

# ENDBERICHT

## **Relevanz von neuen persistenten organischen Schadstoffen in Abfällen und deren Auswirkungen auf die Abfalleinstufung und die Entsorgungswege in Sachsen-Anhalt**

für

Landesamt für Umweltschutz  
Sachsen-Anhalt  
Postfach 200841  
06009 Halle (Saale)

November 2019

von:

INTECUS GmbH  
Abfallwirtschaft und  
umweltintegratives Management  
Pohlandstraße 17  
01309 Dresden

Tel.: (03 51) 3 18 23-0  
Fax: (03 51) 3 18 23-33  
intecus.dresden@intecus.de  
www.intecus.de

sowie als Unterauftragnehmer:

Eurofins Umwelt Ost GmbH

Gewerbegebiet Freiberg Ost  
Lindenstraße 11

09627 Bobritzsch-Hilbersdorf

Tel.: (0 37 31) 2 07 65 00  
Fax: (0 37 31) 2 07 65 55  
info\_freiberg@eurofins-umwelt.de

[www.eurofins.de](http://www.eurofins.de)



## **ENDBERICHT**

Relevanz von neuen persistenten organischen Schadstoffen in Abfällen und deren Auswirkungen auf die Abfalleinstufung und die Entsorgungswege in Sachsen-Anhalt

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Veranlassung und Vorgehensweise</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Rechtliche Grundlagen</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Darstellung der betrachteten POP</b>	<b>5</b>
3.1	Short Chain Chlorinated Paraffin (SCCP)	5
3.1.1	Aufbau und Strukturformel	5
3.1.2	Herstellung/Entstehung	5
3.1.3	Eigenschaften	6
3.1.4	Verwendung	6
3.1.5	Chemikalienrechtliche Einstufung	6
3.1.6	Abfallrechtliche Einstufung	6
3.1.7	Vorkommen in Abfällen	7
3.2	Polybromierte Diphenylether (PBDE)	12
3.2.1	Aufbau und Strukturformel	12
3.2.2	Herstellung/Entstehung	12
3.2.3	Eigenschaften	12
3.2.4	Verwendung	13
3.2.5	Chemikalienrechtliche Einstufung	13
3.2.6	Abfallrechtliche Einstufung	14
3.2.7	Vorkommen in Abfällen	14
3.3	Perfluorooctansulfonsäure (PFOS)	17
3.3.1	Aufbau und Strukturformel	17
3.3.2	Herstellung/Entstehung	17
3.3.3	Eigenschaften	17
3.3.4	Verwendung	17
3.3.5	Chemikalienrechtliche Einstufung	18
3.3.6	Abfallrechtliche Einstufung	18
3.3.7	Vorkommen in Abfällen	19
3.4	Hexachlorbutadien (HCBd)	22
3.4.1	Aufbau und Strukturformel	22
3.4.2	Herstellung/Entstehung	22
3.4.3	Eigenschaften	22
3.4.4	Verwendung	22
3.4.5	Chemikalienrechtliche Einstufung	23
3.4.6	Abfallrechtliche Einstufung	23
3.4.7	Vorkommen in Abfällen	23
3.5	Zusammenfassung der Literaturrecherche	26
<b>4</b>	<b>Analytik ausgewählter Abfälle</b>	<b>27</b>
4.1	Allgemeine Vorgehensweise	27
4.2	Probenahme	27
4.3	Probenaufbereitung für die POP-Analysen und Halogene	33
4.4	Beschreibung der Analyse der Halogene	34
4.5	Analytik	34
4.6	RFA- Messung	35

<b>5</b>	<b>Auswertung</b>	<b>36</b>
5.1	Erste Kampagne	36
5.1.1	Nachweis von POP	38
5.1.2	Fluor	38
5.1.3	Chlor	38
5.1.4	Brom	41
5.2	Zweite Kampagne	43
5.2.1	Nachweis von POP	46
5.2.2	Fluor	46
5.2.3	Chlor	46
5.2.4	Brom	49
5.3	Qualitätssicherung	51
5.3.1	Vergleichsanalyse der ersten Kampagne	51
5.3.2	Vergleichsanalyse der zweiten Kampagne	51
5.4	Stoffstromauswertung	52
5.4.1	16 01 19 – Kunststoffe	56
5.4.2	16 02 13* – gefährliche Bauteile enthaltende gebrauchte Geräte	58
5.4.3	16 02 15* – aus gebrauchten Geräten entfernte gefährliche Bauteile	59
5.4.4	19 08 05 – Schlämme aus der Behandlung von kommunalem Abwasser	60
5.4.5	19 08 14 – Schlämme aus einer anderen Behandlung von industriellem Abwasser	61
5.4.6	19 10 03* – Shredderleichtfraktionen und Staub, die gefährliche Stoffe enthalten	62
5.4.7	19 10 04 – Shredderleichtfraktionen und Staub	63
5.4.8	19 12 04 – Kunststoff und Gummi	65
5.4.9	19 12 10 – brennbare Abfälle (Brennstoffe aus Abfällen)	66
5.4.10	19 12 12 – sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen	68
<b>6</b>	<b>Fazit der Auswertung und abschließende Betrachtung</b>	<b>70</b>
<b>7</b>	<b>Quellenverzeichnis und weiterführende Literatur</b>	<b>72</b>

## **1 Veranlassung und Vorgehensweise**

Persistente organische Schadstoffe (POP) stellen aufgrund ihrer langlebigen, bioakkumulativen und toxischen Eigenschaften sowie der hohen Mobilität eine erhebliche Umweltgefahr dar.

Als so genannte neue POP gelten jene Stoffgruppen, welche seit 2010 in das Stockholmer Übereinkommen aufgenommen wurden. In dieser Studie werden folgende POP untersucht:

- kurzkettige Chlorparaffine (SCCP)
- polybromierte Diphenylether (PBDE)
- Perfluorooctansulfonsäure und ihre Derivate (PFOS)
- Hexachlorbutadien (HCBD)

Bisher gibt es weder in Sachsen-Anhalt noch in anderen Bundesländern hinreichende Informationen über die Verbreitung der genannten POP in den Entsorgungswegen. Um derartige Informationen zu gewinnen, hat das Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt eine Untersuchung in Auftrag gegeben, welche auf der einen Seite durch Literatur- und Internetrecherche das theoretisch zu erwartende Inventar an POP im Wirtschaftskreislauf ergründen und auf der anderen Seite das tatsächliche Vorhandensein bestimmter POP mittels Probenahme und Laboranalyse von Proben aus ausgewählten Anlagen untersuchen sollte. Die Ergebnisse sollten hinsichtlich der abfallrechtlichen Einstufung, den Möglichkeiten des Recyclings und der Wiederverwendung von Erzeugnissen und der Anforderungen an eine ordnungsgemäße Entsorgung nach der EG-Verordnung und der POP-Abfall-Überwachungs-Verordnung bewertet werden. Soweit erforderlich sollten Schlussfolgerungen für die Abfallwirtschaftsplanung des Landes Sachsen-Anhalt gezogen werden.

In der vorliegenden Studie werden einführend Hintergrundinformationen wie Herstellungszeiträume und Grenzwerte der einzelnen POP dargestellt. Des Weiteren werden typische Verwendungen und Einsatzzwecke beschrieben.

Um die Situation hinsichtlich des Vorkommens der POP in Abfällen und deren Entsorgungswegen in Sachsen-Anhalt zu ermitteln, wurden auf ausgewählten Anlagen in Sachsen-Anhalt Proben genommen, welche hinsichtlich der vier POP untersucht wurden. Anhand der Auswertung werden betroffene Abfallarten in Sachsen-Anhalt identifiziert und deren Entsorgungswege bewertet.

Alle im Gutachten angegebenen Analytikwerte beziehen sich auf die Trockensubstanz (TS) der jeweiligen Probe.

## **2 Rechtliche Grundlagen**

Nachdem 1979 das Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung (Genfer Luftreinhalteabkommen, LRTAP) vereinbart wurde, ist es im Aarhus Protokoll 1998, welches im Jahr 2003 in Kraft getreten ist, hinsichtlich der POP weiter konkretisiert worden. Bereits im Mai 2001 wurde bei der Stockholmer Konvention das Übereinkommen zur Beendigung oder Einschränkung der Produktion, Verwendung und

Freisetzung von POP geschlossen. Deutschland hat das Übereinkommen per Gesetz vom 09. April 2002<sup>1</sup> ratifiziert, welches am 17. Mai 2004 in Kraft getreten ist.

Das Übereinkommen wurde mit dem Ziel geschlossen, eine Freisetzung von POP in die Umwelt durch geeignete Maßnahmen zu verhindern oder zumindest, so weit wie mit vertretbarem technischen Aufwand möglich, zu vermindern (Vorsorgeprinzip). In den Anlagen A–C der Konvention sind die zu betrachtenden Stoffe in drei Kategorien unterteilt:

- A) Stoffe, die vollständig von den Märkten eliminiert werden sollen,
- B) Stoffe, deren Herstellung und Verwendung beschränkt werden sollen,
- C) Stoffe, die nicht explizit hergestellt werden, sondern als Kuppelprodukte anfallen.

Seit Inkrafttreten der Konvention im Jahr 2004 sind auf den zweijährlich stattfindenden Vertragsstaatenkonferenzen zu den als „dreckiges Dutzend“ bezeichneten ursprünglich zwölf Stoffen der Anlagen A–C mehrere Stoffe hinzugefügt worden:

Tabelle 1: POP der Stockholm Konvention (Eigene Darstellung nach Secretariat of the Stockholm Convention (o. J.))

Anlage A	Aldrin, Chlordan, Dieldrin, Endrin, Heptachlor, Hexachlorbenzol, Mirex, Toxaphen, Polychlorierte Biphenyle, $\alpha$ -Hexachlorcyclohexan, $\beta$ -Hexachlorcyclohexan, Chlordecon, Hexabrombiphenyl, Hexabromdiphenylether, Heptabromdiphenylether, Lindan, Pentachlorbenzol, Tetrabromdiphenylether, Pentabromdiphenylether, Endosulfan, Hexabromcyclododecan, Hexachlorbutadien, Polychlorierte Naphthaline, Pentachlorphenol, seine Salze und Ester, Decabromdiphenylether, kurzkettige Chlorparaffine, Dicofol, Perfluorooctansäure (PFOA), ihre Salze und andere Verbindungen
Anlage B	DDT, Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) und ihre Salze, Perfluorooctansulfonylfluorid
Anlage C	Hexachlorbenzol, Polychlorierte Biphenyle, Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane, Pentachlorbenzol, Hexachlorbutadien, Polychlorierte Naphthaline

Die genannten POP können in den verschiedensten Bereichen vorkommen, auch Sekundärkontaminationen sind möglich.

In der Stockholm Konvention wird der Umgang mit POP-haltigen Abfällen in Artikel 6 mit den „Maßnahmen zur Verringerung oder Verhinderung von Freisetzungen aus Lagerbeständen und Abfällen“ beschrieben. Hierbei ist für die vorliegende Studie insbesondere der Absatz 1 d) von Bedeutung, welcher vorschreibt, dass die Abfälle umweltgerecht zu erfassen und zu lagern sind, während der Entsorgung sämtliche Schadstoffe zerstört oder unumkehrbar umgewandelt werden müssen. Es dürfen demnach keine Entsorgungsverfahren eingesetzt werden, bei denen eine Wiederverwendung/Wiedergewinnung der POP möglich ist. Zudem dürfen diese Abfälle nicht über Staatsgrenzen befördert werden, wenn nicht alle einschlägigen internationalen Regeln, Normen und Richtlinien eingehalten werden.

---

<sup>1</sup> Gesetz zu dem Stockholmer Übereinkommen vom 23. Mai 2001 über persistente organische Schadstoffe (POPs-Übereinkommen) und dem Protokoll vom 24. Juni 1998 zu dem Übereinkommen von 1979 über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung betreffend persistente organische Schadstoffe (POPs-Protokoll) vom 9. April 2002 (BGBl. 2002 II S. 803)

Die Stockholm Konvention wurde zunächst durch die "Verordnung (EG) Nr. 850/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über persistente organische Schadstoffe und zur Änderung der Richtlinie 79/117/EWG" (EU-POP-Verordnung) in europäisches Recht umgesetzt.

Aufgrund zahlreicher erheblicher und geplanter Änderungen seit der Einführung der EU-POP-Verordnung von 2004 wurde nach einem Vorschlag der Europäischen Kommission vom Europäischen Parlament eine Neufassung der Verordnung geprüft und beschlossen. Am 24. Mai 2019 wurde die Gesetzgebungsakte betreffend der Neufassung der POP-Verordnung von dem Europäischen Parlament und dem Rat der Europäischen Union veröffentlicht, am 25.06.2019 erfolgte die Veröffentlichung im Amtsblatt der Europäischen Union. 20 Tage nach der Veröffentlichung, d.h. am 15.07.2019, trat die neu gefasste Verordnung (EU) Nr. 2019/1021 (EU-POP-Verordnung – EU-POP-VO) in Kraft, gleichzeitig wurde die Verordnung (EG) Nr. 850/2004 aufgehoben.

Mit Beschluss der 9. Vertragsstaatenkonferenz (VSK) im Mai 2019 wurden Dicofol sowie Perfluorooctansäure (PFOA), ihre Salze und andere Verbindungen als neue POP in den Anhang A der Stockholm Konvention aufgenommen. Diese Verbindungen sind noch nicht in der EU-POP-Verordnung geregelt, so dass für diese POP auch eine Fortschreibung der EU-POP-Verordnung inkl. der Festlegung von Konzentrationsgrenzen in Anhängen IV und V zu erwarten ist. Ebenso sind für das in Anhang I der EU-POP-Verordnung aufgeführte PCP noch keine unteren und oberen Grenzwerte in Anhang IV und V der EU-POP-Verordnung festgelegt.

Die EU-POP-Verordnung präzisiert den Umgang mit POP-haltigen Abfällen im Artikel 7 „Abfallbewirtschaftung“. So beinhaltet die EU-POP-Verordnung den Anhang IV, in welchem eine Liste der Stoffe, die den Abfallbewirtschaftungsbestimmungen gemäß Artikel 7 unterliegen, zu finden ist. In der Liste sind Konzentrationsgrenzen aufgeführt, oberhalb der ein Abfall nicht mehr wiederverwendet oder stofflich verwertet werden kann, sondern so behandelt werden muss, dass die enthaltenen POP zerstört oder unumkehrbar umgewandelt werden. Der Anhang V der EU-POP-Verordnung („Behandlung von Abfällen“) benennt zum Einen in Teil 1 die zugelassenen Beseitigungs- und Verwertungsverfahren für POP-haltige Abfälle, welche die Grenzwerte aus Anhang IV nicht einhalten und deren POP-Bestandteile daher zu zerstören oder unumkehrbar umzuwandeln sind. Da POP durch hohe Temperaturen zerstört werden, sind vor allem Verfahren mit thermischen Behandlungsschritten (D10, R1) zulässig. Zudem ist die Umwandlung der POP durch chemisch/physikalische Behandlung (D9) zulässig. Anhang V Teil 2 der EU-POP-Verordnung ermöglicht abweichend davon zerstörungsfreie Verfahren, die für bestimmte Abfallschlüssel und Grenzwerte gelten. Von den dort genannten Verfahren sind in Deutschland nur die untertägige Deponierung - diese allerdings nach Fußnote 1 ohne Konzentrationshöchstgrenzen - und der untertägige Versatz im Salinar zulässig. Die obertägige Deponierung ist nach § 7 Abs. 1 Nr. 7 der Deponieverordnung ausgeschlossen; die Beschränkung auf den Versatz im Salinar ergibt sich aus einem LAGA-Beschluss (unveröffentlicht).

Grundlage der abfallrechtlichen Einstufung ist zum Einen Nr. 2.2.3 die Einleitung zum Abfallverzeichnis in der Anlage der Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung - AVV). Danach sind Abfälle, welche die dort aufgeführten POP in Konzentrationen oberhalb der Konzentrationsgrenzwerte gemäß Anhang IV der EU-POP-Verordnung enthalten, als gefährlich einzustufen. Für Abfälle, die andere als die in Nr. 2.2.3 genannten POP des Anhangs IV der EU-POP-Verordnung enthalten - somit auch die in der vorliegenden Untersuchung relevanten POP - ist für die Einstufung als gefährlich die jeweilige chemikalienrechtliche Einstufung dieser POP entscheidend (vgl. dazu Abschnitt 3).

Die Vorgaben für diese Einstufung regelt § 3 Abs. 2 der AVV i. V. m. Anhang III der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle des Europäischen Parlaments und des Rates (Abfall-Rahmenrichtlinie). Anhang III der Abfall-Rahmenrichtlinie enthält eine Auflistung gefahrenrelevanter Eigenschaften von Abfällen sowie Vorgaben zu deren Einstufung. Abfälle, die die betreffenden POP in Konzentrationen enthalten, welche die Konzentrationsgrenzen der in Anhang III aufgeführten Gefährlichkeitsmerkmale erreichen oder überschreiten sind ebenfalls als gefährlich einzustufen.

Zum anderen ist für die nicht in Nr. 2.2.3 der AVV aufgeführten POP des Anhangs IV der EU-POP-Verordnung die Verordnung über die Getrenntsammlung und Überwachung von nicht gefährlichen Abfällen mit persistenten organischen Schadstoffen (POP-Abfall-ÜberwV) von Bedeutung. Die POP-Abfall-ÜberwV regelt, wie mit nicht gefährlichen, POP-haltigen Abfällen umzugehen ist. Nicht gefährliche POP-haltige Abfälle sind Abfälle, die nicht in Nr. 2.2.3 der AVV aufgeführte POP in Konzentrationen enthalten, die zwar die Konzentrationsgrenze nach Anhang IV EU-POP-Verordnung überschreiten, die aber nach § 3 Abs. 2 AVV nicht als gefährlich eingestuft sind. Die betreffenden Abfallarten sind in der POP-Abfall-ÜberwV abschließend bestimmt. Für diese Abfälle schreibt die POP-Abfall-ÜberwV vor, dass sie getrennt von anderen Abfällen gesammelt und befördert werden müssen. Gemäß § 3 POP-Abfall-ÜberwV besteht ein grundsätzliches Vermischungsverbot. Abweichungen hiervon sind nach § 3 Abs. 3 POP-Abfall-ÜberwV zulässig, wenn die Vermischung in einer hierfür zugelassenen Anlage erfolgt, sichergestellt wird, dass das entstehende Gemisch ordnungsgemäß und schadlos verwertet bzw. gemeinwohlverträglich beseitigt wird oder das Vermischungsverfahren dem Stand der Technik entspricht. Erzeuger, Besitzer, Sammler, Beförderer und Entsorger müssen darüber hinaus die ordnungsgemäße Entsorgung nachweisen (Nachweispflicht). Es ist ein Register unter anderem über die Menge, Art, den Ursprung und den Entsorgungsweg zu führen (Registerpflicht).

Insofern gelten für diese nicht gefährlichen POP-haltigen Abfälle die für gefährliche Abfälle nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) und der Nachweisverordnung (NachwV) vorgeschriebenen Getrennthaltungs-, Nachweis- und Registerpflichten entsprechend.

Für die nicht in Nr. 2.2.3 der AVV aufgeführten POP des Anhangs IV der EU-POP-Verordnung hat die Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) auf ihrer Webseite unter <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Informationen.html> „Technische Hinweise zur Einstufung von Abfällen nach ihrer Gefährlichkeit“ veröffentlicht, in deren Abschnitt 2.4 die abgeleiteten Konzentrationsgrenzwerte zur Einstufung der POP-haltigen Abfälle als gefährlich aufgeführt sind. Diese Technischen Hinweise wurden in Sachsen-Anhalt als verbindliche Grundlage für die Abfalleinstufung eingeführt und um landesspezifische Vorgaben ergänzt - davon relevant für den vorliegenden Bericht ist insbesondere die abgeleitete Konzentrationsgrenze für HCBd.

Im Nationalen Durchführungsplan der Bundesrepublik Deutschland werden der rechtliche Rahmen und die verschiedenen Maßnahmen, die zur Umsetzung der Verpflichtungen des Stockholmer Übereinkommens ergriffen wurden, beschrieben.

Folgende Maßnahmen werden erläutert:

- Maßnahmen zur Verhinderung von Freisetzungen aus beabsichtigter Produktion und Verwendung,
- Maßnahmen zum Register spezifischer Ausnahmegenehmigungen,
- Maßnahmen zur Verringerung oder Verhinderung von Freisetzungen von Stoffen der Anlage C,
- Maßnahmen zur Verringerung oder Verhinderung von Freisetzungen aus Lagerbeständen und Abfällen,



- Maßnahmen zur Information, Bewusstseinsbildung, Aufklärung,
- Maßnahmen zur Forschung, Entwicklung und Überwachung.

Der letzte Nationale Durchführungsplan wurde im September 2017 veröffentlicht (Umweltbundesamt, 2017). Unter anderem zur Vorbereitung des nächsten zu erstellenden Nationalen Durchführungsplan wurde im August 2019 der Abschlussbericht „POP-Implement: Beiträge zur Umsetzung der Stockholm-Ziele (Beschränkung und Eliminierung) für relevante Anwendungen bestimmter POP – Umsetzung des Stockholmer Übereinkommens in Deutschland“ (Bänsch-Baltrusch et al., 2019) veröffentlicht. In diesem wurden die Ergebnisse einer Fragebogenaktion zu den Überwachungs- und Berichtspflichten sowie zum Informationsfluss bezüglich der POP dargestellt, der bisherige Nationale Durchführungsplan mit den Plänen anderer Staaten verglichen und Verbesserungsmöglichkeiten aufgezeigt.

### 3 Darstellung der betrachteten POP

Im Folgenden werden die vier im Rahmen dieser Studie zu betrachtenden POP beschrieben.

#### 3.1 Short Chain Chlorinated Paraffin (SCCP)

##### 3.1.1 Aufbau und Strukturformel

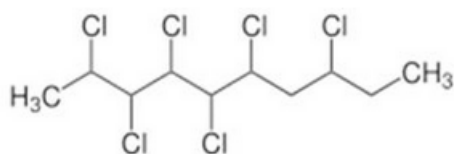


Abbildung 1: Beispiel für ein kurzketziges Chlorparaffin mit zehn Kohlenstoffatomen, Bildquelle: Stockholm Convention Secretariat (2017)

Short Chain Chlorinated Paraffin, zu Deutsch kurzketzige Chlorparaffine (SCCP), bestehen aus einer Kette von zehn bis dreizehn Kohlenstoffatomen sowie je nach Chlorierungsgrad bis zu 13 Chloratomen.

##### 3.1.2 Herstellung/Entstehung

SCCP wurden gezielt hergestellt. Die Herstellung wurde in Deutschland Mitte der 1990er Jahre, in den neuen Bundesländern bereits 1991 eingestellt (Potrykus 2015). 1994/1995 betrug die produzierte Menge noch rund 19.300 Mg in Deutschland (RIVM 2010). Mittlerweile ist die Produktion komplett eingestellt oder es wurde auf mittellange/langkettige Chlorparaffine (MCCP) umgestellt. Da es bezüglich MCCP Hinweise gibt, dass diese ähnliche gefährliche Eigenschaften wie SCCP haben, muss ein Ersatz mit diesen kritisch beobachtet werden.<sup>2</sup> In der EU sind SCCP in der metallverarbeitenden Industrie und in der Lederverarbeitung seit 2002 verboten (Richtlinie 2002/45/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002).

<sup>2</sup> Derzeit wird von der Bundesstelle für Chemikalien eine öffentliche Konsultation als Grundlage für eine Risikomanagementoptionenanalyse durchgeführt. Weitere Informationen unter <https://www.reach-clp-biozid-helpdesk.de/SharedDocs/Meldungen/DE/REACH/2019-07-05-RMOA-MCCP.html>

### 3.1.3 Eigenschaften

SCCP haben die Eigenschaft, sich an Böden und Sedimenten zu binden. Daher ist ein Eintrag in unterschiedliche Bereiche der Biosphäre ungehemmt. Infolge dessen können SCCP in verschiedenen Organismen an Land und im Wasser nachgewiesen werden (Secretariat of the Stockholm Convention).

SCCP werden als stark wassergefährdend eingestuft (WGK 3) (Rigoletto 2017).

Die letale Dosis beträgt bei Kaninchen  $LD_{50} > 13,0$  g/kg Körpergewicht (C12, Chlorierungsgrad 59 %) und bei Ratten  $LD_{50} > 2,8$  g/kg Körpergewicht (C12, Chlorierungsgrad 52 %) und ist eher als gering einzustufen.

### 3.1.4 Verwendung

SCCP wurden vor allem als Flammenschutzmittel sowie als Weichmacher in Kunststoffen eingesetzt. Besonders belastet sein können daher Gummi, Dichtungen und Klebstoffe, Lacke und Beschichtungen aus den verschiedensten Produktions- oder Industriezweigen. Aufgrund ihrer flammhemmenden Wirkung können auch Textilien belastet sein. Laut einer Studie des UBA wurde vor dem Verbot von SCCP knapp dreiviertel des Gesamtverbrauchs in Deutschland in der Leder- und Metallbearbeitung eingesetzt, hier als Fettlösemittel bzw. als Schmierstoff (Potrykus et al. 2015).

Gemäß EU-POP-Verordnung dürfen Stoffe und Zubereitungen, die SCCP in Konzentrationen von weniger als 10.000 mg/kg (1 Gew.-%) oder Erzeugnisse, die SCCP in Konzentrationen von weniger als 1500 mg/kg (0,15 Gew.-%) enthalten, dürfen hergestellt, in Verkehr gebracht und verwendet werden.

Zudem ist die Verwendung bei Förderbändern in der mineralgewinnenden Industrie und für Dichtungsmassen zulässig, die bereits bis einschließlich den 04. Dezember 2015 verwendet wurden. Weiterhin ist die Verwendung zulässig in anderen SCCP enthaltenden Erzeugnissen, die bereits bis einschließlich den 10. Juli 2012 verwendet wurden.

### 3.1.5 Chemikalienrechtliche Einstufung

SCCP werden unter der CAS-Nummer 85535-84-8 geführt und sind nach CLP-Verordnung harmonisiert eingestuft. Unter der Indexnummer 602-080-00-8 sind sie im Anhang VI, Tabelle 3 der CLP-Verordnung mit folgender Einstufung gelistet:

Gefahrenklasse	Gefahrenhinweis
Carc. 2	H351: Kann vermutlich Krebs erzeugen
Aquatic Acute 1	H400: Sehr giftig für Wasserorganismen
Aquatic Chronic 1	H410: Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung

Spezifische Konzentrationsgrenzen oder M-Faktoren sind nicht festgelegt.

### 3.1.6 Abfallrechtliche Einstufung

Aufgrund der chronisch gewässergefährdenden und damit ökotoxischen Eigenschaften (H410) werden SCCP-enthaltende Abfälle gemäß § 3 Abs. 2 AVV in Verbindung mit Anhang III der Abfall-Rahmenrichtlinie 2008/98/EG ab einem SCCP-Gehalt von 2.500 mg/kg (0,25 Gew.-%) als gefährliche Abfälle eingestuft. Für Abfälle gilt ab dieser SCCP-Konzentration die NachwV

Gemäß Anhang IV der EU-POP-Verordnung beträgt der Grenzwert, ab dem in Abfällen enthaltenes SCCP zerstört werden muss, 10.000 mg/kg. Dieser Wert für SCCP ist identisch mit der Konzentrationsgrenze in Anhang V Teil 2 der EU-POP-Verordnung, wonach als zerstörungsfreies Verfahren der untertägige Versatz SCCP-haltiger Abfälle ausgeschlossen und nur die untertägige Deponierung ohne Begrenzung der Konzentration möglich ist.

Mit der Konzentrationsgrenze in Anhang IV der EU-POP-Verordnung ist bezüglich SCCP die Einstufung für gefährliche Abfälle nach der AVV strenger als nach der EU-POP-Verordnung. Dies hat zur Konsequenz, dass die POP-Abfall-ÜberwV für SCCP-haltige Abfälle nicht anwendbar ist.

### **3.1.7 Vorkommen in Abfällen**

Da in ganz Deutschland bereits seit Mitte der 1990er Jahre kein SCCP eingesetzt wird und der Einsatz in der EU seit 2002 verboten bzw. stark eingeschränkt wurde, werden sich SCCP eher in Abfällen von Produkten nicht-europäischen Ursprungs bzw. in Abfallströmen mit langlebigen Produkten finden lassen, wie beispielsweise Raumtextilien oder Kabelisolierungen.

Die Produkte und Fettlöse- bzw. Schmiermittel aus Metall- und Lederverarbeitung, welche mit SCCP belastet waren, wiesen vermutlich relativ kurze Produktlebenszyklen auf, so dass von ihnen bereits viele als Abfall angefallen sind. (Potrykus et al. 2015).

Da der Einsatz von SCCP vielseitig war, sind zahlreiche Abfallschlüssel potenziell betroffen. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Abfallarten, die mit SCCP belastet sein können, resultierend aus dem Einsatz von SCCP in Produkten oder Industriezweigen. Die im Rahmen des Projektes untersuchten Abfallarten sind Anlage 1, Tabelle 33 zu entnehmen.

Tabelle 2: Abfallarten, welche mit SCCP belastet sein können

Abfallarten/Abfallschlüssel		mögliche belastete Materialien innerhalb des Abfallstroms					
		Leder, Textilien	Gummi	Dichtungen, Anstriche, Klebstoffe, Schmiermittel	Papier, Pappe	Kunststoffe	Abfälle/ Material- mischungen
03 03 07	mechanisch abgetrennte Abfälle aus der Auflösung von Papier- und Pappabfällen						X
03 03 08	Abfälle aus dem Sortieren von Papier und Pappe für das Recycling						X
04 02 22	Abfälle aus verarbeiteten Textilfasern	X	X				
15 01 02	Verpackungen aus Kunststoff					X	
15 01 05	Verbundverpackungen		X			X	
15 01 06	gemischte Verpackungen		X			X	
15 01 09	Verpackungen aus Textilien	X					
16 01 21*	gefährliche Bauteile mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 07 bis 16 01 11, 16 01 13 und 16 01 14 fallen			X		X	
16 01 22	Bauteile a.n.g.		X	X		X	
16 02 13*	gefährliche Bauteile enthaltende gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 12 fallen		X	X		X	
16 02 14	gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 13 fallen		X	X		X	
16 02 15*	aus gebrauchten Geräten entfernte gefährliche Bauteile		X	X		X	

Abfallarten/Abfallschlüssel		mögliche belastete Materialien innerhalb des Abfallstroms					
		Leder, Textilien	Gummi	Dichtungen, Anstriche, Klebstoffe, Schmiermittel	Papier, Pappe	Kunststoffe	Abfälle/ Material- mischungen
16 02 16	aus gebrauchten Geräten entfernte Bauteile mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 15 fallen		X	X		X	
17 02 03	Kunststoff					X	
17 02 04*	Glas, Kunststoff und Holz, die gefährliche Stoffe enthalten oder durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind					X	
17 04 11	Kabel mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 04 10 fallen		X			X	
17 06 03*	anderes Dämmmaterial, das aus gefährlichen Stoffen besteht oder solche Stoffe enthält			X			
17 09 03*	sonstige Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich gemischte Abfälle), die gefährliche Stoffe enthalten		X	X		X	
17 09 04	gemischte Bau- und Abbruchabfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 09 01, 17 09 02 und 17 09 03 fallen		X	X		X	
19 08 05	Schlämme aus der Behandlung von kommunalem Abwasser						X
19 08 12	Schlämme aus der biologischen Behandlung von industriellem Abwasser mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 08 11 fallen						X
19 10 03*	Shredderleichtfraktionen und Staub, die gefährliche Stoffe enthalten	X	X	X		X	X

Abfallarten/Abfallschlüssel		mögliche belastete Materialien innerhalb des Abfallstroms					
		Leder, Textilien	Gummi	Dichtungen, Anstriche, Klebstoffe, Schmiermittel	Papier, Pappe	Kunststoffe	Abfälle/ Materialmischungen
19 10 04	Shredderleichtfraktionen und Staub mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 10 03 fallen	X	X	X		X	X
19 12 04	Kunststoff und Gummi		X			X	
19 12 08	Textilien	X					
19 12 10	brennbare Abfälle (Brennstoffe aus Abfällen)	X	X	X	X	X	X
19 12 11*	sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen, die gefährliche Stoffe enthalten	X	X	X	X	X	X
19 12 12	sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 12 11 fallen	X	X	X	X	X	X
20 01 11	Textilien	X					
20 03 07	Sperrmüll	X	X	X		X	X
20 01 36	gebrauchte elektrische und elektronische Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 20 01 21, 20 01 23 und 20 01 35 fallen		X	X		X	X
20 03 99	Siedlungsabfälle a. n. g.	X	X	X	X	X	X

Abfallarten/Abfallschlüssel	mögliche belastete Materialien innerhalb des Abfallstroms					
	Leder, Textilien	Gummi	Dichtungen, Anstriche, Klebstoffe, Schmiermittel	Papier, Pappe	Kunststoffe	Abfälle/ Materialmischungen
Beispiele	<p>imprägnierte Zelte, Teppiche</p> <p>mit Fettlösemittel behandelte Lederstücke in der Lederverarbeitung</p>	Weichmacher in Förderbänder im Bergbau, Isolierungen	Fugenmassen, Klebmassen, Schutzlacke, -farben, Additive für Schmierstoffe und Schmieröle bei der Metallverarbeitung	SCCPs in Spezialpapier wie Durchschreibepapier	mit Flammenschutzmitteln behandelte Kunststoffe, Gehäuse von Elektrogeräten	Abfallgemische und Klärschlämme

## 3.2 Polybromierte Diphenylether (PBDE)

### 3.2.1 Aufbau und Strukturformel

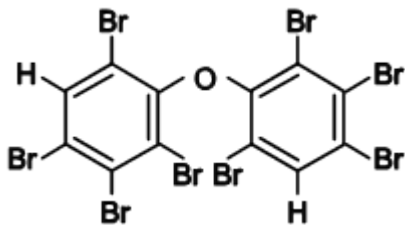


Abbildung 2: Strukturformel von Octadiphenylether, Bildquelle: Stockholm Convention Secretariat (2017)

Bei polybromierten Diphenylether (PBDE) handelt es sich um Diphenylether, welche ein bis zehn Bromatome enthalten können. In der Industrie wurden vor allem kommerzielle Gemische auf Basis von Penta-, Octa- und Decabromdiphenylether eingesetzt, welche aus den homologen kongenen PBDE hergestellt wurden (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Zusammensetzung der kommerziellen Gemische der PBDE (nach Kuch et al., 2001)

Kommerzielle Gemische	Homologe kongene Gruppen und relevante Konzentration [%]							
	Br <sub>3</sub> DE	Br <sub>4</sub> DE	Br <sub>5</sub> DE	Br <sub>6</sub> DE	Br <sub>7</sub> DE	Br <sub>8</sub> DE	Br <sub>9</sub> DE	Br <sub>10</sub> DE
PentaBDE	0-1	24-38	50-62	4-8	-	-	-	-
OctaBDE	-	-	-	-	10-12	43-44	31-35	0-1
DecaBDE	-	-	-	-	-	-	0,3-3	97-98

Die vorliegende Studie befasst sich vorwiegend mit Tetra-, Penta-, Hexa- und Heptabromdiphenylether, da diese POP im Sinne der EU-POP-Verordnung sind. In die Auswertung wird aufgrund des Summengrenzwertes für Recyclingprodukte gemäß Anhang III der EU-POP-Verordnung DecaBDE einbezogen.

### 3.2.2 Herstellung/Entstehung

PBDE wurden gezielt hergestellt. Der Verband Kunststoffherstellende Industrie erklärte 1986 den freiwilligen Verzicht auf den Einsatz polybromierter Diphenylether (PBDE) als Flammenschutzmittel für Kunststoffe (Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. 2004). Ein EU-weites Verbot erfolgte durch die Richtlinie 2003/11/EG für PentaBDE und OctaBDE.

### 3.2.3 Eigenschaften

PBDE können im menschlichen Körper in der Muttermilch nachgewiesen werden und stören die Funktion der Schilddrüse (Fent 2013). PBDE sind lipophil, dies steigert sich mit dem Bromierungsgrad (HLUG 2003).

PentaBDE wird als stark wassergefährdend eingestuft (WGK 3) (Rigoletto 2017).

Der toxikologische Wert LD<sub>50</sub> bei der oralen Aufnahme von Ratten beträgt 5.000 mg/kg.



### 3.2.4 Verwendung

PBDE wurden neben halogenhaltigen bzw. halogenfreien phosphororganischen Verbindungen oder Chlorparaffinen als organische Flammenschutzmittel eingesetzt (UBA 2016). Hier wurden insbesondere Kunststoffe (Polyurethan, Thermoplaste) sowie Textilien behandelt. Insofern finden sich PBDE in Abfällen von Möbeln, Auslegware, der Innenausstattung von Fahrzeugen, Gehäusen von Elektro- und Elektronikgeräten sowie in technischen Textilien. Elektro- und Elektronikgeräte einschließlich Kabeln und Ersatzteilen dürfen gemäß § 3 Abs. 1 Nr. 1 ElektroStoffV nur in Verkehr gebracht werden, wenn die PBDE-Konzentration 0,1 % je homogenen Werkstoff nicht überschreitet.

PentaBDE wurde vor allem in Polyurethanschäumen eingesetzt, welche beispielsweise im Automobilbereich oder Polsterungen genutzt wurden (Bergmann 2007).

Sämtliche PBDE sind in der Anlage A der Stockholmer Konvention gelistet und gehören damit zu den Stoffen, die vollständig von den Märkten eliminiert werden sollen. Anhang I der POP-Verordnung enthält die Ausnahmen für die Verwendung der Stoffe als Zwischenprodukt oder andere Spezifikation. Für Tetra-, Penta-, Hexa-, Hepta- und Deca-BDE gilt jeweils der Grenzwert von höchstens 10 mg/kg (0,001 Gew.-%), wenn diese in Stoffen vorhanden sind. Abweichend davon darf die Summe der Konzentrationen der genannten PBDE höchstens 500 mg/kg betragen, wenn sie in Gemischen oder Erzeugnissen vorhanden sind. Dies gilt vorbehaltlich einer Überprüfung und Bewertung durch die Kommission bis zum 16. Juli 2021. Weiterhin gilt die Ausnahme für die Herstellung, das Inverkehrbringen und die Verwendung von Elektro- und Elektronikgeräten, die unter die Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates fallen. Es gilt laut Anhang II für sämtliche PBDE ein Grenzwert von 1.000 mg/kg (0,1 Gew.-%) in homogenen Werkstoffen.

### 3.2.5 Chemikalienrechtliche Einstufung

Einige PBDE sind nach CLP-Verordnung harmonisiert eingestuft

PentaBDE wird unter der CAS-Nummer 32534-81-9 geführt. Unter der Indexnummer 602-083-00-4 ist PentaBDE im Anhang VI, Tabelle 3 der CLP-Verordnung mit folgender Einstufung gelistet:

Gefahrenklasse	Gefahrenhinweis
STOT RE 2	H362: Kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen
Lact.	H373: Kann die Organe schädigen
Aquatic Acute 1	H400: Sehr giftig für Wasserorganismen
Aquatic Chronic 1	H410: Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung

Es gelten keine weiteren spezifischen Grenzwerte und keine M-Faktoren.

OctaBDE wird unter der CAS-Nummer 32536-52-0 geführt. Unter der Indexnummer 602-094-00-4 ist OctaBDE im Anhang VI, Tabelle 3 der CLP-Verordnung mit folgender Einstufung gelistet:

Gefahrenklasse	Gefahrenhinweis
Repr. 1B	H360Df: Kann das Kind im Mutterleib schädigen

Auch hier gelten keine weiteren spezifischen Grenzwerte und keine M-Faktoren.

Es liegen keine weiteren harmonisierten oder Selbsteinstufungen für PBDE vor.

### 3.2.6 Abfallrechtliche Einstufung

Gemäß Anhang IV der EU-POP-Verordnung beträgt der Grenzwert, ab dem in Abfällen enthaltene PBDE zu zerstören sind, 1.000 mg/kg als Summe der Konzentrationen von Tetrabromdiphenylether, Pentabromdiphenylether, Hexabromdiphenylether, Heptabromdiphenylether und Decabromdiphenylether. Die Konzentrationsgrenze für eine zerstörungsfreie Entsorgung PBDE-haltiger Abfälle im untertägigen Versatz liegt gemäß Anhang V Teil 2 der EU-POP-Verordnung bei 10.000 mg/kg; eine untertägige Deponierung ist ohne Konzentrationsgrenze möglich.

Hinsichtlich der abfallrechtlichen Einstufung ergibt sich aus der chemikalienrechtlichen Einstufung gemäß § 3 Abs. 2 AVV in Verbindung mit dem Anhang III der Abfall-Rahmenrichtlinie unter dem worst-case-Ansatz ein Grenzwert von 2.500 mg/kg (Aqua chron. 1; H410). Daher gilt für Abfälle mit einem PBDE-Gehalt zwischen 1.000 und 2.500 mg/kg die POP-Abfall-ÜberwV. Ab einer Konzentration von 2.500 mg/kg sind PBDE-haltige Abfälle als gefährlich einzustufen und es gilt die NachwV.

Im Februar 2019 wurde in einer Trilogverhandlung von Vertretern des Europäischen Parlaments, des Rats und der Kommission beschlossen, den Grenzwert von DecaBDE zu senken. In Zuge dessen soll der bisherige Summengrenzwert für PBDE ebenfalls auf nur noch 500 mg/kg gesenkt werden. In Anhang IV der POP-Verordnung ist festgeschrieben, dass die Europäische Kommission diese Überprüfung des Konzentrationsgrenzwertes bis spätestens zum 16.7.2021 durchführt.

### 3.2.7 Vorkommen in Abfällen

Hinsichtlich des Eintrags von PBDE über Kunststoffe gibt es seit 1986 Bemühungen, diese einzuschränken.

Eine Untersuchung von Schweizer Elektroschrott aus dem Jahr 2017 hat ergeben, dass seit 2003 die Gehalte von PentaBDE um 93 % bzw. von OctaBDE um 77 % zurückgegangen sind (Taverna et al. 2017).

Seit dem Jahr 2000 werden nach Angaben der Autohersteller Tetra-, Penta, Hexa- oder HeptaBDE nicht mehr eingesetzt (Kohlmeyer et al., 2017). Von den Altfahrzeugen, die heute in die Verwertung gehen und vor 2000 gebaut worden sind, sind mehr als 80 % mit PBDE belastet. Insgesamt waren im Jahr 2017 noch 12 % des Gesamtbestandes der PKW vor 2000 zugelassen.

Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Abfallarten, die mit PBDE belastet sein können, resultierend aus dem Einsatz von PBDE in Produkten oder Industriezweigen. Die im Rahmen des Projektes untersuchten Abfallarten sind Anlage 1, Tabelle 33 zu entnehmen.

Tabelle 4: Abfallarten, welche mit PBDE belastet sein können

Abfallarten/Abfallschlüssel		mögliche belastete Materialien innerhalb des Abfallstroms			
		Textilien	Polsterungen	Kunststoffe	Abfälle/ Material- mischungen
16 01 04*	Altfahrzeuge		X	X	
16 01 06	Altfahrzeuge, die weder Flüssigkeiten noch andere gefährliche Bestandteile enthalten		X	X	
16 01 19	Kunststoffe			X	
16 01 21*	gefährliche Bauteile mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 07 bis 16 01 11, 16 01 13 und 16 01 14 fallen			X	
16 01 22	Bauteile a.n.g.		X	X	
16 01 99	Abfälle a. n. g.	X	X	X	
16 02 13*	gefährliche Bauteile enthaltende gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 12 fallen			X	
16 02 14	gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 13 fallen			X	
16 02 15*	aus gebrauchten Geräten entfernte gefährliche Bauteile			X	
16 02 16	aus gebrauchten Geräten entfernte Bauteile mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 15 fallen			X	
17 02 03	Kunststoff			X	
17 02 04*	Glas, Kunststoff und Holz, die gefährliche Stoffe enthalten oder durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind			X	
17 06 03*	anderes Dämmmaterial, das aus gefährlichen Stoffen besteht oder solche Stoffe enthält		X		
19 08 05	Schlämme aus der Behandlung von kommunalem Abwasser				X
19 08 12	Schlämme aus der biologischen Behandlung von industriellem Abwasser mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 08 11 fallen				X
19 10 03*	Shredderleichtfraktionen und Staub, die gefährliche Stoffe enthalten	X	X	X	X

Abfallarten/Abfallschlüssel		mögliche belastete Materialien innerhalb des Abfallstroms			
		Textilien	Polsterungen	Kunststoffe	Abfälle/ Material- mischungen
19 10 04	Shredderleichtfraktionen und Staub mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 10 03 fallen	X	X	X	X
19 12 08	Textilien	X			
19 12 10	brennbare Abfälle (Brennstoffe aus Abfällen)	X	X	X	X
19 12 11*	sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen, die gefährliche Stoffe enthalten	X	X	X	X
19 12 12	sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 12 11 fallen	X	X	X	X
20 01 10	Bekleidung	X			
20 01 11	Textilien	X	X		
20 01 36	gebrauchte elektrische und elektronische Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 20 01 21, 20 01 23 und 20 01 35 fallen			X	
20 03 07	Sperrmüll	X	X	X	X
20 03 99	Siedlungsabfälle a. n. g.	X	X	X	X
Beispiele		imprägnierte oder mit Flamm-schutzmitteln behandelte Aus-legware, Zelte, Outdoorjacken	mit Flamm-schutzmitteln behandelte Polstermöbel, Autositze	Polyurethan, Thermoplasten, Gehäuse von Elektrogeräten, Innenausstattung von Fahrzeugen	Abfallgemische und Klärschlämme

### 3.3 Perfluorooctansulfonsäure (PFOS)

#### 3.3.1 Aufbau und Strukturformel

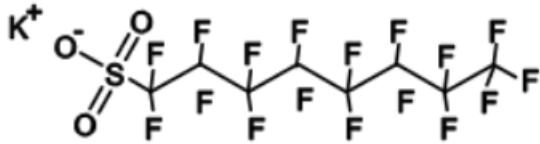


Abbildung 3: Strukturformel von PFOS, Bildquelle: Stockholm Convention Secretariat (2017)

Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) gehört zu den perfluorierten Chemikalien (PFC) und besteht aus acht Kohlenstoffatomen mit 17 Fluoratomen sowie einer organischen Schwefelverbindung.

PFOS stellt eine Besonderheit unter den bisher in die Anlagen des Stockholmer Übereinkommens aufgenommenen Stoffen dar, da es sich um einen Stoff handelt, für den es zur Zeit nur wenige bis keine Substitute gibt. Daher bestehen für die Verwendung von PFOS zahlreiche Ausnahmen für dessen Verwendung, welche in der POP-Verordnung gelistet sind (Potrykus et al. 2017).

#### 3.3.2 Herstellung/Entstehung

PFOS wurde gezielt hergestellt. Mit der Richtlinie 2006/122/EG wurde die Verwendung und das Inverkehrbringen von PFOS mit wenigen Ausnahmen seit dem 27.06.2008 in der EU verboten. Bereits 2002 gab es eine weltweite freiwillige Einstellung der Produktion von PFOS (VCI 2005).

#### 3.3.3 Eigenschaften

PFOS beeinflusst beim Menschen Leber, Nieren, Schilddrüse sowie die Fruchtbarkeit und führt zur Krebsbildung. Durch die hohe Bioakkumulation konnte bei arktischen Tieren PFOS bereits in hohen Konzentrationen gefunden werden (Umweltprobenbank des Bundes).

PFOS ist moderat giftig. Die letale Dosis, bei der 50 % aller Ratten bei oraler Verabreichung starben, beträgt 251 mg/kg (OECD 2002).

#### 3.3.4 Verwendung

Laut Anhang I der europäischen POP-Verordnung darf die Konzentration von PFOS in Stoffen oder Zubereitungen 10 mg/kg (0,001 Gew.-%) nicht überschreiten.

Ausnahmen für die Herstellung und das Inverkehrbringen von PFOS gelten für Fotoresistlacke und Antireflexbeschichtungen für fotolithografische Prozesse, fotografische Beschichtungen von Filmen, Papieren und Druckplatten, Mittel zur Sprühnebelunterdrückung für nicht dekoratives Hartverchromen (Chrom VI) in geschlossenen Kreislaufsystemen und Hydraulikflüssigkeiten für die Luftfahrt. Bedingung ist die Reduzierung der PFOS-Emissionen in die Umwelt auf ein Mindestmaß. Die Mitgliedsstaaten müssen aller vier Jahre an die Kommission über die Fortschritte bei der Eliminierung berichten.

PFOS wurden überwiegend als Imprägnierungsmittel für Textilien, Teppiche und Papier eingesetzt, zudem heute auch noch bei der Verchromung und in Hydraulikflüssigkeiten für die Luft- und Raumfahrt.

In der EU fallen einer Studie zufolge rund 1.900 t PFOS jährlich in acht Industriezweigen/Prozessen an (BiPro/Enviroplan 2011). Prozentual unterteilen sich die verschiedenen Anfallorte wie folgt:

- Teppiche (94 %)
- Feuerlöscherschaum (4,79 %)
- Lederverarbeitung (0,9 %)
- Metallplattierung (0,11%)
- Fotografieindustrie (0,09 %)
- Klärschlamm (0,06 %)
- Hydraulische Fluide (0,04 %)
- Halbleiterindustrie (0,01 %)

### 3.3.5 Chemikalienrechtliche Einstufung

PFOS ist unter der CAS-Nummer 1763-23-1 geführt und ist nach CLP-Verordnung harmonisiert eingestuft. Unter der Indexnummer 602-624-00-8 ist PFOS im Anhang VI, Tabelle 3 der CLP-Verordnung mit folgender Einstufung gelistet:

Gefahrenklasse	Gefahrenhinweis
Carc. 2	H351: Kann vermutlich Krebs erzeugen
Repr. 1B	H360D: Kann das Kind im Mutterleib schädigen
STOT RE 1	H372: Schädigt die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition
Acute Tox. 4	H332: Gesundheitsschädlich bei Einatmen
Acute Tox. 4	H302: Gesundheitsschädlich bei Verschlucken
Lact.	H362: Kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen
Aquatic Chronic 2	H411: Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung

Es gelten keine weiteren spezifischen Grenzwerte und keine M-Faktoren.

### 3.3.6 Abfallrechtliche Einstufung

Gemäß Anhang IV EU-POP-Verordnung ist PFOS in einem Abfall zu zerstören, wenn er mehr als 50 mg/kg PFOS enthält. Die im Anhang V Teil 2 der EU-POP-Verordnung für die zerstörungsfreie Entsorgung PFOS-haltiger Abfälle festgelegte Grenzkonzentration liegt ebenfalls bei 50 mg/kg, so dass wiederum der untertägige Versatz PFOS-haltiger Abfälle ausgeschlossen und nur die untertägige Deponierung ohne Konzentrationsbegrenzung möglich ist.

Aus der chemikalienrechtlichen Einstufung ergibt sich gemäß § 3 Abs. 2 AVV in Verbindung mit Anhang III der Abfall-Rahmenrichtlinie ein worst-case-Grenzwert für PFOS von 3.000 mg/kg (0,3 %) aufgrund seiner Einstufung als reproduktionstoxisch (H360D). Daher gilt für alle Abfälle mit einem PFOS-Gehalt zwischen 50 und 3.000 mg/kg die POP-Abfall-ÜberwV, ab einem Gehalt von 3.000 mg/kg sind PFOS-haltige Abfälle als gefährlich eingestuft und es gilt die NachwV.

### **3.3.7 Vorkommen in Abfällen**

Entsprechend ihrer Verwendung ist PFOS in Abfällen technischer Textilien, Auslegware und technischer Papiere (auch Verpackungspapiere) und des Weiteren in Abfällen aus der Verchromung und der Flugzeugwartung zu finden. Ein Kontaminationspfad kann auch Klärschlamm sein, da PFOS wasserlöslich ist und den Wasserpfad kontaminieren kann (Bundesinstitut für Risikobewertung, o. J.).

Tabelle 5 gibt einen Überblick über die Abfallarten, die mit PFOS belastet sein können, resultierend aus dem Einsatz von PFOS in Produkten oder Industriezweigen. Die im Rahmen des Projektes untersuchten Abfallarten sind Anlage 1, Tabelle 33 zu entnehmen.

Tabelle 5: Abfallarten, welche mit PFOS belastet sein können

Abfallarten/Abfallschlüssel		mögliche belastete Materialien innerhalb des Abfallstroms				
		Textilien, Teppich	Feuerlöscher	hartverchromte Materialien	Fotografische Beschichtungen	Abfälle/ Material- mischungen
09 01 03*	Entwicklerlösungen auf Lösemittelbasis				X	
09 01 08	Filme und fotografische Papiere, die kein Silber und keine Silberverbindungen enthalten				X	
09 01 99	Abfälle a. n. g.				X	X
16 01 04*	Altfahrzeuge			X		X
16 01 06	Altfahrzeuge, die weder Flüssigkeiten noch andere gefährliche Bestandteile enthalten			X		X
16 01 21*	gefährliche Bauteile mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 07 bis 16 01 11, 16 01 13 und 16 01 14 fallen			X		
16 01 22	Bauteile a.n.g.			X		
16 01 99	Abfälle a. n. g.	X	X	X		X
16 02 13*	gefährliche Bauteile enthaltende gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 12 fallen			X		
16 05 04*	gefährliche Stoffe enthaltende Gase in Druckbehältern (einschließlich Halonen)		X			
16 05 05	Gase in Druckbehältern mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 05 04 fallen		X			
19 08 05	Schlämme aus der Behandlung von kommunalem Abwasser					X
19 08 12	Schlämme aus der biologischen Behandlung von industriellem Abwasser mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 08 11 fallen					X
19 08 13*	Schlämme aus einer anderen Behandlung von industriellem Abwasser, die gefährliche Stoffe enthalten					X
19 08 14	Schlämme aus einer anderen Behandlung von industriellem Abwasser mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 08 13 fallen					X
19 10 03*	Shredderleichtfraktionen und Staub, die gefährliche Stoffe	X		X		



Abfallarten/Abfallschlüssel		mögliche belastete Materialien innerhalb des Abfallstroms				
		Textilien, Teppich	Feuerlöscher	hartverchromte Materialien	Fotografische Beschichtungen	Abfälle/ Material- mischungen
	enthalten					
19 10 04	Shredderleichtfraktionen und Staub mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 10 03 fallen	X		X		
19 12 08	Textilien	X				
19 12 10	brennbare Abfälle (Brennstoffe aus Abfällen)	X			X	X
19 12 11*	sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen, die gefährliche Stoffe enthalten	X	X	X	X	X
19 12 12	sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 12 11 fallen	X	X	X	X	X
20 01 11	Textilien	X				
20 01 17*	Fotochemikalien				X	
20 03 07	Sperrmüll	X				X
20 03 99	Siedlungsabfälle a. n. g.	X	X	X	X	X
Beispiele		imprägnierte Teppiche, Raumtextilien, Auslegware, Auto-bezüge	Feuerlöscher	hochbeanspruchte Bauteile des Automobilbranche und des Flugzeug-, Schiff- und Maschinenbaus, z.B. Zylinder, Walzen, Rohre	Beschichtungen von Filmen, Papieren und Druckplatten, Fotoresistlacke und Antireflexbeschichtungen	Abfallgemische und Klärschlämme

## 3.4 Hexachlorbutadien (HCBD)

### 3.4.1 Aufbau und Strukturformel

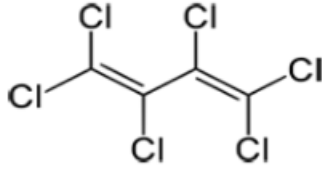


Abbildung 4: Strukturformel von HCBD, Bildquelle: Stockholm Convention Secretariat (2017)

Hexachlorbutadien (HCBD) besteht aus vier Kohlenstoffatomen, an welche sechs Chloratome angelagert sind.

### 3.4.2 Herstellung/Entstehung

HCBD wird und wurde in Deutschland nicht gezielt hergestellt, kann aber als Neben- oder Abfallprodukt bei chemischen Produktions- und Verbrennungsprozessen, beispielsweise der Chlorolyse, entstehen. In der EU wurde HCBD bis Ende der 1970er Jahre gezielt hergestellt (Potrykus et al. 2015).

### 3.4.3 Eigenschaften

HCBD ist sehr giftig für Wasserorganismen und Vögel. Da es wie alle POP über eine hohe Persistenz verfügt, kann es sich in der Nahrungskette anreichern. Beim Menschen kann das Einatmen höherer Konzentrationen zu Reizungen, Depression des Zentralnervensystems und Nierenschäden führen. Auch die Fettleberdegeneration kann negativ beeinflusst werden. Möglicherweise ist HCBD karzinogen (Secretariat of the Stockholm Convention).

Hexachlorbutadien wird als stark wassergefährdend eingestuft (WGK 3) (Rigoletto 2017).

Toxikologisch betrachtet ist HCBD giftig bei Verschlucken. Die  $LD_{50}$  liegt bei Ratten oral bei 82 mg/kg, bei Kaninchen dermal bei 100 mg/kg (GESTIS-Stoffdatenbank).

### 3.4.4 Verwendung

Die Verwendungen von HCBD waren vielfältig. Es wurde unter anderem als Lösemittel, Kühlmittel bzw. Wärmeüberträger oder Hydraulikflüssigkeit genutzt. Beispielsweise wurde es in Transformatoren oder Gyroskopen eingesetzt (Böhm et al. 2010). Als Zwischenprodukt fiel es bei der Herstellung von fluorhaltigen Schmiermitteln oder Gummiverbindungen an.

In anderen europäischen Ländern, z. B. in Frankreich oder Spanien, wurde HCBD bis in die 1970er Jahre als Pflanzenschutzmittel im Weinbau eingesetzt. In Deutschland kam es nicht zu einer Verwendung im landwirtschaftlichen Bereich (Hillenbrand et al. 2007).

Schon 1987 wurde für Deutschland festgestellt, dass eine Verwendung von HCBD eingestellt wurde (Potrykus et al. 2015). Da der Einsatz von HCBD überwiegend in nicht langlebigen Produkten erfolgte, ist mit einem Vorkommen in Abfällen kaum noch zu rechnen.

Ausnahmen für die Verwendung als Zwischenprodukt oder andere Spezifikation bestehen gemäß Anhang 1 EU-POP-Verordnung für Erzeugnisse, die bis einschließlich den 10. Juli 2012 bereits verwendet wurden und Hexachlorbutadien enthalten. Anderenfalls darf HCBd nicht eingesetzt werden.

### 3.4.5 Chemikalienrechtliche Einstufung

HCBd ist unter der CAS-Nummer 87-68-3 geführt. HCBd ist nicht gemäß Anhang VI, Tabelle 3 der CLP-Verordnung harmonisiert eingestuft. Folgende Notifizierungen sind nach dem worst case für die Selbsteinstufung zu berücksichtigen:

Gefahrenklasse	Gefahrenhinweis
Acute Tox. 3	H301: Giftig bei Verschlucken
Acute Tox. 2	H310: Lebensgefahr bei Hautkontakt
Skin Irrit. 2	H315: Verursacht Hautreizungen
Eye Irrit. 2	H319: Verursacht schwere Augenreizung
Acute Tox. 2	H330: Lebensgefahr bei Einatmen
STOT SE 2	H371: Kann die Organe schädigen
Aquatic Acute 1	H400: Sehr giftig für Wasserorganismen
Aquatic Chronic 1	H410: Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung

### 3.4.6 Abfallrechtliche Einstufung

Die Recyclingfähigkeit von HCBd-haltigen Abfällen ist gemäß Anhang IV EU-POP-Verordnung nicht mehr gegeben, sobald die HCBd-Konzentration 100 mg/kg überschreitet. Eine zerstörungsfreie Entsorgung HCBd-haltiger Abfälle im untertägigen Versatz ist bis zu der in Anhang V Teil 2 der EU-POP-Verordnung festgelegten Konzentrationsgrenze von 1.000 mg/kg oder durch untertägige Deponierung ohne Konzentrationsbegrenzung möglich.

Aus der chemikalienrechtlichen Selbsteinstufung für HCBd ergibt sich gemäß § 3 Abs. 2 AVV in Verbindung mit dem Anhang III der Abfall-Rahmenrichtlinie unter dem worst-case-Ansatz ein HCBd-Grenzwert von 2.500 mg/kg aufgrund seiner Ökotoxizität (H410). Daher sind für Abfälle mit HCBd-Gehalten zwischen 100 und 2.500 mg/kg die POP-Abfall-ÜberwV anzuwenden. Ab 2.500 mg/kg sind die HCBd-Abfälle als gefährlich einzustufen, so dass die NachwV gilt.

### 3.4.7 Vorkommen in Abfällen

Tabelle 6 gibt einen Überblick über die Abfallarten, die mit HCBd belastet sein können, resultierend aus dem Einsatz von HCBd in Produkten oder Industriezweigen. Die im Rahmen des Projektes untersuchten Abfallarten sind Anlage 1, Tabelle 33 zu entnehmen.

Tabelle 6: Abfallarten, welche mit HCBd belastet sein können

Abfallarten/Abfallschlüssel		mögliche belastete Materialien innerhalb des Abfallstroms		
		Lösemittel für Kunststoffe	Wärmeüberträger	Abfälle/ Materialmischungen
15 01 02	Verpackungen aus Kunststoff	X		
15 01 05	Verbundverpackungen	X		
15 01 06	gemischte Verpackungen	X		
16 01 19	Kunststoffe	X		
16 01 21*	gefährliche Bauteile mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 07 bis 16 01 11, 16 01 13 und 16 01 14 fallen	X	X	
16 01 22	Bauteile a.n.g.	X	X	
16 02 13*	gefährliche Bauteile enthaltende gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 12 fallen	X	X	
16 02 14	gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 13 fallen	X	X	
16 02 15*	aus gebrauchten Geräten entfernte gefährliche Bauteile	X	X	
16 02 16	aus gebrauchten Geräten entfernte Bauteile mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 15 fallen	X	X	
19 08 05	Schlämme aus der Behandlung von kommunalem Abwasser			X
19 08 12	Schlämme aus der biologischen Behandlung von industriellem Abwasser mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 08 11 fallen			X
19 10 03*	Shredderleichtfraktionen und Staub, die gefährliche Stoffe enthalten	X	X	X
19 10 04	Shredderleichtfraktionen und Staub mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 10 03 fallen	X	X	X
19 12 04	Kunststoff und Gummi	X		
19 12 10	brennbare Abfälle (Brennstoffe aus Abfällen)	X	X	X
19 12 11*	sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen	X	X	X

Abfallarten/Abfallschlüssel		mögliche belastete Materialien innerhalb des Abfallstroms		
		Lösemittel für Kunststoffe	Wärmeüberträger	Abfälle/ Materialmischungen
	Behandlung von Abfällen, die gefährliche Stoffe enthalten			
19 12 12	sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 12 11 fallen	X	X	X
20 01 36	gebrauchte elektrische und elektronische Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 20 01 21, 20 01 23 und 20 01 35 fallen	X	X	
20 03 07	Sperrmüll	X		X
20 03 99	Siedlungsabfälle a. n. g.	X	X	X
Beispiele		Lösungsmittel für Kunststoffe	Kühlmittel in Transformatoren, Hydraulikflüssigkeiten	Abfallgemische und Klärschlämme

### 3.5 Zusammenfassung der Literaturrecherche

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass alle in dieser Studie betrachteten POP zwar erst 2010 in den Anhang der Stockholm Konvention aufgenommen worden sind, es jedoch schon vorher Bemühungen gab, diese einzuschränken oder komplett aus den Herstellungsprozessen zu verbannen. Allerdings gibt es vor allem für PFOS gemäß POP-Verordnung mehrere Ausnahmeregelungen, da bisher keine adäquaten Substitute gefunden wurden, welche weniger schädliche Umweltauswirkungen haben.

Tabelle 7 zeigt einen Vergleich der Grenzwerte der betrachteten POP. Bei den Grenzwerten wird unterschieden, ob es sich um die Konzentrationsgrenze für Herstellung, Inverkehrbringen und Verwendung gemäß Anhang I der POP Verordnung oder um den Ausschluss von der Recyclingfähigkeit gemäß Anhang IV der POP Verordnung handelt.

Tabelle 7: Zusammenfassung der Grenzwerte der POP

Vorgaben der EU-POP-Verordnung	SCCP	PBDE	PFOS	HCBD
Konzentrationsgrenze für Herstellung, Inverkehrbringen und Verwendung gemäß Anhang I	- Stoffe und Zubereitungen, die SCCP in Konzentrationen von weniger als 1 Gew.-%  - Erzeugnisse, die SCCP in Konzentrationen von weniger als 0,15 Gew.-% enthalten	- höchstens 10 mg/kg (0,001 Gew.-%) je BDE in Stoffen, Zubereitungen, Erzeugnissen oder als Bestandteil mit Flammschutzmittel behandelten Teilen von Erzeugnissen	- in Stoffen oder Zubereitungen höchstens 10 mg/kg (0,001 Gew.-%)  - Ausnahmen bei bestimmten Erzeugnissen	- keine gezielte Herstellung und Verwendung  - Erzeugnisse, die bis zum 10. Juli 2012 bereits verwendet wurden, dürfen in Verkehr gebracht und verwendet werden.
Zerstörung/Umwandlung der POP-Bestandteile gemäß Anhang IV ab	10.000 mg/kg	1.000 mg/kg <sup>3</sup>  als Summe der einzelnen PBDE (Tetra- bis Hepta-, Deca-)	50 mg/kg	100 mg/kg
abweichende zerstörungsfreie Entsorgung gemäß Anhang V Teil 2	-	bis 10.000 mg/kg im untertägigen Versatz	-	bis 1.000 mg/kg im untertägigen Versatz
	ohne Konzentrationsobergrenze durch untertägige Deponierung			

Durch die niedrigeren Konzentrationsgrenzen für die Herstellung, das Inverkehrbringen oder die Verwendung soll der weitere Eintrag von POP in die Stoffkreisläufe verhindert werden. Um die stoffliche Verwertung von Abfällen nicht zu gefährden, gelten für Recyclingmaterialien als Kompromisslösung höhere Grenzwerte. Nachteil dieser Regelung ist

<sup>3</sup> Wie in Abschnitt 3.2.5 erwähnt, wird dieser Grenzwert in der POP-Verordnung von dem Europäischen Rat und dem Europäischen Parlament bis 2021 überprüft und voraussichtlich auf 500 mg/kg gesenkt werden.

allerdings, dass die vollständige Ausschleusung der POP aus den Stoffkreisläufen verzögert wird.

## **4 Analytik ausgewählter Abfälle**

### **4.1 Allgemeine Vorgehensweise**

Im Rahmen des Projekts wurden Abfallbehandlungsanlagen und Kläranlagen in Sachsen-Anhalt für eine Analytik von dort anfallenden bzw. gehandhabten Abfallarten, bei denen eine POP-Relevanz vermutet werden kann, auf die zu betrachtenden POP beprobt, welche vom Auftraggeber vorgegeben wurden. Es sollte stichpunktartig überprüft werden, ob und welche Abfallströme in Sachsen-Anhalt mit den POP SCCP, Tetra-, Penta-, Hexa- und HeptaBDE<sup>4</sup>, PFOS oder HCBd belastet sind. Zusätzlich wurde überprüft, inwieweit sich eventuelle POP-Belastungen durch den Halogengehalt indizieren lassen. Hierzu wurde die Konzentration an Fluor, Chlor und Brom im Labor und zusätzlich Chlor und Brom mittels mobiler Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) bestimmt.

Da eine repräsentative Probenahme aufgrund der großen Stückigkeit einiger potenziell belasteter Abfallarten mit vertretbarem Aufwand nicht möglich ist, wurde für diese Abfallarten entschieden, eine Hot-Spot-Beprobung von Teilen der betreffenden Abfallarten durchzuführen. Beispielsweise wurde dies bei Proben der Elektro- und Elektronikaltgeräte durchgeführt, bei denen gezielt Gehäuseteile und Leiterplatten untersucht wurden.

Anhand der Ergebnisse der Hot-Spot-Beprobung lässt sich zwar keine Abschätzung der in den Entsorgungswegen vorhandenen Frachten an POP ableiten, jedoch können betroffene Abfallarten gut identifiziert werden, so dass eine qualitative Betrachtung der Entsorgungswege möglich ist.

### **4.2 Probenahme**

Für die Probenahme wurden durch das Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt potenziell POP-haltige Abfälle identifiziert und anhand derer die relevanten Abfallschlüsselnummern ermittelt. Darauf aufbauend wurden verschiedene Abfallbehandlungs- und Kläranlagen im Land Sachsen-Anhalt ausgewählt, welche für die Behandlung der jeweiligen Abfälle die entsprechenden Genehmigungen besitzen. Die für die Probenahme ausgewählten Anlagen sowie die Probenahmeterminen sind in Tabelle 8 aufgeführt. Die Probenahme der beiden Kampagnen fand im Oktober/November 2018 sowie im März/April 2019 statt.

---

<sup>4</sup> Zusätzlich wurden Tri-, Octa-, Nona- und DecaBDE untersucht, welche mit Ausnahme von DecaBDE bislang noch nicht in der POP-Verordnung aufgeführt sind. DecaBDE wurde aufgrund des Summengrenzwertes für Recyclingprodukte gemäß Anhang III der EU-POP-Verordnung in die Auswertung einbezogen.

Tabelle 8: Ausgewählte Anlagen

<b>Betreiber</b>	<b>Anlagenart</b>	<b>Probenahme Termin 1</b>	<b>Probenahme Termin 2</b>
A	Anlage zur Lagerung und Behandlung von gefährlichen und nicht gefährlichen Abfällen	30.10.2018	03.04.2019
B	Anlage zur Lagerung und Behandlung von Elektro- und Elektronikschrott	13.11.2018	08.04.2019
C	Anlage zur Entsorgung von Elektro- und Elektronikschrott	07.11.2018	28.03.2019
D	Zwischenlager für nicht gefährliche Abfälle	02.11.2018	11.04.2019
E	Anlage zur sonstigen Behandlung und zeitweiligen Lagerung von nicht gefährlichen Abfällen (Anlage zum Shreddern von Altreifen und Altgummi)	14.11.2018	26.03.2019
F	Anlage zur Behandlung von nicht gefährlichen Abfällen (EBS-Anlage)	22.10.2018	08.04.2019
G	Müllheizkraftwerk	15.10.2018	03.04.2019
H	Anlage zur sonstigen Behandlung und zeitweiligen Lagerung von nicht gefährlichen Abfällen (EBS-Herstellung)	17.10.2018	26.03.2019
I	Altholzbehandlung und Bauschuttre-cycling	30.10.2018	11.04.2019
J	Sortieranlage für Bauabfälle i.V.m. Anlage zur Herstellung v. EBS, einer Brecheranlage u. einem Lager	04.12.2018	26.03.2019
K	Kläranlage	25.10.2018	-
L	Kläranlage	08.11.2018	-
M	Kläranlage	13.11.2018	-
N	Anlage zum Recycling von Kunststoffen	-	03.04.2019



<b>Betreiber</b>	<b>Anlagenart</b>	<b>Probenahme Termin 1</b>	<b>Probenahme Termin 2</b>
O	Altfahrzeugbehandlungsanlage	-	28.03.2019
P	Mineralgemischanlage	-	03.04.2019

In den ausgewählten Anlagen werden verschiedene für die Studie relevante gefährliche und nicht gefährliche Abfälle (bspw. Abfälle aus Elektro- und Elektronikgeräten, Altkunststoffe) erzeugt, gelagert, behandelt oder verwertet. In Anlage 1 sind sämtliche für die Studie relevanten Abfallschlüssel aufgelistet, die in den beprobten Anlagen behandelt werden. Als Beispiele sind Produkte genannt, welche belastete Stoffe beinhalten können oder in der Vergangenheit bereits auffällig in Hinblick auf POP geworden sind. Darüber hinaus sind die auf Basis der Sekundärliteraturrecherche vermuteten POP in den einzelnen Abfallarten aufgeführt.

Insgesamt wurden in den beiden Kampagnen 72 Proben in 16 Anlagen analysiert. Die Proben wurden 15 verschiedenen Abfallschlüsseln zugeordnet.

Die im Rahmen der ersten Kampagne entnommenen Proben und die dazugehörigen laufende Nummern sind Tabelle 9 aufgeführt. Für die zweite Probenahmekampagne sind die dazugehörigen Daten in Tabelle 10 aufgeführt.

Tabelle 9: Übersicht der beprobten Anlagen und den entnommenen Proben – Kampagne 1

Betreiber	lfd. Nummer	entnommene Proben / Bezeichnung
G	1	19 10 03* Input (Shredderleichtfraktion)
H	2	19 12 12 Input (PVC, Holz, Metall, Stoff, Papier, Pappe, Alu-Folie, Teppich)
	3	19 12 10 Output (PVC, Holz, Metall, Stoff, Papier, Pappe, Alu-Folie, Teppich)
	4	19 12 08 Input (Flusen)
F	5	19 12 10 Output (Fluff ZW hochkalorisch) Kunststoff aller Art, Holz, Stoff, Papier, Alu-Folie, Pappe
	6	19 12 10 Output (EAB mittelkalorisch) Kunststoff aller Art, Holz, Stoff, Papier, Alu-Folie, Styropor, Pappe
	7	19 12 12 Output (MVV) Kunststoff aller Art, Holz, Stoff, Papier, Alu-Folie, Styropor, Pappe
	8	19 12 12 Input (Norwegen) Kunststoff aller Art, Holz, Stoff, Papier, Alu-Folie, Styropor, Pappe
K	9	19 08 14 (Output) Klärschlamm
A	10	17 02 03 Input (PVC, Folie)
	11	17 02 04* Input (A IV-Holz, Papier, Holz teilweise mit Farbanstrich)
	12	17 06 03* Input (Dämmwolle+Alufolie)
I	13	17 02 04* Input (Holz, Papier, Holz teilweise mit Farbanstrich)
D	14	17 02 04* (Holz, teilweise mit Farbanstrich)
	15	19 12 12 (div. Kunststoffe: Kunststoff aller Art, Holz, Dachpappe, Styropor, Stoff)
	16	17 06 03* (Dämmwolle)
C	17	16 02 13*, 16 02 15* (Sammelgruppe 5 - Kaffeemaschine Staubsauger Toaster )
	18	16 02 13*, 16 02 15* (Sammelgruppe 2 - Kühlgeräte-Gehäuse)
	19	16 02 13*, 16 02 15* (Sammelgruppe 3 - Fernsehgeräte-Gehäuse)
L	20	19 08 05 Output (Schlämme aus Behandlung von Abwasser)
B	21	16 02 13*, 16 02 15* (Sammelgruppe 5 - Kaffeemaschine Staubsauger Toaster )
	22	16 02 13*, 16 02 15* (Sammelgruppe 2 - Kühlgeräte-Gehäuse)
	23	16 02 13*, 16 02 15* (Sammelgruppe 3 - Fernsehgeräte-Gehäuse)
M	24	19 08 05 Klärschlamm (Schlämme aus Behandlung von Abwasser) Output
E	25	19 12 04 (Transportbänder)
J	26	17 02 03 Input (PUR-Schaum)
	27	17 02 03 Input (Kunststoff- und Alufolie)

Tabelle 10: Übersicht der beprobten Anlagen und den entnommenen Proben – Kampagne 2

<b>Betreiber</b>	<b>lfd. Nummer</b>	<b>entnommene Proben / Bezeichnung</b>
G	1	19 10 03* Input Shredderleichtfraktion und Staub
J	2	17 02 03 (Kunststoff - Bauabfälle)
	3	19 12 12 (EBS - Bauabfälle)/
	4	16 02 13* (Elektroschrott - Monitor)
	5	17 09 03* (Baumischabfall)
E	6	19 12 04 (Gummi - Transportband, schwarz)!
	7	19 12 04 (Gummi -Altreifen)
H	8	19 12 12 Output (EBS)
	9	19 12 12 Input gewerblich (EBS)
	10	19 12 12 Input grüner Punkt (EBS)
	11	19 12 12 Input (EBS)
C	12	16 02 15* (Kühlschrank - Dämmung)
	13	16 02 15* (Kühlschrank - Gehäuse)
	14	16 02 15* (Kühlschrank - Gummidichtung)
	15	19 12 04 (PC-Monitor .- Gehäuse)
	16	16 02 13* (Mischung Elektro-Kleingeräte)
	17	16 02 16 (Kühlschrank - Innenfächer)
O	18	16 01 19 Kunststoff (Fahrzeug-Armaturenbrettbezug)
	19	16 01 19 Kunststoff (Fahrzeug- Fenster- u. Türdichtung)
	20	16 01 19 Kunststoff (Fahrzeug- Schaumstoff Sitz)
	21	16 01 19 Kunststoff (Fahrzeug- Türverkleidung)
	22	16 01 19 Kunststoff (Fahrzeug- Sonnenblende)
	23	16 01 19 Kunststoff (Fahrzeug- Türverkleidung)
A	24	17 02 04* Input (Holz-mit gefährlichen Stoffen)
	25	19 10 04 Input (Shredderfraktion)
P	26	19 12 10 Output
N	27	19 12 04 Input Kunstst. (Erzg. Nr. 1900598)
	28	19 12 04 Input Kunstst. (Erzg. Nr. 1900695)
	29	19 12 04 Input Kunstst. (Erzg. Nr. 1900622)

<b>Betreiber</b>	<b>lfd. Nummer</b>	<b>entnommene Proben / Bezeichnung</b>
B	30	19 12 04 (Fernsehergehäuse - schwarz)
	31	19 12 04 (Computergehäuse - grau)
	32	16 02 13* (Mischung Kleingeräte Telefon)
	33	16 02 13* (Mischung Kleingeräte Toaster)
	34	16 02 15* (Kühlgerätegehäuse - Kühlschrantür)/
	35	16 02 15* (Waschmaschine - Dämmung)
I	36	17 02 04* Alt-Holz PN I
	37	17 02 04* Alt-Holz PN II
D	38	17 02 04* PN I Mineralwolle
	39	17 02 04* PN II Holz
F	40	20 03 01 Input (gefährliche und nicht gefährliche Stoffe)
	41	19 12 12 Output (gefährliche und nicht gefährliche Stoffe)
	42	19 12 10 Output (EBS) - Kunststoff
	43	19 12 12 Output (Fluff) - Kunststoff
J	44	16 02 13* Elektroschrott (Monitor)
B und C	45	16 02 13* entnommene Leiterplatten der laufenden Nummer 16, 32 und 33

In der zweiten Kampagne wurde auf eine weitere Probenahme von Klärschlamm verzichtet, da dieser in regelmäßigen Abständen standardmäßig u.a. auch auf POP untersucht wird. Stattdessen wurden Shredderfraktionen und ein Altfahrzeugverwerter in das Untersuchungsprogramm mit aufgenommen.

Die Proben wurden im Beisein eines Vertreters des Landesverwaltungsamtes von geschulten Probenehmern der Eurofins Umwelt Ost GmbH aus den In- bzw. Outströmen der Anlagen genommen.

Die Probenahme erfolgte wenn möglich gemäß den Vorgaben der LAGA PN 98 – Probenahme von Abfällen, es wurde jeweils eine Mischprobe von 100 l erstellt. Grobstückige Proben wurden gezielt als Hot-Spot-Probe mit hoher Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins von POP gezogen. Bspw. wurden bei gemischten Fraktionen von Elektroaltgeräten gezielt Kunststoffgehäuseteile oder Leiterplatten beprobt. Feinkörnige Abfälle, wie bspw. Klärschlämme oder aufbereitete Ersatzbrennstoffe, wurden nach PN98 repräsentativ beprobt.

Bei der zweiten Probenkampagne wurden grobstückige Proben aus einem Haufwerk gezielt mittels RFA auf Chlor und Brom untersucht. Die Fraktionen mit dem höchsten Gehalt der beiden Elemente wurden als Hot-Spot Probe zu einer Mischprobe zusammengeführt. Feinkörnige Abfälle wurden ebenfalls wieder nach PN 98 beprobt.

### **4.3 Probenaufbereitung für die POP-Analysen und Halogene**

Die Proben wurden im Labor der Eurofins Umwelt Ost GmbH aufbereitet.

Die Probenvorbereitung erfolgt nach den Vorgaben der Normen DIN EN 15413:2011-11 und DIN EN 15443:2011-05 anhand der nachfolgend dargestellten Arbeitsschritte.

#### **1. Sichtung und Dokumentation der angelieferten Laborprobe**

Alle Proben wurden im Ausgangszustand fotografiert und anschließend die Masse der Ausgangsprobe auf einer geeigneten Waage bestimmt.

#### **2. Vorhandene Störstoffe auslesen**

Nach der Sichtung der Probe erfolgte die optische und haptische Prüfung der gesamten Probe auf eventuell vorhandene Störstoffe (Steine u.ä.). Wenn vorhanden, wurden die Störstoffe durch händisches Auslesen in einzelne Fraktionen sortiert. Anschließend wurden die Störstoffanteile verwogen, fotografiert und die ermittelte Masse protokolliert. Alle Störstoffe wurden getrennt und eindeutig gekennzeichnet zurückgestellt.

#### **3. Grobzerkleinerung <10mm**

Die gesamte Probe wurde mittels geeigneter Verfahren (Schneidmühle, Brecher) auf eine Partikelgröße von < 10 mm reduziert. Sollte die Probe < 10 mm geliefert worden sein (bspw. Klärschlämme), entfällt dieser Schritt.

#### **4. Homogenisierung und Verjüngung**

Die Probe wurde anschließend durch geeignete Verfahren (Teilungskreuz, Riffelteiler) homogenisiert und verjüngt. Ein ausreichender Teil der Originalprobe wurde entnommen und zurückgestellt. Sollten später Prüfmengen aus dieser Fraktion benötigt werden, wird die entsprechend dargestellt.

#### **5. Vortrocknung**

Eine ausreichende Menge an repräsentativer Probe wurde auf ein Blech ausgelegt und bei 40°C (±2°C) im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Für die Bestimmung des Wassergehalts wurden die Masse des leeren Blechs, der feuchten sowie der trockenen Probe bestimmt und protokolliert.

## 6. Homogenisierung und Verjüngung

Die getrocknete Probe wurde erneut gründlich homogenisiert und ein ausreichender (in Abhängigkeit vom Analyseverfahren und Ausgangsmaterial) und repräsentativer Teil für die Feinzerkleinerung entnommen. Die restliche Teilprobe wurde verpackt, gekennzeichnet und zurückgestellt.

## 7. Feinzerkleinerung < 1 mm

Die entnommene Teilprobe wurde vollständig mittels Ultrazentrifugalmühle (UZM) oder Scheibenschwingmühle (SSM) auf < 1 mm reduziert. Aufgrund der Probenkonsistenz konnte es notwendig sein, diese Zerkleinerung über mehrere Teilschritte durchzuführen, wobei darauf zu achten war, dass keine Teile der Probe verloren gehen. Bei Bedarf wurde die Teilprobe mit flüssigem Stickstoff versprödet. Alle Proben wurden anschließend homogenisiert, die benötigten Prüfmengen repräsentativ entnommen und abgefüllt. Die restliche Probe wurde jeweils verpackt und zurückgestellt.

## 4.4 Beschreibung der Analyse der Halogene

Die Analyse der Halogene erfolgte nach DIN EN 15408:2011-05 und wird nachfolgend beschrieben.

Von der analysenfeinen und analysenfeuchten Probe wurden 0,3 bis 0,5 g auf 0,0001 g genau in einen PE-Beutel (Verbrennungshilfe) eingewogen, verschlossen und in einen ausgeglühten Quarztiegel verbracht. Anschließend wurde eine Eluent-Lösung und H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in die Verbrennungsbombe eingefüllt sowie ein Zünddraht und Baumwollzündfaden angebracht. Der Tiegel wurde in die Bombenhalterung eingesetzt. Nachdem diese verschlossen wurde, wurde Sauerstoff mit 30 bar langsam aufgefüllt, dabei ist die Dichtheit zu prüfen. Nach der Zündung wurde die Bombe anschließend sofort für 15 Minuten in ein Wasserbad eingesetzt. Dieses dient der Abkühlung und zur Absorption der löslichen Dämpfe. Nach Ablauf der 15 Minuten wurde die Bombe aus dem Wasserbad entfernt und innerhalb einer Minute gleichmäßig entspannt. Der Bombeninhalte wurde auf vollständige Verbrennung geprüft. Anschließend wurde der Inhalt der Bombe quantitativ mit heißem Reinstwasser in einen Maßkolben überführt und alle Bombenoberflächen inklusive der Einbauten mit Reinstwasser abgespült. Für die Ionenaustauschchromatographie (IC-Messung) wurde die Probe in entsprechende IC-Röhrchen überführt. Nach einer Blindwertbestimmung mit Verbrennungshilfe ohne Probenmaterial wurden die Proben analysiert. Bei schwer- oder nicht brennbaren Proben wurde zur vollständigen Umsetzung reines Paraffinöl zugesetzt.

## 4.5 Analytik

Grundsätzlich sind die für die POP-Analytik anzuwendenden laboranalytischen Verfahren keine Standardanalytik. Dementsprechend existieren keine Ringversuche in Deutschland, so dass die Qualitätssicherung laborintern erfolgen muss. Die Analytik wird nur von wenigen Laboren angeboten. Zur Qualitätssicherung wurde im Rahmen des Projektes für ausgewählte Proben und Parameter eine Parallelanalytik in einem zweiten Labor durchgeführt.

Die Analytik erfolgte in nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 zertifizierten Laboratorien der Eurofins Umwelt Ost GmbH sowie der PiCA Prüfinstitut für Chemische Analytik GmbH. Dabei wurden die Vorgaben aus der LAGA-Methodensammlung Feststoffuntersuchung (LAGA, 2018) und die UBA-Texte 34/2015 (Potrykus, 2015) beachtet.

Abweichend von den Empfehlungen und Erfahrungen der UBA-Studie wurde HCBd nicht mit der Zugabe von C<sup>13</sup>-markierten Standards analysiert. Eine Zugabe von C<sup>13</sup> markierten Standards erleichtert die Identifikation der gesuchten Einzelstoffe zwar, da die Masse für die Detektion mit dem Massenspektrometer vom Analyten etwas abweicht, die chemischen Ei-

genschaften jedoch dieselben sein sollten. Eine Nichtverwendung eines isotonenmarkierten Standards bedeutet allerdings nicht, dass der Analyt ohne Einsatz eines solchen nicht gefunden werden kann, da die eigentliche Kalibrierung mit einem HCB-D-Standard erfolgt. Das ebenfalls empfohlene Clean-up war zur Entstehungszeit der Studie vor 4–5 Jahren notwendig, da damals weit unempfindlichere Messtechnik zur Anwendung kam, die die Matrixbeeinflussung minimieren sollte. Mit heutiger empfindlicher Messtechnik ist dieser aufwändige und vor allem fehler- und kontaminationsanfällige Reinigungsschritt in aller Regel unnötig geworden.

Bei der Analyse von SCCP wird von der PiCA das PCB-209 als interner Standard verwendet, dafür ist jede chlorierte organische Substanz einsetzbar. Als Wiederfindungsstandard wird das unter dem Prüfbericht angegebene technische Gemisch CP C10-C13, 63% Cl (CAS 85535-84-8) eingesetzt. Es ist sinnvoll, als Wiederfindungsstandard eine dem Analyten chemisch ähnliche Substanz einzusetzen.

Die Analyse der POP wurde anhand standardisierter Prüfverfahren mittels Gaschromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung (GC/MS) durchgeführt.

Des Weiteren wurden die Proben von der Eurofins Umwelt Ost GmbH nach DIN EN 15408 auf Chlor, Fluor und Brom untersucht, um Vergleichswerte für die Ermittlung mittels der RFA zu generieren.

Die Ergebnisse der Analysen werden im Abschnitt 5 erläutert.

#### **4.6 RFA-Messung**

Bei der Röntgenfluoreszenzanalyse wird mittels Röntgenstrahlung die chemische Zusammensetzung der Proben bestimmt.

Eine Teilmenge, der wie in Kapitel 4.3 beschrieben, aufbereiteten Proben wurden vom Landesamt mittels RFA analysiert. Jeweils neun Einzelmessungen wurden als Mittelwert zusammengefasst.

Ziel der Untersuchung war es, abschätzen zu können, ob sich anhand des Gehalts an Halogenen, POP-belastete Abfallströme ermitteln lassen bzw. ob anhand einer RFA Abfallströme identifiziert werden können, die für eine anschließende laboranalytische Untersuchung prädestiniert sind.

Zusätzlich wurde in der zweiten Kampagne, bei grobstückigen Haufwerken eine Vorauswahl an Proben durch die Mitarbeiter des LAU getroffen und vor Ort mittels RFA analysiert. Anteile mit den höchsten Chlor- bzw. Bromgehalten wurden zu einer Laborprobe zusammengeführt. Anteile mit niedrigeren Gehalten wurden verworfen. Durch diese nicht repräsentative Art der Hot-Spot-Beprobung sollte sichergestellt werden, dass ein möglichst hoher Anteil der POP-haltigen Abfälle beprobt wird.

Die Ergebnisse der RFA-Messungen der ersten und zweiten Kampagne liegen dem Bericht als Anlage 2 bei.

## **5 Auswertung**

### **5.1 Erste Kampagne**

Insgesamt wurden 27 Proben auf die Parameter HCBd, SCCP, PBDE (Tri-, Tetra-, Penta-, Hexa-, Hepta-, Octa-, Nona-, DecaBDE) und PFOS bezogen auf die Trockensubstanz sowie auf die Halogene Fluor, Chlor und Brom, jeweils im Anlieferungs- und wasserfreiem Zustand, beprobt.

Bei vielen Proben wurden keine Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze festgestellt. Zur besseren Übersicht sind daher nur Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze aufgeführt. Die jeweilige Bestimmungsgrenze ist in der Tabelle unten aufgeführt. Bezüglich PFOS lag die eigentliche Bestimmungsgrenze bei 2 µg/kg, aufgrund von Matrixstörungen wurde diese bei manchen Zellen (markiert mit \*) auf 4 µg/kg nach oben korrigiert.



Tabelle 11: Zusammenfassung der Analyseergebnisse der ersten Kampagne

Lfd.-Nr.	HCBD [mg/kg]	SCCP [mg/kg]	TriBDE [mg/kg]	TetraBDE [mg/kg]	PentaBDE [mg/kg]	HexaBDE [mg/kg]	HeptaBD E[mg/kg]	OctaBDE [mg/kg]	NonaBDE [mg/kg]	DecaBDE [mg/kg]	PFOS [mg/kg]	Fluor [mg/kg, an]	Chlor [mg/kg, an]	Brom [mg/kg, an]	Fluor [mg/kg, wf]	Chlor [mg/kg, wf]	Brom [mg/kg, wf]
1											0,012	140	13.400	945	180	17.100	1.200
2											0,0071	120	11.300		130	12.500	56
3											*	60	6.140	442	60	6.890	495
4											*		770	361		780	366
5											*	460	7.130	88	510	7.890	98
6											2	70	37.900		80	42.600	
7		570										630	159.000		650	164.000	
8											*	60	35.200		70	40.700	
9													1.800		70	7.180	71
10											*	70	440		80	470	
11											*		170			200	
12											*	70	190		70	200	
13											*	90	390		100	450	
14											*	60	1.540		70	1.700	
15											*	80	29.500	525	90	32.500	578
16											*	330	1.860		330	1.870	
17												610	5.870		610	5.900	
18													3.450			3.460	
19												280		32.100	280		32.100
20											0,015		810		200	4.390	
21												60	4.090		60	4.110	
22												90	5.080	91	90	5.090	91
23												170	3.150		170	3.150	
24													180		180	860	
25		220									0,0059		5.200			5.240	
26													830			850	
27													2.440			2.510	
Nachweisgrenze	< 10	< 100	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 0,002 * < 0,004	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50

anl Anlieferungszustand

wf wasserfrei

die Analyse der POP wurde mit der Trockensubstanz durchgeführt (wasserfrei)

### 5.1.1 Nachweis von POP

Im Ergebnis der ersten Kampagne waren nur wenige Proben auffällig. Sämtliche Analysen auf HCBd und PBDE waren mit jeweils weniger als 10 mg/kg unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Bei zwei Proben liegen die ermittelten SCCP Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze, jedoch weit unterhalb der Grenzwerte (220 bzw. 570 mg/kg (der Grenzwert liegt bei 10.000 mg/kg für Recyclingprodukte bzw. 1.500 mg/kg für Neuprodukte). Eine der Proben stammte aus einer Anlage zum Shreddern von Altreifen und Altgummi (Ifd. Nr. 25), die Probe wurde aus Abfällen mit dem Abfallschlüssel 19 12 04 (Kunststoff und Gummi) gezogen, sie enthielt vor allem Transportbänder. Die andere Probe (Ifd. Nr. 7) stammte aus einer Anlage zur Behandlung von nicht gefährlichen Abfällen (EBS-Anlage) und war dem Abfallschlüssel 19 12 12 (sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 12 11 fallen) zugeordnet. Es handelte sich vor allem um das Outputmaterial, in welchem sich Kunststoffe aller Art und Holz befanden.

Fünf Proben enthielten PFOS-Werte, welche oberhalb der Bestimmungsgrenze von < 2 µg/kg lagen (5,9 µg/kg, 7,1 µg/kg, 12 µg/kg, 15 µg/kg, 23 µg/kg). Der Grenzwert von 50 mg/kg für Recyclingprodukte bzw. 10 mg/kg für Neuprodukte wurde deutlich unterschritten. Drei der Proben stammen aus Klärwerken, in denen kommunales und industrielles Wasser geklärt wurde (Ifd. Nr. 9, 20 und 24). Dem entsprechend waren die Abfallschlüssel 19 08 05 (Schlämme aus der Behandlung von kommunalem Abwasser) und 19 08 14 (Schlämme aus einer anderen Behandlung von industriellem Abwasser mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 08 13 fallen) betroffen. Bei den übrigen Proben handelte es sich um Proben aus einem Müllheizkraftwerk (Ifd. Nr. 1), bei welchen der Inputstrom analysiert wurde (19 10 03\* Shredderleichtfraktionen und Staub, die gefährliche Stoffe enthalten) und einer Anlage zur sonstigen Behandlung und zeitweiligen Lagerung von nicht gefährlichen Abfällen (Ifd. Nr. 2), bei welcher das Inputmaterial untersucht wurde (19 12 12 sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 12 11 fallen).

Die Analyse der Halogene wurde wie bereits erwähnt im Anlieferungs- und im wasserfreiem Zustand vorgenommen.

### 5.1.2 Fluor

In 21 von 27 Proben konnte Fluor (bezogen auf die Trockensubstanz) oberhalb der Bestimmungsgrenze von 50 mg/kg nachgewiesen werden. Die fünf Proben, welche einen PFOS-Peak oberhalb der Bestimmungsgrenze besaßen, waren allerdings sehr gering mit PFOS belastet (max. 23 µg/kg TS). Aus diesen niedrigen PFOS-Gehalten lässt sich kein Fluor-Gehalt oberhalb der Bestimmungsgrenze für Fluor von 50 mg/kg ableiten. Insofern lässt sich auf Basis der analysierten Proben im Rahmen der Studie keine Korrelation zwischen den ermittelten Fluorwerten und des Vorhandenseins von PFOS ableiten.

Eine Bestimmung der Fluorgehalte mittels RFA war nicht möglich, da Fluor eine zu geringe Anzahl an Elektronen (9) besitzt und eine röntgenfluoreszierende Messung üblicherweise ab Magnesium (12 Elektronen) aussagekräftig ist.

### 5.1.3 Chlor

Das Element Chlor ist Bestandteil der SCCP sowie von HCBd. Da kein HCBd in den Proben nachgewiesen werden konnte, fokussiert sich die Auswertung auf die SCCP.

Der Chlorgehalt ist abhängig von der Abfallart. Weigand und Marb (2006) hatten Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Restmüll aus Haushaltungen untersucht (Müll und Abfall, Ausgabe 5/2006, S.236 ff.). Während feuchter Restabfall im Durchschnitt einen Chloranteil von 0,4 Ma.-% besitzt, können sonstige Kunststoffabfälle einen Anteil von 2,3–3,5 Ma.-% aufweisen.

Tabelle 12: Chloranteile in verschiedenen Abfallarten (nach Weigand u. Marb, 2006)

<b>Abfallart</b>	<b>Chlorgehalt [Ma.-%]</b>
Restabfall (feucht)	0,39
Kunststoffverpackungen/-folien	0,26–0,28
sonstige Kunststoffe	2,33–3,48
Leder/Gummi/Kork	2,27–2,39
Elektronikschrott	3,18–3,58
sonstige Verbunde	1,29–1,31

Verglichen mit den Literaturwerten sind die ermittelten Werte als eher gering einzustufen.

Mit Ausnahme von einer Probe konnten in jeder Probe Chloranteile von > 50 mg/kg (> 0,005 Ma.-%) nachgewiesen werden. Die Probe, welche 570 mg/kg SCCP enthielt, hat mit 15,9 Ma.-% (Anlieferungszustand) bzw. 16,4 Ma.-% (wasserfreier Zustand) auch den höchsten Chlorgehalt, wohingegen die Probe, welche 220 mg/kg SCCP enthielt, einen Chloranteil von lediglich 0,5 Ma.-% (im Anlieferungs- bzw. wasserfreiem Zustand) aufwies. In allen anderen Proben mit Chlorgehalten von bis zu 4 Ma.-% konnte keine SCCP-Belastung festgestellt werden.

Neben der Bestimmung der Chloranteile im Labor wurde eine Referenzmessung mit RFA durchgeführt. Die Ergebnisse der beiden Untersuchungen weichen teilweise stark voneinander ab (siehe Abbildung 5).

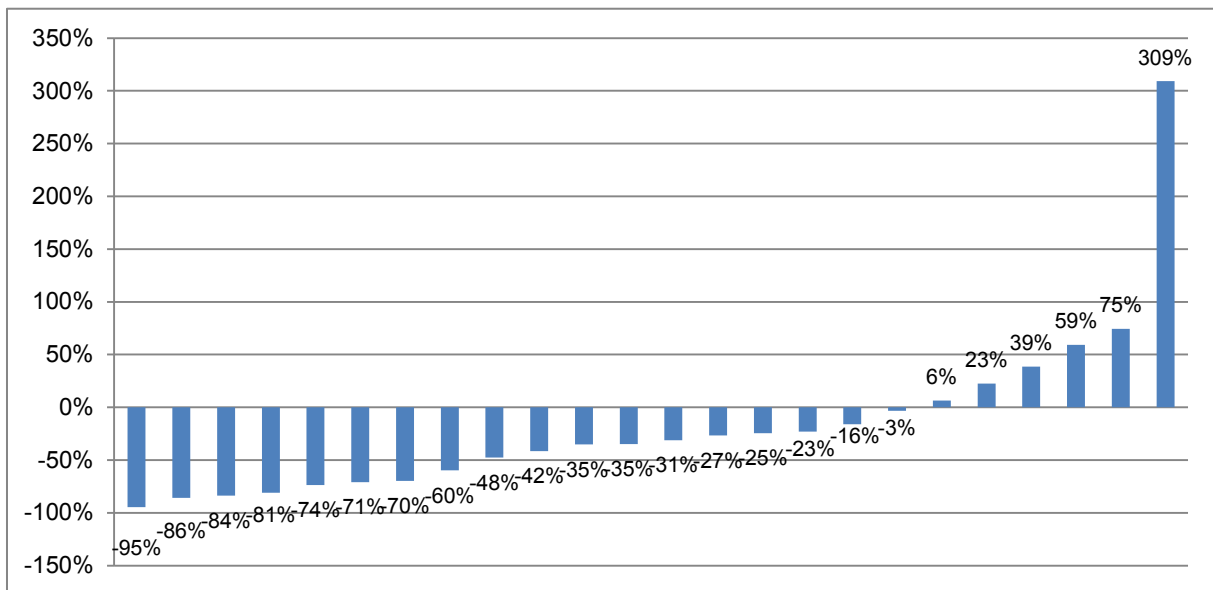


Abbildung 5: Prozentualer Abstand zwischen den mittels RFA ermittelten und Laborwerten des Chloranteils

Insgesamt ist bei 24 Proben eine RFA durchgeführt worden.<sup>5</sup> Die Proben, bei denen mittels RFA geringere Werte als die Laborreferenzwerte gemessen wurden, haben ein negatives Vorzeichen. Wie in der Abbildung zu sehen ist, wurden mit der RFA überwiegend weniger Chloranteile gemessen als im Labor. Trotz der Abweichungen, kann in den meisten Fällen bei einem mittels RFA gemessenen hohen Chlorgehalt geschlossen werden, dass sich dieser durch die laboranalytische Bestimmung bestätigt (siehe Tabelle 13). Es gilt zu beachten, dass die Proben teilweise sehr inhomogen waren und sich die Laborwerte aus nur einem Messwert zusammensetzen. Die RFA-Messwerte wurden aus neun Einzelmessungen ermittelt.

<sup>5</sup> Bei der obengenannten Probe, bei der im Labor keine Chloranteile über der Bestimmungsgrenze von 50 ppm festgestellt wurden, sind bei der Messung mit RFA jedoch 170 ppm festgestellt worden. Da kein Referenzwert besteht, ist diese nicht in der Abbildung 5 enthalten.

Tabelle 13: Vergleich RFA-Messwerte und Laborwerte für Chlor

Lfd.-Nr.	Chlor [mg/kg]		
	AN anl	AN wf	LAU wf
1	13.400	17.100	2.810
2	11.300	12.500	8.616
3	6.140	6.890	7.328
4	770	780	572
5	7.130	7.890	6.631
6	37.900	42.600	11.235
7	159.000	164.000	49.849
8	35.200	40.700	21.296
9	1.800	7.180	6.945
10	440	470	1.923
11	170	200	277
12	190	200	245
13	390	450	717
14	1.540	1.700	1.310
15	29.500	32.500	6.159
16	1.860	1.870	102
17	5.870	5.900	4.453
18	3.450	3.460	1.392
19	< 50	< 50	170
20	810	4.390	2.563
21	4.090	4.110	7.174
22	5.080	5.090	3.311
23	3.150	3.150	448
24	180	860	557
25	5.200	5.240	1.522

#### 5.1.4 Brom

In sieben Proben wurde Brom oberhalb der Bestimmungsgrenze von 50 mg/kg festgestellt. Eine Probe stach durch einen Bromanteil von 3,2 Ma.-% in Anlieferungs- bzw. wasserfreiem Zustand hervor. Diese stammte aus einer Anlage zur Entsorgung von Elektro- und Elektronikschrott, bei dem Abfallstrom handelte es sich um Gehäuse von Fernsehgeräten (Abfallschlüssel 16 02 13\* und 16 02 15\*). Brom ist ein Hauptbestandteil sämtlicher PBDE. PBDE konnten in keiner Probe nachgewiesen werden. Daher lässt sich auf Basis der Ergebnisse der durchgeführten Analysen auch für das Element Brom keine Wechselwirkung zwischen einem hohen Bromgehalt und einer Belastung mit PBDE feststellen.

Im Vergleich zu den Messungen der Chloranteile konnten bei der Messung der Bromanteile nur wenige Proben miteinander verglichen werden. Von den 25 Proben konnten bei sieben Proben weder im Labor noch mittels RFA Bromanteile festgestellt werden. Bei neun weiteren Proben lag der Bromanteil in der laboranalytischen Bestimmung unter 50 mg/kg und damit unter der Bestimmungsgrenze, während mittels RFA geringe Bromanteile gemessen werden konnten. Bei den restlichen Proben waren die Abweichungen zu den Laborergebnissen nicht so stark wie bei den Messungen der Chloranteile (siehe Abbildung 6).

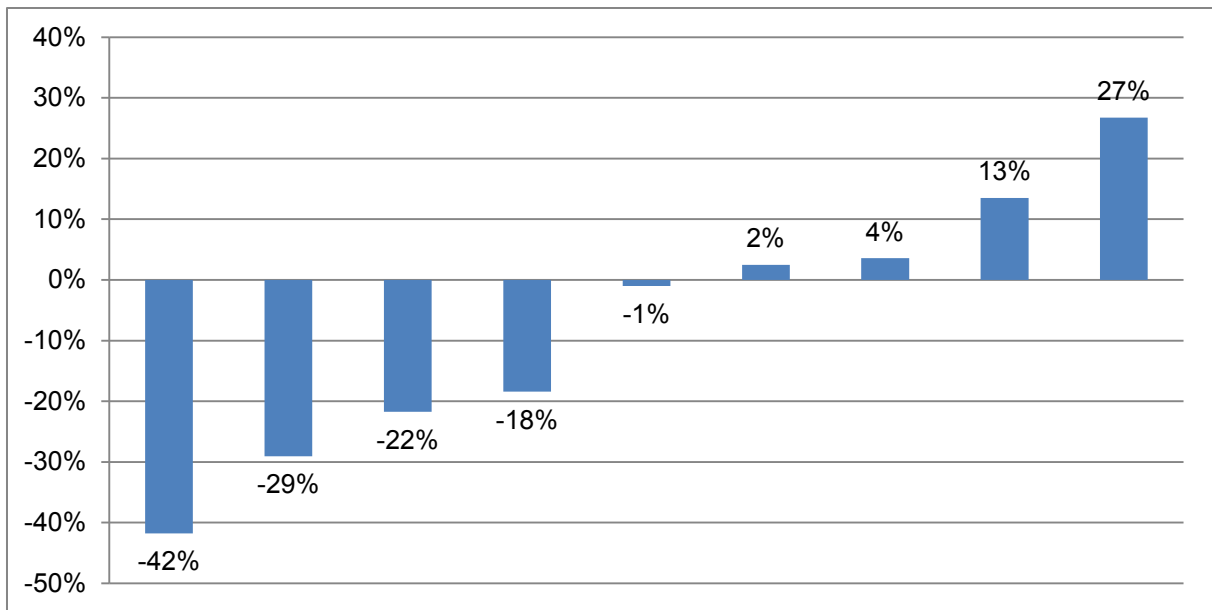


Abbildung 6: Prozentualer Abstand zwischen den mittels RFA ermittelten und Laborwerten des Bromanteils

Bei drei Proben ist der prozentuale Abstand sehr gering. Die höhere Genauigkeit der Messungen ist darauf zurückzuführen, dass Brom eine höhere Ordnungszahl als Chlor besitzt und die Messgenauigkeit bei der RFA-Analytik mit zunehmender Elektronenzahl steigt.

Tabelle 14: Vergleich RFA-Messwerte und Laborwerte für Brom (LOD = Nachweisgrenze)

Lfd.-Nr.	Brom [mg/kg]		
	AN <sub>anl</sub>	AN <sub>wf</sub>	LAU <sub>wf</sub>
1	945	1.200	939
2	< 50	56	58
3	442	495	404
4	361	366	375
5	88	98	97
6	< 50	< 50	40
7	< 50	< 50	53
8	< 50	< 50	29
9	< 50	71	90
10	< 50	< 50	<LOD
11	< 50	< 50	<LOD
12	< 50	< 50	<LOD
13	< 50	< 50	<LOD
14	< 50	< 50	<LOD
15	525	578	656
16	< 50	< 50	<LOD
17	< 50	< 50	37
18	< 50	< 50	32
19	32.100	32.100	22.772
20	< 50	< 50	45
21	< 50	< 50	<LOD
22	91	91	53
23	< 50	< 50	30
24	< 50	< 50	46
25	< 50	< 50	40

## 5.2 Zweite Kampagne

Im Rahmen der zweiten Kampagne sind 45 Proben untersucht worden. In Tabelle 10 sind die Anlagenarten und die dort behandelten Abfälle dargestellt, von denen die Proben gezogen worden sind. Bei zwei Proben wurden gezielt Leiterplatten untersucht (lfd. Nr. 44 und 45), bei der einen Probe handelt es sich um eine Mischprobe aus zwei Anlagen (lfd. Nr. 45). Wie in Kapitel 4 beschrieben wurde auf die Beprobung der Kläranlagen verzichtet und dafür drei andere Anlagen beprobt.

Bei vielen Proben wurden keine Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze festgestellt. Zur besseren Übersicht sind daher nur Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze aufgeführt. Die jeweilige Bestimmungsgrenze ist in der Tabelle unten aufgeführt. Bezüglich PFOS lag die eigentliche Bestimmungsgrenze bei 2 µg/kg, aufgrund von Matrixstörungen wurde diese bei manchen Zellen auf 4 µg/kg (markiert mit \*) bzw. auf 8 µg/kg (markiert mit \*\*) nach oben korrigiert.

Tabelle 15 zeigt die Analyseergebnisse der zweiten Kampagne.

Tabelle 15: Zusammenfassung der Analyseergebnisse der zweiten Kampagne

Lfd. Nr.	HCBD [mg/kg]	SCCP [mg/kg]	TriBDE [mg/kg]	TetraBDE [mg/kg]	PentaBDE [mg/kg]	HexaBDE [mg/kg]	HeptaBDE [mg/kg]	OctaBDE [mg/kg]	NonaBDE [mg/kg]	DecaBDE [mg/kg]	PFOS [mg/kg]	Fluor [mg/kg, anl]	Chlor [mg/kg, anl]	Brom [mg/kg, anl]	Fluor [mg/kg, wf]	Chlor [mg/kg, wf]	Brom [mg/kg, wf]
1											0,0031	250	7.540	271	270	8.060	290
2													46.900	83		47.000	83
3												120	5.240	76	140	5.900	86
4													23.100	61.900		23.300	62.400
5													4.350	4.170		4.420	4.230
6										250		70	1.510	202	70	1.510	203
7													480	912		490	925
8											0,0037	80	6.870	109	100	8.260	131
9												90	8.990	107	100	10.100	120
10													2.440			2.650	
11									17	> 5.000			5.230	1.800		5.550	1.910
12											**		1.230	170		1.800	249
13										[2,2]	**	250	25.200	230	280	28.000	255
14													107.000			107.000	
15												280	5.610	69.900	280	5.650	70.400
16								20				130	7.320	38.800	130	7.420	39.300
17										700			410	2.360		440	2.560
18													264.000	78		265.000	79
19											0,003	130	840		130	850	
20													670			680	
21												150	41.700		150	41.900	
22													29.000			29.900	
23										3.100			2.250	415		2.320	427
24													1.700			2.130	
25									[2,6]	110	0,012	380	24.600	1.170	400	26.200	1.240
26										1.800	0,018	90	5.140	992	140	7.830	1.510
27													530			540	
28													1.040			1.050	
29												170	2.270		170	2.280	
30												170	6.660	49.200	170	6.710	49.600
31													22.100	71.700		22.300	72.400
32												260	1.030	3.470	270	1.050	3.540
33								34	1.400	> 5.000		50	2.980	60.700	50	3.010	61.200
34													22.100			22.300	
35										120	*	110	5.440	172	110	5.690	179
36													800	113		880	124
37													2.870			3.150	
38												1.350	1.660		1.350	1.670	
39													250			280	
40												150	590	85	160	650	93



Lfd. Nr.	HCBD [mg/kg]	SCCP [mg/kg]	TriBDE [mg/kg]	TetraBDE [mg/kg]	PentaBDE [mg/kg]	HexaBDE [mg/kg]	HeptaBDE [mg/kg]	OctaBDE [mg/kg]	NonaBDE [mg/kg]	DecaBDE [mg/kg]	PFOS [mg/kg]	Fluor [mg/kg, anl]	Chlor [mg/kg, anl]	Brom [mg/kg, anl]	Fluor [mg/kg, wf]	Chlor [mg/kg, wf]	Brom [mg/kg, wf]
41													91.300	66		92.400	67
42												230	18.200	105	240	18.700	108
43													10.400			11.400	
44									23	4.900		100	14.100	11.700	100	14.300	11.800
45												1.080	1.650	30.700	1.090	1.670	31.100
Nachweisgrenze	< 10	< 50	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 0,002 * < 0,004 ** < 0,008	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50

anl Anlieferungszustand  
wf wasserfrei

die Analyse der POP wurde mit der Trockensubstanz durchgeführt (wasserfrei)

### 5.2.1 Nachweis von POP

Bezüglich HCBD, SCCP, Tri-, Tetra-, Penta-, Hexa- und HeptaBDE waren die Proben gänzlich unauffällig, bei keinem Parameter wurde die Bestimmungsgrenze erreicht.

Die Bestimmungsgrenze von DecaBDE wurde neunmal überschritten, davon fünfmal mit Werten jenseits von 1.000 mg/kg (lfd. Nr. 11, 23, 26, 33 und 44. Dies betraf insbesondere folgende Abfallarten:

- 16 01 19 - Kunststoffe
- 16 02 13\* - gefährliche Bauteile enthaltende gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 12 fallen
- 19 12 10 - brennbare Abfälle (Brennstoffe aus Abfällen)
- 19 12 12 - sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 12 11 fallen

Wie bereits erläutert, sind Produkte von der Verwertung ausgeschlossen, wenn die Summe der PBDE 1.000 mg/kg übersteigt, zukünftig möglicherweise bereits ab 500 mg/kg. Bei fünf Proben liegt die Gesamtsumme der PBDE > 1.000 mg/kg, eine weitere Probe mit 700 mg/kg (lfd. Nr. 17) wäre nach den möglicherweise zukünftigen Regelungen ebenfalls betroffen.

PFOS wurde oberhalb der Bestimmungsgrenze von 2 µg/kg in geringen Mengen in fünf Proben festgestellt (lfd. Nr. 1, 8, 19, 25 und 26), mit maximal 18 µg/kg wie in der ersten Kampagne liegen die Werte weit unter den Grenzwerten für neue oder rezyklierte Produkte.

Die Analyse der Halogene wurde wie bereits in der 1. Kampagne im Anlieferungs- und im wasserfreiem Zustand vorgenommen.

### 5.2.2 Fluor

Fluor wurde in 22 der 45 Proben oberhalb der Bestimmungsgrenze von 50 mg/kg (0,005 Ma.-%) nachgewiesen. Der maximal ermittelte Wert liegt bei 1.350 mg/kg (0,135 Ma.-%).

Fluor ist Bestandteil von PFOS. PFOS konnte, wie in der Auswertung zur zweiten Kampagne beschrieben, nur in geringen Mengen bei fünf Proben nachgewiesen werden. Aufgrund der niedrigen Werte kann keinerlei Korrelation zwischen den gemessenen Fluorwerten und PFOS festgestellt werden, selbst die Probe mit dem höchsten gemessenen Fluorwert hatte keinen PFOS-Gehalt über der Bestimmungsgrenze.

Der Grenzwert des Anhangs IV der EU-POP-Verordnung für PFOS beträgt 50 mg/kg. Auf stöchiometrischer Grundlage lässt sich daraus ein Fluorgehalt von 32 mg/kg Fluor ableiten, der mindestens für eine Grenzwertüberschreitung bei PFOS vorhanden sein müsste. Dieser Wert liegt unterhalb der Bestimmungsgrenze für Fluor von 50 mg/kg, so dass jeder gemessene Fluorgehalt eine Überschreitung des Grenzwertes für PFOS zu Folge haben könnte. Grundsätzlich ist eine Überschreitung des Grenzwertes gemäß Anhang IV EU-POP-Verordnung für PFOS auch bei einem Fluorgehalt unterhalb der Bestimmungsgrenze möglich. Da bei jeweils fünf mit PFOS belasteten Proben je Kampagne in 21 von 27 (Kampagne 1) bzw. 22 von 45 Proben (Kampagne 2) Fluor gemessen wurde, ist Fluor kein geeigneter Indikator für das Vorhandensein von PFOS in zu berücksichtigenden Konzentrationen.

### 5.2.3 Chlor

In allen Proben konnte Chlor oberhalb der Bestimmungsgrenze von 50 mg/kg (0,005 Ma.-%) nachgewiesen werden. Während in der ersten Kampagne der Höchstwert bei 15,9 Ma.-% (16,4 Ma.-% im wasserfreien Zustand) lag, wurde in der zweiten Kampagne bei einer Probe

von Kunststoffarmaturen (Ifd. Nr. 18) ein Höchstwert von 26,4 Ma.-% (26,5 Ma.-% im wasserfreien Zustand) bestimmt. In allen Proben wurden weder SCCP noch HCBd bestimmt, so dass die Chloranteile aus anderen Quellen kommen müssen und keine Korrelation zwischen den Chlor- und den SCCP- bzw. HCBd-Gehalten festgestellt werden konnte.

Der Chlorierungsgrad von SCCP schwankt zwischen 48 und 71 % (Bolliger und Randegger-Vollrath, 2003). Für das Erreichen des Grenzwertes gemäß Anhang IV EU-POP-Verordnung wäre demzufolge mindestens ein Chlorgehalt von über 0,48 % erforderlich.

Für das Erreichen des Grenzwertes gemäß Anhang IV EU-POP-Verordnung von 100 mg/kg HCBd sind 81 mg/kg (0,008 Ma.-%) Chlor erforderlich.

Allerdings lässt sich aufgrund der vielen chlorhaltigen Nebenbestandteile nicht ableiten, dass ein erhöhter Chlorgehalt auf eine Belastung mit SCCP oder HCBd hinweist. Chlor ist aufgrund seiner mangelnden Spezifität als Indikator für SCCP oder HCBd nicht geeignet.

In Tabelle 16 ist der Vergleich der RFA-Messwerte und der Labormesswerte aufgeführt. Wie in der ersten Kampagne gab es starke Abweichungen, siehe Abbildung 7 und Tabelle 16.

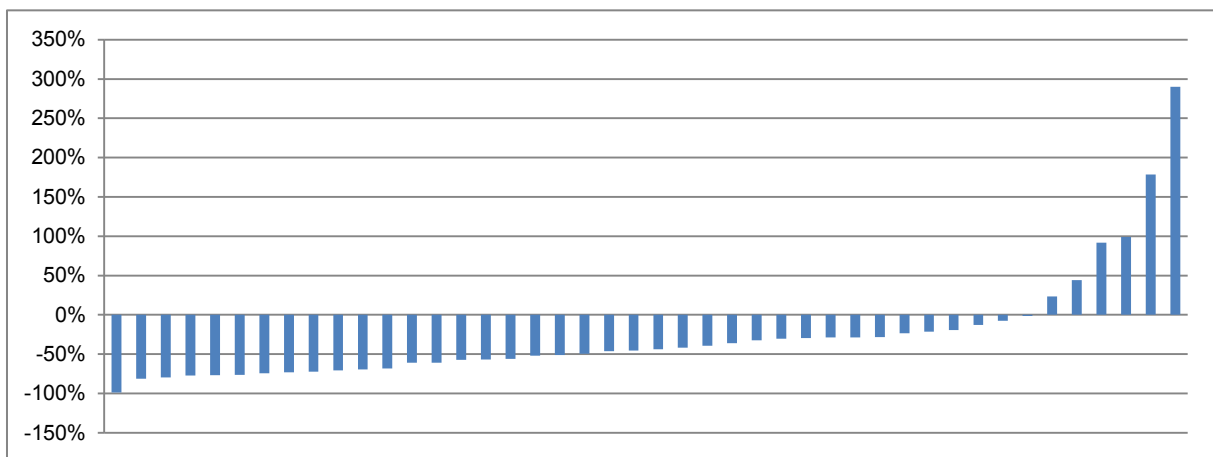


Abbildung 7: Prozentualer Abstand zwischen den mittels RFA ermittelten und Laborwerten des Chloranteils

Tabelle 16: Vergleich RFA-Messwerte und Laborwerte für Chlor

Lfd.-Nr.	Chlor mg/kg		
	Labor anl	Labor wf	LAU wf
1	7.540	8.060	2.162
2	46.900	47.000	13.840
3	5.240	5.900	4.208
4	23.100	23.300	13.066
5	4.350	4.420	1.022
6	1.510	1.510	969
7	480	490	346
8	6.870	8.260	6.485
9	8.990	10.100	8.141
10	2.440	2.650	2.448
11	5.230	5.550	3.978
12	1.230	1.800	910
13	25.200	28.000	78.005
14	107.000	107.000	212.966
15	5.610	5.650	4.031
16	7.320	7.420	3.259
17	410	440	82
18	264.000	265.000	160.552
19	840	850	363
20	670	680	1.303
21	41.780	41.900	16.353
22	29.000	29.900	8.308
23	2.250	2.320	707
24	1.700	2.130	1.024
25	24.600	26.200	6.230
26	5.140	7.830	4.566
27	530	540	779
28	1.040	1.050	1.295
29	2.270	2.280	584
30	6.660	6.710	3.599
31	22.100	22.300	15.039
32	1.030	1.050	333
33	2.980	3.010	1.175
34	22.100	22.300	5.093
35	5.440	5.690	3.109
36	800	880	382
37	2.780	3.150	641
38	1.660	1.670	<LOD
39	250	280	214
40	590	650	2.536
41	91.300	92.400	1.075
42	18.200	18.700	9.149
43	10.400	11.400	11.235
44	14.100	14.300	12.471
45	1.650	1.670	1.164

## 5.2.4 Brom

Bei 30 Proben wurden Bromanteile oberhalb der Bestimmungsgrenze von 50 mg/kg festgestellt. Im Vergleich zur ersten Kampagne gab es mehrere Proben, welche vergleichsweise hohe Bromwerte aufwiesen. Insgesamt sieben Proben hatten Bromanteile über 10.000 mg/kg und damit über 1 Ma.-%. Der Höchstwert lag bei 71.700 mg/kg in Anlieferungszustand (72.400 mg/kg im wasserfreien Zustand).

Wie in der Auswertung erläutert, konnten in keiner Probe Tetra-, Penta-, Hexa- und HeptaBDE oberhalb der Bestimmungsgrenze festgestellt werden, jedoch wurde aufgrund der Gehalte an Nona- bzw. DecaBDE bei fünf Proben der Summengrenzwert für das Recycling überschritten.

Diese fünf Proben hatten Bromanteile von 1.800 mg/kg (lfd. Nr. 11), 415 mg/kg (lfd. Nr. 23), 992 mg/kg (lfd. Nr. 26), 60.700 mg/kg (lfd. Nr. 33), und 11.700 mg/kg (lfd. Nr. 44). Andere Proben, bei denen vergleichsweise erhöhte Bromanteile gemessen wurden, wie beispielsweise die Höchstkonzentration von 69.900 mg/kg (70.400 mg/kg im wasserfreien Zustand), der lfd. Nr. 15 wiesen keine Belastungen hinsichtlich PBDE auf. Daher kann hier ebenfalls keine Korrelation zwischen vergleichsweise erhöhten Bromgehalten und einer Belastung mit PBDE festgestellt werden.

Die kommerziellen PBDE haben folgende Bromgehalte (Bergmann, 2007):

Penta-BDE: 50–71 Ma.-%

Octa-BDE: 79–81 Ma.-%

Deca-BDE: 81–83 Ma.-%

Für das im Falle der gemessenen Proben für die Überschreitung des Grenzwertes gemäß Anhang IV EU-POP-Verordnung von 1.000 mg/kg relevante Deca-BDE ist somit ein Gehalt von mindestens 810 mg/kg Brom erforderlich.

Ein hoher Bromgehalt kann insofern ein Indikator für das Vorkommen von PBDE sein und damit Anlass für eine laboranalytische PBDE-Bestimmung liefern.

In Abbildung 8 und Tabelle 17 ist der Vergleich der RFA-Messwerte und der Laborwerte aufgeführt.

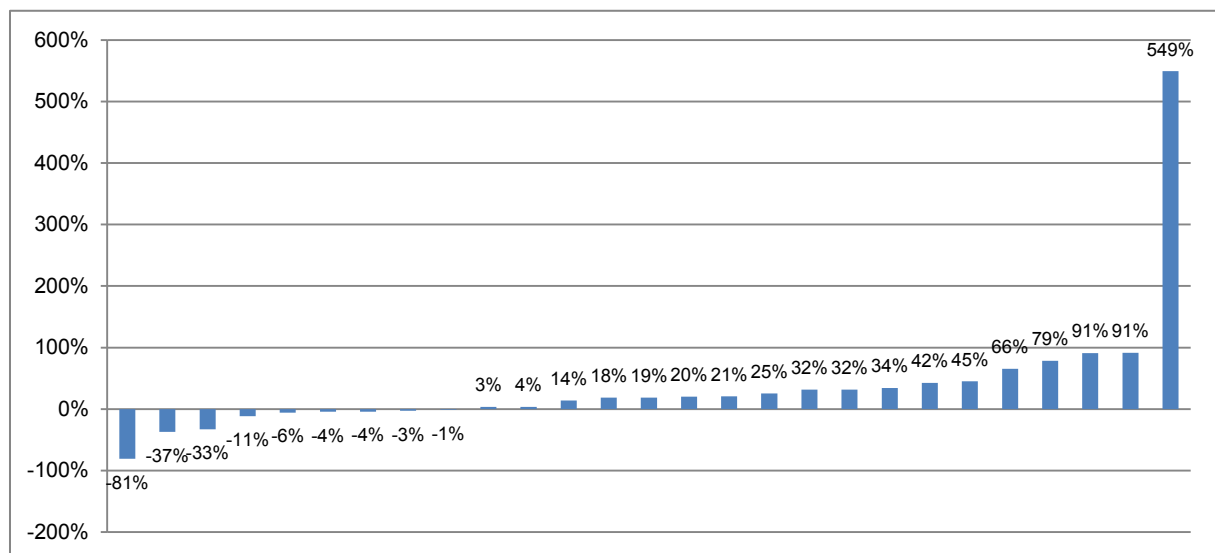


Abbildung 8: Prozentualer Abstand zwischen den mittels RFA ermittelten und Laborwerten des Bromanteils

Tabelle 17: Vergleich RFA-Messwerte und Laborwerte für Brom (LOD = Nachweisgrenze)

Lfd.-Nr.	Brom mg/kg		
	Labor anl	Labor wf	LAU wf
1	271	290	480
2	83	83	104
3	76	86	98
4	61.900	62.400	74.000
5	4.170	4.230	2.662
6	202	203	267
7	912	925	912
8	109	131	176
9	107	120	174
10	< 50	< 50	< LOD
11	1.800	1.910	2.262
12	170	249	258
13	230	255	363
14	< 50	< 50	49
15	69.900	70.400	84.935
16	38.800	39.300	37.718
17	2.360	2.560	489
18	78	79	53
19	< 50	< 50	< LOD
20	< 50	< 50	< LOD
21	< 50	< 50	35
22	< 50	< 50	73
23	415	427	408
24	< 50	< 50	< LOD
25	1.170	1.240	1.633
26	992	1.510	1.425
27	< 50	< 50	14
28	< 50	< 50	< LOD
29	< 50	< 50	< LOD
30	49.200	49.600	51.336
31	71.700	72.400	86.839
32	3.470	3.540	3.137
33	60.700	61.200	59.498
34	< 50	< 50	30
35	172	179	1.162
36	113	124	< LOD
37	< 50	< 50	15
38	< 50	< 50	< LOD
39	< 50	< 50	< LOD
40	85	93	< LOD
41	66	67	< LOD
42	105	108	193
43	< 50	< 50	40
44	11.700	11.800	22.594
45	30.700	31.100	59.423

### 5.3 Qualitätssicherung

Zur Wahrung der Qualität der Aussagen wurden in den beiden Kampagnen jeweils vier bzw. drei Proben auf die Parameter HCBd, SCCP, Tetra-, Penta-, Hexa- und HeptaBDE, welche im Labor der PiCA Prüfinstitut Chemische Analytik GmbH analysiert wurden, zusätzlich im Labor der Eurofins GfA Lab Service GmbH in Hamburg untersucht.

#### 5.3.1 Vergleichsanalyse der ersten Kampagne

Für eine Vergleichsanalyse wurden in der ersten Kampagne die Proben mit der laufenden Nummer 7 und 25 ausgewählt, da hier SCCP oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen wurde, sowie die Proben mit der laufenden Nummer 1 und 19, da diese vergleichsweise hohe Bromgehalte aufwiesen. Da PFOS in den Labors der Eurofins untersucht wurde, erfolgte auf diesen Parameter keine Parallelanalytik.

In Tabelle 18 sind die Ergebnisse der ersten Kampagne und der Vergleichsanalyse aufgelistet:

Tabelle 18: Vergleichsanalyse zur ersten Kampagne

Auftrag/Prüfbericht	Beschreibung der Analyse	Lfd.-Nr.	HCBd [mg/kg]	SCCP [mg/kg]	TetraBDE [mg/kg]	PentaBDE [mg/kg]	HexaBDE [mg/kg]	HeptaBDE [mg/kg]
61823158	Ursprungsanalyse	1	< 10	< 100	< 10	< 10	< 10	< 10
AR-19-GF-017760-01	Vergleichsanalyse HH		< 0,5	70	< 0,173	< 0,267	< 0,11	< 0,286
61823158	Ursprungsanalyse	7	< 10	570	< 10	< 10	< 10	< 10
AR-19-GF-017751-01	Vergleichsanalyse HH		< 0,5	292	< 0,0279	< 0,0558	< 0,0669	< 0,0837
61823158	Ursprungsanalyse	19	< 10	< 100	< 10	< 10	< 10	< 10
AR-19-GF-017750-01	Vergleichsanalyse HH		< 0,5	< 3,88	< 0,0291	< 0,0581	< 0,0768	< 0,584
61823158	Ursprungsanalyse	25	< 10	220	< 10	< 10	< 10	< 10
AR-19-GF-017749-01	Vergleichsanalyse HH		< 0,5	< 11,5	< 0,0238	< 0,0477	< 0,0572	< 0,0715

Hinsichtlich der ausgewählten PBDE- und der HCBd-Werte wurden die Ergebnisse der ersten Analyse bestätigt.

Lediglich in der Probe mit der lfd. Nr. 25 konnte durch die Vergleichsanalytik das Ergebnis für SCCP nicht bestätigt werden. Es handelte sich um eine sehr inhomogene Probe bestehend aus Transportbändern. Laut Eurofins liegt der Unterschied der Messwerte für SCCP insofern im Bereich des Erwartbaren, dass die Gesamtprobe bezüglich der Gehalte an SCCP durchaus sehr inhomogen sein kann. Diese Inhomogenität kann auch nach der Zerkleinerung nicht völlig ausgeschlossen werden.

Die zur Qualitätssicherung durchgeführte Vergleichsanalytik hat die Ergebnisse der ersten Analytik grundsätzlich bestätigt.

#### 5.3.2 Vergleichsanalyse der zweiten Kampagne

Für eine Vergleichsanalyse wurden in der ersten Kampagne die Proben mit der laufenden Nummer 15 und 31 ausgewählt, da hier sehr hohe Bromgehalte gemessen wurden. Als dritte Probe für die Vergleichsanalyse wurde die laufende Nummer 14 ausgewählt, da diese einen vergleichsweise hohen Chlorgehalt aufwies.

In Tabelle 19 sind die Ergebnisse der zweiten Kampagne und der Vergleichsanalyse aufgelistet:

Tabelle 19: Vergleichsanalyse zur zweiten Kampagne

Auftrag/Prüfbericht	Beschreibung der Analyse	Lfd.-Nr.	HCBD [mg/kg]	SCCP [mg/kg]	TetraBDE [mg/kg]	PentaBDE [mg/kg]	HexaBDE [mg/kg]	HeptaBDE [mg/kg]
61908702	Ursprungsanalyse	14	< 10	< 50	< 10	< 10	< 10	< 10
AR-19-FR-024783-	Vergleichsanalyse HH		< 0,5	< 3,970	< 0,0298	< 0,0595	0,0714	< 0,0893
61908702	Ursprungsanalyse	15	< 10	< 50	< 10	< 10	< 10	< 10
AR-19-FR-024783-	Vergleichsanalyse HH		< 0,5	< 10	< 0,145	< 0,269	< 0,184	< 0,23
61908702	Ursprungsanalyse	31	< 10	< 50	< 10	< 10	< 10	< 10
AR-19-FR-024783-	Vergleichsanalyse HH		< 0,5	< 4	< 0,0299	< 0,0599	0,0719	< 0,136

Hinsichtlich der ausgewählten PBDE-, SCCP und HCBD-Werte wurden die Ergebnisse der zweiten Analyse bestätigt.

## 5.4 Stoffstromauswertung

Bei der Auswertung ist zu betrachten, dass eine Überschreitung der Grenzwerte jeweils nur für einzelne Proben festgestellt werden konnte. Da es sich bei den Proben um nicht repräsentative Stichproben handelt, lässt sich lediglich auf eine mögliche Belastung der einzelnen Abfallarten bzw. Abfallströme mit POP schließen.

Bei den Proben der ersten und zweiten Kampagne wurden für SCCP, HCBD und PFOS keine Gehalte oberhalb der Grenzwerte festgestellt. Dennoch wurden in die weitere Auswertung alle Abfallschlüssel einbezogen, bei denen die genannten POP überhaupt gemessen wurden. Bei PBDE wurden ebenfalls alle Abfallarten mit PBDE-Belastungen in die Auswertung einbezogen. Hier wurde in fünf Fällen auch eine Überschreitung der Konzentrationsgrenze nach Anhang IV der EU-POP-Verordnung festgestellt (siehe Abschnitt 5.2.1).

Tabelle 20 zeigt eine Übersicht der Abfallschlüssel, bei denen POP-Gehalte gefunden wurden. Die eingekreisten Proben kennzeichnen jene Proben, bei denen eine Überschreitung der Grenzwerte festgestellt wurde.

Tabelle 20: Abfallschlüssel mit Belastungen in den Kampagnen

Abfall-schlüssel	Belastung in					
	1. Kampagne			2. Kampagne		
	laufende Probe-nummer	nachge-wiesene POP	Input / Output	laufende Probe-nummer	nachge-wiesene POP	Input / Output
16 01 19	-	-		19 <b>23</b>	PFOS DecaBDE	Input Input
16 02 13*	-	-		<b>33</b> <b>44</b>	DecaBDE DecaBDE	Input Input
16 02 15*	-	-		35	DecaBDE	Output
19 08 05	20 24	PFOS PFOS	Output Output	-	-	
19 08 14	9	PFOS	Output	-	-	
19 10 03*	1	PFOS	Input	1	PFOS	Input
19 10 04	-	-		25	PFOS, DecaBDE	Input
19 12 04	25	SCCP	Input	6	DecaBDE	Input
19 12 10	-	-		<b>26</b>	PFOS, DecaBDE	Output
19 12 12	2 7	PFOS SCCP	Input Output	8 <b>11</b>	PFOS DecaBDE	Output Input

Zur Auswertung der Abfallströme in und aus den Behandlungsanlagen in Sachsen-Anhalt wurden beim Statistischen Landesamt Sachsen-Anhalt die Mengenstromdaten der beprob-



ten Abfallarten für die letzten drei verfügbaren Jahre (2015, 2016, 2017) angefragt. Für folgende Anlagen lagen Mengenstromdaten vor:

- Deponie
- thermische Abfallbehandlungsanlage
- Feuerungsanlage
- Chemisch-physikalische Behandlungsanlage
- Bodenbehandlungsanlage
- Biologische Behandlungsanlage
- Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage (MBA)
- Demontagebetriebe für Altfahrzeuge
- Shredderanlage
- Sortieranlage
- Zerlegung von Elektro- und Elektronikaltgeräten
- Sonstige Behandlungsanlagen<sup>6</sup>
- Einrichtungen zur Entsorgung von bergbaulichen Abfällen
- Lagerung bergbaufremder Abfälle in untertägigen Abbaustätten
- Lagerung bergbaufremder Abfälle in übertägigen Abbaustätten

Aufgrund der teilweise geringen Anzahl an Behandlungsanlagen, die für diese Abfrage relevant sind, müssen durch das Statistische Landesamt Datenschutzvorgaben beachtet werden. Dabei wird in den Statistiken zwischen der primären und sekundären Geheimhaltung unterschieden. Bei weniger als drei Anlagen oder wenn eine Entsorgungsanlage einen sehr hohen Anteil an der Gesamtsumme hat, ist die primäre Geheimhaltung zu beachten. Die sekundäre Geheimhaltung schließt die Rückrechenbarkeit von einzelnen Werten bei Zeilen- oder Spaltensummen aus. Ausgewiesen wurden inputspezifisch die Anlagenzahl und die Abfallmasse. Hierbei wurde unterschieden, ob diese im eigenen Betrieb erzeugt oder aus Inland bzw. Ausland angeliefert wurde. Outputspezifisch wird die Anlagenzahl und die Abfallmasse, unterschieden in Output zur Beseitigung, zur Verwertung und sonstiges, einschließlich gewonnener Sekundärrohstoffe und Produkte.

Tabelle 21 gibt einen Überblick über die In- und Outputmengen der Behandlungsanlagen in Sachsen-Anhalt. Input bzw. Output gesamt gibt dabei die Gesamtmasse der Abfälle an, die insgesamt in den Behandlungsanlagen in Sachsen-Anhalt in den jeweiligen Jahren behandelt wurden. Die Summe Input bzw. Output spezifischer Behandlungsanlagen ergibt sich aus den Einzelangaben zu den In- bzw. Outputmassen der verschiedenen Behandlungsanlagen. Da es sich teilweise um einzelne bzw. nur wenige Anlagen handelt, werden hier aufgrund primärer und sekundärer Geheimhaltung nicht immer 100 % der behandelten Gesamtabfallmasse ausgewiesen, daher sind die Summen der beiden Spalten häufig nicht deckungsgleich.

Die Spalte prozentualer Anteil weist den Anteil aus, den die Summe der einzelnen Behandlungsanlagen am Input bzw. Output gesamt hat. Die Differenz ergibt sich aus dem Gesamtinput bzw. -output in alle Anlagen und der Summe der einzelnen Behandlungsanlagen.

Zellen, die lediglich einen Punkt enthalten, unterliegen der vollständigen Geheimhaltung.

---

<sup>6</sup> Sonstige Behandlungsanlagen umfassen beispielsweise Ersatzbrennstoff-, Schlacke-, Kabelaufbereitungsanlagen, Kunststoffverwertungsanlagen oder Produktionsanlagen, in denen Abfälle behandelt werden.

Tabelle 21: Übersicht der In- und Outputmengen relevanter Abfallschlüssel (Auszug aus den Daten des Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, Halle (Saale), 2019)

AVV	Jahr	Input				Output			
		Input gesamt	Summe Input spezifischer Behandlungs- anlagen	prozentualer Anteil am gesamten Input	Differenz zum Input gesamt	Output gesamt	Summe Out- put spezifi- scher Behand- lungsanlagen	prozentualer Anteil am gesamten Output	Differenz zum Output ge- samt
16 01 19	2015	.	41	.	.	84	53	63%	31
16 01 19	2016	.	32	.	.	24	7	28%	17
16 01 19	2017	2 368	39	2%	2 329	8	7	90%	1
16 02 13*	2015	.	.	.	.	.	.	.	.
16 02 13*	2016	.	.	.	.	.	.	.	.
16 02 13*	2017	.	.	.	.	.	.	.	.
16 02 15*	2015	.	.	.	.	1 684	1 684	100%	0
16 02 15*	2016	.	.	.	.	1 431	1 431	100%	0
16 02 15*	2017	.	.	.	.	572	572	100%	0
17 02 03	2015	3 838	3 838	100%	0	.	.	.	.
17 02 03	2016	2 756	2 756	100%	0	.	.	.	.
17 02 03	2017	8 876	8 865	100%	11	551	540	2%	11
17 02 04*	2015	26 694	1 051	4%	25 643	96	.	.	.
17 02 04*	2016	25 905	1 680	6%	24 225	.	.	.	.
17 02 04*	2017	18 680	18 327	98%	353	854	0	.	854
17 06 03*	2015	1 807	1 802	100%	5	163	163	100%	0
17 06 03*	2016	3 262	3 260	100%	2	406	406	100%	0
17 06 03*	2017	5 941	527	9%	5415	472	468	99%	4
19 08 05	2015	420 992	398 674	95%	22 318	109 442	108 465	99%	977
19 08 05	2016	436 696	422 855	97%	13 841	135 101	133 575	99%	1 526
19 08 05	2017	462 245	193 159	42%	269 086	89 049	88 799	100%	250
19 08 14	2015	33 305	5 993	18%	27 312	.	.	.	.
19 08 14	2016	31 291	2 412	8%	28 879	.	.	.	.
19 08 14	2017	30 358	4 309	14%	26 050	2 770	.	.	.

AVV	Jahr	Input				Output			
		Input gesamt	Summe Input spezifischer Behandlungs- anlagen	prozentualer Anteil am gesamten Input	Differenz zum Input gesamt	Output gesamt	Summe Out- put spezifi- scher Behand- lungsanlagen	prozentualer Anteil am gesamten Output	Differenz zum Output ge- samt
19 10 03*	2015	.	.	.	.	.	.	.	.
19 10 03*	2016	.	.	.	.	0	0	0	0
19 10 03*	2017	.	.	.	.	.	.	.	.
19 10 04	2015	35 928	35 928	100%	0	1 753	.	.	.
19 10 04	2016	27 191	22 183	82%	5 008	.	.	.	.
19 10 04	2017	27 554	24 165	88%	3 389	.	.	.	.
19 12 04	2015	157 846	110 686	70%	47 160	128 168	106 724	83%	21 444
19 12 04	2016	143 195	124 639	87%	18 556	155 608	108 608	70%	47 000
19 12 04	2017	156 869	138 905	89%	17 964	136 120	113 825	84%	22 295
19 12 08	2015	9 093	.	.	.	.	.	.	.
19 12 08	2016	12 135	.	.	.	.	.	.	.
19 12 08	2017	9 533	.	.	.	.	.	.	.
19 12 10	2015	612 089	597 363	98%	14 726	333 808	318 664	95%	15 144
19 12 10	2016	599 648	575 863	96%	23 785	300 912	277 586	92%	23 326
19 12 10	2017	661 572	656 182	99%	5 390	388 886	363 467	93%	25 419
19 12 12	2015	1 094 111	1 070 727	98%	23 384	297 569	296 654	100%	915
19 12 12	2016	1 037 170	977 437	94%	59 733	309 679	308 386	100%	1 293
19 12 12	2017	1 064 815	1 038 288	98%	26 527	289 041	281 236	97%	7 805

Tabelle 21 zeigt, dass bei einigen Abfallarten mit eher geringerem Aufkommen der Datenverlust durch die Geheimhaltung hoch und bei Abfallarten mit höherem der Datenverlust eher niedriger ist. Ursache ist, dass große Abfallmassen in einer Vielzahl von Anlagen behandelt werden.

In- und Outputseitig machen die Abfälle mit den Abfallschlüsseln 19 08 05, 19 12 04, 19 12 10 und 19 12 12 den größten Anteil in den Abfallbehandlungsanlagen in Sachsen-Anhalt aus. Die Abfälle der Abfallschlüssel 16 02 13\*, 16 02 15\*, 19 10 03\* und 19 12 08 werden in nur wenigen Anlagen behandelt, daher ist für diese Abfälle die Datenverfügbarkeit aufgrund der Geheimhaltungsvorschriften schlechter.

Abbildung 9 zeigt die Inputmengen der ausgewählten Abfälle in die verschiedenen Abfallbehandlungsarten.<sup>7</sup>

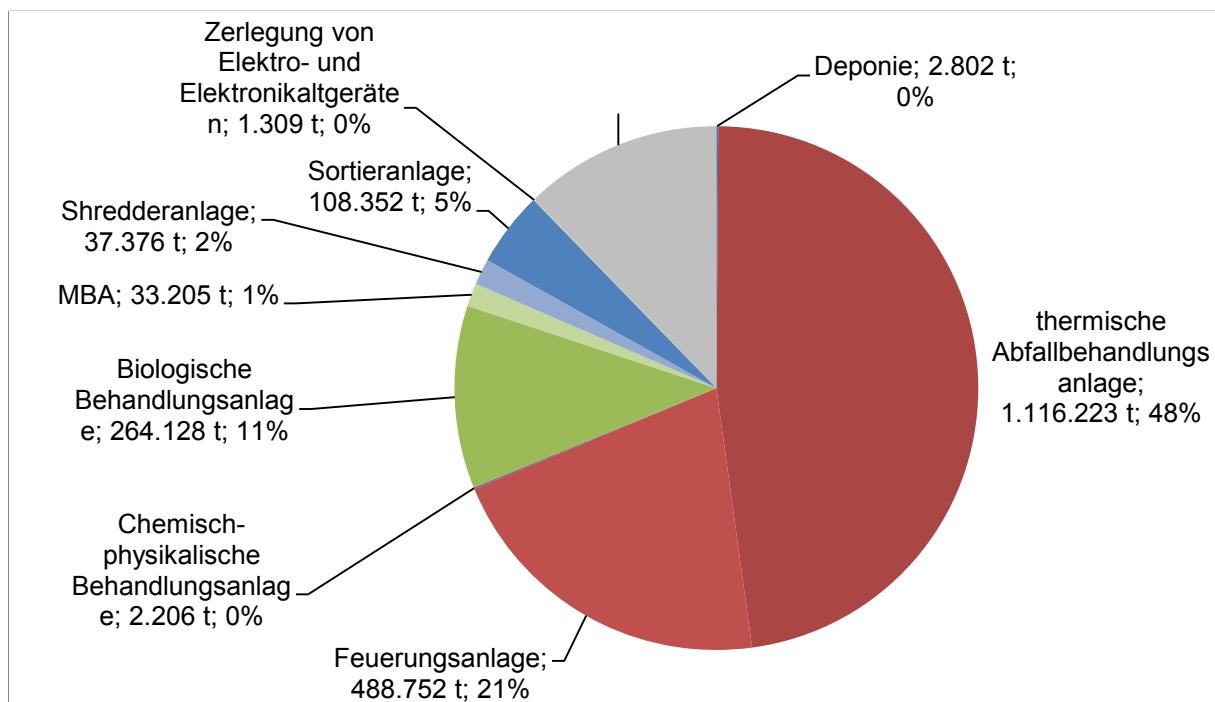


Abbildung 9: Input ausgewählter Abfälle in die Behandlungsanlagen in Sachsen-Anhalt 2016

Wie in der Abbildung zu sehen ist, werden rund 70 % der ausgewählten Abfälle in thermischen Abfallbehandlungs- oder in Feuerungsanlagen gegeben.

Im Folgenden werden die einzelnen Abfallströme anhand der Abfallschlüsselnummern näher betrachtet.

#### 5.4.1 16 01 19 – Kunststoffe

Der Abfallschlüssel 16 01 19 umfasst die Kunststoffe, die aus Altfahrzeugen und deren Demontage stammen. Bei der betreffenden Probe handelte es sich um die Kunststofftürverkleidung eines Altfahrzeugs.

<sup>7</sup> Als Referenzjahr wurde 2016 gewählt, da im Vergleich zu 2017 weniger Mengen der Geheimhaltung unterliegen. In der Grafik fehlen 14.075 t, die in Bodenbehandlungsanlagen bzw. als bergbaufremde Abfälle zur Lagerung in übermäßigen Abbaustätten gegeben wurde, durch die Geheimhaltung ist jedoch keine Aufteilung der Abfallmasse auf die beiden Behandlungsanlagenarten möglich.

Abfälle mit dem Abfallschlüssel 16 01 19 wurden 2015–2017 in bis zu acht Behandlungsanlagen in Sachsen-Anhalt entsorgt:

Tabelle 22: In- und Output von 16 01 19 in Abfallbehandlungsanlagen in Sachsen-Anhalt (Auszug aus den abfallstatistischen Daten des Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, Halle (Saale), 2019)

Abfallbehandlungsanlagen	Jahr	Input		Output	
		Anlagenzahl	Masse (Mg/a)	Anlagenzahl	Masse (Mg/a)
Thermische Abfallbehandlungsanlagen	2015	-	-	-	-
	2016	-	-	-	-
	2017	1	.	-	-
Demontagebetriebe für Altfahrzeuge	2015	-	-	3	.
	2016	-	-	4	.
	2017	-	-	3	7
Shredderanlagen	2015	1	.	1	.
	2016	1	.	1	.
	2017	-	-	-	-
Sortieranlagen	2015	6	41	3	53
	2016	6	32	3	7
	2017	5	39	1	.
Sonstige Behandlungsanlagen	2015	1	.	-	-
	2016	1	.	-	-
	2017	1	.	-	-
Summe	2015	8	.	7	84
	2016	8	.	8	24
	2017	7	2.368	4	8

Die Gesamtmengen für den Input von 2015 und 2016 können aufgrund von der Geheimhaltung nicht ausgewiesen werden, da dieser nur in wenigen Anlagen behandelt wird. Es kann nicht von der Anlagenzahl auf die Menge des Inputs geschlossen werden. Die In- bzw. Outputmengen von 2017 lassen jedoch darauf schließen, dass es sich bei 16 01 19 um einen vergleichsweise eher kleinen Abfallstrom handelt. Auf Basis der abfallstatistischen Daten des StaLA lässt sich keine Aussage zu den Verwertungswegen ableiten. Es kann allerdings vermutet werden, dass der größte Teil der Abfälle in der aufgeführten thermischen Behandlungsanlage thermisch behandelt und in der sonstigen Behandlungsanlage (EBS-Aufbereitungsanlage) zu Ersatzbrennstoff aufbereitet worden ist.

In Auswertung der Mengenströme hinsichtlich der genutzten Behandlungswege und aufgrund der geringen Mengenrelevanz der Abfallart lassen sich keine besonderen Anforderun-

gen an die Überwachung feststellen. Stichprobenhaft sollte diese Kunststofffraktion jedoch insbesondere auf PBDE untersucht werden.

#### 5.4.2 16 02 13\* – gefährliche Bauteile enthaltende gebrauchte Geräte

Unter dem Abfallschlüssel 16 02 13\* werden Elektro- und Elektronikaltgeräte, welche gefährliche Bauteile enthalten, zusammengefasst.

Tabelle 23: In- und Output von 16 02 13\* in Abfallbehandlungsanlagen in Sachsen-Anhalt (Auszug aus den abfallstatistischen Daten des Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, Halle (Saale), 2019)

Abfallbehandlungsanlagen	Jahr	Input		Output	
		Anlagenzahl	Masse (Mg/a)	Anlagenzahl	Masse (Mg/a)
Sortieranlagen	2015	1	.	-	-
	2016	1	.	-	-
	2017	-	-	-	-
Zerlegung von Elektro- und Elektronikaltgeräten	2015	5	.	2	.
	2016	4	.	2	.
	2017	4	.	2	.
Summe	2015	6	.	2	.
	2016	5	.	2	.
	2017	4	.	2	.

Für den Abfallschlüssel 16 02 13\* kann aus der Abfallstatistik keine Abschätzung zum Aufkommen des In- und Outputs gemacht werden, da sämtliche Mengen aufgrund der wenigen Anlagen der Geheimhaltung unterliegen. Über den Verbleib der Abfälle können keine Aussagen getroffen werden, da es sich bei den Behandlungsanlagen ausschließlich um Sortier- bzw. Zerlegeanlagen handelt. Die behördliche ASYS-Datenbank liefert für diesen Abfallschlüssel für die Jahre 2015 bis 2017 folgende Mengen:

Tabelle 24: In- und Outputmengen von Abfällen mit der Schlüsselnummer 16 02 13\* gemäß ASYS in Sachsen-Anhalt

Jahr	Input (Mg/a)	Output (Mg/a)
2015	1.155,4	776,2
2016	713,4	833,5
2017	832,2	958,1

Demnach handelt es sich um einen vergleichsweise kleinen Abfallstrom.

Bei den Proben, welche mit DecaBDE belastet waren, handelte es sich um Bauteile von Toastern und Monitorteile, welche als Input in zwei Behandlungsanlagen (Anlage zur Lagerung und Behandlung von Elektro- und Elektronikschrott bzw. Anlage zur Herstellung von EBS) gegeben wurden. Bei der Zerlegung der Elektro- und Elektronikaltgeräte können belastete Bauteile separiert und je nach Belastung aus dem Kreislauf entnommen werden. Da es

sich bei der betreffenden Abfallart um einen gefährlichen Abfall handelt, ist ein weiterer stofflicher Verwertungsweg unwahrscheinlich.

In Auswertung der Mengenströme hinsichtlich der genutzten Behandlungswege und aufgrund der geringen Mengenrelevanz der Abfallart lassen sich keine besonderen Anforderungen an die Überwachung feststellen.

### 5.4.3 16 02 15\* – aus gebrauchten Geräten entfernte gefährliche Bauteile

Unter dem Abfallschlüssel 16 02 15\* werden die aus gebrauchten Elektro- und Elektronikaltgeräten entfernten gefährlichen Bauteile zusammengefasst.

Tabelle 25: In- und Output von 16 02 15\* in Abfallbehandlungsanlagen in Sachsen-Anhalt (Auszug aus den abfallstatistischen Daten des Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, Halle (Saale), 2019)

Abfallbehandlungsanlagen	Jahr	Input		Output	
		Anlagenzahl	Masse (Mg/a)	Anlagenzahl	Masse (Mg/a)
Zerlegung von Elektro- und Elektronikaltgeräten	2015	-	-	5	1.684
	2016	-	-	4	1.431
	2017	-	-	4	572
Sonstige Behandlungsanlagen	2015	2	.	-	-
	2016	1	.	-	-
	2017	1	.	-	-
Summe	2015	2	.	5	1.684
	2016	1	.	4	1.431
	2017	1	.	4	572

Für den Abfallschlüssel 16 02 15\* kann keine Abschätzung zum Aufkommen des Inputs gemacht werden, da sämtliche Mengen aufgrund der wenigen Anlagen der Geheimhaltung unterliegen. Auf der Seite des Outputs stehen nur vergleichsweise geringe Mengen, welche aus Anlagen zur Zerlegung von Elektro- und Elektronikaltgeräten stammen. Die analysierten Proben entstammen jeweils dem Output der betreffenden Anlagen. Eine Abfrage der ASYS-Datenbank ergab, dass im betrachteten Zeitraum nur eine Anlage in Sachsen-Anhalt diese Abfallart zur Behandlung (Input) angenommen hat. Da es sich um eine Glasrecyclinganlage handelt, kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei den dort behandelten Abfällen dieser Abfallart um Bildschirmglas von Monitoren handelt. Dieser Abfallstrom ist nicht Betrachtungsgegenstand dieser Studie. Insofern ist davon auszugehen, dass die analysierten Abfälle außerhalb Sachsen-Anhalts behandelt werden. Informationen über diese Behandlungswege liegen nicht vor.

Die betroffene Probe war mit 120 mg/kg DecaBDE belastet. Da keine weiteren PBDE in der Probe vorgefunden wurden, wurde der Summengrenzwert von 1.000 mg/kg nicht überschritten. Da es sich bei der betreffenden Abfallart um einen gefährlichen Abfall handelt, ist ein weiterer stofflicher Verwertungsweg unwahrscheinlich.

In Auswertung der Mengenströme hinsichtlich der genutzten Behandlungswege und aufgrund der geringen Mengenrelevanz der Abfallart lassen sich keine besonderen Anforderungen an die Überwachung feststellen.

#### 5.4.4 19 08 05 – Schlämme aus der Behandlung von kommunalem Abwasser

Der Abfallstrom mit dem Abfallschlüssel 19 08 05 gehört mengenmäßig zu den größten in Sachsen-Anhalt. Neben einer thermischen Behandlung werden die Schlämme vor allem biologisch behandelt.

Tabelle 26: In- und Output von 19 08 05 in Abfallbehandlungsanlagen in Sachsen-Anhalt (Auszug aus den abfallstatistischen Daten des Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, Halle (Saale), 2019)

Abfallbehandlungsanlagen	Jahr	Input		Output	
		Anlagenzahl	Masse (Mg/a)	Anlagenzahl	Masse (Mg/a)
Thermische Abfallbehandlungsanlagen	2015	5	23.545	-	-
	2016	4	21.818	-	-
	2017	5	13.964	-	-
Feuerungsanlage	2015	3	142.874	-	-
	2016	4	152.615	-	-
	2017	2	.	-	-
Biologische Behandlungsanlagen	2015	37	232.256	20	108.465
	2016	38	239.141	26	133.575
	2017	36	179.195	24	88.799
Mechanisch-biologische Behandlungsanlagen	2015	-	-	-	-
	2016	1	.	1	.
	2017	-	-	-	-
Sonstige Behandlungsanlagen	2015	3	.	1	.
	2016	3	9.280	1	.
	2017	3	.	1	.
Lagerung bergbaufremder Abfälle in übertägigen Abbaustätten	2015	1	.	-	-
	2016	1	.	-	-
	2017	1	.	-	-
Summe	2015	49	420.992	21	109.442
	2016	51	436.696	28	135.101
	2017	47	462.245	25	89.049

Die Proben mit den geringen PFOS -Werten wurden aus den Outputströmen zweier Kläranlagen gezogen.

Rund 40 % der Schlämme aus der Behandlung von kommunalen Abwasser werden thermisch behandelt, etwa 55 % in biologischen Behandlungsanlagen (insbesondere Kompostie-



rungsanlagen) entsorgt. Nach der biologischen Behandlung erfolgt in der Regel eine bodenbezogene Verwertung in der Landwirtschaft oder im Landschaftsbau. Für die bodenbezogene Verwertung von Klärschlämmen gemäß § 8 AbfKlärV gilt ein Grenzwert für Perfluorierte Tenside (PFT) (Summe aus Perfluorooctansäure (PFOA und PFOS) von 0,1 mg/kg TM. Auch Klärschlamm, der durch Kompostierung behandelt wird, muss diesen Grenzwert vor der Kompostierung einhalten. Dieser Grenzwert ist deutlich strenger als der Grenzwert der POP-Verordnung, so dass die bodenbezogene Verwertung von PFOS-belasteten Klärschlämmen ausgeschlossen ist. Die festgestellten Werte unterschreiten mit 5,9 µg/kg und 15 µg/kg PFOS den Grenzwert der AbfKlärV, so dass die Klärschlämme für eine bodenbezogene Verwertung geeignet wären, vorausgesetzt, alle anderen nach AbfKlärV einzuhaltenden Grenzwerte werden ebenfalls unterschritten.

In Auswertung der Mengenströme hinsichtlich der genutzten Behandlungswege und aufgrund der strengeren Regelungen der AbfKlärV für diese Abfallart lassen sich keine besonderen Anforderungen an die Überwachung feststellen.

#### 5.4.5 19 08 14 – Schlämme aus einer anderen Behandlung von industriellem Abwasser

Schlämme aus einer anderen Behandlung von industriellem Abwasser werden in verschiedenen Abfallbehandlungsanlagen behandelt bzw. auch auf Deponien im Rahmen von Rekultivierungsmaßnahmen bodenbezogen verwertet.

Tabelle 27: In- und Output von 19 08 14 in Abfallbehandlungsanlagen in Sachsen-Anhalt (Auszug aus den abfallstatistischen Daten des Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, Halle (Saale), 2019)

Abfallbehandlungsanlagen	Jahr	Input		Output	
		Anlagenzahl	Masse (Mg/a)	Anlagenzahl	Masse (Mg/a)
Deponie	2015	-	-	-	-
	2016	-	-	-	-
	2017	1	.	-	-
Thermische Abfallbehandlungsanlagen	2015	3	.	-	-
	2016	4	.	-	-
	2017	4	.	-	-
Chemisch-physikalische Behandlungsanlage	2015	5	.	-	-
	2016	5	.	-	-
	2017	4	1.363	-	-
Bodenbehandlungsanlagen	2015	-	-	-	-
	2016	-	-	-	-
	2017	1	.	-	-

Abfallbehandlungsanlagen	Jahr	Input		Output	
		Anlagenzahl	Masse (Mg/a)	Anlagenzahl	Masse (Mg/a)
Biologische Behandlungsanlagen	2015	3	3.478	-	-
	2016	3	.	-	-
	2017	3	.	1	.
Mechanisch-biologische Behandlungsanlagen	2015	1	.	-	-
	2016	1	.	-	-
	2017	-	-	-	-
Sonstige Behandlungsanlagen	2015	4	2.515	1	.
	2016	3	2.412	1	.
	2017	4	2.946	2	.
Summe	2015	16	33.305	1	.
	2016	16	31.291	1	.
	2017	17	30.358	3	2.770

Aufgrund der Geheimhaltung kann nicht abgeschätzt werden, wie hoch der Anteil der Abfälle ist, welcher in thermischen oder chemisch-physikalischen Behandlungsanlagen entsorgt wird. Beide Entsorgungswege sind jedoch gemäß Anhang V der EU-POP-Verordnung für POP-belastete Abfälle geeignet. Bei der leicht mit PFOS belasteten Probe handelte es sich um den Outputstrom einer Kläranlage. Der Gehalt von 23 µg/kg PFOS erlaubt unter der Voraussetzung, dass alle anderen Grenzwerte der AbfKlärV eingehalten werden, eine bodenbezogene Verwertung gemäß AbfKlärV.

In Auswertung der Mengenströme hinsichtlich der genutzten Behandlungswege und aufgrund der strengeren Regelungen der AbfKlärV für diese Abfallart lassen sich keine besonderen Anforderungen an die Überwachung feststellen.

#### **5.4.6 19 10 03\* – Shredderleichtfraktionen und Staub, die gefährliche Stoffe enthalten**

Die Abfälle mit dem Abfallschlüssel 19 10 03\* sind die gefährlichen leichten Shredderfraktionen und Staub, die bei dem Shreddern von metallhaltigen Abfällen entstehen. Als Input werden diese Abfälle thermisch bzw. in sonstigen Anlagen entsorgt.

Tabelle 28: In- und Output von 19 10 03\* in Abfallbehandlungsanlagen in Sachsen-Anhalt (Auszug aus den abfallstatistischen Daten des Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, Halle (Saale), 2019)

Abfallbehandlungsanlagen	Jahr	Input		Output	
		Anlagenzahl	Masse (Mg/a)	Anlagenzahl	Masse (Mg/a)
Thermische Abfallbehandlungsanlagen	2015	1	.	-	-
	2016	1	.	-	-
	2017	1	.	-	-
Shredderanlagen	2015	-	-	1	.
	2016	-	-	-	-
	2017	-	-	1	.
Sonstige Behandlungsanlagen	2015	1	.	1	.
	2016	1	.	-	-
	2017	1	.	-	-
Summe	2015	2	.	2	.
	2016	2	.	-	-
	2017	2	.	1	.

Die Menge des In- und Outputs kann aufgrund der Geheimhaltung nicht abgeschätzt werden, auch nicht der Anteil, welcher davon thermisch verwertet wird. Bei den beiden Proben, bei denen Spuren von PFOS festgestellt wurden, handelte es sich um Inputmaterial ein Müllheizkraftwerk, so dass für die betrachteten Proben eine thermische Verwertung festgestellt werden kann. Eine Abfrage der ASYS-Datenbank ergab, dass in Sachsen-Anhalt zudem eine chemisch-physikalische Behandlungsanlage, die Abfälle für den Untertageversatz behandelt, diese Abfallart annimmt. Auch dabei handelt es sich um eine zulässige Behandlung gemäß Anhang V der EU-POP-Verordnung.

In Auswertung der Mengenströme hinsichtlich der genutzten Behandlungswege und aufgrund der geringen Mengenrelevanz der Abfallart lassen sich keine besonderen Anforderungen an die Überwachung feststellen.

#### 5.4.7 19 10 04 – Shredderleichtfraktionen und Staub

Unter 19 10 04 fallen ungefährliche leichte Shredderfraktionen und Staub, die beim Shreddern von metallhaltigen Abfällen entstehen.

Tabelle 29: In- und Output von 19 10 04 in Abfallbehandlungsanlagen in Sachsen-Anhalt (Auszug aus den abfallstatistischen Daten des Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, Halle (Saale), 2019)

Abfallbehandlungsanlagen	Jahr	Input		Output	
		Anlagenzahl	Masse (Mg/a)	Anlagenzahl	Masse (Mg/a)
Thermische Abfallbehandlungsanlagen	2015	4	8.527	-	-
	2016	2	.	-	-
	2017	2	.	-	-
Mechanisch-biologische Behandlungsanlagen	2015	-	-	-	-
	2016	1	.	-	-
	2017	1	.	-	-
Shredderanlagen	2015	-	-	1	.
	2016	-	-	-	-
	2017	-	-	2	.
Sortieranlagen	2015	3	3.758	2	.
	2016	1	.	-	-
	2017	2	.	-	-
Sonstige Behandlungsanlagen	2015	3	23.643	1	.
	2016	3	22.183	1	.
	2017	4	24.165	1	.
Summe	2015	10	35.928	4	1.753
	2016	7	27.191	1	.
	2017	9	27.554	3	.

Der überwiegende Teil der Inputmenge wird in sonstigen Behandlungsanlagen behandelt, zu denen auch Aufbereitungsanlagen für Ersatzbrennstoff (EBS) zählen. Da es sich bei Abfällen mit dem Abfallschlüssel 19 10 04 um eine hochkalorische Fraktion handelt, ist naheliegend, dass der betrachtete Abfallstrom in EBS-Anlagen aufbereitet und anschließend thermisch verwertet wird. Insofern kann davon ausgegangen werden, dass der größte Teil dieser Fraktion (mind. 82–90 %) thermisch entsorgt wird.

Eine Probe wies Spuren von PFOS oberhalb der Bestimmungsgrenze auf sowie geringe Belastung mit DecaBDE, beide Werte jedoch deutlich unter dem jeweiligen (Summen-)Grenzwert.

In Auswertung der Mengenströme hinsichtlich der genutzten Behandlungswege lassen sich keine besonderen Anforderungen an die Überwachung feststellen.

#### 5.4.8 19 12 04 – Kunststoff und Gummi

Kunststoff und Gummi, welche aus der mechanischen Behandlung von Abfällen stammen, gehören zu den größeren Abfallströmen, welche in Sachsen-Anhalt behandelt werden.

Tabelle 30: In- und Output von 19 12 04 in Abfallbehandlungsanlagen in Sachsen-Anhalt (Auszug aus den abfallstatistischen Daten des Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, Halle (Saale), 2019)

Abfallbehandlungsanlagen	Jahr	Input		Output	
		Anlagenzahl	Masse (Mg/a)	Anlagenzahl	Masse (Mg/a)
Thermische Abfallbehandlungsanlagen	2015	3	7.032	-	-
	2016	6	3.619	-	-
	2017	5	4.681	-	-
Chemisch-physikalische Behandlungsanlagen	2015	-	-	-	-
	2016	1	.	1	.
	2017	-	-	-	-
Biologische Behandlungsanlagen	2015	-	-	1	.
	2016	-	-	1	.
	2017	-	-	1	.
Mechanisch-biologische Behandlungsanlagen	2015	1	.	-	-
	2016	2	.	1	.
	2017	2	.	-	-
Shredderanlagen	2015	4	.	4	.
	2016	5	8.349	4	.
	2017	4	.	5	.
Sortieranlagen	2015	16	6.994	32	91.343
	2016	17	28.756	32	96.845
	2017	17	.	30	86.340
Zerlegung von Elektro- und Elektronikaltgeräten	2015	-	-	5	508
	2016	1	.	4	793
	2017	1	.	4	.
Sonstige Behandlungsanlagen	2015	10	96.660	10	14.874
	2016	10	83.915	11	10.969
	2017	17	134.225	16	27.485

Summe	2015	34	157.846	52	128.168
	2016	42	143.195	54	155.608
	2017	46	156.869	56	136.120

Der Großteil der Abfälle mit dem Abfallschlüssel 19 12 04 wird in sonstigen Behandlungsanlagen behandelt. Bei den betroffenen Proben handelte es sich um den Outputstrom der Zerlegung von Elektro- und Elektronikaltgeräten (beispielsweise Kunststoffgehäuse von Computern) und um Transportbänder. Diese waren jeweils geringfügig mit SCCP oder DecaBDE belastet. Aufgrund der Art des Abfalls kann von einer Aufbereitung zu Ersatzbrennstoff und einer anschließenden thermischen Verwertung ausgegangen werden. Bezogen auf die Abfallmengen der einzelnen Jahre bedeutet das, dass mindestens 61–91 % des Inputs thermisch entsorgt worden sind.

In Auswertung der Mengenströme hinsichtlich der genutzten Behandlungswege lassen sich keine besonderen Anforderungen an die Überwachung feststellen. Stichprobenhaft sollte diese Kunststofffraktion jedoch insbesondere auf PBDE untersucht werden, sofern Kunststoffe aus der Behandlung von Altfahrzeugen und Elektro- und Elektronikaltgeräten enthalten sein können.

#### **5.4.9 19 12 10 – brennbare Abfälle (Brennstoffe aus Abfällen)**

Der Abfallstrom mit den Abfällen mit dem Abfallschlüssel 19 12 10 gehört in- und outputseitig zu den größeren Abfallströmen, welche in den Anlagen in Sachsen-Anhalt behandelt werden. Die brennbaren Abfälle mit dem Abfallschlüssel 19 12 10 werden überwiegend in thermischen oder Feuerungsanlagen entsorgt. Als Output fallen die Abfälle in mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA), Sortier- oder sonstigen mechanischen Aufbereitungsanlagen an. Ausgangsmaterial sind in der Regel Haus- und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle sowie andere Gewerbeabfälle. Da Kunststoffe einen erheblichen Anteil dieser gemischten Abfallfraktion ausmachen, kann diese Abfallart mit POP belastet sein und wurde aus diesem Grund in die Untersuchungen einbezogen.

Tabelle 31: In- und Output von 19 12 10 in Abfallbehandlungsanlagen in Sachsen-Anhalt (Auszug aus den abfallstatistischen Daten des Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, Halle (Saale), 2019)

Abfallbehandlungsanlagen	Jahr	Input		Output	
		Anlagenzahl	Masse (Mg/a)	Anlagenzahl	Masse (Mg/a)
Thermische Abfallbehandlungsanlagen	2015	7	230.798	-	-
	2016	7	216.522	1	.
	2017	6	228.171	-	-
Feuerungsanlagen	2015	5	301.752	-	-
	2016	5	298.154	-	-
	2017	5	328.849	-	-
Biologische Behandlungsanlagen	2015	-	-	3	.
	2016	-	-	3	.
	2017	-	-	5	.
Mechanisch-biologische Behandlungsanlagen	2015	1	.	5	77.815
	2016	1	.	5	49.158
	2017	2	.	3	77.452
Shredderanlagen	2015	-	-	1	.
	2016	-	-	-	-
	2017	-	-	1	.
Sortieranlagen	2015	3	.	9	115.328
	2016	3	.	10	122.222
	2017	3	47	5	38.952
Sonstige Behandlungsanlagen	2015	3	64.814	5	125.521
	2016	3	61.187	5	106.206
	2017	5	99.116	9	247.062
Summe	2015	19	612.089	23	333.808
	2016	19	599.648	24	300.912
	2017	21	661.572	23	388.886

Eine Probe der Abfallschlüsselnummer 19 12 10 war mit DecaBDE und PFOS belastet und stammte aus dem Output einer Anlage zur Lagerung und Behandlung von gefährlichen und nicht gefährlichen Abfällen. Da es sich um brennbare Abfälle handelt, kann davon ausgegangen werden, dass die Abfälle in einem nächsten Schritt thermisch behandelt werden und

vorhandene Belastungen zerstört werden. Aufgrund der Art der Abfälle kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei den sonstigen Behandlungsanlagen um EBS-Aufbereitungsanlagen handelt, in denen die brennbaren Abfälle für eine nachfolgende thermische Entsorgung aufbereitet werden. Daraus ergibt sich ein Anteil der thermischen Entsorgung in den einzelnen Jahren von mindestens 96–99 %.

In Auswertung der Mengenströme hinsichtlich der genutzten Behandlungswege lassen sich keine besonderen Anforderungen an die Überwachung feststellen.

#### 5.4.10 19 12 12 – sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen

Die Abfälle des Abfallschlüssels 19 12 12 sind sehr vielfällig, hierunter fallen alle ungefährlichen Abfälle aus der mechanischen Abfallbehandlung, welche nicht in anderen 19 12-Abfallschlüsseln erfasst werden und Materialmischungen. Bei den beprobten Abfällen handelte es sich überwiegend um heizwertreiche Abfälle aus den verschiedensten Materialien, u. a. Kunststoffabfällen.

Tabelle 32: In- und Output von 19 12 12 in Abfallbehandlungsanlagen in Sachsen-Anhalt (Auszug aus den abfallstatistischen Daten des Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, Halle (Saale), 2019)

Abfallbehandlungsanlagen	Jahr	Input		Output	
		Anlagenzahl	Masse (Mg/a)	Anlagenzahl	Masse (Mg/a)
Thermische Abfallbehandlungsanlagen	2015	7	830.715	1	.
	2016	7	834.694	3	.
	2017	6	831.239	1	.
Feuerungsanlagen	2015	3	52.290	-	-
	2016	4	.	1	.
	2017	4	34.894	2	.
Chemisch-physikalische Behandlungsanlagen	2015	1	.	3	.
	2016	-	-	2	.
	2017	1	.	2	.
Bodenbehandlungsanlagen	2015	1	.	3	1.729
	2016	-	-	4	109
	2017	-	-	3	.
Biologische Behandlungsanlagen	2015	2	.	13	2.407
	2016	3	.	16	4.404
	2017	2	.	10	.



Abfallbehandlungsanlagen	Jahr	Input		Output	
		Anlagenzahl	Masse (Mg/a)	Anlagenzahl	Masse (Mg/a)
Mechanisch-biologische Behandlungsanlagen	2015	3	28.138	4	20.419
	2016	3	10.197	4	14.290
	2017	2	.	3	38.345
Shredderanlagen	2015	5	8.890	3	4.156
	2016	4	4.800	4	3.011
	2017	5	6.021	3	4.520
Sortieranlagen	2015	22	72.654	37	214.470
	2016	22	49.712	38	236.890
	2017	20	53.261	33	173.786
Zerlegung von Elektro- und Elektronikaltgeräten	2015	-	-	5	.
	2016	-	-	5	.
	2017	-	-	2	.
Sonstige Behandlungsanlagen	2015	7	78.040	13	53.473
	2016	8	78.034	12	49.682
	2017	11	112.874	20	64.585
Summe	2015	51	1.094.111	82	297.569
	2016	51	1.037.170	89	309.679
	2017	51	1.064.815	79	289.041

Bei den Abfällen mit dem Abfallschlüssel 19 12 12 verhält es sich ähnlich wie mit den Abfällen mit den Schlüsselnummern 19 12 10. Auch bei dem Input der Abfälle sonstigen Behandlungsanlagen ist davon auszugehen, dass es sich dabei um EBS-Anlagen handelt, welche die Abfälle für eine nachfolgende thermische Entsorgung aufbereiten. Der Anteil der thermischen Entsorgung liegt hier bei mindestens 88–92 %.

Jeweils zwei Proben in beiden Kampagnen waren auffällig, bei zwei Proben wurden PFOS und bei jeweils einer Probe SCCP und DecaBDE nachgewiesen. Alle vier Proben stammen aus zwei Anlagen zur Herstellung von Ersatzbrennstoffen.

In Auswertung der Mengenströme hinsichtlich der genutzten Behandlungswege lassen sich keine besonderen Anforderungen an die Überwachung feststellen.

## 6 Fazit der Auswertung und abschließende Betrachtung

Die Literaturrecherche hat ergeben, dass die POP SCCP, PBDE, PFOS und HCBd größtenteils in Deutschland seit Jahren nicht mehr hergestellt werden, jedoch in teils langlebigen Produkten eingesetzt wurden, die nach wie vor als Abfälle anfallen.

Die untersuchten Abfälle stammten aus dem In- und Output der Behandlungsanlagen in Sachsen-Anhalt. Es wurden verschiedene Abfallarten, teils als Hot-Spot-Beprobung, beprobt.

HCBd konnte in den untersuchten Proben nicht nachgewiesen werden. PFOS und SCCP wurden vereinzelt gemessen, jedoch weit unterhalb der jeweiligen Grenzwerte. Die ursprünglich zu untersuchenden PBDE waren unauffällig. Da für die Recyclingfähigkeit der Summengrenzwert herangezogen wird, müssen sämtliche PBDE (Tetra-, Penta-, Hexa-, Hepta- und DecaBDE) betrachtet werden. Im Zuge der Untersuchungen wurden zusätzlich die PBDE Tri-, Octa-, NonaBDE untersucht. Hinsichtlich DecaBDE wurde bei insgesamt fünf Proben eine Überschreitung des Grenzwertes für die Recyclingfähigkeit festgestellt. Bei einer Senkung des Summengrenzwert auf 500 mg/kg<sup>8</sup> wären sechs Proben betroffen. Dies betrifft die Abfälle der Schlüsselnummern 16 01 19, 16 02 13\*, 19 12 10 und 19 12 12. Bei den beiden letzten Abfallschlüsseln handelt es sich um mengenmäßig bedeutende Abfallströme.

Durch eine thermische Behandlung/Entsorgung werden PBDE zerstört, so dass vor allem bei den Abfällen mit den Schlüsselnummern 16 01 19, 19 12 10 und 19 12 12, welche zum Großteil in thermischen Anlagen entsorgt werden, eine sichere Entsorgung der PBDE gewährleistet ist.

Bei den belasteten Proben von Abfällen mit der Schlüsselnummer 16 02 13\* kann anhand der Daten aus ASYS festgestellt werden, dass es sich um einen vergleichsweise kleinen Abfallstrom handelt. Der Verbleib dieser Abfälle ist nicht allgemein zu beschreiben, da es sich bei den Behandlungsanlagen um Sortieranlagen bzw. Zerlegeeinrichtungen handelt. Die beprobten Abfälle werden in eine Anlage zur Lagerung und Behandlung von Elektro- und Elektronikschrott und eine Anlage zur Herstellung von EBS abgegeben. Da es sich um einen als gefährlich eingestuften Abfall handelt, ist nicht von einer weiteren stofflichen Verwertung auszugehen.

Ein Zusammenhang zwischen den Halogengehalten und den Messwerten der einzelnen POP konnte nicht abgeleitet werden. Lediglich bei Brom konnte festgestellt werden, dass bei den Proben mit einer Belastung von PBDE auch hohe Bromwerte vorlagen, allerdings nicht jede Probe mit einem hohem Bromwert auch PBDE-belastet war. Des Weiteren unterschieden sich die im Labor ermittelten Werte teilweise erheblich von den mit RFA bestimmten Werten. Für Fluor konnten mittels RFA keine Werte ermittelt werden. Trotz alledem scheint eine Vorauswahl der Proben durch RFA, vor allem beim Parameter Brom, sinnvoll. In der zweiten Probenkampagne konnten so mehr POP-haltige Proben analysiert werden. Es ist zu beachten, dass die vergleichsweise geringe Probenanzahl sowie die Methodik der Hot-Spot-Beprobung bei einigen (grobstückigen) Abfällen lediglich einen Hinweis auf eine eventuelle POP-Belastung der einzelnen Abfallströme geben und keine generelle Aussage zu den einzelnen Abfallarten getroffen werden kann. Aufgrund der Langlebigkeit der Produkte und des nach wie vor möglichen Eintritts der POP in den Recyclingkreislauf ist eine weitere Überwachung der Abfälle nötig, auch wenn die POP seit Jahren nicht mehr uneingeschränkt in Produkten eingesetzt werden dürfen.

Da bezüglich der zu untersuchenden HCBd, SCCP und PFOS keine Grenzwerte überschritten, sondern maximal Spuren oberhalb der Bestimmungsgrenze ermittelt wurden, sind be-

---

<sup>8</sup> im Zuge der Überprüfung aufgrund der Neufassung der EU-POP-Verordnung

züglich der Abfallwirtschaftsplanung bzw. der Überwachung von Abfallströmen keine Maßnahmen zu ergreifen.

Bei den PBDE gab es in der zweiten Kampagne Hinweise auf eine Belastung mit DecaBDE. Daher sollten Abfallströme, wie beispielsweise die Outputströme der Zerlegungsanlagen für Elektro- und Elektronikaltgeräte, welche nicht thermisch behandelt werden, stichpunktartig überprüft werden.

Die ermittelten Überschreitungen der Konzentrationsgrenze für PBDE in Anhang IV der EU-POP-Verordnung - hier bezogen auf DecaBDE - betrifft Abfallarten, die nicht alle der POP-Abfall-ÜberwV unterliegen (siehe Tabelle 20). Während die Abfallarten 19 12 10 und 19 12 12 nach § 2 Nr. 2 POP-Abfall-ÜberwV als zulässigerweise erzeugte Gemische mit DecaBDE-Bestandteilen relevant sein können, trifft dies für die Abfallarten 16 01 19 und 16 02 13\* gemäß POP-Abfall-ÜberwV nicht zu. Sofern also die Abfallarten 19 12 10 und 19 12 12 als Gemische erzeugt wurden, greifen die Anforderungen der POP-Abfall-ÜberwV ohne Betrachtung einer Konzentrationsgrenze. Diese Irrelevanz der Konzentration bei Gemischen bedeutet aber auch, dass die beiden Abfallarten 19 12 10 und 19 12 12 nicht nur bzgl. DecaBDE, sondern auch bzgl. PFOS (2. Kampagne) und SCCP (1. Kampagne) für die Anforderungen der POP-Abfall-ÜberwV relevant wären.

In Auswertung der Analysenergebnisse ergab sich kein Verdacht, dass POP-belastete Abfälle in stoffliche Verwertungswege gelenkt werden. Hauptentsorgungsweg der betroffenen Abfallarten ist die thermische Entsorgung.

Es ergeben sich folgende Hinweise für die Überwachung der Abfallentsorgung:

1. Stichprobenhaft sollten Kunststofffraktionen aus der Behandlung von Altfahrzeugen und Elektro- und Elektronikaltgeräten insbesondere auf PBDE untersucht und im Falle vorgefundener Belastungen hinsichtlich des vorgesehenen Entsorgungsweges überprüft werden.
2. Ein hoher Bromgehalt kann dabei ein Indikator für eine PBDE-Belastung darstellen.
3. Die RFA-analytische Untersuchung ist für eine gezielte Probenvorauswahl bzgl. PBDE-Bestandteilen geeignet.

Sollten sich bei weiteren Untersuchungen im Rahmen der abfallrechtlichen Überwachung (Pkt. 1) Anhaltspunkte dafür ergeben, dass POP-belastete Abfälle nicht entsprechend der Vorgaben des Anhangs V der EU-POP-Verordnung entsorgt werden, ist im Rahmen der Abfallwirtschaftsplanung über eine generelle Zuweisung der betreffenden Abfälle in thermische oder chemisch-physikalische Behandlungsanlagen zu befinden.

## 7 Quellenverzeichnis und weiterführende Literatur

*Sämtliche Internetquellen sind zuletzt am 30.09.2019 geprüft worden.*

**Bänsch-Baltruschat, B., Reifferscheid, G., Zettl, E., Schöpel, M., Milunov, M. u. A. Potrykus (2019):** POP-Implement: Beiträge zur Umsetzung der Stockholm-Ziele (Beschränkung und Eliminierung) für relevante Anwendungen bestimmter POP – Umsetzung des Stockholmer Übereinkommens in Deutschland. UBA-Texte 93/2019. Online verfügbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-08-20\\_texte\\_93-2019\\_pop-implement.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-08-20_texte_93-2019_pop-implement.pdf)

**Basel Convention:** Draft updated technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with hexabromodiphenyl ether and heptabromodiphenyl ether, or tetrabromodiphenyl ether and pentabromodiphenyl ether or decabromodiphenyl ether. Online verfügbar unter: [www.basel.int/Portals/4/download.aspx?d=UNEP-CHW-OEWG.11-INF-11.English.pdf](http://www.basel.int/Portals/4/download.aspx?d=UNEP-CHW-OEWG.11-INF-11.English.pdf).

**Bergmann, M. (2007):** Bestimmung polybromierter Diphenylether in Kunststoffen und Untersuchungen zum Emissionsverhalten. Dissertation. Online verfügbar unter: <https://opus4.kobv.de/opus4-bam/frontdoor/index/index/year/2015/docId/138>.

**BiPro/Enviroplan (2011):** Study on waste related issues of newly listed POPs and candidate POPs. Herausgegeben von der Europäischen Kommission. Online verfügbar unter: [http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/POP\\_Waste\\_2010.pdf](http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/POP_Waste_2010.pdf).

**Blepp, M., R. Groß, K. Moch, D. Bunke, M. Scheringer und S. Hukari (2012):** Development of a List of Potential POP Candidates for the Stockholm Convention and Refinement of the POP Criteria – Which Strategy is to be Adopted for a Successful Identification of potential POP candidates? Herausgegeben vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Online verfügbar unter: [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz\\_3711\\_65\\_406\\_p\\_ops\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz_3711_65_406_p_ops_bf.pdf).

**Blepp, M., W. Willand und R. Weber (2016):** Verwendung von PFOS in der Galvanik - Kennzeichen eines geschlossenen Kreislaufs, Verwendung von Ersatzstoffen. UBA Texte 63/2016. Online verfügbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/verwendung\\_von\\_pfos\\_in\\_der\\_galvanik\\_final.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/verwendung_von_pfos_in_der_galvanik_final.pdf).

**Böhm, E., T. Hillenbrand, F. Marscheider-Weidemann, B. Müller, J. Wiederhold, M. Herrchen und M. Klein (2002):** Ermittlung der Quellen für die prioritären Stoffe nach Artikel 16 der Wasserrahmenrichtlinie und Abschätzung ihrer Eintragsmengen in die Gewässer in Deutschland. UBA-Texte 68/2002. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2243.pdf>.

**Bolliger, R. und A. Randegger-Vollrath (2003):** Kurzketttige chlorierte Paraffine - Stoffflussanalyse. Schriftenreihe Umwelt Nr. 354 Umweltgefährdende Stoffe. BUWAL, Bern. Online verfügbar unter: [https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/chemikalien/uw-umwelt-wis-sen/kurzketttige\\_chlorierteparaffinestoffflussanalyse.pdf.download.pdf/kurzketttige\\_chlorierteparaffinestoffflussanalyse.pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/chemikalien/uw-umwelt-wis-sen/kurzketttige_chlorierteparaffinestoffflussanalyse.pdf.download.pdf/kurzketttige_chlorierteparaffinestoffflussanalyse.pdf)

**Bundesinstitut für Risikobewertung (2008):** Gesundheitliche Risiken durch PFOS und PFOA in Lebensmitteln sind nach dem derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand unwahrscheinlich. Stellungnahme 004/2009 des BfR vom 11. September 2008. Online verfügbar unter: [https://www.bfr.bund.de/cm/343/gesundheitliche\\_risiken\\_durch\\_pfos\\_und\\_pfoa\\_in\\_lebensmitteln.pdf](https://www.bfr.bund.de/cm/343/gesundheitliche_risiken_durch_pfos_und_pfoa_in_lebensmitteln.pdf).

**Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. (2004):** Bestandsaufnahme freiwilliger Selbstverpflichtungen und Vereinbarungen im Umweltschutz. Online verfügbar unter: [http://www.csrgermany.de/www/csr\\_cms\\_relaunch.nsf/id/A029ED49C0A7BC8DC12577FF00373AF3/\\$file/Ueberblick\\_Selbstverpflichtungen.pdf?open](http://www.csrgermany.de/www/csr_cms_relaunch.nsf/id/A029ED49C0A7BC8DC12577FF00373AF3/$file/Ueberblick_Selbstverpflichtungen.pdf?open).

**EUWID (2019):** Einigung über POP-Verordnung. Online verfügbar unter: <https://www.euwid-recycling.de/news/wirtschaft/einzelansicht/Artikel/einigung-ueber-pop-verordnung.html>.

**Fent, K. (2013):** Ökotoxikologie: Umweltchemie - Toxikologie - Ökologie. Georg Thieme Verlag.

**Freudenschuß, A., E. Obersteiner und M. Uhl (2008):** Organische Schadstoffe in Grünlandböden. Publikation des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Online verfügbar unter: <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0158.pdf>.

**Gefahrstoffinformationssystem (GESTIS),** Stoffdatenbank des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. Online verfügbar unter: <https://www.dguv.de/ifa/gestis/gestis-stoffdatenbank/index.jsp>.

**Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) (2003):** Orientierende Messungen gefährlicher Stoffe. Landesweite Untersuchungen auf organische Spurenverunreinigungen in hessischen Fließgewässern, Abwässern und Klärschlämmen. Zusammenfassender Abschlussbericht 1991–2003. Online verfügbar unter: [https://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/wasser/fliessgewaesser/gewaesserbelastung/orientierende\\_messungen/bericht\\_mit\\_tabellen.pdf](https://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/wasser/fliessgewaesser/gewaesserbelastung/orientierende_messungen/bericht_mit_tabellen.pdf)

**Hillenbrand, T., F. Marscheider-Weidemann, M. Strauch, K. Heitmann und D. Schaffrin (2007):** Emissionsminderung für prioritäre und prioritäre gefährliche Stoffe der Wasserrahmenrichtlinie - Stoffdatenblätter - UBA-Texte 29/2007. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3312.pdf>.

**Kemmlin, S., M. Bergmann und O. Jann (2005):** Probenaufbereitungs- und Analyseverfahren für Flammschutzmittel (Pentabromdiphenylether, Octabromdiphenylether) in Erzeugnissen. UBA-Texte 23/2005. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2954.pdf>.

**Kohlmeyer, R., S. Kummer und J. Wuttke (2017):** Bromierte POPs in Abfällen und Produkten: Altfahrzeuge und Elektroaltgeräte. Vortrag im Rahmen des UBA-Workshops „Die Umsetzung der Stockholm-Konvention in Deutschland - Wie geht es weiter mit HBCD, PBDE, PFOS und Co?“ am 23./24. November 2017 in Koblenz. Online verfügbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/362/dokumente/15\\_wuttke\\_bromierte\\_pops.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/362/dokumente/15_wuttke_bromierte_pops.pdf).

**Kuch, B., W. Körner und H. Hagenmaier (2001):** Monitoring von Bromierten Flammschutzmitteln in Fließgewässern, Abwässern und Klärschlämmen in Baden-Württemberg. Abschlussbericht FZKA-BWPLUS, Förderkennzeichen BWB 99011. Online verfügbar unter <https://fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/40087/BWB99011SBer.pdf?command=downloadContent&filename=BWB99011SBer.pdf&FIS=203>.

**Kuhn, E., T. Frey, R. Arnet und A. Känzig (2004):** Bromierte Flammschutzmittel in Kunststoffprodukten des Schweizer Marktes. Umwelt-Materialien Nr. 189. Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Online verfügbar unter <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/chemikalien/publikationen-studien/publikationen/bromierte-flammschutzmittel-kunststoffprodukten.html>.

**LAGA (2018):** LAGA-Methodensammlung Feststoffuntersuchung Version 1.1 (Juli 2018). Online verfügbar unter [https://www.laga-online.de/documents/methodensammlung-feststoffuntersuchung\\_v1\\_1542197341.1\\_04\\_07\\_2018\\_2](https://www.laga-online.de/documents/methodensammlung-feststoffuntersuchung_v1_1542197341.1_04_07_2018_2).

**Moche, W., K. Stephan und G. Thanner (2004):** Bromierte Flammschutzmittel in der aquatischen Umwelt. Online verfügbar unter: <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/BE243.pdf>.

**National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) (2010):** Evaluation of Possible Restrictions on Short Chain Chlorinated Paraffins (SCCP). Final report. Online verfügbar unter: <http://chm.pops.int/Default.aspx?tabid=3145>.

**OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (2002):** Hazard assessment of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and its salts. ENV/JM/RD(2002)17/FINAL. Online verfügbar unter: <http://www.oecd.org/dataoecd/23/18/2382880.pdf>.

**Potrykus, A., M. Milunov und J. Weißenbacher (2015):** Ermittlung von potentiell POP-haltigen Abfällen und Recyclingstoffen - Ableitung von Grenzwerten. UBA Texte 34/2015. Online verfügbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_34\\_2015\\_ermittlung\\_von\\_potenziell\\_pop\\_haltigen\\_abfaellen.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_34_2015_ermittlung_von_potenziell_pop_haltigen_abfaellen.pdf).

**Potrykus, A., E. Zettl, M. Milunov, U. Quass und P. Filzmoser (2017):** Evaluierung von Monitoringdaten zu POPs, POP-Kandidaten und Ersatzstoffen zur Aufklärung von Ursachen, Pfaden und Trends der Umweltbelastung. UBA Texte 65/2017. Online verfügbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-08-15\\_texte\\_65\\_2017\\_monitoringdaten-pop\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-08-15_texte_65_2017_monitoringdaten-pop_0.pdf).

**Reinhardt, T. und U. Richers (2004):** Entsorgung von Shredderrückständen - ein aktueller Überblick. Herausgegeben vom Forschungszentrum Karlsruhe. Online verfügbar unter: <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/270057211>.

**Rigoletto:** Stoffdatenbank vom Umweltbundesamt zur Einstufung der Wassergefährdung. Online verfügbar unter: <https://webriigoletto.uba.de/rigoletto/public/welcome.do>.

Richtlinie 2002/45/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 zur 20. Änderung der Richtlinie 76/769/EWG des Rates hinsichtlich der Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen (kurzkettige Chlorparaffine). Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32002L0045&from=DE>

Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Juni 2011 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten. Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32011L0065&from=en>.

**Sander, K., S. J. Otto, L. Rödiger und L. Wagner (2018):** Behandlung von Elektroaltgeräten (EAG) unter Ressourcen- und Schadstoffaspekten. UBA-Texte 31/2018. Online verfügbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-04-12\\_texte\\_31-2018\\_behandlung\\_eag.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-04-12_texte_31-2018_behandlung_eag.pdf).

**Secretariat of the Stockholm Convention.** Online verfügbar unter: <http://www.pops.int/>.

**Stockholm Convention Secretariat (2017):** The 16 New POPs - An introduction to the chemicals added to the Stockholm Convention as Persistent Organic Pollutants by the Conference of the Parties. Online verfügbar unter: <http://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-PUB-Brochure-16NewPOPs-201706.English.pdf>.

**Straková, J., J. DiGangi und G. K. Jensen (2018):** Toxic Loophole. Recycling Hazardous Waste into New Products. Online verfügbar unter:

[https://english.arnika.org/publications/download/289\\_1f2a2852261102e7494c68ae04b6a5ea](https://english.arnika.org/publications/download/289_1f2a2852261102e7494c68ae04b6a5ea)

**Taverna, R., R. Gloor, U. Maier, M. Zennegg, R. Figi und E. Birchler (2017):** Stoffflüsse im Schweizer Elektronikschrott. Metalle, Nichtmetalle, Flammschutzmittel und polychlorierte Biphenyle in elektrischen und elektronischen Kleingeräten. Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt. Online verfügbar unter:

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/chemikalien/publikationen-studien/publikationen/stofffluesse-im-schweizer-elektronikschrott.html>

**Tettenborn, F. und T. Hillenbrand (2014):** Neue prioritäre/prioritär gefährliche Stoffe der Richtlinie 2013/39/EU des Europäischen Parlaments und des Rates - Stoffdatenblätter. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI). Online verfügbar unter: [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz\\_3709\\_67\\_219\\_emonitionen\\_anhang\\_q\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz_3709_67_219_emonitionen_anhang_q_bf.pdf).

**Umweltbundesamt (2016):** Flammschutzmittel in Produkten. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/schadstoffe-in-produkten/flammschutzmittel-in-produkten>.

**Umweltbundesamt (2017):** Nationaler Durchführungsplan der Bundesrepublik Deutschland zum Stockholmer Übereinkommen. UBA Texte 84/2017. Online verfügbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-09-13\\_texte\\_84-2017\\_stockholmer-abkommen.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-09-13_texte_84-2017_stockholmer-abkommen.pdf).

**Umweltbundesamt (2018):** Emissionen persistenter organischer Schadstoffe. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschaedstoff-emissionen-in-deutschland/emissionen-persistenter-organischer-schadstoffe#textpart-1>.

**Umweltprobenbank des Bundes (ohne Datum):** Steckbrief Perfluorooctansulfonsäure. Online verfügbar unter: <https://www.umweltprobenbank.de/de/documents/profiles/analytes/14132>.

**Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI, 2005):** Daten und Fakten zur Stoffliste des WWF-Bluttests. Online verfügbar unter: <https://www.presseportal.de/download/document/45858-faktenzurstoffliste.pdf>.

Verordnung über die Getrenntsammlung und Überwachung von nicht gefährlichen mit persistenten organischen Schadstoffen (POP-Abfall-Überwachungs-Verordnung - POP-Abfall-ÜberwV) (2017)

Verordnung (EG) Nr. 850/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über persistente organische Schadstoffe und zur Änderung der Richtlinie 79/117/EWG, zuletzt geändert am 19. Juni 2012.

**Weber, R., H. Hollert, J. Kamphues, K. Ballschmiter, M. Blepp und C. Herold (2015):** Analyse und Trendabschätzung der Belastung der Umwelt und von Lebensmitteln mit ausgewählten POPs und Erweiterung des Datenbestandes der POP-Dioxin-Datenbank des Bundes und der Länder mit dem Ziel pfadbezogener Ursachenaufklärung. UBA Dokumentation 114/2015. Online verfügbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/doku\\_114\\_2015\\_analyse\\_und\\_trendabschaetzung\\_der\\_belastung\\_6.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/doku_114_2015_analyse_und_trendabschaetzung_der_belastung_6.pdf).

**Weigand, H. und C. Marb (2006):** Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Restmüll aus Haushaltungen. Müll und Abfall, Ausgabe 5/2006, S.236 ff.

**Zangl, S., M. Blepp, M. Marquardt, K. Moch, O. Wirth, B. Homburg, C. Temme (2012):** Nationale Umsetzung des Stockholmer Übereinkommens zu persistenten organischen Schadstoffen (POPs) – PBDE und PFOS in Erzeugnissen und im Recyclingkreislauf. Online verfügbar unter: <https://www.oeko.de/oekodoc/1752/2012-444-de.pdf>.

## **Anlagen**

Anlage 1: Auflistung der Abfallschlüssel der Behandlungsanlagen mit möglichen POP-Belastungen

Anlage 2: Ergebnisse der RFA-Messung im Vergleich zu den im laborgemessenen Werten



Anlage 1: Auflistung der Abfallschlüssel der Behandlungsanlagen mit möglichen POP-Belastungen

Tabelle 33: Auflistung der Abfallschlüssel der Behandlungsanlagen mit möglichen POP-Belastungen

AVV	Bezeichnung	typische Beispiele für POP Abfälle	Möglicherweise enthaltene POP			
			SCCP	PBDE	PFOS	HCBD
<b>16</b>	<b>Abfälle, die nicht anderswo im Verzeichnis aufgeführt sind</b>					
<b>16 01</b>	<b>Altfahrzeuge verschiedener Verkehrsträger (einschließlich mobiler Maschinen) und Abfälle aus der Demontage von Altfahrzeugen sowie der Fahrzeugwartung (außer 13, 14, 16 06 und 16 08)</b>					
16 01 19	Kunststoffe	Verkleidungen, Verbindungsteile	x	x		
16 01 21*	gefährliche Bauteile mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 07 bis 16 01 11, 16 01 13 und 16 01 14 fallen	Sämtliche sonstigen Bauteile von Altfahrzeugen Beispiel: Schaummaterial und Textilien aus Autositzen oder Kopfstützen, Türinnenverkleidungen, Fahrzeughimmel Tür/Fensterdichtungen	x	x	x	x
16 01 22	Bauteile a.n.g.	Dämm-/Fußmatten	x	x	x	x
<b>16 02</b>	<b>Elektrische und elektronische Geräte und deren Bauteile</b>					
16 02 13*	gefährliche Bauteile 22) enthaltende gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 12 fallen	sämtliche Kunststoff- oder Holzgehäuse Leiterplatten, Speichermedien Kabel, Adapter, Steckdosenleisten	x	x		x
16 02 14	gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 13 fallen	Tastaturen, Telefone, Headsets Kleine Elektro-/Elektronikgeräte, Haushaltselektronik Elektrisches Spielzeug	x	x		x
16 02 15*	aus gebrauchten Geräten entfernte gefährliche Bauteile		x	x		x
16 02 16	aus gebrauchten Geräten entfernte Bauteile mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 15 fallen		x	x		x

AVV	Bezeichnung	typische Beispiele für POP Abfälle	Möglicherweise enthaltene POP			
			SCCP	PBDE	PFOS	HCBD
<b>17</b>	<b>Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten)</b>					
<b>17 02</b>	<b>Holz, Glas und Kunststoff</b>					
17 02 03	Kunststoff	sämtliche Kunststoffe aus dem Baubereich	x	x		
17 02 04*	Glas, Kunststoff und Holz, die gefährliche Stoffe enthalten oder durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind	Beispiele: Kunststoffrohre, Fußbodenbeläge, Fensterprofile, Fugen- und Dichtungskleber	x	x		
<b>17 06</b>	<b>Dämmmaterial und asbesthaltige Baustoffe</b>					
17 06 03*	anderes Dämmmaterial, das aus gefährlichen Stoffen besteht oder solche Stoffe enthält	verschiedene Dämmstoffe, welche mit Flammschutzmitteln oder Klebern versetzt sind vor allem EPS/XPS Platten, in PUR-Schäumen	x	x		
<b>19</b>	<b>Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen, öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen sowie der Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch und Wasser für industrielle Zwecke</b>					
<b>19 08</b>	<b>Abfälle aus Abwasserbehandlungsanlagen a. n. g.</b>					
19 08 05	Schlämme aus der Behandlung von kommunalem Abwasser		x	x	x	x
19 08 14	Schlämme aus einer anderen Behandlung von industriellem Abwasser mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 08 13 fallen		x	x	x	x

<b>19 10</b>		<b>Abfälle aus dem Shreddern von metallhaltigen Abfällen</b>					
19 10 03*	Shredderleichtfraktionen und Staub, die gefährliche Stoffe enthalten	Schaumstoffe, Gummi, Papier, Folien, Lackpartikel, Textilfasern, Holz, Kabelstücke, Dämmstoffe, Kunststoffstücke, aber auch Metallpartikel, Rost, Glas und andere mineralische Anteile (z. B. Sand, Beton, Schmutz). Reste von Mineralölen und Schmierstoffen haften an den Oberflächen der Materialien, besonders an Schaumstoffen.	x	x	x	x	
19 10 04	Shredderleichtfraktionen und Staub mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 10 03 fallen		x	x	x	x	
<b>19 12</b>		<b>Abfälle aus der mechanischen Behandlung von Abfällen (z. B. Sortieren, Zerkleinern, Verdichten, Pelletieren) a. n. g.</b>					
19 12 04	Kunststoff und Gummi	Förderbänder	x			x	
19 12 08	Textilien	Sämtliche Textilien, die flammgeschützt sind: teilweise (Schutz-) Kleidung, Teppiche, Gardinen, Möbelbezüge, Putzutensilien Zeltplanen, LKW Planen Leder	x	x	x		
19 12 10	brennbare Abfälle (Brennstoffe aus Abfällen)	Materialmischungen aus sämtlichen Stoffen	x	x	x	x	
19 12 11*	sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen, die gefährliche Stoffe enthalten		x	x	x	x	
19 12 12	sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 12 11 fallen		x	x	x	x	
<b>20</b>		<b>Siedlungsabfälle (Haushaltsabfälle und ähnliche gewerbliche und industrielle Abfälle sowie Abfälle aus Einrichtungen), einschließlich getrennt gesammelter Fraktionen</b>					
<b>20 01</b>		<b>Getrennt gesammelte Fraktionen (außer 15 01)</b>					
20 01 36	gebrauchte elektrische und elektronische Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 20 01 21, 20 01 23 und 20 01 35 fallen	siehe oben im Abschnitt 16 02	x	x		x	
<b>20 03</b>		<b>Andere Siedlungsabfälle</b>					
20 03 07	Sperrmüll	beschichtete Holzbretter, Kunststoffmöbel, Polstermöbel, Matratzen	x	x	x	x	

Anlage 2: Ergebnisse der RFA-Messungen im Vergleich zu den im laborgemessenen Werten

1. Kampagne:

Lfd.-Nr.	Fluor [mg/kg]			Chlor [mg/kg]			Brom [mg/kg]		
	AN anl	AN wf	LAU wf	AN anl	AN wf	LAU wf	AN anl	AN wf	LAU wf
1	140	180	n.m.	13.400	17.100	2.810	945	1.200	939
2	120	130	n.m.	11.300	12.500	8.616	< 50	56	58
3	60	60	n.m.	6.140	6.890	7.328	442	495	404
4	< 50	< 50	n.m.	770	780	572	361	366	375
5	460	510	n.m.	7.130	7.890	6.631	88	98	97
6	70	80	n.m.	37.900	42.600	11.235	< 50	< 50	40
7	630	650	n.m.	159.000	164.000	49.849	< 50	< 50	53
8	60	70	n.m.	35.200	40.700	21.296	< 50	< 50	29
9	< 50	70	n.m.	1.800	7.180	6.945	< 50	71	90
10	70	80	n.m.	440	470	1.923	< 50	< 50	<LOD
11	< 50	< 50	n.m.	170	200	277	< 50	< 50	<LOD
12	70	70	n.m.	190	200	245	< 50	< 50	<LOD
13	90	100	n.m.	390	450	717	< 50	< 50	<LOD
14	60	70	n.m.	1.540	1.700	1.310	< 50	< 50	<LOD
15	80	90	n.m.	29.500	32.500	6.159	525	578	656
16	330	330	n.m.	1.860	1.870	102	< 50	< 50	<LOD
17	610	610	n.m.	5.870	5.900	4.453	< 50	< 50	37
18	< 50	< 50	n.m.	3.450	3.460	1.392	< 50	< 50	32
19	280	280	n.m.	< 50	< 50	170	32.100	32.100	22.772
20	< 50	200	n.m.	810	4.390	2.563	< 50	< 50	45
21	60	60	n.m.	4.090	4.110	7.174	< 50	< 50	<LOD
22	90	90	n.m.	5.080	5.090	3.311	91	91	53
23	170	170	n.m.	3.150	3.150	448	< 50	< 50	30
24	< 50	180	n.m.	180	860	557	< 50	< 50	46
25	< 50	< 50	n.m.	5.200	5.240	1.522	< 50	< 50	40

n.m. - Bestimmung mittels RFA nicht möglich

LOD - Nachweisgrenze

AN - Messung durch Auftragnehmer

anl - unbehandelte Originalprobe

LAU - Messung durch Landesamt für Umweltschutz

wf - wasserfreie aufbereitete Probe

## 2. Kampagne:

Lfd. Nr.	Chlor [mg/kg]			Brom [mg/kg]		
	AN anl	AN wf	LAU wf	AN anl	AN wf	LAU wf
1	7.540	8.060	2.162	271	290	480
2	46.900	47.000	13.840	83	83	104
3	5.240	5.900	4.208	76	86	98
4	23.100	23.300	13.066	61.900	62.400	74.000
5	4.350	4.420	1.022	4.170	4.230	2.662
6	1.510	1.510	969	202	203	267
7	480	490	346	912	925	912
8	6.870	8.260	6.485	109	131	176
9	8.990	10.100	8.141	107	120	174
10	2.440	2.650	2.448	<50	<50	<LOD
11	5.230	5.550	3.978	1.800	1.910	2.262
12	1.230	1.800	910	170	249	258
13	25.200	28.000	78.005	230	255	363
14	107.000	107.000	212.966	<50	<50	49
15	5.610	5.650	4.031	69.900	70.400	84.935
16	7.320	7.420	3.259	38.800	39.300	37.718
17	410	440	82	2.360	2.560	489
18	264.000	265.000	160.552	78	79	53
19	840	850	363	<50	<50	<LOD
20	670	680	1.303	<50	<50	<LOD
21	41.780	41.900	16.353	<50	<50	35
22	29.000	29.900	8.308	<50	<50	73
23	2.250	2.320	707	415	427	408
24	1.700	2.130	1.024	<50	<50	<LOD
25	24.600	26.200	6.230	1.170	1.240	1.633
26	5.140	7.830	4.566	992	1.510	1.425
27	530	540	779	<50	<50	14
28	1.040	1.050	1.295	<50	<50	<LOD
29	2.270	2.280	584	<50	<50	<LOD
30	6.660	6.710	3.599	49.200	49.600	51.336
31	22.100	22.300	15.039	71.700	72.400	86.839
32	1.030	1.050	333	3.470	3.540	3.137
33	2.980	3.010	1.175	60.700	61.200	59.498
34	22.100	22.300	5.093	<50	<50	30
35	5.440	5.690	3.109	172	179	1.162

Lfd. Nr.	Chlor [mg/kg]			Brom [mg/kg]		
	AN anl	AN wf	LAU wf	AN anl	AN wf	LAU wf
36	800	880	382	113	124	<LOD
37	2.780	3.150	641	<50	<50	15
38	1.660	1.670	<LOD	<50	<50	<LOD
39	250	280	214	<50	<50	<LOD
40	590	650	2.536	85	93	<LOD
41	91.300	92.400	1.075	66	67	<LOD
42	18.200	18.700	9.149	105	108	193
43	10.400	11.400	11.235	<50	<50	40
44	14.100	14.300	12.471	11.700	11.800	22.594
45	1.650	1.670	1.164	30.700	31.100	59.423

LOD - Nachweisgrenze

AN - Messung durch Auftragnehmer

anl - unbehandelte Originalprobe

LAU - Messung durch Landesamt für Umweltschutz

wf - wasserfreie aufbereitete Probe