegt es einer Risikobewertung (Risk Assessment) im Rahmen der EU-Altstoffverordnung EG Nr. 93/793. Den ersten umfassenden Bericht für die Bereiche Umwelt und Gesundheit hat das Europäische Chemikalienbüro (ECB) im Jahr 2002 veröffentlicht, 2004 und 2005 folgten weitere Ergänzungen für den Umweltbereich (ECB 2002, 2004 und 2005). Bis zum Jahr 2010 wird jeweils eine weitere Ergänzung zu offenen Fragen in den Bereichen Umwelt und Gesundheit erwartet. Die Risikobewertung wird voraussichtlich 2010 endgültig abgeschlossen, für viele Teilbereiche liegen jedoch bereits jetzt Schlussfolgerungen vor. Da diese Ergebnisse in der politischen Diskussion um DecaBDE eine große Rolle spielen, werden sie nachfolgend kurz zusammengefasst und bewertet.

Für die Risikocharakterisierung wird die in der Umwelt vorhergesagte Konzentration einer Chemikalie mit der Stoffkonzentration verglichen, ab der schädliche Wirkungen nicht auszuschließen sind. Risikominderungsmaßnahmen werden dann erforderlich, wenn die Umweltkonzentration potenziell schädliche Konzentrationen erreicht. Wird in der Risikobewertung kein Risiko festgestellt, heißt dies daher nicht, dass ein Stoff an sich ungefährlich ist und bedenkenlos in beliebigen Mengen eingesetzt werden kann, sondern dass bisher keine schädliche Umweltkonzentration vorliegt. Ein anderes Vorgehen sieht die Altstoffbewertung im Fall von Stoffen vor, die PBT-Eigenschaften (persistent, bioakkumulierend und toxisch) aufweisen. Von diesen Stoffen geht ein besonderes Gefährdungspotenzial aus, da sie aus der Umwelt nicht rückholbar sind und langfristige, nicht zu kontrollierende Risiken hervorrufen können. Hier sind aus Vorsorgegründen alle vermeidbaren Umwelteinträge zu unterlassen

und vorsorgliche Maßnahmen unabhängig von der aktuellen Umweltkonzentration zu ergreifen.

Die vorläufige EU-Risikobewertung für den Bereich Umwelt (ECB 2002, 2004, 2005) führte zu folgenden Schlussfolgerungen für DecaBDE: Für Oberflächengewässer, Abwasser und Klärschlamm aus Abwasserbehandlungsanlagen, Luft sowie die Anreicherung in der Nahrungskette besteht kein Bedarf an weiteren Risikominderungsmaßnahmen und auch kein Informationsbedarf. Anders sieht es bei der Belastung von Böden und Sedimenten und der Bewertung der PBT-Eigenschaften aus. DecaBDE zeigt sich in den üblichen Testverfahren als sehr persistent (vP) jedoch nicht bioakkumulierend oder toxisch für aquatische Organismen. Den Befunden aus den Testverfahren, die keine Anreicherung in Lebewesen (Bioakkumulation) voraussetzen, widersprechen jedoch die weit verbreiteten Funde von DecaBDE in Endgliedern der Nahrungskette (Raubvögeln, Falkeneiern, Eisbären, Robben, Füchsen, Muttermilch, etc.). Weiterhin muss die Toxizität von DecaBDE in Bezug auf die möglichen neurotoxischen Wirkungen (s.u.) und den möglichen Abbau zu den bereits verbotenen, niederbromierten, stärker toxischen Penta- und Octabromdiphenylethern noch geklärt werden. Zur Klärung offener Fragen vereinbarten Industrievertreter und die EU-Kommission ein Forschungsprogramm, dessen Ergebnisse 2010 für den Abschluss der Risikobewertung ausgewertet werden (Verordnung EG Nr. 565/2006). Das Programm umfasst zusätzlich praktische Maßnahmen zur Emissionsminderung bei der Herstellung und Verarbeitung von DecaBDE, die vom Europäischen Verband der Bromindustrie koordiniert werden (BSEF 2006b).

Für den Bereich der menschlichen Gesundheit (ECB 2002) hat die EU-Risikobewertung keinen Bedarf an weiteren Risikominderungsmaßnahmen und auch keinen Informationsbedarf festgestellt. Die Schlussfolgerung gilt für Arbeiter bei der Herstellung und Verarbeitung von DecaBDE, für Verbraucher bei der Nutzung flammgeschützter Produkte, für die aufgenommenen Mengen von DecaBDE aus der Umwelt über Luft, Trinkwasser und Nahrung und für die zu erwartenden Gefährdungen aufgrund der physikochemischen Eigenschaften. Es gibt in der Risikobewertung allerdings Hinweise auf neurotoxische Wirkungen von DecaBDE aus einem Versuch mit neugeborenen Mäusen, die in den Schlussfolgerungen bislang nicht berücksichtigt wurden.

Die Schlussfolgerungen der Risikobewertung sind nach wie vor umstritten. Dies gilt für das zuständige Expertengremium selbst, das die Risikobewertung erstellt hat. Eine Reihe von Experten ist der Meinung, dass wegen der großen Unsicherheiten der Ergebnisse und der langen Zeitdauer der ausstehenden Forschungen vorsorgliche Risikominderungsmaßnahmen erforderlich wären. Diese Schlussfolgerung ist auch deswegen nicht gezogen worden, da sich die Industrie zur Durchführung von Monitoring-Studien und zur Entwicklung von Reduktionsmaßnahmen bei der Verarbeitung von DecaBDE bereit erklärt hat.

Auch das „Scientific Committee on Health and Environmental Risks (SCHER)“ der Generaldirektion Gesundheit und Verbraucherschutz der EU Kommission votierte in seiner Stellungnahme ausdrücklich für weitere vorsorgliche Maßnahmen zur Risikominderung, da etliche Fragen der Risikobewertung noch offen sind (SCHER 2005). Das SCHER misst dabei insbesondere der Klärung der natürlichen Abbauewege, der möglichen Anreicherung von DecaBDE in höheren Organismen, der Umwelteinträge

über Klärschlämme und der Belastung abgelegener Regionen durch weiträumigen Lufttransport und diffuse Einträge aus Produkten hohe Bedeutung bei.

Aus Sicht des Umweltbundesamtes stellt darüber hinaus die unbestrittene Dioxin- und Furanbildung aus DecaBDE bei erhöhten Temperaturen ein ernst zu nehmendes Risikopotenzial dar. Dieses gilt nicht nur für den Brandfall, sondern besonders für die teilweise völlig unsachgemäße Entsorgung gebrauchter Elektro- und Elektronikgeräte in weniger entwickelten Ländern.

In der Frage, ob es bei der sachgemäßen Herstellung und Wiederverwertung von Kunststoffen nach dem Stand der Technik ebenfalls zur Bildung von Dioxin- und Furangehalten kommt, die oberhalb der Grenzwerte der deutschen Chemikalienverbotsverordnung liegen, sind die Ergebnisse der wenigen vorliegenden Studien uneinheitlich. So liegen die Werte bei einer im Auftrag der Bromindustrie durchgeführten Studie (Hamm et al. 1999) deutlich unterhalb, bei einem Forschungsprojekt des Bayerischen Forschungsverbundes für Abfallforschung und Reststoffverwertung (van Eldik et al. 2001) hingegen oberhalb der Grenzwerte der Chemikalienverbotsverordnung (1 µg/kg bzw. 5 µg/kg für den Summenwert bestimmter bromierter Dioxine und Furane). Da es in keinem anderen europäischen Staat ein vergleichbares Verbot für Dioxine und Furane in Produkten gibt, wird die Frage auf europäischer Ebene kaum thematisiert.

### **Ersatz für Decabromdiphenylether**

Im Zuge des Gerichtsverfahrens gegen die RoHS-Ausnahmeregelung hat die dänische Umweltbehörde eine neue Studie herausgegeben, die die am Markt vorhandenen Flammenschutzalternativen für DecaBDE in Elektro- und Elektronikgeräten zusammenfasst und deren technische Eignung für verschiedene Kunststofftypen und Gerätebestandteile darstellt (EPA Dänemark 2006a). Der Hauptanwendungsbereich von DecaBDE sind die Gehäuse von Elektro- und Elektronikgeräten (E&E-Geräten). In wesentlich geringerem Umfang wird es für Kleinteile wie Stecker und Schalter sowie im Isoliermaterial von Kabeln und Leitungen verwendet. Ergebnis der Studie ist, dass für E&E-Geräte keine Anwendung identifiziert werden kann, bei der eine Substitution von DecaBDE aus technischen oder wissenschaftlichen Gründen nicht möglich ist. Viele Firmen verwenden schon heute keine mit DecaBDE flammgeschützten Kunststoffe mehr. Zu den gleichen Ergebnissen kommen auch KEMI (2005), Lovell Center (2005) und UBA (2001b).

Gerätegehäuse bestehen vor allem aus den Kunststoffen HIPS (hochschlagfestes Polystyrol) oder ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol) sowie den etwas teureren Kunststoffmischungen PC/ABS (PC = Polycarbonat), PPE/HIPS (PPE = Polyphenylenether) oder PPE/PS (PS = Polystyrol). Die Zugabe von PC oder PPE führt zu einer geringeren Entflammbarkeit der Kunststoffe selbst und ermöglicht so den Einsatz von weniger effektiven oder geringeren Mengen an Flammschutzmitteln. Von den Herstellern bromierter Flammenschutzmittel werden als Alternative zu DecaBDE vor allem die universell einsetzbaren, ebenfalls bromierten Ersatzstoffe Bis(pentabromphenyl)ethan und Bis(tetrabromphthalimid)ethan angegeben. In der Regel kommen jedoch halogenfreie Organophosphorverbindungen wie RDP (Resorcinol-bis(diphenyl-

phosphat)) oder BDP (Bisphenol A-bis(diphenylphosphat)) als Ersatzstoffe zum Einsatz. Letztere erfüllen in Verbindung mit den Kunststoffmischungen PC, PC/ABS und PPE/HIPS das erforderliche Flammenschutzniveau. Organophosphorverbindungen werden üblicherweise auch für die Gehäusekunststoffe von E&E-Geräten mit dem Umweltzeichen „Blauer Engel“ eingesetzt, für die ein halogenfreier Flammschutz gefordert wird. Stecker, Schalter und andere Kleinteile bestehen überwiegend aus Polyesterkunststoffen (PBT Polybutylenterephthalat, PET Polyethylenterephthalat) oder Polyamid (PA). DecaBDE hat nur einen kleinen Anteil an den dort eingesetzten Flammenschutzmitteln. In erster Linie wird den Kunststoffen eine gewisse Menge bromierter Kunststoffoligomere hinzugefügt, d.h. bromierte Einzelbausteine verschiedener Kunststofftypen. Für Polyamide existiert darüber hinaus eine Reihe halogenfreier Alternativen wie roter Phosphor, Magnesiumhydroxid, Melamincyanurat, Melaminphosphat oder organisches Phosphinat. Mit organischem Phosphinat ist seit kurzer Zeit auch erstmals ein halogenfreies Flammschutzmittel für Polyester erhältlich. Alternative Gerätekonstruktionen wurden in den Studien nicht untersucht (EPA Dänemark 2006a, Kemi 2005, Lowell Center 2005, Troitzsch 2005).

Die technische Eignung von Flammenschutzmitteln lässt sich vergleichsweise einfach klären. Die Beurteilung der Umwelt- und Gesundheitseigenschaften setzt hingegen umfangreiche, zum Teil sehr teure Untersuchungen voraus, so dass nicht immer alle erforderlichen Daten – in der Regel jedoch genügend Anhaltspunkte für eine vergleichende Bewertung – vorliegen. Das Problem fehlender Bewertungsdaten wird in Zukunft zumindest teilweise durch die neue Europäische Chemikalienverordnung REACH gelöst. Vergleichende Bewertungen der Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen ausgewählter Flammenschutzmittel finden sich in EPA Dänemark (2006b) und UBA (2001a). Während in der dänischen Studie belegt wird, dass die Substitute auf keinen Fall schädlicher als DecaBDE sind, wird in der UBA Studie eine abgestufte Bewertung der Flammenschutzmittel vorgenommen. Beide Studien decken die wichtigsten der oben genannten Flammenschutzmittel für E&E-Geräte ab. Weitere Untersuchungen der Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen der Substitute sind aus Sicht des UBA jedoch wünschenswert.

Insgesamt ist durch zahlreiche Studien und Beispiele aus der Praxis belegt, dass das Flammschutzmittel DecaBDE in Elektro- und Elektronikgeräten vollständig substituierbar ist.

### **Position des Umweltbundesamtes zu Decabromdiphenylether in Elektro- und Elektronikgeräten**

Das Umweltbundesamt fordert, die Substitution von Chemikalien mit langfristigem Risikopotenzial zum Schutz von Umwelt und Gesundheit weiter zu stärken. Seit vielen Jahren gibt es Unternehmen, die sich für die Verwendung weniger umweltschädlicher Flammenschutzmittel oder weniger leicht entflammbarer Materialien engagieren. Im Bereich der E&E-Geräte sind unter anderen Hewlett Packard, Dell, Sony, Ericsson und IBM zu nennen (EPA Dänemark 2006a). In Deutschland sind die Unternehmen des Verbandes der kunststoffzeugenden Industrie (VKE) hervorzuheben, die bereits seit 1986 freiwillig auf den Einsatz von DecaBDE in Kunststoffen verzichten. Diese Unternehmen haben innovative Lösungen entwickelt, die sowohl



dem Brandschutz als auch dem Gesundheits- und Umweltschutz dienen. Diese Aktivitäten sollten honoriert und den Unternehmen ein verlässlicher gesetzlicher Rahmen geboten werden.

Das Umweltbundesamt hat Kriterien für eine vorsorgende nachhaltige Stoffpolitik formuliert. Nach diesen Kriterien sind die weite Verbreitung in der Umwelt und die geringe Abbaubarkeit von DecaBDE für einen Anwendungsverzicht ausreichend (zu den Kriterien einer vorsorgenden nachhaltigen Stoffpolitik siehe auch <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/pvc.htm>).

Aus diesen Gründen plädiert das Umweltbundesamt für die Beibehaltung des Verwendungsverbots von DecaBDE in Elektro- und Elektronikgeräten im Rahmen der RoHS. Es unterstützt die Klagen von EU-Parlament und Dänemark beim Europäischen Gerichtshof.

## Literatur und Links

**BSEF (Bromine Science and Environmental Forum) (2006a):** Major Brominated Flame Retardants Volume Estimates 2002 and 2003. Mitteilung an das Umweltbundesamt.

**BSEF (Bromine Science and Environmental Forum) (2006b):** VECAP – Voluntary Emissions Control Action Programme for the brominated flame retardant Deca-BDE. [http://www.bsef.com/product\\_stew/vecap/index.php?/product\\_stew/vecap/vecap.php](http://www.bsef.com/product_stew/vecap/index.php?/product_stew/vecap/vecap.php)

**Chemikalien-Verbotsverordnung – ChemVerbotsV:** Verordnung über Verbote und Beschränkungen des Inverkehrbringens gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse nach dem Chemikaliengesetz in der Fassung vom 13. Juni 2003, zuletzt geändert am 11. Juli 2006.

**ECB (European Chemicals Bureau) (2002):** European Union risk assessment report, bis(pentabromophenyl) ether. <http://ecb.jrc.it/>

**ECB (European Chemicals Bureau) (2004):** Update of the risk assessment of bis(pentabromophenyl) ether (decabromodiphenyl ether). <http://ecb.jrc.it/>

**ECB (European Chemicals Bureau) (2005):** Addendum to the May 2004 environmental risk assessment report for decabromodiphenyl ether. <http://ecb.jrc.it/>

**Elektro- und Elektronikgerätegesetz – ElektroG:** Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten vom 16. März 2005.

**Entscheidung 2005/717/EG** der Kommission vom 13. Oktober 2005 zur Änderung des Anhangs der Richtlinie 2002/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten zwecks Anpassung an den technischen Fortschritt.

**EPA Dänemark (2000):** Alternatives to brominated flame retardants. Working Report No. 17. <http://www.safer-products.org/downloads/Alternatives%20to%20Flame%20Retardants.pdf>

**EPA Dänemark (Danish Environmental Protection Agency) (2001):** Comments on report on alternatives to brominated flame retardants. Working Report No. 18. <http://www.mst.dk/udgiv/Publications/2001/87-7944-588-8/pdf/87-7944-589-6.PDF>

**EPA Dänemark (Danish Environmental Protection Agency) (2006a):** Deca-BDE and alternatives in electrical and electronic equipment. Report. <http://www.mst.dk/Udgivelser/Publications/2007/01/978-87-7052-349-3.htm>

**EPA Dänemark (Danish Environmental Protection Agency) (2006b):** Health and environmental assessment of alternatives to Deca-BDE in electrical and electronic equipment. Report. <http://www.mst.dk/Udgivelser/Publications/2007/01/978-87-7052-351-6.htm>

**EU-Parlament (2005):** Entschließung des Europäischen Parlaments vom 6. Juli 2005 P6\_TA(2005)0274, Gefährliche Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten. <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+20050706+ITEMS+DOC+XML+V0//DE&language=DE#sdocta2>

**Hamm S., Schulte J., Strickeling M., Maulshagen A. (1999):** Determination of polybrominated Diphenylethers (PBDEs) and eight polybrominated Dibenzodioxin (PBDD) and Dibenzofuran (PBDF) isomers in a HIPS/Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/DecaBDE plastic before and after recycling. Tagungsbeitrag zur Konferenz DIOXIN 99.

**KEMI (schwedische Chemikalienaufsicht) (2005):** Survey and technical assessment of alternatives to decabromodiphenyl ether (decaBDE) in plastics. Report No. 1/05. [http://www.kemi.se/upload/Trycksaker/Pdf/Rapporter/Rapport1\\_05.pdf](http://www.kemi.se/upload/Trycksaker/Pdf/Rapporter/Rapport1_05.pdf)

**Lowell Center for Sustainable Production (2005):** Decabromodiphenylether – an investigation of non-halogen substitutes in electronic enclosures and textile applications. University of Massachusetts, Lowell.

<http://www.sustainableproduction.org/downloads/DecaBDESubstitutesFinal4-15-05.pdf>

**Richtlinie 2002/95/EG** des europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten.

**Richtlinie 2002/96/EG** des europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte.

**Richtlinie 76/769/EWG** des Rates vom 27. Juli 1976 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten für Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen, zuletzt geändert am 18. Januar 2006.

**Scientific Committee on Health and Environmental Risks (SCHER) (2005):**

Opinion on “Update of the risk assessment of bis(pentabromophenyl) ether (decabromodiphenyl ether)”, Final Environmental Draft of May 2004.

[http://ec.europa.eu/health/ph\\_risk/committees/04\\_scher/docs/scher\\_o\\_012.pdf#search=%22SCHER%201163-19-5%22](http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scher/docs/scher_o_012.pdf#search=%22SCHER%201163-19-5%22)

**Troitzsch, J. (2005):** Commercially available halogen free alternatives to halogen-containing flame retardant systems in polymers. [http://flammschutz-online.de/news/downloads/over\\_german/Overview\\_non-hal\\_2006.pdf](http://flammschutz-online.de/news/downloads/over_german/Overview_non-hal_2006.pdf)

**UBA (2001a):** Erarbeitung von Bewertungsgrundlagen zur Substitution umweltrelevanter Flammschutzmittel. UBA-Texte 25/01 bis 27/01.

<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/dateien/1965.htm>

**UBA (2001b):** Erarbeitung von Maßnahmenvorschlägen zur Substitution umweltrelevanter Flammschutzmittel bei Leiterplatten, Außengehäusen für IT- und TV-Geräte sowie Polyurethan-Dämm- und Montageschäumen. Workshop-Berichte.

<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/dateien/2940.htm>

**van Eldik, R.; Wolf, M.; Müller B.; Pöhlein, M. (2001):** Bewertung und Optimierung von Verfahren zum Recycling flammgeschützter Kunststoffe aus der Elektrotechnik. Forschungsvorhaben F116, Abschlussbericht, Bayrischer Forschungsverbund für Abfallforschung und Reststoffverwertung.

**Verordnung EWG Nr. 93/793** des Rates vom 23. März 1993 zur Bewertung und Kontrolle der Umweltrisiken chemischer Altstoffe.

**Verordnung EG Nr. 565/2006** der Kommission vom 6. April 2006 über Prüf- und Informationsanforderungen an Importeure und Hersteller bestimmter prioritärer Stoffe gemäß der Verordnung EWG Nr. 793/93 zur Bewertung und Kontrolle der Umweltrisiken chemischer Altstoffe.