

TEXTE

43/2022

Endbericht

Zusatzbericht zu dem nationalen Durchführungsplan der Bundesrepublik Deutschland zum Stockholmer Übereinkommen 2020

von:

Alexander Potrykus, Carina Broneder, Benjamin Schramm, Elisabeth Zettl, Ferdinand Zotz, Emiel
Adriaan de Bruijne
Ramboll Deutschland GmbH, München

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 43/2022

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für Umwelt,
Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3719 65 414 0

FB000618

Endbericht

Zusatzbericht zu dem nationalen Durchführungsplan der Bundesrepublik Deutschland zum Stockholmer Übereinkommen 2020

von

Alexander Potrykus, Carina Broneder, Benjamin
Schramm, Elisabeth Zettl, Ferdinand Zotz, Emiel Adriaan
de Bruijne
Ramboll Deutschland GmbH, München

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

[t/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

Ramboll Deutschland GmbH
Werinherstraße 79
81541 München

Abschlussdatum:

August 2021

Redaktion:

Fachgebiet IV 1.1 Internationales Chemikalienmanagement
Caren Rauert, Catharina Brett-Smith

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, April 2022

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Zusatzbericht zu dem nationalen Durchführungsplan der Bundesrepublik Deutschland zum Stockholmer Übereinkommen 2020

Persistente organische Schadstoffe – sog. POP (engl. Persistent Organic Pollutants) sind aufgrund ihrer negativen Eigenschaften Gegenstand des Stockholmer Übereinkommens zu POP und des POP-Protokolls. Ziel der internationalen Abkommen ist es, Produktion, Verwendung und Freisetzungen dieser Substanzen soweit wie möglich zu reduzieren bzw. zu beenden. Um den Verpflichtungen unter dem Stockholmer Übereinkommen nachzukommen, muss Deutschland einen nationalen Durchführungsplan erstellen und diesen regelmäßig aktualisieren und um neu aufgenommene POP erweitern.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde der Nationale Durchführungsplan inklusive seiner Struktur aktualisiert (siehe Zusatzbericht zu dem nationalen Durchführungsplan der Bundesrepublik Deutschland zum Stockholmer Übereinkommen 2020). Ebenfalls war es Aufgabe, Recherchen zum Stand der Umsetzung der bei den letzten beiden Vertragsstaatenkonferenzen neu aufgenommenen POP (PCP, PCN, DecaBDE, SCCP und HCBd) durchzuführen, um Lücken der bestehenden nationalen Regulierung und Herausforderungen bei der Umsetzung der Verpflichtungen aus dem Stockholmer Übereinkommen zu identifizieren. Betrachtet wurden dabei die Verwendung der POP, mögliche Alternativen zu noch eingesetzten POP, die Entsorgung bzw. Rolle der neuen POP in der Kreislaufwirtschaft, das Vorkommen der POP in Umweltmedien sowie bestehender Forschungsbedarf und Handlungsoptionen. In einem Fallbeispiel wurden die Herausforderungen zu den neu aufgenommenen POP in Gebäuden in Form eines Factsheets erarbeitet. Des Weiteren wurden gemeinsam mit relevanten Akteursgruppen aus Behörden, Forschung und von Interessenverbänden im Rahmen von Workshops aktuelle Themen vorgestellt und diskutiert sowie weiterer Forschungsbedarf und Handlungsempfehlungen für die Praxis abgeleitet. Zusätzlich enthält der Forschungsbericht Maßnahmen, die im Rahmen der Arbeiten zur Aktualisierung des NIP diskutiert wurden, aber nicht in den Rahmen des NIP fielen.

Abstract: Supplementary Report for the National Implementation Plan of the Federal Republic Germany for the Stockholm Convention 2020

Persistent organic pollutants (POPs) are the subject of the Stockholm Convention on POPs and the POP Protocol due to their negative properties. The aim of the international agreements is to reduce or eliminate the production, use and release of these substances as far as possible. In order to comply with the obligations under the Stockholm Convention, Germany must draw up a national implementation plan and regularly update and expand it to include newly added POPs.

Within the scope of the research project, the National Implementation Plan including its structure was updated (see National Implementation Plan of the Federal Republic of Germany to the Stockholm Convention 2020). The objective was also to undertake research on the status of implementation of the POPs newly included at the last two Conferences of the Parties (PCP, PCN, decaBDEs, SCCP and HCBd) in order to identify gaps in existing national regulation and challenges in implementing the obligations under the Stockholm Convention. The use of POPs, possible alternatives to POPs still in use, the disposal or role of new POPs in the circular economy, the occurrence of POPs in environmental media as well as existing research needs and options for action were considered. In a case study, the challenges of the newly included POPs in buildings were elaborated in the form of a factsheet. Furthermore, current topics were presented and discussed together with relevant groups of actors from authorities, research and interest groups within the framework of workshops, and further research needs and recommendations for action for practice were derived. In addition, the research report contains

measures that were discussed as part of the work on updating the NIP but did not fall within the scope of the NIP.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	9
Abkürzungsverzeichnis	10
Zusammenfassung	13
Summary	20
1 Hintergrund und Zielsetzung des Projekts	27
1.1 Hintergrund	27
1.2 Zielsetzung	27
1.3 Berichtsstruktur	28
2 Aktualisierung des NIP	29
2.1 Strukturierung des NIP	29
2.2 Regulatorischer Rahmen	29
2.3 Recherche	29
3 Identifikation von Herausforderungen und eventuellen Lücken	31
3.1 Beschreibung der weiteren Verwendung der POP unter besonderer Berücksichtigung der Kreislaufwirtschaft	31
3.2 Identifikation von Möglichkeiten, auf Ausnahmen zu verzichten und nachhaltige Alternativen zu etablieren	37
3.2.1 Perfluoroktansulfonsäure (PFOS) in der Galvanik	37
3.2.1.1 Hintergrund	37
3.2.1.2 Verwendung von PFOS in der Hartverchromung	38
3.2.1.3 Alternativen	39
3.2.1.4 Zusammenfassung	42
3.2.2 Decabromdiphenylether (DecaBDE)	42
3.2.2.1 Hintergrund	42
3.2.2.2 DecaBDE als Flammschutzmittel	44
3.2.2.3 Alternativen	45
3.2.2.4 Zusammenfassung	48
3.3 Entsorgung bzw. Rolle der neuen POP im Stoffkreislauf / Recycling; Analyse der Herausforderungen	49
3.3.1 DecaBDE	50
3.3.2 SCCP	54
3.3.3 HCBd	58
3.3.4 PCN	60

3.3.5	PCP	62
3.4	Herausforderung: POP in Gebäuden.....	64
3.4.1	Factsheet.....	64
3.5	Umfassende Recherche zum Vorkommen der Stoffe in Umweltmedien	70
3.6	Forschungsbedarf und Handlungsoptionen.....	74
4	Kommunikation mit der Fachöffentlichkeit	78
4.1	Workshopreihe „Wie werden wir unserer Verantwortung zu POP gerecht? – Ein ambitionierter Nationaler Durchführungsplan 2020 zum Stockholmer Übereinkommen“.	78
4.2	Workshop „Verringerung der Emissionen von PCB (und anderen POP) aus Gebäuden“	79
4.3	Handlungsempfehlungen und Forschungsbedarf.....	80
5	Maßnahmen zur Verringerung oder Verhinderung von Freisetzung.....	83
5.1	Maßnahmen zur Verhinderung von Freisetzungen aus beabsichtigter Produktion und Verwendung (Artikel 3)	83
5.2	Maßnahmen zur Verringerung oder Verhinderung von Freisetzungen von Stoffen der Anlage C	83
5.3	Artikel 5b-e: Förderung und Anordnung der Anwendung von Maßnahmen und besten verfügbaren Techniken zur Freisetzungsverringerung und Quellenbeseitigung.....	85
5.4	Maßnahmen zur Verringerung oder Verhinderung von Freisetzungen aus Lagerbeständen und Abfällen (Artikel 6)	85
5.4.1	POP in Alterzeugnissen	85
5.5	Maßnahmen zur Information, Bewusstseinsbildung und Aufklärung (Artikel 10)	86
5.6	Maßnahmen zur Forschung, Entwicklung und Überwachung (Artikel 11)	86
6	Quellenverzeichnis	88
A	Anlage.....	92
A.1	Rechtskataster (als separate Datei)	92
A.2	Ergebnisse der Literaturrecherche zum Vorkommen der neuen POP in der Umwelt (als separate Datei).....	92

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Vorkommens bzw. ehemaligen Verwendung der POP in Gebäuden	17
Tabelle 2:	Übersicht über POP, weitere Verwendung und relevante Bereiche im Hinblick auf das Abfallaufkommen und die Abfallentsorgung	32
Tabelle 3:	Überblick der betrachteten POP	70
Tabelle 4:	Übersicht der Datenquellen	71
Tabelle 5:	Maßnahmen zur Forschung, Entwicklung und Überwachung für das Monitoring der neuen POP	77

Abkürzungsverzeichnis

4H-PFOS	3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-Tridecafluoroktan-1-sulfonsäure
6:2 FTS	6:2 Fluortelomersulfonsäure
AbfRRL	Richtlinie 2008/98/EG - Abfallrahmenrichtlinie
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer
AltholzV	Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung)
ASN	Abfallschlüsselnummer
ATH	Aluminiumtrihydroxid
RFA	Röntgenfluoreszenzanalyse
BAPP, BDP	Bisphenol A bis(Diphenylphosphat)
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BLfU	Bayrischen Landesamt für Umwelt
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BRD	Bundesrepublik Deutschland
c-DecaBDE	Kommerzielle Decabromdiphenylether
CEIP	Centre on Emission Inventories and Projections
CLRTAP	Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung (engl. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution)
c-OctaBDE	Kommerzielle Octabromdiphenylether mit den primären PBDE-Kongenergruppen Octa-, Hexa- und HeptaBDE
COP	Konferenz der Mitgliedsstaaten des Stockholmer Übereinkommens (engl. Conference of the Parties)
c-PentaBDE	Kommerzielle Pentabromdiphenylether mit den primären PBDE-Kongenergruppen Tetra- und PentaBDE
DBDPE	Decabromodiphenylether
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DDT	(1,1,1-Trichlor-2,2-bis(4-chlorphenyl)ethan)
DecaBDE	Decabromdiphenylether
EAG	Elektroaltgeräte
EASA	Europäische Agentur für Flugsicherheit
EBTBP	Ethylen bis(Tetrabromphtalimid)
ECHA	Europäische Chemikalienagentur
EPS	expandiertes Polystyrol (engl. Expanded Polystyrene)
EU	Europäische Union
EU-POP-VO	Europäische POP Verordnung (EU) 2019/1021
FGG Elbe	Flussgebietsgemeinschaft Elbe
FTS	Fluortelomersulfonsäure
HBCDD	Hexabromcyclododecan
HCBD	Hexachlorbutadien
HIPS	High Impact Polystyrol

HVOC	Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen (engl. High Velocity Oxygen Fuel Verfahren)
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LANUV	Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
MCCP	Mittelkettige Chlorparaffine (engl. Medium Chain Chlorinated Paraffins)
MDH	Magnesiumhydroxid
mg	Milligramm
NaPCP	Natriumsalz von Pentachlorphenol
NGO	Nichtregierungsorganisation (Non-Governmental Organisation)
PBDE	Polybromierte Diphenylether
PBT	Persistent bioakkumulierend toxisch
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCBAbfallV	Verordnung über die Entsorgung polychlorierter Biphenyle, polychlorierter Terphenyle und halogenerter Monomethyldiphenylmethane
PCN	Polychlorierte Naphthaline
PCP	Pentachlorphenol
PCPL	Pentachlorophenyl Laurat
PE	Polyethylen
PeCB	Pentachlorbenzol
PFAS	Per- und Polyfluorierte Alkylsubstanzen
PFHxS	Perfluorhexansulfonsäure
PFOA	Perfluoroktansäure
PFOS	Perfluoroktansulfonsäure
PFOSF	Perfluoroktansulfonsäurefluorid
PFSS	Perfluoriertensulfonsäuren
POP	Persistente organische Schadstoffe (engl. Persistent Organic Pollutants)
POP-Abfall-ÜberwV	Verordnung über die Getrenntsammlung und Überwachung von nicht gefährlichen Abfällen mit persistenten organischen Schadstoffen
PP	Polypropylen
PST	Post-Schredder-Technik
PTFE	Polytetrafluorethylen
PVC	Polyvinylchlorid
RDP	Resorcinol bis(diphenylphosphat)
RoHS-Richtlinie, kurz RoHS	Richtlinie 2002/95/EG zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten
SÜ	Stockholmer Übereinkommen (engl. Stockholm Convention)
SCCP	Kurzkettige Chlorparaffine (engl. Short Chain Chlorinated Paraffins)
SLF	Schredderleichtfraktion
Tm	Trockenmasse
TPP	Triphenylphosphat
UBA	Umweltbundesamt

UNECE	Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (engl. United Nations Economic Commission for Europe)
UNEP	Umweltprogramm der Vereinten Nationen (engl. United Nations Environment Programme)
US EPA	Amerikanische Umweltbehörde (engl. United States Environmental Protection Agency)
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
wt%	Gewichtsprozent (engl. weight percent)
XPS	Extrudiertes Polystyrol

Zusammenfassung

Persistente organische Schadstoffe – sog. POP (engl. Persistent Organic Pollutants) – sind organische Chemikalien, die sich durch ihre Langlebigkeit (Persistenz) auszeichnen, sich in Organismen und damit der Nahrungskette anreichern (Bioakkumulation und Biomagnifikation) und schädliche Wirkungen auf den Organismus von Mensch und Tier zeigen. POP haben darüber hinaus das Potential zum weiträumigen Transport und können sich über Luft- und Meeresströmungen weltweit verbreiten.

Da Herstellung, Verwendung und schädliche Wirkungen bei diesen Chemikalien sowohl zeitlich als auch räumlich sehr weit auseinanderliegen können, verlangt eine wirksame Begrenzung ihrer Schäden internationale Kooperation und Vereinbarungen. Daher sind POP Gegenstand des Stockholmer Übereinkommens zu POP und des POP-Protokolls unter dem Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE CLRTAP). Beide völkerrechtlichen Übereinkommen erkennen die oben genannte Problematik von POP an sowie die Notwendigkeit, internationale Aktivitäten zu unternehmen um Produktion, Verwendung und Freisetzungen dieser Substanzen soweit wie möglich zu reduzieren bzw. zu beenden.

Die Erstellung eines nationalen Durchführungsplans (NIP) ist Teil der Verpflichtung der Vertragsstaaten des Stockholmer Übereinkommens und ist regelmäßig zu überprüfen und um neu aufgenommene POP zu erweitern.

Im Fokus des aktuellen (2020) Durchführungsplans sowie dieses Berichts sind die bei der 7. und 8. Konferenz der Mitgliedsstaaten des Stockholmer Übereinkommens neu aufgenommen POP

- ▶ HCBD,
- ▶ PCP,
- ▶ PCN,
- ▶ DecaBDE und
- ▶ SCCP.

Ziel dieses Berichts ist die die im Rahmen der Erstellung des NIP identifizierten Lücken und Herausforderungen bei der Umsetzung zu identifizieren sowie die Ableitung von Handlungsoptionen und des weiteren Forschungsbedarfs, welche unter anderem durch die Kommunikation mit der interessierten Fachöffentlichkeit identifiziert wurden.

Aktualisierung des NIP

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden die Aktualisierung des NIP für Deutschland vorgenommen, welches als eigenständiges Dokument veröffentlicht wurde. Für diese Aktualisierung wurden Umstrukturierungsmöglichkeiten des NIP vorgestellt und diskutiert. Um eine Vergleichbarkeit des deutschen NIP mit den Vorjahren und den Inhalten der Artikel des Stockholmer Übereinkommens zu ermöglichen und dennoch die Empfehlungen des Entwurfs des UNEP-Leitfadens zu berücksichtigen, wurde eine Kombinationsansatz aus dem Vorgängerbericht und dem UNEP-Leitfaden gewählt. Ebenfalls wurde im Rahmen der Überarbeitung des NIP eine tabellarische Aufarbeitung des rechtlichen und regulatorischen Rahmens vorgenommen (siehe hierfür Anlage A.1).

Identifikation von Herausforderungen und eventuellen Lücken

Für die Identifikation von Herausforderungen und eventuellen Lücken wurde die Thematik der POP von mehreren Gesichtspunkten aus betrachtet. Diese Betrachtung, daraus resultierende identifizierte Herausforderungen und Lücken sowie Forschungsbedarf und Handlungsoptionen, welche **„außerhalb“** der Verfahren des Stockholmer Übereinkommens bzw. der EU-POP-VO im engeren Sinne umgesetzt werden können, sind nachfolgend einzelnen kurz zusammengefasst.

Weitere Verwendung der POP unter besonderer Berücksichtigung der Kreislaufwirtschaft

Das Stoff- und Abfallrecht rückte im Kontext der Kreislaufwirtschaft und POP in den letzten Jahren immer mehr in den Vordergrund. Aus diesem Grund wurden detaillierte Informationen zur weiteren Verwendung/Vorkommen der POP und deren Relevanz in den Abfallströmen, unter besonderer Berücksichtigung der Kreislaufwirtschaft, erhoben und zusammengefasst (siehe hierfür auch Tabelle 2). Besondere hervorzuheben sind Hexabromcyclododecan (HBCDD) in expandiertem Polystyrol und extrudierten Polystyrol, kurzkettige Chlorparaffine (SCCP) in der Gummiindustrie sowie in Dicht- und Klebstoffen und Weichmachern, polychlorierte Biphenyle (PCB) in offenen Anwendungen und letztlich Decabromdiphenylether (DecaBDE) in seinen Anwendungen in der Fahrzeug-, Elektro- und Elektronik-, Textil- und Bauindustrie. Diese POP werden auch zukünftig durch die lange Produktlebensdauer und hohen Einsatzmengen eine hohe Relevanz in Abfällen besitzen. Mit untergeordneter Relevanz können jedoch auch Pentachlorphenol (PCP) sowie Polychlorierte Naphthaline (PCN) nach wie vor in Abfällen auftreten.

Identifikation von Möglichkeiten, auf Ausnahmen zu verzichten und nachhaltige Alternativen zu etablieren

Das übergeordnete Ziel des Stockholmer Übereinkommens ist es, sowohl die Verwendung der POP vollständig zu beenden, als auch die bereits im Wirtschaftskreislauf und in der Umwelt vorhandenen Bestände zu identifizieren und Strategien zu einer nachhaltigen Entsorgung zu entwickeln. Dazu zählt auch, die POP informiert und proaktiv zu substituieren. In diesem Zusammenhang gilt es, bedauerenswerte Substitutionsketten zukünftig zu vermeiden (z. B. Substitution von POP mit Substanzen, welche die gleichen, ähnliche oder andere unerwünschte Eigenschaften besitzen). Die Ergebnisse der Identifikation von Möglichkeiten, auf Ausnahmen zu verzichten und nachhaltige Alternativen zu etablieren, sollen als Grundlage dienen, um zu beurteilen, welche Möglichkeiten bestehen, auf derzeit geltende Ausnahmen zu verzichten. Dies wird anhand der Beispiele von PFOS und DecaBDE dargestellt. Beide Substanzen wurde bereits in der EU-POP-VO aufgenommen, besitzen jedoch noch Ausnahmen, welche zeitlich begrenzt sind.

PFOS wurden aufgrund ihrer toxischen, persistenten und bioakkumulierenden Eigenschaften 2009 in den Anhang B des Stockholmer Übereinkommens aufgenommen. Hiermit wurden die Herstellung und Verwendung auf einige Ausnahmen beschränkt, von denen in der Europäischen Union (EU) mittlerweile nur noch die Verwendung als „Mittel zur Sprühnebelunterdrückung für nicht dekoratives Hartverchromen (Chrom VI) in geschlossenen Kreislaufsystemen“ zulässig ist. Dieser Eintrag wurde am 09.07.2020 von einem akzeptablen Zweck in eine spezifische Ausnahme geändert, damit ist diese Ausnahme nur noch für einen Zeitraum von höchstens fünf Jahren nach Inkrafttreten dieser Änderung möglich. Die Ausnahme kann jedoch auf Antrag eines Mitgliedstaates aufgrund von anhaltender Notwendigkeit dieser Verwendung um weitere fünf Jahre verlängert werden.

Durch die Aufnahme von PFOS in das Stockholmer Übereinkommen und in die EU-POP-VO ist der globale Trend der PFOS-Verwendung rückläufig. Alternativen müssen jedoch vorrausschauend gewählt werden, um Mensch und Umwelt zu schützen.

In Deutschland ist die Verwendung von PFOS in der Hartverchromung in geschlossenen Systemen bereits ersetzt worden. Als Alternative wird zumeist 6:2 FTS verwendet, welches im Rahmen des PFHxA REACH-Beschränkungsverfahren ebenfalls beschränkt werden könnte.

Fluorierte, fluorfreie und nicht-chemische Alternativen sind bereits global erhältlich, jedoch ist die Anwendung je nach Substanz und Prozess nur begrenzt möglich. Die Nachteile sind die geringere Leistung, höhere Kosten und eventuell entstehende Einträge in die Umwelt.

DecaBDE wurde 2019 in das Stockholmer Übereinkommen in Anlage A aufgenommen. Die technische (oder kommerzielle) Handelsform von Decabromdiphenylether (c-DecaBDE) besteht zum allergrößten Teil aus DecaBDE (77% – 98%), mit kleinen Anteilen aus Nona- und OctaBDE. Für DecaBDE wurden einige Ausnahmen für die Herstellung, das Inverkehrbringen und die Verwendung gewährt. DecaBDE kann demnach:

- a) bei der Herstellung eines Luftfahrzeugs, bis zum 18. Dezember 2023 oder in Fällen, in denen der kontinuierliche Bedarf begründet ist, bis zum 2. März 2027,
- b) bei der Herstellung von Ersatzteilen für
 - a) ein Luftfahrzeug,
 - b) Kraftfahrzeuge, die unter die Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates (2) fallen bis 2036 oder dem Ende der Betriebsdauer dieser Kraftfahrzeuge,
- c) bei Elektro- und Elektronikgeräten, die unter die Richtlinie 2011/65/EG fallen,

eingesetzt werden. Die Ausnahmen sind hier vereinfacht dargestellt. Für eine detaillierte Ausführung siehe Kapitel 3.2.2.

Die Industrie wusste bereits, dass c-DecaBDE verboten wird, wodurch die meisten Firmen bereits auf Alternativen umgestiegen sind. Dies führte dazu, dass c-DecaBDE 2019 bereits größtenteils aus den Herstellungsprozessen ausgeschleust war. Die in der EU-POP-VO gelisteten Ausnahmen sind deshalb nicht wegen eines Mangels an Alternativen gelistet, sondern haben einen zulassungsbedingten Hintergrund, weshalb sie zeitlich begrenzt sind.

Die in Kapitel 3.2.2.3 aufgezeigten Alternativen werden bereits von der Industrie benutzt und einige können durch ihre Ähnlichkeit zu c-DecaBDE als sogenannte „drop-in“ Alternativen verwendet werden. Beispiele hierfür sind DBDPE und EBTBP. Durch die große Ähnlichkeit zu c-DecaBDE besitzen sie jedoch auch ähnlich gefährliche Charakteristiken, wodurch viele dieser Stoffe zurzeit auf ihre Wirkung auf den Menschen und die Umwelt sowie auf ihre potenziellen PBT¹-Eigenschaften hin analysiert werden. Es gibt jedoch auch Alternativen, welche keine negativen Effekte aufweisen, wie zum Beispiel Magnesium- und Aluminiumhydroxid. Diese müssen allerdings, aufgrund ihrer schlechteren Flammseigenschaften, in größeren Mengen hinzugegeben werden. Alternativ könnten auch Techniken oder Materialien eingesetzt werden, welche keine Flammenschutzmittel benötigen.

Durch die große Auswahl an Alternativen ist die Substitution von c-DecaBDE in den meisten ehemaligen Einsatzbereichen bereits vollzogen. Dies führte zu einer Reduktion bzw. einer Einstellung der Produktion von c-DecaBDE. C-DecaBDE-haltige Abfälle aus Elektro- und Elektronikgeräten, Altfahrzeugen und Luftfahrzeugen werden jedoch auch in den kommenden Jahren ein Hindernis für eine schadstofffreie Kreislaufwirtschaft darstellen.

Aufgrund der hier dargestellten Ergebnisse ergibt sich folgender Forschungsbedarf:

¹ Persistent (P), Bioakkumulierbar (B) und Toxisch (T)

- ▶ Weitere Forschung zu erwiesenermaßen nachhaltigen Alternativen (in Form von nicht-persistenten alternativen Chemikalien oder alternativen Materialien) zu DecaBDE, um eine „regrettable substitution“ zu vermeiden.

Entsorgung bzw. Rolle der neuen POP im Stoffkreislauf / Recycling; Analyse der Herausforderungen

Aufbauend auf den Informationen im NIP wurden Steckbriefe zu den neuen POP, deren Einsatzgebieten und den daraus resultierenden Abfällen erstellt. Diese Steckbriefe beinhalten Information zur Herstellung und Verwendung der neuen POP sowie Informationen zu den aus den verschiedenen Anwendungen resultierenden Abfällen. Ebenfalls werden Lücken und Herausforderungen der Umsetzung, aktuelle Risiken und Empfehlungen zur Risikovermeidung, welche sich für diese POP-belasteten Abfälle und deren Behandlung ergeben, dargestellt.

Die Betrachtung führte ebenfalls zur Identifikation von Handlungsoptionen und Forschungsbedarf, welche „außerhalb“ der Verfahren des Stockholmer Übereinkommens liegen. Die Handlungsoptionen beinhalten:

- ▶ Überwachung von Importprodukten,
- ▶ Minimierung des Exports von POP-haltigen Gebrauchtgeräten und Abfällen und Unterstützung des Kapazitätsaufbau in betroffenen Ländern,
- ▶ Inventarisierung von SCCP- und HCBd-kontaminierten Böden sowie Überwachung und Kontrolle von Sickerwasser aus diesen Böden,
- ▶ Prüfung der Aufnahme von HCBd und PCN in die nationalen Trendtabellen (CLRTAP), um ein besseres Verständnis über die Emissionen dieser zu erhalten.

Nachfolgenden findet sich der identifizierte Forschungsbedarf:

- ▶ Entwicklung und Förderung von Methoden zur generellen Separierung von POP-haltigen Abfällen und anschließende sachgerechte Entsorgung,
- ▶ Ermittlung von genauen Produktions- und Verwendungszahlen sowie Anwendungskonzentrationen (vor allem im Bereich der Bauindustrie) von DecaBDE,
- ▶ Verbesserung der Datenlage zu PCN in Anwendungen und Abfällen durch stichprobenartige Beprobungen von Bauabfällen.

Herausforderung: POP in Gebäuden

Zusätzlich wurden Factsheets zu dem aktuellen Stand ausgewählter POP in Gebäuden erstellt. Diese beinhalten den rechtlichen Hintergrund, die frühere Herstellung der relevanten POP sowie deren Vorkommen in Gebäuden, Einsatzkonzentrationen in Erzeugnissen und daraus resultierende Abfallströme. Ebenfalls wurden die Abfallbehandlung, der zukünftige Anfall an POP-haltigen Abfällen aus Gebäuden sowie die Hindernisse und mögliche Maßnahmen beleuchtet.

Nachfolgend findet sich die tabellarische Darstellung des Vorkommens bzw. der ehemaligen Verwendung der einzelnen POP in Gebäuden.

Tabelle 1: Vorkommens bzw. ehemaligen Verwendung der POP in Gebäuden

Produkt	POP									
	Lindan	DDT	PCN	PCB	PCP	HBCDD	SCCP	c-Octa-BDE	c-Penta-BDE	c-Deca-BDE
Rohre								X	X	X
Fugen- und Dichtungsmasse			X ¹	X	X ²		X			X
Dämmstoffe						X			X	X
Lacke & Farben				X	X ²	X ²				
Klebstoffe				X	X ²	X ²	X			X
Latexbindemittel						X ²				
Holzkonstruktionen und Dachbalken durch Einsatz als Holzschutzmittel oder von Klebern, Farben und Lacken	X ⁵	X ⁵	X	X	X		X ⁴			
Verstärkte Kunststoffe										X
Schalter und Anschlüsse										X
Elektrische Kanäle										X
Kabelummantelungen			X ³	X			X		X	X
Deckenverkleidungen				X						
Fensterprofile									X	
Bodenbeläge und Wandverkleidungen				X			X		X	
HIPS in Verteilerkästen						X ²				

¹ kein Hinweis auf Verwendung oder Vorkommen in Deutschland

² Aufgrund der geringen Einsatzmengen im Vergleich zu den anderen Anwendungen ist diese Anwendung wohl vernachlässigbar

³ Die meisten Kabelanwendungen der 1920er bis 1960er Jahre sind bereits entsorgt, womit diese Anwendung nur noch eine untergeordnete Rolle spielt.

⁴ SCCP können durch ihre Anwendung in Beschichtungen und Lacken auch in Holzprodukten gefunden werden. Die Anwendung von SCCP in Beschichtungen und Lacken fand bei Schiffen, Maschinen, Brücken und Masten, Holz, Schwimmbecken, Fassaden- und Straßenmarkierungsfarben sowie flammhemmenden Beschichtungen statt. Somit spielt diese Anwendung für den Wohnhausbau, mit Ausnahme von Holzprodukten, keine relevante Rolle.

Hieraus ergaben sich folgende Handlungsoptionen, welcher „**außerhalb**“ der Verfahren des Stockholmer Übereinkommens liegen.

- ▶ Inventarisierung von relevanten POP in Gebäuden zum besseren Verständnis des Vorkommens der POP und der potentiellen Emission in der Abfallbehandlung.

Im Rahmen des Projektes wurde aufgrund der identifizierten Informationen ebenfalls folgender Forschungsbedarf abgeleitet:

- ▶ Forschung zum schadlosen Gebäuderückbau, um die POP möglichst sachgerecht aus dem Kreislauf entfernen zu können,
- ▶ Weiterentwicklung und Forschung zur Implementierung von Techniken zur Abtrennung von POP-haltigen Abfallfraktionen während der Abfallbehandlung,
- ▶ Messkampagne zur Bestimmung von POP-Konzentrationswerten in Bauabfällen.

Umfassende Recherche zum Vorkommen der Stoffe in Umweltmedien

Teil des Vorhabens war auch die Forschung zum Vorkommen von bestimmten POP in Umweltmedien, um die Ausbreitung der POP besser verstehen zu können. Um den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand korrekt abzubilden, wurde eine systematische Identifikation und anschließende Bewertung der wissenschaftlichen Literatur sowie anderer relevanter Quellen durchgeführt. Insgesamt lieferte die Recherche 35 wissenschaftliche Studien, die für das Vorkommen der POP in Umweltmedien in Deutschland relevant sind. Zusätzlich konnten zahlreiche relevante Länderberichte und Datenbanken identifiziert werden.

Die Ergebnisse der Recherche fanden Eingang in die jeweiligen Kapitel des NIP für die neuen POP. Sie lassen ebenfalls weitere Rückschlüsse über Trends und das Ableiten möglicher Maßnahmen zu. Ferner erlauben die Ergebnisse potentielle Lücken im bestehenden Monitoring zu identifizieren. (siehe auch Tabelle 5).

Kommunikation mit der Fachöffentlichkeit

Um den fachlichen Austausch zur nationalen Umsetzung der Verpflichtungen aus dem Stockholmer Übereinkommen sowie die Kommunikation mit der Fachöffentlichkeit zu fördern, fanden zwischen Juni 2020 und Februar 2021 Workshops im Rahmen der Workshopreihen „Wie werden wir unserer Verantwortung zu POP gerecht? – Ein ambitionierter Nationaler Durchführungsplan 2020 zum Stockholmer Übereinkommen“ und „Verringerung der Emissionen von PCB (und anderen POP) aus Gebäuden“ statt. Basierend auf den Diskussionsbeiträgen der Teilnehmer*innen im Rahmen der Workshopreihen wurden Handlungsempfehlungen sowie weiterer Forschungsbedarf zu den jeweiligen Workshop-Themen identifiziert (siehe hierzu Kapitel 4.3).

Maßnahmen zur Verringerung oder Verhinderung von Freisetzungen

Im Rahmen der Arbeiten zur Aktualisierung des deutschen NIP wurden Maßnahmen diskutiert, welche bei der Veröffentlichung, nach Abstimmung mit dem UBA, nicht in den Rahmen des NIP fielen. Diese Maßnahmen zur Verringerung oder Verhinderung von Freisetzung sind in Kapitel 5 dargestellt.

Summary

Persistent organic pollutants (POPs) are organic chemicals that are characterised by their longevity (persistence), accumulate in organisms and thus in the food chain (bioaccumulation and biomagnification) and have harmful effects on the organism of humans and animals. POPs also have the potential for long-range transport and can spread worldwide via air and ocean currents.

Since the production, use and harmful effects of these chemicals can be spaced very far apart, both in time and space, effective limitation of their harm requires international cooperation and agreements. Therefore, POPs are subject of the Stockholm Convention on POPs and the POP Protocol under the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution of the United Nations Economic Commission for Europe (UNECE CLRTAP). Both international conventions recognise the above-mentioned problem of POPs and the need for international action to reduce or eliminate production, use and releases of these substances as far as possible.

The preparation of a national implementation plan (NIP) is part of the obligation of the Parties to the Stockholm Convention and is to be reviewed regularly and updated to include newly included POPs.

The focus of the current (2020) implementation plan and this report are the new POPs adopted during the 7th and 8th Conference of the Parties to the Stockholm Convention

- ▶ HCBd,
- ▶ PCP,
- ▶ PCN,
- ▶ DecaBDE and
- ▶ SCCP.

The aim of this report is to identify the gaps and challenges in implementation identified during the preparation of the NIP and to derive options for action and further research needs. These were identified, among other approaches, through communication with the interested professional public.

Updating the NIP

Within the framework of the research project, an update of the NIP for Germany was carried out, which has been published as a standalone document. For the update, possible ways of restructuring the NIP were presented and discussed. In order to enable comparability of the German NIP with the previous years and the contents of the articles of the Stockholm Convention and still take the recommendations of the draft UNEP Guidelines into account, a hybrid approach of the previous report and the UNEP Guidelines was opted for.. A tabulation of the legal and regulatory framework was also undertaken as part of the revision of the NIP (see Appendix A.1 for this).

Identification of challenges and possible gaps

For the identification of challenges and possible gaps, the topic of POPs was considered from several points of view. These and the resulting identified challenges and gaps, as well as the research needs and options for action that can be implemented “**outside**” the procedures of the

Stockholm Convention or the EU POPs Regulation in the narrower sense, are briefly summarised below.

Further use of POPs with special consideration of the circular economy

In the context of the circular economy and POPs, substance and waste law has increasingly come to the foreground in recent years. For this reason, detailed information on the further use/occurrence of POPs and their relevance in the waste streams, with special consideration of the circular economy, was collected and summarised (for this, see also Table 1). Particularly noteworthy are hexabromocyclododecane (HBCDD) in expanded polystyrene and extruded polystyrene, short-chain chlorinated paraffins (SCCP) in the rubber industry as well as in sealants, adhesives and plasticisers, polychlorinated biphenyls (PCB) in open applications and finally decabromodiphenyl ether (decaBDE) in its applications in the automotive, electrical and electronics, textile and construction industries. These POPs will continue to have a high relevance in waste in the future due to their long product life and their high application quantities. However, pentachlorophenol (PCP) and polychlorinated naphthalenes (PCN) may also continue to occur in wastes with a lower relevance.

Identifying opportunities to eliminate exemptions and establish sustainable alternatives

The overall objective of the Stockholm Convention is both to phase out the use of POPs completely, to identify the stocks already present in the economic cycle and the environment and to develop strategies for sustainable disposal. This also includes substituting POPs in an informed and proactive manner. In this context, it is important to avoid regrettable substitution chains in the future (e.g. substitution of POPs with substances that have the same or similar or other undesirable properties). The results of the identification of opportunities to eliminate exemptions and establish sustainable alternatives should serve as a basis for assessing which possibilities exist to forgo currently applicable exemptions. This is illustrated using the examples of PFOS and decaBDE. Both of these substances have already been included in the EU POP Regulation, but still have exemptions that are limited in time.

PFOS was included in Annex B of the Stockholm Convention in 2009 due to its toxic, persistent and bioaccumulative properties. This limited production and use to a few exemptions, of which only one is now permitted in the European Union (EU), namely use as a "spray suppressant for non-decorative hard chrome plating (chromium VI) in closed loop systems". This entry was changed from an acceptable use to a specific exemption on 09.07.2020, thus this exemption is only possible for a maximum period of five years after the entry into force of this change. However, the exemption may be extended for a further five years at the request of a Member State on the basis of a continuing need for this use.

With the inclusion of PFOS in the Stockholm Convention and the EU POP Regulation, the global trend of PFOS use is declining. However, alternatives must be chosen proactively to protect people and the environment.

In Germany, the use of PFOS in hard chrome plating in closed systems has already been replaced. As an alternative, 6:2 FTS is mostly used, which could also be restricted under the PFHxA REACH restriction procedure.

Fluorinated, fluorine-free and non-chemical alternatives are already available globally, but their application is limited depending on the substance and process. The disadvantages are lower performance, higher costs and possible inputs into the environment.

DecaBDE was included in Annex A of the Stockholm Convention in 2019. The technical (or commercial) trade form of decabromodiphenyl ether (c-decaBDE) is very largely decaBDE (77%

- 98%) with small proportions of nona- and octaBDE. decaBDE has been granted some exemptions for production, placing on the market and use. DecaBDE can therefore be used:

- a) in the manufacture of an aircraft, until 18 December 2023 or, in cases where the continuing need is justified, until 2 March 2027;
- b) in the case of the manufacture of spare parts for
 - a) an aircraft;
 - b) motor vehicles covered by Directive 2007/46/EC of the European Parliament and of the Council (2) until 2036 or the end of the service life of those motor vehicles;
- c) electrical and electronic equipment covered by Directive 2011/65/EC.

The exemptions are presented in a simplified way. For a more detailed elaboration see chapter 3.2.2.

The industry already knew that c-decaBDE would be banned, which meant that most companies had already switched to alternatives. This resulted in c-decaBDE already being largely eliminated from manufacturing processes in 2019. The exemptions listed in the EU-POP Regulation are therefore not listed because of a lack of alternatives, but have an authorisation-related background, which is why they are limited in time.

The alternatives listed in Chapter 3.2.2.3 are already used by industry and some can be used as so-called "drop-in" alternatives due to their similarity to c-decaBDE. Examples are DBDPE and EBTBP. However, due to their close similarity to c-decaBDE, they also have similar hazardous characteristics, which means that many of these substances are currently being analysed for their effects on humans and the environment, as well as for their potential PBT² properties. There are also alternatives that do not exhibit negative effects, such as magnesium and aluminium hydroxide. These, however, have to be added in larger quantities due to their poorer flame retardant properties. Alternatively, techniques or materials that do not require flame retardants could be used.

Due to the large selection of alternatives, the substitution of c-decaBDE has already been completed in most former areas of application. This led to a reduction or a discontinuation of the production of c-decaBDE. However, waste containing c-decaBDE from electrical and electronic equipment, end-of-life vehicles and aircraft will continue to be an obstacle to a pollutant-free circular economy in the coming years.

Based on the results presented here, the following need for research arises:

- ▶ Further research into proven sustainable alternatives (in the form of non-persistent alternative chemicals or alternative materials) to decaBDE in order to avoid "regrettable substitution".

Disposal or role of the new POPs in the material cycle / recycling; analysis of the challenges.

Based on the information in the NIP, fact sheets were prepared on the new POPs, their areas of application and the resulting wastes. They contain information on the production of the new POPs as well as information on the waste resulting from the various applications. Gaps and challenges in the implementation, current risks and recommendations for risk prevention that arise for these POP-contaminated wastes and from their treatment are also presented..

² Persistent (P), bioaccumulative (B) and toxic (T)

The evaluation also led to the identification of options for action and research needs that lie “**outside**” the procedures of the Stockholm Convention. The options for action include:

- ▶ Monitoring of imported products;
- ▶ Minimising exports of used equipment and waste containing POPs and supporting capacity building in affected countries;
- ▶ Inventory of SCCP and HCBD contaminated soils and monitoring and control of leachate from these soils;
- ▶ Consideration of the inclusion of HCBD and PCN in the national trend tables (CLRTAP) to gain a better understanding of the emissions of these.

The following are the research needs identified:

- ▶ Development and promotion of methods for the general separation of POP-containing wastes and subsequent proper disposal;
- ▶ Determination of exact production and use figures as well as application concentrations (especially in the construction industry) of decaBDE;
- ▶ Improving the data situation on PCN in applications and waste through sampling of construction waste.

Challenge: POPs in buildings

In addition, fact sheets on the current status of selected POPs in buildings were prepared. These include the legal background, the past production of the relevant POPs as well as their occurrence in buildings, input concentrations in products and resulting wastes streams. The waste treatment, the future occurrence of POP-containing wastes from buildings and the obstacles and possible measures were also examined.

The following table shows the occurrence and former use of the individual POPs in buildings.

Table 1: Occurrence or former use of POPs in buildings

Products	POPs									
	Lindan	DDT	PCN	PCB	PCP	HBCDD	SCCP	c-Octa-BDE	c-Penta-BDE	c-Deca-BDE
Pipes								X	X	X
Jointing and sealing compound			X ¹	X	X ²		X			X
Insulation materials						X			X	X
Varnishes & paints				X	X ²	X ²				
Adhesives				X	X ²	X ²	X			X
Latex binders						X ²				
Wooden structures and roof beams by use as wood preservatives or of adhesives, paints and varnishes	X ⁵	X ⁵	X	X	X		X ⁴			
Reinforced plastics										X
Switches and connections										X
Electrical ducts										X
Cable sheathing			X ³	X			X		X	X
Ceiling coverings				X						
Window profiles									X	
Floor and wall coverings				X			X		X	
HIPS in distribution boxes						X ²				

¹ No indication of use or occurrence in Germany.

² Due to the small quantities used compared to the other applications, this application is possibly negligible.

³ Most cables from the 1920s to 1960s have already been disposed of, which means that this application only plays a minor role.

⁴SCCPs can also be found in wood products through their use in coatings and varnishes. The application of SCCPs in coatings and paints has been found in ships, machinery, bridges and masts, wood, swimming pools, facade and road marking paints, and flame retardant coatings. Thus, this application does not play a relevant role for residential construction, with the exception of wood products.

This resulted in the following options for action, which lie “**outside**” the procedures of the Stockholm Convention:

- ▶ Inventory of relevant POPs in buildings to better understand the occurrence of POPs and their potential emission in waste treatment.

The project also derived the following research needs based on the identified information:

- ▶ Research on damage-free deconstruction in order to be able to remove POPs from the cycle as appropriately as possible,
- ▶ Further development and research on the implementation of techniques for the separation of waste fractions containing POPs during waste treatment,
- ▶ Measurement campaign to determine POP concentration values in construction waste.

Extensive research on the occurrence of substances in environmental media

Part of the project was also research on the occurrence of certain POPs in environmental media in order to better understand the dispersion of POPs. In order to correctly represent the current state of scientific knowledge, a systematic identification and subsequent assessment of the scientific literature and other relevant sources was carried out. In total, the search yielded 35 scientific studies relevant to the occurrence of POPs in environmental media in Germany. In addition, numerous relevant country reports and databases were identified.

The results of the search were incorporated into the respective chapters of the NIP for the new POPs. They also allow further conclusions about trends and the derivation of possible measures. Furthermore, the results allow to identify potential gaps in the existing monitoring (see also Table 4).

Communication with the professional public

In order to promote and facilitate professional exchange on the national implementation of the obligations under the Stockholm Convention and communication with the professional public, workshops were held between June 2020 and February 2021 as part of the workshop series "How do we live up to our responsibility on POPs? - An ambitious 2020 National Implementation Plan for the Stockholm Convention" and "Reducing emissions of PCBs (and other POPs) from buildings". Based on the participants' contributions to the discussion during the workshop series, recommendations for action and the need for further research on the respective workshop topics were identified (see chapter 4.3).

Measures to reduce or prevent releases

As part of the work on updating the German NIP, measures were discussed which, after consultation with the UBA, did not fall within the scope of the NIP when it was published. These measures to reduce or prevent releases are presented in Chapter 5.

1 Hintergrund und Zielsetzung des Projekts

1.1 Hintergrund

Persistente organische Schadstoffe (engl. Persistent Organic Pollutants kurz POP) sind chemische Substanzen, die nach ihrer Freisetzung lange in der Umwelt verbleiben, über Nahrungsketten, insbesondere im Fettgewebe, stark akkumulieren und so schließlich Konzentrationen erreichen, welche schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt haben. POP haben darüber hinaus das Potential zum weiträumigen Transport und können sich über Luft- und Meeresströmungen weltweit verbreiten. Sie stellen somit nicht nur lokale oder regionale Risiken für die Umwelt und die menschliche Gesundheit dar, sondern belasten auch emissionsferne Regionen der Erde. Besonders gefährdet erscheinen arktische Regionen und Gebirge, in die POP durch Luftströmungen eingetragen werden und sich durch Kondensation ablagern.

POP sind Gegenstand des Stockholmer Übereinkommens (SÜ) zu POP und des POP-Protokolls unter dem Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE CLRTAP). Beide völkerrechtlichen Übereinkommen erkennen die oben genannte Problematik von POP an sowie die Notwendigkeit, internationale Aktivitäten zu unternehmen mit dem übergreifenden Ziel, Produktion, Verwendung und Freisetzungen der Substanzen soweit wie möglich zu reduzieren bzw. zu beenden. In diesem Sinn treffen die Übereinkommen Vorgaben für die Vertragsstaaten zu absichtlich hergestellten POP, zu unabsichtlich freigesetzten POP sowie zu POP-haltigen Abfällen. Die Vertragsparteien sind somit verpflichtet, Maßnahmen zu implementieren und in die Praxis umzusetzen, welche die Freisetzung der POP in die Umwelt unterbinden oder minimieren.

Die Erstellung eines spezifischen, nationalen Durchführungsplans ist Teil der Verpflichtungen der Vertragsparteien des Übereinkommens. Art.7 Abs. 1(a) des Vertrags legt fest, dass jede Vertragspartei für sich einen nationalen Durchführungsplan aufstellt und diesen innerhalb von zwei Jahren nach in Krafttreten des Übereinkommens der Konferenz der Vertragsparteien übermittelt (Art.7 Abs. 1(b)). Der Plan ist in regelmäßigen, von der Konferenz der Vertragsparteien festzulegenden Abständen zu überprüfen und weiter zu entwickeln (Art.7 Abs. 1(c)).

Die bei der 7. und 8. Konferenz der Mitgliedsstaaten des Stockholmer Übereinkommens (COP) neu aufgenommenen POP waren noch nicht Gegenstand eines deutschen Durchführungsplans. Daher stehen diese POP (HCBD, PCP, PCN, DecaBDE und SCCP) im Mittelpunkt dieses Durchführungsplans.

1.2 Zielsetzung

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde der aktualisierte NIP erstellt. Weitere Ziele des Vorhabens waren:

- ▶ Anhand der Aktualisierung des NIP Lücken der nationalen Regulierung und Herausforderungen bei der Umsetzung zu identifizieren sowie,
- ▶ Entsprechende Ableitung von Handlungsoptionen und -anleitungen bzw. Darstellung des weiteren Forschungsbedarfs,

1.3 Berichtsstruktur

Im Folgenden wird die Berichtsstruktur kurz erläutert. In Kapitel 2 sind die Vorarbeiten für die Aktualisierung des NIP dargestellt. Diese beinhaltet die Anpassung der Struktur sowie die Arbeiten zum regulatorischen Rahmen.

In den Kapiteln 3 und 4 finden sich die Lückenanalyse sowie die Beschreibung der Kommunikation mit der Fachöffentlichkeit laut Leistungsbeschreibung und die daraus resultierenden Ergebnisse. Diese Kapitel behandeln folgende Themen:

- ▶ Beschreibung der weiteren Verwendung der POP unter besonderer Berücksichtigung der Kreislaufwirtschaft (Kapitel 3.1),
- ▶ Eruiierung, welche Möglichkeiten bestehen, auf Ausnahmen zu verzichten und nachhaltige Alternativen zu etablieren sowie aufzeigen, wo dies problematisch ist (Kapitel 3.2),
- ▶ Herausarbeitung der Entsorgung bzw. Rolle der neuen POP im Stoffkreislauf/Recycling und darauf resultierenden Herausforderungen (Kapitel 3.3),
- ▶ Erarbeitung eines Fallbeispiels zu der Herausforderung POP in Gebäuden (Kapitel 3.4),
- ▶ Umfassende Recherche zum Vorkommen der Stoffe in Umweltmedien (Kapitel 3.5),
- ▶ Benennung des weiteren Forschungsbedarfs „außerhalb“ der Verfahren des SÜ bzw. der POP-VO im engeren Sinne (Kapitel 3.6) sowie
- ▶ Die Kommunikation mit der Fachöffentlichkeit (Kapitel 4.1 und 4.2) und die daraus resultierenden Handlungsempfehlungen (Kapitel 4.3)

In Kapitel 5 finden sich Maßnahmen zur Verhinderung oder Verringerung der Freisetzung sowie zu Informationsbildung und Forschung, welche im Zuge der Erarbeitung des NIP diskutiert wurden, jedoch nicht in den Rahmen des NIP fallen und daher dort nicht berücksichtigt sind. Hierbei handelt es sich jedoch um Maßnahmen, welche möglicherweise zu einer verbesserten Umsetzung der Situation bezüglich POP beitragen können. Diese Maßnahmen sollten in Verbindung mit den Maßnahmen, welche innerhalb des NIP aufgeführt sind, betrachtet werden. Diese Maßnahmen in Kapitel 5 sind in Anlehnung an die Struktur des NIP aufgeführt.

2 Aktualisierung des NIP

Im Folgenden werden die durchgeführten Schritte der Aktualisierung des NIP dargestellt. Diese beinhalten die vorgenommene Umstrukturierung, die Analyse des rechtlichen Rahmens sowie die Recherche für die Erweiterung zu den neuen POP. Der Entwurf der Endversion des NIP auf der Grundlage der bisherigen Arbeiten wurde dem UBA am 31.08.2020 elektronisch übermittelt.

2.1 Strukturierung des NIP

Im Auftaktgespräch am 14.08.2019 in Dessau wurde die mögliche Umstrukturierung des NIP besprochen. Hierbei wurden verschiedene Optionen für die Strukturierung des NIP vorgestellt. Zum einen kann der NIP in Anlehnung an die Artikel des Stockholmer Übereinkommens gegliedert werden (derzeitige Struktur des NIP (2017)³). Eine weitere Option, welche von den meisten Mitgliedsstaaten (MS) der EU genutzt wird, ist eine Struktur entsprechend dem Entwurf des UNEP-Leitfadens (2017)⁴.

Um eine bessere Vergleichbarkeit des deutschen NIP mit den Vorjahren und den Inhalten der Artikel des Stockholmer Übereinkommens, sowie eine bessere Ableitung von Maßnahmen und Strategien zu ermöglichen und dennoch die Empfehlungen des Entwurfs des UNEP-Leitfadens zu berücksichtigen, wurde eine Lösung zwischen den beiden Optionen gewählt. Hierbei wurde die bestehende Struktur des NIP im Grunde beibehalten, jedoch wurden die einzelnen Kapitel untergliedert, um die bisherige Entwicklung, den Ist-Zustand und die durchgeführten und durchzuführenden Maßnahmen und Aktionen klar strukturiert darzustellen (analog den Empfehlungen des Entwurfs des UNEP-Leitfadens).

Zusätzlich wurden die im Auftaktgespräch vereinbarten Inhalte, welche im Entwurf des UNEP-Leitfadens aufgegriffen werden, sofern in enger Abstimmung mit dem UBA als relevant erachtet, in die neue Struktur integriert.

2.2 Regulatorischer Rahmen

Im Auftaktgespräch wurde neben der Aktualisierung eine übersichtliche Darstellung des regulatorischen Rahmens und der POP betreffenden Gesetze in Kapitel 2 des NIP vereinbart. Anschließend wurde das Kapitel zum regulatorischen Rahmen im bestehenden NIP an die im Auftaktgespräch besprochene Darstellung angepasst. Die Inhalte wurden überarbeitet und um neue relevante europäische und nationale Gesetze erweitert. Hierbei wurde ebenfalls ein separates Dokument „der Rechtskataster“ finalisiert, welche einen Überblick über die Zielsetzungen POP-relevanter europäischer und nationaler Gesetzgebung sowie deren Bezug zu dem Stockholmer Übereinkommen darstellt (siehe hierfür Anlage A.1).

2.3 Recherche

Für die Recherche zu den neu aufgenommenen POP wurde eine allgemeine Internetrecherche sowie eine Literaturrecherche über eine unabhängige Datenbanken-Suchmaschine für die jeweilige Substanz durchgeführt und die Kapitel im NIP entsprechend aktualisiert oder neu erstellt.

³ <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/nationaler-durchfuehrungsplan-der-bundesrepublik>

⁴ <http://chm.pops.int/Implementation/NIPs/Guidance/GuidanceforDevelopingNIP/tabid/3166/Default.aspx>

Im Zuge der Recherchen und Arbeiten zu den neuen POP (PCP, PCN, SCCP, DecaBDE und HCBD) wurden aktuell betroffenen Akteure und Akteurinnen und relevante Expert*innen zu den jeweiligen Substanzen identifiziert und in die Akteursliste aufgenommen und ggf. kontaktiert.

3 Identifikation von Herausforderungen und eventuellen Lücken

In diesem Kapitel werden Herausforderungen und eventuelle Lücken bei der Umsetzung der Verpflichtungen aus dem SÜ identifiziert. Dies geschieht im Rahmen der unter Kapitel 1.3 beschriebenen Gliederung.

3.1 Beschreibung der weiteren Verwendung der POP unter besonderer Berücksichtigung der Kreislaufwirtschaft

Das Stoff- und Abfallrecht rückt im Kontext der Kreislaufwirtschaft und POP in den letzten Jahren immer mehr in den Vordergrund. Aus diesem Grund wurden detaillierte Informationen zur weiteren Verwendung/Vorkommen der POP und deren Relevanz in den Abfallströmen, unter besonderer Berücksichtigung der Kreislaufwirtschaft, erhoben und zusammengefasst.

Hierbei gab es große Überschneidung mit den Arbeiten für den NIP. Detaillierte Informationen zur weiteren Verwendung/Vorkommen der neuen POP (DecaBDE, SCCP, HCB, PCN und PCP) wie auch relevanter früher gelisteter POP (Hexabromcyclododecan (HBCDD), Perfluoroktansulfonsäure (PFOS), Polychlorierte Biphenyle (PCB)) und deren Relevanz in den Abfallströmen sind in den entsprechenden NIP Unterkapiteln im Entwurf des NIP zusammengefasst (6.3 „POP-haltige Abfälle“). Eine weitere Ausführung der neuen POP findet sich in Kapitel 3.3.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse sowie eine Einschätzung der weiteren Verwendung zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 2: Übersicht über POP, weitere Verwendung und relevante Bereiche im Hinblick auf das Abfallaufkommen und die Abfallentsorgung

Potentieller Quellsektor	Gelistete POP	Einschätzung der weiteren Verwendung / Vorkommen	Relevanz in Abfallströmen und Einschätzung	Weitere Informationen (z.B. Ausnahmen, weitere Verwendung in Deutschland, etc.)
Expandiertes Polystyrol (EPS) für die Bauindustrie	HBCDD	Bis 2015 hohe Relevanz in Produkten	Hohe Relevanz über viele Jahre hinweg	Aufgrund der hohen Lebensdauer wird auch zukünftig HBCDD-haltiger Abfall anfallen.
Extrudiertes Polystyrol (XPS) für die Bauindustrie	HBCDD	Bis 2015 hohe Relevanz in Produkten	Hohe Relevanz über viele Jahre hinweg	Aufgrund der hohen Lebensdauer wird auch zukünftig HBCDD-haltiger Abfall anfallen.
EPS/XPS außerhalb der Baubranche	HBCDD	Aktuell in Produkten nicht mehr relevant	In Abfällen aufgrund begrenzter Lebensdauer der Produkte nicht mehr relevant	-
High Impact Polystyrol (HIPS) für Elektro- und Elektronikgeräte	HBCDD	Aktuell in Produkten nicht mehr relevant	Abfälle werden bis ca. 2025 noch anfallen aber untergeordnete Relevanz. Importe könnten für Abfälle eine gewisse Rolle spielen.	-
Polymerdispersionen für Textilien	HBCDD	Seit 2007 nicht mehr relevant in Produkten	Aufgrund der Verwendungsmenge in Deutschland und der Lebensdauer untergeordnete Relevanz in Abfällen	-
Klärschlamm	HBCDD	Nicht relevant	-	-
Verbrennungsrückstände Abfallverbrennung	HBCDD	Nicht relevant	-	-
Lacke und Farben	HBCDD	Nicht relevant	-	-
Holzkonstruktionen im Baubereich	Lindan, DDT	Nicht relevant	Lindan und DDT wurden vor allem in der DDR bis 1990	-

Potentieller Quellsektor	Gelistete POP	Einschätzung der weiteren Verwendung / Vorkommen	Relevanz in Abfallströmen und Einschätzung	Weitere Informationen (z.B. Ausnahmen, weitere Verwendung in Deutschland, etc.)
			verwendet und werden deshalb in den kommenden Jahren noch im Abfall vorkommen, jedoch mit untergeordneter Relevanz	
Holzimprägnierung	PCP	Nicht relevant	Relevanz in Abfällen und evtl. auch in recycelten Erzeugnissen	Grenzwert von 5 mg/kg für unbeabsichtigte Spurenstoffkonzentrationen von PCP wurde in die POP VO aufgenommen, entspricht dem in Deutschland geltenden Grenzwert in der AltholzVO
Textilindustrie	PCP	Nicht relevant	Im Vergleich zu Holzimprägnierung von untergeordneter Relevanz	-
Bau- und Abbruchabfälle (Dichtungsmassen, Anstriche von Metallkonstruktionen)	PCN	Nicht relevant	Möglicherweise relevant, da keine Informationen zur Anwendung in Deutschland verfügbar sind.	-
Holzkonstruktionen	PCN	Nicht relevant	In Abfällen aufgrund der langen Lebensdauern von Gebäuden auch weiterhin relevant	-
Gummi und Kabelisolierungen	PCN, SCCP	Nicht relevant	Geringe Relevanz durch die kurze Lebensdauer der Produkte	-
Metall- und Lederbearbeitungsmittel	SCCP	Nicht relevant	Nicht relevant	-
Gummiindustrie	SCCP	Relevanz in Produkten (Förderbänder und Dammabdichtungen)	Relevant in Abfällen und evtl. auch in recycelten Erzeugnissen	-

Potentieller Quellsektor	Gelistete POP	Einschätzung der weiteren Verwendung / Vorkommen	Relevanz in Abfallströmen und Einschätzung	Weitere Informationen (z.B. Ausnahmen, weitere Verwendung in Deutschland, etc.)
Importe von Erzeugnissen, welche POP in Konzentrationen oberhalb der Grenzwerte in Anhang I der EU-POP-VO enthalten (diverse Gummierzeugnisse, Polyvinylchlorid (PVC), Kunststoffe und als Weichmacher)	SCCP, DecaBDE, HBCDD	Relevanz in Produkten,	Relevant in Abfällen und evtl. auch in recycelten Erzeugnissen.	Zeitraumen der Relevanz in Produkten und Abfällen hängt von der Ratifizierung des SU anderer Staaten, primär China, ab.
Dicht- und Klebstoffe und Weichmacher	SCCP	Relevanz in Produkten	Relevant in Abfällen	-
Farben und Lacke	SCCP	Nicht relevant	Nicht relevant	-
Textilindustrie	SCCP	Nicht relevant	Nicht relevant	-
Lederindustrie	SCCP	Nicht relevant	Nicht relevant	-
Spezialpapiere	SCCP	Nicht relevant	Nicht relevant	-
Sekundärquelle (Klärschlamm)	SCCP	Nicht relevant	Nicht relevant	-
Fotomaterialien	PFOS	Keine Verwendung, nicht relevant	Nicht relevant	-
Hartverchromung - Galvanik	PFOS	Nicht relevant	Keine Einschätzung zu Abfällen möglich	Abwässer und Abfälle aus der Galvanik werden nicht gezielt auf PFOS behandelt, daher ist keine Einschätzung möglich
Bau- und Abbruchabfälle (Fugen- und Dichtungsmassen, Bodenbeläge, Lacke, Farben, Klebstoffe, Holzkonstruktionen, Kabelummantelungen, etc.)	PCB	Aktuell in Produkten nicht mehr relevant	Hohe Relevanz über viele Jahre hinweg	
Transformatoren und Kondensatoren	PCB	Aktuell in Produkten nicht mehr relevant	Sinkende Relevanz in Abfällen	

Potentieller Quellsektor	Gelistete POP	Einschätzung der weiteren Verwendung / Vorkommen	Relevanz in Abfallströmen und Einschätzung	Weitere Informationen (z.B. Ausnahmen, weitere Verwendung in Deutschland, etc.)
Isolier- und Wärmeübertragungsöle	PCB	Aktuell in Produkten nicht mehr relevant	Sinkende Relevanz in Abfällen	
Flammschutzmittel	Tetra-, Penta-, Hexa- und HeptaBDE	siehe Ausnahmen	c-Octa- und c-PentaBDE können in Bau- und Abbruchabfällen auch zukünftig noch relevant sein. Diese wurden jedoch im Bausektor im Vergleich zu DecaBDE nur in geringen Mengen eingesetzt.	Erzeugnisse mit Verunreinigungen bis zu 10 mg/kg Tetra-, Penta-, Hexa- oder HeptaBDE in Stoffen marktfähig, Erzeugnisse oder Gemische, in denen Rezyklate eingesetzt sind, bis zu einer Summenkonzentration von 500 mg/kg der PBDEs Tetra-, Penta-, Hexa-, Hepta oder DecaBDE marktfähig. Erzeugnisse im Rahmen der Richtlinie 2011/65/EG (RoHS-Richtlinie oder RoHS) grundsätzlich bis zu einem Gehalt an PBDE (Summe) von 1000 mg/kg markt-fähig.
Elektro- und Elektronikgeräte	DecaBDE	Durch die lange Lebensdauer weiterhin relevant.	Durch die lange Lebensdauer in Abfällen und eventuell in recycelten Erzeugnissen.	An sich sind die Herstellung, das Inverkehrbringen und die Verwendung verboten, jedoch sind:
Fahrzeugindustrie	DecaBDE	Durch die lange Lebensdauer und Ausnahmen weiterhin relevant	Durch die lange Lebensdauer in Abfällen und eventuell in recycelten Erzeugnissen	Erzeugnisse mit Verunreinigungen bis zu 10 mg/kg DecaBDE in Stoffen marktfähig,
Textilien	DecaBDE	Relevanz in Produkten	Relevant in Abfällen	Erzeugnisse oder Gemische, in denen Rezyklate eingesetzt sind, bis zu einer Summenkonzentration von 500 mg/kg der PBDEs Tetra-, Penta-, Hexa-, Hepta oder DecaBDE marktfähig.
Baustoffe	DecaBDE	Durch die lange Lebensdauer weiterhin relevant	Durch die lange Lebensdauer weiterhin relevant	

Potentieller Quellsektor	Gelistete POP	Einschätzung der weiteren Verwendung / Vorkommen	Relevanz in Abfallströmen und Einschätzung	Weitere Informationen (z.B. Ausnahmen, weitere Verwendung in Deutschland, etc.)
				<p>Abweichend hiervon sind, sofern die Mitgliedsstaaten der Kommission bis Dezember 2019 Bericht erstatten, die Verwendung von DecaBDE für folgende Zwecke, unter Auflagen, zulässig: Für die Herstellung eines Luftfahrzeuges bis spätestens 2027</p> <p>Bei der Herstellung von Ersatz-teilen für Luftfahrzeuge und Kraftfahrzeuge unter der Richtlinie 2007/46/EG Für Erzeugnisse im Rahmen der RoHS grundsätzlich bis zu einem Gehalt an PBDE (Summe) von 1000 mg/kg marktfähig. Erzeugnisse, die in der Union bereits vor dem 15. Juli 2019 verwendet wurden, sind zu-lässig.</p>
Klärschlämme	DecaBDE	Potentiell relevant		

Quelle: (UBA 2017b)

3.2 Identifikation von Möglichkeiten, auf Ausnahmen zu verzichten und nachhaltige Alternativen zu etablieren

Das übergeordnete Ziel des Stockholmer Übereinkommens ist es, sowohl die Verwendung der POP vollständig zu beenden, als auch die bereits im Wirtschaftskreislauf und in der Umwelt vorhandenen Bestände zu identifizieren und Strategien zu einer nachhaltigen Entsorgung zu entwickeln (also POP identifizieren, gezielt ausschleusen und vernichten oder in Ausnahmefällen kontrollieren). Dazu zählt auch, die POP informiert und proaktiv zu substituieren. In diesem Zusammenhang gilt es, Substitutionsketten smarter zu gestalten um eine sogenannte „regrettable substitution“ in der Zukunft zu vermeiden (z.B. Substitution von POP mit Substanzen, welche die gleichen oder ähnliche oder andere unerwünschte Eigenschaften besitzen, deutsch: bedauerliche Substitution).

Die Ergebnisse aus AS 2.1 sollen als Grundlage für die Einschätzung genutzt werden, welche Möglichkeiten bestehen, auf derzeit geltenden Ausnahmen zu verzichten und nachhaltige Alternativen zu etablieren. Dies wird anhand der Beispiele von PFOS und DecaBDE dargestellt. Beide dieser Substanzen wurde bereits in der EU-POP-VO aufgenommen, besitzen jedoch noch zeitlich begrenzte Ausnahmen. Der Hintergrund und die Notwendigkeit der aktuell geltenden Ausnahmen der Substanz in der EU-POP-VO wurden zunächst dargestellt und die verfügbaren Alternativen wurden nachfolgend auf Basis von relevanten Veröffentlichungen beschrieben und auf ihre Anwendbarkeit hin bewertet. Hierbei sollte besonders auf die Nachhaltigkeit der Alternative geachtet werden, sodass eine „regrettable substitution“ vermieden werden kann. Eine allgemeine Darstellung des Sachstandes für PFOS und DecaBDE können im NIP gefunden werden (siehe Kapitel 3.1.5 für DecaBDE und 3.2.2 für PFOS).

3.2.1 Perfluoroktansulfonsäure (PFOS) in der Galvanik

3.2.1.1 Hintergrund

PFOS gehört zu den per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS), welche eine Gruppe von mehr als 4000 Substanzen umfasst. Wegen der oberflächenaktiven Eigenschaften und hervorragenden Resistenz gegenüber anderen Chemikalien wurde PFOS und ihre Salze häufig als Tensid in Feuerlöschschäumen, Beschichtungsmittel für Leder und Textilien, sowie als Hydraulikflüssigkeit in der Luftfahrt eingesetzt. PFOS, ihre Salze und Perfluoroktansulfonsäurefluorid (PFOSF) wurden aufgrund ihrer toxischen, persistenten und bioakkumulierenden Eigenschaften 2009 in den Anhang B des Stockholmer Übereinkommens aufgenommen. Hiermit wurden die Herstellung und Verwendung auf einige Ausnahmen beschränkt, von denen mittlerweile in der Europäischen Union (EU) nur noch eine zulässig ist. In Anhang I der Europäischen POP Verordnung ((EU) 2019/1021) (EU-POP-VO) ist die Verwendung von PFOS als

- ▶ „Mittel zur Sprühnebelunterdrückung für nicht dekoratives Hartverchromen (Chrom VI) in geschlossenen Kreislaufsystemen“

noch gestattet. Hierbei müssen die Mitgliedsstaaten alle vier Jahre der Kommission über die Fortschritte bei der Eliminierung von PFOS berichten und die besten verfügbaren Technologien gemäß Artikel 17 Absatz 2 Unterabsatz 2 der Richtlinie 2008/1/EG zur Verminderung der PFOS-Emissionen anwenden. Dieser Eintrag wurde am 09.07.2020 von einer akzeptierten Verwendung in eine spezifische Ausnahme geändert. Das hat zur Folge, dass die Mitgliedsstaaten diese Ausnahme für einen Zeitraum von höchstens fünf Jahren nach Inkrafttreten dieser Änderung in Anspruch nehmen dürfen. Die Ausnahme wird auf Antrag eines Mitgliedstaates und

auf der Grundlage einer Begründung für die anhaltende Notwendigkeit dieser Verwendung von der Kommission geprüft und kann um weitere fünf Jahre verlängert werden.

Zuvor waren viele weitere Anwendungen erlaubt, welche aufgrund von verfügbaren Alternativen mittlerweile verboten sind. Beispielsweise wurde PFOS in Feuerlöschschäumen als Tensid verwendet. Die oberflächenaktiven Eigenschaften von PFOS setzen hierbei die Oberflächenspannung des Feuerlöschschaums herab, wodurch er sich schnell und effektiv auf der Oberfläche der brennenden Substanz ausbreiten kann. Durch die offene Anwendung beim Löschen von Feuern gelangte PFOS dabei sehr schnell in die Umwelt. Dort verweilt es für eine sehr lange Zeit und reichert sich an, da die chemisch enorm stabile C-F-Bindung in der Natur nicht gespalten werden kann. Durch das Verbot von PFOS ist die Industrie auf Alternativstoffe wie zum Beispiel PFHxS, PFOA und Fluortelomer-basierende Substanzen wie 4H-PFOS (IUPAC-Name: 3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-Tridecafluoroktan-1-sulfonsäure) umgestiegen (Nicol et al. 2020). Diese haben aufgrund ihrer ähnlichen Struktur vergleichsweise dieselben hervorragenden Eigenschaften wie PFOS, jedoch kann auch davon ausgegangen werden, dass sie ebenfalls ähnlich persistent, toxisch und bioakkumulierend sind. Hierbei besteht die Gefahr einer „regrettable substitution“. PFOA ist mittlerweile in dem Stockholmer Übereinkommen als POP gelistet und PFHxS ist zurzeit im Aufnahmeverfahren. Somit kann PFOA nicht mehr als Ersatzstoff verwendet werden und bei PFHxS besteht die Gefahr, dass dessen Einsatz bald beschränkt wird. Es gilt den Fehler, POP mit Substanzen zu ersetzen, die ähnlich gefährliche Eigenschaften haben, in Zukunft zu vermeiden. Eine Möglichkeit wäre die Implementierung der Grundsätze der nachhaltigen Chemie durch Industrie und Regulatorik.

Die letzte erlaubte Anwendung von PFOS als Sprühnebelunterdrücker in der Hartverchromung muss ebenfalls durch chemische oder nicht-chemische Alternativen substituiert werden. In den folgenden Kapiteln wird das Problem der Substitution von PFOS in der Hartverchromung dargestellt, die Alternativen ermittelt und ihre Güte für die Anwendung in der Hartverchromung analysiert.

Für die Evaluierung von Alternativen kann generell das [Guidance-Dokument](#) des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (UNEP) für die Abwägung von Alternativen und Substituenten für gelistete POP herangezogen werden.

3.2.1.2 Verwendung von PFOS in der Hartverchromung

Bei der nicht-dekorativen Hartverchromung werden Oberflächen mit einer dünnen (10 µm – 5 mm) Chromschicht überzogen. Dadurch erhalten die überzogenen Bauteile hochwertige Eigenschaften, die anders schwer zu erzielen sind wie z.B. extrem hohe Härte, Chemikalienbeständigkeit und eine hohe Temperaturbeständigkeit. Beim dekorativen Verchromen wird eine Oberfläche ebenfalls mit einer Chromschicht überzogen, jedoch ist diese viel dünner (0,05 µm – 0,5 µm) als bei der Hartverchromung und weist daher nicht dieselben Eigenschaften auf, erbringt jedoch trotzdem einen gewissen Schutz. Es werden zum Beispiel Sanitäreinrichtungen dekorativ verchromt, welche dadurch eine Resistenz zu den säurehaltigen Reinigungsmitteln erhalten. Hierbei ist zu erwähnen, dass der Begriff „nicht-dekoratives Hartverchromen“ in der praktischen Anwendung nicht existiert. Bei jeder Variante des Hartverchromens handelt es sich um ein nicht dekoratives Hartverchromen. Daher wird empfohlen diesen Begriff in der EU-POP-VO abzuändern, damit keine Unklarheiten entstehen können (Blepp et al. 2016).

Um ein Bauteil zu verchromen, wird es in ein elektrochemisches Bad eingetaucht. Dieses besteht aus einer Prozesslösung, sowie zwei Elektroden bestehend aus Blei, platinieren Titan oder Mischoxiden. Die Lösung enthält meistens ein Gemisch aus Schwefelsäure, beziehungsweise Methansulfonsäure oder Methandisulfonsäure und Chrom(VI)säure. Bei dem elektrochemischen

Verchromungsprozess entstehen Wasserstoff- und Sauerstoffgas an den Elektroden, welche an die Oberfläche wandern. Dort entsteht durch das Platzen der Blasen ein Aerosol, das Chrom(VI) enthält, welches karzinogen ist. Daher sollte die Verwendung und Emission von Chrom(VI) vermieden werden.

Um die Gefahren für die Mitarbeiter zu reduzieren, werden chemische Sprühnebelunterdrücker eingesetzt. Diese sind Tenside, welche die Oberflächenspannung der Beschichtungslösung herabsetzen. Dadurch sind die entstehenden Gasblasen kleiner und wandern langsamer an die Oberfläche. Kleinere Blasen haben eine geringere kinetische Energie, wenn sie an der Oberfläche zerplatzen und somit eine geringere Wahrscheinlichkeit Tropfen in die Luft zu schleudern. Weiterhin wird die Abtropfgeschwindigkeit erhöht, wodurch ein Verschleppen der Prozesslösung verringert wird. Hierfür wurde in den meisten Fällen PFOS verwendet, da es von der extrem sauren Prozesslösung, wegen seiner hohen chemischen Resistenz, nicht zersetzt wird. Die gesetzliche Voraussetzung hierfür ist, dass es sich um einen geschlossenen Kreislauf handelt. Herkömmliche, biologische abbaubare Tenside werden unter diesen Bedingungen schnell zerstört. Meistens wird das quartäre Ammoniumsalz von PFOS mit einer Konzentration zwischen 30 mg/L und 80 mg/L verwendet, welches eine durchschnittliche Prozesslebensdauer von 0,41 bis 0,7 Jahren hat (UNEP 2019a).

3.2.1.3 Alternativen

Um Alternativen für die Hartverchromung in geschlossenen Systemen entwickeln zu können, muss der Begriff des „geschlossenen Systems“ einheitlich definiert werden. Blepp et al. (2016) beschreiben, dass es zurzeit keine einheitliche Definition für die geschlossene Kreislaufführung in Bezug auf PFOS oder Chrom(VI) gibt. Durch die Vielzahl an Verchromungsverfahren ist es nicht möglich eine allgemeingültige Verfahrenstechnik als Stand der Technik zu beschreiben. Die Autoren schlagen eine Reihe an Kennzeichen vor, um einen PFOS-Kreislauf in der Galvanik als geschlossen ansehen zu können, erwähnen jedoch, dass die zumutbaren Möglichkeiten stark von der betrachteten Anlage abhängen. Ziel ist es, den Verlust von PFOS und Chrom(VI) aus dem Prozesskreislauf durch die geeignete Spülung der Bauteile, Rückführung der aufbereiteten Prozesslösung, Waschen der Abluft und Behandlung des Abwassers zu minimieren.

Durch die Aufnahme von PFOS in die EU-POP-VO wurde mit der Suche und Einführung von PFOS-Alternativen begonnen. In Deutschland wird PFOS nicht mehr für die Hartverchromung verwendet, obwohl die Ausnahme für das Hartverchromen noch besteht (Willand et al. 2020). Die aktuell eingesetzten PFOS-Alternativen können in drei Gruppen unterschieden werden: fluorierte Alternativen, fluorfreie Alternativen und nicht-chemische Alternativen. Diese werden im Folgenden näher beleuchtet.

Fluorierte Alternativen

Bei den fluorierten Alternativen werden meist kurzkettenige PFAS eingesetzt, da sie ähnliche Eigenschaften wie PFOS aufweisen. Hierbei wird das Verbot von PFOS mit aktuell noch zulässigen Stoffen umgangen, jedoch haben diese kürzerkettigen PFAS oftmals die selben persistenten Eigenschaften wie PFOS. In Kanada wurde Perfluorbutansulfonsäure mit Erfolg bei der Hartverchromung eingesetzt. Diese Verbindung ist strukturell identisch mit PFOS besitzt jedoch vier Kohlenstoffatome weniger.

Viel häufiger als die Perfluorbutansulfonsäure wird das sogenannte 4H-PFOS verwendet. Hierbei wurden die Fluoratome der ersten beiden säurenahen Kohlenstoffatome durch Wasserstoffatome ersetzt. Es handelt sich bei dieser Substanz um ein sogenanntes Fluortelomer, bei dem die Kohlenstoffkette durch das Einbauen einer Etheneinheit ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$) um zwei Kohlenstoffatome verlängert wird. Im Falle von 4H-PFOS wird auch von 6:2

Fluortelomersulfonsäure (6:2 FTS) gesprochen, da sechs Kohlenstoffatome perfluoriert und zwei Kohlenstoffatome nur mit Wasserstoffen besetzt sind. In Deutschland wurde PFOS in der Hartverchromung flächendeckend durch 6:2 FTS substituiert (Willand et al. 2020). Unter den stark oxidierenden Bedingungen der Prozesslösung ist 6:2 FTS jedoch nicht so stabil wie PFOS und muss daher in der 2 – 5-fachen Mengen verwendet werden, außerdem kann es z. B. mit Aktivkohlefiltern nicht gut zurückgehalten werden, wodurch grundsätzlich höhere Emissionen entstehen. Es wird geschätzt, dass in 2017 insgesamt 3.763 kg 6:2 FTS für das Hartverchromen in Deutschland verwendet wurde (Willand et al. 2020). Wie bei den kurzkettigen PFAS, weisen auch die Telomersubstanzen ähnliche Eigenschaften wie PFOS auf, wodurch sie gerne als Substitutionssubstanzen verwendet werden. Bei dem Abbau der Fluortelomere in der Natur entstehen jedoch kurzkettige perfluorierte Sulfonsäuren (PFSS), wobei die genauen Abbauprodukte noch nicht sehr gut erforscht sind (Buck et al. 2011). Diese Telomere werden in der EU (Tschechien, Finnland und Schweden) und Kanada zurzeit häufig als PFOS-Ersatz verwendet (UNEP 2019a).

Aufgrund ähnlicher Eigenschaften aller PFAS wurden einige bereits verboten oder sind zurzeit in Evaluierungsprozessen. PFOA wurde 2019 in den Anlage A des Stockholmer Übereinkommens aufgenommen und PFHxS wurde zur Aufnahme in das Stockholmer Übereinkommen empfohlen. Es wird zurzeit ebenfalls ein PFAS Gruppenbeschränkungsverfahren vorbereitet, welches wahrscheinlich 2022 eingereicht wird⁵. Ebenso läuft aktuell ein Beschränkungsverfahren für PFHxA, welches ebenfalls einen Einfluss auf den Einsatz von 6:2 FTS haben wird⁶. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Einsatzmöglichkeiten von PFAS in den kommenden Jahren stark eingeschränkt werden, wodurch diese als Alternativen nicht mehr verwendet werden können.

Generell sind die per- und polyfluorierten PFOS-Alternativen die Substitutionssubstanzen mit den besten technischen Eigenschaften. Durch deren Einsatz müssen die Produktionsprozesse nur geringfügig verändert werden und die Eigenschaften der Endprodukte sind vergleichbar, jedoch sind sie im Allgemeinen nicht so stabil wie PFOS. Unter den harschen Bedingungen in der Prozesslösung können sich diese teilweise zersetzen oder werden oxidiert, was bei PFOS nicht der Fall ist. Die Zersetzungs- und Oxidationsprodukte können dann in die Umwelt gelangen. Ebenfalls weist 4H-PFOS eine etwas höhere Oberflächenspannung auf, wodurch die Anwendbarkeit eingeschränkt wird. Aus dem Abwasser kann PFOS durch Ionentauscher und dem Einsatz von Aktivkohlen zu 99% herausgefiltert werden. Bei den Alternativen besteht die Sorge, dass diese in signifikanten Mengen den Filter passieren können und somit zu einem höheren Anteil in die Umwelt gelangen können (UNEP 2019a).

Fluorfreie Alternativen

Als fluorfreie Alternativen können Alkylsulfonate eingesetzt werden, bei denen es sich meistens um die analogen nichtfluorierten Sulfonsäuren und deren Derivate handelt. Diese Substanzen haben ebenfalls oberflächenaktive Eigenschaften und können somit als Tenside eingesetzt werden. Sie ähneln strukturell den PFSS, besitzen jedoch keine Fluoratome, wodurch sie leichter abgebaut werden können. Ebenfalls wird Maleinsäure (CAS: 203-742-5) verwendet. Auf dem Markt existieren noch weitere fluorfreie Alternativen, bei denen der chemische Hintergrund jedoch unbekannt ist (Blepp et al. 2016).

Das größte Problem der nicht-fluorierten Alternativen ist die geringere chemische Stabilität im Vergleich zu PFOS. Durch das Fehlen der sehr stabilen C-F-Bindung, können diese Substanzen

⁵ <https://echa.europa.eu/de/-/five-european-states-call-for-evidence-on-broad-pfas-restriction>

⁶ <https://echa.europa.eu/documents/10162/c4e04484-c989-733d-33ed-0f023e2a200e>

schneller abgebaut und zersetzt werden. In der sauren Prozesslösung werden diese Substanzen schnell oxidiert, wodurch sie kontinuierliche zugegeben werden müssen. Sie müssen auch in höheren Konzentrationen als PFOS verwendet werden. Ebenfalls können sie das vorhandene Chrom(VI) zu Chrom(III) reduzieren, was zu schwerwiegenden Fehlern bei der Chromüberziehung führen kann. In einzelnen Fällen verursachten die zugegebenen Tenside eine Korrosion der Bleianoden, wodurch diese öfter getauscht werden mussten und Blei im Abwasser nachgewiesen werden konnte (Wienand et al. 2013).

Nicht-chemische Alternativen

Die Notwendigkeit PFOS zu benutzen stammt aus der Verwendung von Chrom(VI), wodurch nach alternativen Prozessen geforscht wird, welche nicht auf einer Chrom(VI)-Basis basieren. In der dekorativen Verchromung wird bereits erfolgreich Chrom(III) eingesetzt. Chrom(III) ist weniger toxisch weshalb hier kein PFOS verwendet werden muss.

Bei der Hartverchromung kann ein auf Chrom(III) basierender Prozess nur eingeschränkt verwendet werden, da die Oberfläche des Endproduktes nicht immer die gewünschten Eigenschaften aufweist. Das Verfahren benötigt ebenfalls ein Erhitzen der Werkteile im Bereich von 400 – 700 °C. Ein finnisches Unternehmen verwendet seit einigen Jahren bereits erfolgreich ein auf Chrom(III) basierendes Verfahren, jedoch hat dieses sich in Deutschland noch nicht durchgesetzt (Willand et al. 2020). Aus der neunten Konferenz der Mitgliedsstaaten des Stockholmer Übereinkommens (COP 9) geht hervor, dass die Amerikanische Umweltagentur (US EPA) ebenfalls an einem Hartverchromungsprozess auf Chrom(III)-Basis forscht, welcher aber noch nicht kommerziell verfügbar ist (UNEP 2019b).

Anstelle von Chrom können die Werkstücke auch mit Nickel- bzw. Nickel-Kombinationsschichten überzogen werden. Diese Verfahren benötigen keine PFAS im Produktionsprozess, oftmals sind diese Verfahren jedoch teurer und können aufgrund von Nickelabscheidungen nicht in der Lebensmittelbranche verwendet werden (Willand et al. 2020).

Ein weiterer bereits etablierter Alternativprozess ist das Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen (HVOC), welcher zum Beispiel für das Verchromen von Druckwalzen verwendet werden kann. Der Prozess kann jedoch nicht jede Anwendung ersetzen und benötigt sehr hohe Temperaturen.

Die Verwendung von PFOS kann ebenfalls durch alternative Technologien umgangen werden. Durch das Aufbringen von Polytetrafluorethylen (PTFE)-Bällen auf die Oberfläche der Prozesslösung, muss kein PFOS verwendet werden, jedoch konnte hierbei festgestellt werden, dass die Chromemissionen zunehmen. Laut Blepp et al. (2016) können ebenfalls Netze oder Decken über dem Beschichtungsreaktor angebracht werden. Dies könnte bei der Serienfertigung von einheitlichen Produkten angewendet werden, benötigt jedoch noch weitere Forschung. Es existiert ebenfalls ein neuartiger Verchromungsprozess auf PFOS-freier Basis der Firma Topochrom, welcher in einem geschlossenen Reaktor abläuft. Durch den geschlossenen Aufbau kann auf den Einsatz von Netzmitteln vollständig verzichtet werden, jedoch müssen auf Grund der hohen Automatisierung des Prozesses hohe Stückzahlen produziert werden (Willand et al. 2020). Weitere Alternativverfahren sind in Willand et al. (2020) beschrieben.

Die aktuell verfügbaren nicht-chemischen Alternativen beruhen auf dem Prinzip Chrom(VI) zu ersetzen, oder den Auswurf von Prozesslösung zu unterbinden beziehungsweise abzufangen, wodurch kein Tensid benutzt werden muss. Das Problem hierbei ist, dass die alternativen Prozesse nur eine geringe Anwendungsbreite bieten und nicht für jede Hartverchromungsvariante angewendet werden können. Ebenfalls sind die verfügbaren technischen Alternativen nur begrenzt anwendbar und zeigen zumeist eine geringere Effektivität (Blepp et al. 2016, BAT/BEP Group of Experts 2017, Willand et al. 2020).

3.2.1.4 Zusammenfassung

In Deutschland ist die Verwendung von PFOS in der Hartverchromung in geschlossenen Systemen bereits ersetzt worden. Als Alternative wird zumeist 6:2 FTS verwendet, welches im Rahmen des PFHxA REACH-Beschränkungsverfahren ebenfalls beschränkt werden könnte⁶.

Fluorierte, fluorfreie und nicht-chemische Alternativen sind bereits global erhältlich, jedoch ist die Anwendung je nach Substanz und Prozess nur begrenzt möglich. Die Nachteile sind die geringere Leistung, höhere Kosten und eventuell entstehende Einträge in die Umwelt. Die fluorierten Alternativen, wie kurzkettige Perfluoralkylsulfonsäuren und Fluortelomere vor allem 6:2 FTS, ähneln in ihren Eigenschaften der von PFOS und werden am häufigsten als Alternative verwendet. Es kann jedoch angenommen werden, dass sie ähnlich persistente Eigenschaften aufweisen. Bei deren Abbau können ebenfalls persistente Produkte entstehen. Die genauen Abbauprozesse sind noch nicht ausreichend erforscht worden, wodurch die genauen Endprodukte noch unbekannt sind. Es kann angenommen werden, dass die Anwendungsgebiete vieler dieser Stoffe in den kommenden Jahren beschränkt beziehungsweise verboten werden, wodurch sie nicht mehr als Alternativen in Frage kommen. Fluorfreie Alternativen sind in allen Anwendungen weniger effektiv. Die genauen Einsatzgebiete und Grenzen müssen hierbei noch genauer erforscht werden. Meistens zersetzen sich diese in der Prozesslösung und müssen dadurch kontinuierlich hinzugegeben werden. Die alternativen Technologien können nur in Einzelfällen angewendet werden, oder sind noch nicht ausgereift genug, um PFOS ersetzen zu können.

Durch die Aufnahme von PFOS in das Stockholmer Übereinkommen und in die EU-POP-VO ist der globale Trend der PFOS-Verwendung rückläufig. Alternativen müssen jedoch vorrausschauend gewählt werden, um Mensch und Umwelt zu schützen.

3.2.2 Decabromdiphenylether (DecaBDE)

3.2.2.1 Hintergrund

DecaBDE gehört zu der Gruppe der Polybromierte Diphenylether (PBDE), welche als Flammschutzmittel verwendet wurden. Diese bestehen alle aus zwei Benzolringen, welche über einen Sauerstoff (Ether) miteinander verbunden sind. Sie unterscheiden sich einzig in der Anzahl der Bromatome, welche an den Benzolringen hängen. Die am häufigsten vorkommenden Verbindungen sind Tetra-, Penta-, Hexa-, Hepta- und DecaBDE. Diese werden nicht als Reinstoffe eingesetzt, sondern als kommerzielle Mischungen, da die Trennung der einzelnen Verbindungen durch die Ähnlichkeit der Produkte erschwert ist. Ein Beispiel ist die technische (oder kommerzielle⁷) Handelsform von Pentabromdiphenylether (c-PentaBDE), welches zu verschiedenen Teilen Tetra-, Penta-, HexaBDE besteht und Spuren von und Tri- und HeptaBDE enthalten kann. Die technische (oder kommerzielle) Handelsform von Decabromdiphenylether (c-DecaBDE) besteht zum aller größten Teil aus DecaBDE (77% – 98%) mit kleinen Anteilen aus Nona- und OctaBDE. DecaBDE ist hierbei das am häufigsten verwendete PBDE-Kongener (UNEP 2014).

C-DecaBDE wurde in Elektro- und Elektronikgeräten, Flug-, See- und Raumfahrt, Kraftfahrzeugen, Textilien und Gebäuden verwendet. Am häufigsten ist es in Polymeren zu finden, welche in Kabelisolierungen, Gehäusen und in Möbeln verwendet wurden. Weiterhin wurde es in anderen Bauteilen, wie zum Beispiel Armaturenbrettern, Ventilatoren und in Klebeband verwendet. Die häufigsten Polymere sind dabei Polyolefine, Styrole, Thermoplaste

⁷ Commercial mixture

und Elastomere (UNEP 2015a). In diesen Polymeren wird es in einer Konzentration von circa 10% – 20% Gewichtsprozent verwendet (UNEP 2014).

Tetra-, Penta-, Hexa und HeptaBDE wurden bereits 2004 in den Anlage A des Stockholmer Übereinkommen aufgenommen. 2019 wurde dann ebenfalls DecaBDE aufgenommen, wobei hier einige Ausnahmen, wie die Anwendung in Flug- und Fahrzeugen, Textilien, Isolierungsschäume für Gebäude, sowie in Gehäusen von Elektro- und Elektronikgeräten, gegeben sind. In Europa wird dieses Verbot in der EU-POP-VO umgesetzt, welche ein Herstellungs-, Inverkehrbringungs- und Verwendungsverbot für Tetra-, Penta-, Hexa Hepta- und DecaBDE vorschreibt. Für DecaBDE wurden jedoch einige Ausnahmen für die Herstellung, das Inverkehrbringen und die Verwendung gewährt. DecaBDE kann demnach zu folgenden Zwecken genutzt werden:

- c) bei der Herstellung eines Luftfahrzeugs, für das die Typgenehmigung vor dem 2. März 2019 beantragt und vor Dezember 2022 erteilt wurde, bis zum 18. Dezember 2023 oder in Fällen, in denen der kontinuierliche Bedarf begründet ist, bis zum 2. März 2027;
- d) bei der Herstellung von Ersatzteilen für
 - a) ein Luftfahrzeug, für das die Typgenehmigung vor dem 2. März 2019 beantragt und vor Dezember 2022 erteilt wurde und das vor dem 18. Dezember 2023 hergestellt wurde bzw. ein Luftfahrzeug, das in Fällen, in denen der kontinuierliche Bedarf begründet ist, vor dem 2. März 2027 hergestellt wurde, bis zum Ende der Betriebsdauer dieses Luftfahrzeugs,
 - b) Kraftfahrzeuge, die unter die Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates (2) fallen und vor dem 15. Juli 2019 hergestellt wurden, entweder bis 2036 oder dem Ende der Betriebsdauer dieser Kraftfahrzeuge, je nachdem, welcher Zeitpunkt früher eintritt;
 - c) bei Elektro- und Elektronikgeräten, die unter die Richtlinie 2011/65/EG fallen.

Die Ausnahmen für die Anwendung in Textilien und Isolierschäumen, welche in dem Stockholmer Übereinkommen gelistet sind, wurden nicht in die EU-POP-VO übernommen. Für diese Anwendungen sind in der EU bereits geeignete Alternativen verfügbar.

Die unter a) und b) gelisteten Ausnahmen wurden nicht wegen eines Mangels an Alternativen aufgenommen, sondern haben einen zulassungsbedingten Hintergrund. Dies war das Ergebnis des Evaluierungsprozesses für die Aufnahme von DecaBDE in das Stockholmer Übereinkommen, an welcher Vertreter*innen der Auto- und Luftfahrindustrie beteiligt wurden.

Die Luftfahrtindustrie (Boeing und European Association for AeroSpace and Defence Industries) gab hierbei an, dass es bereits Alternativen für c-DecaBDE gibt und dass der Ausschluss von c-DecaBDE aus dem Herstellungsprozess bereits gestartet ist und bis 2018 vollzogen sein wird. Die Ausnahme für die Herstellung von Flugzeugen hat seinen Ursprung in dem Genehmigungsprozess für die Zulassung, welche nach Rücksprache mit der Europäischen Agentur für Flugsicherheit (EASA) in die EU-POP-VO aufgenommen wurde (ECHA 2014). Wird eine Typgenehmigung für ein Flugzeug/Fahrzeug erteilt, so muss dieses Flugzeug/Fahrzeug nach den in der Genehmigung festgelegten Bestimmungen hergestellt werden, wozu auch die eingesetzten Flammenschutzmittel gehören (ECHA et al. 2014). Die Typgenehmigung neu zu beantragen und den Herstellungsprozess zu ändern bedeutet einen hohen finanziellen Aufwand für die Firmen. Aus diesem Grund wurde hierfür eine Ausnahme erteilt. Da für diese Anwendungen, laut Industrie, bereits einsetzbare Alternativen für c-DecaBDE vorhanden sind und eingesetzt werden, ist die Ausnahme zeitlich bis maximal 2027 beschränkt. Danach dürfen neu hergestellte Flugzeuge kein c-DecaBDE mehr enthalten.

Die Autoindustrie gab ebenfalls an, dass die Ausschleusung von c-DecaBDE bis 2018 vollzogen sein wird. Da neue Automodelle mit einer höheren Frequenz als Flugzeuge auf den Markt gebracht werden, gibt es keine Ausnahme für die Herstellung von neuen Fahrzeugen. Stattdessen wurde um eine Ausnahme für Ersatzteile gebeten. Fahrzeuge, welche nicht mehr produziert werden, benötigen immer noch Ersatzteile, welche kontinuierlich hergestellt werden müssen. Dabei gilt natürlich auch die Typgenehmigung für diese Teile, welche bei der Produktion eingehalten werden muss. Da es sich hierbei auch um keine großen Mengen an Ersatzteilen handelt, werden diese meistens von kleinen und mittelständischen Unternehmen produziert. Diese besitzen für die Teile bereits etablierte Prozesse, welche nur mit finanziellem Aufwand geändert werden können. Diese Substitutionskosten können nicht durch die geringen Verkaufszahlen kompensiert werden. In manchen Fällen können so genannte „drop-in“ Alternativen verwendet werden. Diese sind in ihren Eigenschaften so ähnlich zu c-DecaBDE, dass sie ohne Umrüsten in bereits etablierte Prozesse eingebunden werden können. Dies ist jedoch nicht für alle Bauteile möglich, weshalb eine Ausnahme für Ersatzteile in der Auto- und Flugzeugindustrie ausgesprochen wurde (UNEP 2016a).

In einem Interview berichtete ein*e Vertreter*in, dass die ACEA-Mitglieder bis spätestens Anfang 2019 c-DecaBDE aus der Produktion ausgeschleust haben. Als Alternative wird meistens DBDPE verwendet, wobei aktuell debattiert wird, wie und ob bromierte Flammschutzmittel auch in Zukunft verwendet werden sollen, da die möglichen DecaBDE-Ersatzstoffe ebenfalls beschränkt werden könnten (ACEA 2020).

Die Ausnahme für Elektro- und Elektronikgeräten, die unter die Richtlinie 2011/65/EG (RoHS-Richtlinie oder RoHS) fallen, wurde in die EU-POP-VO aufgenommen, um eine Doppelregulierung zu vermeiden (ECHA 2014). In der RoHS ist ein Konzentrationshöchstwert für PBDE von 0,1 Gewichtsprozent angegeben.

Da die hier angeführten Maßnahmen nicht aus einem Mangel an Alternativen resultieren, werden die verfügbaren Substitutionsstoffe im Weiteren nur kurz angesprochen. Bei der Wahl von Alternativen sollten nachhaltige Alternativen herangezogen werden, um eine „regrettable substitution“ zu vermeiden.

3.2.2.2 DecaBDE als Flammschutzmittel

Flammschutzmittel werden meistens als Zusatzstoffe in Werkstoffen und Produkten verwendet, um die Ausbreitung von Bränden zu verhindern. Grund für den Einsatz sind nationale und internationale Vorschriften zum Brandschutz, die dazu beitragen sollen, das Risiko eines Brandes zu minimieren und den Menschen und die Natur zu schützen. Diese Regulierungen schreiben jedoch nicht die Benutzung eines bestimmten Flammschutzmittels vor, sondern stellen nur Anforderungen an die Entzündbarkeit, Flammenausbreitungsgeschwindigkeit, Hitzeentwicklung und Rauchbildung des Materials. Die Auswahl des eingesetzten Flammschutzmittels ist hierbei den herstellenden Unternehmen überlassen. Ein ideales Flammschutzmittel sollte die mechanischen Eigenschaften und die Farbe des Materials nicht verändern, gute Lichtstabilität haben und resistent gegenüber Hydrolyse und Alterung sein. Weiterhin sollte es nicht toxisch sein, keine Korrosion hervorrufen und keine toxischen Gase unter Hitzeeinwirkung bilden. Für Unternehmen sind die Kosten des Flammschutzmittels das ausschlaggebende Kriterium. Wobei bei manchen Anwendungen, wie zum Beispiel in der Luft- und Raumfahrt, die Funktion des Flammschutzmittels eine größere Rolle spielt (UNEP 2015a).

Bei den Flammschutzmitteln kann zwischen mehreren Arten unterschieden werden. Den größten Anteil machen die anorganischen Flammschutzmittel aus, gefolgt von den halogenierten und organo-phosphatischen Flammschutzmitteln. Je nach Art können sie als Additiv zu dem Material hinzugegeben werden, oder direkt bei der Synthese mit in das Material eingebaut

werden, was häufig bei Polymeren der Fall ist. Ebenfalls können Flammenschutzmittel als Beschichtung auf Oberflächen aufgebracht werden. Im Idealfall ist das verwendete Material selbst bereits feuerfest.

C-DecaBDE ist ein bromierten Flammhemmer und gehört somit zur Klasse der halogenierten Flammenschutzmittel. Diese verhindern das Ausbreiten eines Feuers indem sie unter Hitzeeinwirkung freie Brom- beziehungsweise Chlorradikale ($\text{Cl}\bullet$, $\text{Br}\bullet$) bilden. Diese fangen die für die Ausbreitung des Feuers sehr wichtigen Hydroxid- ($\text{OH}\bullet$) und Wasserstoffradikale ($\text{H}\bullet$) ab und verhindern somit die Ausbreitung. Es entstehen bei der Verbrennung jedoch große Mengen an polybromierten oder polychlorierten Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen (PCDD, PCDF, PCDD, PCDF), welche eine toxische Wirkung auf den Menschen haben und sowohl in dem Stockholmer Übereinkommen, als auch in der EU-POP-VO gelistet sind. Ebenfalls können Halogensäuren, wie Salzsäure und Bromwasserstoff, während der Verbrennung entstehen. Die PBDE selbst haben ebenfalls toxische, persistente und bioakkumulierende Eigenschaften, wodurch sie mittlerweile größtenteils verboten wurden. Daher ist bei der Bestimmung von Alternativen darauf zu achten, ähnliche negative Eigenschaften zu vermeiden.

3.2.2.3 Alternativen

Bei den Alternativen kann wie bei PFOS zwischen drei Kategorien unterschieden werden. Zum einen gibt es organische und anorganische Alternativen und zum anderen können alternative Techniken wie zum Beispiel inhärent feuerfeste Materialien verwendet werden. Für die herstellenden Unternehmen sind vor allem die Kosten der Alternativen, sowie die Möglichkeit es in bereits etablierte Prozesse einzubinden, ausschlaggebend.

Bei der Auswahl von Alternativen sollten auch Umwelt- und Gesundheitsrisiken der Stoffe berücksichtigt werden, damit keine „regrettable substitution“ stattfindet. Im Folgenden werden die wichtigsten Alternativen auf diese Eigenschaften hin analysiert und auf ihre Güte als c-DecaBDE-Alternative hin bewertet. Weitere Alternativen und dazugehörige Informationen können in ECHA (2015) gefunden werden.

Organische Alternativen

Decabromodipheylethan (DBDPE)

Aus Sicht der Industrie wird DBDPE als die am besten realisierbare Alternative für c-DecaBDE gesehen. Hierbei ist der Sauerstoff, welcher die beiden Benzolringe des DecaBDE's miteinander verbindet, durch eine Ethaneinheit substituiert worden. Dadurch ergibt sich eine sehr ähnliche Struktur zu DecaBDE und auch sehr ähnliche Eigenschaften, wodurch es häufig als „drop-in“ Alternative verwendet wird, was es für Firmen sehr attraktiv macht. Die ähnlichen Eigenschaften führen auch dazu, dass es zurzeit (Stand 2020) von der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) auf seine persistenten, bioakkumulierenden und toxischen Eigenschaften hin untersucht wird. Eine endgültige Bewertung steht jedoch noch aus. Damit besteht die Gefahr, dass durch die Anwendung dieses Stoffes der Fall einer „regrettable substitution“ eintritt (UNEP 2015a).

Bisphenol A bis(Diphenylphosphat) (BDP/BAPP)

Als weitere Alternative kann BDP in Betracht gezogen werden. Hierbei handelt es sich um ein substituiertes Bisphenol A Derivat. Vorteile dieser Alternative für herstellende Unternehmen sind die ähnlichen Einsatzkonzentrationen wie c-DecaBDE und der vergleichbare Preis. Nachteile für die herstellenden Unternehmen ergeben sich daraus, dass der Einsatz dieser Alternative eine Umstellung des Produktionsprozesses erfordert.

Hinsichtlich der Umwelt- und Gesundheitsrisiken hat die US EPA karzinogene und aquatoxische Eigenschaften feststellen können. Theoretisch könnten bei dem Abbau der Substanz ungewünschte Endprodukte (Bisphenol A, Phenol) entstehen. Dies wurde jedoch noch nicht nachgewiesen. Weitere Untersuchungen auch bezüglich der Persistenz, Toxizität und Abbauprodukte sollten daher vorgenommen werden (ECHA 2015).

Resorcinol bis(diphenylphosphat) (RDP)

RDP ist dem BDP chemisch gesehen sehr ähnlich. Die beiden Phosphatgruppen sind hierbei jedoch nur über einen Benzolring miteinander verbunden. Durch den geringeren Preis im Vergleich zu c-DecaBDE und den geringeren benötigten Einsatzkonzentrationen in Produkten, wird RDP von herstellenden Unternehmen als eine geeignete Alternative angesehen. RDP benötigt jedoch Änderungen in den Herstellungsprozessen der Produkte.

Im Rahmen der Überprüfung der Umwelt- und Gesundheitsrisiken konnte die US EPA chronische und akute aquatoxische Eigenschaften nachweisen. Ebenfalls wurden Bedenken über die persistenten und bioakkumulierenden Eigenschaften von RDP geäußert (ECHA 2015). Aktuell (Stand 2020) wird von der ECHA geprüft, ob es sich bei RDP um einen endokrinen Disruptor handelt.

Ethylen bis(Tetrabromphtalimid) (EBTBP)

EBTBP besteht aus zwei vollständig bromierten Phtalimidringen, welche über eine Ethanbrücke miteinander verbunden sind. Durch den breiten Anwendungsbereich wird es häufig als „drop-in“ Alternative für c-DecaBDE verwendet, hat jedoch einen höheren Preis. Die US EPA hat sehr persistente Eigenschaften nachweisen können und stuft EBTBP als potenziell bioakkumulierend ein. Ein PBT-Bewertungsverfahren (persistent, bioakkumulierend, toxisch) wird zurzeit von der ECHA durchgeführt, wodurch beim Einsatz von EBTBP als c-DecaBDE-Alternative die Gefahr einer „regrettable substitution“ besteht (ECHA 2015).

Triphenylphosphat (TPP)

TPP gehört zu den organo-phosphat-Verbindungen und besitzt drei Benzolringe. Es wird vor allem bei Polymeren angewendet, muss jedoch in höheren Konzentrationen verwendet werden. Bei manchen Anwendungen müssen andere Polymerkombinationen eingesetzt werden. TPP ist aquatoxisch und es wird zurzeit von der ECHA geprüft, ob TPP ein endokriner Disruptor ist (ECHA 2015).

Anorganische Alternativen

Magnesiumhydroxid (MDH)

Bei MDH handelt es sich um eine anorganische Substanz, welche beim Erhitzen Wasser abscheidet und dadurch die Rauchgase verdünnt. Es kann in fast allen Anwendungen von c-DecaBDE verwendet werden und ist preiswerter. Bei der Befragung der Industrie wurde jedoch erwähnt, dass es Probleme für die Anwendung in Textilien gibt. Ebenfalls hat es im Vergleich zu c-DecaBDE schlechtere Flammseigenschaften, wodurch es in höheren Konzentrationen eingesetzt werden muss. Es besitzt jedoch keine negativen Eigenschaften auf den Menschen und die Natur (ECHA 2015).

Aluminiumtrihydroxid (ATH)

Bei ATH handelt es sich ebenfalls um ein anorganisches Salz, welches ähnlich wie MDH Wasser bei der Erhitzung abspaltet und die darunterliegende Oberfläche abkühlt. Es kann in vielen Applikationen verwendet werden, muss jedoch durch seine schlechteren

Flammschutzeigenschaften in höheren Konzentrationen zu Produkten hinzugegeben werden. Laut ECHA besitzt es keine gefährlichen Eigenschaften für Mensch und Umwelt (ECHA 2015).

Roter Phosphor

Bei rotem Phosphor handelt es sich um einen elementaren Zustand des Phosphors. Durch seine rote Farbe und Eigenschaften kann es nur in dunklen, stickstoff- oder sauerstoffhaltigen Polymeren verwendet werden. Für andere Polymere (Polyolefine, Styrole, Gummi) muss es mit anorganischen Hydroxiden vermischt werden. Er besitzt aquatoxische Eigenschaften und bildet bei der Verbrennung und Lagerung das giftige Phosphingas (PH₃). Dafür ist der Tonnagenpreis günstiger als c-DecaBDE und es wird in geringeren Konzentrationen eingesetzt (ECHA 2015).

Alternative Techniken

Alternative Techniken basieren auf dem Prinzip, die Notwendigkeit für Flammschutzmittel durch Material- und Designsstitution zu umgehen. Dies kann durch den Einsatz von inhärent feuerfesten Materialien, den Einbau von Barrieren oder der Neugestaltung des Produktes erreicht werden.

Inhärent feuerfeste Materialien

Häufig benutzte flammbare Polymere wie High-Impact Polystyrol (HIPS) oder Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer (ABS) können mit nicht-flammbaren Polymeren wie Polycarbonat, Poly(p-phenyloxid) und Polyphenylensulfid vermischt werden. Hierdurch kann das Flammschutzmittel in geringeren Konzentrationen eingesetzt werden, ohne dass dabei die technischen Eigenschaften signifikant verändert werden (UNEP 2015b).

Zusätzlich können natürlich auch inhärent feuerfeste Polymere verwendet werden. Ein klassisches Beispiel hierbei wäre Polyvinylchlorid (PVC), welches bei der Verbrennung, ähnlich wie c-DecaBDE, freie Chlorradikale bildet, welche die Propagation des Feuers unterdrücken. Dieser Effekt kann durch den zusätzlichen Einsatz von ATH verstärkt werden. PVC bildet jedoch, genau wie c-DecaBDE, bei der Verbrennung chlorierte Dioxine und Furane sowie Chlorwasserstoff, welche schädlich für den Menschen sind (RPA 2014).

Alternativ können halogenfreie Polymere wie Polyketone, Polysulfone und Polyaryletherketon anstelle von Polyamiden oder Poly(butylenterephthalat) verwendet werden. Diese kosten jedoch beachtlich mehr, benötigen jedoch keinen Zusatz von Flammschutzmitteln. Polymere, welche bei hohen Temperaturen verschmoren, wie Polyimide, Polyaramide, Flüssigkristall-Polyester und Polyarylene, haben bereits eine hohe Feuerfestigkeit und benötigen in den meisten Fällen keinen oder einen nur sehr geringen Zusatz von Flammschutzmitteln (UNEP 2015a).

Einbau von Barrieren

Oftmals ist eine solche simple Umgestaltung der Produkte für die Auto- und Luftfahrtindustrie nicht möglich, sondern kann nur unter großem finanziellem Aufwand möglich gemacht werden (UNEP 2015a). Ein weiterer Grund können ebenfalls die strengen Sicherheitsanforderungen in der Auto- und Luftfahrtindustrie sein, welche von Ersatzstoffen oftmals nicht erfüllt werden können. In solchen Fällen können alternative Flammschutztechniken verwendet werden. Ein Beispiel wäre ein Intumeszenz System. Dabei wird ein Material verwendet, welches unter Hitzeeinwirkung anfängt, sich stark aufzuschwellen und damit eine physikalische Barriere bildet, welche das Produkt vor den Flammen schützt. Alternativ kann Graphit verwendet werden, welches sich auf das 100-fach seiner Originalgröße ausdehnen kann. Um die gewünschten Flammschutzeigenschaften zu erreichen, muss es jedoch mit weiteren Synergisten wie Magnesiumhydroxid, rotem Phosphor oder Ammoniumpolyphosphat vermischt werden.

Diese Systeme können jedoch nicht in allen Produkten angewendet werden und bilden unter Hitzeeinfluss oftmals schädliche Gase (UNEP 2015b).

Produktneugestaltung

Ein bekanntes Beispiel einer Neugestaltung ist das Auslagern der Energieversorgung von Laptops. Diese ist mittlerweile in den Ladekabeln als schwarze Box enthalten und befindet sich nicht mehr im Produkt selbst. Hierdurch reduziert sich die notwendige Flammschutzmittelmenge in den Geräten. Der Handy- und Computerhersteller Apple hat durch den Einsatz von Aluminiumlegierungen anstelle von Polycarbonaten in Gehäusen die Notwendigkeit von Flammschutzmitteln komplett eliminiert (UNEP 2015a).

3.2.2.4 Zusammenfassung

Die Industrie wusste bereits, dass c-DecaBDE verboten wird, wodurch die meisten Firmen bereits auf Alternativen umgestiegen sind. Dies führte dazu, dass c-DecaBDE 2019 bereits größtenteils aus den Herstellungsprozessen ausgeschleust war. Dieser Prozess wurde durch die große Bandbreite an verfügbaren Alternativen erleichtert. Die in der EU-POP-VO gelisteten Ausnahmen (Herstellung von Flugzeugen und Ersatzteile für Autos und Flugzeuge sowie für in der RoHS gelisteten Elektro- und Elektronikgeräte) sind deshalb nicht wegen eines Mangels an Alternativen gelistet, sondern haben einen zulassungsbedingten Hintergrund, weshalb sie zeitlich begrenzt sind. In den Genehmigungen für Autos und Flugzeuge sind die eingesetzten Flammschutzmittel erwähnt und diese müssen nach diesen Vorgaben hergestellt werden. Die Genehmigung für bereits in Produktion befindliche Flugzeuge nochmals neu zu beantragen, bedeutet einen hohen (finanziellen) Aufwand für die Firmen, weshalb eine zeitlich begrenzte Ausnahme erteilt wurde. Ähnlich ist es bei den Ersatzteilen, welche bereits eine Genehmigung erhalten haben und von kleinen und mittelständischen Unternehmen mit bereits etablierten Prozessen hergestellt werden. Die Genehmigungen neu zu beantragen und die Prozesse zu ändern, bedeutet hohe Kosten, welche durch die geringen Verkaufszahlen nicht getilgt werden können, weshalb auch hier eine zeitlich begrenzte Ausnahme erteilt wurde.

Die in Kapitel 3.2.2.3 aufgezeigten Alternativen werden bereits von der Industrie benutzt und einige können durch ihre Ähnlichkeit zu c-DecaBDE als sogenannte „drop-in“ Alternativen verwendet werden. Beispiele hierfür sind DBDPE und EBTBP. Sie können in bereits etablierten Herstellungsprozessen ohne Umrüsten direkt als Ersatzstoffe eingesetzt werden. Durch die große Ähnlichkeit zu c-DecaBDE besitzen sie jedoch auch ähnlich gefährliche Charakteristiken, wodurch viele dieser Stoffe zurzeit auf ihre Wirkung auf den Menschen und die Umwelt sowie auf ihre potenziellen PBT-Eigenschaften hin analysiert werden. Somit besteht hier die Gefahr einer „regrettable substitution“.

Es gibt jedoch auch Alternativen, welche keine negativen Effekte aufweisen, wie zum Beispiel Magnesium- und Aluminiumhydroxid. Diese müssen jedoch, aufgrund ihrer schlechteren Flammschutzeigenschaften, in größeren Mengen hinzugegeben werden. Ebenfalls können sie nicht in allen Bereichen in denen c-DecaBDE verwendet wird angewendet werden.

Eine bessere Lösung wäre der Einsatz von alternativen Techniken und Materialien, damit keine Flammschutzmittel verwendet werden müssen. Dies kann durch die Neugestaltung der Produkte passieren, indem zum Beispiel Teile, welche leicht entflammen können, aus dem Gerät entfernt oder durch eine feuerfeste Barriere von dem Rest des Produktes abgetrennt werden. Diese Maßnahmen führen jedoch oft zu hohen Kosten, welche für die Anwenderfirmen oft prohibitiv wirken. Ebenfalls kann diese Methode in bestimmten Industrien wie der Auto- und Luftfahrtindustrie aufgrund ihrer strengen Sicherheitsvorkehrungen nicht angewendet werden. Die häufig eingesetzten Polymere wie HIPS und ABS können mit anderen feuerfesten Polymeren

vermischt oder durch diese ersetzt werden, wodurch der Gebrauch von Flammenschutzmitteln verringert beziehungsweise obsolet gemacht wird. Dieser Vorgang beinhaltet ebenfalls oft höhere Kosten für die herstellenden Unternehmen.

Durch die große Auswahl an Alternativen ist die Substitution von c-DecaBDE in den meisten ehemaligen Einsatzbereichen bereits vollzogen. Dies führt zu einer Reduktion bzw. einer Einstellung der Produktion von c-DecaBDE. C-DecaBDE-haltige Abfälle aus Altfahrzeugen und Luftfahrzeugen werden jedoch auch in den kommenden Jahren ein Hindernis für eine schadstofffreie Kreislaufwirtschaft darstellen.

3.3 Entsorgung bzw. Rolle der neuen POP im Stoffkreislauf / Recycling; Analyse der Herausforderungen

Aufbauend auf den Informationen, welche im NIP dargestellt sind, wurden Steckbriefe zum Vorkommen der neuen POP und deren Abfällen und Recycling erarbeitet. Ebenfalls wurden weitere Quellen, sofern relevant, herangezogen. Lücken und Herausforderungen, die im Rahmen der Erarbeitung der Steckbriefe identifizierten wurden, sind gleichermaßen in den Factsheets dargestellt.

3.3.1 DecaBDE

Decabromdiphenylether (DecaBDE)

Herstellung und Verwendung

Herstellung

DecaBDE wurde seit den 1970er Jahren produziert. Aufgrund von Ausnahmen in der EU-POP-VO wird es immer noch hergestellt, jedoch wird es seit 1999 in der EU nicht mehr produziert. Es wird geschätzt, dass auf globaler Ebene zwischen 1970 und 2005 1.1 – 1.25 Millionen Tonnen DecaBDE produziert wurden. Genaue Produktionszahlen sind nicht verfügbar. DecaBDE wird in der Industrie nur als kommerzielles Gemisch verwendet (c-DecaBDE), welches aus verschiedenen Anteilen aus DecaBDE, NonaBDE und OctaBDE besteht ⁸ (UBA 2017b).

Verwendung

DecaBDE wurde als Flammschutzmittel verwendet. Das größte Anwendungsgebiet sind Kunststoffe mit ca. 90 % des globalen Verbrauchs (in Elektro- und Elektronikgeräten und Fahrzeugen), gefolgt von Textilien, Klebstoffen, Dichtungsmitteln, Beschichtungen und Druckfarben mit ca. 10 % des globalen Verbrauchs (UBA 2017b).

2008 wurde der Einsatz von DecaBDE in Elektro- und Elektronikgeräten durch die RoHS eingeschränkt, wodurch die Anwendung in der Transportindustrie und in Textilien einen höheren Anteil bekam. DecaBDE wurde ebenfalls im Baubereich, wie zum Beispiel in Rohren und Kabeln, verwendet (UNEP 2017a).

Mittlerweile wird es nur noch in Flugzeugen und für die Herstellung von Ersatzteilen für Kraftfahrzeuge ⁹ und Flugzeuge verwendet (siehe Ausnahmen EU-POP-VO) (UBA 2017b)..

Abfälle

DecaBDE kann durch seine Verwendungen und den produktassoziierten Lebensdauern in Abfällen von Elektro- und Elektronikgeräten, Kraftfahrzeugen in Textilien und im Bausektor vorkommen. Die quantitative Bestimmung in Kunststoffen und Textilien erfolgt entweder mittels Gaschromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung (GC-MS) in Begleitung von Matrixextraktion und Reinigungsmethoden für die einzelnen Kongenere oder mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) für den gesamten Bromgehalt.

Altfahrzeuge:

Lebensdauer: 17 bis 18 Jahre (UBA et al. 2019)

Vorkommen in Produkten: Verstärkte Kunststoffe und elektrische Anschlüsse (ABS, PS, etc.), Autositze (PUR)

Behandlungs- und Ausschleusungswege: Kunststoffbauteile (Stoßfänger, Armaturenbretter, etc.) sollen laut Richtlinie 2000/53/EG bei der Demontage entfernt werden. In Deutschland werden Kunststoffe nur in geringem Umfang vor dem Schreddern separiert. DecaBDE findet sich primär in der Schredderleichtfraktion (SLF). Post-Shredder-Technik (PST) ermöglicht die weitere Trennung der Schredderschwerfraktion (SSF) und SLF mittels verschiedener Methoden (Dichte, optische Eigenschaften) auch um Fraktionen mit hohem und niedrigem PBDE-Gehalt zu separieren. Hochbromierte Fraktionen können so gezielt thermischen Prozessen (Reduktionsmittel, thermische Abfallbehandlung) zugeführt werden und das DecaBDE zerstört werden (Öko-Institut 2018).

DecaBDE in Abfällen: Für das Jahr 2015 wurde eine theoretische Abfallmenge von 7,9 Tonnen DecaBDE im Abfallstrom Altfahrzeuge angenommen mit 7,3 Tonnen DecaBDE in der SLF. Der größte Teil der SLF wird dem Recycling zugeführt (4 Tonnen DecaBDE). Unklar ist, ob hierbei ein werkstoffliches oder rohstoffliches Recycling

⁸ DecaBDE (≥97 %), NonaBDE (0,3–3 %) und OctaBDE (0–0,04 %).

⁹ die unter die Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates fallen

(Zerstörung von DecaBDE) gemeint ist. 0,5 Tonnen DecaBDE werden beseitigt (potentiell deponiert) und 3,4 Tonnen DecaBDE werden energetisch verwertet (Potrykus et al. 2020).

Zukunftsansichten: Das Vorkommen von DecaBDE in Abfällen und potentiell in Rezyklaten wird bis ca. 2036 als relevant angesehen. Durch die bestehenden Ausnahmen unter Anhang I der EU-POP-VO ist auch nach 2036 noch mit belasteten Abfällen zu rechnen. Die genaue Situation bezüglich PST in Deutschland ist nach wie vor offen.

Elektro- und Elektronikaltgeräte (EAG):

Lebensdauer: 7 bis 9 Jahre (BiPRO et al. 2011)

Vorkommen in Produkten: Computer- und Fernsehgerätekäse sowie alle Arten elektronischer Geräte (z. B. Mobiltelefone) (ABS, HIPS), Haushaltskleingeräte und Kabel (Polypropylen (PP), Polyethylen (PE)).

Behandlungs- und Ausschleusungswege: In Europa wird nur ein kleiner Teil der EAG manuell demontiert. Der größte Teil wird geschreddert (Potrykus et al. 2019). DecaBDE kommt in den Schredderrückständen von EAG und Altfahrzeugen vor, da diese oft zusammen behandelt werden (Potrykus et al. 2019). Bromierte und damit potentiell PBDE-haltige Kunststoffe werden in Deutschland üblicherweise in thermischen Verwertungs- und Beseitigungsverfahren behandelt (UBA 2017b, Potrykus et al. 2019). Hierbei werden die PBDE zerstört. Kunststoffe der bromarmen Fraktion können laut Potrykus et al. (2019) in Recyclingprozessen eingesetzt werden. Recyclingverfahren, in denen eine werkstoffliche Nutzung von möglicherweise PBDE-haltigen Kunststofffraktionen (z. B. Leiterplatten, Gehäusekunststoffen) stattfindet, sind nach Informationen der Recyclingbranche jedoch nicht bekannt (Zangl et al. 2012). Ähnlich wie bei den Altfahrzeugen können Schredderfraktionen mittels des PST weiter separiert werden.

DecaBDE in Abfällen: Berichtete durchschnittliche DecaBDE-Konzentration in EAG liegen zwischen 0 und 0,3 % (Potrykus et al. 2019). Für das Jahr 2015 wurde eine theoretische Abfallmenge von 109,8 Tonnen DecaBDE im Abfallstrom der Kunststoffe aus EAG angenommen. Es ist davon auszugehen, dass der reale Wert unterhalb dieser Mengen liegt. Der größte Teil wurde energetisch verwertet (95,3 Tonnen DecaBDE). 13,3 Tonnen DecaBDE werden theoretisch werkstofflich verwertet und 1,2 Tonnen DecaBDE wurden beseitigt bzw. deponiert (Potrykus et al. 2020).

Zukunftsansichten: Das Vorkommen in Abfällen und potentiellen Rezyklaten oberhalb des RoHS-Grenzwertes von EAG wird bis ca. 2028 als relevant angenommen. Die genaue Situation bezüglich PST in Deutschland ist nach wie vor offen.

Bau- und Abbruchabfälle:

Lebensdauer: 50 ± 25 Jahre

Vorkommen in Produkten: Kunststoffe, Dämmstoffe, Luftkanäle, Rohre, etc.

Behandlungs- und Ausschleusungswege: Die Richtlinie 2008/98/EG (AbfRRL) setzt eine Recyclingquote von 70 % für Bau- und Abbruchabfälle vor, welche bis 2020 zu erfüllen ist. DecaBDE-behandelte Stoffströme sind jedoch nicht primäres Ziel einer werkstofflichen Verwertung (Potrykus et al. 2020). Normalerweise werden flammgeschützte Kunststoffe und Gummis, Kleber, Dichtungen und Anstriche als Störstoffe angesehen. Sie werden deshalb möglichst vom mineralischen Anteil abgetrennt und gesondert verwertet beziehungsweise beseitigt. Es ist jedoch oft nur schwer möglich, Störstoffe sauber abzutrennen, da diese z.B. an mineralischen Anteilen anhaften können (Beton, Ziegel, Putz, etc.) (Potrykus et al. 2015). Eine Ablagerung von Kunststoffen, auch aus Abbruchabfällen, ist seit 2005 laut DepV durch das Verbot der Ablagerung unvorbehandelter Abfälle verboten. Geringe Anteile können jedoch nach wie vor durch Ausnahmen der DepV auftreten.

DecaBDE in Abfällen: Es sind nur wenige Daten, besonders in Deutschland, zu DecaBDE-Konzentrationen in Bauabfällen vorhanden. Die vorhandenen Daten beziehen sich zumeist auf Erzeugnisse.

Zukunftsansichten: Langfristig werden weiterhin DecaBDE-belastete Bauabfälle anfallen. Die Datenlage bezüglich der Konzentration in Bau- und Abbruchabfällen ist momentan unzureichend. Basierend auf Artikel 11 § 6 der AbfRRL, zieht die Europäische Kommission bis zum 31. Dezember 2024 die Festlegung von Zielvorgaben für die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling für unter anderem Bau- und Abbruchabfälle in

Betracht. Generell sollten bei der Festlegung dieser Zielvorgaben die Aspekte der Schadstoffausschleusung mitbedacht werden, um eine Verschleppung von DecaBDE oder anderer POP in Recyclingströme zu vermeiden.

Alttextilien:

Lebensdauer: 10 ± 3 Jahre

Vorkommen in Produkten: Primär im Fahrzeug- und institutionellen Bereich und in Polstermöbeln, Isolierungen und Matratzen (PUR, PE Schaum, Latex, etc.) sowie in Beschichtungen von Textilien (z. B. Zelte, Teppiche)

Behandlungs- und Ausschleusungswege: Die Sammlung von Textilien erfolgt generell über Altkleidercontainer, etwa die Hälfte dieser gesammelten Textilien wird wiederverwendet (UBA 2014 zitiert nach Potrykus et al. 2020). Flammgeschützte Textilien werden in Deutschland oft dem Sperrmüll zugeordnet. Dieser wird primär thermisch verwertet oder beseitigt (Potrykus et al. 2020). Abfälle mit hohem organischem Anteil dürfen nicht auf Deponien abgelagert werden, sodass in der Praxis der größte Anteil des DecaBDE thermisch verwertet oder beseitigt werden dürfte. Textilien aus dem Fahrzeugbereich werden in der SLF behandelt.

DecaBDE in Abfällen: Es sind nur wenige Daten in Deutschland zu DecaBDE-Konzentrationen in Textilabfällen vorhanden. Proben aus der Automobilbranche bewegten sich zwischen unter 0,1 mg/kg und 3,8 mg/kg (Potrykus et al. 2020).

Zukunftsansichten: Auch zukünftig wird noch DecaBDE-haltiger Abfall anfallen, jedoch werden technische Textilien dabei größtenteils thermisch behandelt und das DecaBDE zerstört. Im Jahr 2025 sollten die meisten relevanten DecaBDE-belasteten Textilabfälle bereits entsorgt sein. Die Datenlage bezüglich der Konzentrationen von DecaBDE in Alttextilien und Möbelabfällen in Deutschland ist jedoch nach wie vor ungenügend.

Aktuelle Risiken

Beim Schreddern von Elektroschrott und Altfahrzeugen sowie beim Abriss von Gebäuden kann es zu Staubbildung kommen, welcher DecaBDE enthält und für Mensch und Umwelt eine Gefahr darstellt.

Kunststoffe, welche DecaBDE unterhalb des Grenzwertes enthalten, können theoretisch recycelt werden. Diese Praxis kann einen weiteren Transfer des DecaBDE in verschiedene Kunststoffprodukte nach sich ziehen und so zur Freisetzung während weiterer Produktzyklen beitragen (Potrykus et al. 2020).

Durch die Deponierung von DecaBDE-haltigen Abfällen kann es zu einer Freisetzung und letztendlich einem Abbau zu anderen PBDEs (primär tetraBDE) kommen.

Durch unsachgemäße Verbrennung kann es potenziell zur Bildung von PCDD/PCDF, Pentachlorbenzol (PeCB), HCB, PCB, HCBd und PCP kommen.

Durch Exporte von EAG- und Altfahrzeugschrott sowie von gebrauchten Elektro- und Elektronikgeräten und Fahrzeugen, die im Zielland zu Abfall werden, kann es zu einer globalen Verteilung von DecaBDE kommen. In den Empfängerländern (Afrika) kann oft nicht sichergestellt werden, dass die Zerstörung von POP stattfindet.

Empfehlungen zur Risikovermeidung

Beim Abriss von Gebäuden oder dem Schreddern von Abfällen sollte Staubbildung vermieden werden und u.U. eine Atemmaske getragen werden.

DecaBDE-haltige Abfallfraktionen sollten identifiziert und weitgehend abgetrennt werden. Dies ist jedoch nicht immer zu 100 % möglich.

Deponierung und unsachgemäße Verbrennung sollten vermieden werden.

Um den Beitrag der globalen Verbreitung von DecaBDE durch den Export zu minimieren, sollten Exporte PBDE-haltiger Abfälle in Länder, in denen keine angemessene Verwertung und Entsorgung gewährleistet wird, vermieden oder untersagt werden. Es kann hiermit jedoch nicht verhindert werden, dass funktionstüchtige Geräte und Fahrzeuge, welche DecaBDE oder andere POP enthalten, in Länder ohne die notwendigen Verwertungs- und Entsorgungsstrukturen exportiert werden. Deshalb ist hier der Kapazitätsaufbau in betroffenen Ländern zu unterstützen.

Lücken und Herausforderungen

Die Datenlage zu Konzentrationen in Alttextilien und Bau- und Abbruchabfällen in Deutschland ist unzureichend, auch um endgültige Maßnahmen vorzuschlagen.

Insbesondere im Baubereich wird die Identifizierung und Separierung DecaBDE-haltiger Abfälle eine Herausforderung darstellen. Geeignete Behandlungs- und Ausschleusungswege sollten in Zukunft weiter untersucht und eingeführt werden.

DecaBDE-freie Kunststoffe können grundsätzlich recycelt werden, daher sollten, um eine stoffliche Verwertung von DecaBDE in Kunststoffen über die gelten Grenzwerte hinaus zu verhindern und ein Recycling nicht belasteter Kunststoffströme zuzulassen, DecaBDE-haltige Kunststoffe identifiziert und anschließend separiert werden. Hierzu sollten Strategien zur Abtrennung von POP-PBDE (und anderen POP) aus Abfällen aus Fahrzeugen, EAG und Bauprodukten entwickelt und gefördert werden (z. B. PST und Flüssigextraktion).

Zusätzlich sollte geprüft werden, ob Freisetzungen während der Abfallbehandlung (mechanische Behandlung) relevant sind und ob entsprechende Freisetzungen durch geeignete technische Maßnahmen, z.B. durch die manuelle Trennung von bromierten Kunststoffen vor dem Schreddern, soweit möglich minimiert werden können.

Um eine gemeinwohlverträgliche und zugleich ressourcenschonende Kreislaufwirtschaft zu gewährleisten muss ein Kompromiss zwischen Schadstoffentfrachtung und Recycling gefunden werden. Diesbezüglich könnte Deutschland proaktiv darauf hinwirken, dass eine Anpassung der bestehenden Standards/Normen für die Quantifizierung der PBDE auf relevante Konzentrationsgrenzen (niedrigeren Brom- bzw. PBDE-Wert), auch auf niedrigere Konzentrationen, angestrebt wird.

Deutschland könnte sich an der geplanten Überprüfung des Konzentrationsgrenzwertes für die Summe der POP-PBDE in Anhang IV der EU-POP-VO beteiligen.

Ein relevanter Teil des Elektroschrotts sowie Gebrauchtgeräte und -fahrzeuge werden in Deutschland exportiert, wobei im Empfängerland oft nicht sichergestellt werden kann, dass eine umweltgerechte Zerstörung von POP stattfindet.

3.3.2 SCCP

Kurzkettige Chlorparaffine (SCCP)

Herstellung und Verwendung

Herstellung

SCCP werden seit den 1970ern hergestellt. In Deutschland werden sie seit Mitte der 90er Jahre nicht mehr hergestellt.

In dem SÜ sind SCCP seit 2017 in Anlage A gelistet. In Europa wurde das Inverkehrbringen und die Verwendung bereits 2002 beschränkt (2002/45/EG) und 2012 in Anhang I der EU-POP-VO aufgenommen. Die EU-POP-VO legt einen Grenzwert für SCCP von 1 Gew. % für Stoffe und Gemische fest. 2015 wurde zusätzlich ein Grenzwert von 0,15 Gew. % für SCCP in Erzeugnissen festgelegt. Erzeugnisse, die SCCP-Konzentrationen über diesem Wert enthalten, dürfen nicht verkauft, hergestellt oder verwendet werden. Ausgenommen ist die Verwendung von SCCP-enthaltenden Förderbändern in der mineralgewinnenden Industrie und in Dichtungsmassen, die bereits vor dem oder am 4. Dezember 2015 verwendet wurden, sowie die Verwendung von SCCP-enthaltenden Erzeugnissen,

die bereits am oder vor dem 10. Juli 2012 verwendet wurden.

Verwendung

SCCP wurden in der Lederbearbeitung, der Metallbearbeitung, der Kunststoffherstellung, der Farben- und Lackherstellung, der Textilindustrie sowie der Bergbau- und Bauindustrie eingesetzt. Ebenso wurden sie als Weichmacher, Bindemittel und Flammschutzmittel in Kunststoffen, Farben und Lacken, Gummierzeugnissen, Papier, Textilien, Fugen, Dichtungsmassen und Klebern eingesetzt (ECHA 2011, GESTIS o. J.).

Vor 2004 waren die Leder- und Metallbearbeitung die zwei wichtigsten Anwendungsgebiete für SCCP in Deutschland (74 % des Gesamtverbrauchs).

Aktuell können mögliche Importe neuer Produkte und/oder recycelter Produkte, die mit SCCP kontaminiert sind oder SCCP enthalten (auch in Konzentrationen über den in der Verordnung EU 2015/2030 festgelegten Grenzwerten), nicht ausgeschlossen werden. Diese sind nur mit erheblichem Aufwand nachzuvollziehen

Abfälle

Metall- und Lederbearbeitungsmittel, Papier, Farben und Lacke sind Großteils bereits als Abfälle angefallen und behandelt bzw. entsorgt worden (Potrykus et al. 2015). Das Vorkommen in Klärschlämmen wurde von Potrykus et al. (2015) als relativ gering eingeschätzt. Abfälle von Förderbändern sowie Dichtungs- und Klebstoffen können durch ihre typischerweise längere Lebensdauer und aufgrund der gewährten Ausnahmen laut EU-POP-VO weiterhin relevant sein (Potrykus et al. 2015). Zusätzlich können langlebige Textilprodukte aus dem Militärbereich weiterhin eine Rolle spielen (Potrykus et al. 2015). Die Analytik von SCCP gestaltet sich schwierig. Insbesondere bestehen Unsicherheiten bei der Bestimmung von SCCP in Gegenwart anderer Chlorparaffine.

Bau- und Abbruchabfälle

Lebensdauer: 50 ± 25 Jahre

Vorkommen in Produkten: Dichtungsmassen und Klebstoffe, Weichmacher in PVC (z. B. Bodenbeläge)

Behandlungs- und Ausschleusungswege: Die Richtlinie 2008/98/EG (AbfRRL) setzt eine Recyclingquote von 70 % bis 2020 für Bau- und Abbruchabfälle vor. Gummis, Kleber und Dichtungen als Störstoffe sind nicht primäres Ziel für eine werkstoffliche Verwertung von Bauabfällen. Störstoffe werden möglichst vom mineralischen Anteil abgetrennt und gesondert verwertet oder beseitigt. Die saubere Abtrennung dieser ist jedoch oft nur schwer umsetzbar.

SCCP in Abfällen: Potrykus et al. (2015) untersuchte Fugendichtungen. Bei drei Proben zeigten sich Werte oberhalb von 1.000 mg/kg SCCP (zwischen 1.030 und 1.550 mg/kg). Aufgrund der geringeren Zahl von Proben und den Schwierigkeiten bei der Unterscheidung zwischen Mittelkettigen Chlorparaffinen (MCCP) und SCCP in den Messungen der verfügbaren Proben, konnte diese Studie dennoch keine abschließende Aussage treffen.

Zukunftsansichten: Langfristig werden weiterhin SCCP-belastete Bauabfälle anfallen. Basierend auf Artikel 11 § 6 der AbfRRL zieht die Kommission bis zum 31. Dezember 2024 die Festlegung von Zielvorgaben für die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling für unter anderem Bau- und Abbruchabfälle in Betracht. Generell sollten bei der Festlegung dieser Zielvorgaben die Aspekte der Schadstoffausschleusung mitbedacht werden, um eine Verschleppung von SCCP oder anderer POP in Recyclingströme zu vermeiden.

Gummiabfälle

Lebensdauer: zwischen 2 und 30 Jahren (BIPRO et al. 2011)

Vorkommen in Produkten: Förderbänder und Dichtungsmassen

Behandlungs- und Ausschleusungswege: Gummiabfälle aus der mechanischen Behandlung von Abfällen sind der Abfallschlüsselnummer (ASN) 19 12 04 zugeordnet. Produktionsabfälle der Bergbauindustrie und entsorgte Förderbänder aus dem Untertagebau werden auch zur Erzeugung von Granulaten verwendet Potrykus et al. (2015). Genauere Informationen zur Aufbereitung und Entsorgung von gebrauchten Förderbändern liegen nicht vor. In einer UBA Studie wurde davon ausgegangen, dass Förderbänder zusammen mit allen restlichen Gummiabfällen (z.B. Altreifen, etc.) behandelt bzw. entsorgt werden (Potrykus et al. 2015).

SCCP in Abfällen: Potrykus et al. (2015) führte Messungen in Gummiabfällen aus dem Bergbau und in Granulat aus gebrauchten Förderbändern durch. Die Messwerte bewegten sich zwischen 0,094 mg/kg und 1,210 mg/kg SCCP. Es wurde in dem Forschungsvorhaben daher ausgeschlossen, dass SCCP-haltiger Gummi in den Förderbändern verwendet wurde (Potrykus et al. 2015).

Das Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt et al. (2019) fand in den Abfallströmen 19 12 12¹⁰ und 19 12 04¹¹ SCCP zwischen 570 mg/kg und 220 mg/kg. Eine der Proben (19 12 04) stammte aus einer Anlage zum Schreddern von Altreifen und Altgummi und enthielt Transportbänder. Eine weitere Probe stammte aus einer Anlage zur Behandlung von nicht gefährlichen Abfällen (Ersatzbrennstoff-Anlage) (19 12 12). Hier handelte sich um Outputmaterial, in welchem sich Kunststoffe aller Art und Holz befanden.

Zukunftsansichten: Auch zukünftig ist mit einem Eintrag von SCCP durch die ehemalige Verwendung von SCCP in Förderbändern zu rechnen. Aktuelle Informationen über Abfallbehandlung und Recyclingaktivitäten in Deutschland und quantitative Informationen über SCCP Konzentrationen und -Mengen in Abfällen und Rezyklaten sind nicht verfügbar.

Alttextilien

Lebensdauer: 10 ± 3 Jahre

Vorkommen in Produkten: Spezialtextilien

Behandlungs- und Ausschleusungswege: Textilien sind der ASN 19 12 08¹² zuzuordnen. Laut Potrykus et al. (2015) werden brandgeschützte Textilien auch als Sperrmüll oder als gemischte Siedlungsabfälle deklariert. Ähnliches könnte für Spezialtextilien (z. B. Zelte) gelten. Basierend auf diesen Abfallschlüsseln ist davon auszugehen, dass ein Großteil der anfallenden Textilabfälle thermisch verwertet werden.

SCCP in Abfällen: Potrykus et al. (2015) fand geringe SCCP-Konzentrationen in Spezialtextilien (17,7 mg/kg in Spezialzelten im Militärbereich und 0,152 mg/kg in einem Militärponcho).

Zukunftsansichten: Es wird davon ausgegangen, dass der größte Teil der mit SCCP-belasteten Alttextilien bereits entsorgt oder thermisch behandelt wurde und SCCP damit zerstört wurden.

Aktuelle Risiken

Beim Schreddern von relevanten Abfallströmen sowie beim Abriss von Gebäuden kann es zu Staubbildung kommen, welcher SCCP enthält und für Mensch und Umwelt eine Gefahr darstellt. Ebenfalls können durch heiß laufende Maschinen andere POP entstehen, wie z. B: PCDD/PCDF, PCN, PCP und PCB.

¹⁰ sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 12 11 fallen

¹¹ Kunststoff und Gummi

¹² Textilien

Auch wenn SCCP derzeit in der EU nicht verwendet werden oder erlaubt sind, ist ein weiterer Eintrag von SCCP in Deutschland durch Importe von neuen Produkten, recycelten Produkten und möglicherweise auch von recycelten Materialien zur Weiterverarbeitung (z. B. als Granulat), welche SCCP enthalten können zu erwarten. Dies auch zum Teil oberhalb der Grenzwerte für Stoffe, Gemische oder Erzeugnisse der EU-POP-VO. Dies passiert, da nicht jeder Import geprüft werden kann und die Analytik nach wie vor ein Problem darstellt. Abfall von SCCP-haltigen importierten Produkten könnte eine potenzielle Quelle von SCCP in die Umwelt sein. Es ist zu erwarten, dass die meisten dieser Artikel in der Verbrennung zusammen mit den festen Siedlungsabfallströmen entsorgt werden. Ein mögliches Recycling der jeweiligen Artikel kann jedoch nicht generell ausgeschlossen werden. Bei unsachgemäßer Verbrennung können POP wie PCN und PCB entstehen (BUWAL 2003).

In mechanischen Recyclingprozessen werden POPs üblicherweise nicht zerstört oder gebildet. Insbesondere durch das Recycling von SCCP-haltigen Gummiförderbändern können SCCP in recycelte Erzeugnisse gelangen (z.B. Bodenunterlagen für Hallen, Kinderspielplätze, etc.) und damit zu einer unkontrollierten globalen Verbreitung mit den damit verbundenen Risiken für Gesundheit und Umwelt beitragen (siehe Potrykus et al. (2015)).

Durch die Deponierung von SCCP-haltiger Abfälle kann es zu einer Freisetzung kommen.

Durch den früheren Einsatz von SCCP in der Metallbearbeitung kann es zur Kontaminierung von Böden gekommen sein.

Empfehlungen zur Risikovermeidung

Es sollten Maßnahmen ergriffen werden, die eine möglichst weitgehende Abtrennung von SCCP-haltigen Gummiförderbändern und deren geeignete Behandlung (z.B. geeignete thermische Verwertung) zum Ziel haben. Bei dieser Abtrennung sollte die Staubbildung vermieden werden. Ebenfalls sollten Maßnahmen getroffen werden, die eine möglichst weitgehende Abtrennung von SCCP-haltigen Dichtungsmassen und Klebern aus Bau- und Abbruchabfällen und deren geeignete Behandlung (z.B. geeignete thermische Verwertung) zum Ziel haben. Zusätzlich sollten, um Hitzeentwicklung bei der Entfernung der Fugen- und Dichtungsmasse zu vermeiden, keine schnell laufenden Maschinen verwendet werden. Staubbildung oder Staubinhalation sollten ebenfalls vermieden werden (Potrykus et al. 2015).

Die thermische Behandlung von Abfällen sollte so durchgeführt werden, dass eine unumkehrbare Umwandlung oder Zerstörung der POP erfolgt.

Abfall von SCCP-haltigen importierten Produkten könnte Auslöser für das Eindringen von SCCP in die Umwelt sein. Diesbezüglich könnten importierte Erzeugnisse gezielt auf SCCP kontrolliert werden. Um dies zu erleichtern, könnte eine Liste erstellt werden mit Produktkategorien, welche typischerweise SCCP (oder andere gelistete POP) enthalten können. Eine Maßnahme zur Kontrolle der Konzentration von Importprodukten und damit zusammenhängenden Abfällen ist jedoch nur möglich, wenn zuverlässige Analysemethoden/Standards zur Unterscheidung zwischen MCCP und SCCP zur Verfügung stehen. Daher sollten geeignete Methoden und Standards zur Analyse von SCCP entwickelt werden. Die Verwendung von MCCP sollte ebenfalls weiter eingeschränkt werden. Um SCCP-haltige Importe aus betroffenen Importländern zu reduzieren, könnte ebenfalls der Kapazitätsaufbau in betroffenen Ländern unterstützt werden.

In Anlehnung an Potrykus et al. (2015), sollten ebenfalls Proben von Gummiförderbändern für den Einsatz unter Tage oder entsprechende Granulate auf ihren SCCP-Gehalt analysiert werden.

Für die Verwaltung von potentiell kontaminierten Böden aus der Metallbearbeitung, spielt die Überwachung und Kontrolle von Sickerwasser eine zentrale Rolle. Mögliche Maßnahmen zur Kontrolle von Freisetzungen aus Altbeständen umfassen zum Beispiel die Einführung eines Inventars der relevanten Altlasten sowie die Kontrolle und einen angemessenen Umgang mit Sickerwasser oder die Sicherung oder Sanierung dieser Altlasten.

Lücken und Herausforderungen

Auch wenn SCCP derzeit in der EU nicht verwendet werden, ist ein weiterer Eintrag von SCCP in Deutschland durch Importe, über den Grenzwerten der EU-POP-VO, von neuen Produkten, recycelten Produkten und möglicherweise auch von recycelten Materialien zur Weiterverarbeitung (z.B. als Granulat) zu erwarten. Durch die Aufnahme von SCCP in das SÜ wird jedoch angenommen, dass der Einsatz von SCCP auch in anderen Ländern zukünftig zurückgehen bzw. eingestellt wird.

3.3.3 HCB

Hexachlorbutadien (HCB)

Herstellung und Verwendung

Herstellung

HCB wurde gezielt zwischen 1970 und 1980 in großer Menge produziert, wobei es seit Ende der 1970er Jahre nicht mehr in Europa produziert wurde. HCB wurde 2015 in Anlage A und 2017 in Anlage C des Stockholmer Übereinkommens aufgenommen. Die weltweite Produktion der Substanz im Jahr 1982 wird auf 10.000 Tonnen geschätzt. Im Jahr 1979 wurden ca. 4.500 Tonnen HCB in Deutschland unbeabsichtigt als Nebenprodukt bei der Herstellung bestimmter chlorierter Chemikalien erzeugt. Die unbeabsichtigte Herstellung ist die derzeit größte Quelle an HCB. Relevante Quellen umfassen (1) die Produktion bestimmter chlorierter Kohlenwasserstoffe, (2) die Produktion von Magnesium und (3) Verbrennungsprozesse (z.B. Emissionen von Kraftfahrzeugen, Verbrennungsprozesse von Acetylen oder Chlor-Rückständen, bei denen eine geringe Minderungskontrolle stattfindet) (UNEP 2013a, UNEP 2016b).

Verwendung

HCB wurde früher als Zwischenprodukt für fluorhaltige Schmiermittel und Gummiverbindungen, Lösemittel für Elastomere, hitzeübertragende Flüssigkeit, Kühlmittel in Transformatoren, Hydraulikflüssigkeit, Flüssigkeit für Gyroskope, Adsorptionsmittel für Gasverunreinigungen, Biozid zur Vermeidung der Algenbildung (z.B. in Kühlwassersystemen) sowie in einigen EU-Ländern als Pflanzenschutzmittel im Weinbau verwendet. Außerdem wurde HCB in der Vergangenheit als Absorber zum Auswaschen von Kohlenwasserstoffen aus Gasen und der Rückgewinnung von Chlorgasen in der Chlorproduktion und bei weiteren industriellen Prozessen (z.B. Herstellung von Aluminium- und Graphitstangen) eingesetzt (Potrykus et al. 2017).

Abfälle

Die Relevanz des Vorkommens von HCB in der Technosphäre in Deutschland aus Produkten aus historischen Anwendungen, Klärschlamm, unbeabsichtigte Entstehung aus der Produktion von chlororganischen Verbindungen, Verbrennungsprozessen und der Kunststoffherstellung wurde laut einem UBA Forschungsvorhaben als nicht relevant eingestuft (Potrykus et al. 2015).

Das einzige noch relevante Vorkommen von HCB ist als Verunreinigung in Hexachlorbenzolabfällen, welche früher in 10.000 Tonnen Maßstäben deponiert worden sind (BiPRO et al. 2011, European Commission 2019).

Aktuelle Risiken

Aus den Hexachlorbenzolabfall-Deponien kann HCB immer noch ausgewaschen werden, was auf globaler Ebene als größte Eintragsquelle von HCB gesehen wird (Zhang et al. 2019).

Thermische Prozesse können zur unbeabsichtigten Erzeugung/Freisetzung von HCB führen (z. B. Verbrennung von Abfall, Fahrzeugabgas, etc.) (UNEP 2013b, UNEP 2016b).

Empfehlungen zur Risikovermeidung

Für die Verwaltung von (Alt-)Deponien spielt die Überwachung und Kontrolle von Deponiesickerwasser eine zentrale Rolle. Mögliche Maßnahmen zur Kontrolle von Freisetzungen aus Altbeständen umfassen zum Beispiel die Einführung eines Inventars der relevanten Altlasten sowie die Kontrolle und einen angemessenen Umgang mit Sickerwasser oder die Instandsetzung/Dekontaminierung dieser Altlasten.

Die thermische Behandlung von Abfällen sollte so durchgeführt werden, dass eine unumkehrbare Umwandlung oder Zerstörung der POP erfolgt.

Lücken und Herausforderungen

Generell sind neu gelistete Stoffe unter Anhang C des Stockholmer Übereinkommens in den nationalen Trendtabellen nicht aufgeführt, da hierfür keine Verpflichtung nach CLRTAP besteht (Bänsch-Baltruschat et al. 2019). Es kann daher geprüft werden, ob für HCBD eine verpflichtende Berichterstattung abgeleitet werden kann.

Um sicherzustellen, dass Anlagen zur Herstellung von chlororganischen Verbindungen kein HCBD ausstoßen, können Messungen der Abgase durchgeführt werden. Ebenfalls können Abluftmessungen bei Verbrennungsprozessen der Müllverbrennung und häuslichen Verbrennung durchgeführt werden.

3.3.4 PCN

Polychlorierte Naphthaline (PCN)

Herstellung und Verwendung

Herstellung

PCN wurde seit 1910 hergestellt. Ab den 1970ern wurde die globale Produktion praktisch eingestellt.

PCN sind in Anlage A und C des SÜ gelistet.

Laut Anhang I der EU-POP-VO dürfen Erzeugnisse, die bereits vor dem oder am 10. Juli 2012 verwendet wurden und PCN enthalten, in Verkehr gebracht und verwendet werden.

Angaben zur weltweiten Produktion variieren zwischen 200.000 – 400.000 Tonnen und 150.000 Tonnen. In Deutschland wurden im Jahr 1984 300 Tonnen hergestellt.

PCN können ebenfalls unbeabsichtigt bei der Abfallverbrennung, der Metallherstellung sowie bei der Chlor-Alkali Elektrolyse entstehen.

Verwendung

PCN wurden in verschiedenen Anwendungen verwendet. Dazu gehören unter anderem Holzschutzmittel, Additive in Farben, wasserfeste Metallfarben und Motorenöle, Speziallösungen, Messgerätflüssigkeiten, Kabelisolierungen, Imprägnationsmittel für Papiere, Schmiermittel, Flammschutzmittel, Harzen, Gummi sowie in Kunststoffe. Ebenfalls fanden sie Anwendung in Transformatoren und Kondensatoren (UBA 2017b). In Deutschland wurden sie mit folgenden Namen verkauft: Basileum, Nibren way und Perna way. (UNEP 2017b).

Abfälle

PCN wird seit über 30 Jahren nicht mehr verwendet und PCN-haltige Abfälle sind bereits überwiegend entsorgt worden (Potrykus et al. 2015). Dennoch kann es in Altholz, Bau- und Abbruchabfällen, Abfällen von Metallkonstruktionen und Hydraulikölen vorkommen. Momentan gibt es keine international anerkannte Standardmethode für die Probenahme von PCN. Des Weiteren stellt sich die Kongener-spezifische Bestimmung von PCN aufgrund sehr ähnlicher Eigenschaften einiger PCN-Kongenerer als große Herausforderung (Liu et al. 2014). Die quantitative Bestimmung von PCN kann mittels GC-MS erfolgen.

Altholz

Lebensdauer: 15 bis 30 Jahre, in Gebäuden 50 ± 25 Jahre

Vorkommen in Produkten: Span- und Furnierplatten, Fußbodenplatten, Wand- und Deckplatten, im Rahmen der Pavillonbauweise

Behandlungs- und Ausschleusungswege: Die AltholzV setzt keinen Grenzwert für PCN. PCN-haltige Holzabfälle werden der Klasse A IV zugeordnet, daher erfolgte keine Aufbereitung sowie Recycling. (Gefährliche) Holzabfälle werden primär thermisch behandelt.

PCN in Abfällen: Mengen nicht bekannt.

Zukunftsaussichten: Die Verwendung ist seit ca. 30 Jahren eingestellt. Daher wird mit keinen relevanten Abfallmengen gerechnet. Ein Recycling kontaminierter Fraktionen kann jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

Metallkonstruktionen

Informationen zur Abfallbehandlung von ehemals mit PCN-haltigen Anstrichen beschichteten Metallkonstruktionen sind nicht verfügbar.

Bau- und Abbruchabfälle

Lebensdauer: 50 ± 25 Jahre

Vorkommen in Produkten: Formbare Massen z. B. Fugen- und Dichtungsmassen und Kabelisolierungen

Behandlungs- und Ausschleusungswege: Die AbfRRL setzt eine Recyclingquote von 70 % für Bau- und Abbruchabfälle vor, welche bis 2020 zu erfüllen ist. Fugen- und Dichtungsmassen als Störstoffe sind nicht primäres Ziel für eine werkstoffliche Verwertung von Bau- und Abbruchabfällen. Fugen und Dichtungen werden möglichst vom mineralischen Anteil abgetrennt und gesondert verwertet oder beseitigt. Die saubere Abtrennung dieser ist jedoch oft nur schwer umsetzbar (Potrykus et al. 2015).

PCN in Abfällen: Aktuelle Informationen zum Vorkommen von PCN in Fugendichtungen und Dichtstoffen sind nicht verfügbar.

Zukunftsansichten: Es ist möglich, dass PCN z.B. in Fugen- und Dichtungsmassen noch heute als Altprodukte im älteren Gebäudebestand vorkommen (Hauptverwendung bis in die 1970er Jahre). Basierend auf Artikel 11 § 6 der AbfRRL, zieht die Kommission bis zum 31. Dezember 2024 die Festlegung von Zielvorgaben für die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling für unter anderem Bau- und Abbruchabfälle in Betracht. Generell sollten bei der Festlegung dieser Zielvorgaben die Aspekte der Schadstoffausschleusung mitbedacht werden, um eine Verschleppung von PCN oder anderer POP in Recyclingströme zu vermeiden.

Hydrauliköle

Lebensdauer: keine Daten verfügbar

Vorkommen in Produkten: Hydrauliköle z. B. im Bergbau (Weber 2018)

Behandlungs- und Ausschleusungswege: Chlorierte Hydrauliköle, welche kein PCB enthalten, fallen unter die ASN 13 01 04* (chlorierte Emulsionen) und 13 01 09* (chlorierte Hydrauliköle auf Mineralölbasis). Die chlorierten Abfälle werden nicht verwertet, sondern unabhängig vom Basisöl verbrannt oder Untertage deponiert (LUBW 2012).

PCN in Abfällen: Aktuelle Informationen zum Vorkommen von PCN in Hydraulikölen sind nicht verfügbar.

Zukunftsansichten: Es wird nur in Einzelfällen mit gering verunreinigten Hydraulikölen zur Entsorgung gerechnet (LUBW 2012).

Aktuelle Risiken

Thermische Prozesse können zur unbeabsichtigten Erzeugung/Freisetzung von PCN führen (z. B. Verbrennung von Abfall, Waldbrände, etc.) (Environment Canada 2011, Potrykus et al. 2017). In Deutschland kommt PCN laut einer Studie nicht oder nicht in relevanten Mengen in den Verbrennungsrückständen von Abfällen, Filterstäuben und Salzlacken aus der Sekundäraluminiumherstellung vor (Potrykus et al. 2015).

Empfehlungen zur Risikovermeidung

Die thermische Behandlung von Abfällen sollte so durchgeführt werden, dass eine unumkehrbare Umwandlung oder Zerstörung der POP erfolgt.

Lücken und Herausforderungen

Die Datenlage zu PCN-haltigen Abfällen wird insgesamt als schlecht bewertet, da nur wenige Messungen von PCN in Anwendungen, Abfallfraktionen oder in Rezyklaten vorliegen (Weber 2018). Aktuelle Informationen zum Vorkommen in Abfällen und PCN-Konzentrationen in diesen oder potenziellen Rezyklaten sind nicht verfügbar. Momentan gibt es keine international anerkannte Standardmethode für die Probenahme und analytische Bestimmung von PCN, daher sollte diese in Zukunft etabliert werden.

Generell sind neu gelistete Stoffe unter Anhang C des Stockholmer Übereinkommens in den nationalen Trendtabellen nicht aufgeführt, da hierfür keine Verpflichtung nach CLRTAP besteht (Bänsch-Baltruschat et al. 2019). Es kann daher geprüft werden, ob für PCN eine verpflichtende Berichterstattung abgeleitet werden kann.

3.3.5 PCP

Pentachlorphenol (PCP), seine Salze und Ester

Herstellung und Verwendung

Herstellung

PCP und seine Salze (z. B. NaPCP) und Ester (z. B. PCPL) wurden seit 1930 hergestellt. Die Herstellung und Verwendung ist in Deutschland seit den 1980ern (in Ostdeutschland 1990) durch die PCP-V verboten. Zusätzlich findet PCP Erwähnung in der AltholzV und der Richtlinie zur Bewertung und Sanierung PCP-belasteter Baustoffe, welche von den meisten Bundesländern in das Baurecht übernommen (PCP-Richtlinie 1996, BLfU 2008). 2015 wurde PCP in Anlage A der SÜ aufgenommen. Weltweit wurden 1981 ca. 90.000 Tonnen PCP hergestellt. 2011 waren es in etwa 10.000 Tonnen (UNEP 2011)

Verwendung

PCP wurde in verschiedenen Anwendungen verwendet. Dazu zählten Anwendungen zur Holzbehandlung, Textil- und Lederimprägnierung sowie zur Zellstoff-, Papier- und Pappeherstellung. PCP wurde ebenfalls in Fugendichtungsmitteln, Spachtel- und Vergussmassen, Klebern sowie in Lacken und Farben eingesetzt (BLfU 2003). In Deutschland wurde PCP hauptsächlich für die Holzimprägnierung (ca. 61% in 1983) und zur Behandlung von Textilien eingesetzt (ca. 13% in 1983) (LfU 1996) (IEP 2002) (BLfU 2008). Die restliche Menge wurden 1983 in der Leder- (5%), Mineralöl- (6%) und Klebstoffindustrie (6%) verwendet.

Das BLfU (2008) vermutet, dass PCP immer noch in Produkten enthalten sein könnte, die z.B. aus den USA, Indien, Taiwan oder China importiert werden. Daher können Importe von PCP-belasteten Produkten nicht gänzlich ausgeschlossen werden (Potrykus et al. 2015).

Abfälle

PCP-haltige Holzabfälle sind aufgrund der langen Lebensdauer der Produkte, die vor allem in Gebäuden verwendet wurden, als noch relevant zu betrachten. Relevante Abfallmengen aus anderen Verwendungen sind nicht zu erwarten (Textilien und Lederprodukte sowie Produkte der Zellstoff-, Papier- und Pappeherstellung), da diese durch ihre kurze Lebensdauer bereits behandelt wurden (Potrykus et al. 2015).

Die quantitative Bestimmung von PCP kann mittels Gaschromatographie mit Elektroneneinfangdetektor (GC-ECD) erfolgen.

Altholz

Lebensdauer: 15 bis 30 Jahre, in Gebäuden 50 ± 25 Jahre

Vorkommen in Produkten: Fungizid im Holz- und Bautenschutz

Behandlungs- und Ausschleusungswege: Die AltholzV setzt einen Grenzwert von 3 mg PCP/kg Trockenmasse (Tm) für Holzhackschnitzel und Holzspäne zur Herstellung von Holzwerkstoffen fest. Die Deponierung von Altholz ist in Deutschland nicht gestattet. Unter Berücksichtigung verschiedener Altholzkategorien und Beispiele für Holzsortimente der AltholzV, sollte PCP-belastetes Altholz der Altholzkategorie A IV zugeordnet und entsprechend behandelt werden. Bauabfall aus PCP-belastetem Holz sind der ASN 17 02 04*¹³ zuzuordnen (AltholzV 2002). PCP-belastete Holzabfälle aus der mechanischen Behandlung von Abfällen sind der ASN 19 12 06* zuzuordnen (AVV 2001)¹⁴. Holz wird entweder werkstofflich und rohstofflich verwertet (Aufbereitung zu Holzhackschnitzel und Holzspäne, Gewinnung von Synthesegas und Herstellung von

¹³ Glas, Kunststoff und Holz, die gefährliche Stoffe enthalten oder durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind. Laut AltholzV für Althölzer aus „Konstruktionshölzer für tragende Teile, Holzfachwerk und Dachsparren, Holzfachwerk und Dachsparren, Imprägnierte Bauhölzer aus dem Außenbereich und Bau- und Abbruchholz mit schädlichen Verunreinigungen“.

¹⁴ Laut AltholzV zu vergeben für „Feinfraktion aus der Aufarbeitung von Altholz zu Holzwerkstoffen“

Aktivkohle/IndustrieHolzkohle) oder thermisch beseitigt. Die Anteile dieser Abfallströme, welche PCP enthalten, sind nicht bekannt. Es wird jedoch angenommen, da es sich um hochkalorische Abfallfraktionen handelt, dass der Großteil der Althölzer einer thermischen Verwertung zugeführt wird und der PCP-Anteil damit zerstört wird.

PCP in Abfällen: BiPRO et al. (2011) geht davon aus, dass während des gesamten Lebenszyklus imprägnierter Holzzeugnisse etwa 2 % der ursprünglich verwendeten PCP-Menge entweichen und daher etwa 98 % der angewandten PCP-Menge im Abfall verbleibt. Die gemessenen PCP-Konzentrationen in Althölzern lagen im Bereich von ~0,04 – 0,4 mg/kg. Bei einer untersuchten Holzspanplatte wurde eine PCP-Konzentration von ~0,03 mg/kg gemessen (Potrykus et al. 2015).

Zukunftsaussichten: Durch die angegebene Lebensdauer kann von abnehmenden belasteten Abfallmengen in Deutschland ausgegangen werden. Durch Importe können jedoch auch zukünftig belastete Abfälle anfallen.

Aktuelle Risiken

Durch die Verwendung von Holzhackschnitzeln und Holzspänen für die Herstellung von Holzwerkstoffen kann es zu unbeabsichtigten PCP-Spurenverunreinigungen in Holzzeugnissen kommen.

Unsachgemäße Verbrennung von POP-haltigen Abfällen kann zur unbeabsichtigten Erzeugung/Freisetzung von anderen POP z. B. PCDD/PCDF führen.

Empfehlungen zur Risikovermeidung

Die thermische Behandlung von Abfällen sollte so durchgeführt werden, sodass eine unumkehrbare Umwandlung oder Zerstörung der POP erfolgt.

Lücken und Herausforderungen

Das Fehlen eines Grenzwertes in Anhang I der EU-POP-VO für PCP stellte ein Problem für die Vermarktung von Erzeugnissen aus Holzwerkstoffen dar. Laut AltholzV dürfen in Holzhackschnitzeln und Holzspänen zur Herstellung von Holzwerkstoffen Spurenverunreinigungen von bis zu 3 mg/kg Tm PCP auftreten. Da keine Konzentration für die unbeabsichtigte Spurenverunreinigung mit PCP in Anhang I der EU-POP-VO festgelegt war, durften nach Artikel 3 Absatz 1 i.V.m. Artikel 4 Absatz 1 weder Gemische noch Erzeugnisse die PCP enthalten hergestellt, in Verkehr gebracht oder verwendet werden.

Am 5. Januar 2021 trat die Verordnung (EU) 2021/277 zur Änderung des Anhang I der Verordnung (EU) 2019/1021 in Kraft. Diese legt in Anhang I der POP-VO eine unbeabsichtigte Spurenverunreinigung für PCP von höchstens 5 mg/kg (0,0005 Gew.-%), in Stoffen, Gemischen oder Erzeugnissen fest¹⁵. Durch diese Anpassung gehört diese Lücke der Vergangenheit an.

¹⁵ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0277&qid=1615987116262&from=en>

3.4 Herausforderung: POP in Gebäuden

Im Rahmen des Projekts wurde ein Fallbeispiel zu POP in Gebäuden und die damit einhergehenden Herausforderungen erarbeitet. Relevante Informationen dazu finden sich ebenfalls in den jeweiligen Kapiteln des NIP (PCN, PCB, SCCP, PBDE, HBCDD, PCP). Die Ergebnisse sind in Form eines Factsheets dargestellt. Im Rahmen der Erarbeitung identifizierte Lücken und Herausforderungen werden in Kapitel 3.6 aufgegriffen.

3.4.1 Factsheet

POP in Gebäuden	
Rechtlicher Hintergrund	
<p>Das Stockholmer Übereinkommen (SC) hat zum Ziel, gemäß dem Vorsorgeprinzip die menschliche Gesundheit und die Umwelt vor persistenten organischen Schadstoffen (engl. Persistent Organic Pollutants, kurz POP) zu schützen. Das SÜ wird in Europa durch die Europäische POP Verordnung ((EU) 2019/1021) (EU-POP-VO) umgesetzt.</p> <p>Die folgenden POP, welche in Anhang I sowie in Anhang III der EU-POP-VO gelistet sind, wurden ehemals in Gebäuden eingesetzt:</p> <ul style="list-style-type: none">▶ Hexachlorcyclohexan, einschließlich Lindan,▶ DDT (1,1,1-Trichlor-2,2-bis(4-chlorphenyl)ethan),▶ Polychlorierte Naphthaline (PCN),▶ Polychlorierte Biphenyle (PCB),▶ Pentachlorphenol (PCP), seine Salze und Ester,▶ Hexabromcyclododecan (HBCDD),▶ Kurzkettige Chlorparaffine (SCCP),▶ Polybromierte Diphenylether (PBDE):<ul style="list-style-type: none">● Kommerzielle Octabromdiphenylether (c-OctaBDE)¹⁶,● Kommerzielle Pentabromdiphenylether (c-PentaBDE)¹⁷,● Kommerzielle Decabromdiphenylether (c-DecaBDE)¹⁸. <p>Für HBCDD besteht in der EU-POP-VO Ausnahmen bezüglich des Einsatzes. Erzeugnisse aus expandiertem Polystyrol (EPS), die HBCDD</p>	<p>enthalten und vor dem 21. Februar 2018 in Gebäuden verwendet wurden, und Erzeugnisse aus extrudiertem Polystyrol (XPS), die HBCDD enthalten und bereits vor dem 23. Juni 2016 in Gebäuden verwendet wurden, dürfen auch weiterhin verwendet werden. Expandiertes Polystyrol, welches nach dem 23. März 2016 in Verkehr gebracht wurde und HBCDD enthält, muss während seines gesamten Lebenszyklus identifizierbar sein.</p> <p>Die Altholzverordnung (AltholzV) regelt die stoffliche und energetische Verwertung und die Beseitigung von Altholz in Deutschland. Sie legt einen Grenzwert von 3 mg PCP/kg Trockenmasse (Tm) sowie einen Grenzwert für PCB von 5 mg/kg Tm für einige Produkte fest. Für PCN, DDT oder Lindan ist kein Grenzwert festgelegt. Zusätzlich werden laut AltholzV Altholzkategorien unter anderem für belastetes Altholz (z. B. A IV) zugeordnet.</p> <p>Des Weiteren haben mehrere Länderbehörden Richtlinien zur Bewertung und Sanierung PCB- oder PCP-belasteter Gebäude und Baustoffe erarbeitet, z. B. NRW, Bayern und Baden-Württemberg.</p> <p>Bezüglich der Abfallbehandlung sieht die Richtlinie 2008/98/EG (AbfRRL) eine Recyclingquote von 70 % für Bau- und Abbruchabfälle vor, welche bis 2020 zu erfüllen ist¹⁹. Die Kommission zieht bis zum 31. Dezember 2024 die Festlegung von Zielvorgaben für die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling unter anderem für Bau- und Abbruchabfälle in Betracht.</p>

¹⁶ Kommerzielle c-OctaBDE bestehen durchschnittlich aus: 0,5% PentaBDE, 12% HexaBDE, 45% HeptaBDE, 33% OctaBDE, 10% NonaBDE und 0,7% DecaBDE.

¹⁷ Kommerzielle c-PentaBDE bestehen durchschnittlich aus: 24 – 38% TetraBDE, 50 – 62% PentaBDE, 4 – 12% HexaBDE und Spuren an HeptaBDE.

¹⁸ Kommerzielle c-DecaBDE bestehen durchschnittlich aus: 0,3 – 3% NonaBDE 97 – 98% DecaBDE und Spuren an OctaBDE.

¹⁹ <https://www.bmu.de/gesetz/richtlinie-200898eg-ueber-abfaelle-und-zur-aufhebung-bestimmter-richtlinien/>

Frühere Herstellung

Die Herstellung der relevanten POP war in den folgenden Zeitspannen in Deutschland erlaubt:

- ▶ Lindan seit den 1940ern bis 1984 in der Bundesrepublik Deutschland (BRD), bis 1989 in der Deutschen Demokratischen Republik (DDR),
- ▶ DDT seit den 1940ern bis 1972 in der BRD, bis 1989 in der DDR,
- ▶ PCN von 1910 bis 1970,
- ▶ PCB von 1929 bis 1989,
- ▶ PCP von 1930 bis 1985/86/89,
- ▶ HBCDD seit den 1960ern bis 2013,

- ▶ SCCP seit den 1930ern (als Ersatz für PCB) bis 2012,
- ▶ PBDE:
 - OctaBDE seit den 1970ern bis 2004. Die deutsche Industrie hatte auf freiwilliger Basis bereits 1986 die Verwendung eingestellt.
 - PentaBDE seit den 1970ern bis 2004. Die deutsche Industrie hatte auf freiwilliger Basis bereits 1986 die Verwendung eingestellt.
 - DecaBDE seit den 1970ern bis 2019.

Darüber hinaus können belastete Produkte auch durch Importe nach Deutschland gelangt sein.

Vorkommen und ehemalige Verwendung in Gebäuden

Produkt	POP									
	Lindan	DDT	PCN	PCB	PCP	HBCDD	SCCP	c-Octa-BDE	c-Penta-BDE	c-Deca-BDE
Rohre								X	X	X
Fugen- und Dichtungsmasse			X1	X	X2		X			X
Dämmstoffe						X			X	X
Lacke & Farben				X	X2	X2				
Klebstoffe				X	X2	X2	X			X
Latexbindemittel						X2				
Holzkonstruktionen und Dachbalken durch Einsatz als Holzschutzmittel oder von Klebern, Farben und Lacken	X5	X5	X	X	X		X4			
Verstärkte Kunststoffe										X
Schalter und Anschlüsse										X
Elektrische Kanäle										X
Kabelummantelungen			X3	X			X		X	X
Deckenverkleidungen				X						
Fensterprofile									X	
Bodenbeläge und Wandverkleidungen				X			X		X	
HIPS in Verteilerkästen						X2				

¹ kein Hinweise auf Verwendung oder Vorkommen in Deutschland

² Aufgrund der geringen Einsatzmengen im Vergleich zu den anderen Anwendungen ist diese Anwendung wohl vernachlässigbar

³ Die meisten Kabelanwendungen der 1920er bis 1960er Jahre sind bereits entsorgt, womit diese Anwendung nur noch eine untergeordnete Rolle spielt.

⁴ SCCP können durch ihre Anwendung in Beschichtungen und Lacken auch in Holzprodukten gefunden werden. Die Anwendung von SCCP in Beschichtungen und Lacken fand bei Schiffen, Maschinen, Brücken und Masten, Holz, Schwimmbecken, Fassaden- und Straßenmarkierungsfarben sowie flammhemmenden Beschichtungen statt. Somit spielt diese Anwendung für den Wohnhausbau, mit Ausnahme von Holzprodukten, keine relevante Rolle.

⁵ Lindan und DDT wurden insbesondere in baulichen Holzkonstruktionen auf dem Gebiet der ehemaligen DDR bis 1989 in Innenräumen und als Dachbalken verbreitet eingesetzt.

Einsatzkonzentrationen in Erzeugnissen

- ▶ PCN in Fugen- und Dichtungsmassen und Kabelisierungen: nicht bekannt,
- ▶ PCB in Fugen- und Dichtungsmassen: In unterschiedlichen Konzentrationen (bis 45 %) (Trempe et al. 2003),
- ▶ PCB in Lacken: \varnothing 210 mg/kg (Gunnarsen et al. 2012),
- ▶ PCB in Farben: ~200 – 160.000 mg/kg (UNEP-POPS-COP.8-INF-19),
- ▶ PCB in Kabelummantelungen: 30.000 – 200.000 mg/kg (Weber 2018),
- ▶ PCB in Deckenverkleidungen: nicht bekannt,
- ▶ PCB in Bodenbelägen: nicht bekannt,
- ▶ HBCDD in expandiertem Polystyrol (EPS): ~0,7 Gewichtsprozent (wt%) (UBA 2017a),
- ▶ HBCDD in XPS: ~1,5 wt% (UBA 2017a),
- ▶ SCCP in Fugenmasse und Klebstoffe: 5 – 14 % (Potrykus et al. 2015),
- ▶ SCCP in Kabelummantelungen: bis zu 10 % (UNEP 2018),
- ▶ SCCP in Bodenbelägen: bis zu 10 % (UNEP 2018),
- ▶ c-PentaBDE: typische Konzentrationen in den wichtigsten Anwendungen zwischen 10 – 18 wt% (UNEP 2010),
- ▶ c-OctaBDE: typische Konzentrationen in den wichtigsten Anwendungen 12 – 18 wt% (UNEP 2010),
- ▶ Die Verwendungskonzentrationen für c-DecaBDE bewegten sich zwischen 1 – 50 %.
 - Es gibt für Bauprodukte basierend auf technischen Datenblättern Beweise, dass c-DecaBDE in erheblichen Maßen eingesetzt wurde (>1.000 – 300.000 mg/kg) (Potrykus et al. 2020).

Aufgrund von architektonischen Trends in den 60ern und 70ern wurde Holz zunehmend im Innen- und Außenbereich eingesetzt. Holzschutzmittel wurden dabei ebenfalls im Innen- und Außenbereich eingesetzt (Potrykus et al. 2015). Hierbei wurden folgenden Einsatzkonzentration in Erzeugnissen verwendet:

- ▶ Lindan: als Insektizid war es zu etwa 0,5 % in Holzschutzmittelformulierungen enthalten, zumeist in Kombination mit PCP oder DDT (Horn et al. 2004),
- ▶ DDT: in der DDR wurde das Insektizid im Holzschutz mit einem Gehalt von bis 3,5 % Gehalt eingesetzt (Horn et al. 2004),
 - Üblich war technisches DDT mit ca. 70% p,p'-DDT (Horn et al. 2004),
- ▶ PCN in Basileum SP 70: Für Holzplatten wurde eine ungefähre Konzentration von 1 %, bezogen auf das Plattengewicht, zugesetzt (Stadt Köln o. J.),
 - Basileum SP 70 enthält neben 80 % technischem Monochlornaphthalin noch Di-, Trichlornaphthalin sowie Naphthalin (Stadt Köln o. J.),
- ▶ PCB in Fußbodenholz: 4 mg/kg (Gunnarsen et al. 2012)
- ▶ PCB wurde ebenfalls in Holz aus Industrieanlagen gefunden: 0,2 – 0,5 mg/kg Tm (Gras 2002)
- ▶ PCP war häufig mit 5 % in zahlreichen Holzschutzmitteln enthalten (Horn et al. 2004)
 - In der oberen Schicht von behandeltem Holz wurde PCP im Bereich von mehreren 1.000 mg/kg gefunden (BLfU 2008).

Die durchschnittliche Lebensdauer von Gebäuden liegt etwa bei 50 ± 25 Jahren. Demnach ist ein weiterer Anfall der meisten POP in Bau- und Abbruchabfällen als wahrscheinlich anzusehen.

Relevante Abfälle

Aufgrund der Einschätzung von Potrykus et al. (2015) können folgende Abfallschlüsselnummern (ASN) der Abfallverzeichnis-Verordnung im Zusammenhang mit POP-Abfällen aus Gebäuden relevant sein. Diese sind mit den insgesamten Inputmengen in Abfallentsorgungsanlagen²⁰ Deutschlands für 2017 dargestellt:

ASN	Abfallart	Input insgesamt in 1.000 t
17 01 06*	Gemische aus oder getrennte Fraktionen von Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik, die gefährliche Stoffe enthalten	705,7
17 01 07	Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik mit Ausnahme derjenigen, die unter 170106 fallen	27 340,4
17 02 01	Holz	3 048,5
17 02 03 ²¹	Kunststoff	123,8
17 02 04*	Glas, Kunststoff und Holz, die gefährliche Stoffe enthalten oder durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind	852,5
17 04 10*	Kabel, die Öl, Kohlenteer oder andere gefährliche Stoffe enthalten	6,7
17 04 11	Kabel mit Ausnahme derjenigen, die unter 170410 fallen	177,3
17 05 03*	Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten	2 228,5
17 05 04	Boden und Steine mit Ausnahme derjenigen, die unter 170503 fallen	118 902,8
17 06 03*	anderes Dämmmaterial, das aus gefährlichen Stoffen besteht oder solche Stoffe enthält	190,9
17 06 04	Dämmmaterial mit Ausnahme desjenigen, das unter 170601 und 170603 fällt	190,9
17 08 01*	Baustoffe auf Gipsbasis, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind	1,3
17 09 03*	sonstige Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich gemischte Abfälle), die gefährliche Stoffe enthalten	43,4
17 09 04	gemischte Bau- und Abbruchabfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 170901, 170902 und 170903 fallen	3 870,5

Quelle: (Potrykus 2016, Destatis 2019)

Zusätzlich wurde 2017 in Deutschland eine Inputmenge von 5,8 Kilotonnen Bau- und Abbruchabfälle, die PCB enthalten (z. B. PCB-haltige Dichtungsmassen, PCB-haltige Bodenbeläge auf Harzbasis, PCB-haltige Isolierverglasungen, PCB-haltige Kondensatoren) (ASN: 17 09 02*) ausgewiesen. Bauabfall aus PCP belastetem Holz sind der ASN 17 02 04* zuzuordnen (AltholzV 2002). PCP belastete Holzabfälle aus der mechanischen Behandlung von Abfällen sind der ASN 19 12 06* zuzuordnen (AVV 2001).

Conversio (2018) geht für 2017 von einem Kunststoffabfallaufkommen aus dem Bau²² von 495 kt in Deutschland aus (Conversio 2018). Dieses beinhaltet jedoch weitere Abfallarten.

²⁰ Input insgesamt beinhaltet im eigenen Betrieb erzeugte Abfälle, Abfälle aus dem Inland und Abfälle aus dem Ausland.

²¹ Potrykus et al. (2015)

²² u.a. Straßen- und Tiefbau, Hochbau, Bauwerkstoffindustrie, Herstellung von Produkten für den Sanitärbereich, Bodenbeläge, Wand- und Deckenverkleidungen, Kunststofftüren und -fenster, Beschläge, Dämmung etc.

Abfallbehandlung

Generell müssen POP-haltige Abfälle ab einem stoffspezifischen Grenzwert so behandelt werden, dass es zu einer Zerstörung oder unumkehrbaren Umwandlung der enthaltenen POP kommt.

Die relevanten Stoffströme aus POP in Gebäuden innerhalb des Bau- und Abbruchabfalls, stellen keine Priorität in der werkstofflichen Verwertung dieser Abfallart dar. Dämmmaterialien, Flammgeschützte Kunststoffe und Gummis, Kleber, Dichtungen und Anstriche sowie Altholz werden daher in Regel als Störstoffe gesehen und weitmöglichst vom mineralischen Anteil abgetrennt und gesondert (i.d.R thermisch) verwertet oder beseitigt. Jedoch ist eine saubere Abtrennung dieser Störstoffe wegen der Anhaftung an mineralischen Anteilen (Beton, Ziegel, Putz, etc.) oft mit großem Aufwand verbunden. Daher werden diese anhaftenden Fraktionen gemeinsam mit dem mineralischen Anteil entsprechend verwertet und beseitigt (Potrykus et al. 2015). Laut DepV darf der organische Anteil des Trockenrückstandes der Originalsubstanz, bestimmt als Glühverlust, aus Deponien je nach Deponieklasse bis zu 3, 5 oder 10 Masse% Tm betragen. Für die Deponieklasse 0 für Inertabfälle darf der Glühverlust bis zu 3 Masse% Tm betragen. Folglich ist es möglich, dass Bau- und Abbruchabfälle auf Bauschuttdeponien beseitigt werden.

Im Gegensatz zu den andern Störstoffen gilt für Dämmstoffe aus Polystyrol ein Getrenntsammlungsgebot und ein Vermischungsverbot mit anderem Bauschutt. Somit müssen Dämmplatten, sofern sie HBCDD enthalten, bei Abbruch oder Sanierungsmaßnahmen getrennt gesammelt werden. Ein werkstoffliches Recycling HBCDD-haltiger Dämmstoffe ist nur zulässig, wenn der seit dem 22. März 2016 geltende Grenzwert von 100 mg/kg in Anhang I der EU-POP-VO für Stoffe, Gemische und Erzeugnisse unterschritten wird. Gleiches gilt für Verpackungen oder Gehäusekunststoffe, die HBCDD enthalten.

HBCDD-haltige Dämmstoffe werden thermisch verwertet, das enthaltene Brom wird als Salz in der Abgasreinigung aufgefangen (Potrykus et al. 2015). Die Verwertung und Beseitigung von abgetrennten Holzfraktionen wird durch die AltholzV geregelt. Mit PCB, PCN, PCP oder mit anderen Holzschutzmitteln behandeltes Holz wird laut AltholzV der Altholz Kategorie A IV²³ zugeordnet. Für PCB-haltiges Altholz über einem PCB-Gehalt von 50 mg/kg ist das Altholz nach § 1 Abs. 2 der Verordnung über die Entsorgung polychlorierter Biphenyle, polychlorierter Terphenyle und halogenerter Monomethyldiphenylmethane (PCBAbfallV) und nach § 2 Nummer 5 der AltholzV entsprechend der PCBAbfallV zu entsorgen. Betreiber einer Altholzbehandlungsanlage haben sicherzustellen, dass bei der vorgesehenen Verwertung nur die hierfür zugelassenen Altholzkategorien eingesetzt werden und das eingesetzte Altholz entfrachtet von Störstoffen und frei von PCB-Altholz ist. Lässt sich Altholz nicht eindeutig einer Altholzkategorie zuordnen, ist es in eine höhere Altholzkategorie einzustufen. Behandeltes Altholz darf mit einer PCB-Konzentration von unter 5 mg/kg Tm oder einer PCP-Konzentration von unter 3 mg/kg Tm zum Zweck der Herstellung von Holzwerkstoffen aufbereiteter Holzhackschnitzel und Holzspäne verwendet werden. Eine Gewinnung von Synthesegas oder die Herstellung von Aktivkohle/Industriekohle ist für PCP und PCN sowie für PCB möglich. Für PCB gilt hierbei ein Grenzwert von 50 mg/kg. Die AltholzV setzt keinen Grenzwert für PCN.

Die Altholzabfälle werden zu 95% verbrannt (mit und ohne Energiegewinnung) und nur zu ungefähr 5% wiederverwertet (Gewinnung von Synthesegas und Herstellung von Aktivkohle) (Potrykus et al. 2015). Die Anteile dieser Abfallströme, welche PCP und PCN enthalten, sind nicht bekannt. Es wird jedoch angenommen, da es sich bei diesen Anteilen primär um hochkalorische Abfallfraktionen handelt. Die EU-POP-VO setzt einen Konzentrationsgrenzwert für PCP in Stoffen, Gemischen und Erzeugnissen von 5 mg/kg fest.

²³ mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz [...] sonstiges Altholz, das aufgrund seiner Schadstoffbelastung nicht den

Altholzkategorien A I, A II oder A III zugeordnet werden kann, ausgenommen PCB-Altholz.

Weiterführende Informationen zur Abfallbehandlung von POP-haltigen Bau- und Abbruchabfällen aus Störstoffen oder in gemischten Fraktionen sind nicht verfügbar. Ebenfalls sind nur wenige Daten, besonders in Deutschland, zu POP-Konzentrationen in Bauabfällen vorhanden. Die vorhandenen Konzentrations-Daten beziehen sich zumeist auf Erzeugnisse.

Durch die Verordnung über die Getrenntsammlung und Überwachung von nicht gefährlichen Abfällen mit persistenten organischen Schadstoffen (POP-Abfall-ÜberwV) soll eine lückenlose Überwachung der Abfälle bis zum Punkt der Zerstörung oder unumkehrbaren Umwandlung der POP-haltigen Abfälle laut § 2 Absatz 1 gewährleistet werden (§§ 4 und 5 Absatz 1 POP-Abfall-ÜberwV). Weiter konkretisiert die POP-Abfall-ÜberwV das Getrenntsammlungsgebot und das Vermischungsverbot der EU-POP-Verordnung (§ 3 POP-Abfall-ÜberwV). Soweit POP-haltige Abfälle im Sinne der POP-Abfall-ÜberwV in unzulässiger Weise vermischt worden sind, sind diese zu trennen. Eine Vermischung ist nur zulässig, sofern sichergestellt wird, dass das gesamte entstehende Gemisch entsprechend dem Kreislaufwirtschaftsgesetz ordnungsgemäß und schadlos verwertet oder beseitigt wird. POP-haltige Abfälle, die unzulässig vermischt worden sind, sind zu trennen und einer schadlosen Verwertung oder Beseitigung zuzuführen, wenn die Trennung technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist (Bundesregierung 2017).

Zukünftiger Anfall an Abfällen

Für HBCDD in EPS Dämmplatten wird aufgrund der hohen Lebensdauer von Gebäuden von einer noch langanhaltenden Relevanz ausgegangen. Es wird geschätzt, dass um 2050 ca. 960 Tonnen HBCDD pro Jahr aus EPS-Dämmplatten anfallen werden. Ebenso wird das HBCDD in XPS Dämmplatten aufgrund der hohen Lebensdauer von Gebäuden noch lange relevant sein. Es wird geschätzt, dass um 2050 ca. 460 Tonnen HBCDD pro Jahr aus XPS-Dämmplatten anfallen werden.

DecaBDE wurde in Kunststoffen in Gebäuden vor allem um 1970 verwendet und wird daher etwa im Jahr 2020 vermehrt in Abfällen auftreten und die

folgenden 20 Jahre stetig ansteigen (Potrykus et al. 2020).

Für die anderen POP kann davon ausgegangen werden, dass auch diese in Zukunft in Gebäudeabfällen vorkommen werden. Da die Produktion des ersten POP (PCN) erst 1970 eingestellt wurde, und wegen der langen Lebensdauer von Gebäuden, werden die POP auch künftig in Bauabfällen von Relevanz sein.

Hindernisse & Maßnahmen

Generell liegen keine genauen Informationen zum Bestand von POP in Gebäuden vor. Für ein besseres Verständnis des Sachstandes können Messungen von potentiell POP-haltigen Material durchgeführt werden.

Durch die hohen Einsatzmengen von PCB in offenen Anwendungen kommt es immer noch zu Emissionen in die Raumluft, wodurch ein Expositionsrisiko besteht. Um einen besseren Überblick über die verbleibenden PCB-Mengen in offenen Anwendungen zu bekommen, könnte ein Inventar zu PCB und anderen POP erstellt werden.

Generell sollten bei den Renovierungen, Umbauten und Abrissen Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden, um das Risiko der Exponierung zu mindern. Dazu gehört das Tragen von Atemmasken, die Staubvermeidung und das saubere Abtrennen von POP-haltigen Bauteilen und Materialien. Dies sollte ebenfalls vor dem Hintergrund der Kreislaufwirtschaft erfolgen, da hierfür die POP ausgeschleust werden müssen. Um dies zu erreichen werden separate POP-haltige Abfallfraktionen benötigt, damit diese fachgerecht entsorgt und die darin enthaltenen POP zerstört oder unumkehrbar umgewandelt werden können. Dies kann zum einen durch das rechtzeitige Abtrennen während der Abrissphase, zum anderen auch durch geeignete Techniken und Maßnahmen in den Abfallbehandlungsanlagen zur Abtrennung der POP-haltigen Materialströme geschehen. Durch das Ausschleusen der POP wird die Qualität der Recyclingbaustoffe erhöht, wodurch diese eine bessere Marktfähigkeit besitzen.

3.5 Umfassende Recherche zum Vorkommen der Stoffe in Umweltmedien

Im Folgenden werden das Vorgehen sowie die Ergebnisse der Recherche zum Vorkommen der relevanten POP in Umweltmedien beschrieben. Ziel der Recherche war es, den aktuellen wissenschaftlichen Stand zum Vorkommen und dem Verbleib von POP in Umweltmedien in Deutschland abzubilden. Im Fokus standen hierbei die in der 7. und 8. COP neu aufgenommenen POP. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 3: Überblick der betrachteten POP

Substanz	Kürzel	CAS Nummer
Decabromdiphenylether	DecaBDE, BDE 209	1163-19-5
Hexachlorbutadien	HCBD	87-68-3
Pentachlorphenol	PCP	87-86-5 131-52-2 (als Natriumsalz)
Polychlorierte Naphthaline	PCN	div.
Kurzkettige chlorierte Paraffine	SCCP	85535-84-8

Quelle: eigene Darstellung

Um den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand korrekt abzubilden, wurde eine systematische Identifikation und anschließende Bewertung der wissenschaftlichen Literatur durchgeführt. Hierfür wurde in einem ersten Schritt eine Suchstrategie erarbeitet und Eignungskriterien für die zu sichtende Literatur festgelegt.

Der Aufgabenstellung der Leistungsbeschreibung entsprechend gilt eine wissenschaftliche Studie als relevant, wenn sie Informationen oder Daten zum Vorkommen und dem Verbleib einer der oben aufgeführten POP in der Umwelt in Deutschland beinhaltet. Demnach umfassten die Suchkriterien das Vorkommen der Substanzen in den verschiedenen abiotischen Kompartimenten (Luft, Wasser, Boden, Sediment) und die Bioakkumulation in biotischen Organismen (terrestrisch und aquatische Organismen). Der Fokus lag dabei darauf, konkrete Werte für das Vorkommen von POP in den Umweltmedien zu finden, um auf Basis dieser Werte Trends zu identifizieren.

Außerdem wurden für die Suchstrategie Exklusionskriterien definiert. Folglich wurden nur wissenschaftliche Studien berücksichtigt, die

- ▶ in bzw. nach 2010 veröffentlicht wurden,
- ▶ Werte bzw. Daten für Deutschland enthalten,
- ▶ in deutscher oder englischer Sprache verfasst wurden und
- ▶ einem Peer Review unterzogen wurden, sofern es sich um eine Publikation in einer Fachzeitschrift handelt.

Basierend auf der Suchstrategie wurde in einem zweiten Schritt eine systematische Internet-Recherche durchgeführt. Hierbei wurden verschiedene Datenbanken, Stoffdatenbanken und Webseiten verwendet. Eine Übersicht über diese gibt Tabelle 4.

Tabelle 4: Übersicht der Datenquellen

Quelle	Erläuterung	Link
SCOPUS	Online-Datenbank	https://www.scopus.com/home.uri
PubMed	Meta-Datenbank	https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/
Sciencedirect	Online-Datenbank	https://www.sciencedirect.com/
Wiley Online-Bibliothek	Online-Datenbank	https://onlinelibrary.wiley.com/
Ufordat	Umweltforschungsdatenbank	https://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeitsstrategien-internationales/information-als-instrument/umweltforschungsdatenbank-ufordat
DNL online	Dokumentation Natur und Landschaft – online; die Literaturdatenbank des Bundesamtes für Naturschutz	http://www.dnl-online.de
FGG Elbe	Flussgebietsgemeinschaft Elbe (FGG)	https://www.fgg-elbe.de/home.html
IKSR	Internationale Kommission zum Schutz des Rheins - IKSR	https://www.iksr.org/de/
Umweltprobenbank	Online-Datenbank	https://www.umweltprobenbank.de/de
POP-Dioxin-Datenbank	Online-Datenbank	https://www.dioxindb.de/
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme	https://www.emep.int/
CEIP	Centre on Emission Inventories and Projections	https://www.ceip.at/
Stockholmer Übereinkommen		http://www.pops.int/
Basel Convention		http://www.basel.int/
TMAP	Trilateral Monitoring and Assessment Programme	https://www.waddensea-worldheritage.org/trilateral-monitoring-and-assessment-programme-tmap
MONARPOP	Monitoring Network in the Alpine Region for Persistent and	https://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/schadstoff/umweltgifte/monarpop/

Quelle	Erläuterung	Link
	other Organic Pollutants	

Quelle: eigene Darstellung

Sofern eine Suche innerhalb der genutzten Literaturdatenbanken möglich war, wurden diese mit Hilfe von verschiedenen Suchalgorithmen durchsucht, wobei die Suchbegriffe mit den Boolean-Operatoren „AND“ und „OR“ verknüpft wurden. Des Weiteren wurde bei bestimmten Suchbegriffen das Sternsymbol (*) verwendet, welches verschiedene Buchstaben ersetzt und somit eine flexiblere Suchbegriffs-Auswahl ermöglicht. Für die Suchalgorithmen wurden folgende Suchbegriffe verwendet:

- ▶ Persistent organic pollutant, POPs, POP,
- ▶ CAS-Nummern,
- ▶ Decabromdiphenylether, Hexachlorbutadien, Pentachlorphenol, Polychlorinated Naphthalines, Short-chain Chlorinated Paraffins,
- ▶ DecaBDE, BDE 209, HCBd, PCP, PCN, SCCP,
- ▶ Pollution,
- ▶ Environment,
- ▶ Contamination,
- ▶ Monitoring,
- ▶ Level,
- ▶ Water,
- ▶ Soil,
- ▶ Atmosphere,
- ▶ Aqua*,
- ▶ Sediment,
- ▶ Invertebrates,
- ▶ German*,
- ▶ Schadstoffmonitoring.

Beispielhaft kann hier der Suchalgorithmus „BDE 209“ AND „level“ AND „german*“ aufgeführt werden, der, unter Berücksichtigung der Exklusionskriterien, insgesamt 26 Treffer in der Literaturdatenbank lieferte, wovon vier Studien für die Recherche als relevant anzusehen waren.

Bei der Analyse der Literaturdatenbank wurde deutlich, dass sich viele Studien nicht auf das Fokusland Deutschland beziehen. Außerdem zeigte sich, dass die Verknüpfung der Suchbegriffe mit dem Boolean-Operator „OR“ sehr hohe Trefferzahlen lieferte, so dass die Analyse der identifizierten Studien einer weiteren Eingrenzung der Suchkriterien bedurfte. Folglich erwies sich der Suchalgorithmus „Substanzname“ AND „german*“ als der am besten geeignete. Dadurch konnte gewährleistet werden, dass keine relevanten Studien aufgrund des Vorkommens in einem bestimmten Kompartiment oder Organismus ausgeschlossen werden. Gleichzeitig wurden ausschließlich Treffer angezeigt, die sich im Titel, in den Informationen des Herausgebers bzw. Instituts oder im Fließtext auf das Fokusland Deutschland beziehen.

Ferner zeigte sich, dass die Literaturrecherche innerhalb der Literaturdatenbanken für ausschließlich deutschsprachige Publikationen nur wenige relevante Studien lieferte. Hier erwies sich die Internetrecherche auf den Webseiten der jeweiligen Behörden der Länder, wie dem Bayrischen Landesamt für Umwelt (BLfU) oder dem Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (LANUV) als besser geeignet. Entsprechend konnten beispielsweise insbesondere hinsichtlich des Vorkommens von HCB in aquatischen Organismen einige relevante Berichte identifiziert werden, wovon nicht alle Berichte in die Excelmatrix (siehe Anlage A.2) aufgenommen wurden. Es ist jedoch festzuhalten, dass die Berichte der Länder zur Erfüllung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) eine relevante Datenquelle für die Untersuchung von POP in Umweltmedien darstellen. Weitere relevante Publikationen konnten auf den Webseiten der Flussgebietsgemeinschaften, wie z.B. der Flussgebietsgemeinschaft Elbe (FGG Elbe) oder der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) identifiziert werden. Auch diese Berichte wurden nach oben beschriebenem Prinzip in die Excel-Tabelle eingepflegt.

Bei der Analyse der sonstigen Quellen, wie den Internetseiten nationaler und internationaler Behörden (z.B. des Bundesamtes für Naturschutz, der Webseite des Stockholmer Übereinkommens oder des Centre on Emission Inventories and Projections (CEIP)) konnten keine relevanten Informationen oder Werte zum Vorkommen der untersuchten POP in Umweltmedien aufgefunden werden.

Die verwendeten Suchalgorithmen wurden in einer Excel-Tabelle festgehalten, um ein systematisches Vorgehen sicherzustellen. Die auf Basis der Suchkriterien identifizierten Publikationen wurden erst nach Titel, dann nach Abstract und schlussendlich nach Inhalt auf Relevanz geprüft. Die als relevant eingestuft Studien wurden anschließend samt den Informationen zu Autoren, Publikationsjahr, Titel der Publikation, Namen der Datenbank bzw. Fachzeitschrift sowie Herausgeber in die Excel-Tabelle aufgenommen. Darüber hinaus wurden die berichteten Werte und deren Einheit für die jeweilige POP festgehalten und angegeben, ob es sich bei dem Wert um einen Mittelwert, Median, Minimal- bzw. Maximalwert oder Wertebereich handelt. Dabei ließen sich hauptsächlich Mittelwerte, Mediane und Wertebereiche identifizieren. Ergänzt wurde der entsprechende Wert mit Informationen zum Kompartiment, der Probenbezeichnung sowie etwaigen weiteren relevanten Informationen.

Sofern die Studien Werte in Karten- oder Tabellenform enthielten, wurde dies in der Excel-Tabelle vermerkt. Daten aus der Umweltprobenbank sowie der POP-Dioxin-Datenbank wurden nicht in die entwickelte Excelmatrix aufgenommen, da diese bereits auf der Website sortierbar zusammengefasst sind. Es wurde lediglich ein Vermerk in der Matrix gemacht, sofern Werte vorhanden waren.

Eine Herausforderung, die sich im Verlauf der Recherche aufgetan hat, war die Eingrenzung des Forschungsgebiets. So beziehen sich einige Studien beispielsweise auf aquatische Organismen aus der Ostsee (Baltic Sea), wobei der Ort der Probennahme nicht in Deutschland liegt. Ebenfalls

gibt es Studien beispielsweise aus angrenzenden Ländern wie Polen oder Tschechien. Diese Studien wurden aufgrund der Beschränkung auf Deutschland nicht in der Recherche betrachtet, könnten aber relevant für das Ziehen von Rückschlüssen sein. Ferner zeigte sich, dass für einige der untersuchten POP nur wenige konkrete Werteangaben zum Auftreten in Umweltmedien vorhanden sind. So konnten beispielsweise für PCN nur zwei konkrete Werteangaben identifiziert werden.

Insgesamt lieferte die Recherche 35 wissenschaftliche Studien, die für das Vorkommen der POP in Umweltmedien in Deutschland relevant sind. Zusätzlich konnten zahlreiche relevante Länderberichte zur Erfüllung der WRRL und Fachberichte der Flussgebietsgemeinschaften identifiziert werden. Die Umweltprobenbank lieferte für den Zeitraum ab 2010 Daten und Messwerte zu den POP BDE 209 und PCP. Dieser Zeitraum wurde für die Ableitung von Trends jedoch, unter Berücksichtigung des jeweiligen regulatorischen Rahmens, ggf. erweitert. Innerhalb der POP-Dioxin-Datenbank finden sich für den genannten Zeitraum keinerlei Daten für die anderen ausgewählten POP.

Die Ergebnisse der Recherche fanden Eingang in die jeweiligen Kapitel des NIP für die neuen POP. Sie lassen ebenfalls weitere Rückschlüsse über Trends und das Ableiten möglicher Maßnahmen zu. Ferner erlauben die Ergebnisse potentielle Lücken im bestehenden Monitoring zu identifizieren (siehe hierzu auch Kapitel 3.6).

3.6 Forschungsbedarf und Handlungsoptionen

Aufbauend auf den Ergebnissen aus den vorrangegangenen Arbeitsschritten (Kapitel 3), wurden der weitere Forschungsbedarf abgeleitet und potentielle Optionen für den identifizierten Handlungsbedarf herausgearbeitet, welche **„außerhalb“** der Verfahren des Stockholmer Übereinkommens bzw. der EU-POP-VO im engeren Sinne umgesetzt werden können. Hierbei wurde auf Informations- und Datenlücken hingewiesen. Sollten im weiteren Projektverlauf weitere Lücken oder mangelnde Datenqualität identifiziert werden, werden diese entsprechend im Abschlussbericht vermerkt. Die hier dargestellten Empfehlungen sind nach den Unterkapiteln des Kapitels 3 und nach Relevanz sortiert und aufgeteilt zwischen potentiell dem Handlungs- und Forschungsbedarf.

Kapitel 3.2 Identifikation von Möglichkeiten, auf Ausnahmen zu verzichten und nachhaltige Alternativen zu etablieren

Folgender potentieller Forschungsbedarf konnte abgeleitet werden:

- ▶ Durch die zeitlich begrenzte Ausnahme für DecaBDE in der EU-POP-VO sind die meisten Firmen bereits auf alternative Flammschutzmittel umgestiegen. Hierbei wird meistens DBDPE verwendet, welches aufgrund seiner ähnlichen Struktur und Eigenschaften wie DecaBDE möglicherweise eine nachteilige Auswirkung auf Umwelt oder Gesundheit haben könnte (regrettable substitution). Daher sollten nach erwiesenermaßen nachhaltigen Alternativen (in Form von nicht-persistenten alternativen Chemikalien oder alternativen Materialien) zu DecaBDE geforscht werden, um eine „regrettable substitution“ zu vermeiden.

Kapitel 3.3 Entsorgung bzw. Rolle der neuen POP im Stoffkreislauf / Recycling; Analyse der Herausforderungen

Es wurden folgende Handlungsoptionen identifiziert, welche außerhalb der Verfahren des Stockholmer Übereinkommens liegen:

- ▶ Überwachung von Importprodukten, da diese oftmals SCCP enthalten können. Beispielsweise können Produkte stichprobenartig überprüft werden. Hierfür könnte eine Liste mit Produkten welche potentiell SCCP enthalten erstellt werden.
- ▶ Minimierung des Exports von POP-haltigen Gebrauchtgeräten und Abfällen, da in den Empfängerländern nicht sichergestellt werden kann, dass der Abfall sachgerecht entsorgt wird. Es kann hiermit jedoch nicht verhindert werden, dass funktionstüchtige Geräte und Fahrzeuge, welche POP enthalten, in Länder ohne die notwendigen Verwertungs- und Entsorgungsstrukturen exportiert werden. Deshalb sollte der Kapazitätsaufbau in betroffenen Ländern unterstützt werden.
- ▶ Durch die Metallverarbeitung wurden einige Böden mit SCCP kontaminiert. Um einen besseren Überblick gewinnen zu können, kann ein Inventar von SCCP-kontaminierten Böden erstellt und anschließend das Sickerwasser aus diesen Böden überwacht und kontrolliert werden.
- ▶ In Deutschland gibt es noch Altdeponien (vor allem mit HCBd belastet), welche große Mengen an POP enthalten und aus denen Sickerwasser austritt oder austreten kann. Hierfür kann ebenfalls ein Inventar der relevanten Altlasten erstellt und das Sickerwasser nachfolgend auf POP analysiert werden.
- ▶ Prüfung der Aufnahme von HCBd und PCN in die nationalen Trendtabellen (CLRTAP), um ein besseres Verständnis über die Emissionen dieser zu erhalten.

Im Rahmen des Projektes wurde aufgrund der identifizierten Informationen folgender Forschungsbedarf abgeleitet:

- ▶ Entwicklung und Förderung von Methoden zur generellen Separierung von POP-haltigen Abfällen und anschließende sachgerechte Entsorgung.
- ▶ Ermittlung von genauen Produktions- und Verwendungszahlen sowie Anwendungskonzentrationen (vor allem im Bereich der Bauindustrie) von DecaBDE. Hierfür können stichprobenartige Messungen durchgeführt werden.
- ▶ Verbesserung der Datenlage zu PCN in Anwendungen und Abfällen durch stichprobenartige Beprobungen von Bauabfällen (z.B. PCN in Anstrichen, Fugenmassen und Kabelisolierungen).

Kapitel 3.4 Erarbeitung von einem Fallbeispiel – POP in Gebäuden

Es wurden folgende Handlungsoptionen erkannt, welcher **außerhalb** der Verfahren des Stockholmer Übereinkommens liegt.

- ▶ Inventarisierung von relevanten POP in Gebäuden zum besseren Verständnis des Vorkommens der POP und der potentiellen Emission in der Abfallbehandlung.

Im Rahmen des Projektes wurde aufgrund der identifizierten Informationen folgender Forschungsbedarf abgeleitet:

- ▶ Mit dem Ziel einer Kreislaufwirtschaft sollten POP-haltige Abfälle bereits beim Gebäudeabriss soweit möglich und sinnvoll abgetrennt werden. Ebenfalls wird, basierend auf Artikel 11 § 6 der AbfRRL, bis zum 31. Dezember 2024 die Festlegung von Zielvorgaben für die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling für unter anderem Bau- und Abbruchabfälle in Betracht gezogen. Um ein schadstofffreies Recycling zu ermöglichen, sollte weiter zum schadlosen Gebäuderückbau geforscht werden, um die POP möglichst sachgerecht aus dem Kreislauf entfernen zu können. Dies könnte in einem Leitfaden für den sachgerechten Gebäuderückbau münden.
- ▶ Weiterentwicklung und Forschung zur Implementierung von Techniken zur Abtrennung von POP-haltigen Abfallfraktionen während der Abfallbehandlung, um POP effizient auszuschleusen.
- ▶ Messkampagne zur Bestimmung von POP-Konzentrationswerten in Bauabfällen, um bestehende Wissenslücken zu füllen (z.B. PCB in Bodenbelägen oder PCN in Fugen- und Dichtungsmassen). Dies kann durch stichprobenartige Beprobungen von Bauabfällen geschehen.

Kapitel 3.5 Umfassende Recherche zum Vorkommen der Stoffe in Umweltmedien

Folgender potentieller Forschungsbedarf konnte abgeleitet werden:

- ▶ Forschung zum Vorkommen von bestimmten POP in Umweltmedien, um das Verständnis der Ausbreitung der POP besser verstehen zu können (siehe auch nachfolgende Tabelle).

Tabelle 5: Maßnahmen zur Forschung, Entwicklung und Überwachung für das Monitoring der neuen POP

Betroffene Substanzen	Ist-Zustand	Maßnahme
DecaBDE	Generell ist ein Rückgang von DecaBDE in der Umwelt erkennbar, jedoch ist dieser schwächer ausgeprägt als bei Penta- und OctaBDE. Durch die Aufnahme in die EU-POP-VO sollten die Werte in den kommenden Jahren weiter zurückgehen.	Ein weiteres kontinuierliches Monitoring ist von hoher Bedeutung und sollte fortgesetzt werden, auch um die Auswirkungen der Aufnahme in die EU-POP-VO für das Vorkommen in der Umwelt bewerten zu können. Weiterführung der Messungen und Publikation der Daten in der Umweltprobenbank des Bundes und der POP-Dioxin-Datenbank des Bundes und der Länder
PCP	Rückgang in Humanproben bis 2010 zu erkennen. Mangelnde Datenlage für andere Kompartimente	Weiterführen der Daten in der Umweltprobenbank des Bundes zu Urin- und Blutproben, sowie Aufnahme von biotischen Proben (Pflanzen, Fische etc...)
PCN	Mangelnde Datenlage, wodurch kein Trend ersichtbar ist	Messungen von PCN in der Umwelt sollten vermehrt vorgenommen werden.
SCCP	Mangelnde Datenlage, wodurch kein Trend ersichtlich ist	Messungen von SCCP in der Umwelt sollten vermehrt vorgenommen werden.
HCBD	Kein Trend erkennbar, da nur unzureichend Literatur vorliegt. Die Messwerte bewegen sich jedoch meistens unterhalb von dem Environmental Quality Standards/Detektionslimit, wodurch die HCBD-Belastung als gering eingeschätzt wird.	Kontinuierliches Monitoring zu besserer Trendanalyse wäre von Vorteil, auf Grund der geringen Relevanz von HCBD in der Umwelt jedoch keine Priorität.

Quelle: eigene Darstellung

4 Kommunikation mit der Fachöffentlichkeit

Dieses Kapitel beschreibt die Kommunikation mit der Fachöffentlichkeit, welche im Rahmen des Projekts durch mehrere Workshops stattfand. Zusätzlich wurden aus den Workshops Handlungsempfehlungen für die Praxis abgeleitet sowie weiterer Forschungsbedarf identifiziert.

4.1 Workshopreihe „Wie werden wir unserer Verantwortung zu POP gerecht? – Ein ambitionierter Nationaler Durchführungsplan 2020 zum Stockholmer Übereinkommen“

Um den fachlichen Austausch zur nationalen Umsetzung der Verpflichtungen aus dem Stockholmer Übereinkommen sowie die Kommunikation mit der Fachöffentlichkeit zu fördern, fanden zwischen Juni und September Workshops im Rahmen der Workshopreihe „Wie werden wir unserer Verantwortung zu POP gerecht? – Ein ambitionierter Nationaler Durchführungsplan 2020 zum Stockholmer Übereinkommen“ statt. Durch die herrschenden Einschränkungen aufgrund der Corona-Pandemie fanden die Workshops als Online-Workshops über die Plattform WebEx statt.

In den drei Online-Workshops der Workshopreihe wurden 20-minütige Vorträge zu einzelnen Themenblöcken gehalten („POP in der Kreislaufwirtschaft und in Abfällen“, 23. Juni; „Die neue POP-Verordnung 2019/1021 - Verpflichtungen, Umsetzung und Kontrolle“, 22. September und „PFAS-Substitution – nachhaltige und nicht-nachhaltige Alternativen“, 23. September). An jeden Vortrag schloss sich eine kurze Diskussion an. Anschließend folgte in jedem Workshop eine längere Diskussion zu allen Vorträgen.

Die Veranstaltungen sollten den folgenden Zielen dienen:

- ▶ Interessensgruppen über das Projekt und projektrelevante Themen informieren,
- ▶ Austausch zwischen Interessensgruppen fördern,
- ▶ Diskussionspunkte zum NIP klären.

Für jeden Workshop wurden vorab Schlüsselfragen bzw. Themen identifiziert, die die Grundlage für die auf dem Workshop geführten Diskussionen darstellten. Diese sind nachfolgend je Workshop dargestellt.

POP in der Kreislaufwirtschaft und in Abfällen

- ▶ Umgang mit unbeabsichtigten Spurenverunreinigungen in Gemischen und Erzeugnissen, die aus dem Recycling stammen,
- ▶ Ausschleusung von POP in der Kreislaufwirtschaft,
- ▶ Welche Sektoren und Interessenträger müssen im Sinne der Ziele (minimieren künftiger POP-Freisetzungen, Ausschleusen vorhandener POP aus Materialströmen) intensiver beteiligt werden und wie?

Die neue POP-Verordnung 2019/1021 - Verpflichtungen, Umsetzung und Kontrolle

- ▶ Grundsätzlich: wie kann eine optimale Umsetzung der POP-VO erreicht werden, welche Hemmfaktoren und Förderfaktoren gibt es und welche geeigneten Maßnahmen, die die Umsetzung/Kontrolle ermöglichen?

- ▶ Der Status von deutschen Gewässern in Bezug auf die POP-Belastung und den resultierenden Verantwortungen,
- ▶ Die Analytik von POP, deren Grenzen und die Verpflichtungen in der POP-VO,
- ▶ Belastung von Erzeugnissen mit SCCP und die notwendigen Konsequenzen,
- ▶ Die Herausforderungen der „neuen“ POP-VO.

PFAS-Substitution – nachhaltige und nicht-nachhaltige Alternativen

- ▶ Der Status der Substitution von PFOS in der Oberflächenbehandlung von Metallen und Kunststoffen,
- ▶ Der Ersatz von PFAS in Outdoor-Textilien,
- ▶ Kontamination und Konsequenzen von PFAS-Verunreinigungen am Beispiel Rastatt,
- ▶ Weitere Entwicklungen in der Regulierung von PFAS.

An den drei Workshops nahmen insgesamt ca. 150 Personen teil, u.a. Behördenvertreter*innen der Bundesländer, Vertreter*innen des UBA, des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) und der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), verschiedene Industrievertreter*innen (Auto-, Textil-, Möbelindustrie, (Kunststoff)recycler, Abfallwirtschaft, bioanalytische Dienstleister und Industrieverbände, etc.) sowie Vertreter*innen von Nichtregierungsorganisationen (engl: Non-Governmental Organisation, NGOs). Als Resümee der Workshops wurden jeweils die wichtigsten Botschaften als Handlungsempfehlungen und identifizierter Forschungsbedarf zusammengefasst. Diese finden sich in Kapitel 4.3.

Die von den Referent*innen autorisierten Vorträge sind auf der Internetseite des UBA unter dem folgenden Link verfügbar:

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/chemikalien-management/stockholm-konvention/online-workshops-umsetzung-des-Stockholmer>

4.2 Workshop „Verringerung der Emissionen von PCB (und anderen POP) aus Gebäuden“

Um ein Bewusstsein für die nach wie vor hohen PCB-Emissionen aus offenen Anwendungen in Deutschland zu schaffen und um geeignete Maßnahmen zur Emissionsminderung von PCB aus offenen Anwendenden zu diskutieren, fand am 25. Januar 2021 ein Workshop zum Thema „Verringerung der Emissionen von PCB (und anderen POP) aus Gebäuden“ statt. Durch die herrschenden Einschränkungen aufgrund der Corona-Pandemie fand dieser Workshop ebenfalls als Online-Workshop über die Plattform WebEx statt.

Es wurden vier je 20-minütig Vorträge zu einzelnen Themenblöcken gehalten:

- ▶ „Vorstellung des Projektes und Workshophintergrund“ von Herrn Potrykus (Ramboll Deutschland GmbH),
- ▶ „PCB-Inventarisierung und deren Beitrag zum geordneten Phase-out von PCB in der Schweiz“ von Herrn Dr. Buser (Schweizer Bundesamt für Umwelt),

- ▶ „Was können wir für den Prozess aus der Asbestthematik lernen“ von Frau Dr. Schröder (Behörde für Justiz und Verbraucherschutz Hamburg) und
- ▶ „Die Rolle von PCB bei Gebäuderückbau und Sanierung – Erfahrungen aus der Praxis“ von Herrn Zacher (Ramboll Deutschland GmbH).

An jeden Vortrag schloss sich eine kurze Diskussion an. Anschließend folgte in jedem Workshop eine längere Diskussion zu allen Vorträgen.

Die Veranstaltung sollte den folgenden Zielen dienen:

- ▶ Bewusstsein schaffen für hohe PCB-Emissionen aus der offenen Anwendung in Deutschland,
- ▶ Aus bestehenden Erfahrungen lernen (Asbest),
- ▶ Aus der Praxis lernen,
- ▶ Geeignete und zielführende Maßnahmen zur Emissionsminderung von PCB in offenen Anwendungen in Deutschland identifizieren und
- ▶ Diskussion der potentiellen Umsetzung geeigneter Maßnahmen

Folgende Schlüsselfragen bzw. Themen wurden vorab identifiziert und im Rahmen des Workshops diskutiert:

- ▶ Welche möglichen Maßnahmen zur Emissionsminderung sind zielführend?
- ▶ Benötigen wir ein Inventar für PCB aus offenen Anwendungen als Grundlage für die Ableitung von Maßnahmen zur Emissionsminderung?
- ▶ Gibt es viele illegale/unsachgemäße Sanierungen/Rückbaumaßnahmen?
- ▶ Was können wir aus der Asbestthematik lernen?
- ▶ Sollen auch weitere POP im Rahmen von potentiellen PCB-Maßnahmen mitbetrachtet werden?

4.3 Handlungsempfehlungen und Forschungsbedarf

Basierend auf den Diskussionsbeiträgen der Teilnehmer*innen im Rahmen der Workshopreihe „Wie werden wir unserer Verantwortung zu POP gerecht? – Ein ambitionierter Nationaler Durchführungsplan 2020 zum Stockholmer Übereinkommen“ sowie den Vorträgen zum Thema „Verringerung der Emissionen von PCB (und anderen POP) aus Gebäuden“ wurden Handlungsempfehlungen für die Praxis identifiziert und ggf. weiterer Forschungsbedarf benannt. Diese werden nachfolgend je Workshop dargestellt und priorisiert. Die an oberster Stelle angeführte Handlungsempfehlung stellt hierbei die höchste Priorität dar.

Eine allgemeine Handlungsempfehlung, welche sich aus allen Workshops ergab, ist:

- ▶ Aktive Förderung der proaktiven Kommunikation und des Austausches aller Beteiligten. Dies kann z. B. in Rahmen von Fachvorträgen mit anschließenden Diskussionen erfolgen.

POP in der Kreislaufwirtschaft und in Abfällen

- ▶ Aktive Förderung der Identifizierung und Entwicklung von Prozessen und Strategien zur Abtrennung von POP-haltigen Kunststoffabfällen, um ein schadloses Kunststoffrecycling zu ermöglichen. Ebenfalls ist es wichtig, Maßnahmen zu ergreifen, welche die Nachfrage an Kunststoffrezyklaten erhöhen. In diesem Zusammenhang ist es ebenfalls notwendig festzulegen, wo die Abtrennung von POP-haltige Kunststofffraktionen (z. B. aus EAG) erfolgen sollte (in Erstbehandlungsanlagen oder, wie im Workshop angebracht, in den Kunststoffrecyclinganlagen).
- ▶ Um eine gemeinwohlverträgliche und zugleich ressourcenschonende Kreislaufwirtschaft zu gewährleisten, muss ein vernünftiger Kompromiss zwischen Schadstoffentfrachtung und Recycling gefunden werden. Diesbezüglich sind validierte Standards für POP-Konzentrationsmessungen in Abfällen notwendig. Hierzu sollte die Entwicklung solcher validierten Standards für die Quantifizierung der POP auf relevante Konzentrationsgrenzen, bzw. die Anpassung der bestehenden Standards/Normen auch auf niedrigere Konzentrationen, angestrebt werden.

Daraus und aus den weiteren, im Rahmen des Workshops angesprochenen Themen, kann folgender Forschungsbedarf abgeleitet werden:

- ▶ Untersuchung der HCBd-Belastung in der Umgebung von Deponien/Altlasten.
- ▶ Untersuchung der Zerstörungsrate von PFOS/PFOA und anderen POP in der Verbrennung.

Die Neue POP-Verordnung 2019/1021 Verpflichtungen, Umsetzung und Kontrolle

- ▶ Festlegung und Nutzung einheitlicher Begriffe (Verwendung ob die Lagerung als Verwendung anzusehen ist) auch um mehr Kohärenz zwischen den Regularien zu schaffen. Hierbei ist die Zusammenarbeit der Bundesregierung mit den Behörden in Europa erforderlich.
- ▶ Es ist wichtig, dass beim Ausschleusen der POP und den damit einhergehenden Senkungen der Grenzwerte darauf geachtet wird, dass diese nicht zu niedrig sind und somit das Recyceln verhindern.

PFAS-Substitution – Nachhaltige und nicht-nachhaltige Alternativen

Es wurde deutlich, dass es nicht ausreicht, nur die POP und ihre Anwendung zu betrachten, sondern es muss auch das Endprodukt geprüft werden. Hierzu sollten für PFOA im Rahmen der EU-POP-VO, sofern notwendig, geeignete Ausnahmen für die Verwendung als Stoff, in Gemischen und in Erzeugnissen festgelegt werden (Konzept des „wesentlichen Verwendungszwecks“).

- ▶ Die Entsorgung von PFAS-haltigen Abfällen stellt eine große Besorgnis dar (Feuerlöschschäume, Ionenaustauscher mit PFOS, Papierschlämme in Rastatt), da diese oftmals nicht richtig durchgeführt wird. Hierzu sollte auf die fachgerechte Entsorgung bundesweit (oder auf europäischer Ebene) hingewirkt werden.

- ▶ Es sollte eine zentrale Anlaufstelle zur Umsetzung des regulatorischen Rahmens bezüglich PFAS (inclusive Entsorgung) eingerichtet werden. Hierzu kann geprüft werden, ob ein bundesweiter Helpdesk für die POP-VO analog zu dem Helpdesk REACH-CLP-Biozid etabliert werden kann. Wer dieses Helpdesk leiten soll, muss in diesem Schritt ebenfalls geklärt werden.

Daraus und aus den weiteren, im Rahmen des Workshops angesprochenen Themen, kann folgender Forschungsbedarf abgeleitet werden:

- ▶ Weitere Forschung zu sinnvollen Analysenmethoden, z.B. Gruppenanalyse, da es bei der Analytik von PFAS schwierig ist, alle 5000 Substanzen identifizieren zu können.
- ▶ Weitere Untersuchung fachgerechter Entsorgungswege von PFAS-haltigen Abfällen.
- ▶ Vorantreiben der Identifikationen von nachhaltigen Ersatzstoffen durch die Verwender. Hierbei ist darauf zu achten, Abbauprodukte der Substanzen und deren Umweltauswirkungen in Abfall zu berücksichtigen, um eine „regrettable substitution“ zu vermeiden.

Verringerung der Emissionen von PCB (und anderen POP) aus Gebäuden

- ▶ Pflichten bezüglich der Identifikation und Beseitigung von PCB in Gebäuden sollten definiert werden. Ebenfalls sollte gezielt für eine Einhaltung dieser Pflichten sowie die Schulung der Betroffenen gesorgt werden. Die Erarbeitung eines flächendeckenden PCB-Katasters erschien aus Erfahrungen der Schweiz und Erfahrungen mit Asbest als nicht sinnvoll.
- ▶ Einige Regelwerke (z.B. die Gefahrstoffverordnung, die PCB-Richtlinie sowie das Verhältnis letzterer zu POP-Verordnung) sollten angepasst werden, um eine möglichst große Wirksamkeit bezüglich der Identifikation und Beseitigung von PCB in Gebäuden zu erreichen.
- ▶ Innerhalb der EU-Gesetzgebung werden PCBs in der EU-POP-VO und der PCB/PCT-Richtlinie unterschiedlich definiert. Die Klarstellung der Unterschiede sowie die Darstellung des Gesamtzusammenhangs zwischen der PCB/PCT-Richtlinie und der EU-POP-VO sollten aufgearbeitet werden. Die Klarstellung der Begriffe/Unterschiede wird allerdings als sehr zeitintensiv angesehen.
- ▶ Die Umsetzung von geeigneten Sanierungsmaßnahmen von mit PCB belasteten Gebäuden sollte vor allem bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMUs) vorangetrieben werden, da bei diesen Rückbaumaßnahmen nur minimal betrieben werde. Daher sollte vom Gesetzgeber darauf geachtet werden, dass die Regelungen auch für KMUs gelten. Ebenfalls sollte für mehr Verständnis bei KMUs geworben werden.
- ▶ Es sollte geprüft werden, ob es Sinn macht, bei der Betrachtung von PCB in Gebäuden auch noch andere Problemstoffe, z.B. SCCP, miteinzubeziehen.

5 Maßnahmen zur Verringerung oder Verhinderung von Freisetzung

Im Rahmen der Arbeiten zur Aktualisierung des deutschen NIP wurden Maßnahmen diskutiert, welche bei der Veröffentlichung, nach Abstimmung mit dem UBA, nicht unter den Rahmen des NIP fallen. Hierbei handelt es sich jedoch um Maßnahmen, welche möglicherweise zu einer verbesserten Umsetzung der Situation bezüglich POP beitragen können.

Die hier dargestellten Maßnahmen sollten in Verbindung mit den Maßnahmen, welche innerhalb des NIP aufgeführt sind, betrachtet werden .

5.1 Maßnahmen zur Verhinderung von Freisetzungen aus beabsichtigter Produktion und Verwendung (Artikel 3)

Pflanzenschutzmittel

Importierte Lebensmittel sollten auf ihren POP-Gehalt von POP-Pflanzenschutzmittel (Aldrin, Chlordan, Dieldrin, Endrin, Heptachlor, Hexachlorbenzol, Toxaphen, α -Hexachlorcyclohexan, β -Hexachlorcyclohexan und außerdem DDT, Mirex und Endosulfan). geprüft werden, damit diese nicht auf den Markt gelangen.

Import und Export von Erzeugnissen

Bezüglich des Imports oder Exports von Produkten die POP (z.B. PBDE, SCCP und HBCDD) oberhalb der relevanten Konzentrationsgrenzen enthalten könnten relevante Produkte gezielt kontrolliert werden. Um dies zu erleichtern könnte eine Liste erstellt werden mit Produktkategorien, welche typischerweise die gelisteten POP enthalten können.

Grundsätzlich kann das UNEP Guidance-Dokument für die Kontrolle des Imports und Exports von POP²⁴ herangezogen werden.

SCCP

Eine Maßnahme zur Kontrolle der Konzentration von Importprodukten und damit zusammenhängenden Abfällen ist nur möglich, wenn zuverlässige Analysemethoden/Standards zur Unterscheidung zwischen MCCP und SCCP zur Verfügung stehen. Geeigneter Methoden und Standards sind zu entwickeln. Ebenfalls sollte die Verwendung von MCCP weiter eingeschränkt werden.

HBCDD

Für eine schnelle Untersuchung von Importen auf HBCDD-Belastung kann ein Schnelltest auf Basis der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) angewendet werden.

5.2 Maßnahmen zur Verringerung oder Verhinderung von Freisetzungen von Stoffen der Anlage C

HCB

In mehreren europäischen Ländern, darunter auch Deutschland, wurde berichtet, dass Feuerwerke, welche HCB enthalten, zwischen 2010 und 2015 illegal auf den Markt kamen

²⁴ <http://chm.pops.int/Default.aspx?tabid=3173>

(Brandschutzaufklärung 2015). Daher könnten Daten zu möglichen HCB-Emissionen von Feuerwerkskörpern in Deutschland erhoben werden.

PCB

Für PCB ist in Anhang I der EU-POP-VO keine Konzentrationsgrenze für unbeabsichtigte PCB-Spurenverunreinigungen definiert. Demnach dürfen nach geltendem Recht keine PCB in Stoffen, Gemischen oder Erzeugnissen vorkommen. In Anbetracht des Vorkommens von geringen PCB-Konzentrationen welche durch die unbeabsichtigte Herstellung während der Produktion in Erzeugnisse gelangen können, sollte in Anhang I der POP-VO eine geeignete Konzentrationsgrenze für unbeabsichtigte Spurenverunreinigungen von PCB etabliert werden.

HBB

Für HBB ist in Anhang I der EU-POP-VO keine Konzentrationsgrenze für unbeabsichtigte HBB-Spurenverunreinigungen definiert. Demnach darf nach geltendem Recht kein HBB in Stoffen, Gemischen oder Erzeugnissen vorkommen. Durch das Recycling von Elektroaltgeräten könnte HBB in geringen Konzentrationen in Erzeugnisse gelangen. Sollte den Vollzugsbeamten eine Notwendigkeit für die Festlegung einer geeigneten Konzentrationsgrenze für unbeabsichtigte Spurenverunreinigungen in Anhang I der POP-VO bekannt werden, kann ein solches Verfahren angestoßen werden.

PECB, PCN, HCB

Generell sind neu gelistete Stoffe unter Anhang C des Stockholmer Übereinkommens in den nationalen Trendtabellen nicht aufgeführt, da hierfür keine Verpflichtung nach CLRTAP besteht (Bänsch-Baltruschat et al. 2019). Somit wäre zu überprüfen, ob eine Verpflichtung zur Berichterstattung für die entsprechenden Annex C Stoffe (PeCB, PCN und HCB) abgeleitet werden kann. Dazu müssten geeignete Maßnahmen ergriffen werden (z.B. Messungen durch Anlagenbetreiber zur Schaffung einer Datengrundlage und Erstellung von nationalen Trendtabellen für PeCB, PCN und HCB).

PCN

Erstellung eines Inventars

Emissionsfaktoren sind wichtige Parameter, um Emissionen von Schadstoffen basierend auf einem limitierten Datensatz abschätzen zu können. Das Umweltprogramm der Vereinten Nationen (United Nations Environment Programme, UNEP) hat ein Instrument ("Toolkit for Identification and Quantification of Releases of Dioxins, Furans and Other Unintentional POPs") zur Identifizierung und Quantifizierung der Freisetzung von unbeabsichtigten POP erstellt (Liu et al. 2014). PCN-Emissionsfaktoren für verschiedenste Quellen könnten für die Entwicklung eines Inventars und die Priorisierung von PCN-Quellen für Kontrollmaßnahmen herangezogen werden.

HCB

Erhebung weiterer Messdaten und Erstellung eines Inventars

Überwachungsaktivitäten zu POP müssen generell in den nächsten Jahren fortgesetzt und auf neue POP wie z.B. HCB ausgeweitet werden, um die Effektivität internationaler Verordnungen zu überprüfen (Kirchner et al. 2016).

Die Aussage, dass aus Anlagen zur Herstellung von chlororganischen Verbindungen in Deutschland keine mengenmäßig relevanten HCB Emissionen stattfinden, beruht auf wenigen Messdaten und für Luft und feste Verbrennungsrückstände. Um die Aussage absichern zu können, könnte die Datengrundlage verbessert werden. Dazu wären Messdaten zu HCB in

relevanten Abluft- und Abwasserströmen aus Anlagen zur Herstellung von chlororganischen Verbindungen in Deutschland hilfreich. Hierzu sollte geprüft werden, ob Messergebnisse entsprechender Messungen bereits vorliegen. Andernfalls könnten geeignete Messungen initiiert werden.

Artikel 5 a des Stockholmer Übereinkommens verpflichtet die Vertragsstaaten, die Emissionsquellen der oben genannten Schadstoffe zu identifizieren und die jährlichen Gesamtfreisetzungsmengen zu quantifizieren und darüber zu berichten. Die nationalen Trendtabellen zur Emission von Luftschadstoffen, die auf der Internetseite des UBA zu finden sind²⁵, enthalten keine Daten zur HCBd. Es könnten weitere geeignete Maßnahmen, nebst PRTR, identifiziert werden, die es erlauben, die Emissionsquellen und Freisetzungsmengen von HCBd in Deutschland zu identifizieren und quantifizieren, wie beispielsweise:

- ▶ Abluftmessungen in IED Anlagen, die Verbrennungsprozesse beinhalten (z.B. Müllverbrennung, Zementherstellung, Eisen- und Stahlindustrie, etc.),
- ▶ Abluftmessungen aus der häuslichen Verbrennung
- ▶ Abluft- und Abwassermessungen bei Anlagen zur Herstellung chlorierter organischer Lösemittel.

5.3 Artikel 5b-e: Förderung und Anordnung der Anwendung von Maßnahmen und besten verfügbaren Techniken zur Freisetzungsverringerung und Quellenbeseitigung

Die zeitnahe und konsequente Umsetzung nach Anpassung der relevanten Beste Verfügbare Technik-Schlussfolgerungen der IED im Rahmen der Anlagengenehmigung/-überprüfung kann als zusätzliche Maßnahmen gesehen werden.

5.4 Maßnahmen zur Verringerung oder Verhinderung von Freisetzungen aus Lagerbeständen und Abfällen (Artikel 6)

5.4.1 POP in Alterzeugnissen

PCB

Auf Grund der aktuellen Datenlage und des identifizierten Handlungsbedarfs wird nach Möglichkeiten gesucht, PCB aus den offenen Anwendungen in Gebäuden zu entfernen. Eine Möglichkeit zur ersten Identifizierung, um Handlungsoptionen abzuleiten, wäre ein PCB-Inventar für offene Anwendungen zu erstellen. Aufbauend auf solch einem Inventar und dem Wissen über relevante Vorkommen könnten gezielt notwendige Maßnahmen zur PCB-Emissionsminderung angestoßen werden. Die Grundlagen zu einem solchen Inventar, basierend auf bereits bestehenden Konzepten, sind in Broneder et al. (2021) zusammengefasst.

Im Gegensatz zu einem Inventar wurde im Rahmen des PCB-Workshops (siehe Kapitel 4.2) eine Ermittlungs- und Sanierungspflicht aller baubewilligungspflichtiger Vorhaben als zielführender erachtet. Die Grundlagen sowie erste Ansätze dieses Konzepts wurden ebenfalls in Broneder et al. (2021) diskutiert.

²⁵ siehe <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen>

PBDE

Um den Beitrag der globalen Verbreitung von PBDE in Recyclingmaterialien durch den (teilweise illegalen) Export, und die damit verbundenen Risiken für die menschliche Gesundheit und die Umwelt, zu verringern, sollte eine Begrenzung von Exporten von gebrauchten Elektro- und Elektronikgeräten sowie Altfahrzeugen in Länder, in denen keine angemessene Verwertung und Entsorgung gewährleistet wird, angestrebt werden. Eine Option, um den illegalen Export von Elektroschrott zu minimieren, stellen obligatorische Zertifikate für Funktionstests dar, welche die Funktionalität des Gerätes belegen können, um einen illegalen Export von Elektroschrott und potenziell enthaltenen PBDE zu reduzieren. Jedoch kann hiermit nicht verhindert werden, dass funktionstüchtige Geräte und Fahrzeuge, welche PBDE enthalten, in Länder ohne die notwendigen Verwertungs- und Entsorgungsstrukturen legal exportiert werden. Eine grundsätzliche Option zur Verringerung der mit dem Export verbundenen Risiken ist die Unterstützung des Aufbaus besserer Abfallwirtschaftssysteme in den Importländern (siehe hierzu auch Kapitel 3.6).

PCP

Es könnten Überwachungsprojekte durchgeführt werden, um den Bestand belasteter Gebäude und die vorhandenen PCP-Mengen zu bestimmen.

PCN

Die Bestände von sich im Umlauf befindlichem PCN sollten identifiziert werden. Im Rahmen der Erhebungen von PCB im Gebäudebestand, könnten auch das Vorkommen von PCN in Fugen- und Dichtungsmassen innerhalb Deutschlands ermittelt werden. Die Relevanz von PCN in Hydraulikölen in Deutschland ist ebenfalls zu klären.

5.5 Maßnahmen zur Information, Bewusstseinsbildung und Aufklärung (Artikel 10)

Die im Rahmen des NIP angeführten Programme, Datenbanken und Veröffentlichungen sollten auch in Zukunft weitergeführt werden. Da kontinuierlich neue Substanzen in das Stockholmer Übereinkommen aufgenommen werden, ist die Veröffentlichung von aktuellen Informationen von großer Bedeutung. Die POP-Dioxin-Datenbank des Bundes und die Umweltprobenbank des Bundes spielen eine große Rolle in der Identifizierung von Umwelttrends und in der Bewusstseinsbildung der Öffentlichkeit und dienen der Erfolgskontrolle der zu POPs ergriffenen Maßnahmen. Diese sollten weiterhin geführt und um einige Stoffe erweitert werden (siehe hierzu auch Kapitel 3.6).

5.6 Maßnahmen zur Forschung, Entwicklung und Überwachung (Artikel 11)

Die im NIP genannten Monitoring- und Forschungsaktivitäten des Bundes und der Länder sollten auch in Zukunft weitergeführt werden. Sie bieten eine immense Menge an frei zugänglichen Daten. Hierdurch können Schadstofftrends in der Umwelt erkannt und geeignete Maßnahmen implementiert werden. Um die Qualität der Daten beizubehalten und zu verbessern, sollten die neuen POP kontinuierlich mit in die Untersuchungen aufgenommen werden. Im Rahmen der Arbeiten zur Aktualisierung des NIP wurden Maßnahmen zur Forschung, Entwicklung und Überwachung für das Monitoring dieser Substanzen abgeleitet (siehe Tabelle 5 in Kapitel 3.6).

Allgemein kann die POP-Dioxin-Datenbank als Quelle für ältere, wie auch als Speicherort für neuere Daten genutzt werden. Sie könnte perspektivisch den Ausgangspunkt für den Aufbau

eines POP-Informationszentrums bilden, welches dann als Instrument der POP-Berichterstattung fungieren kann.

6 Quellenverzeichnis

ACEA (2020): Persönliche Mitteilung der ACEA - European Automobile Manufacturers Association.

AltholzV (2002): Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung - AltholzV). Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. <https://www.gesetze-im-internet.de/altholzv/AltholzV.pdf>. (20.08.2020).

AVV (2001): Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung - AVV). <http://www.gesetze-im-internet.de/avv/BJNR337910001.html>. (20.08.2020).

Bänsch-Baltruschat, B., Reifferscheid, G., Zettl, E., Schöpel, M., Milunov, M., et al. (2019): POP-Implement: Beiträge zur Umsetzung der Stockholm-Ziele (Beschränkung und Eliminierung) für relevante Anwendungen bestimmter POP – Umsetzung des Stockholmer Übereinkommens in Deutschland. Umweltbundesamt.

BAT/BEP Group of Experts (2017): BAT/BEP Guidance for use of PFOS and related chemicals under the Stockholm Convention on POPs. <http://chm.pops.int/Implementation/NIPs/Guidance/GuidanceonBATBEPfortheuseofPFOS/tabid/3170/Default.aspx>. (20.08.2020).

BiPRO, Umweltbundesamt and Enviroplan (2011): Service request under the framework contract No ENV.G.4/FRA/2007/0066. Study on waste related issues of newly listed POPs and candidate POPs.

Blepp, M., Willand, W. and Weber, R. (2016): Verwendung von PFOS in der Galvanik - Kennzeichen eines geschlossenen Kreislaufs, Verwendung von Ersatzstoffen. Umweltbundesamt.

BLfU (2003): Arbeitshilfe Kontrollierter Rückbau: Kontaminierte Bausubstanz Erkundung, Bewertung, Entsorgung. Bayrisches Landesamt für Umweltschutz.

BLfU (2008): Bayrisches Landesamt für Umweltschutz, Umweltwissen, Pentachlorphenol (PCP), Dr. Katharina Stroh.

Brandschutzaufklärung (2015): Knaller, Böller und Raketen: Das heiße Spiel mit dem Feuer. https://www.brandschutzaufklaerung.de/fileadmin/download/forum2015/stolt-brandschutzerziehung_knaller%20boeller%20und%20raketen.pdf. (20.08.2020).

Broneder, C., Schramm, B. and Potrykus, A. (2021): PCB in offenen Anwendungen. Verringerung der Emissionen von PCB (und anderen POP) aus Gebäuden. Dessau-Roßlau. Umweltbundesamt. Unveröffentlicht.

Buck, R. C., Franklin, J., Berger, U., Conder, J. M., Cousins, I. T., et al. (2011): Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances in the Environment: Terminology, Classification, and Origins. Integrated Environmental Assessment and Management.

Bundesregierung (2017): Verordnung zur Überwachung von nicht gefährlichen Abfällen mit persistenten organischen Schadstoffen und zur Änderung der Abfallverzeichnis-Verordnung.

BUWAL (2003): Kurzkettige Chlorierte Paraffine-Stoffflussanalyse. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.

Conversio (2018): Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2017.

Destatis (2019): Abfallentsorgung 2017. Statistisches Bundesamt.

ECHA (2011): Registration Dossier Alkanes, C10-13, chloro. <https://echa.europa.eu/registration-dossier/-/registered-dossier/11315/1>.

ECHA (2014): ANNEX XV PROPOSAL FOR A RESTRICTION – [Bis(pentabromophenyl) ether]. European Chemicals Agency.

- ECHA (2015): Background document to the Opinion on the Annex XV dossier proposing restrictions on Bis(pentabromophenyl) ether. Helsinki. European Chemicals Agency.
- ECHA and EASA (2014): An elaboration of key aspects of the authorisation process in the context of aviation industry. European Chemicals Agency and European Aviation Safety Agency.
- Environment Canada (2011): Ecological Screening Assessment. Chlorinated Naphthalenes. https://www.ec.gc.ca/ese-ees/835522FE-AE6C-405A-A729-7BC4B7C794BF/CNs_SAR_En.pdf.
- European Commission (2019): Draft Second European Union Implementation Plan (UIP) on Persistent Organic Pollutants (POPs). European Commission.
- GESTIS (o. J.): GESTIS, Information system on hazardous substances of the German statutory accident insurance. <https://www.dguv.de/ifa/gestis/gestis-stoffdatenbank/index.jsp>. (12.11.2019).
- Gras, B. (2002): Schadstoffe in Altholz. Hamburger Umweltbericht 62/02. Behörde für Umwelt und Gesundheit,.
- Gunnarsen, L. and Kolarik, B. (2012): PCB in sealant, concrete, paint and lacquer 40 years after use of sealant with PCB - Calculation of total remaining mass in a contaminated dwelling. Healthy Buildings 2012 Conference. Brisbane, Australia. Queensland University of Technology.
- Horn, W. and Jann, O. (2004): Ermittlung von Biozidmissionen aus altholzhaltigen Holzwerkstoffplatten. Abschlussbericht. Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung -BAM-, Berlin. <https://www.baufachinformation.de/ermittlung-von-biozidmissionen-aus-altholzhaltigen-holzwerkstoffplatten/fb/218818>.
- IEP (2002): Preliminary Risk Profile Pentachlorophenol, Preliminary Risk Profile prepared for the POPs Expert Group under the Convention on Long range Transboundary Air Pollution. Warsaw. Institute of Environmental Protection.
- Kirchner, M., Jakobi, G., Körner, W., Levy, W., Moche, W., et al. (2016): Ambient Air Levels of Organochlorine Pesticides at Three High Alpine Monitoring Stations: Trends and Dependencies on Geographical Origin. *Aerosol and Air Quality Research*.
- Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt and INTECUS GmbH (2019): Relevanz von neuen persistenten organischen Schadstoffen in Abfällen und deren Auswirkungen auf die Abfalleinstufung und die Entsorgungswege in Sachsen-Anhalt. Endbericht. Dresden. Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt.
- LfU (1996): Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung 25/96, Stoffbericht Pentachlorophenol (PCP). Karlsruhe. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. **1**.
- Liu, G., Cai, Z. and Zheng, M. (2014): Sources of unintentionally produced polychlorinated naphthalenes. *Chemosphere* 94, 1-12.
- LUBW (2012): Abfallsteckbrief 1301 Hydrauliköle. https://www.abfallbewertung.org/ipa/repgen.php?report=ipa&char_id=1301_Hydroe&lang_id=de&avv=&synon=&kapitel=2>active=. (20.08.2020).
- Nicol, L., Kreißig, J., Corden, C., Keyte, I., Whiting, R., et al. (2020): The use of PFAS and fluorine-free alternatives in fire-fighting foams. European Commission DG Environment / European Chemicals Agency (ECHA). https://echa.europa.eu/documents/10162/28801697/pfas_flourine-free_alternatives_fire_fighting_en.pdf/d5b24e2a-d027-0168-cdd8-f723c675fa98.
- Öko-Institut (2018): Effects on ELV waste management as a consequence of the decisions from the Stockholm Convention on decaBDE. Darmstadt. Öko-Institut.
- PCP-Richtlinie (1996): Richtlinie für die Bewertung und Sanierung Pentachlorophenol (PCP)-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCP-Richtlinie).

- Potrykus, A. (2016): Consultancy service on collecting, summarising and analysing information on c-decaBDE in waste. Delivery part one: Collect and summarise information on the management of plastic waste with c-decaBDE from E-waste and ELVs in Norway, including relevant regulations and policies. Oslo. Norwegian Environment Agency.
- Potrykus, A., Milunov, M. and Weißenbacher, J. (2015): Ermittlung von potentiell POP-haltigen Abfällen und Recyclingstoffen - Ableitung von Grenzwerten. Umweltbundesamt.
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ermittlung-von-potentiell-pop-haltigen-abfaellen>. (20.08.2020).
- Potrykus, A., Milunov, M., Zotz, F., Brujine, E. d., Weissenbacher, J., et al. (2019): Study to support the review of waste related issues in Annexes IV and V of Regulation (EC) 850/2004. European Commission, DG Environment.
- Potrykus, A., Schöpel, M., Broneder, C., Kühnl, M., Burgstaller, M., et al. (2020): Untersuchung von Abfällen auf das Vorkommen nichttechnischer PCBKongenerere und DecaBDE. Umweltbundesamt.
- Potrykus, A., Zettl, E., Milunov, M., Quass, U. and Filzmoser, P. (2017): Evaluierung von Monitoringdaten zu POPs, POP-Kandidaten und Ersatzstoffen zur Aufklärung von Ursachen, Pfaden und Trends der Umweltbelastung. Umweltbundesamt.
- RPA (2014): Support to an Annex XV Dossier on Bis-(pentabromophenyl) ether (DecaBDE). London, Norfolk, UK.
https://echa.europa.eu/documents/10162/13641/annex_xvi_consultant_report_decabde_en.pdf. (22.03.2020).
- Stadt Köln (o. J.): Innenraumschadstoffe. <https://www.stadt-koeln.de/mediaasset/content/pdf53/10.pdf>.
- Tremp, J., Oggier, P., Rentsch, C., Waeber, R., Kohler, M., et al. (2003): Richtlinie. PCB-haltige Fugendichtungsmassen. Projektgruppe «PCB-haltige Fugendichtungsmassen».
- UBA (2017a): Hexabromcyclododekan (HBCD) Antworten auf häufig gestellte Fragen. Dessau-Roßlau. Umweltbundesamt.
- UBA (2017b): Nationaler Durchführungsplan der Bundesrepublik Deutschland zum Stockholmer Übereinkommen. Dessau-Roßlau. Umweltbundesamt.
- UBA and BMU (2019): Jahresbericht über die Altfahrzeug-Verwertungsquoten in Deutschland im Jahr 2017 nach Art. 7 Abs. 2 der Altfahrzeug-Richtlinie 2000/53/EG.
- UNEP (2010): Supporting document for technical review of the implications of recycling commercial penta and octabromodiphenyl ethers. Stockholm Convention document for 6th POP Reviewing Committee meeting.
<http://chm.pops.int/Default.aspx?tabid=783>. 24.11.2020.
- UNEP (2011): Proposal to list pentachlorophenol and its salts and esters in Annexes A, B and/or C to the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. United Nations Environment Programme.
- UNEP (2013a): Risk management evaluation on chlorinated naphthalenes.
- UNEP (2013b): Risk management evaluation on hexachlorobutadiene.
- UNEP (2014): Risk profile on decabromodiphenyl ether (commercial mixture, c-decaBDE). Persistent Organic Pollutants Review Committee.
<http://chm.pops.int/TheConvention/POPsReviewCommittee/Meetings/POPRC10/Overview/tabid/3779/mct/ViewDetails/EventModID/871/EventID/514/xmid/11873/Default.aspx>. (20.08.2020).
- UNEP (2015a): Risk management evaluation on decabromodiphenyl ether (commercial mixture, c-decaBDE).
- UNEP (2015b): Supporting information related to the draft risk management evaluation on decabromodiphenyl ether (commercial mixture, c-decaBDE).

<http://chm.pops.int/TheConvention/POPsReviewCommittee/Meetings/POPRC11/POPRC11Documents/tabid/4573/>. (30.08.2020).

UNEP (2016a): Assessment of additional information on decabromodiphenylether (commercial mixture, c-decaBDE) for further defining of some critical spare parts in the automotive and aerospace industries and on its use in textiles in developing countries.

UNEP (2016b): New information in relation to the listing of hexachlorobutadiene in Annex C to the Stockholm Convention.

UNEP (2017a): Analysis on waste-related information on decabromodiphenylether.

<http://www.brsmeas.org/2017COPs/MeetingDocuments/tabid/5385/language/en-US/Default.aspx>. (20.08.2020).

UNEP (2017b): Draft guidance on preparing inventories of polychlorinated naphthalenes.

UNEP (2018): Draft technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with short-chain chlorinated paraffins. United Nations Environment Programme.

UNEP (2019a): Report on the assessment of alternatives to perfluorooctane sulfonic acid, its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride. (20.08.2020).

UNEP (2019b): Report on the evaluation of information on perfluorooctane sulfonic acid, its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride.

Weber, R. (2018). POP-Abfälle in der Praxis. Wo mit POP-haltigen Abfällen gerechnet werden muss. Abfälle aus der früheren Verwendung von Polychlorierten Naphthalinen (PCN). SBB Sonderabfallgesellschaft Brandenburg/Berlin mbH Seminar, Kleinmachnow, SBB Sonderabfallgesellschaft Brandenburg/Berlin mbH.

Wienand, N., Constapel, M., Budde, K., Marzinkowski, J. M., Gäb, S., et al. (2013): Degradation of Fluorine-Free Perfluorooctane Sulfonate Substitute in Chromium Plating Solutions.

Willand, W., Baron, Y., Blepp, M., Weber, D. R. and Herold, C. (2020): Beste verfügbare Techniken für die PFOS-Substitution in der Oberflächenbehandlung von Metallen und Kunststoffen sowie Analyse der alternativen Substanzen zu PFOS beim Einsatz in Anlagen zur Verchromung und Kunststoffbeize. Umweltbundesamt.

Zangl, S., Blepp, M., Marquardt, M., Moch, K., Wirth, O., et al. (2012): Nationale Umsetzung des Stockholmer Übereinkommens zu persistenten organischen Schadstoffen (POPs) – PBDE und PFOS in Erzeugnissen und im Recyclingkreislauf. Dessau-Roßlau. Umweltbundesamt.

Zhang, H., Shen, Y., Liu, W., He, Z., Fu, J., et al. (2019): A review of sources, environmental occurrences and human exposure risks of hexachlorobutadiene and its association with some other chlorinated organics. Environmental Pollution.

A Anlage

A.1 Rechtskataster (als separate Datei)

A.2 Ergebnisse der Literaturrecherche zum Vorkommen der neuen POP in der Umwelt (als separate Datei)