



umweltbundesamt^U

BROMIERTE FLAMMSCHUTZMITTEL IN DER AQUATISCHEN UMWELT

Wolfgang Moche, Klaudia Stephan und Gerhard Thanner

BERICHTE

BE-243

Wien, 2004



Projektleitung

G.E.Lorbeer.....

Autoren

W.Moche, K.Stephan und G.Thanner.....

Analytik:

K.Braun, P.Futterknecht, W.Moche, K.Stephan.....

Übersetzung

P.Futterknecht.....

Lektorat

S. Schmid-Ruzicka.....

Satz/Layout

W.Moche, G.Thanner.....

Weitere Informationen zu Publikationen des Umweltbundesamtes finden Sie unter: www.umweltbundesamt.at

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Vienna,
Österreich/Austria

Eigenvervielfältigung

Gedruckt auf Recyclingpapier/*Printed on recycling paper*

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2004
Alle Rechte vorbehalten (all rights reserved)
ISBN 3-85457-724-9

ZUSAMMENFASSUNG	2
SUMMARY	4
1 EINLEITUNG	7
2 MESSPROGRAMM.....	10
2.1 Analyisierte Substanzen.....	10
2.2 Untersuchungsmatrices	11
2.2.1 Abwasserproben aus kommunalen und industriellen Abwasserreinigungsanlagen... 11	11
2.2.2 Deponiesickerwässer und altlastennahe Gewässerkörper	13
2.2.3 Klärschlamm.....	14
2.2.4 Sedimente	15
2.2.5 Schwebstoffe.....	17
3 ANALYTIK	18
4 ERGEBNISSE UND DISKUSSION	19
4.1 Abwasser	20
4.1.1 Gehalte.....	20
4.1.2 Kongenerenmuster.....	21
4.2 Deponiesickerwässer und altlastennahe Gewässerkörper.....	25
4.2.1 Gehalte.....	25
4.2.2 Kongenerenmuster.....	26
4.3 Klärschlamm.....	27
4.3.1 Gehalte.....	27
4.3.2 Kongenerenmuster.....	28
4.4 Flusssedimente und Schwebstoffe	29
4.4.1 Gehalte.....	29
4.4.2 Kongenerenmuster.....	31
5 SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	34
6 LITERATUR	35
7 ANHANG.....	36
7.1 Tabellenverzeichnis	36
7.2 Abbildungsverzeichnis	37
7.3 Probenvorreinigung und Messung im Rahmen der PBDE-Analytik.....	38
7.4 Messprotokolle	40

ZUSAMMENFASSUNG

Polybromierte Diphenylether (PBDE) sind Verbindungen mit zwei aromatischen Ringen, die über eine Ether-Brücke verbunden sind und je nach Bromierungsgrad ein bis zehn Bromatome enthalten. Die Substanzklasse umfasst 209 Verbindungen, die sich in Substitutionsgrad und Stellung der Bromatome unterscheiden.

Technische Mischungen dieser Verbindungen werden weltweit in großen Mengen als Flammschutzmittel für Polymere vor allem in der Textil-, Elektronik- und Computerindustrie verwendet. Bei der Herstellung bzw. dem Gebrauch und der Entsorgung von Polymeren, die polybromierte Flammschutzmittel enthalten, können diese in die Umwelt gelangen und sich aufgrund ihrer chemischen Beständigkeit und Lipophilie in der Umwelt und, über die Nahrungskette, im tierischen und menschlichen Gewebe anreichern. Es besteht der Verdacht, dass polybromierte Diphenylether einen Einfluss auf das menschliche Hormonsystem ausüben, sowie neurotoxische Effekte verursachen können.

Im Rahmen der Wassergüteerhebung wurden im Jahr 2003 im Auftrag des BMLFUW monatlich an 32 Messstellen insgesamt 384 Wasserproben aus österreichischen Fließgewässern gezogen und vom Umweltbundesamt auf PBDE analysiert. Es konnten in keiner Probe PBDE nachgewiesen werden.

Parallel dazu wurden vom Umweltbundesamt in den Jahren 2002 und 2003 auch andere gewässerrelevante Matrices, wie z.B. Flusssedimente, Abwässer aus Abwasserreinigungsanlagen, etc., auf den Gehalt an polybromierten Flammschutzmittel untersucht, um einen Überblick über die Belastung der aquatischen Umwelt in Österreich zu erhalten. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in diesem Bericht dargestellt.

Es wurden in den Jahren 2002 und 2003 insgesamt 66 Proben auf 18 polybromierte Diphenylether aus folgenden Matrices untersucht:

- Abwässer aus kommunalen und industriellen Abwasserreinigungsanlagen: 37 Proben
- Deponiesickerwässer und altlastennahe Gewässerkörper: 6 Proben
- Klärschlämme: 8 Proben
- Donausedimente: 13 Proben
- Schwebstoffe (Donau): 2 Proben

In allen 66 Proben konnten polybromierte Diphenylether nachgewiesen werden, wobei die höchsten Konzentrationen die sieben Kongenere BDE 47, BDE 99, BDE 100, BDE 153, BDE 154, BDE 181 und BDE 183 aufweisen. Die Belastungssituation der in dieser Studie untersuchten Matrices mit PBDE ist in Abbildung 1 in einer logarithmischen Graphik als Summe dieser sieben PBDE Kongenere dargestellt. Die Balken geben für jede Matrix den Konzentrationsbereich zwischen Minimum- und Maximumkonzentration an, die Raute zeigt die Lage des Medians. Die Konzentrationsangaben im folgenden Text beziehen sich ebenfalls auf die Summe der Konzentrationen jener sieben Kongenere.

Während die Proben von Abwässern aus den Abwasserreinigungsanlagen und die altlastennahen Grundwasserkörper geringe Konzentrationen (5 ng/l bis 170 ng/l) an PBDE aufweisen, ist in den Deponiesickerwässern schon eine deutliche Belastung (483 ng/l bis 1051 ng/l) erkennbar.

Auch die Donausedimente, mit Ausnahme der Sedimentprobe aus dem Mündungsbereich der Schwechat in die Donau, zeigen ähnliche Belastungen in einem Bereich von 316 ng/kg TS bis 1057 ng/kg TS.

Unerwartet hoch sind die Konzentrationen in den Schwebstoffen (365 ng/kg TS und 1110 ng/kg TS), da die Sedimentproben aus den entsprechenden Bereichen geringere Gehalte aufweisen.

Auffällige höhere Konzentrationen an PBDE, die Summe der oben beschriebenen 7 PBDE Kongenere ergibt 9810 ng/kg TS, weist die Sedimentprobe aus dem Mündungsbereich der Schwechatz in die Donau auf. Hier dürften die Abwässer aus dem nahen Industriegebiet massiven Einfluss haben.

Die höchsten Konzentrationen wurden in den industriell beeinflussten Klärschlammproben nachgewiesen. Wobei die untersuchten Klärschlämme aus der Lederindustrie Konzentrationen im Bereich von 1200 ng/kg TS aufweisen, sind es vor allem die Klärschlämme aus Abwasserreinigungsanlagen mit Einleitern aus der Textilindustrie, die sehr hohe Konzentrationen (46000 ng/kg TS bis 210000 ng/kg TS) an polybromierten Diphenylether enthalten. Von einer landwirtschaftlichen Nutzung derartig belasteter Klärschlämme wird abgeraten.

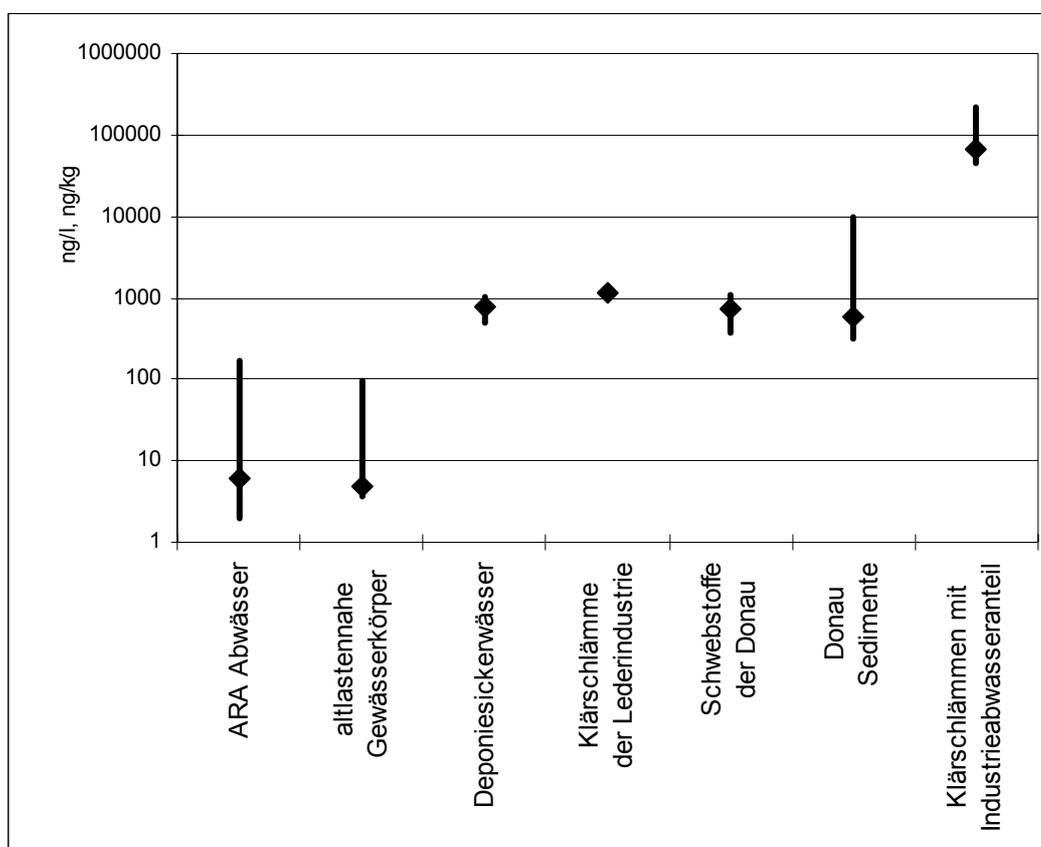


Abbildung 1: Gehalte verschiedener Matrices an PBDE (Summe 7 Kongenere: BDE 47, BDE 99, BDE 100, BDE 153, BDE 154, BDE 181 und BDE 183)

Die Ergebnisse zeigen im Wesentlichen drei Problemzonen Deponiesickerwässer, Sedimente im Einflussbereich von Industriegebieten und industrielle Klärschlämme, die in Bezug auf die Belastung mit PBDE weiter beobachtet werden sollten.

Eine Kontrolle von landwirtschaftlich genutzten Klärschlämmen, bei denen eine Kontamination durch PBDE zu erwarten ist, gefolgt von einer toxikologischen Bewertung über die Unbedenklichkeit der landwirtschaftlichen Nutzung dieser Klärschlämme wäre ebenfalls notwendig.

Aufgrund der Ergebnisse dieser Studie sollten nun weitere Messprogramme geplant und umgesetzt werden. Die Auswirkungen des ab 15. August 2004 gültigen Verbots der Verwendung von Penta- und OctaBDE in Produkten auf die Konzentrationen in der Umwelt sollten durch ein dafür abgestimmtes Monitoringprogramm festgestellt werden.

SUMMARY

Polybrominated diphenylethers (PBDE) are a class of compounds consisting of two aromatic rings joined by an ether bond and between one and ten bromine atoms per molecule depending on the degree of bromination. This class of substances comprises 209 compounds differing in the degree of substitution and the position of the bromines.

Large amounts of these compounds are utilized globally as flame-retardants for polymers – mainly by the computer industry, for electronics and in textiles. While PBDEs can be released into the environment from polymers during several stages of existence (i.e. production and usage as well as during waste disposal) they will accumulate in the environment on account of their chemical inactivity and because of their lipophilic nature PBDEs will also accumulate in animal and human tissue via the food-chain. PBDEs are believed to cause neurotoxic symptoms and there is some concern about PBDEs acting as possible human endocrine disruptors.

In 2003, 384 water samples were analysed by the Umweltbundesamt (the Austrian Federal Environment Agency) for PBDE. The samples were taken at 32 sampling sites situated on watercourses throughout Austria within the scope of the federal water-quality assessment. PBDEs could not be detected in any of the above-mentioned samples.

In parallel, other sites of relevance for the quality of ground and surface water were sampled and analysed for PBDE to survey their environmental impact on the aquatic environment in Austria. The samples concerned, were taken from sewage plant effluents, riverine sediments, etc.

Deployment of flame-retardants has increased significantly over the past few decades. For this reason, the Umweltbundesamt has conducted the following study to gain insight into the PBDE-pollution levels in environmental compartments in Austria, in particular of inshore water.

This report reflects the results obtained from these samples. In total 66 samples, analysed for 18 individual PBDEs, were taken during 2002 and 2003 from the following matrices:

- Treated sewage from municipal and from industrial sewage works: 37 samples
- Landfill leachates and water samples from the vicinity of abandoned sites: 6 samples
- Sewage sludge: 8 samples
- Sediments from the Danube: 13 samples
- Suspended solids from the Danube: 2 samples

Brominated diphenylethers were detected in each of the 66 samples whereby the highest concentrations were measured for the seven congeners BDE 47, BDE 99, BDE 100, BDE 153, BDE 154, BDE 181 and BDE 183. In Figure 1, the environmental stress according to the analysed samples is plotted on a logarithmic scale against the sum of the seven congeners mentioned above. The bars denote the range from minimum to maximum concentrations for a particular type of sample while the rhombus shows the value of the median.

Concentrations specified in the following Text refer to the sum of the concentrations of the same seven congeners as well.

Samples of treated sewage and samples from water bodies in the vicinity of abandoned pollution sites show only relatively low concentrations (5 ng/l to 170 ng/l) whereas landfill leachates show noticeable pollution (482 ng/l to 1051 ng/l).

Sediments from the Danube with the exception of the sample taken from the confluence of the rivers Schwechat and Danube show similar levels of pollution ranging from 316 ng/kg dry matter to 1057 ng/kg dry matter.

The concentrations of PBDE found in the two suspended solids sample taken from the Danube are unexpectedly high, considering that the sediments from the appropriate sampling locations are less polluted.

The sediment sample taken from the confluence of Schwechat and Danube contains 9810 ng/kg dry matter calculated as the sum of the above seven PBDE congeners. This remarkably high value is presumably the result of the impact of effluents from a nearby industrial area.

The highest concentrations recorded in the scope of this survey were found in sewage sludge from treatment plants handling industrial sewage. Sludge from leather processing effluents were shown to contain around 1200 ng/kg dry matter in comparison to the remarkably high values obtained from samples with sewage from textile processing with levels of PBDE concentration in the range of 46000 ng/kg dry matter to 210000 ng/kg dry matter. We must advise against the use of such highly contaminated sludge for agricultural purposes.

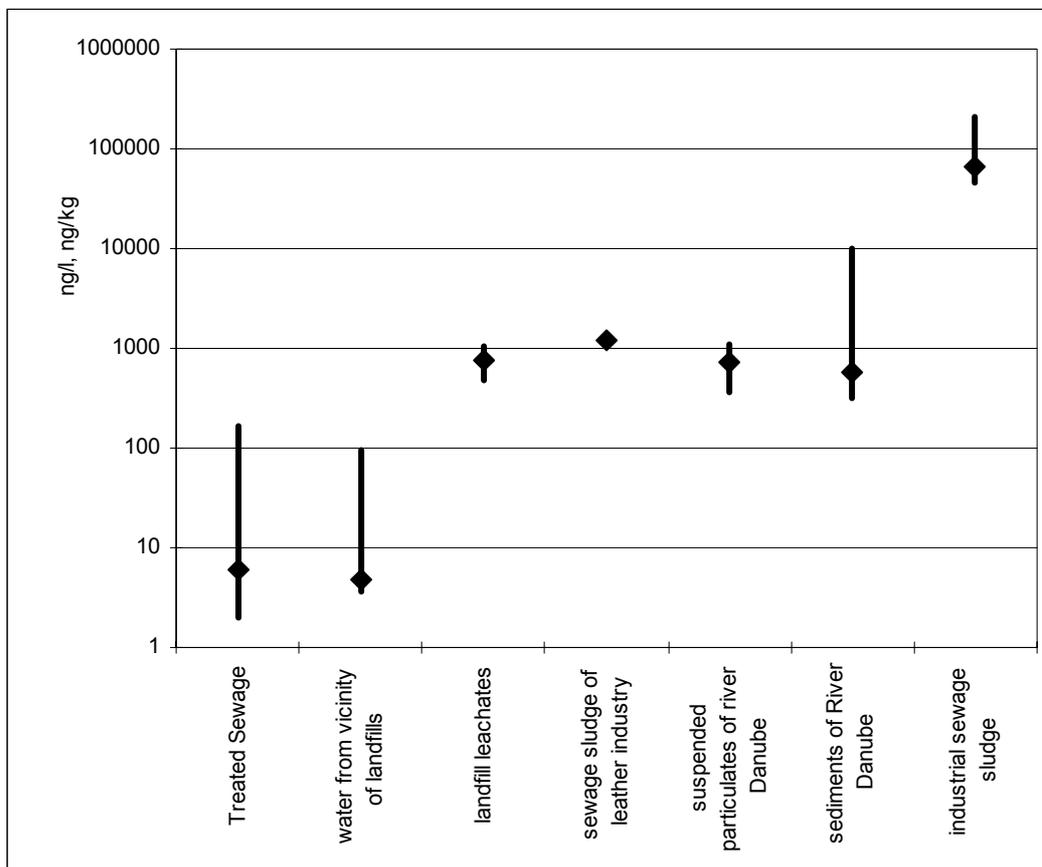


Fig. 1: levels of PBDE (sum of 7 congeners: BDE 47, BDE 99, BDE 100, BDE 153, BDE 154, BDE 181 and BDE 183)

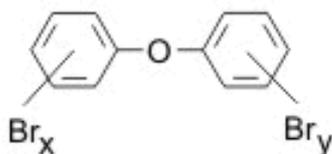
The results obtained from this evaluation point out three main problem areas that demand further observation: landfill leachates, sediments from the sphere of influence of industrial areas and industrial sewage sludge.

Furthermore, there is need for the inspection of sewage sludge intended for agricultural utilisation including the toxicological assessment concerning the innocuousness of contaminated sludge regarding use in agriculture.

Based on the results of this survey further sampling must be considered and implemented. In accordance with the ban imposed on the use of penta- and octaBDE for consumer products valid as from August 15th 2004, further assessments will be necessary to monitor the impact of the ban on the environment.

1 EINLEITUNG

Polybromierte Diphenylether (PBDE) sind Verbindungen mit zwei aromatischen Ringen, die über eine Ether-Brücke verbunden sind und je nach Bromierungsgrad ein bis zehn Bromatome enthalten.



$$x+y= 1 \text{ bis } 10$$

Abbildung 2: Grundstruktur der PBDE

Sie werden in Form von Additiven als Flammschutzmittel in der Textil-, Kunststoff- und Elektronikindustrie eingesetzt. Bedingt durch den Herstellungsprozess sind polybromierte Diphenylether keine Einzelverbindungen, sondern bromhomologe Mischungen, die sich aus unterschiedlichen Isomeren und Kongeneren zusammensetzen. Von kommerziellem Interesse sind die technischen Mischungen Pentabromdiphenylether (PentaBDE), Octabromdiphenylether (OctaBDE) und Decabromdiphenylether (DecaBDE). Tabelle 1 zeigt die technische Zusammensetzung dieser kommerziell wichtigsten Produkte.

Tabelle 1: Zusammensetzung kommerzieller polybromierter Diphenylether

Produkt	Zusammensetzung							
	TriBDE	TetraBDE	PentaBDE	HexaBDE	HeptaBDE	OctaBDE	NonaBDE	DecaBDE
PentaBDE	0-1%	24-38%	50-62%	4-8%				
OctaBDE				10-12%	43-44%	31-35%	9-11%	0-1%
DecaBDE							0,3-3%	97-98%

Weltweit am häufigsten wird DecaBDE, vor allem als Additiv in der Erzeugung von Kunststoffen, Textilien und Schutzüberzügen, eingesetzt. Das *Bromine Science and Environmental Forum* (BSEF) kalkulierte 1999 für DecaBDE einen Gesamtverbrauch von 54.800 t. Nach dem BSEF lag die Produktionsmenge für PentaBDE mit 9.500 t an zweiter Stelle, wobei sich hier die Anwendung auf die Polster- und Möbelindustrie konzentriert. Die Verbrauchsmenge an OctaBDE lag 1999 bei 3.825 t. OctaBDE wird v.a. als additiver Flammschutz in ABS-Applikationen (Acrylnitril-Butadien-Styren) eingesetzt.

Die flammhemmende Wirkung polybromierter Diphenylether beruht auf einer Inhibition des in der Gasphase ablaufenden Radikalkettenmechanismus der Verbrennung. Das aus dem Flammschutzmittel bei erhöhter Temperatur entweichende Brom reagiert mit den die Ver-

brennung unterhaltenden Radikalen als Radikalfänger und hemmt damit den Verbrennungsprozess.

Flammschutzmittel besitzen in Abhängigkeit von ihrer Bromanzahl und ihrer chemischen Struktur hohe Siede- bzw. Zersetzungspunkte (300-400°C) und niedrige Dampfdrücke. Sie sind lipophil und chemisch äußerst stabil. Diese Eigenschaften sind für die Qualität des Brandschutzes entscheidend, wirken sich jedoch nachteilig aus, wenn die Stoffe in die Umwelt gelangen. Bei der Verbrennung polybromierter Diphenylether entstehen Emissionen, die bromierte Dioxine und bromierte Furane enthalten können. Bei der Abfallentsorgung fallen polybromierte Diphenylether als Altlasten an. Ferner können polybromierte Diphenylether bei erhöhten Temperaturen langsam aus Kunststoffen freigesetzt werden.

Polybromierte Diphenylether sind in der Umwelt schwer biologisch abbaubar, sie weisen ein hohes Bioakkumulationspotential auf und können somit den Menschen als Endglied der Nahrungskette belasten.

Zahlreiche Studien belegen die ubiquitäre Verbreitung dieser Verbindungen (DE WIT, 1999; BERGMAN & ÖRN, 2001; WATANABE & SKAI, 2001) in der Luft, in Klärschlamm, Sedimenten und Gewässern (OLIAEI et al., 2002), Lebensmitteln (LIND et al., 2002), Muttermilch (NOREN & MEIRONYTE, 2000; RYAN et al., 2002) in humanem Fettgewebe, Blutserum und Plasma (VAN BAVEL et al., 2002), in der Arbeitsumwelt und in Hausstaub (KNOTH et al., 2002).

Die Aufnahme von polybromierten Diphenylethern aus Nahrungsmitteln wurde von LIND et al. (2002) bestätigt und kann bei Verzehr von Fisch bis zu 650 ng/d betragen, bei Fleisch und Huhn bis 8 ng/d, bei Gemüse bis 12 ng/d und Eiern bis 4 ng/d.

In einer schwedischen Studie (NOREN & MEIRONYTE, 2000) wurde eine Zunahme polybromierter Diphenylether in der Muttermilch zwischen 1972 und 1997 festgestellt mit einer Verdoppelung der Gehalte alle fünf Jahre. Ab 1998 bis 2000 wurde ein Rückgang polybromierter Diphenylether in Muttermilch beobachtet. Dabei wurde das Kongener BDE 47 in allen untersuchten Proben gefunden und betrug zwischen 60 % und 70 % der Gesamtbelastung. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass die Belastung der Muttermilch mit den in Blutplasma gemessenen Werten korrespondiert und bei 2–3 ng/g Fett liegt.

Bei Untersuchungen in Kanada, Japan, den USA und Deutschland wurden unterschiedliche Konzentrationen polybromierter Diphenylether in Muttermilch gefunden (z.B. in Deutschland: 0,6-11 ng/g Fett), wobei auch hier das Kongener BDE 47 dominiert.

Nach LIND et al. (2002) erfolgt die Aufnahme polybromierter Diphenylether durch den Menschen hauptsächlich über die Nahrungskette, davon schätzungsweise 50 % durch den Verzehr von Fisch. Personen, die in Betrieben arbeiten, in denen Flammschutzmittel hergestellt werden bzw. in denen mit Flammschutzmitteln hantiert wird, weisen eine erhöhte Konzentration von polybromierten Diphenylethern im Blut auf. In dieser Personengruppe wurden Konzentrationen gefunden, die bis zu 26 ng/g Blutfett betragen, während die Werte in der Gruppe der Personen, die diesen Belastungen nicht ausgesetzt sind, bei 1-6 ng/g Blutfett liegen. Im Fall der Belastung am Arbeitsplatz erfolgt die Aufnahme an polybromierten Diphenylethern hauptsächlich über die Atemluft.

In einer schwedischen Mutter-Kind Studie (VAN BAVEL et al., 2002) wurden bei 5 % der untersuchten Personen erhöhte PBDE-Gehalte im Blut (>30 ng/g Blutfett gegenüber 16 ng/g Blutfett) festgestellt, wobei hohe Konzentrationen polybromierter Diphenylether im Blut der Mutter mit hohen Konzentrationen polybromierter Diphenylether im Blut des Kindes korrelieren. Da keine der Mütter an ihrem Arbeitsplatz mit Flammschutzmitteln hantiert hatte, wird vermutet, dass die Belastung u.a. aus dem Wohnumfeld stammt.

Toxikologische Studien lassen vermuten, dass einige Flammschutzmittel wesentlich gesundheitsgefährdender sind, als ursprünglich angenommen (BERGMAN & ÖRN, 2001). Polybromierte Diphenylether werden im Organismus hydroxiliert und zu polybromierten

Phenoxyphenolen metabolisiert. Diese weisen eine sehr hohe Bindungsaffinität an das Schilddrüsenhormon Thyroxin auf und verlangsamen als Konkurrenten des Thyroxin-Transport-Proteins (TTP) den Thyroxinkreislauf. Von einigen Verbindungen dieser Substanzklasse wird vermutet, dass sie östrogene Wirkung aufweisen. Neurotoxikologische Effekte sind u.a. von ERIKSSON et al. (1998) im Tierversuch belegt.

Die vorliegenden Daten zeigen, dass die Belastung der Umwelt und des Menschen durch polybromierte Diphenylether von Land zu Land sehr unterschiedlich ist (WATANABE & SKAI, 2001). Die derzeit vorliegenden Umweltstudien weisen darauf hin, dass die Gehalte an BDE 47, BDE 99 und BDE 100 in der Umwelt seit 1970 zunehmen. Die Trends in baltischen und schwedischen Fisch zeigen jedoch einen Rückgang polybromierter Diphenylether ab 1990. Aus diesen Gründen und um mögliche Langzeitfolgen für Mensch und Umwelt einschätzen zu können, sind daher weitere Studien notwendig.

Polybromierte Diphenylether zählen zu den Altstoffen und müssen gemäß der EG-Altstoffverordnung (793/93 EEC) entsorgt werden. Aufgrund der Jahrestonnage wurden PentaBDE, OctaBDE und DecaBDE auf die erste und zweite EU-Prioritätenliste gesetzt. Sie werden ebenfalls mit Priorität im Rahmen der *Oslo and Paris Commission* zum Schutz der marinen Umwelt des Nord-Ost Atlantiks (OSPARCOM), des HARP-HAZ Projektes (*Harmonised Quantification and Reporting Procedures for Hazardous substances*), der *Helsinki-Commission* (HELCOM) und der *EU-Wasser-Rahmen-Richtlinie* (2000/60/EC) behandelt.

Im Rahmen der Altstoffbewertung der EU und OECD werden polybromierte Diphenylether seit 1997 ausführlich diskutiert. Um die Folgen für Mensch und Umwelt besser bewerten zu können, werden sogenannte *Risk Assessment Reports* von den einzelnen Mitgliedstaaten erstellt. Die Bewertung von toxikologischen, ökotoxikologischen Daten und Umweltdaten ergab die Notwendigkeit, die von PentaBDE ausgehende Gefährdung einzuschränken. Als erste Maßnahme wurde die Richtlinie 76/769 EWG geändert. Diese Richtlinie sieht ein Verbot des Inverkehrbringens und der Verwendung von PentaBDE und OctaBDE als Stoff, in Zubereitungen und in Erzeugnissen mit einem Grenzwert von 0,1 Gew.% vor. Die Richtlinie wird im Rahmen der Chemikalienverbots-Verordnung mit 1. August 2003 in nationales Recht umgesetzt, das Verbot zu Verwendung dieser Substanzen gilt ab 15. August 2004.

Das Europäische Parlament und der Rat planen im Rahmen der Kommission der EU ein generelles Verbot ab 2004 für bromierte organische Verbindungen in Kunststoffen im Bereich der Informationstechnologie. Zusätzlich sieht die Ergänzung zur WEEE-Richtlinie (*Waste Electrical and Electronic Equipment*) u.a. eine Substitution polybromierter Flammschutzmittel in elektrischen und elektronischen Produkten ab dem 1. Jänner 2008 vor.

Auf nationaler und internationaler Ebene existieren zahlreiche Instrumente, die sich mit der Risikobewertung von polybromierten Flammschutzmitteln und möglichen Minderungsmaßnahmen befassen, wie z.B. IPCS (*International Programme on Chemical Safety*) oder UNEP-POP (*United Nations Environment Programme; persistent organic pollutants*). Darüberhinaus befassen sich zahlreiche Studien und Projekte mit der Entwicklung, der Toxikologie und dem Umweltverhalten alternativer Flammschutzmittel, wie z. B. UFOPLAN, COMPREHEND, AMAP, BROCC.

Internationale Umweltzeichen unterstützen die Produktion und den Vertrieb flammgeschuttmittelfreier bzw. -reduzierter Produkte, z.B. *Blauer Engel*, *Nordic Swan*, *EU Flower*, *TCO*, *Umweltzeichen*, *Stichting Milieukeur*.

2 MESSPROGRAMM

Nach einer ersten Studie über die Verwendung bromierter Flammschutzmittel in Kunststoff- und Textilprodukten im Rahmen der Chemikalieninspektion (LORBEER, G. & HANUS-ILLNAR, A., 2001) hat das Umweltbundesamt 2002 und 2003 diese nun vorliegende Studie über die Verbreitung polybromierter Diphenylether in der Umwelt durchgeführt. Ziel dieser Untersuchung war es, einen Überblick über die Belastung der Gewässer bzw. gewässerrelevanten Matrices in Österreich zu erhalten.

2.1 Analyisierte Substanzen

Die im Rahmen dieser Studie analysierten Substanzen sind in Tabelle 2 aufgelistet. Bestimmt wurden insgesamt 18 Kongenere der Substanzgruppe der polybromierten Diphenylether (PBDE).

Tabelle 2: IUPAC-Nomenklatur und Kurzbezeichnungen (äquivalent zu den Polychlorierten Biphenylen) der analysierten polybromierten Diphenylether (PBDE)

IUPAC - Nomenklatur	Kurzbezeichnung
3,3'- Dibromodiphenylether	BDE-11
2,2',4- Tribromodiphenylether	BDE-17
2,3',4- Tribromodiphenylether	BDE-25
2,4,4'- Tribromodiphenylether	BDE-28
2,2',4,4'- Tetrabromodiphenylether	BDE-47
2,2',4,5'- Tetrabromodiphenylether	BDE-49
3,3',4,4'- Tetrabromodiphenylether	BDE-77
2,2',4,4',5- Pentabromodiphenylether	BDE-99
2,2',4,4',6- Pentabromodiphenylether	BDE-100
2,3,4,5,6- Pentabromodiphenylether	BDE-116
2,2',3,4,4',5'- Hexabromodiphenylether	BDE-138
2,2',3,4,4',6'- Hexabromodiphenylether	BDE-140
2,2',4,4',5,5'- Hexabromodiphenylether	BDE-153
2,2',4,4',5,6'- Hexabromodiphenylether	BDE-154
2,2',4,4',6,6'- Hexabromodiphenylether	BDE-155
2,3,4,4',5,6- Hexabromodiphenylether	BDE-166
2,2',3,4,4',5,6- Heptabromodiphenylether	BDE-181
2,2',3,4,4',5',6- Heptabromodiphenylether	BDE-183

2.2 Untersuchungsmatrices

Im Rahmen dieser vom Umweltbundesamt durchgeführten Studie wurden insgesamt 66 Proben aus folgenden Matrices untersucht:

- Abwasserproben aus kommunalen und industriellen Abwasserreinigungsanlagen
- Deponiesickerwässer und altlastennahe Gewässerkörper
- Klärschlämme aus industriell beeinflussten Abwasserreinigungsanlagen
- Donausedimente entlang der Fließstrecke der Donau durch Österreich
- Schwebstoffe aus der Donau

Aus ökonomischen Gründen wurde bei allen Matrices auf Proben zurückgegriffen die im Rahmen anderer Projekte gezogen wurden. Die detaillierte Probenbeschreibung und Probenauswahl ist, sofern nicht in den folgenden Kapiteln beschrieben, in den entsprechenden Publikationen zu finden: Projekt ARCEM (*Austrian Research Cooperation on Endocrine Modulators*), Perfluorierte Anionische Tenside in österreichischen Industrieabwässern (HOHENBLUM, P.; SCHARF, S.; SITKA, S., 2003), Untersuchung von Donausedimenten und Schwebstoffen auf ausgewählte organische Stoffe (UMWELTBUNDESAMT 2004). Die Klärschlammproben wurden von den Ämtern der burgenländischen und Vorarlberger Landesregierungen zur Verfügung gestellt.

2.2.1 Abwasserproben aus kommunalen und industriellen Abwasserreinigungsanlagen

Der Großteil der Proben (33 von 37) wurde im Rahmen eines vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) in Auftrag gegebenen Projektes ausgewählt. Ziel des Projektes war, möglichst viele bis alle Großeinleiter von komplexierenden Substanzen zu erfassen, um langfristig eine Verminderung der Emission schwer abbaubarer Komplexbildner in Österreich zu erreichen.

Die Probenauswahl für die vorliegende Studie erfolgte aus dem Probenpool des oben beschriebenen Projekts nach der Größe der Betriebe bzw. Abwasserreinigungsanlagen und dem potentiellen Einsatz an polybromierten Flammschutzmittel in den Betrieben.

Von den insgesamt 37 Wasserproben stammen 23 Proben aus kommunalen Abwasserreinigungsanlagen und wurden mit K-ARA-X, wobei X für die fortlaufende Nummerierung steht, bezeichnet. Davon wurden 21 Proben aus den Abläufen dieser Abwasserreinigungsanlagen gezogen. Bei einer Kläranlage wurden zusätzlich zwei Proben mit den Probenbezeichnungen K-ARA-X-Za bzw. K-ARA-X-Zb aus dem Zulauf gezogen.

Zwölf Proben mit den Bezeichnungen I-ARA-X wurden aus den Abläufen industrieller Abwasserreinigungsanlagen entnommen: zwei aus Abwasserreinigungsanlagen der Elektronikindustrie, eine aus einer Abwasserreinigungsanlage der Fotoindustrie, eine aus einer Abwasserreinigungsanlage der metallverarbeitenden Industrie, sechs aus Abwasserreinigungsanlagen der Papierindustrie und zwei aus Abwasserreinigungsanlagen der Textilindustrie.

Zwei Wasserproben mit den Probenbezeichnungen M-ARA_X stammen aus den Abläufen von Abwasserreinigungsanlagen, die mit kommunalen und einem hohen Anteil industrieller Abwässer gespeist werden.

Eine tabellarische Übersicht der analysierten Abwasserproben (37 Proben) ist in Tabelle 3 auf Seite 12 zu finden.

Tabelle 3: Proben aus Zu- und Abläufen industrieller und kommunaler Abwasserreinigungsanlagen (Beprobung: 3. Quartal 2001, 3. Quartal 2002; 37 Proben)

Bezeichnung	Herkunft des Abwassers	Art der Probe	Einleiter
K-ARA-1	kommunal	M / A	D
K-ARA-2	kommunal	S / A	D
K-ARA-3	kommunal	M / A	D
K-ARA-4	kommunal	S / A	D
K-ARA-5-Za	kommunal	M / Z	D
K-ARA-5-Zb	kommunal	M / Z	D
K-ARA-5-A	kommunal	M / A	D
K-ARA-6	kommunal	M / A	D
K-ARA-7	kommunal	M / A	D
K-ARA-8	kommunal	M / A	D
K-ARA-9	kommunal	M / A	D
K-ARA-10	kommunal	M / A	D
K-ARA-11	kommunal	M / A	D
K-ARA-12	kommunal	M / A	D
K-ARA-13	kommunal	M / A	D
K-ARA-14	kommunal	M / A	D
K-ARA-15	kommunal	M / A	D
K-ARA-16	kommunal	M / A	D
K-ARA-17	kommunal	M / A	D
K-ARA-18	kommunal	M / A	D
K-ARA-19	kommunal	M / A	D
K-ARA-20	kommunal	M / A	D
K-ARA-21	kommunal	S / A	D
M-ARA-1	kommunal, Petrochemie, chemische Industrie, Brauerei, Flughafen	M / A	D
M-ARA-2	kommunal, Textilproduktion, Nahrungsmittelindustrie		
I-ARA-1	Elektronikproduktion	M / A	I
I-ARA-2	Elektronikproduktion	S / A	D
I-ARA-3	Fotolabor	M (10 h) / A	I
I-ARA-4	Papierproduktion	M / A	D/bA
I-ARA-5	Papierproduktion	M / A	D/bA
I-ARA-6	Papierproduktion	M / A	D/bA
I-ARA-7	Papierproduktion	M / A	D/bA
I-ARA-8	Papierproduktion	M / A	D/bA
I-ARA-9	Papierproduktion	S / A	D/bA
I-ARA-10	Metallverarbeitung	M / A	I
I-ARA-11	Textilproduktion	S / A	I
I-ARA-12	Textilproduktion	S / A	I

K-ARA-X... Kommunale Abwasserreinigungsanlage

M-ARA-X...gemischte, kommunale und industrielle Abwasserreinigungsanlage

I-ARA-X...industrielle Abwasserreinigungsanlage

K-ARA-5-A, K-ARA-5-Z...Probe aus Ablauf, bzw. Zulauf einer Abwasserreinigungsanlage

M / A...Mischprobe (Dauer der Beprobung in h, wenn nicht 24h) / Ablauf

M / Z...Mischprobe / Zulauf

S / A...Stichprobe / Ablauf

D...Direkteinleiter

D/bA...Direkteinleiter, jedoch über betriebseigene ARA (haupts. Papierfabriken)

I...Indirekteinleiter

2.2.2 Deponiesickerwässer und alllastennahe Gewässerkörper

Die Messstellenauswahl der Deponiesickerwässer und alllastennahen Gewässerkörper erfolgte im Rahmen des Projektes ARCEM (*Austrian Research Cooperation on Endocrine Modulators*).

In den Untersuchungsumfang wurden sowohl Grundwässer, welche durch Altlasten beeinflusst sind, als auch Deponiesickerwässer aufgenommen. Letztere wurden untersucht, um - für den Fall, dass bei den Grundwasserproben keine oder geringe Messwerte bestimmt werden - eine Abschätzung des Potentials zu ermitteln, welches in Deponien in Hinblick auf die ausgewählten Substanzen vorhanden ist.

Tabelle 4: Altlastenproben (Beprobung: 4. Quartal 2001, 6 Proben)

Bezeichnung	Art der Probe	Bundesland	Beschreibung
DSW 1	Deponiesickerwasser	Tirol	Deponie mit massiv belastetem Sickerwasser
DSW 2	Deponiesickerwasser	Burgenland	Deponie mit Grundwasserbeeinträchtigung
GW 2	Grundwasser	Burgenland	Deponie mit Grundwasserbeeinträchtigung
GW 3	Grundwasser	Oberösterreich	Deponie mit bedeutendem Grundwasservorkommen
GW 4 A	Grundwasser	Steiermark	nicht sanierte Deponie
GW 4 B	Grundwasser	Steiermark	nicht sanierte Deponie

Bei den Proben G 4A und G 4B handelt es sich um Grundwasserproben aus dem Einflussbereich derselben nicht sanierten Deponie, wobei G 4A der zur Deponie näher gelegene Standort ist.

2.2.3 Klärschlamm

Die Klärschlammproben stammen aus industriellen Kläranlagen bzw. aus kommunalen Kläranlagen mit bedeutendem Anteil an industriellem Abwasser. Sämtliche Klärschlammproben wurden von den Ämtern der Burgenländischen bzw. Vorarlberger Landesregierungen dem Umweltbundesamt für dieses Projekt zur Verfügung gestellt.

Tabelle 5: Klärschlammproben (Beprobung: 3.+4. Quartal 2002, 8 Proben)

Klärschlämme		
Bezeichnung	Art der Probe	Einleiter / Anlage
KS-1	Klärschlamm entwässert	Lederindustrie
KS-2	Belebtschlamm	Lederindustrie
KS-3	Klärschlamm	Textilindustrie
KS-4	Klärschlamm	kommunale AW Nahrungsmittelindustrie hohe BSB-Zulaufmengen
KS-5	Klärschlamm	kommunale AW Textilindustrie, Metallindustrie geringer Auslastungsgrad
KS-6	Klärschlammdünger	kommunale AW Textilindustrie, Metallindustrie geringer Auslastungsgrad
KS-7	Klärschlamm	80% industrielle AW Nahrungsmittelindustrie Textilindustrie, Metallindustrie hoher Auslastungsgrad
KS-8	Klärschlamm	kommunale AW Textilindustrie Nahrungsmittelindustrie hohe CSB-Zulaufmengen

AW...Abwässer

2.2.4 Sedimente

Untersucht wurden 13 Sedimentproben, die entlang der Fließstrecke der Donau durch Österreich entnommen wurden. In Abbildung 3 sind die Probenahmestellen eingezeichnet.

Die Beprobung erfolgte im Rahmen des Projekts „JDS 2001“ (*Joint Danube Survey*) mit Hilfe des Forschungsschiffes „Argus“ entlang der 320 Kilometer langen Fließstrecke der Donau durch Österreich an acht von JDS ausgewählten Stromkilometern (Untersuchung von Donausedimenten und Schwebstoffen auf ausgewählte organische Stoffe, UMWELT-BUNDESAMT 2004). An fünf Stellen (Aschach, Asten, Ybbs, Greifenstein und Wildungsmauer) wurden sowohl nahe dem rechten als auch dem linken Donauufer Sedimentproben entnommen. An der Probenahmestelle „Wallsee“ wurde in der Nähe des linken Donauufers beprobt, an der Probenahmestelle „Klosterneuburg“ nur in der Nähe des rechten Donauufers.

Die oberhalb von Wien gelegenen Probenahmestellen (Aschach, Asten, Ybbs, Greifenstein) liegen im Staubereich von Wasserkraftwerken mit Ausnahme der Probenahmestelle „Klosterneuburg“, die oberhalb des Staubereiches des Wasserkraftwerkes Freudenau innerhalb einer freien Fließstrecke der Donau liegt.

Die Probenahmestelle „Wildungsmauer“ befindet sich unterhalb Wiens und ebenfalls im Bereich einer freien Fließstrecke der Donau.

Tabelle 6: Liste der aus den Donausedimenten gezogenen Proben (Beprobung: 3. Quartal 2001, 13 Proben)

Sedimente	
Bezeichnung	Probenahmestelle Ort / Donauufer
JDS - 07 R	Aschach / rechts
JDS - 07 L	Aschach / links
JDS - 08 R	Asten / rechts
JDS - 08 L	Asten / links
JDS - 09	Wallsee / links
JDS - 10 R	Ybbs / rechts
JDS - 10 L	Ybbs / links
JDS - 11 R	Greifenstein / rechts
JDS - 11 L	Greifenstein / links
JDS - 12	Klosterneuburg / rechts
JDS - 13	Schwechat
JDS - 14 R	Wildungsmauer / rechts
JDS - 14 L	Wildungsmauer / links

Mit "Schwechat" ist eine Probe bezeichnet, welche im Mündungsbereich des Flusses Schwechat in die Donau unterhalb Wiens gezogen wurde. Die Abwasserreinigungsanlage „Schwechat“ verarbeitet das Abwasser der gesamten Region, in der u.a. der Flughafen und diverse Industrien (kunststoffverarbeitende Industrie, Petrochemie, chemische Industrie, Brauerei, etc.) angesiedelt sind und nutzt den Fluss Schwechat als Vorfluter.

2.2.5 Schwebstoffe

An zwei Probenahmestrecken entlang der Donau wurde je eine Schwebstoffprobe entnommen. Die Proben wurden zwischen Engelhartzell (JDS - 06) und Aschach (JDS - 07), sowie zwischen Ybbs / Persenbeug (JDS - 09) und Melk entnommen (siehe auch Abbildung 3). Zur Abtrennung der Schwebstoffe wurde das Flusswasser an Bord des Schiffes zentrifugiert.

Tabelle 7: Liste der Schwebstoffproben aus der Donau (Beprobung: 3. Quartal 2001, 2 Proben)

Schwebstoffe	
Bezeichnung	Probenahmebereich
JDS-06 - JDS-07	Engelhartzell (JDS-6) bis Aschach (JDS-7)
JDS-10 – Melk	Ybbs / Persenbeug (JDS-10) bis Melk

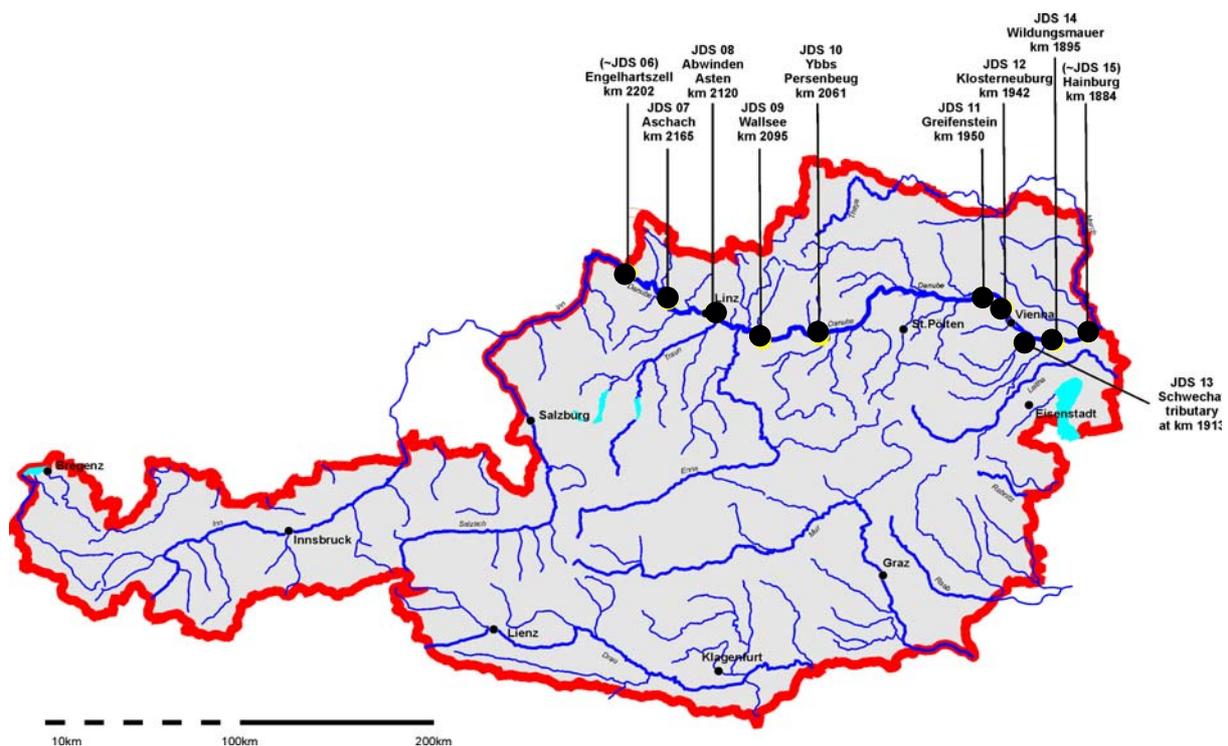


Abbildung 3: Probenahmestellen der Sedimente und Schwebstoffe aus der Donau

3 ANALYTIK

Die Bestimmung der PBDE wurde in Anlehnung an die von KNOTH et al. (2002) beschriebene Analysenmethode im Labor des Umweltbundesamtes durchgeführt.

Für die Analyse von Festproben wurden jeweils 10 g gefriergetrocknete Probe eingesetzt, für die Analyse von Wasserproben jeweils 500 ml Probe. Die Proben wurden vor der Extraktion mit acht $^{13}\text{C}_{12}$ -markierten PBDE-Kongeneren dotiert.

Nach einer Soxhletextraktion mit Toluol für feste Proben bzw. einer flüssig-flüssig Extraktion mit Toluol für Wasserproben, wurden die Extrakte einer vierstufigen, säulenchromatographischer Reinigung unterzogen. Eine detaillierte Beschreibung dieser Probenreinigung ist im Anhang angeführt.

Die gereinigten Extrakte wurden mit einem $^{13}\text{C}_{12}$ -markierten Injektionsstandard versetzt. Die qualitative und quantitative Bestimmung der polybromierten Diphenylether erfolgte mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie-Kopplung über eine DB5 Kapillarsäule bei einer Massenauflösung von >8000.

Quantifiziert wurde nach der Isotopenverdünnungsmethode bzw. nach der Internen-Standard-Methode für jene Kongenere für die kein Surrogatstandard verfügbar war.

Die Nachweisgrenze wurde für jede Probe und jedes Kongener über das Signal-Rausch-Verhältnis ermittelt und liegt bei festen Proben zwischen 0,1 ng/kg und 2000 ng/kg und für Wasserproben zwischen 0,001 ng/l und 0,1 ng/l. Die für die jeweilige Probe gültigen Nachweisgrenzen sind im Anhang den Messprotokollen zu entnehmen.

4 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

In den folgenden Kapiteln sind die Ergebnisse aller analysierten Kongenere nach Matrix geordnet unter Angabe von Minimum-, und Maximumkonzentrationen, Mittelwerten und Medianen zusammengefasst. Die Messprotokolle mit den kongenerenspezifischen Ergebnissen sind für jede Probe inklusive der Nachweisgrenzen im Anhang angegeben.

In allen 66 Umweltproben konnten polybromierte Diphenylether nachgewiesen werden. Die Konzentrationen reichen von einigen pg/l in den Abwasserproben bis zu mehreren zehntausend ng/kg TS in den Klärschlammproben.

Das in der Literatur beschriebene häufige Auftreten von BDE 47, BDE 99 und BDE 100 konnte bestätigt werden, diese drei Kongenere, aber auch das Kongener BDE 153, wurden in allen 66 Proben detektiert. Die beiden Kongenere BDE 154 und BDE 183 konnten in 65 Proben nachgewiesen werden. Diese sechs Kongenere, ergänzt durch das Kongener mit der im Rahmen dieser Studie höchsten gemessenen Konzentration, BDE 181, wurden daher in den folgenden Kapiteln für vergleichende Betrachtungen herangezogen. Die Gehalte der Proben an diesen sieben Kongeneren (BDE 47, BDE 99, BDE 100, BDE 153, BDE 154, BDE 181, BDE 183) sind in den folgenden Kapiteln als Säulendiagramme abgebildet.

Für diese sieben Kongenere (BDE 47, BDE 99, BDE 100, BDE 153, BDE 154, BDE 181, BDE 183) wurden die höchsten Konzentrationen in Klärschlämmen mit Industrieabwasseranteil gefunden, wobei Leder- und Papierindustrie nur geringen Einfluss zu haben scheinen. Dann folgen entsprechend ihrer Gehalte an PBDE in absteigender Reihenfolge: Donausedimente, Schwebstoffe der Donau, Klärschlämme der Lederindustrie, Deponiesickerwässer, alllastennahe Gewässerkörper und Abwässer von kommunalen Abwasserreinigungsanlagen und Abwasserreinigungsanlagen diverser Industrien.

In beinahe allen Proben bildete eines der drei Kongenere BDE 47, BDE 99 bzw. BDE 183 die Hauptkomponente im Kongenerenmuster. In mehr als der Hälfte aller Fälle war dies das Kongener BDE 47. In einer Probe war das Kongener BDE 100 die Hauptkomponente in drei Proben das Kongener BDE 181.

In einer Vielzahl von Proben war ein hoher Anteil des Kongeners BDE 47 an der gemessenen Gesamtbelastung an PBDE mit einem hohen Anteil des Kongeners BDE 99 verbunden. Der Anteil des Kongeners BDE 183 an der Gesamtbelastung variiert von 0 % bis 75 % und korreliert mit dem Kongener BDE 181, wenn auch nicht so deutlich wie die beiden Kongenere BDE 47 und BDE 99.

Die Tatsache, dass entweder die niedrig bromierten Kongenere oder die höher bromierten Kongenere dominieren, scheint auf eine Belastung der Proben mit unterschiedlichen PBDE-Produkten hinzuweisen. In einigen wenigen Proben sind die Gehalte an niedrig bromierten Kongeneren ähnlich den Gehalten an höher bromierten, was auf eine Belastung mit mehreren PBDE-Produkten hinzudeuten scheint.

4.1 Abwasser

4.1.1 Gehalte

Die Gehalte der in den Abwasserproben kommunaler und industrieller Abwasserreinigungsanlagen analysierten 18 PBDE-Kongenerere sind in Tabelle 8 als Minimum-, Maximumwerte, Mediane und Mittelwerte angegeben. Die Konzentrationen der sieben wichtigsten Kongenerere (BDE 47, BDE 99, BDE 100, BDE 153, BDE 154, BDE 181 und BDE 183) in den Abwasserproben sind als Säulendiagramme in Abbildung 4 bis Abbildung 9 dargestellt.

Die Gehalte an PBDE in den Abwasserproben aus kommunalen und industriellen Abwasserreinigungsanlagen lagen bis auf wenige Ausnahmen unter 10 ng/l und waren damit verhältnismäßig gering. Es konnten die Kongenerere BDE 47, BDE 99, BDE 100 und BDE 153 in allen Abwasserproben, die Kongenerere BDE 49, BDE 154 und BDE 183 mit einer Ausnahme ebenfalls in allen Abwasserproben nachgewiesen werden.

Tabelle 8: Minimum-, Maximumwerte, Mediane und Mittelwerte von PBDE im Abwasser kommunaler und industrieller Abwasserreinigungsanlagen (37 Proben)

PBDE	MIN ng/l	MAX ng/l	MED ng/l	MW ng/l
# 11	n.n.	0.21	n.n.	0.0077
# 17 / 25	n.n.	0.24	0.018	0.033
# 28	n.n.	0.89	0.07	0.12
# 47	0.21	17	2.6	3.5
# 49	n.n.	11	0.068	0.48
# 77	n.n.	0.31	0.005	0.022
# 99	0.037	16	1.1	2.1
# 100	0.091	3.3	0.29	0.53
# 116	n.n.	0.57	n.n.	0.028
# 138	n.n.	3.1	0.047	0.15
# 140	n.n.	0.68	0.011	0.034
# 153	0.086	12	0.31	0.72
# 154	n.n.	5.3	0.089	0.31
# 155	n.n.	0.64	0.013	0.039
# 166	n.n.	1.4	n.n.	0.042
# 181	n.n.	40	n.n.	1.1
# 183	n.n.	75	0.98	4.3

n.n. Nicht nachweisbar

Die höchsten Gehalte wies eine Abwasserprobe einer industriellen Abwasserreinigungsanlage mit Einleitern aus der Textilindustrie mit Konzentrationen von 17 ng/l für BDE 47, 11 ng/l für BDE 49, 16 ng/l für BDE 99, 12 ng/l für BDE 153, 40 ng/l für BDE 181 und 75 ng/l für BDE 183 auf.

Aber auch die niedrigsten Konzentrationen der Kongenere BDE 47 mit 0,21 ng/l und BDE 183 unter der Nachweisgrenze wurden in einer Abwasserprobe aus einer Abwasserreinigungsanlage mit Einleitern der Textilindustrie nachgewiesen. In dieser Probe wiesen die Kongenere BDE 49 mit 4 ng/l und BDE 100 mit 2 ng/l die höchsten Konzentrationen auf. Dieses Kongenerenmuster unterscheidet sich signifikant von allen anderen Abwasserproben.

4.1.2 Kongenerenmuster

In 26 der 37 Abwasserproben aus bildete BDE 47 die Hauptkomponente mit einem Anteil von mehr als 30 % an der Gesamtbelastung mit PBDE. In neun dieser 26 Proben betrug der Anteil an BDE 47 an der Gesamtbelastung mehr als 50 %.

In neun Proben bildete BDE 183 den Hauptanteil der Gesamtbelastung. In zwei Proben war der Anteil an BDE 183 größer als 40 %, in fünf Proben größer als 50 % und in zwei Proben größer als 70 %.

In einer kommunalen Abwasserprobe bildete das Kongener BDE 99 mit einem Anteil von etwa 45 % den Hauptanteil an der Gesamtbelastung, in einer Abwasserprobe der Textilindustrie war BDE 100 mit einem Anteil von mehr als 50 % die Hauptkomponente. In beiden Proben war der geringe Anteil an BDE 183 mit 5% bzw. „nicht nachweisbar“ auffällig.

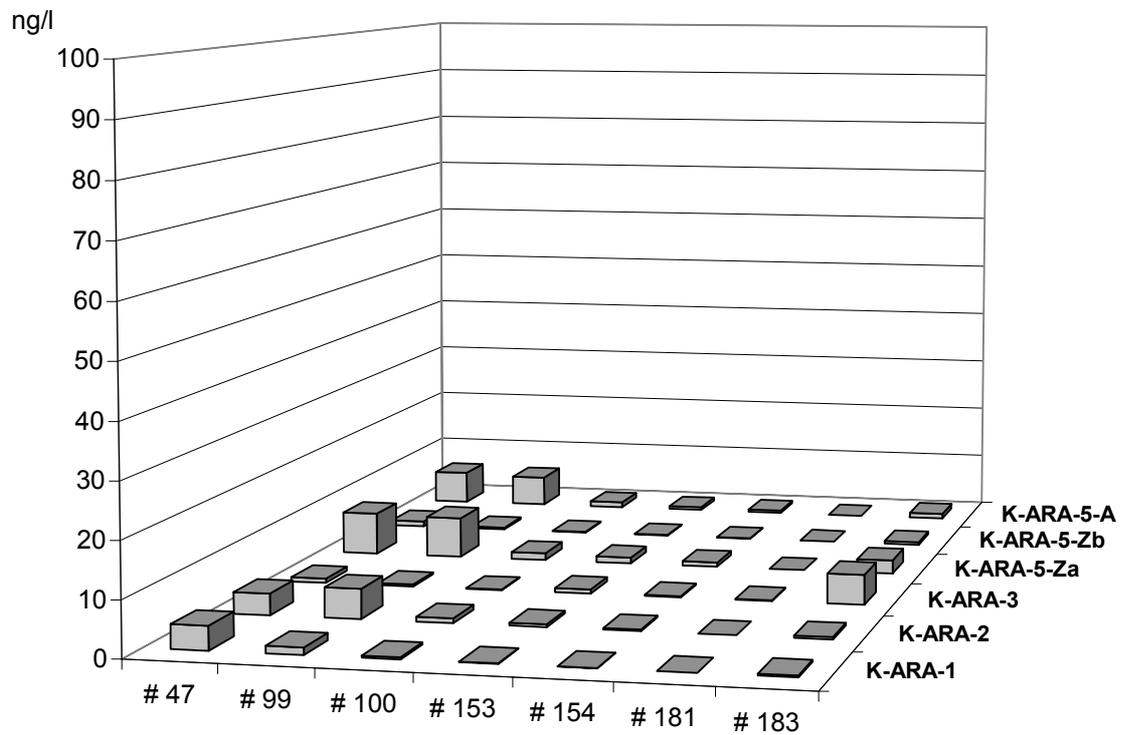


Abbildung 4: PBDE im Abwasser kommunaler Abwasserreinigungsanlagen (Teil 1)

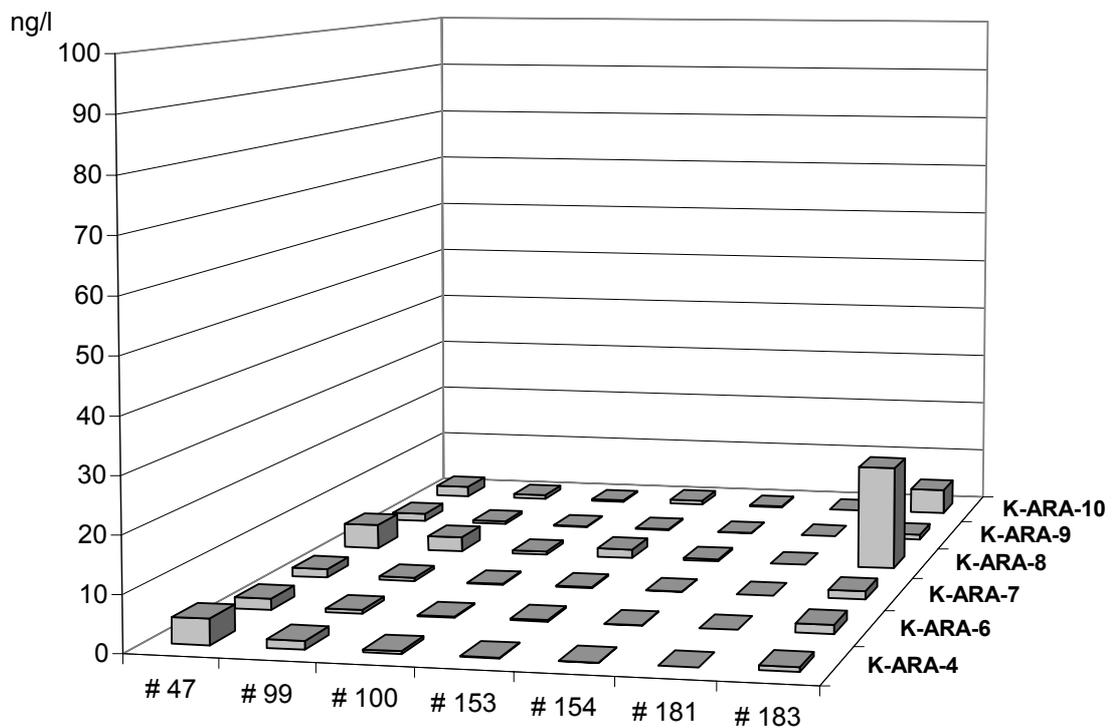


Abbildung 5: PBDE im Abwasser kommunaler Abwasserreinigungsanlagen (Teil 2)

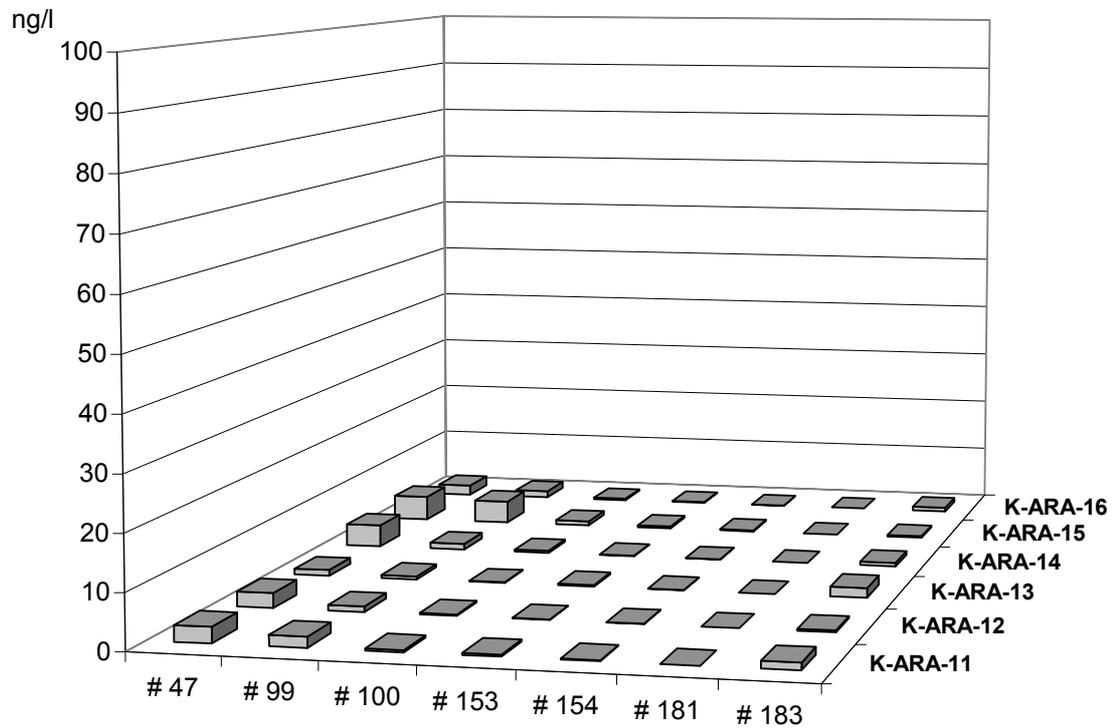


Abbildung 6: PBDE im Abwasser kommunaler Abwasserreinigungsanlagen (Teil 3)

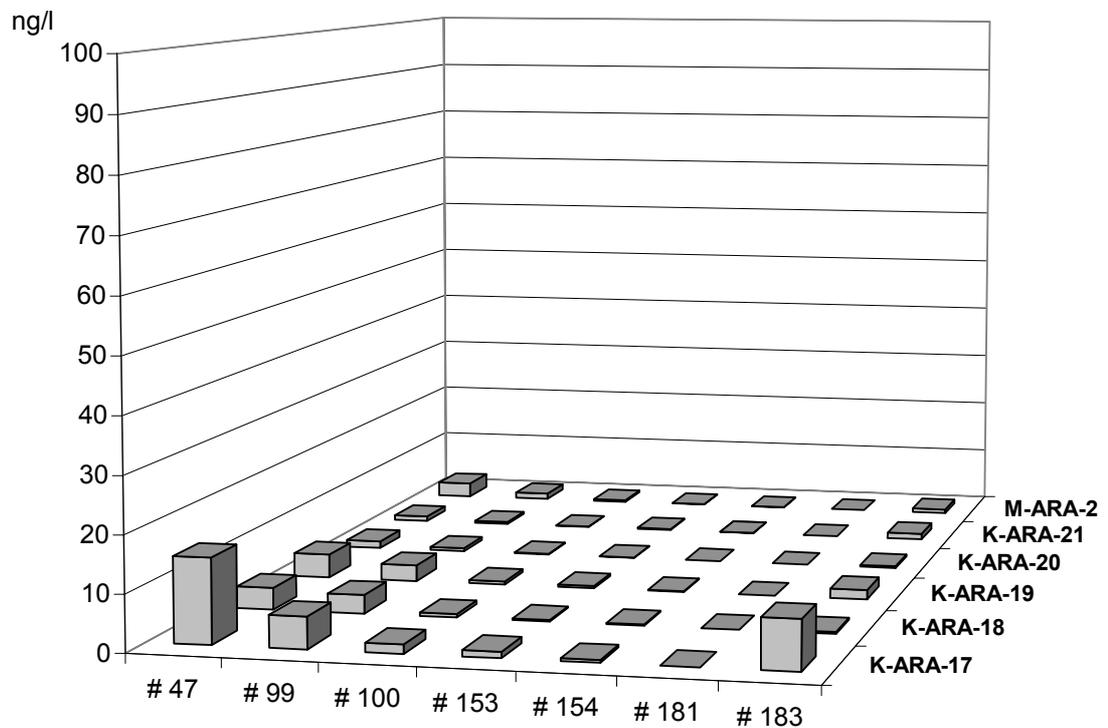


Abbildung 7: PBDE im Abwasser kommunaler Abwasserreinigungsanlagen (Teil 4)

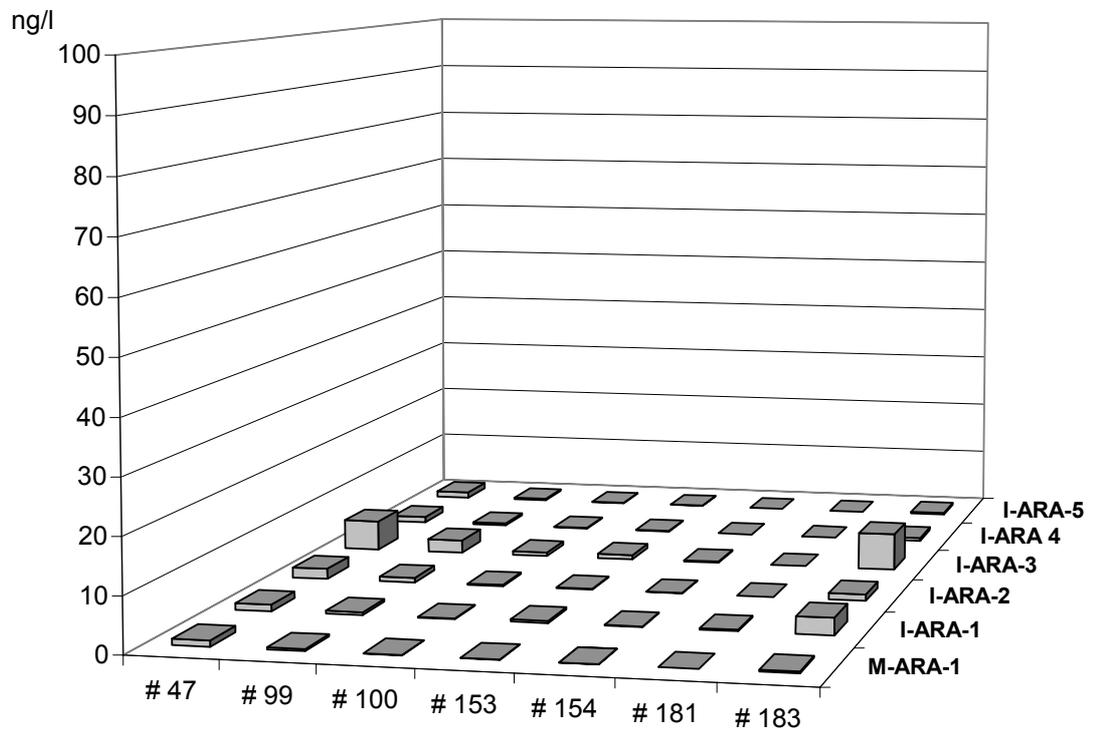


Abbildung 8: PBDE im Abwasser industrieller Abwasserreinigungsanlagen (Teil 1)

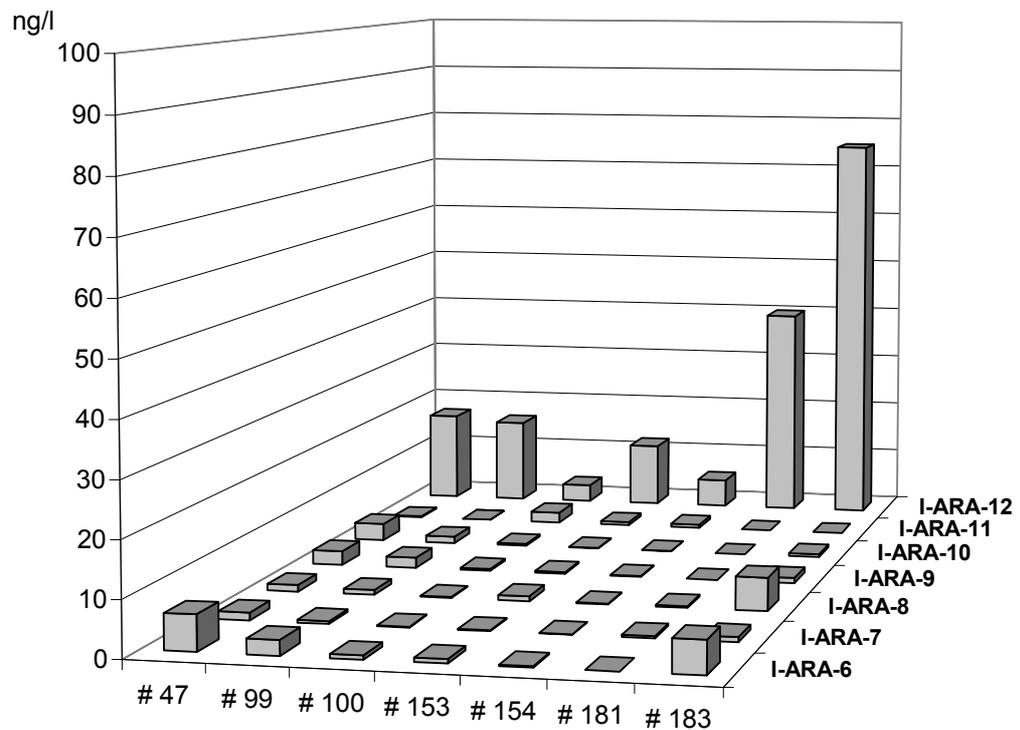


Abbildung 9: PBDE im Abwasser industrieller Abwasserreinigungsanlagen (Teil 2)

4.2 Deponiesickerwässer und alllastennahe Gewässerkörper

4.2.1 Gehalte

In Tabelle 9 sind Minimum-, Maximumwerte, Mediane und Mittelwerte der PBDE in den Deponiesickerwasserproben und Grundwasserproben alllastennaher Gewässerkörper angegeben. Die nachfolgende Abbildung 10 zeigt die Gehalte der sieben wichtigsten PBDE in diesen Matrices.

Die gemessenen Konzentrationen an PBDE in den beiden Deponiesickerwasserproben waren mit ca. 1000 ng/l, bezogen auf die Summe der am häufigsten vorkommenden Kongenere BDE 47, BDE 99, BDE 100, BDE 153, BDE 154, BDE 181 und BDE 183 um ein bis zwei Größenordnungen höher als die im Abwasser kommunaler und industrieller Abwasserreinigungsanlagen gemessenen Werte.

Die Konzentrationen an PBDE in den beiden Deponiesickerwasserproben waren aber auch deutlich höher als in den vier Grundwasserproben alllastennaher Gewässerkörper.

Die in der Literatur beschriebenen Untersuchungen an Deponiesickerwässern (OLIAEI et al., 2002) ergaben ähnliche Konzentrationen bzw. Konzentrationen, die um eine Größenordnung höher liegen, als die im Rahmen dieser Studie gemessenen Werte.

Tabelle 9: Minimum-, Maximumwerte, Mediane und Mittelwerte der PBDE in Deponiesickerwasserproben (2 Proben) und Grundwasserproben alllastennaher Gewässerkörper (4 Proben)

PBDE	MIN ng/l	MAX ng/l	MED ng/l	MW ng/l
# 11	n.n.	0.55	0.028	0.11
# 17 / 25	0.018	4.4	0.62	1.6
# 28	0.07	7.7	2.1	2.8
# 47	1.9	360	3.2	87
# 49	0.051	54	0.11	10
# 77	n.n.	0.23	0.012	0.077
# 99	0.66	410	1.1	96
# 100	0.17	74	0.31	17
# 116	n.n.	0.65	0.1	0.2
# 138	n.n.	5.7	1.3	2.1
# 140	0.018	1.9	0.72	0.87
# 153	0.12	65	1.6	17
# 154	0.094	33	1.2	8.4
# 155	0.016	1.8	0.33	0.54
# 166	n.n.	0.87	n.n.	0.15
# 181	n.n.	64	6.5	15
# 183	0.5	96	11	34

n.n. Nicht nachweisbar

4.2.2 Kongenerenmuster

Das Kongenerenmuster der Deponiesickerwässerproben unterscheidet sich deutlich vom Kongenerenmuster der Grundwasserproben altlastennaher Gewässerkörper.

Während in den beiden Deponiesickerwasserproben das Kongener BDE 99 mit mehr als 30 % die Hauptkomponente in der Kongenerenverteilung bildet, bildet in drei der vier Grundwasserproben altlastennaher Gewässerkörper das Kongener BDE 47 mit ca. 50 % bis knapp 70 % die Hauptkomponente.

Ein völlig anderes Kongenerenmuster zeigte die von der Deponie weiter entfernte Grundwasserprobe vom Standort 4 (GW 4B) mit einem Anteil an BDE 181 von ca. 67 % und an BDE 183 von ca. 23 %. Diese beiden Kongenere sind somit für ca. 90 % der PBDE Belastung dieser Probe verantwortlich.

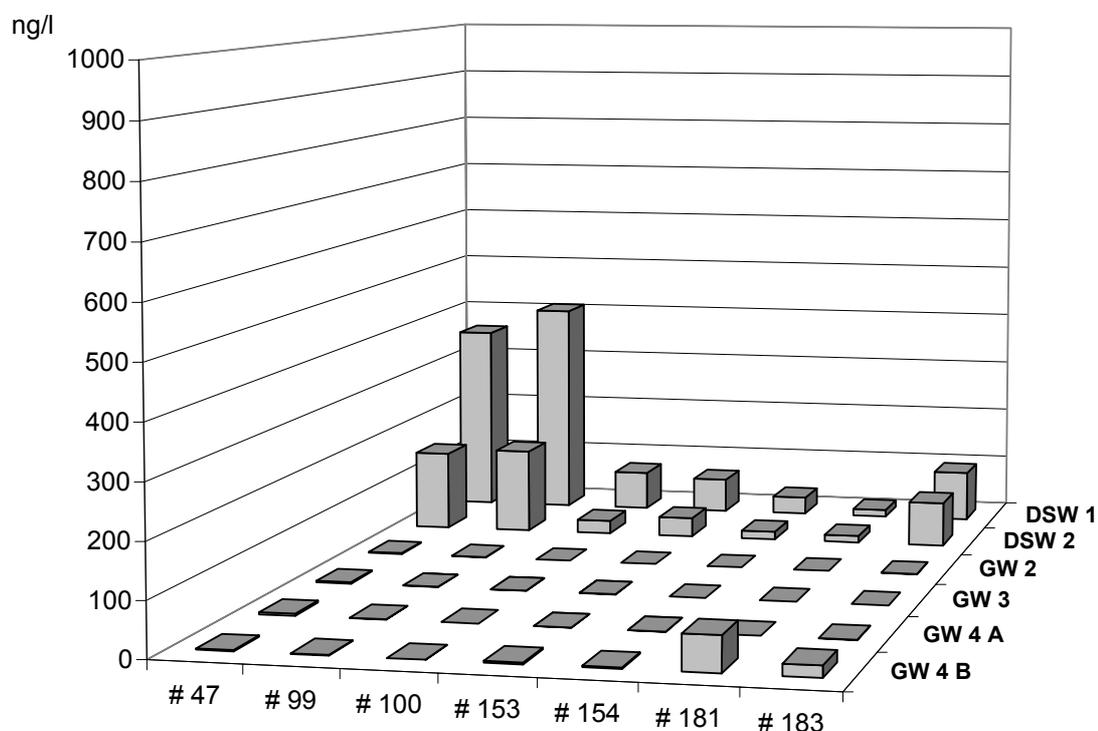


Abbildung 10: PBDE in Deponiesickerwasserproben und Grundwasserproben altlastennaher Gewässerkörper

4.3 Klärschlamm

4.3.1 Gehalte

In Tabelle 11 sind Minimum-, Maximumwerte, Mediane und Mittelwerte der PBDE in Klärschlämmen von Abwasserreinigungsanlagen diverser Industrien (Leder-, Metall-, Nahrungsmittel- und Textilindustrie) angeführt. Abbildung 11 zeigt die Gehalte der sieben am häufigsten nachgewiesenen PBDE in diesen Matrices.

Die im Rahmen der vorliegenden Studie höchsten Gehalte an PBDE wurden in den analysierten Klärschlammproben aus kommunalen Abwasserreinigungsanlagen mit Einleitern der Metall-, Nahrungsmittel und Textilindustrie gefunden. Die gemessenen Gehalte an PBDE betragen mehrere tausend ng/kg TM und übertrafen damit die in allen anderen Matrices gefundenen Gehalte an PBDE um ein Vielfaches.

Unter allen untersuchten Klärschlammproben wiesen die niedrigsten PBDE-Gehalte eine Belebtschlammprobe und eine getrocknete Klärschlammprobe einer Abwasserreinigungsanlage der Lederindustrie auf. Die Konzentrationen der PBDE in diesen beiden Proben waren deutlich geringer als jene in den Klärschlämmen der anderen Industriezweige. Bezogen auf die Kongenere BDE 47, BDE 99, BDE 100, BDE 153, BDE 154 und BDE 183 waren die Gehalte in den Klärschlämmen der Lederindustrie um ein bis zwei Größenordnungen niedriger, als die in den übrigen Klärschlammproben gemessenen Gehalte.

Ein Vergleich der Konzentrationen der Kongenere BDE 47, BDE 99 und BDE 100 aus dieser Studie mit denen einer schwedischen Studie (DE WIT, 1999), zeigt etwas niedrigere Werte für die österreichischen Klärschlämme, wobei die Größenordnung der Konzentrationen vergleichbar ist. Die Gehalte sind in Tabelle 10 im Vergleich dargestellt.

Tabelle 10: Vergleich der PBDE Gehalte in Klärschlämmen dieser Studie und einer schwedischen Studie von DE WIT (1999)

	Österreich 2003	Schweden 1998
BDE 47	16 – 47 µg/kg TM	39 – 91 µg/kg TM
BDE 99	19 – 55 µg/kg TM	48 – 120 µg/kg TM
BDE 100	3 – 10 µg/kg TM	11 – 28 µg/kg TM

Tabelle 11: Minimum-, Maximumwerte, Mediane und Mittelwerte von PBDE in Klärschlammproben diverser Industrien (8 Proben)

PBDE	MIN ng/kg	MAX ng/kg	MED ng/kg	MW ng/kg
# 11	n.n.	1	0.29	0.35
# 17 / 25	1.7	1500	360	490
# 28	11	680	320	320
# 47	370	50000	20000	22000
# 49	28	2800	1700	1500
# 77	0.42	22	7.2	8
# 99	280	59000	23000	27000
# 100	54	11000	3800	4600
# 116	n.n.	26	n.n.	4.9
# 138	11	1400	430	520
# 140	8.5	1400	120	320
# 153	59	6500	2500	2800
# 154	26	5500	1500	2100
# 155	7.5	250	68	97
# 166	n.n.	56	n.n.	7
# 181	n.n.	65000	1200	10000
# 183	250	17000	1700	3800

n.n. Nicht nachweisbar

4.3.2 Kongenerenmuster

Die beiden Klärschlammproben aus Abwasserreinigungsanlagen der Lederindustrie unterscheiden sich im Gehalt aber auch im Kongenerenmuster von den sechs Klärschlammproben aus Abwasserreinigungsanlagen anderer Industriezweige.

In den Klärschlämmen der Lederindustrie bildete das Kongener BDE 47 mit einem Anteil von 30 bis ca. 35 % die Hauptkomponente im Kongenerenmuster. Die Konzentrationen des Kongeners BDE 47 waren ähnlich verglichen mit den Klärschlammproben der anderen Industriezweige, die Konzentration des Kongeners BDE 99 geringer (ca. 25 %) und jene des Kongeners BDE 183 höher (ca. 20 %).

Bei den Klärschlämmen der Metall-, Nahrungsmittel- und Textilindustrie bildeten in fünf der sechs Proben die beiden Kongenere BDE 47 und BDE 99 zusammen mit einem Anteil von ca. 80 % den Hauptanteil an der Gesamtbelastung mit PBDE, wobei das Kongener BDE 99 mit einem Anteil von ca. 40 % bis ca. 50 % durchwegs die höheren Konzentrationen aufweist. Der Anteil des Kongeners BDE 183 betrug in allen sechs Proben weniger als 10 % und ist damit im Vergleich zu den Proben der Lederindustrie deutlich geringer.

In einer Probe stellte das Kongener BDE 181 mit einer Konzentration von 65 000 ng/kg TS den größten Anteil (ca. 30 %) am Kongenerenmuster. Diese Konzentration war die höchste gemessene Konzentration eines Einzelkongeners im Rahmen dieser Studie.

Der Klärschlammkompost unterschied sich im Kongenerenmuster nicht von den anderen Klärschlammproben.

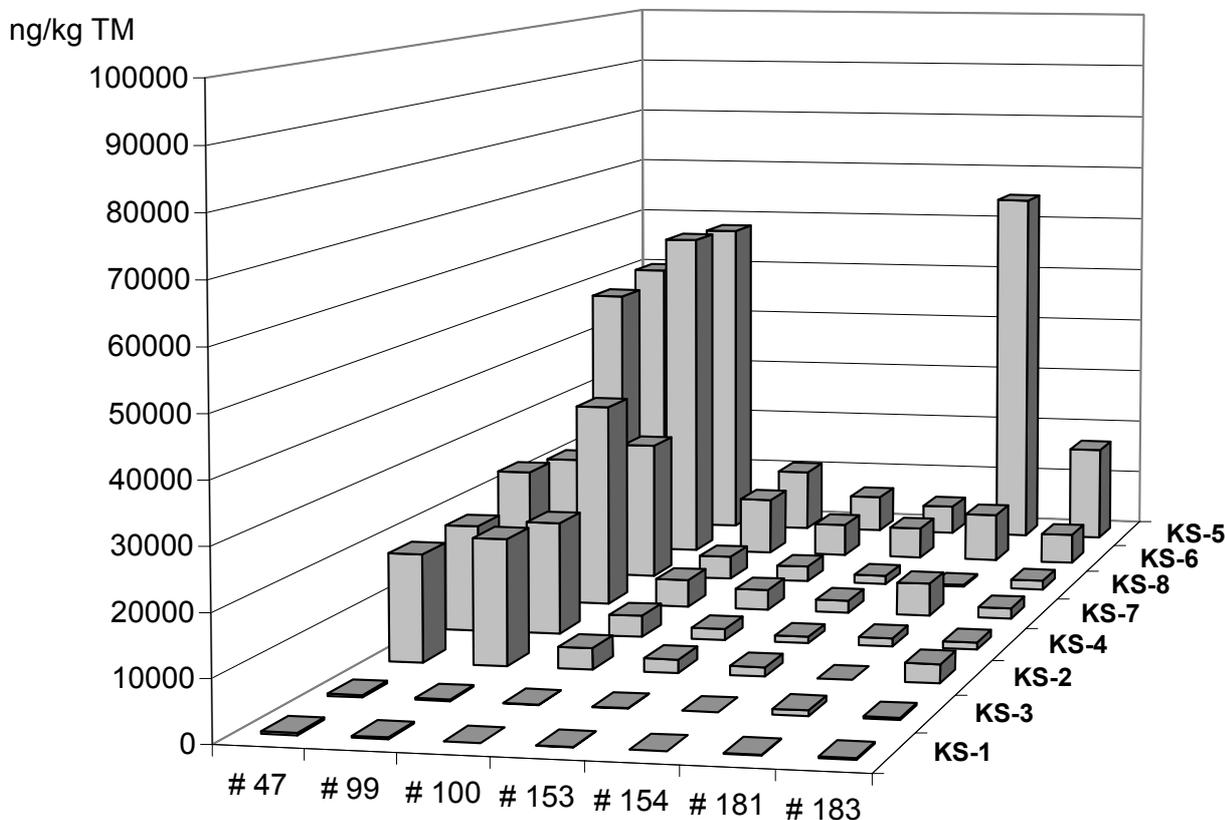


Abbildung 11: PBDE in Klärschlämmen bzw. Klärschlammkompost der Leder-, Metall- Nahrungsmittel- und Textilindustrie (8 Proben)

4.4 Flusssedimente und Schwebstoffe

4.4.1 Gehalte

In Tabelle 12 und Tabelle 13 sind die Minimum-, Maximumwerte, Mediane und Mittelwerte der PBDE in Flusssedimenten bzw. in Schwebstoffen der Donau angeführt. Die Abbildung 12 und die Abbildung 13 zeigen die Gehalte der sieben häufigsten PBDE in den Sediment- und Schwebstoffproben.

Die Gehalte an PBDE in den Donausedimenten (d.h. ohne Berücksichtigung der Probe „Schwechat“) waren im Fließverlauf mit geringen Schwankungen relativ konstant. Ab der Probenahmestelle Ybbs links konnte das Kongener BDE 181 in allen Proben nachgewiesen werden. Der Eintrag aus der Schwechat vor allem an höher bromierten Kongeneren war auch an den Probenahmestellen Wildungsmauer noch erkennbar.

Die Gehalte an PBDE in Schwebstoffen waren für die niedrig bromierten Kongenere ähnlich denen in den Donausedimenten, für die höher bromierten Kongenere wurden höhere

Gehalte gemessen. Vor allem die Probe aus dem Bereich Ybbs bis Melk weist hohe Konzentrationen der Kongenere BDE 181 (150 ng/kg TM) und BDE 183 (590 ng/kg TM) auf, die mit jenen der Messstelle Schwechat vergleichbar sind. Der Grund für diese höhere Belastung ist nicht bekannt.

Deutlich höhere Gehalte, z.B. 3500 ng/kg TM für BDE 47, 4000 ng/kg TM für BDE 99, wurden an der Messstelle Schwechat (JDS 13) unterhalb Wiens gemessen. Der Einfluss der in Kapitel 2.2.4 beschriebenen Abwasserreinigungsanlage ist hier deutlich sichtbar.

Tabelle 12: Minimum-, Maximumwerte, Mediane und Mittelwerte von PBDE in Flusssedimentproben der Donau (13 Proben)

PBDE	MIN ng/kg	MAX ng/kg	MED ng/kg	MW ng/kg
# 11	n.n.	0.24	n.n.	0.046
# 17 / 25	0.99	45	3.6	6.5
# 28	4.4	110	7	15
# 47	130	3500	200	450
# 49	6	320	16	40
# 77	n.n.	2.4	0.26	0.39
# 99	80	4000	170	470
# 100	19	810	34	95
# 116	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
# 138	1.1	93	4.2	11
# 140	n.n.	30	1.9	4.2
# 153	11	520	29	66
# 154	1.8	360	14	40
# 155	n.n.	17	1.3	2.5
# 166	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
# 181	n.n.	430	22	73
# 183	32	430	84	110

n.n. Nicht nachweisbar

Tabelle 13: Minimum-, Maximumwerte, Mediane und Mittelwerte von PBDE in Schwebstoffproben der Donau (2 Proben)

PBDE	MIN ng/kg	MAX ng/kg	MED ng/kg	MW ng/kg
# 11	0.1	0.14	0.12	0.12
# 17 / 25	1.3	1.3	1.3	1.3
# 28	5.9	6.2	6.1	6.1
# 47	120	160	140	140
# 49	6.7	7.5	7.1	7.1
# 77	0.26	0.32	0.29	0.29
# 99	98	110	100	100
# 100	21	25	23	23
# 116	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
# 138	3.3	8.1	5.7	5.7
# 140	2.1	4.8	3.5	3.5
# 153	14	60	37	37
# 154	5.7	15	10	10
# 155	n.n.	1.1	0.55	0.55
# 166	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
# 181	60	150	110	110
# 183	46	590	320	320

n.n. Nicht nachweisbar

4.4.2 Kongenerenmuster

Die Kongenerenverteilung war über den Fließverlauf relativ konstant. Die beiden Kongenere BDE 47 und BDE 99 stellten mit ähnlich hohen Anteilen von ca. 30 % bis 40 % den Hauptanteil am Kongenerenmuster. Damit sind diese beiden Kongenere in den meisten Donausedimenten für ca. 60 % bis 75 % der PBDE-Belastung verantwortlich. Der Anteil an BDE 183 war mit ca. 5 % bis max. 18 % eher gering.

Die Probe „Schwechat“ unterscheidet sich trotz der hohen Belastung nicht im Kongenerenmuster von den anderen Sedimentproben.

Abweichungen in der Kongenerenverteilung weisen die beiden Schwebstoffproben „Ybbs/Persenbeug – Melk“ und „Engelhartszell – Aschach“, sowie die Sedimentprobe „Wildungsmauer links“ auf.

Bei der Schwebstoffprobe „Engelhartszell – Aschach“ weisen die beiden Kongenere BDE 47 und BDE 99 einen gemeinsamen Anteil von ca. 60 % auf, das Kongener BDE 181 ist mit einem Anteil von ca. 15 % nachweisbar.

Das Kongenerenmuster der Schwebstoffprobe Ybbs/Persenbeug – Melk wird durch das Kongener BDE 183 mit einem Anteil von ca. 55 % geprägt. Die Kongenere BDE 47 und BDE 181 sind mit jeweils ca. 15 % vertreten, das Kongener BDE 99 nur mit ca. 10 %.

Die Sedimentprobe „Wildungsmauer links“ hat als Hauptkomponente im Kongenerenmuster BDE 181 mit ca. 40 % Anteil. Die Kongenere BDE 47, BDE 99 und BDE 183 tragen jeweils weniger als 20 % zur PBDE-Belastung bei.

Das Kongener BDE 181 ist in den beiden Schwebstoffproben und in den Sedimenten ab der Probenahmestelle „Ybbs links“ flussabwärts nachweisbar. Der Anteil schwankt von wenigen Prozent bis zu ca. 40 % als Hauptkomponente in der Probe „Wildungsmauer links“

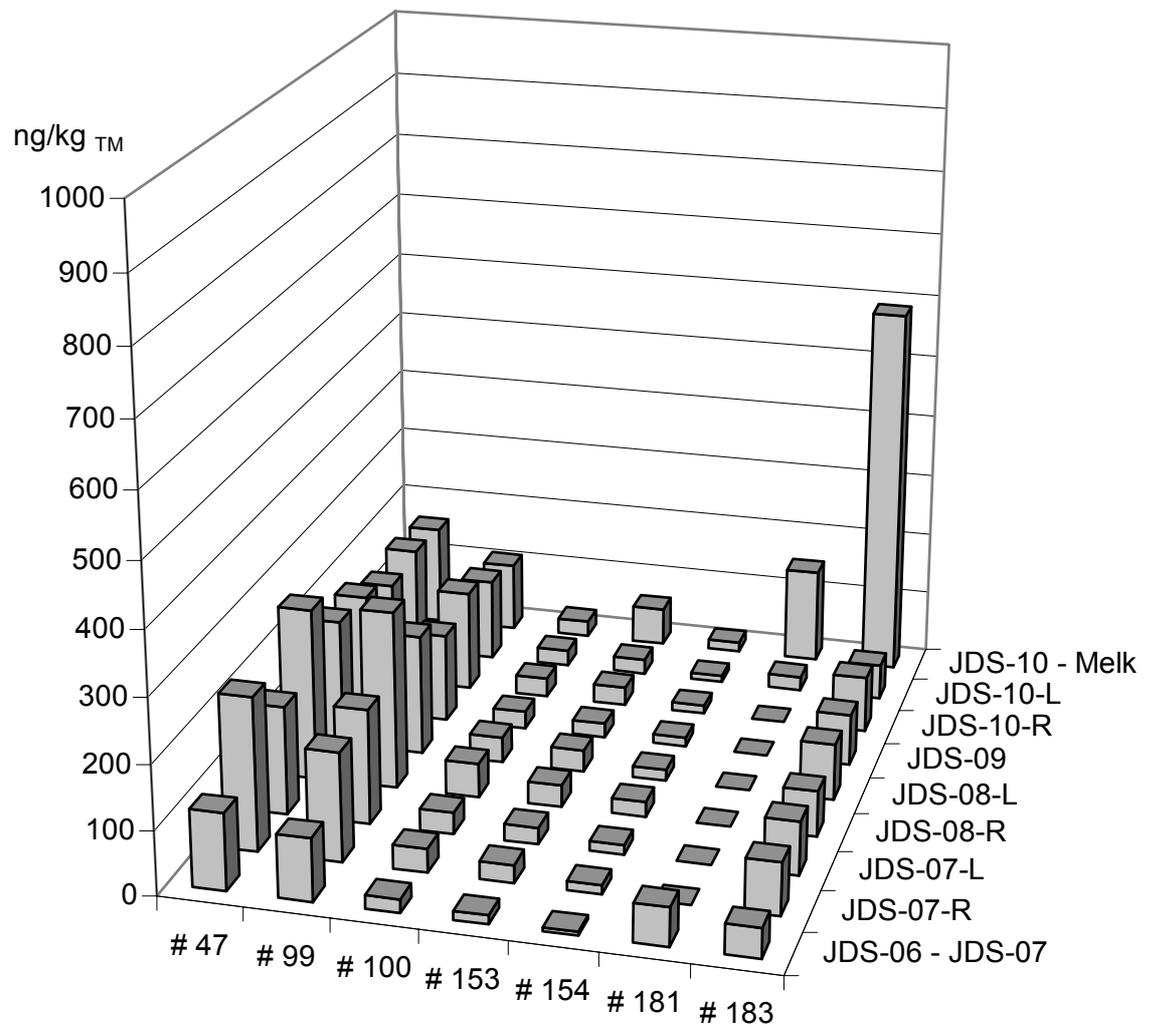


Abbildung 12: PBDE in Flusssediment- und Schwebstoffproben der Donau (Teil 1)

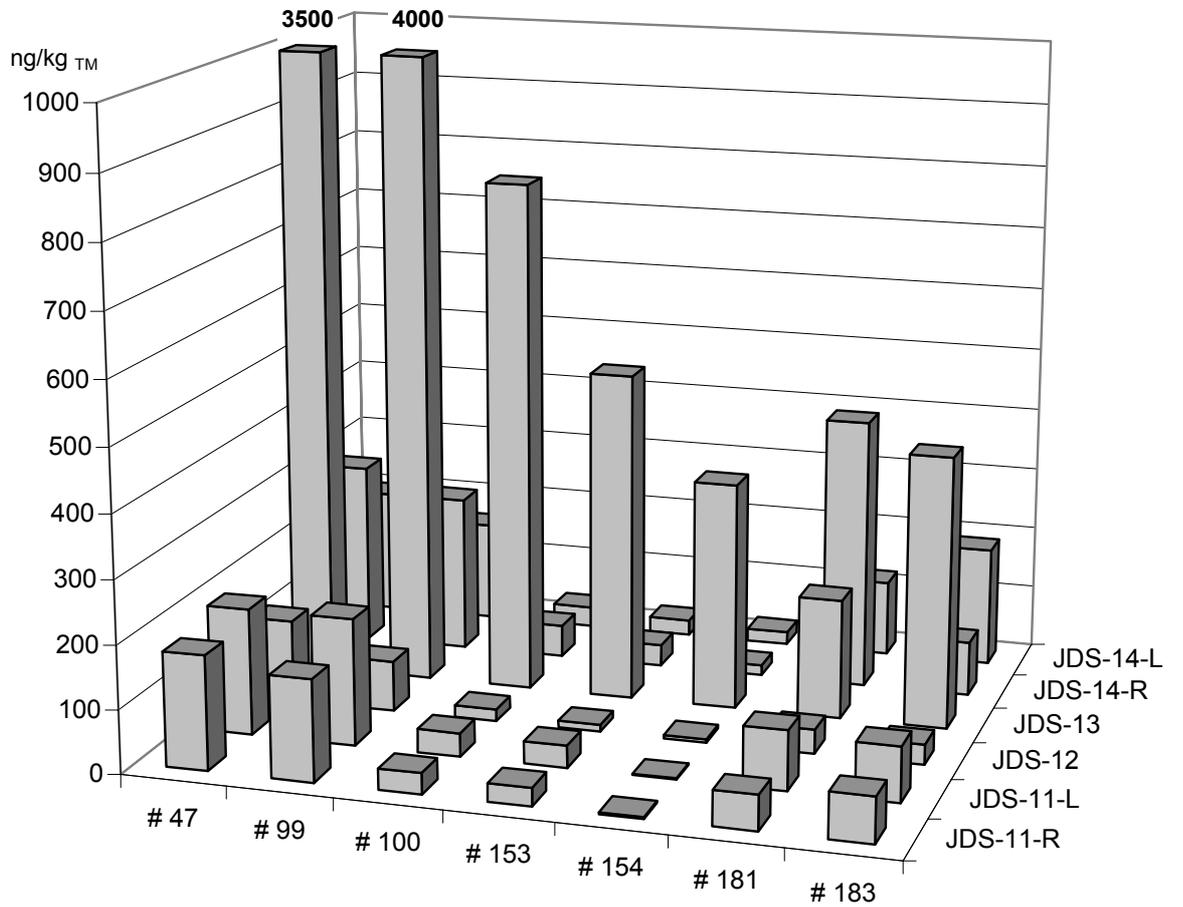


Abbildung 13: PBDE in Flusssediment- und Schwebstoffproben der Donau (Teil 2)

5 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Der Nachweis der polybromierten Diphenylether in allen 66 Umweltproben zeigt die mittlerweile ubiquitäre Verteilung dieser Substanzgruppe. Zwar sind die Konzentrationen in den meisten Matrices noch gering, doch aus der Tatsache, dass diese Substanzen immer noch in großen Mengen produziert und verwendet werden, ergibt sich die Notwendigkeit, das Vorkommen dieser Substanzen in der Umwelt auch weiterhin zu beobachten.

Während die analysierten Proben aus Abläufen von kommunalen Abwasserreinigungsanlagen und die altlastennahen Grundwasserkörper geringe Konzentrationen an PBDE aufweisen, ist in Proben von Abläufen industrieller Abwasserreinigungsanlagen und bei den Deponiesickerwasserproben schon eine deutliche Belastung erkennbar.

Auch die Donausedimente im Einflussbereich von Industriebetrieben zeigen ähnliche Belastungen. Auffällige höhere Konzentrationen an PBDE weist die Sedimentprobe aus dem Mündungsbereich der Schwechat in die Donau auf. Hier dürften die Abwässer aus dem nahen Industriegebiet massiven Einfluss haben. Unerwartet hoch sind die Konzentrationen in den Schwebstoffen der Donau, obwohl die entsprechenden Sedimentproben aus diesen Flussabschnitten geringere Gehalte aufweisen.

Die höchsten Konzentrationen an PBDE im Rahmen dieses Untersuchungsprogrammes wurden in den industriell beeinflussten Klärschlammproben nachgewiesen. Vor allem in den Proben von Klärschlämmen mit Einleitern aus der Textil-, Metall- und Nahrungsmittelindustrie sind die Konzentrationen der PBDE überdurchschnittlich hoch.

Die Ergebnisse zeigen im Wesentlichen die drei Problemzonen Deponiesickerwässer, Sedimente im Einflussbereich von Industriegebieten und industrielle Klärschlämme, die in Bezug auf die Belastung mit PBDE weiter beobachtet werden sollten.

Eine Kontrolle von landwirtschaftlich genutzten Klärschlämmen, bei denen eine Kontamination durch PBDE zu erwarten ist, gefolgt von einer toxikologischen Bewertung über die Unbedenklichkeit der landwirtschaftlichen Nutzung dieser Klärschlämme wäre notwendig.

Ziel dieser Studie war es, durch die Analyse von Proben aus verschiedenen Matrices einen ersten Eindruck über die Verteilung der PBDE in der aquatischen Umwelt zu erhalten. Aufgrund der Ergebnisse dieser Studie müssen nun weitere Messprogramme geplant und umgesetzt werden. Die Auswirkungen des ab 15. August 2004 gültigen Verbots der Verwendung von Penta- und OctaBDE in Produkten auf die Konzentrationen in der Umwelt sollten durch ein dafür abgestimmtes Monitoringprogramm festgestellt werden.

6 LITERATUR

- ARCEM (2003): Hormonwirksame Stoffe in Österreichs Gewässern – Ergebnisse einer dreijährigen Forschungsarbeit der Austrian Research Cooperation on Endocrine Modulators (ARCEM). Endbericht. Interne Berichte IB 695-1, Umweltbundesamt.
- BERGMAN, A. & ÖRN, U. (2001): Polybrominated Flame Retardants – A Threat? *Organohalogen Compounds*, 50, 13.
- DE WIT, C.A. (1999): Brominated Flame Retardants in the Environment – An Overview. *Organohalogen Compounds*, 40, 329.
- ERIKSSON, P.; JAKOBSSON, E. & FREDERIKSSON, A. (1998): Developmental Neurotoxicity of Brominated Flame Retardants, Polybrominated Diphenyl Ethers and Tetrabromo-bis-phenol A. *Organohalogen Compounds*, 35, 375.
- HOHENBLUM, P.; SCHARF, S.; SITKA, S. (2003): Perfluorierte anionische Tenside in österreichischen Industrieabwässern. *Vom Wasser*, 101, 155-164
- KNOTH, W.; MANN, W.; MEYER, R. & NEBHUTH, J. (2002): Polybrominated Diphenylether in Housedust. *Organohalogen Compounds*, 58, 213.
- LIND, Y.; AUNE, M.; ATUMA, S.; BECKER, W.; BJERSELIUS, R.; GLYNN, A. & DARNERUD, P.O. (2002): Food Intake of the Brominated Flame Retardants PBDE's and HBCD in Sweden. *Organohalogen Compounds*, 58, 181.
- LORBEER, G. & HANUS-ILLNAR, A. (2001): Bromierte Flammschutzmittel in Kunststoff- und Textilprodukten. Österreichische Chemikalien-Inspektion, zum internen Gebrauch. Umweltbundesamt.
- NOREN, K. & MEIRONYTE, D. (2000): Certain Organochlorine and Organobromine Contaminants in Swedish Human Milk in Perspective of Past 20 – 30 Years. *Chemosphere*, 40, 1111–1123.
- OLIAEI, F.; KING, P. & PHILLIPS, L. (2002): Occurrence and Concentrations of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDE) in Minnesota Environment. *Organohalogen Compounds*, 58, 185.
- RYAN, J.J.; PATRY, B.; MILLS, P. & BEAUDOIN, N.G. (2002): Recent Trends in Levels of Brominated Diphenyl Ethers (BDES) in Human Milks from Canada. *Organohalogen Compounds*, 58, 173.
- UMWELTBUNDESAMT (2004): Untersuchung von Donausedimenten und Schwebstoffen auf ausgewählte organische Stoffe, Bericht im Druck
- VAN BAVEL, B.; HARDELL, L.; KITTI, A.; LILJEDAHN, M.; KARLSSON, M.; PETTERSSON, A.; TYSKLIND, M. & LINDSTRÖM, G. (2002): High Levels of PBDES in 5% of 220 Blood Samples from the Swedish Population. *Organohalogen Compounds*, 58, 161.
- WATANABE, I. & SKAI, S. (2001): Environmental Release and Behavior of Brominated Flame Retardants – An Overview. *Organohalogen Compounds*, 52, 1.

7 ANHANG

7.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammensetzung kommerzieller polybromierter Diphenylether.....	7
Tabelle 2: IUPAC-Nomenklatur und Kurzbezeichnungen (äquivalent zu den Polychlorierten Biphenylen) der analysierten polybromierten Diphenylether (PBDE)	10
Tabelle 3: Proben aus Zu- und Abläufen industrieller und kommunaler Abwasserreinigungsanlagen (Beprobung: 3. Quartal 2001, 3.Quartal 2002; 37 Proben)	12
Tabelle 4: Altlastenproben (Beprobung: 4. Quartal 2001, 6 Proben)	13
Tabelle 5: Klärschlammproben (Beprobung: 3.+4. Quartal 2002, 8 Proben)	14
Tabelle 6: Liste der aus den Donausedimenten gezogenen Proben (Beprobung: 3. Quartal 2001, 13 Proben).....	16
Tabelle 7: Liste der Schwebstoffproben aus der Donau (Beprobung: 3. Quartal 2001, 2 Proben)	17
Tabelle 8: Minimum-, Maximumwerte, Mediane und Mittelwerte von PBDE im Abwasser kommunaler und industrieller Abwasserreinigungsanlagen (37 Proben).....	20
Tabelle 9: Minimum-, Maximumwerte, Mediane und Mittelwerte der PBDE in Deponiesickerwasserproben (2 Proben) und Grundwasserproben altlastennaher Gewässerkörper (4 Proben).....	25
Tabelle 10: Vergleich der PBDE Gehalte in Klärschlämmen dieser Studie und einer schwedischen Studie von DE WIT (1999).....	27
Tabelle 11: Minimum-, Maximumwerte, Mediane und Mittelwerte von PBDE in Klärschlammproben diverser Industrien (8 Proben).....	28
Tabelle 12: Minimum-, Maximumwerte, Mediane und Mittelwerte von PBDE in Flusssedimentproben der Donau (13 Proben)	30
Tabelle 13: Minimum-, Maximumwerte, Mediane und Mittelwerte von PBDE in Schwebstoffproben der Donau (2 Proben).....	31
Tabelle 14 :Dotationslösung: $^{13}\text{C}_{12}$ -markierte PBDE Kongenere.....	38
Tabelle 15: $^{13}\text{C}_{12}$ -markierter Injektionsstandard	38

7.2 Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1:</i>	<i>Gehalte verschiedener Matrices an PBDE (Summe 7 Kongenere: BDE 47, BDE 99, BDE 100, BDE 153, BDE 154, BDE 181 und BDE 183)</i>	<i>3</i>
<i>Abbildung 2:</i>	<i>Grundstruktur der PBDE</i>	<i>7</i>
<i>Abbildung 3:</i>	<i>Probenahmestellen der Sedimente und Schwebstoffe aus der Donau.....</i>	<i>17</i>
<i>Abbildung 4:</i>	<i>PBDE im Abwasser kommunaler Abwasserreinigungsanlagen (Teil 1).....</i>	<i>22</i>
<i>Abbildung 5:</i>	<i>PBDE im Abwasser kommunaler Abwasserreinigungsanlagen (Teil 2).....</i>	<i>22</i>
<i>Abbildung 6:</i>	<i>PBDE im Abwasser kommunaler Abwasserreinigungsanlagen (Teil 3).....</i>	<i>23</i>
<i>Abbildung 7:</i>	<i>PBDE im Abwasser kommunaler Abwasserreinigungsanlagen (Teil 4).....</i>	<i>23</i>
<i>Abbildung 8:</i>	<i>PBDE im Abwasser industrieller Abwasserreinigungsanlagen (Teil 1)</i>	<i>24</i>
<i>Abbildung 9:</i>	<i>PBDE im Abwasser industrieller Abwasserreinigungsanlagen (Teil 2)</i>	<i>24</i>
<i>Abbildung 10:</i>	<i>PBDE in Deponiesickerwasserproben und Grundwasserproben altlasten-naher Gewässerkörper</i>	<i>26</i>
<i>Abbildung 11:</i>	<i>PBDE in Klärschlämmen bzw. Klärschlammkompost der Leder-, Metall-Nahrungsmittel- und Textilindustrie (8 Proben)</i>	<i>29</i>
<i>Abbildung 12:</i>	<i>PBDE in Flusssediment- und Schwebstoffproben der Donau (Teil 1)</i>	<i>32</i>
<i>Abbildung 13:</i>	<i>PBDE in Flusssediment- und Schwebstoffproben der Donau (Teil 2)</i>	<i>33</i>
<i>Abbildung 14:</i>	<i>Schema der Probenvorreinigung für PBDE</i>	<i>39</i>

7.3 Probenvorreinigung und Messung im Rahmen der PBDE-Analytik

Die Bestimmung der PBDE wurde in Anlehnung an die von KNOTH et al. (2002) beschriebene Analysenmethode im Labor des Umweltbundesamtes durchgeführt.

Für die Analyse von Festproben wurden jeweils 10 g gefriergetrocknete Probe eingesetzt, für die Analyse von Wasserproben jeweils 500 ml. Die Proben wurden vor der Extraktion mit 100 µl einer Standardlösung aus acht $^{13}\text{C}_{12}$ -markierten PBDE-Kongeneren in Toluol dotiert (siehe Tabelle 14).

Tabelle 14 :Dotationslösung: $^{13}\text{C}_{12}$ -markierte PBDE Kongenere

IUPAC - Nomenklatur	Kurzbezeichnung	Konzentration
2,4,4'- $^{13}\text{C}_{12}$ - Tribromodiphenylether	13C-BDE 28	10 ng/ml
2,2',4,4'- $^{13}\text{C}_{12}$ - Tetrabromodiphenylether	13C-BDE 47	10 ng/ml
3,3',4,4'- $^{13}\text{C}_{12}$ - Tetrabromodiphenylether	13C-BDE 77	10 ng/ml
2,2',4,4',5'- $^{13}\text{C}_{12}$ - Pentabromodiphenylether	13C-BDE 99	10 ng/ml
2,2',4,4',6'- $^{13}\text{C}_{12}$ - Pentabromodiphenylether	13C-BDE 100	10 ng/ml
3,3',4,4',5'- $^{13}\text{C}_{12}$ - Pentabromodiphenylether	13C-BDE 126	10 ng/ml
2,2',4,4',5,5'- $^{13}\text{C}_{12}$ - Hexabromodiphenylether	13C-BDE 153	10 ng/ml
2,2',3,4,4',5',6'- $^{13}\text{C}_{12}$ - Heptabromodiphenylether	13C-BDE 183	10 ng/ml

Nach einer Soxhletextraktion mit Toluol für feste Proben bzw. einer flüssig-flüssig Extraktion mit Toluol für Wasserproben, wurden die Extrakte einer vierstufigen, säulenchromatographischen Reinigung unterzogen. Eine detaillierte Beschreibung dieser Probenreinigung ist in Abbildung 14 auf der nächsten Seite dargestellt.

Die gereinigten Extrakte wurden mit einem Injektionsstandard (siehe Tabelle 15) versetzt und auf ein Endvolumen von 100 µl eingengt. Die qualitative und quantitative Bestimmung der polybromierten Diphenylether erfolgte nach der Methode der Isotopenverdünnung mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie-Kopplung über eine DB5 Kapillarsäule (L 60m, ID 0.25mm, FD 0.25µm) bei einer Massenauflösung von >8000.

Tabelle 15: $^{13}\text{C}_{12}$ -markierter Injektionsstandard

IUPAC - Nomenklatur	Kurzbezeichnung	Konzentration
4,4'- $^{13}\text{C}_{12}$ - Dibromodiphenylether	13C-BDE 15	100 ng/ml

Die Quantifizierung erfolgte nach der Isotopenverdünnungsmethode bzw. nach der Internen-Standard-Methode für jene Kongenere für die kein Surrogatstandard verfügbar war.

Die ^{13}C -Kongenere wurden zur Bestimmung der Wiederfindung gegen den Injektionsstandard, die 18 nativen Kongenere wurden je nach Substitutionsgrad gegen die entsprechenden ^{13}C -Isomere quantifiziert.

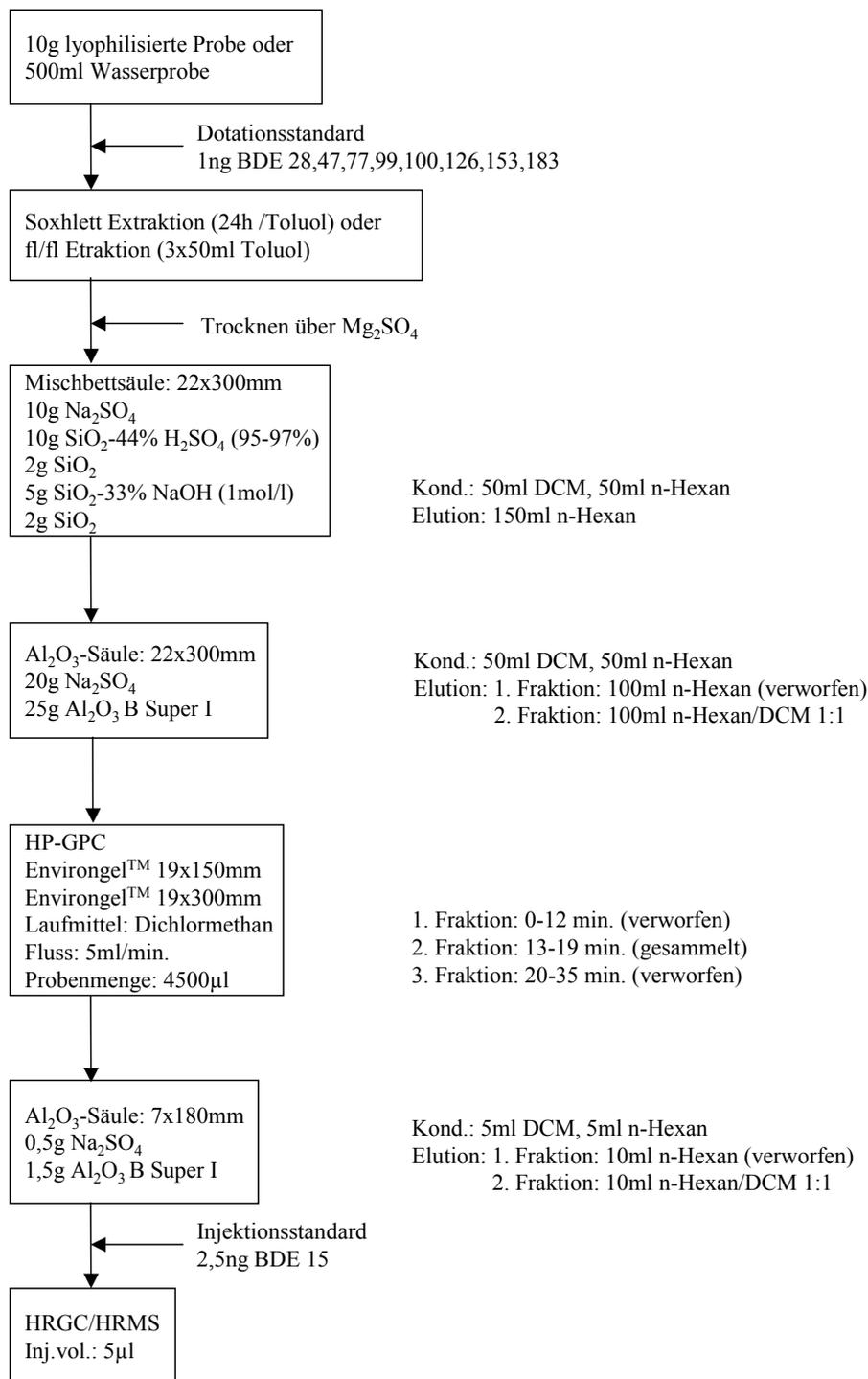


Abbildung 14: Schema der Probenvorreinigung für PBDE

7.4 Messprotokolle

Abwässer

Labornummer: **W 01 04 1421**

Probenbezeichnung: **K-ARA-5-Za**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	0,011	0,006
# 17 / 25	0,16	0,015
# 28	0,33	0,023
# 47	7,8	0,008
# 49	0,26	0,007
# 77	n.n.	0,159
# 99	7,5	0,013
# 100	1,3	0,006
# 116	n.n.	0,046
# 138	0,2	0,036
# 140	0,14	0,027
# 153	1,1	0,034
# 154	0,81	0,011
# 155	0,085	0,015
# 166	n.n.	0,104
# 181	n.n.	1,483
# 183	2,5	0,318

Labornummer: **W 01 04 2285**

Probenbezeichnung: **K-ARA-5-Zb**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	n.n.	0,003
# 17 / 25	0,011	0,007
# 28	0,036	0,008
# 47	0,99	0,007
# 49	0,035	0,006
# 77	n.n.	0,003
# 99	0,37	0,007
# 100	0,1	0,005
# 116	n.n.	0,022
# 138	0,025	0,015
# 140	0,014	0,014
# 153	0,1	0,015
# 154	0,065	0,008
# 155	0,013	0,008
# 166	n.n.	0,044
# 181	n.n.	1,208
# 183	0,54	0,187

Labornummer: **W 01 04 2286**

Probenbezeichnung: **K-ARA-5-A**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	0,002	0,002
# 17 / 25	0,041	0,004
# 28	0,18	0,007
# 47	6,1	0,013
# 49	0,16	0,007
# 77	n.n.	0,006
# 99	5,7	0,020
# 100	1	0,008
# 116	n.n.	0,049
# 138	0,065	0,021
# 140	0,032	0,019
# 153	0,57	0,021
# 154	0,45	0,012
# 155	0,032	0,013
# 166	n.n.	0,061
# 181	n.n.	0,639
# 183	0,98	0,134

Abwässer

Labornummer: **W 02 09 3324**
 Probenbezeichnung: **I-ARA-1**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	0,0068	0,003
#17/25	0,019	0,004
# 28	0,042	0,007
# 47	1,2	0,004
# 49	0,038	0,006
# 77	0,012	0,003
# 99	0,51	0,007
# 100	0,13	0,004
# 116	0,022	0,016
# 138	0,1	0,013
# 140	0,035	0,011
# 153	0,4	0,011
# 154	0,13	0,006
# 155	0,021	0,006
# 166	0,032	0,029
# 181	0,27	0,184
# 183	3,1	0,034

Labornummer: **W 02 09 3325**
 Probenbezeichnung: **I-ARA-11**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	n.n.	0,017
# 17 / 25	0,05	0,024
# 28	0,21	0,049
# 47	4	0,092
# 49	0,11	0,112
# 77	0,037	0,017
# 99	2	0,148
# 100	0,57	0,112
# 116	n.n.	0,274
# 138	0,68	0,466
# 140	0,59	0,394
# 153	0,61	0,380
# 154	0,18	0,195
# 155	n.n.	0,202
# 166	n.n.	0,704
# 181	n.n.	3,338
# 183	5	0,799

Labornummer: **W 02 09 3326**
 Probenbezeichnung: **K-ARA-21**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	0,004	0,003
# 17 / 25	0,016	0,004
# 28	0,061	0,006
# 47	0,95	0,006
# 49	0,024	0,005
# 77	0,0048	0,003
# 99	0,37	0,007
# 100	0,097	0,004
# 116	n.n.	0,011
# 138	0,022	0,009
# 140	n.n.	0,009
# 153	0,2	0,008
# 154	0,046	0,005
# 155	0,015	0,005
# 166	n.n.	0,015
# 181	n.n.	0,091
# 183	1,1	0,037

Abwässer

Labornummer: **W 02 09 3327**Probenbezeichnung: **I-ARA-4**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	n.n.	0,004
# 17 / 25	0,011	0,005
# 28	0,56	0,011
# 47	1,1	0,005
# 49	0,026	0,006
# 77	0,0052	0,003
# 99	0,39	0,007
# 100	0,11	0,005
# 116	n.n.	0,021
# 138	0,041	0,016
# 140	0,022	0,014
# 153	0,13	0,013
# 154	0,034	0,007
# 155	0,011	0,009
# 166	n.n.	0,038
# 181	n.n.	0,169
# 183	0,57	0,045

Labornummer: **W 02 09 3329**Probenbezeichnung: **K-ARA-9**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	0,0024	0,002
# 17 / 25	0,083	0,003
# 28	0,097	0,004
# 47	1,5	0,004
# 49	0,07	0,004
# 77	0,012	0,002
# 99	0,54	0,007
# 100	0,14	0,004
# 116	n.n.	0,009
# 138	0,015	0,011
# 140	0,0052	0,008
# 153	0,17	0,007
# 154	0,05	0,005
# 155	0,0076	0,005
# 166	n.n.	0,016
# 181	n.n.	0,083
# 183	0,98	0,034

Labornummer: **W 02 09 3330**Probenbezeichnung: **I-ARA-5**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	n.n.	0,003
# 17 / 25	0,0084	0,005
# 28	0,036	0,008
# 47	1,1	0,005
# 49	0,021	0,006
# 77	n.n.	0,004
# 99	0,33	0,010
# 100	0,099	0,006
# 116	n.n.	0,029
# 138	0,034	0,014
# 140	n.n.	0,011
# 153	0,087	0,010
# 154	0,026	0,007
# 155	0,008	0,007
# 166	n.n.	0,030
# 181	n.n.	0,151
# 183	0,37	0,033

Abwässer

Labornummer: **W 02 09 3339**Probenbezeichnung: **K-ARA-20**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	n.n.	0,004
# 17 / 25	0,016	0,005
# 28	0,03	0,010
# 47	1,3	0,006
# 49	0,037	0,009
# 77	n.n.	0,005
# 99	0,57	0,012
# 100	0,14	0,006
# 116	n.n.	0,028
# 138	n.n.	0,015
# 140	n.n.	0,009
# 153	0,086	0,011
# 154	n.n.	0,006
# 155	0,0096	0,010
# 166	n.n.	0,036
# 181	n.n.	0,447
# 183	0,34	0,128

Labornummer: **W 02 09 3340**Probenbezeichnung: **K-ARA-7**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	n.n.	0,004
# 17 / 25	0,024	0,004
# 28	0,06	0,007
# 47	1,6	0,005
# 49	0,042	0,005
# 77	0,0048	0,002
# 99	0,62	0,009
# 100	0,15	0,004
# 116	n.n.	0,015
# 138	0,032	0,013
# 140	n.n.	0,011
# 153	0,27	0,010
# 154	0,066	0,006
# 155	0,0092	0,007
# 166	n.n.	0,021
# 181	n.n.	0,085
# 183	1,5	0,034

Labornummer: **W 02 09 3341**Probenbezeichnung: **I-ARA-7**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	n.n.	0,004
# 17 / 25	0,013	0,006
# 28	0,041	0,008
# 47	1,4	0,008
# 49	0,036	0,007
# 77	0,0048	0,004
# 99	0,49	0,007
# 100	0,14	0,005
# 116	n.n.	0,027
# 138	0,099	0,022
# 140	0,058	0,020
# 153	0,16	0,021
# 154	0,062	0,011
# 155	0,024	0,012
# 166	n.n.	0,050
# 181	0,39	0,271
# 183	0,85	0,070

Abwässer

Labornummer: **W 02 09 3343**Probenbezeichnung: **K-ARA-6**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	n.n.	0,004
# 17 / 25	0,12	0,007
# 28	0,16	0,011
# 47	2	0,008
# 49	0,12	0,011
# 77	0,042	0,005
# 99	0,68	0,013
# 100	0,2	0,007
# 116	n.n.	0,034
# 138	0,05	0,019
# 140	0,021	0,016
# 153	0,31	0,018
# 154	0,089	0,008
# 155	0,031	0,010
# 166	n.n.	0,047
# 181	n.n.	0,174
# 183	1,6	0,052

Labornummer: **W 02 09 3344**Probenbezeichnung: **K-ARA-10**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	0,21	0,053
# 17 / 25	0,24	0,061
# 28	0,39	0,086
# 47	2	0,071
# 49	0,22	0,078
# 77	0,31	0,056
# 99	0,79	0,099
# 100	0,27	0,052
# 116	0,14	0,181
# 138	0,2	0,145
# 140	n.n.	0,101
# 153	0,83	0,111
# 154	0,26	0,085
# 155	0,13	0,098
# 166	n.n.	0,239
# 181	n.n.	2,116
# 183	4,8	0,614

Labornummer: **W 02 09 3345**Probenbezeichnung: **M-ARA-1**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	n.n.	0,004
# 17 / 25	0,0092	0,005
# 28	0,039	0,008
# 47	1,1	0,004
# 49	0,033	0,007
# 77	0,0044	0,004
# 99	0,37	0,007
# 100	0,098	0,005
# 116	n.n.	0,022
# 138	0,022	0,013
# 140	0,014	0,009
# 153	0,086	0,008
# 154	0,036	0,005
# 155	0,0076	0,006
# 166	n.n.	0,028
# 181	n.n.	0,172
# 183	0,34	0,038

Abwässer

Labornummer: **W 02 09 3346**Probenbezeichnung: **K-ARA-11**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	0,0036	0,002
# 17 / 25	0,029	0,003
# 28	0,11	0,005
# 47	2,9	0,003
# 49	0,068	0,005
# 77	0,0092	0,002
# 99	1,9	0,004
# 100	0,37	0,002
# 116	n.n.	0,016
# 138	0,055	0,013
# 140	0,04	0,008
# 153	0,35	0,006
# 154	0,15	0,003
# 155	0,016	0,003
# 166	0,042	0,038
# 181	n.n.	0,316
# 183	1,3	0,031

Labornummer: **W 02 09 3347**Probenbezeichnung: **K-ARA-19**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	0,0016	0,001
# 17 / 25	0,03	0,003
# 28	0,14	0,004
# 47	4,3	0,003
# 49	0,096	0,003
# 77	0,0096	0,003
# 99	2,9	0,003
# 100	0,59	0,003
# 116	0,0076	0,015
# 138	0,069	0,015
# 140	0,02	0,009
# 153	0,39	0,005
# 154	0,16	0,003
# 155	0,02	0,004
# 166	n.n.	0,043
# 181	n.n.	0,316
# 183	1,7	0,026

Labornummer: **W 02 09 3348**Probenbezeichnung: **I-ARA-9**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	n.n.	0,003
# 17 / 25	0,034	0,004
# 28	0,12	0,007
# 47	2,6	0,005
# 49	0,068	0,005
# 77	0,011	0,004
# 99	1,9	0,010
# 100	0,37	0,006
# 116	n.n.	0,019
# 138	0,032	0,013
# 140	0,013	0,011
# 153	0,32	0,007
# 154	0,14	0,006
# 155	0,0096	0,007
# 166	n.n.	0,019
# 181	n.n.	0,086
# 183	0,97	0,039

Abwässer

Labornummer: **W 02 09 3353**Probenbezeichnung: **K-ARA-13**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	0,0032	0,002
# 17/25	0,018	0,002
# 28	0,051	0,004
# 47	1,1	0,003
# 49	0,037	0,003
# 77	0,0064	0,001
# 99	0,56	0,003
# 100	0,13	0,002
# 116	0,01	0,010
# 138	0,068	0,007
# 140	0,018	0,005
# 153	0,31	0,005
# 154	0,067	0,003
# 155	0,015	0,003
# 166	n.n.	0,015
# 181	n.n.	0,075
# 183	1,8	0,014

Labornummer: **W 02 09 3354**Probenbezeichnung: **K-ARA-12**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	n.n.	0,002
# 17 / 25	0,018	0,004
# 28	0,058	0,006
# 47	2,7	0,005
# 49	0,05	0,005
# 77	0,0048	0,003
# 99	1	0,006
# 100	0,25	0,004
# 116	n.n.	0,017
# 138	0,011	0,006
# 140	n.n.	0,005
# 153	0,1	0,005
# 154	0,044	0,003
# 155	0,0076	0,004
# 166	n.n.	0,009
# 181	n.n.	0,076
# 183	0,33	0,026

Labornummer: **W 02 09 3355**Probenbezeichnung: **K-ARA-18**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	n.n.	0,003
# 17 / 25	0,017	0,003
# 28	0,079	0,005
# 47	3,9	0,004
# 49	0,064	0,005
# 77	0,004	0,003
# 99	3,3	0,009
# 100	0,63	0,005
# 116	n.n.	0,014
# 138	0,028	0,008
# 140	0,011	0,005
# 153	0,26	0,005
# 154	0,18	0,005
# 155	0,012	0,006
# 166	n.n.	0,012
# 181	n.n.	0,066
# 183	0,31	0,021

Abwässer

Labornummer: **W 02 09 3356**
 Probenbezeichnung: **K-ARA-16**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	0,0024	0,002
# 17/25	0,02	0,002
# 28	0,076	0,004
# 47	1,9	0,002
# 49	0,061	0,003
# 77	0,002	0,002
# 99	1,3	0,003
# 100	0,27	0,002
# 116	n.n.	0,007
# 138	0,02	0,006
# 140	0,0048	0,004
# 153	0,17	0,003
# 154	0,082	0,003
# 155	0,0052	0,004
# 166	n.n.	0,013
# 181	n.n.	0,073
# 183	0,76	0,015

Labornummer: **W 02 09 3357**
 Probenbezeichnung: **K-ARA-1**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	n.n.	0,002
# 17 / 25	0,021	0,004
# 28	n.n.	0,006
# 47	4,3	0,004
# 49	0,071	0,005
# 77	0,008	0,003
# 99	1,3	0,006
# 100	0,36	0,004
# 116	n.n.	0,011
# 138	0,017	0,008
# 140	0,01	0,006
# 153	0,1	0,005
# 154	0,058	0,004
# 155	0,013	0,005
# 166	0,0092	0,012
# 181	n.n.	0,067
# 183	0,34	0,029

Labornummer: **W 02 09 3359**
 Probenbezeichnung: **K-ARA-3**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	0,0064	0,002
# 17/25	0,026	0,003
# 28	0,04	0,004
# 47	0,8	0,003
# 49	0,04	0,004
# 77	0,015	0,003
# 99	0,39	0,006
# 100	0,091	0,003
# 116	0,016	0,014
# 138	0,15	0,013
# 140	0,038	0,009
# 153	0,8	0,008
# 154	0,23	0,004
# 155	0,022	0,005
# 166	0,029	0,025
# 181	0,16	0,100
# 183	5,5	0,027

Abwässer

Labornummer: **W 02 09 3360**Probenbezeichnung: **I-ARA-8**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	0,0016	0,001
# 17/25	0,025	0,003
# 28	0,073	0,005
# 47	1,2	0,003
# 49	n.n.	0,004
# 77	0,015	0,002
# 99	0,87	0,005
# 100	0,17	0,004
# 116	0,018	0,014
# 138	0,19	0,014
# 140	0,039	0,008
# 153	0,91	0,008
# 154	0,17	0,005
# 155	0,035	0,005
# 166	0,054	0,029
# 181	0,33	0,167
# 183	6	0,032

Labornummer: **W 02 09 3363**Probenbezeichnung: **K-ARA-2**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	0,0036	0,004
# 17 / 25	0,017	0,005
# 28	0,088	0,009
# 47	3,9	0,005
# 49	0,064	0,005
# 77	0,0052	0,006
# 99	5,4	0,012
# 100	0,87	0,005
# 116	n.n.	0,025
# 138	0,066	0,008
# 140	0,025	0,006
# 153	0,5	0,006
# 154	0,3	0,005
# 155	0,018	0,006
# 166	n.n.	0,025
# 181	n.n.	0,321
# 183	0,41	0,026

Labornummer: **W 02 09 3364**Probenbezeichnung: **K-ARA-15**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	0,002	0,003
# 17 / 25	0,014	0,004
# 28	0,059	0,006
# 47	4,6	0,005
# 49	0,071	0,006
# 77	0,0052	0,006
# 99	4,2	0,007
# 100	0,8	0,004
# 116	n.n.	0,022
# 138	0,047	0,012
# 140	0,015	0,007
# 153	0,38	0,008
# 154	0,23	0,004
# 155	0,014	0,006
# 166	n.n.	0,037
# 181	n.n.	0,383
# 183	0,29	0,029

Abwässer

Labornummer: **W 02 09 3436**Probenbezeichnung: **K-ARA-8**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	n.n.	0,003
# 17 / 25	0,018	0,004
# 28	0,1	0,005
# 47	4,5	0,011
# 49	0,099	0,013
# 77	0,004	0,002
# 99	2,7	0,018
# 100	0,58	0,009
# 116	n.n.	0,040
# 138	0,16	0,057
# 140	n.n.	0,037
# 153	1,6	0,029
# 154	0,38	0,016
# 155	n.n.	0,019
# 166	n.n.	0,119
# 181	n.n.	0,305
# 183	19	0,115

Labornummer: **W 02 09 3437**Probenbezeichnung: **K-ARA-17**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	0,018	0,013
# 17 / 25	0,045	0,017
# 28	0,25	0,025
# 47	15	0,041
# 49	0,34	0,039
# 77	0,0096	0,010
# 99	5,6	0,067
# 100	1,6	0,040
# 116	n.n.	0,131
# 138	0,18	0,094
# 140	n.n.	0,079
# 153	1,1	0,083
# 154	0,45	0,049
# 155	n.n.	0,050
# 166	n.n.	0,192
# 181	n.n.	0,732
# 183	8,8	0,221

Labornummer: **W 02 09 3438**Probenbezeichnung: **I-ARA-3**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	0,004	0,004
# 17 / 25	0,012	0,005
# 28	0,093	0,008
# 47	5,5	0,012
# 49	0,11	0,016
# 77	0,0068	0,005
# 99	2,4	0,023
# 100	0,67	0,019
# 116	n.n.	0,059
# 138	0,072	0,051
# 140	n.n.	0,038
# 153	0,81	0,030
# 154	0,21	0,022
# 155	n.n.	0,025
# 166	n.n.	0,112
# 181	n.n.	0,480
# 183	6,7	0,148

Abwässer

Labornummer: **W 02 09 3471**Probenbezeichnung: **I-ARA-6**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	n.n.	0,004
# 17 / 25	0,018	0,004
# 28	0,076	0,007
# 47	6,4	0,007
# 49	0,11	0,012
# 77	n.n.	0,003
# 99	2,7	0,023
# 100	0,73	0,015
# 116	n.n.	0,044
# 138	0,1	0,036
# 140	n.n.	0,031
# 153	0,75	0,025
# 154	0,26	0,016
# 155	n.n.	0,019
# 166	n.n.	0,070
# 181	n.n.	0,250
# 183	5,9	0,088

Labornummer: **W 02 09 3472**Probenbezeichnung: **I-ARA-2**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	n.n.	0,003
# 17 / 25	0,0072	0,003
# 28	n.n.	0,005
# 47	1,9	0,006
# 49	0,043	0,007
# 77	n.n.	0,002
# 99	0,86	0,010
# 100	0,22	0,009
# 116	n.n.	0,022
# 138	n.n.	0,020
# 140	n.n.	0,017
# 153	0,15	0,014
# 154	0,075	0,009
# 155	n.n.	0,011
# 166	n.n.	0,040
# 181	n.n.	0,139
# 183	1,2	0,051

Labornummer: **W 02 09 3765**Probenbezeichnung: **K-ARA-4**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	0,0036	0,004
# 17 / 25	0,031	0,005
# 28	0,059	0,008
# 47	4,6	0,013
# 49	0,13	0,015
# 77	0,0056	0,003
# 99	1,5	0,020
# 100	0,49	0,015
# 116	n.n.	0,062
# 138	0,05	0,022
# 140	0,021	0,019
# 153	0,14	0,024
# 154	0,083	0,012
# 155	0,02	0,015
# 166	n.n.	0,041
# 181	n.n.	0,221
# 183	0,81	0,065

Abwässer

Labornummer: **W 02 09 3766**Probenbezeichnung: **I-ARA-10**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	n.n.	0,004
# 17 / 25	0,0092	0,004
# 28	0,044	0,006
# 47	3,2	0,009
# 49	0,05	0,009
# 77	n.n.	0,002
# 99	1,2	0,018
# 100	0,37	0,015
# 116	n.n.	0,036
# 138	0,025	0,013
# 140	n.n.	0,012
# 153	0,11	0,012
# 154	0,076	0,009
# 155	0,0096	0,009
# 166	n.n.	0,028
# 181	n.n.	0,188
# 183	0,54	0,050

Labornummer: **W 02 09 3816**Probenbezeichnung: **K-ARA-14**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	n.n.	0,003
# 17 / 25	0,012	0,003
# 28	0,07	0,006
# 47	4,1	0,006
# 49	0,086	0,009
# 77	0,0028	0,003
# 99	1,1	0,017
# 100	0,41	0,009
# 116	n.n.	0,045
# 138	0,02	0,013
# 140	n.n.	0,012
# 153	0,1	0,011
# 154	0,058	0,008
# 155	n.n.	0,007
# 166	n.n.	0,025
# 181	n.n.	0,175
# 183	0,67	0,050

Labornummer: **W 02 09 3818**Probenbezeichnung: **I-ARA-12**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	n.n.	0,007
# 17 / 25	n.n.	0,015
# 28	0,89	0,021
# 47	17	0,015
# 49	11	0,026
# 77	0,18	0,015
# 99	16	0,052
# 100	3,3	0,060
# 116	0,27	0,125
# 138	3,1	0,292
# 140	n.n.	0,279
# 153	12	0,288
# 154	5,3	0,120
# 155	0,64	0,104
# 166	1,4	0,623
# 181	40	6,771
# 183	75	1,640

AbwässerLabornummer: **W 02 11 4492**Probenbezeichnung: **M-ARA-2**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	n.n.	0,004
# 17 / 25	n.n.	0,006
# 28	n.n.	0,008
# 47	2,7	0,020
# 49	0,075	0,027
# 77	n.n.	0,011
# 99	1,1	0,085
# 100	0,29	0,069
# 116	n.n.	0,196
# 138	n.n.	0,060
# 140	n.n.	0,050
# 153	0,12	0,041
# 154	0,08	0,037
# 155	n.n.	0,043
# 166	n.n.	0,127
# 181	n.n.	0,600
# 183	0,74	0,118

DeponiesickerwässerLabornummer: **W 01 11 4828**Probenbezeichnung: **DSW 1**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	0,046	0,013
# 17 / 25	4,4	0,026
# 28	7,7	0,045
# 47	360	0,066
# 49	54	0,052
# 77	0,2	0,053
# 99	410	0,062
# 100	74	0,058
# 116	0,65	0,293
# 138	5,7	0,283
# 140	1,8	0,144
# 153	65	0,147
# 154	33	0,067
# 155	1,8	0,091
# 166	n.n.	0,894
# 181	13	7,351
# 183	96	0,686

Labornummer: **W 01 11 4835**Probenbezeichnung: **DSW 2**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	0,046	0,016
# 17 / 25	1,2	0,041
# 28	4,9	0,062
# 47	150	0,052
# 49	5,9	0,069
# 77	0,23	0,075
# 99	160	0,095
# 100	25	0,078
# 116	0,33	0,323
# 138	4,5	0,222
# 140	1,4	0,191
# 153	36	0,166
# 154	15	0,064
# 155	0,72	0,076
# 166	n.n.	0,711
# 181	13	7,557
# 183	84	0,821

Altlastennahe Gewässerkörper

Labornummer: **W 01 11 4836**
 Probenbezeichnung: **GW 4 A**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	n.n.	0,004
# 17 / 25	0,035	0,005
# 28	0,12	0,009
# 47	3,8	0,007
# 49	0,082	0,005
# 77	0,01	0,007
# 99	0,86	0,009
# 100	0,26	0,005
# 116	n.n.	0,032
# 138	n.n.	0,017
# 140	0,018	0,012
# 153	0,12	0,015
# 154	0,1	0,008
# 155	0,016	0,009
# 166	n.n.	0,045
# 181	n.n.	1,958
# 183	0,5	0,242

Labornummer: **W 01 11 4837**
 Probenbezeichnung: **GW 4 B**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	0,01	0,006
# 17 / 25	0,039	0,008
# 28	0,1	0,018
# 47	2,3	0,012
# 49	0,14	0,012
# 77	0,014	0,010
# 99	1,3	0,022
# 100	0,36	0,015
# 116	0,2	0,079
# 138	2,6	0,108
# 140	1,9	0,093
# 153	3	0,100
# 154	2,3	0,045
# 155	0,64	0,037
# 166	0,87	0,316
# 181	64	5,095
# 183	21	0,502

Labornummer: **W 01 11 4838**
 Probenbezeichnung: **GW 2**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	n.n.	0,004
# 17 / 25	0,018	0,006
# 28	0,07	0,011
# 47	1,9	0,008
# 49	0,051	0,010
# 77	0,0056	0,006
# 99	0,66	0,008
# 100	0,17	0,006
# 116	n.n.	0,026
# 138	0,054	0,021
# 140	0,048	0,017
# 153	0,13	0,017
# 154	0,1	0,011
# 155	0,018	0,011
# 166	n.n.	0,062
# 181	n.n.	1,292
# 183	0,72	0,152

Altlastennahe Gewässerkörper

Labornummer: **W 01 11 4854**Probenbezeichnung: **GW 3**

	ng/l	NWG ng/l
PBDE		
# 11	0,55	0,416
# 17 / 25	4,1	0,875
# 28	4	1,234
# 47	2,5	0,010
# 49	0,079	0,006
# 77	n.n.	1,757
# 99	0,69	0,009
# 100	0,22	0,005
# 116	n.n.	0,026
# 138	0,018	0,020
# 140	0,027	0,017
# 153	0,12	0,015
# 154	0,094	0,010
# 155	0,027	0,012
# 166	n.n.	0,060
# 181	n.n.	1,905
# 183	0,5	0,238

Klärschlämme

Labornummer: **S 02 03 0939**Probenbezeichnung: **KS-1**

	ng/kg _{TM}	NWG ng/kg _{TM}
PBDE		
# 11	0,1	0,060
# 17 / 25	1,7	0,129
# 28	11	0,196
# 47	370	0,380
# 49	31	0,575
# 77	0,42	0,110
# 99	310	0,427
# 100	54	0,520
# 116	n.n.	1,324
# 138	17	1,382
# 140	9,5	1,174
# 153	59	1,188
# 154	27	0,601
# 155	7,5	0,692
# 166	n.n.	2,926
# 181	150	22,081
# 183	250	2,982

Labornummer: **S 02 03 0940**Probenbezeichnung: **KS-3**

	ng/kg _{TM}	NWG ng/kg _{TM}
PBDE		
# 11	0,63	0,074
# 17 / 25	230	0,184
# 28	280	0,285
# 47	18000	0,955
# 49	1100	0,684
# 77	8,3	0,366
# 99	21000	1,522
# 100	3500	1,637
# 116	n.n.	6,475
# 138	300	3,584
# 140	100	3,404
# 153	2200	3,018
# 154	1500	1,478
# 155	67	1,564
# 166	n.n.	7,611
# 181	920	64,443
# 183	3100	12,814

Klärschlämme

Labornummer: **S 02 03 0941**
 Probenbezeichnung: **KS-2**

	ng/kg _{TM}	NWG ng/kg _{TM}
PBDE		
# 11	1	0,076
# 17 / 25	2,5	0,096
# 28	16	0,169
# 47	390	0,465
# 49	28	0,665
# 77	0,53	0,108
# 99	280	2,097
# 100	57	0,926
# 116	26	6,203
# 138	11	1,791
# 140	8,5	1,313
# 153	69	1,131
# 154	26	0,805
# 155	10	0,952
# 166	n.n.	3,675
# 181	n.n.	37,078
# 183	310	3,684

Labornummer: **S 02 11 4487**
 Probenbezeichnung: **KS-4**

	ng/kg _{TM}	NWG ng/kg _{TM}
PBDE		
# 11	n.n.	0,350
# 17 / 25	390	0,920
# 28	240	2,300
# 47	18000	13,000
# 49	2400	9,900
# 77	6	1,100
# 99	19000	25,000
# 100	3600	11,000
# 116	n.n.	58,000
# 138	420	21,000
# 140	140	14,000
# 153	1900	20,000
# 154	1100	13,000
# 155	58	15,000
# 166	n.n.	64,000
# 181	1400	210,000
# 183	1200	20,000

Labornummer: **S 02 11 4488**
 Probenbezeichnung: **KS-5**

	ng/kg _{TM}	NWG ng/kg _{TM}
PBDE		
# 11	n.n.	0,430
# 17 / 25	570	1,700
# 28	680	2,500
# 47	50000	9,100
# 49	2400	9,000
# 77	22	1,700
# 99	58000	15,000
# 100	11000	7,900
# 116	13	49,000
# 138	1400	43,000
# 140	1400	36,000
# 153	6500	30,000
# 154	5100	15,000
# 155	230	11,000
# 166	n.n.	140,000
# 181	65000	2600,000
# 183	17000	160,000

Klärschlämme

Labornummer: **S 02 11 4489**
 Probenbezeichnung: **KS-6**

	ng/kg _{TM}	NWG ng/kg _{TM}
PBDE		
# 11	0,56	0,320
# 17 / 25	330	0,710
# 28	600	1,400
# 47	48000	3,200
# 49	2800	4,100
# 77	12	1,400
# 99	59000	5,800
# 100	10000	3,900
# 116	n.n.	23,000
# 138	1100	30,000
# 140	430	19,000
# 153	5700	19,000
# 154	5500	7,400
# 155	250	9,400
# 166	n.n.	94,000
# 181	8500	1300,000
# 183	5200	70,000

Labornummer: **S 02 11 4490**
 Probenbezeichnung: **KS-7**

	ng/kg _{TM}	NWG ng/kg _{TM}
PBDE		
# 11	n.n.	0,200
# 17 / 25	1500	0,280
# 28	410	0,550
# 47	23000	1,800
# 49	1800	1,800
# 77	4,8	0,620
# 99	35000	3,800
# 100	4700	1,800
# 116	n.n.	10,000
# 138	510	7,200
# 140	340	7,400
# 153	3500	5,600
# 154	2100	2,400
# 155	69	2,300
# 166	56	20,000
# 181	5600	350,000
# 183	1800	16,000

Labornummer: **S 02 11 4491**
 Probenbezeichnung: **KS-8**

	ng/kg _{TM}	NWG ng/kg _{TM}
PBDE		
# 11	0,47	0,190
# 17 / 25	860	0,280
# 28	360	0,490
# 47	21000	3,700
# 49	1600	1,400
# 77	10	0,950
# 99	24000	3,200
# 100	4000	3,700
# 116	n.n.	13,000
# 138	430	8,300
# 140	100	6,700
# 153	2700	6,200
# 154	1500	3,000
# 155	83	3,400
# 166	n.n.	25,000
# 181	310	260,000
# 183	1600	22,000

Schwebstoffe der Donau und Donausedimente

Labornummer: **S 01 08 3314**
 Probenbezeichnung: **JDS-10 - Melk**

	ng/kg _{TM}	NWG ng/kg _{TM}
PBDE		
# 11	0,14	0,085
# 17 / 25	1,3	0,157
# 28	6,2	0,228
# 47	160	0,591
# 49	6,7	0,446
# 77	0,32	0,123
# 99	110	0,602
# 100	25	0,432
# 116	n.n.	2,011
# 138	8,1	1,993
# 140	4,8	1,443
# 153	60	0,962
# 154	15	0,446
# 155	1,1	0,511
# 166	n.n.	6,121
# 181	150	64,643
# 183	590	3,031

Labornummer: **S 01 08 3315**
 Probenbezeichnung: **JDS-06 - JDS-077**

	ng/kg _{TM}	NWG ng/kg _{TM}
PBDE		
# 11	0,1	0,079
# 17 / 25	1,3	0,134
# 28	5,9	0,231
# 47	120	0,580
# 49	7,5	0,588
# 77	0,26	0,133
# 99	98	0,684
# 100	21	0,689
# 116	n.n.	2,335
# 138	3,3	1,727
# 140	2,1	0,972
# 153	14	0,819
# 154	5,7	0,525
# 155	n.n.	0,608
# 166	n.n.	4,904
# 181	60	42,482
# 183	46	2,545

Labornummer: **S 0108 3316**
 Probenbezeichnung: **JDS-07 R**

	ng/kg _{TM}	NWG ng/kg _{TM}
PBDE		
# 11	n.n.	0,150
# 17 / 25	3,5	0,166
# 28	7,1	0,259
# 47	240	0,208
# 49	18	0,331
# 77	0,28	0,163
# 99	170	0,382
# 100	37	0,166
# 116	n.n.	0,719
# 138	3,4	0,875
# 140	1,9	0,632
# 153	28	0,446
# 154	14	0,320
# 155	1,3	0,405
# 166	n.n.	1,759
# 181	n.n.	9,374
# 183	82	1,776

Donausedimente

Labornummer: **S 0108 3317**Probenbezeichnung: **JDS-07 L**

	ng/kg _{TM}	NWG ng/kg _{TM}
PBDE		
# 11	0,2	0,171
# 17 / 25	2,1	0,204
# 28	5,1	0,451
# 47	170	0,210
# 49	11	0,482
# 77	0,5	0,159
# 99	180	0,321
# 100	34	0,270
# 116	n.n.	0,915
# 138	4,7	0,916
# 140	2,3	0,716
# 153	26	0,788
# 154	15	0,450
# 155	1,8	0,471
# 166	n.n.	1,964
# 181	n.n.	12,686
# 183	84	3,562

Labornummer: **S 0108 3318**Probenbezeichnung: **JDS-08 R**

	ng/kg _{TM}	NWG ng/kg _{TM}
PBDE		
# 11	n.n.	0,140
# 17 / 25	3,7	0,180
# 28	7	0,294
# 47	270	0,205
# 49	20	0,326
# 77	n.n.	0,209
# 99	280	0,475
# 100	54	0,211
# 116	n.n.	0,894
# 138	6,5	0,917
# 140	2,8	0,860
# 153	35	0,885
# 154	24	0,494
# 155	1,9	0,524
# 166	n.n.	1,849
# 181	n.n.	11,941
# 183	72	3,483

Labornummer: **S 0108 3319**Probenbezeichnung: **JDS-08 L**

	ng/kg _{TM}	NWG ng/kg _{TM}
PBDE		
# 11	n.n.	0,185
# 17 / 25	7,1	0,251
# 28	8,7	0,362
# 47	200	0,221
# 49	31	0,308
# 77	n.n.	0,263
# 99	190	0,439
# 100	40	0,359
# 116	n.n.	1,024
# 138	3	0,918
# 140	1,7	0,738
# 153	34	0,780
# 154	18	0,441
# 155	1,6	0,494
# 166	n.n.	1,895
# 181	n.n.	11,934
# 183	89	2,784

Donausedimente

Labornummer: **S 0108 3320**Probenbezeichnung: **JDS-09**

	ng/kg _{TM}	NWG ng/kg _{TM}
PBDE		
# 11	n.n.	0,149
# 17 / 25	1,3	0,179
# 28	6,3	0,359
# 47	190	0,197
# 49	16	0,214
# 77	0,18	0,158
# 99	140	0,335
# 100	28	0,192
# 116	n.n.	0,778
# 138	1,1	0,591
# 140	n.n.	0,461
# 153	23	0,460
# 154	14	0,395
# 155	1,3	0,443
# 166	n.n.	1,143
# 181	n.n.	7,771
# 183	81	2,644

Labornummer: **S 0108 3321**Probenbezeichnung: **JDS-10 R**

	ng/kg _{TM}	NWG ng/kg _{TM}
PBDE		
# 11	n.n.	0,162
# 17 / 25	3,6	0,242
# 28	8,5	0,463
# 47	160	0,181
# 49	15	0,231
# 77	0,26	0,157
# 99	160	0,240
# 100	30	0,230
# 116	n.n.	0,675
# 138	1,7	0,675
# 140	1,2	0,461
# 153	29	0,511
# 154	13	0,369
# 155	1,2	0,413
# 166	n.n.	1,420
# 181	n.n.	9,184
# 183	88	2,554

Labornummer: **S 01 08 3322**Probenbezeichnung: **JDS-10 L**

	ng/kg _{TM}	NWG ng/kg _{TM}
PBDE		
# 11	0,06	0,075
# 17 / 25	1,4	0,131
# 28	4,4	0,272
# 47	170	0,219
# 49	7,4	0,235
# 77	0,26	0,186
# 99	130	0,299
# 100	25	0,220
# 116	n.n.	1,033
# 138	3,3	0,664
# 140	0,86	0,462
# 153	24	0,373
# 154	10	0,194
# 155	0,7	0,252
# 166	n.n.	1,946
# 181	22	19,914
# 183	56	1,221

Donausedimente

Labornummer: **S 01 08 3323**Probenbezeichnung: **JDS-11 R**

	ng/kg _{TM}	NWG ng/kg _{TM}
PBDE		
# 11	0,24	0,141
# 17 / 25	3,7	0,221
# 28	5,7	0,296
# 47	180	0,305
# 49	24	0,391
# 77	0,4	0,199
# 99	160	0,496
# 100	33	0,347
# 116	n.n.	1,805
# 138	4,2	0,973
# 140	1,8	0,726
# 153	29	0,637
# 154	2,9	0,420
# 155	1,2	0,589
# 166	n.n.	2,745
# 181	55	28,090
# 183	71	1,777

Labornummer: **S 01 08 3324**Probenbezeichnung: **JDS-11 L**

	ng/kg _{TM}	NWG ng/kg _{TM}
PBDE		
# 11	n.n.	0,234
# 17 / 25	4,2	0,397
# 28	4,9	0,646
# 47	200	0,285
# 49	9,9	0,312
# 77	0,32	0,169
# 99	200	0,331
# 100	37	0,275
# 116	n.n.	1,118
# 138	6,9	1,177
# 140	2,5	0,762
# 153	35	0,778
# 154	1,8	0,308
# 155	1,6	0,409
# 166	n.n.	3,621
# 181	94	38,164
# 183	87	1,998

Labornummer: **S 01 08 3325**Probenbezeichnung: **JDS-13**

	ng/kg _{TM}	NWG ng/kg _{TM}
PBDE		
# 11	n.n.	0,138
# 17 / 25	45	0,258
# 28	110	0,480
# 47	3500	0,636
# 49	320	0,869
# 77	2,4	0,499
# 99	4000	1,100
# 100	810	0,862
# 116	n.n.	4,002
# 138	93	3,116
# 140	30	1,968
# 153	520	2,281
# 154	360	0,925
# 155	17	1,483
# 166	n.n.	8,588
# 181	190	49,322
# 183	430	3,610

Donausedimente

Labornummer: **S 01 08 3326**

Probenbezeichnung: **JDS-14 L**

	ng/kg _{TM}	NWG ng/kg _{TM}
PBDE		
# 11	n.n.	0,214
# 17 / 25	3,2	0,372
# 28	8	0,710
# 47	200	0,751
# 49	8	1,201
# 77	n.n.	0,900
# 99	160	3,438
# 100	32	2,622
# 116	n.n.	12,425
# 138	6,3	4,686
# 140	4,9	3,466
# 153	25	2,530
# 154	20	1,886
# 155	n.n.	2,438
# 166	n.n.	13,366
# 181	430	89,566
# 183	190	8,743

Labornummer: **S 01 08 3327**

Probenbezeichnung: **JDS-14 R**

	ng/kg _{TM}	NWG ng/kg _{TM}
PBDE		
# 11	n.n.	0,584
# 17 / 25	4,2	0,597
# 28	11	1,205
# 47	290	0,246
# 49	38	0,453
# 77	0,3	0,236
# 99	250	0,807
# 100	51	0,415
# 116	n.n.	1,853
# 138	5,3	1,215
# 140	2,5	0,865
# 153	34	0,698
# 154	16	0,424
# 155	1,7	0,547
# 166	n.n.	3,696
# 181	120	37,815
# 183	86	2,136

Labornummer: **S 01 08 3328**

Probenbezeichnung: **JDS-12**

	ng/kg _{TM}	NWG ng/kg _{TM}
PBDE		
# 11	0,1	0,070
# 17 / 25	0,99	0,128
# 28	4,7	0,187
# 47	130	0,352
# 49	6	0,443
# 77	0,18	0,095
# 99	80	0,530
# 100	19	0,381
# 116	n.n.	1,824
# 138	2,1	1,001
# 140	1,5	0,734
# 153	11	0,604
# 154	5,6	0,428
# 155	0,76	0,541
# 166	n.n.	2,974
# 181	38	31,885
# 183	32	1,832