

Stoffinformationen zu besonders besorgniserregenden Stoffen

Bromierte Diphenylether

Dieses Informationsblatt beschreibt die Stoffgruppe der bromierten Diphenylether, deren Vorkommen und Verwendung, chemikalienrechtliche Aspekte, Risiken für die Umwelt und die menschliche Gesundheit sowie Alternativen.

1 Vorkommen und Verwendung^[1]

Bromierte Diphenylether kommen insbesondere als additive Flammschutzmittel in Kunststoffen vor. D. h. sie sind nicht chemisch in die Polymermatrix dieser Kunststoffe eingebunden und können deshalb schleichend aus dem Material entweichen z. B. durch Ausdunsten oder durch Partikelabrieb. Insbesondere beim mechanischen Zerkleinern (Schreddern) von Kunststoffabfällen gelangen sie in die Umgebung.

Sie wurden eingesetzt in der Elektro-, Elektronik-, Bau-, Transport- und Textilindustrie [bis zu ca. 15 Ges.-% polybromierte Diphenylether (PBDE) in betreffenden Kunststoffen], in Farben, Tapeten, Matratzen, Möbelstoffen, einigen Bodenpflegemitteln, Be- und Entlüftungs-Systemen, Bodenbelägen, Dämmstoffen auf Kunststoffbasis und Ausschäummitteln.

Haupt-Anwendungsbereich von Decabromdiphenylether (Deca-BDE) sind Gehäuse von Elektro- und Elektronikgeräten (z. B. Computer-Monitore, Fernseher) sowie Ausrüstungen von Vorhang- oder Möbel-Textilien.

Wegen der im Abschnitt „Rechtliches“ angeführten Verbote sollten insbesondere Tetrabromdiphenylether, Pentabromdiphenylether, Hexabromdiphenylether, Heptabromdiphenylether und Octabromdiphenylether bzw. PBDE allgemein nicht mehr in Verkehr gebracht werden. Folglich sollte auch die Verwendung von Produkten rückläufig sein, die diese Stoffe enthalten.

2 Eigenschaften

Die bromierten Diphenylether sind eine Gruppe von Stoffen, in deren Molekülen jeweils zwei sogenannte Phenylgruppen (aromatische Kohlenstoffatom-Sechseringe) über ein Sauerstoff-Atom (eine sogenannte Ether-Brücke) miteinander verbunden sind. Einzelne (oder alle) Wasserstoffatome außen an den Phenylringen sind in diesen Molekülen durch Brom-Atome ersetzt. Bei der chemischen Synthese bromierter Diphenylether werden meist gleichzeitig mehrere verschiedene – jedoch einander ähnliche – Moleküle gebildet (sogenannte Kongenere). Wie aus der Tabelle 1 ersichtlich existieren für verschiedene Stoffe mehrere Kongenere. Diphenylether weist 10 Wasserstoffatome auf, die durch Brom-Atome ersetzt werden können. Bei den verschiedenen bromierten Kongeneren sind unterschiedlich viele bzw. Wasserstoffatome an unterschiedlichen Stellen ersetzt. Folgerichtig gibt es nur ein Kongener des Decabromdiphenylethers, weil

hier im Molekül sämtliche verfügbare Wasserstoff-Atome durch Brom-Atome ersetzt sind. Von polybromierten Diphenylethern (PBDE) spricht man, wenn zahlreiche Wasserstoffatome durch Bromatome ersetzt sind.

Folgende ausschließlich bromierte Kongenere sind möglich [1]:

Tabelle 1: CAS- Nummern ausgewählter PBDE.

Stoffname	Acronym	Summenformel	Kongenere	CAS-Nr.
Dibromdiphenylether	Di-BDE	$C_{12}H_8Br_2O$	4-15	2050-47-7
Tribromdiphenylether	Tri-BDE	$C_{12}H_7Br_3O$	16-39	49690-94-0
Tetrabromdiphenylether	Tetra-BDE	$C_{12}H_6Br_4O$	40-81	40088-47-9
Pentabromdiphenylether	Penta-BDE	$C_{12}H_5Br_5O$	82-127	32534-81-9
Hexabromdiphenylether	Hexa-BDE	$C_{12}H_4Br_6O$	128-169	36483-60-0
Heptabromdiphenylether	Hepta-BDE	$C_{12}H_3Br_7O$	170-193	68928-80-3
Octabromdiphenylether	Octa-BDE	$C_{12}H_2Br_8O$	194-205	32536-52-0
Nonabromdiphenylether	Nona-BE	$C_{12}H_1Br_9O$	206-208	63936-56-1
Decabromdiphenylether	Deca-BDE	$C_{12}Br_{10}O$	209	1163-19-5

Daneben können auch andere funktionelle Gruppen (z. B. eine –OH-Gruppe) ein Wasserstoffatom am Molekülgerüst des Diphenylethers ersetzen. Hierdurch sind zahlreiche weitere verwandte Verbindungen möglich, die jedoch nicht Gegenstand dieses Informationsblattes sind.

In technischen Anwendungen wurden polybromierte Diphenylether (PBDE) üblicherweise als Gemische eingesetzt. So besteht „Pentabromdiphenylether“ als technisches Produkt typischerweise aus 24-38 Gew.-% Tetrabromdiphenylether, 50-62 Gew.-% Pentabromdiphenylether, 4-12 Gew.-% Hexabromdiphenylether sowie Spuren von Tri- und Heptabromdiphenylether [2]. Entsprechende Octa- und Deca-BDE-Gemische existieren ebenfalls. Letztere werden weltweit nach wie vor in großen Mengen eingesetzt [4].

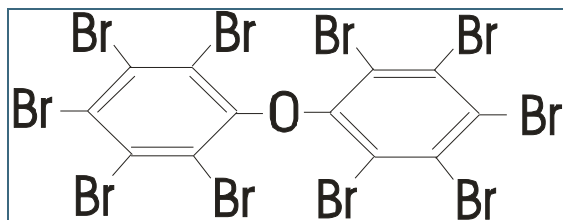


Abb. 1:
Strukturformel von Decabromdiphenylether (DecaBDE) - ein Vertreter der bromierten Diphenylether

Tabelle 2: Chemisch-physikalische Daten ausgewählter PBDE.

Stoffname	Pentabrom- diphenylether	Octabrom- diphenylether	Decabrom- diphenylether
Molmasse in g/mol	564,7	801,4	959,2
Schmelzbereich in °C	-7 bis -3 (technisches Produkt)	70-270	300-310
Siedebereich in °C	Zersetzung > 200	Zersetzung > 320	Zersetzung > 320
Wasserlöslichkeit in µg/L	2	0,5	< 0,1
Dampfdruck in Pascal	$5 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-6}$	Nicht meßbar

Die Tabelle 2 lässt die Trends erkennen, dass die Diphenylether mit zunehmender Bromierung weniger wasserlöslich und flüchtig werden. Alle bromierten Diphenylether sind sehr stark fettliebend (lipophil, der Oktanol/Wasser-Verteilungskoeffizient ist größer als 10.000).

Die Wachstumshemmung an Meeres-Phytoplankton-Algen *Isochrysis galbana* durch die PBDE 2,2',4,4'-Tetrabromdiphenylether (CAS No. 5436-43-1, BDE-47); 2,2',4,4',5'-Pentabromdiphenylether (CAS-Nr.: 60348-60-9, BDE-99) und 2,2,4,4,5,6-Hexabromdiphenylether (CAS-Nr.: 207122-15-4, BDE-154) innerhalb von 72 h wurde untersucht. Wasser-Konzentrationen, bei denen noch kein Effekt erkennbar war (NOEC) wurden bestimmt zu $2,5 \mu\text{g L}^{-1}$ für BDE-47; $3,5 \mu\text{g L}^{-1}$ für BDE-99 und $12,3 \mu\text{g L}^{-1}$ für BDE-154 [4].

Beim Verbrennen von bromierten Diphenylethern können giftige bromierte Dibenzodioxine und -furane entstehen.

3 Rechtliches

Bereits seit dem 15.08.2004 durften in der EU Stoffe und Gemische (früher „Zubereitungen“ genannt), die technischen Penta- oder Oktabromdiphenylether in Konzentrationen von 0,1 Gew.-% oder mehr enthalten, nicht in Verkehr gebracht werden (Richtlinie 2003/11/EG zur Änderung der europäischen Beschränkungs-Richtlinie 76/769/EWG). In Deutschland wurde diese Beschränkung durch „Abschnitt 25: Flammenschutzmittel“ des Anhangs der Chemikalienverbotsverordnung umgesetzt. Danach ist es verboten, Pentabromdiphenylether ($\text{C}_{12}\text{H}_5\text{Br}_5\text{O}$) oder Octabromdiphenylether ($\text{C}_{12}\text{H}_2\text{Br}_8\text{O}$) als Stoff als solchem, als Gemisch oder in einem Erzeugnis mit einem Massengehalt von insgesamt mehr als 0,1% in Verkehr zu bringen. Die europaweite Beschränkung wurde später in den Anhang XVII Nr. 45 der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH) übernommen. Danach darf ein Octabromdiphenylether-Derivat ($\text{C}_{12}\text{H}_2\text{Br}_8\text{O}$, CAS-Nr. 32536-52-0; EG-Nr. 251-087-9) nicht als Stoff, als Bestandteil anderer Stoffe oder in Gemischen (früher: Zubereitungen) in Konzentrationen von 0,1 Gew.-% oder mehr in Verkehr gebracht oder verwendet werden. Erzeugnisse dürfen ebenfalls nicht in Verkehr gebracht werden, wenn sie oder ihre mit Flammenschutzmittel behandelten Teile diesen Stoff in einer Konzentration von mehr als 0,1 Gew.-% enthalten.

Decabromdiphenylether (Deca-BDE, CAS.-Nr. 1163-19-5) steht auf der Kandidatenliste der „besonders besorgniserregenden Stoffe“ (SVHC) der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) für das Zulassungsverfahren nach REACH. Damit bestehen Informationspflichten in der Lieferkette. Lieferanten müssen gewerbliche Kunden aktiv informieren (z. B. durch das Sicherheitsdatenblatt), wenn mindestens ein SVHC in ihrem Produkt in einer Konzentration von 0,1 Gew.-% oder mehr enthalten ist. Auf Anfrage müssen Lieferanten von Erzeugnissen auch Privatkunden innerhalb von 45 Tagen informieren. Ggf. muss der Lieferant zumindest den Namen dieses Stoffes nennen.

Tetrabromdiphenylether ($\text{C}_{12}\text{H}_6\text{Br}_4\text{O}$), Pentabromdiphenylether ($\text{C}_{12}\text{H}_5\text{Br}_5\text{O}$), Hexabromdiphenylether ($\text{C}_{12}\text{H}_4\text{Br}_6\text{O}$) und Heptabromdiphenylether ($\text{C}_{12}\text{H}_3\text{Br}_7\text{O}$) sind im Anhang I Teil A der POP-Verordnung (EG) 850/2004 gelistet. Diese POP-Verordnung dient der Umsetzung der sogenannten „Stockholm-Konvention“. Das ist ein internationales Übereinkommen zur Beendigung oder Einschränkung der Produktion, Verwendung und Freisetzung von persistenten organischen Schadstoffen („Persistent Organic Pollutants“, POPs). Laut Artikel 3 POP-Verordnung sind damit die Herstellung, das Inverkehrbringen und die Verwendung der oben genannten Stoffe als solche, in Gemischen oder als Bestandteile von Erzeugnissen verboten. Außerdem sind diese Stoffe im Anhang IV gelistet. Sie unterliegen damit auch den abfallwirtschaftlichen Bestimmungen nach Artikel 7. D. h. Abfälle, die aus diesen Stoffen bestehen, sie enthalten oder durch sie verunreinigt sind, sind ohne unnötige Verzögerung so zu beseitigen oder zu verwerten, dass diese Stoffe zerstört oder unumkehrbar umgewandelt werden, sofern keine dort genannten Ausnahmen gelten.

Tetrabromdiphenylether, Pentabromdiphenylether, Hexabromdiphenylether und Heptabromdiphenylether sind im Anhang V der Verordnung (EG) Nr. 689/2008 über die Aus- und Einfuhr gefährlicher Chemikalien (PIC) aufgeführt sind und unterliegen somit einem Ausfuhrverbot.

Laut § 5 Absatz 1 des Elektro- und Elektronikgerätegesetzes ist es verboten, neue Elektro- und Elektronikgeräte in Verkehr zu bringen, die mehr als 0,1 Gewichtsprozent polybromierten Diphenylether (PBDE) je homogenem Werkstoff enthalten. § 3 Absatz 1 ElektroStoff-Verordnung präzisiert, daß Elektro- und Elektronikgeräte einschließlich Kabeln und Ersatzteilen nur in Verkehr gebracht werden dürfen, wenn die zulässigen Höchstkonzentration von 0,1 Gewichtsprozent polybromierte Diphenylether (PBDE) je homogenen Werkstoff nicht überschritten wird. Dieses deutsche Gesetz setzt das Verbot polybromierter Diphenylether aus der europäischen Richtlinie (EU) Nr. 2011/65 (RoHS) zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten um. Entsprechende Verbote gelten also in allen EU-Staaten.

Bromierte Diphenylether sind „prioritäre Stoffe im Bereich der Wasserpolitik“ laut Anhang X der Wasser-rahmenrichtlinie (EG) Nr. 2000/60 (WRRL). Tetra-, Penta-, Hexa- und Heptabromodiphenylether (CAS-Nummern 40088-47-9, 32534-81-9, 36483-60-0 und 68928-80-3) sind darüber hinaus als „prioritär gefährliche Stoffe“ eingestuft. Gemäß Artikel 16 WRRL sollen Einleitungen, Emissionen und Verluste prioritärer Stoffe schrittweise verringert werden. Für prioritär gefährliche Stoffe sieht dieser Artikel 16 einen Zeitraum von maximal 20 Jahren ab der rechtsgültigen Einstufung vor, innerhalb dessen Einleitungen, Emissionen und Verluste beendet oder schrittweise eingestellt werden müssen.

Gemäß Tabelle 1 der deutschen Oberflächengewässer-Verordnung gilt für bromierte Diphenylether in oberirdischen Gewässern ohne Übergangsgewässer eine Umweltqualitätsnorm von 0,0005 µg/L und für Übergangsgewässer und Küstengewässer nach § 3 Nummer 2 des Wasserhaushaltsgesetzes von 0,0002 µg/L im Jahresdurchschnitt. Diese Umweltqualitätsnorm gilt für die Summe der Kongenere der Nummern 28 (2,4,4'-Tribromdiphenylether, CAS-Nr.: 41318-75-6), 47 (2,2',4,4'-Tetrabromodiphenylether, CAS-Nr.: 5436-43-1), 99 (2,2',4,4',5 -Pentabromdiphenylether, CAS-Nr.: 60348-60-9), 100 (2,2',4,4',6-Pentabromdiphenylether, CAS-Nr.: 68631-49-2), 153 (2,2,4,4,5,5-Hexabromdiphenylether, CAS-Nr.: 68631-49-2) und 154 (2,2,4,4,5,6-Hexabromdiphenylether, CAS-Nr.: 207122-15-4).

4 Risiken für die Umwelt

Dem europäischen Stoffbewertungsbericht [2] zufolge besteht ein Risiko durch Aufnahme von Pentabromdiphenylether aus der Umwelt. In Fischen und Erdwürmern aus der Nähe von Emissionsquellen wurden hohe Konzentrationen gemessen. Der Stoff verbreitet sich über weite Strecken in der Umwelt und kann sich in der Nahrungskette anreichern.

Im Bericht [5] wird weiterer Forschungsbedarf festgestellt. Ein Risiko der sekundären Vergiftung durch Aufnahme von Octabromdiphenylether-Derivaten aus der Umwelt kann nicht ausgeschlossen werden. Es gibt Hinweise, wonach diese Kongenere nur sehr langsam in der Umwelt abgebaut werden. Produkte dieses Abbaus können aber stärker bioakkumulierende und giftigere Stoffe sein.

Laut dem Stoffbewertungsbericht der europäischen Union [6] ist Bis(pentabromphenyl)ether (Deca-BDE) wahrscheinlich sehr persistent, d. h. es wird kaum abgebaut. Gelangt dieser Stoff in der Umwelt, dann verbleibt er dort für viele Jahre.

Der Stoff reichert sich nicht in Lebewesen an noch ist er giftig für Meeresorganismen. Folgendes wurde jedoch festgestellt:

- Ein weit verbreitetes Auftreten des Stoffes in Raubtieren an der Spitze der Nahrungskette (z.B. Vögel und Säugetiere).

- Neurotoxische Effekte und Aufnahme des Stoffes durch Säugetiere in Laborstudien.
- Das Risiko besteht, dass in der Umwelt giftigere und sich anreichernde Abbauprodukte gebildet werden, beispielsweise niedriger bromierte Diphenylether and bromierte Dibenzofurane [7].

Daher sieht die EU den Bedarf, weitere Informationen über die Verbreitung und Wirkungen dieses Stoffes bzw. eventueller Abbauprodukte zu sammeln und auszuwerten.

Auswirkungen auf den Menschen

Laut einem Bericht des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR)[8] lag bei 89 Müttern der Konzentrations-Mittelwert der Summe 9 untersuchter Kongenere der bromierten Diphenylether bei 2,5 ng/g Milchfett. Im Vergleich mit anderen europäischen Ländern liegen diese Ergebnisse im unteren Bereich. Die relativen Konzentrationen der einzelnen Kongenere im Verhältnis zur Gesamtmenge ähneln sich, was auf gleiche Expositionsquellen in Europa schließen lässt. Vegetarierinnen wiesen signifikant niedrigere Konzentrationen auf als Mischköstlerinnen. Die von einem 4 Monate alten Säugling über das Stillen aufgenommene Menge der bromierten Diphenylether ist um den Faktor 10.000 geringer als der niedrigste tierexperimentell ermittelte NOAEL, bei welchem noch keine schädlichen Effekte beobachtet wurden. Wegen des sehr großen Sicherheitsabstandes könne nach gegenwärtigem Kenntnisstand davon ausgegangen werden, dass in Deutschland keine gesundheitlichen Risiken für den gestillten Säugling durch bromierte Diphenylether bestehen.

5 Umweltrelevanz in Bayern

Laut [9] waren die mittels Depositionssammler in den bayerischen Alpen (Zugspitze und Nationalpark Berchtesgaden - emittentenferne, gering belastete Untersuchungsstandorte) gemessenen PBDE-Depositionsraten aus den Jahren 2008-2010 deutlich erhöht gegenüber denen der Jahre 2005-2007. Meist um den Faktor 1,5 bis 2,5. Außerdem wurden im Winter stets höhere Depositionsraten bestimmt als im Sommer. BDE 209 wies in den Jahren von 2005 bis 2010 im Vergleich zu den anderen untersuchten Kongeneren mit Abstand die höchsten mittleren Depositionsraten auf [mehrere ng/(m²·Tag) gegenüber 0,01-0,13 ng/(m²·Tag) für die einzelnen Kongenere BDE 28, BDE 47, BDE 99, BDE 100, BDE 153, BDE 154 und BDE 183]. An der Dauerbeobachtungsstation Augsburg hat das LfU von Mai bis Dezember 2002 die Summe der Depositionsraten von 10 Tri- bis Hexa-BDE-Kongeneren zu 0,8 – 9,2 ng/(m²·Tag) bestimmt [10]. In zwei Weidelgrasproben wurden damals Konzentrationen zwischen 100 und 200 ng/kg Trockensubstanz (TS) gemessen. Den Ergebnissen aus den LfU-Projekten MONARPOP (Untersuchungszeitraum 2003–2007) und POPALP (Untersuchungszeitraum 2008-2011) zufolge nehmen die Konzentrationen der meisten persistenten organischen Schadstoffe (POPs) in der Humusschicht und im oberen Mineralboden trotz verminderten Eintrags eher zu als ab, weil diese Stoffe in der Umwelt kaum abgebaut werden. An verschiedenen Probenahmestellen in den bayerischen Alpen (siehe oben) wurden im Auflagehumus (O-Horizont) Decabromdiphenylether-Konzentrationen von etwa 1 µg/kg TS bestimmt. Die Summe der Konzentrationen der oben genannten 7 Diphenylether betrug circa 0,5-0,8 µg/kg TS. Die Konzentrationen in der Nadelstreu und insbesondere in tieferen Bodenschichten sind signifikant niedriger. Meteorologische und weitere Standortparameter wie beispielsweise die Höhenlage oder die Exponiertheit gegenüber Wind, Regen und Sonneneinstrahlung prägen das Mikroklima und wirken sich auf den Verbleib der POPs in den verschiedenen Bodenschichten aus. Im Fall der PBDE wurde festgestellt, die gemessenen Konzentrationen mit der Höhenlage zunehmen.

6 Alternativen

In einer Studie für das Dänische Umweltamt wurde keine Verwendung identifiziert, in der deca-BDE in seinem Haupt-Anwendungsgebiet – Elektro- und Elektronikprodukte – nicht durch andere Flammschutzmittel ersetzbar gewesen wäre [11]. Anstelle bromierter Flammschutzmittel können in

Kabelummantelungen, Leiterplatten oder Bodenbelägen beispielsweise Aluminiumoxid-Pulver eingesetzt werden.

Auch mögliche Ersatzstoffe für bromierte Diphenylether können problematisch sein. Deren Gefahrenprofile bei der Verwendung als Flammschutzmittel sind dargestellt in [12].

Decabromdiphenylethan (DBDPE) wird seit Jahren als Ersatzstoff für Deca-BDE eingesetzt [13]. Bis(2-ethylhexyl)tetrabromphthalat (BEHTBT) und 2-Ethylhexyl-2,3,4,5-tetrabrombenzoat (EHTBB) werden seit dem Jahr 2003 als Ersatz für technischen Pentabromdiphenylether in dem additiven Flammschutzmittel „Firemaster 550“ verwendet [14].

7 Weiterführende Literatur

[1] ÖSTERREICHISCHES UMWELTBUNDESAMT (2008): Fact Sheet Polybromierte Diphenylether (PBDE), im Internet unter:
http://ww2.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/gesundheit/fact_sheets/Fact_Sheet_bromierte_Diphenylether.pdf

[2] EUROPÄISCHE KOMMISSION [Hrsg.] (2001): European Union Risk Assessment Report - Pentabromodiphenylether, im Internet unter:
http://esis.jrc.ec.europa.eu/doc/risk_assessment/REPORT/penta_bdperreport015.pdf

[3] Law, R. J.; Covaci, A.; Harrad, S.; Herzke, D.; Abdallah, M. A.-E.; Fernie, K.; Toms, L.-M. L.; Takigami, H., Levels and trends of PBDEs and HBCDs in the global environment: Status at the end of 2012, Environment International (2014), 65, 147–158

[4] Mhadhbi, L.; Fumega, J.; Beiras, R., Water, Air and Soil Pollution, (2012), 223(7), 4007-16

[5] EUROPÄISCHE KOMMISSION [Hrsg.] (2003): European Union Risk Assessment Report - Diphenylether, Octabromo Derivative, im Internet unter:
http://esis.jrc.ec.europa.eu/doc/risk_assessment/REPORT/octareport014.pdf

[6] EUROPÄISCHE KOMMISSION [Hrsg.] (2004): European Union Risk Assessment Report - Update of the Risk Assessment of Bis(pentabromophenyl) ether (Decabromodiphenyl ether) Addendum, European Communities, im Internet unter:
http://esis.jrc.ec.europa.eu/doc/risk_assessment/ADDENDUM/decabromodiphenylether_add_013.pdf

[7] ENVIRONMENT CANADA (2010): Ecological State of the Science Report on Decabromodiphenyl Ether (decaBDE), im Internet unter: http://www.ec.gc.ca/lcpe-cepa/documents/substances/decabde/ess_report_decabde-eng.pdf

[8] BUNDESINSTITUT FÜR RISIKOBEWERTUNG (BfR) (2005): Rückstände von Flammschutzmitteln in Frauenmilch aus Deutschland unter besonderer Berücksichtigung von polybromierten Diphenylethern (PBDE), im Internet unter
<http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2921.pdf>

[9] BAYERISCHES LANDESAMTS FÜR UMWELT [Hrsg.] (2011): Erfassung von persistenten organischen Schadstoffen im bayerischen Alpenraum, im Internet unter:
http://www.lfu.bayern.de/umweltqualitaet/umweltbeobachtung/schadstoffe_luft/projekte/doc/schlussbericht_popalp.pdf

[10] LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (eine Vorläufer-Organisation des Bayerischen Landesamtes für Umwelt) [Hrsg.] (2003): Ermittlung der atmosphärischen Deposition von persistenten

Organohalogenverbindungen (POP) in Bayern

[http://www.bestellen.bayern.de/application/applstarter?APPL=STMUG&DIR=stmug&ACTIONxSETVAL\(artdtl.htm,APGxNODENR:1326,AARTxNR:lfu_luft_00108,USERxBODYURL:artdtl.htm,KATALOG:StMUG,AKATxNAME:StMUG,ALLE:x\)=X](http://www.bestellen.bayern.de/application/applstarter?APPL=STMUG&DIR=stmug&ACTIONxSETVAL(artdtl.htm,APGxNODENR:1326,AARTxNR:lfu_luft_00108,USERxBODYURL:artdtl.htm,KATALOG:StMUG,AKATxNAME:StMUG,ALLE:x)=X)

[11] DANISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY [Hrsg.] (2006): Deca-BDE and Alternatives in Electrical and Electronic Equipment, im Internet unter:

<http://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2007/978-87-7052-349-3/pdf/978-87-7052-350-9.pdf>

[12] Environmental Protection Agency (US-EPA) (2014), An Alternatives Assessment for the Flame Retardant Decabromodiphenyl Ether (DecaBDE), im Internet unter:

<http://www.epa.gov/oppt/existingchemicals/pubs/actionplans/aa-for-deca-full-version.pdf>

[13] BAYERISCHES LANDESAMTS FÜR UMWELT [Hrsg.] (2013): Medienübergreifende Umweltanalytik verschiedener persistenter bromierter Flammenschutzmittel, im Internet unter:

[http://www.bestellen.bayern.de/application/stmug_app000007?SID=1196404543&ACTIONxSETVAL\(artdtl.htm,APGxNODENR:200594,AARTxNR:lfu_all_00109,AKATxNAME:StMUG,USERxARTIKEL:suchergebnisse.htm,USERxPORTAL:FALSE\)=Z](http://www.bestellen.bayern.de/application/stmug_app000007?SID=1196404543&ACTIONxSETVAL(artdtl.htm,APGxNODENR:200594,AARTxNR:lfu_all_00109,AKATxNAME:StMUG,USERxARTIKEL:suchergebnisse.htm,USERxPORTAL:FALSE)=Z)

[14] Covaci, A.; Harrad, S.; Abdallah, M. A.-E.; Ali, N.; Law, R. J.; Herzke, D.; de Wit, C. A. Novel brominated flame retardands: A review of their analysis, environmental fate and behaviour, Environment International (2011), 37, 532-556, im Internet unter:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412010002370>

Impressum:

Herausgeber:
Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg

Telefon: 0821 9071-0
Telefax: 0821 9071-5556
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: <http://www.lfu.bayern.de>

Postanschrift:
Bayerisches Landesamt für Umwelt
86177 Augsburg

Bearbeitung:
Ref. 76

Bildnachweis:
LfU

Stand: März 2014

