

TEXTE

75/2021

Abschlussbericht

Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F) und polychlorierte Biphenyle (PCB) in der Außenluft und Deposition im ländlichen Hintergrund von Deutschland

von:

Dr. Annekatrin Dreyer

ANECO Institut für Umweltschutz GmbH & Co, Hamburg

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 75/2020

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl FKZ 3717 52 253 0
FB000516/1

Abschlussbericht

Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F) und polychlorierte Biphenyle (PCB) in der Außenluft und Deposition im ländlichen Hintergrund von Deutschland

von

Dr. Annekatriin Dreyer

ANECO Institut für Umweltschutz GmbH & Co, Hamburg

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

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

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

Durchführung der Studie:

ANECO Institut für Umweltschutz GmbH & Co
Großmoorkehrte 4
21079 Hamburg

Abschlussdatum:

Februar 2021

Redaktion:

Fachgebiet II 4.2 Beurteilung der Luftqualität
Andrea Minkos

Publikationen als pdf:

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

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Mai 2021

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

Kurzbeschreibung: Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F) und polychlorierte Biphenyle (PCB) in der Außenluft und Deposition im ländlichen Hintergrund von Deutschland

Im Zeitraum von Juni 2018 bis Mai 2019 wurden je 12 Außenluftmonatsproben und Depositionsmonatsproben an den Messstationen Waldhof und Schmücke des Umweltbundesamtes genommen und auf die 2,3,7,8-substituierten PCDD/F-Kongenere, die Homologengruppensummen der Tetra- bis Heptachlordibenzodioxine und -furane, die 6 Indikator-PCB (i-PCB), die 12 dioxinähnlichen PCB (dl-PCB) sowie die Homologengruppensummen der Monochlor- bis Decachlorbiphenyle untersucht, um aktuelle Werte für die Hintergrundbelastung in Deutschland mit den vorgenannten Verbindungen zu ermitteln. Diese liegen auf der Basis von Toxizitätsäquivalenten (TEQ) und unter der Berücksichtigung der halben Bestimmungsgrenzen für die Außenluft zwischen 0,7 und 13,8 fg WHO₂₀₀₅ TEQ/m³ und für die Deposition zwischen 0,1 und 0,8 pg WHO₂₀₀₅ TEQ/m²d und sind damit deutlich geringer als die Zielwerte für die langfristige Luftreinhaltung von 150 fg WHO-TEQ/m³ bzw. 4 pg WHO-TEQ/m²d für die Summe der PCDD/F und dl-PCB. In diesem Papier werden die Konzentrationen und Profile der PCDD/F und PCB sowie ihrer Homologengruppensummen in der Außenluft und der Deposition diskutiert. Weiterhin werden bedeutende PCB-Kongenere aufgezeigt, deren Konzentrationen oder Depositionsraten an die der üblicherweise bestimmten 6 i-PCB heranreichen oder diese überschreiten.

Abstract: Polychlorinated dibenzodioxins and -furans (PCDD/F) and polychlorinated biphenyls (PCB) in ambient air and deposition in the rural background of Germany

From June 2018 to May 2019, 12 ambient air samples and 12 deposition samples were taken on a monthly basis at two background sites (Waldhof and Schmücke) of the German Environment Agency. Samples were analyzed for the 2,3,7,8-substituted PCDD/F congeners, the homologue group sums of the tetra- to heptachlorodibenzodioxins and -furans, the 6 indicator PCBs (i-PCB), the 12 dioxin-like PCBs (dl-PCB) and the homologue group sums of the monochloro- to decachlorobiphenyls in order to determine their current background levels in Germany. On the basis of toxicity equivalents (TEQ) and considering half of the quantification limits background concentrations in ambient air were between 0.7 and 13.8 fg WHO₂₀₀₅ TEQ/m³, those for deposition were between 0.1 and 0.8 pg WHO₂₀₀₅ TEQ/m²d. These values were much lower than the target values for long-term air pollution of 150 fg WHO-TEQ/m³ and 4 pg WHO-TEQ/m²d for the sum of PCDD/F and dl-PCB. In this paper concentrations and profiles of PCDD/F and PCBs and their homologue group sums in ambient air and deposition are discussed. Furthermore, significant PCB congeners are identified whose concentrations or deposition rates approach or exceed those of the commonly determined 6 i-PCB.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis	11
Abkürzungsverzeichnis.....	15
Abkürzungsverzeichnis Analyte.....	16
Begriffe	18
Zusammenfassung.....	19
Summary	22
1 Einleitung und Zielsetzung	25
2 Projektdurchführung und experimentelle Methoden	30
2.1 Auswahl und Beschreibung der Probenahmestandorte.....	30
2.2 Auswahl der Zielsubstanzen.....	31
2.3 Untersuchungszeitraum.....	32
2.3.1 Messzeitraum	32
2.3.2 Meteorologische Bedingungen während der Probenahme	33
2.4 Messzeiten und Messhäufigkeiten	34
2.5 Messverfahren	34
2.5.1 Außenluft	34
2.5.2 Deposition.....	38
2.6 Datenverarbeitung.....	42
2.6.1 Berechnung von TEQ-Werten	42
2.6.2 Berechnung der Außenluftkonzentrationen.....	42
2.6.3 Berechnung der Depositionsraten.....	42
2.6.4 Behandlung von Messwerten unterhalb der Bestimmungsgrenze	42
2.6.5 Messwertverarbeitung	43
2.7 Qualitätssicherung	43
3 Ergebnisse	45
3.1 Außenluft	45
3.1.1 TEQ-Werte für PCDD/F und PCB in der Außenluft.....	45
3.1.2 Außenluftkonzentrationen der 17 PCDD/F-Kongeneren und der PCDD/F- Homologengruppensummen.....	48
3.1.3 Profile der 17 PCDD/F-Kongeneren und der Homologengruppensummen in der Außenluft	54

3.1.4	Außenluftkonzentrationen der i-PCB, WHO-PCB und der PCB-Homologengruppensummen	56
3.1.5	Profile der i-PCB, WHO-PCB und der PCB-Homologengruppensummen in der Außenluft	66
3.2	Deposition	69
3.2.1	TEQ-Werte für PCDD/F und PCB in der Deposition	69
3.2.2	Profile der 17 PCDD/F-Kongenere und der Homologengruppensummen in der Deposition	76
3.2.3	Deposition der i-PCB, WHO-PCB und der PCB-Homologengruppensummen	78
3.2.4	Profile der i-PCB, WHO-PCB und der PCB-Homologengruppensummen in der Deposition	87
4	Quellenverzeichnis	89
5	Anhang	92
A.1	Strukturformeln ausgewählter PCDD/F- und PCB-Kongenere	92
A.2	Probenahmeterminale	96
A.3	Mittlere Wiederfindungsraten der Extraktions- und Probenahmestandards	98
A.4	Meteorologie Untersuchungszeitraum Monatsdaten	102
A.5	Messwerte Außenluft	108
A.6	Messwerte Deposition	141
A.7	Verlauf der TEQ-Konzentrationen	174
A.8	Sommer/Winter-Profile	176
A.9	Kongenerenspezifische PCB-Quellen	186

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Allgemeine Strukturformeln für Polychlorierte Dibenzodioxine (links) und polychlorierte Dibenzofurane (rechts) mit Lokanten	25
Abbildung 2:	Allgemeine Strukturformeln für polychlorierte Biphenyle mit Lokanten	26
Abbildung 3:	Fotos der UBA-Messstation Schmücke und der dort installierten Probenahmegeräte zur Bestimmung von PCDD/F und PCB in Außenluft und Deposition	30
Abbildung 4:	Fotos der UBA-Messstation Waldhof und der dort installierten Probenahmegeräte zur Bestimmung von PCDD/F und PCB in Außenluft und Deposition	31
Abbildung 5:	Windverhältnisse im Untersuchungszeitraum Juni 2018 bis Mai 2019 an den Messstellen Waldhof (links) und Schmücke (rechts).....	33
Abbildung 6:	Monatswerte der PCDD/F+PCB-TEQ Konzentrationen nach WHO ₂₀₀₅ inkl. 1/2 BG (fg/m ³) sowie der Temperatur, UBA-Messstationen Waldhof und Schmücke	47
Abbildung 7:	Konzentrationen der 17 PCDD/F-Kongenere (fg/m ³), UBA-Messstation Waldhof	52
Abbildung 8:	Konzentrationen der PCDD/F-Homologengruppensummen (fg/m ³), UBA-Messstation Waldhof.....	52
Abbildung 9:	Konzentrationen der 17 PCDD/F-Kongenere (fg/m ³), UBA-Messstation Schmücke	53
Abbildung 10:	Konzentrationen der PCDD/F-Homologengruppensummen (fg/m ³), UBA-Messstation Schmücke	53
Abbildung 11:	PCDD/F-Kongenerenprofile (Jahresmittelwerte, Standardabweichungen), UBA-Messstationen Waldhof und Schmücke.....	54
Abbildung 12:	PCDD/F-Homologengruppensummenprofile (Jahresmittelwerte, Standardabweichungen), UBA-Messstationen Waldhof und Schmücke	55
Abbildung 13:	Konzentrationen der i-PCB (pg/m ³), UBA-Messstation Waldhof	58
Abbildung 14:	Konzentrationen der i-PCB (pg/m ³), UBA-Messstation Schmücke.....	58
Abbildung 15:	Konzentrationen der dl-PCB (pg/m ³), UBA-Messstation Waldhof	61
Abbildung 16:	Konzentrationen der dl-PCB (pg/m ³), UBA-Messstation Schmücke.....	61
Abbildung 17:	Konzentrationen der PCB-Homologengruppensummen (pg/m ³), UBA-Messstation Waldhof.....	64

Abbildung 18:	Konzentrationen der PCB-Homologengruppensummen (pg/m ³), UBA-Messstation Schmücke	64
Abbildung 19:	Mittlere Konzentrationen der 209 PCB (pg/m ³), UBA-Messstationen Waldhof und Schmücke	65
Abbildung 20:	i-PCB-Profile (Jahresmittelwerte, Standardabweichungen)....	67
Abbildung 21:	dl-PCB-Profile (Jahresmittelwerte, Standardabweichungen)...	68
Abbildung 22:	PCB-Homologengruppensummenprofile (Jahresmittelwerte, Standardabweichungen)	68
Abbildung 23:	Monatswerte der PCDD/F+PCB TEQ Depositionen nach WHO2005 exkl. BG (fg/m ³) sowie der Temperatur	71
Abbildung 24:	Depositionsraten der 17 PCDD/F-Kongenere (pg/m ² d), Messstation Waldhof	74
Abbildung 25:	Depositionsraten der PCDD/F-Homologengruppensummen (pg/m ² d), Messstation Waldhof	74
Abbildung 26:	Depositionsraten der 17 PCDD/F-Kongenere (pg/m ² d), Messstation Schmücke	75
Abbildung 27:	Depositionsraten der PCDD/F-Homologengruppensummen (pg/m ² d), Messstation Schmücke.....	75
Abbildung 28:	PCDD/F-Kongenerenprofile in der Deposition (Jahresmittelwerte, Standardabweichungen)	77
Abbildung 29:	PCDD/F-Homologengruppensummenprofile (Jahresmittelwerte, Standardabweichungen)	77
Abbildung 30:	Depositionsraten der i-PCB (pg/m ² d), Messstation Waldhof...	80
Abbildung 31:	Konzentrationen der i-PCB (pg/m ² d), Messstation Schmücke.	80
Abbildung 32:	Depositionsraten der dl-PCB (pg/m ² d), Messstation Waldhof	82
Abbildung 33:	Depositionsraten der dl-PCB (pg/m ² d), Messstation Schmücke.....	82
Abbildung 34:	Depositionsraten der PCB-Homologengruppensummen (pg/m ² d), Messstation Waldhof	85
Abbildung 35:	Depositionsraten der PCB-Homologengruppensummen (pg/m ² d), Messstation Schmücke.....	85
Abbildung 36:	Mittlere Depositionsraten der 209 PCB (pg/m ² d), Messstation Waldhof und Schmücke.....	86
Abbildung 37:	i-PCB-Profile (Jahresmittelwerte, Standardabweichungen)....	87
Abbildung 38:	dl-PCB-Profile (Jahresmittelwerte, Standardabweichungen)...	88
Abbildung 39:	PCB-Homologengruppensummenprofile (Jahresmittelwerte, Standardabweichungen)	88
Abbildung 40:	Strukturformeln der 2,3,7,8-substituierten PCDD/F	92
Abbildung 41:	Strukturformeln der 12 dl-PCB	94
Abbildung 42:	Strukturformeln der 6 i-PCB	95
Abbildung 43:	Windverhältnisse im Untersuchungszeitraum (Monatswerte).....	104

Abbildung 44:	Monatswerte der PCDD/F-TEQ Konzentrationen nach WHO ₂₀₀₅ inkl. 1/2 BG (fg/m ³) sowie der Temperatur.....	174
Abbildung 45:	Monatswerte der PCB-TEQ Konzentrationen nach WHO ₂₀₀₅ inkl. 1/2 BG (fg/m ³) sowie der Temperatur.....	174
Abbildung 46:	Monatswerte der PCDD/F-TEQ Depositionsraten nach WHO ₂₀₀₅ exkl. BG (pg/m ² d) sowie der Temperatur.....	175
Abbildung 47:	Monatswerte der PCB-TEQ Depositionsraten nach WHO ₂₀₀₅ exkl. BG (pg/m ² d) sowie der Temperatur.....	175
Abbildung 48:	PCDD/F-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Außenluftproben, Messstation Waldhof	176
Abbildung 49:	PCDD/F-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Außenluftproben, Messstation Schmücke	176
Abbildung 50:	PCDD/F-Homologengruppensummen-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Außenluftproben, Messstation Waldhof.....	177
Abbildung 51:	PCDD/F-Homologengruppensummen-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Außenluftproben, Messstation Schmücke	177
Abbildung 52:	i-PCB-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Außenluftproben, Messstation Waldhof	178
Abbildung 53:	i-PCB-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Außenluftproben, Messstation Schmücke.....	178
Abbildung 54:	dl-PCB-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Außenluftproben, Messstation Waldhof	179
Abbildung 55:	dl-PCB-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Außenluftproben, Messstation Schmücke	179
Abbildung 56:	PCB-Homologengruppensummen-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Außenluftproben, Messstation Waldhof.....	180
Abbildung 57:	PCB-Homologengruppensummen-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Außenluftproben, Messstation Schmücke	180
Abbildung 58:	PCDD/F-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Depositionsproben, Messstation Waldhof	181

Abbildung 59:	PCDD/F-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Depositionsproben, Messstation Schmücke.....	181
Abbildung 60:	PCDD/F-Homologengruppensummen-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Depositionsproben, Messstation Waldhof.....	182
Abbildung 61:	PCDD/F-Homologengruppensummen-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Depositionsproben, Messstation Schmücke	182
Abbildung 62:	i-PCB-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Depositionsproben, Messstation Waldhof	183
Abbildung 63:	i-PCB-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Depositionsproben, Messstation Schmücke.....	183
Abbildung 64:	dl-PCB-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Depositionsproben, Messstation Waldhof	184
Abbildung 65:	dl-PCB-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Depositionsproben, Messstation Schmücke.....	184
Abbildung 66:	PCB-Homologengruppensummen-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Depositionsproben, Messstation Waldhof.....	185
Abbildung 67:	PCB-Homologengruppensummen-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Depositionsproben, Messstation Schmücke	185
Abbildung 68:	Chlorierungs-Matrix und Häufigkeitsmuster von PCB-Kongeneren in Aroclor-Gemischen (a) und nicht-Aroclor-Quellen (b).....	186

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Typische PCDD/F- und PCB-Belastungen für den ländlichen und städtischen Raum	28
Tabelle 2:	Meteorologische Bedingungen im Untersuchungszeitraum Juni 2018 bis Mai 2019 (12-Monats-Mittel)	34
Tabelle 3:	Übersicht über die Geräteparameter zur Bestimmung von PCDD/F und PCB in der Außenluft.....	35
Tabelle 4:	Verfahrenskenndaten zur Bestimmung von PCDD/F und PCB in der Außenluft unter Verwendung des Verfahrens mit kleinem Filter (LVS-Probenahme, HRGC-HRMS Analytik)	36

Tabelle 5:	Übersicht über die Geräteparameter zur Bestimmung von PCDD/F und PCB in der Deposition38
Tabelle 6:	Verfahrenskenndaten zur Bestimmung von PCDD/F und PCB in der Deposition unter Verwendung des Bergerhoff-Verfahrens39
Tabelle 7:	Mittlere TEQ-Außenluftkonzentrationen der PCDD/F und PCB nach WHO 2005 (fg TEQ/m ³).....45
Tabelle 8:	Mittlere TEQ-Außenluftkonzentrationen der PCDD/F und PCB im Vergleich zu publizierten Werten.....46
Tabelle 9:	Bestimmungshäufigkeiten, mittlere Konzentrationen und Standardabweichungen der 2,3,7,8-substituierten PCDD/F, UBA-Messstationen Waldhof und Schmücke.....49
Tabelle 10:	Bestimmungshäufigkeiten, mittlere Konzentrationen und Standardabweichung der PCDD/F-Homologengruppensummen, UBA-Messstationen Waldhof und Schmücke.....50
Tabelle 11:	Mittlere Außenluftkonzentrationen der Summe der 2,3,7,8-substituierten PCDD/F im Vergleich zu publizierten Werten...50
Tabelle 12:	Mittlere Außenluftkonzentrationen der Summe der PCDD/F im Vergleich zu publizierten Werten.....51
Tabelle 13:	Bestimmungshäufigkeiten, mittlere Konzentrationen und Standardabweichung der i-PCB, UBA-Messstationen Waldhof und Schmücke56
Tabelle 14:	Mittlere Außenluftkonzentrationen der Summe der 6 i-PCB im Vergleich zu publizierten Werten.....57
Tabelle 15:	Bestimmungshäufigkeiten, mittlere Konzentrationen und Standardabweichung der dl-PCB, UBA-Messstationen Waldhof und Schmücke60
Tabelle 16:	Mittlere Außenluftkonzentrationen der Summe der dl-PCB im Vergleich zu publizierten Werten.....60
Tabelle 17:	Bestimmungshäufigkeiten, mittlere Konzentrationen und Standardabweichung der PCB-Homologengruppensummen Messstationen Waldhof und Schmücke.....63
Tabelle 18:	Mittlere Außenluftkonzentrationen der PCB-Homologensummen im Vergleich zu publizierten Werten63
Tabelle 19:	Mittlere TEQ-Depositionen der PCDD/F und PCB nach WHO 2005 (pg TEQ/m ² d)69
Tabelle 20:	Mittlere TEQ-Deposition der PCDD/F und PCB im Vergleich zu publizierten Werten70
Tabelle 21:	Bestimmungshäufigkeiten, mittlere Depositionen und Standardabweichungen der 17 PCDD/F, Messstationen Waldhof und Schmücke.....72

Tabelle 22:	Bestimmungshäufigkeiten, mittlere Depositionen und Standardabweichung der PCDD/F-Homologengruppensummen, Messstationen Waldhof und Schmücke.....	73
Tabelle 23:	Mittlere Deposition der Summe der PCDD/F im Vergleich zu publizierten Werten	73
Tabelle 24:	Bestimmungshäufigkeiten, mittlere Depositionsraten und Standardabweichung der i-PCB, Messstationen Waldhof und Schmücke.....	78
Tabelle 25:	Mittlere Deposition der Summe der 6 i-PCB im Vergleich zu publizierten Werten	79
Tabelle 26:	Bestimmungshäufigkeiten, mittlere Depositionsraten und Standardabweichung der dl-PCB, Messstationen Waldhof und Schmücke.....	81
Tabelle 27:	Mittlere Deposition der Summe der 12 dl-PCB im Vergleich zu publizierten Werten	83
Tabelle 28:	Bestimmungshäufigkeiten, mittlere Depositionsraten und Standardabweichung der PCB-Homologengruppensummen, Messstationen Waldhof und Schmücke	84
Tabelle 29:	Mittlere Deposition der PCB-Homologensummen im Vergleich zu publizierten Werten.....	84
Tabelle 30:	Probenahmeterminale Messstation Waldhof.....	96
Tabelle 31:	Probenahmeterminale Messstation Schmücke	97
Tabelle 32:	Mittlere Wiederfindungsraten (%) der Probenahmestandards (Außenluftprobenahme).....	98
Tabelle 33:	Mittlere Wiederfindungsraten (%) der Extraktionsstandards in Außenluftproben	98
Tabelle 34:	Mittlere Wiederfindungsraten (%) der Extraktionsstandards in Depositionsproben	100
Tabelle 35:	Meteorologische Bedingungen im Untersuchungszeitraum Juni 2018 bis Mai 2019 (Monatsmittel), Messstation Waldhof.....	102
Tabelle 36:	Meteorologische Bedingungen im Untersuchungszeitraum Juni 2018 bis Mai 2019 (Monatsmittel), Messstation Schmücke ..	103
Tabelle 37:	TEQ-Konzentrationen (fg TEQ/m ³), Messstation Waldhof.....	108
Tabelle 38:	TEQ-Konzentrationen (fg TEQ/m ³), Messstation Schmücke ..	109
Tabelle 39:	Konzentrationen der 2,3,7,8-substituierten PCDD/F (fg/m ³), Messstation Waldhof	110
Tabelle 40:	Konzentrationen der 2,3,7,8-substituierten PCDD/F (fg/m ³), Messstation Schmücke	111
Tabelle 41:	Konzentrationen der PCDD/F-Homologengruppensummen (fg/m ³), Messstation Waldhof.....	112
Tabelle 42:	Konzentrationen der PCDD/F-Homologengruppensummen (fg/m ³), Messstation Schmücke.....	113

Tabelle 43:	Konzentrationen der dl-PCB (fg/m ³), Messstation Waldhof ..114
Tabelle 44:	Konzentrationen der dl-PCB (fg/m ³), Messstation Schmücke 115
Tabelle 45:	Konzentrationen der i-PCB (pg/m ³), Messstation Waldhof ...116
Tabelle 46:	Konzentrationen der i-PCB (pg/m ³), Messstation Schmücke .116
Tabelle 47:	Konzentrationen der PCB-Homologengruppensummen (pg/m ³), Messstation Waldhof117
Tabelle 48:	Konzentrationen der PCB-Homologengruppensummen (pg/m ³), Messstation Schmücke118
Tabelle 49:	Konzentrationen der 209 PCB (pg/m ³), Messstation Waldhof119
Tabelle 50:	Konzentrationen der 209 PCB (pg/m ³), Messstation Schmücke130
Tabelle 51:	TEQ-Werte der PCDD/F-Depositionen (pg TEQ/m ² d), Messstation Waldhof141
Tabelle 52:	TEQ-Werte der PCDD/F-Depositionen (pg TEQ/m ² d), Messstation Schmücke142
Tabelle 53:	Depositionen der 2,3,7,8-substituierten PCDD/F (pg/m ² d), Messstation Waldhof143
Tabelle 54:	Depositionen der 2,3,7,8-substituierten PCDD/F (pg/m ² d), Messstation Schmücke144
Tabelle 55:	Depositionen der PCDD/F-Homologengruppensummen (pg/m ² d), Messstation Waldhof145
Tabelle 56:	Depositionen der PCDD/F-Homologengruppensummen (pg/m ² d), Messstation Schmücke146
Tabelle 57:	Depositionen der dl-PCB (pg/m ² d), Messstation Waldhof.....147
Tabelle 58:	Depositionen der dl-PCB (pg/m ² d), Messstation Schmücke ..148
Tabelle 59:	Depositionen der i-PCB (pg/m ² d), Messstation Waldhof.....149
Tabelle 60:	Depositionen der i-PCB (pg/m ² d), Messstation Schmücke149
Tabelle 61:	Depositionen der PCB-Homologengruppensummen (pg/m ² d), Messstation Waldhof150
Tabelle 62:	Depositionen der PCB-Homologengruppensummen (pg/m ² d), Messstation Schmücke151
Tabelle 63:	Depositionen der 209 PCB (pg/m ² d), Messstation Waldhof..152
Tabelle 64:	Depositionen der 209 PCB (pg/m ² d), Messstation Schmücke163
Tabelle 65:	Potentielle Quellen für bedeutende nicht-i-PCB in der Außenluft187

Abkürzungsverzeichnis

Ah-Rezeptor	Aryl-Hydrocarbon-Rezeptor
DIN	Deutsches Institut für Normung
dl-PCB	Dioxin-like PCB (dioxinähnliche PCB)
DWD	Deutscher Wetterdienst
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme
HRGC	hochauflösende Gaschromatographie
HRMS	hochauflösende Massenspektrometrie
i-PCB	Indikator-PCB
I-TEQ	Toxizitätsäquivalent nach internationalen Toxizitätsäquivalenzfaktoren
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LVS	Low Volume Sammler (KleinfILTERgerät)
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCDD	Polychlorierte Dibenzodioxine
PCDD/F	Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane
PCDF	Polychlorierte Dibenzofurane
POP	Persistent Organic Pollutant (persistenter organischer Schadstoff)
POP-Alp	Projekt zur Bestimmung von POP in den Alpen
PureAlps	Projekt zum Schutz der Alpen vor Umweltchemikalien
TEF	Toxizitätsäquivalenzfaktor
TEQ	Toxizitätsäquivalent
UBA	Umweltbundesamt
UNEP	United Nations Environmental Programme (Umweltprogramm der Vereinten Nationen)
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WHO	World Health Organisation (Weltgesundheitsorganisation)
WHO-TEQ	Toxizitätsäquivalent nach Toxizitätsäquivalenzfaktoren der WHO

Abkürzungsverzeichnis Analyte

PCDD/F	
TeD1	2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin
PeD1	1,2,3,7,8-Pentachlordibenzodioxin
HxD1	1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzodioxin
HxD2	1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzodioxin
HxD3	1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzodioxin
HpD1	1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzodioxin
OcD	Octachlordibenzodioxin
TeF1	2,3,7,8-Tetrachlordibenzofuran
PeF1	1,2,3,7,8-Pentachlordibenzofuran
PeF2	2,3,4,7,8-Pentachlordibenzofuran
HxF1	1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzofuran
HxF2	1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzofuran
HxF3	1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzofuran
HxF4	2,3,4,6,7,8-Hexachlordibenzofuran
HpF1	1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzofuran
HpF2	1,2,3,4,7,8,9-Heptachlordibenzofuran
OcF	Octachlordibenzofuran
S TeD	Summe Tetrachlordibenzodioxine
S PeD	Summe Pentachlordibenzodioxine
S HxD	Summe Hexachlordibenzodioxine
S HpD	Summe Heptachlordibenzodioxine
S TeF	Summe Tetrachlordibenzofurane
S PeF	Summe Pentachlordibenzofurane
S HxF	Summe Hexachlordibenzofurane
S HpF	Summe Heptachlordibenzofurane

<u>PCB</u>	
PCB 28	2,4,4'-Trichlorbiphenyl
PCB 52	2,2',5,5'-Tetrachlorbiphenyl
PCB 77	3,3',4,4'-Tetrachlorbiphenyl
PCB 81	3,4,4',5-Tetrachlorbiphenyl
PCB 101	2,2',4,4',5-Pentachlorbiphenyl
PCB 105	2,3,3',4,4'-Pentachlorbiphenyl
PCB 114	2,3,4,4',5-Pentachlorbiphenyl
PCB 118	2,3',4,4',5-Pentachlorbiphenyl
PCB 123	2',3,4,4',5-Pentachlorbiphenyl
PCB 126	3,3',4,4',5-Pentachlorbiphenyl
PCB 138	2,2',3,4,4',5'-Hexachlorbiphenyl
PCB 153	2,2',4,4',5,5'-Hexachlorbiphenyl
PCB 156	2,3,3',4,4',5-Hexachlorbiphenyl
PCB 157	2,3,3',4,4',5'-Hexachlorbiphenyl
PCB 167	2,3',4,4',5,5'-Hexachlorbiphenyl
PCB 169	3,3',4,4',5,5'-Hexachlorbiphenyl
PCB 180	2,2',3,4,4',5,5'-Heptachlorbiphenyl
PCB 189	2,3,3',4,4',5,5'-Heptachlorbiphenyl
S MoCB	Summe Monochlorbiphenyle
S DiCB	Summe Dichlorbiphenyle
S TriCB	Summe Trichlorbiphenyle
S TeCB	Summe Tetrachlorbiphenyle
S PeCB	Summe Pentachlorbiphenyle
S HxCB	Summe Hexachlorbiphenyle
S HpCB	Summe Heptachlorbiphenyle
S OcCB	Summe Octachlorbiphenyle
S NoCB	Summe Nonachlorbiphenyle
DecCB	Decachlorbiphenyl

Begriffe

Bestimmungsgrenze	Geringste Masse eines Analyten, die quantitativ mit einer bestimmten statistischen Sicherheit ermittelt werden kann.
Coelution	Prozess, bei dem zwei oder mehr Substanzen zur selben Zeit von einer Chromatographiesäule eluieren, was die Separierung und Identifizierung der Substanzen erschwert.
Homologe	Verbindungen, die sich über eine allgemeine Summenformel darstellen lassen. Im Zusammenhang mit PCDD/F und PCB ist hierbei der Chlorierungsgrad maßgeblich.
Homologengruppen-summe	Massensumme aller Isomere eines Chlorierungsgrades der analysierten Substanzgruppe.
Homologensumme	Summe der Homologengruppensummen einer analysierten Substanzgruppe.
Isomer	Chemische Verbindungen mit gleicher Summenformel, die sich in der Verknüpfung oder räumlichen Anordnung der Atome unterscheiden.
Kongener	Chemische Verbindungen, die eine gleiche Grundstruktur aufweisen. Die Summenformeln zweier Kongenere können sich unterscheiden.
Lokant	Begriff in der chemischen Nomenklatur, der zur genauen Beschreibung bestimmter Positionen von Bindungen innerhalb eines Moleküls dient.
Profil	Muster ausgedrückt als prozentualer Anteil betrachteter Einzelverbindungen oder Analytengruppen an der Summe der Einzelverbindungen oder Analytengruppen.
Sommermonate	Zusammenfassung der Monate April bis September.
Toxizitätsäquivalent (TEQ)	Mit Toxizitätsäquivalenzfaktoren gewichtetes Messergebnis.
Toxizitätsäquivalenzfaktor (TEF)	Faktor, der die toxische Potenz eines Kongeners relativ zu der von 2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin (TEF=1) angibt.
Wiederfindungsrate	Anteil der in einer Probe vorhandenen Substanz (z.B. massenmarkierte Standards), der nach der Analytik der Probe quantifiziert wird.
Wintermonate	Zusammenfassung der Monate Oktober bis März.

Zusammenfassung

Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F) und polychlorierte Biphenyle (PCB) sind ubiquitär verbreitete Umweltkontaminanten, die aufgrund ihrer negativen Eigenschaften wie Toxizität, Persistenz oder Bioakkumulation vielfach in Monitoringprogrammen untersucht wurden. Aufgrund von politischen und regulativen Maßnahmen haben sich die PCDD/F- und PCB-Belastungen einzelner Umweltkompartimente über die letzten Jahrzehnte deutlich reduziert. Die Verfahren für Probenahme und Analytik von PCDD/F und PCB in Luft- oder Depositionsproben sind anspruchsvoll und kostenintensiv. Daraus resultierend wurden und werden PCDD/F und PCB in Luft- und Depositionsproben in Deutschland nicht flächendeckend untersucht, was dazu geführt hat, dass es keine Werte zur aktuellen Belastung von Außenluft und Deposition mit PCDD/F und PCB an quellfernen Orten in Deutschland gibt. Aus diesem Grund wurde im Umweltbundesamt (UBA) beschlossen, im Rahmen des Forschungsvorhabens „Experimentelle Bestimmung typischer Dioxin/Furan-Profile in der Luft in einer von holzbetriebenen Heizungen stark belasteten Region und zusätzliche Ermittlung der dl-PCB Belastung im ländlichen Hintergrund“ (FKZ 3717 522530) an zwei Hintergrundmessstationen des UBA Messungen zu PCDD/F und PCB in Außenluft und Deposition durchzuführen.

Als Probenahmestandorte waren die Messstationen Schmücke, im Thüringer Wald in Thüringen auf 937 m Höhe gelegen, und Waldhof, in der Lüneburger Heide in Niedersachsen auf 74 m Höhe gelegen, vom UBA vorgesehen worden. Beide Messstationen gehören zum Luftmessnetz des Umweltbundesamts und wurden in vorangegangenen Untersuchungen als repräsentative Hintergrundmessstellen charakterisiert. Die Probenahmen wurden über 12 Monate für den Zeitraum Juni 2018 bis Mai 2019 geplant. Es wurden sowohl die Deposition als auch die Außenluft als Monatsproben untersucht. Als Zielsubstanzen waren die 17 2,3,7,8-substituierten PCDD/F-Kongeneren, die Homologengruppensummen der Tetra- bis Heptachlordibenzodioxine¹ und -furane, die 6 Indikator-PCB (i-PCB), die 12 dioxinähnlichen PCB (dl-PCB) sowie die Homologengruppensummen der Monochlor- bis Decachlorbiphenyle vorgesehen.

Die Außenluft wurde mit Kleinfiltergeräten, sogenannten Low Volume Sammlern nach VDI 3498 Blatt 2 untersucht. Dabei wurde Außenluft mit einer Pumpe über einen Glasfaserfilter zur Partikelabscheidung und Polyurethanschaum zur Adsorption gasförmiger Verbindungen gesaugt. Mehrere Proben eines Monats wurden zu einer Monatsprobe vereint, gemeinsam extrahiert und mittels Gaschromatographie und hochauflösender Massenspektrometrie analysiert. Die Deposition wurde als Gesamtdeposition mit dem Bergerhoff-Verfahren nach VDI 2090 Blatt 1 untersucht. Dabei wurden 10 Bergerhoff-Gefäße pro Messpunkt monatsweise parallel exponiert. Die 10 Gefäße wurden zu je einer Monatsprobe zusammengefasst, gemeinsam aufgearbeitet und mittels Gaschromatographie und hochauflösender Massenspektrometrie analysiert. Über das gesamte Messprogramm wurden somit 12 Monatsproben für Außenluft und 12 Monatsproben für Deposition pro Messpunkt auf die oben genannten Substanzen bzw. Substanzgruppen untersucht. Die Analyse der PCB-Homologengruppensummen machte die Einzelbestimmung der 209 PCB-Kongeneren notwendig, was zusätzliche Aussagen zu weiteren relevanten PCB in der Außenluft ermöglichte.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Messungen zusammengefasst.

¹ Für die Homologengruppensummen der PCDD/F werden jeweils Tetrachlor- bis Octachlor-PCDD/F ausgewiesen und diskutiert. Da es sich bei den Octachlorverbindungen aber nur um je ein 1 Dioxin (OcD) und ein Furan (OcF) handelt, welches im Umfang der 17 PCDD/F-Einzelkongeneren enthalten ist, werden im Sinne der instrumentellen PCDD/F-Analytik nur die Homologengruppensummen der Tetrachlor- bis Heptachlor-PCDD/F bestimmt.

Außenluft

Die Jahresmittelwerte der PCDD/F- und PCB-Belastung in der Außenluft auf der Basis von Toxizitätsäquivalenten (TEQ) unter der Berücksichtigung der halben Bestimmungsgrenzen lagen bei 3,9 fg WHO₂₀₀₅ TEQ/m³ (Waldhof) und 2,4 fg WHO₂₀₀₅-TEQ/m³ (Schmücke) und sind damit deutlich geringer als der Zielwert für die langfristige Luftreinhaltung von 150 fg WHO-TEQ/m³ für die Summe der PCDD/F und dl-PCB. Die TEQ-Monatswerte im Zeitraum Juni 2018 bis Mai 2019 schwankten dabei zwischen 0,7 und 13,8 fg WHO₂₀₀₅-TEQ/m³. Diese Werte können als typische Werte für den deutschen Hintergrund angesehen werden. Die TEQ-Werte werden mit bis zu 90 % durch die PCDD/F generiert. Sie waren in den Wintermonaten höher als in den Sommermonaten, was auf den Einfluss von saisonal geprägten Verbrennungsprozessen als Quelle für v.a. PCDD/F hinweist.

Die Summen der mittleren Außenluftkonzentrationen der 17 2,3,7,8-substituierten PCDD/F-Kongenere lagen im Untersuchungszeitraum bei 104 fg/m³ (Waldhof) und 59 fg/m³ (Schmücke). Die Summen der Tetra- bis Octachlordibenzodioxine und -furane lagen im Jahresmittel bei 283 fg/m³ (Waldhof) und 162 fg/m³ (Schmücke). Die PCDD/F-Konzentrationen waren in den Wintermonaten höher als in den Sommermonaten. Die mittleren Kongeneren- und Homologengruppensummenprofile waren an beiden Standorten ähnlich. Die mittleren Kongenerenprofile der 17 PCDD/F waren durch eine Dominanz von Octachlordibenzodioxin (ca. 48 %) geprägt. Weitere bedeutende Kongenere waren 1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzodioxin (ca. 18 %), 1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzofuran (ca. 7 %) und Octachlordibenzofuran (ca. 6,5 %). Die mittleren PCDD/F-Homologengruppensummenprofile an den Stationen Waldhof und Schmücke waren durch maximale Anteile von Tetrachlordibenzofuranen (38 % bzw. 33 %) charakterisiert. Weitere bedeutende Homologengruppensummen mit relativen Anteilen über 10 % waren Octachlordibenzodioxin, Heptachlordibenzodioxine und Pentachlordibenzofurane. An beiden Messstationen konnte eine saisonale Verschiebung der Homologengruppensummenprofile festgestellt werden. Die prozentualen Anteile der Tetrachlordibenzofurane verringerten sich in den Wintermonaten deutlich. Die saisonale Verschiebung bei den Einzelkongeneren fiel weniger deutlich aus. Prozentuale Anteile von 2,3,7,8-Tetrachlordibenzofuran, 1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzofuran und Octachlordibenzofuran sanken in den Wintermonaten, Anteile von 1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzodioxin stiegen.

Die aufsummierten Jahresmittelkonzentrationen der 6 i-PCB waren an beiden Messstationen ähnlich und lagen bei 8,4 pg/m³ (Waldhof) und 6,9 pg/m³ (Schmücke). Die mittleren Konzentrationen waren für PCB 28, PCB 52 und PCB 101 am höchsten und für PCB 180 am geringsten. Die Monatswerte der 6 i-PCB-Konzentrationen lagen zwischen 2,4 pg/m³ und 16,6 pg/m³ und weisen den für PCB typischen Jahresverlauf mit höheren Werten im Sommer als im Winter auf. Die aufsummierten Jahresmittelkonzentrationen der 12 dl-PCB lagen bei 0,64 pg/m³ (Waldhof) und 0,55 pg/m³ (Schmücke). Höchste Werte wurden für PCB 118 (hier in Coelution mit PCB 106; 0,4 pg/m³ bzw. 0,3 pg/m³) erreicht. Die Monatswerte der aufsummierten Konzentrationen der 12 dl-PCB lagen zwischen 0,2 pg/m³ und 1,2 pg/m³ und waren in den Sommermonaten höher als in den Wintermonaten. Die mittlere PCB-Summenkonzentration lag an beiden Messstationen bei ca. 50 pg/m³. Die Monatswerte schwankten zwischen 22 pg/m³ und 67 pg/m³. Die Di- bis Tetrachlorbiphenyle waren die bedeutendsten Homologengruppen, wobei sowohl Konzentrationen als auch Anteile größeren monatlichen Schwankungen unterworfen waren. Neben den routinemäßig untersuchten PCB-Kongeneren (i-PCB, dl-PCB) haben die Untersuchungen gezeigt, dass es weitere bedeutende PCB in der Außenluft an quellenfernen Orten gibt, deren Konzentrationen in einem ähnlichen Bereich liegen wie die der i-PCB-Kongenere oder diese sogar überschreiten. Dieses sind die folgenden

PCB (absteigend geordnet nach mittlerer Konzentration): PCB 11 (5,6 bzw. 5,9 pg/m³), PCB 18 (2,5 bzw. 3,9 pg/m³), PCB 93/95/98/102 (2,2 bzw. 1,8 pg/m³), PCB 5/8 (ca. 2 pg/m³), PCB 31 (ca. 1,8 pg/m³), PCB 139/149 (1,6 bzw. 1,1 pg/m³), PCB 43/49 (1,3 bzw. 1,1 pg/m³), PCB 47/48/65/75 (1,3 bzw. 1,1 pg/m³), PCB 17 (0,9 bzw. 1,3 pg/m³), PCB 44 (1,2 bzw. 1 pg/m³), PCB 20/33 (ca. 1 pg/m³) und PCB 151 (1 bzw. 0,8 pg/m³). Von 166 gaschromatographisch auftrennbaren PCB bzw. PCB-Coelutionen konnten in Außenluftproben zwischen 105 und 144 quantifiziert werden.

Deposition

An den UBA-Messstationen wurden PCDD/F- und PCB-Kongenere nur selten oberhalb der Bestimmungsgrenzen gefunden, was die aggregierten Werte je nach Berücksichtigung der Bestimmungsgrenze verzerren kann und Interpretationsmöglichkeiten limitiert.

Die Jahresmittelwerte der PCDD/F- und PCB-Depositionsraten auf der Basis von Toxizitätsäquivalenten unter der Berücksichtigung der halben Bestimmungsgrenzen lagen bei 0,33 pg WHO₂₀₀₅-TEQ/m²d (Waldhof) und 0,54 pg WHO₂₀₀₅-TEQ/m²d (Schmücke) und sind damit deutlich geringer als der Zielwert für die langfristige Luftreinhaltung von 4 pg WHO-TEQ/m²d für die Summe der PCDD/F und dl-PCB. Die Monatswerte lagen zwischen 0,0 und 1,3 pg WHO₂₀₀₅-TEQ/m²d, wobei die Schwankungen vor allem auf die variierenden TEQ-Depositionsraten der PCDD/F bzw. dem Einfluss der Bestimmungsgrenzen zurückgehen. Ein saisonaler Verlauf der TEQ-Depositionsraten mit höheren Werten im Winter als im Sommer, wie er in der Außenluft beobachtet werden konnte, ist für die Deposition nicht ausgeprägt, deutet sich an der Messstation Schmücke aber an.

Die mittleren Depositionsraten der 17 2,3,7,8-substituierten PCDD/F-Kongenere lagen bei 6,5 pg/m²d (Waldhof) und 13 pg/m²d (Schmücke). Es wurden überwiegend (d.h. in mehr als 50 % der Proben) nur die Kongenere Octachlordibenzodioxin, 1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzodioxin und 1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzofuran quantifiziert. Die mittleren Depositionsraten der PCDD/F-Homologensummen waren 11 pg/m²d (Waldhof) und 19 pg/m²d (Schmücke) mit höchsten Werten für Octachlordibenzodioxin und Tetrachlordibenzofuranen. Ein Jahresgang der PCDD/F-Depositionen mit höheren Einträgen im Winter deutet sich in den PCDD/F-Summenwerten an.

PCB wurden überwiegend nur in den Sommermonaten quantifiziert. Die Jahresmittelwerte der Einzelkongenere lagen daher oft unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Die Monatswerte der aufsummierten Depositionen lagen zwischen Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze und ca. 1200 pg/m²d für die 6 i-PCB, zwischen Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze und 155 pg/m²d für die dl-PCB und zwischen Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze und ca. 7500 pg/m²d für die Gesamt-PCB. Dabei wurden für die i-PCB überwiegend die PCB 138, PCB 153 (hier coelulierend mit 168) und PCB 180 quantifiziert. Von den dl-PCB wurden vor allem PCB 118 (hier in Coelution mit PCB 106), PCB 156 und PCB 167 quantifiziert. Von 166 gaschromatographisch auftrennbaren PCB bzw. PCB-Coelutionen konnten in Depositionsproben zwischen 0 und 94 quantifiziert werden, zum Teil mit ähnlich hohen Depositionsraten wie einige i-PCB-Kongenere. Bedeutende PCB sind hierbei PCB 182/187, PCB 14, PCB 4, PCB 163/174 und PCB 170. PCB 11, das dominante PCB in der Außenluft, konnte nur in einer Probe oberhalb der (hohen) Bestimmungsgrenzen quantifiziert werden.

Summary

Polychlorinated dibenzodioxins and furans (PCDD/F) and polychlorinated biphenyls (PCB) are ubiquitously distributed environmental contaminants, which have often been investigated in monitoring programmes due to their adverse properties such as toxicity, persistence or potential to bioaccumulate. As a result of political and regulatory measures, PCDD/F and PCB contamination of individual environmental compartments usually decreased significantly over the past decades. Sampling procedures and analytical methods for the determination of PCDD/F and PCB in air or deposition samples are challenging and cost-intensive. As a result, PCDD/F and PCB in air and deposition samples have not been and are not being analysed comprehensively in Germany. Therefore, current PCDD/F and PCB levels for ambient air and deposition at German background locations are missing. For this reason, the German Environment Agency (UBA) decided to carry out measurements to determine PCDD/F and PCB in ambient air and deposition at two background monitoring stations of the UBA within the research project "Experimental determination of typical dioxin/furan profiles in air in a region heavily impacted by wood-fired heating systems and additional determination of dl-PCB contamination in rural background" (FKZ 3717 522530).

The UBA had planned sampling to occur at the sites Schmücke, located in the Thuringian Forest in Thuringia at 937 m altitude, and Waldhof, located in the Lüneburger Heide in Lower Saxony at 74 m altitude. Both measuring stations are part of the German Environment Agency's air monitoring network and were characterized as representative background stations in previous studies. Sampling was designed to take place over 12 months in the period June 2018 to May 2019. Both, deposition and ambient air, were investigated on a monthly basis. The target substances were the 17 2,3,7,8-substituted PCDD/F congeners, the homologue group sums of the tetra- to octachlorodibenzodioxins and furans, the 6 indicator PCB (i-PCB), the 12 dioxin-like PCB (dl-PCB) and the homologue group sums of the monochloro- to decachlorobiphenyls.

Ambient air was sampled according to VDI 3498 part 2 using low volume samplers. Glass fibre filters were used to accumulate particle-bound compounds, polyurethane foam was applied to adsorb gaseous compounds. Several samples of one month were combined to a monthly sample, extracted together and analysed by means of high-resolution mass spectrometry (HRMS). Deposition was collected as bulk deposition applying the Bergerhoff method according to VDI 2090 part 1. 10 Bergerhoff jars per site were exposed in parallel on a monthly basis. The 10 jars were combined to one monthly sample, processed together and analysed by high-resolution mass spectrometry. Over the entire measuring program, 12 monthly samples for ambient air and 12 monthly samples for deposition were analysed per site for the above-mentioned substances or substance groups. In order to be able to analyse the PCB homologue group 209 PCB congeners had to be individually determined. This enabled gathering additional information on other relevant PCBs in the ambient air.

The results of the measurements are summarised below.

Ambient air

Taking into account half of the limits of quantification (LOQ), the annual mean concentrations of PCDD/F and PCB in ambient air on the basis of toxicity equivalents (TEQ) were 3.9 fg WHO₂₀₀₅-TEQ/m³ (Waldhof) and 2.4 fg WHO₂₀₀₅-TEQ/m³ (Schmücke). These values are lower than the German target value for long-term air pollution of 150 fg WHO-TEQ/m³ for the sum of PCDD/F and dl-PCB. TEQ-values (incl. ½ LOQ) in individual samples in the period June 2018 to May 2019 fluctuated between 0.9 and 13.9 fg WHO₂₀₀₅-TEQ/m³. These values can be regarded as typical background values for Germany. 90 % of the TEQ values were generated from PCDD/F. TEQ concentrations were higher in the winter months than in the summer months, indicating the influence of seasonal combustion processes as a source of PCDD/F.

Annual mean ambient air concentrations of the 17 2,3,7,8-substituted PCDD/F congeners were 104 fg/m³ (Waldhof) and 59 fg/m³ (Schmücke). Average concentrations of tetra- to octachlorodibenzodioxins and furans were 283 fg/m³ (Waldhof) and 162 fg/m³ (Schmücke). PCDD/F concentrations were higher in the winter months than in the summer months. Average profiles were quite similar at both sites. Mean congener profiles of the 17 PCDD/F were characterized by a dominance of octachlorodibenzodioxin (about 48 %). Other significant congeners were 1,2,3,4,6,7,8-heptachlorodibenzodioxin (about 18 %), 1,2,3,4,6,7,8-heptachlorodibenzofuran (about 7 %) and octachlorodibenzofuran (about 6.5 %). Average PCDD/F homologue group sum profiles at Waldhof and Schmücke were characterized by maximum proportions of tetrachlorodibenzofurans (38 % and 33 %, respectively). Other significant homologue group sums with relative proportions above 10 % were octachlorodibenzodioxin, heptachlorodibenzodioxins and pentachlorodibenzofurans. At both sites a seasonal shift of the homologue group sum profiles could be detected with proportions of tetrachlorodibenzofurans decreasing during the winter months. The seasonal shift for the individual congeners was less obvious. Proportions of 2,3,7,8-tetrachlorodibenzofuran, 1,2,3,4,6,7,8-heptachlorodibenzofuran and octachlorodibenzofuran decreased in the winter months, those of 1,2,3,4,6,7,8-heptachlorodibenzodioxin increased.

Annual mean concentrations of the 6 i-PCB were 8.4 pg/m³ (Waldhof) and 6.9 pg/m³ (Schmücke) and thus quite similar at both sites. Average concentrations were highest for PCB 28, PCB 52 and PCB 101 and lowest for PCB 180. Individual concentrations for the 6 i-PCB were between 2.4 pg/m³ and 16.6 pg/m³ and showed the typical annual PCB-pattern with higher values in summer than in winter. Average concentrations of the 12 dl-PCB were 0.64 pg/m³ (Waldhof) and 0.55 pg/m³ (Schmücke). Highest values were observed for PCB 118 (here in coelution with PCB 106; 0.4 pg/m³ and 0.3 pg/m³). Monthly concentrations of 12 dl-PCB ranged between 0.2 pg/m³ and 1.2 pg/m³ and were higher in the summer months than in the winter months. The mean PCB sum concentrations at both monitoring stations were about 50 pg/m³. Monthly values fluctuated between 22 pg/m³ and 67 pg/m³. The di- to tetrachlorobiphenyls were the most important homologue groups. In addition to the PCB congeners routinely studied (i-PCB, dl-PCB), the investigations have shown that there are other significant PCBs in ambient air at German background sites whose concentrations are in a similar range to those of i-PCB congeners or even higher. These are the following PCB (in descending order of average concentration): PCB 11 (5.6 or 5.9 pg/m³), PCB 18 (2.5 or 3.9 pg/m³), PCB 93/95/98/102 (2.2 or 1.8 pg/m³), PCB 5/8 (approx. 2 pg/m³), PCB 31 (approx. 1.8 pg/m³), PCB 139/149 (1.6 or 1.1 pg/m³), PCB 43/49 (1.3 or 1.1 pg/m³), PCB 47/48/65/75 (1.3 or 1.1 pg/m³), PCB 17 (0.9 or 1.3 pg/m³), PCB 44 (1.2 or 1 pg/m³), PCB 20/33 (approx. 1 pg/m³) and PCB 151 (1 or 0.8 pg/m³). Of 166 PCBs or PCB co-elutions separated by gas chromatographically, between 105 and 144 could be quantified in ambient air samples.

Deposition

Overall, PCDD/F and PCB congeners were rarely found above the limits of quantification at the German background sites investigated. It should be noted that this may result in misleading aggregated values depending on the consideration of the limit of quantification.

Annual mean deposition rates of the PCDD/F and PCB on the basis of toxicity equivalents considering half of the quantification limits were 0.33 pg WHO₂₀₀₅-TEQ/m²d at Waldhof and 0.54 pg WHO₂₀₀₅-TEQ/m²d at Schmücke. Thus, values were much lower than the target value for long-term air pollution of 4 pg WHO-TEQ/m²d for the sum of PCDD/F and dl-PCB. Monthly values ranged between 0 and 1.3 pg WHO₂₀₀₅-TEQ/m²d. Differences resulted mainly from fluctuating TEQ deposition rates of PCDD/F and the impact of the LOQs. A seasonal trend in the TEQ deposition rates with higher values in winter than in summer, as it was observed in ambient air, was not very pronounced for the deposition, however it was slightly indicated at the Schmücke site.

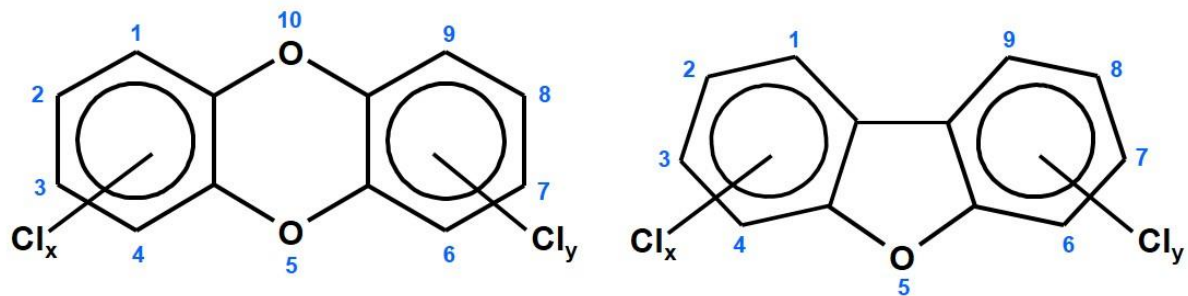
Average deposition rates of the 17 2,3,7,8-substituted PCDD/F congeners were 6,5 pg/m²d (Waldhof) and 13 pg/m²d (Schmücke). For the most part (i.e. in more than 50 % of the samples) only the congeners octachlorodibenzodioxin, 1,2,3,4,6,7,8-heptachlorodibenzodioxin and 1,2,3,4,6,7,8-heptachlordibenzofuran were quantified. The mean deposition rates of PCDD/F homologue sums were 11 pg/m²d (Waldhof) and 19 pg/m²d (Schmücke) with highest values for octachlorodibenzodioxin and tetrachlorodibenzofurans. Seasonal PCDD/F depositions trends with higher values in winter were indicated by the PCDD/F sum values.

PCB were usually quantified in the summer months, only. The annual means of the individual congeners were therefore often below the actual quantification limits. Monthly deposition rates were between values below the limit of quantification and about 1200 pg/m²d for the 6 i-PCB, between values below the limit of quantification and 155 pg/m²d for the dl-PCB and between values below the limit of quantification and about 7500 pg/m²d for the total PCB. For i-PCB, PCB 138, PCB 153 (here co-eluting with 168) and PCB 180 were quantified the most. Of the dl-PCBs, PCB 118 (here in co-elution with PCB 106), PCB156 and PCB 167 were quantified. Of 166 PCBs or PCB co-elutions separated by gas chromatography, between 0 and 94 were quantified in deposition samples, in some cases at similarly high deposition rates as some i-PCB congeners. In this context important PCB are the following: PCB 182/187, PCB 14, PCB 4, PCB 163/174 and PCB 170. PCB 11, the dominant PCB in ambient air, could only be quantified in one sample above the (high) quantification limits.

1 Einleitung und Zielsetzung

Unter dem Begriff polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F) werden 2 Stoffgruppen von Organochlorverbindungen zusammengefasst, die chemisch ähnlich aufgebaut sind: die polychlorierten Dibenzodioxine (PCDD) und die polychlorierten Dibenzofurane (PCDF). Die PCDD/F bestehen aus zwei kondensierten Phenylringen, die über zwei (PCDD) bzw. eine (PCDF) Etherbrücke(n) verbunden sind (Abbildung 1). Für die Stoffgruppe der PCDD existieren 75, für die der PCDF 135 verschiedene Einzelverbindungen (Kongeneren).

Abbildung 1: Allgemeine Strukturformeln für Polychlorierte Dibenzodioxine (links) und polychlorierte Dibenzofurane (rechts) mit Lokanten



Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

PCDD/F wurden in der Regel nicht für eine bestimmte Applikation hergestellt. Eine Ausnahme bildet beispielsweise die gezielte Verwendung von Einzelsubstanzen zu Analysezwecken. Sie entstehen vor allem als Nebenprodukte bei thermischen Prozessen oder bei einigen chemischen Reaktionen, z.B. bei der Synthese bestimmter chlorhaltiger Chemikalien oder Produkte. PCDD/F kommen in der Umwelt nicht als Einzelverbindung sondern immer als Mischung verschiedener Kongeneren vor. Das Muster, d.h. die prozentualen Anteile der Einzelverbindungen an der Summe der PCDD/F, wird als Profil bezeichnet und kann zur Identifizierung der PCDD/F-Quellen herangezogen werden (Quass et al. 2016).

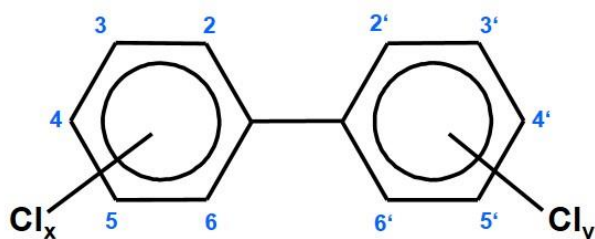
Aufgrund ihrer Stabilität und Lipophilie reichern sich PCDD/F in Lebewesen und in der Umwelt an, sind weltweit verbreitet und werden in Verbindung mit einer Reihe von unerwünschten gesundheitsrelevanten Wirkungen gebracht. Einige Verbindungen gelten als potentielle Karzinogene. PCDD/F sind daher in der Stockholm-Konvention als persistente organische Schadstoffe (persistent organic pollutant, POP) klassifiziert (UNEP 2019). Für die toxische Wirkung der insgesamt 210 PCDD/F sind die 17 Kongeneren relevant, bei denen die Kohlenstoffatome der Positionen 2, 3, 7 und 8 (Abbildung 1) an Chloratome gebunden sind. Sie werden daher auch als die 2,3,7,8-substituierten Kongeneren bezeichnet. Das 2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin ist das toxischste Dioxin und wurde in toxikologischen Untersuchungen vornehmlich betrachtet (Behnke et al. 2017). Es wirkt über die Aktivierung des Aryl-Hydrocarbon-Rezeptors (Ah-Rezeptor), der z.B. Zellwachstum und Zelldifferenzierung reguliert (Behnke et al. 2017). Die 2,3,7,8-substituierten Kongeneren (Anhang A1) haben den gleichen Wirkmechanismus, allerdings in unterschiedlich starkem Ausmaß. Die unterschiedliche Wirkungsstärke wird über den Toxizitätsäquivalenzfaktor (TEF) berücksichtigt und die Konzentrationen oft als toxikologiebezogener Summenwert, als Toxizitätsäquivalent (TEQ)-Wert, angegeben (Van den Berg et al. 2006, Behnke et al. 2017). Aufgrund ihrer Toxizität betrachten die meisten Studien ausschließlich die 2,3,7,8-substituierten PCDD/F. Zum Teil werden auch die Summen der Verbindungen eines Chlorierungsgrades, die Homologengruppensummen, ausgewiesen, um Informationen über den Gesamtgehalt von

PCDD/F einer Probe zu erhalten. Dabei wird sich in der Regel auf die Tetrachlor- bis Octachlor-PCDD/F beschränkt.

Die polychlorierten Biphenyle (PCB) gehören ebenfalls zur Gruppe der persistenten Organochlorverbindungen. Sie leiten sich aus dem Biphenyl ab, in dem mindestens ein Wasserstoffatom durch ein Chloratom substituiert ist (Abbildung 2). Für die Stoffgruppe der PCB existieren 209 Kongenere.

Im Gegensatz zu PCDD/F wurden PCB von den 1930er Jahren bis in die 1980er Jahre gezielt hergestellt. Ihren Einsatz fanden sie z.B. als flammhemmende Flüssigkeit in Transformatoren, elektrischen Kondensatoren oder Motoren. Sie wurden als Hydraulikflüssigkeit, Wärmetransferflüssigkeit verwendet oder als Weichmacher in Produkte und Material (Farben, Papier, Dichtungsmassen, etc.) inkorporiert (Erickson and Kaley 2011, UBA 2020). PCB wurden als technische Gemische unterschiedlicher Chlorierungsgrade hergestellt und vermarktet. Bekannte Beispiele sind die Produktreihen Aroclor (Monsanto Industrial Chemicals Company, USA) oder Chlophen (Bayer, Deutschland). In der Fachliteratur wird sich oft auf die Aroclor-Produkte bezogen. Von den 209 PCB wurden ca. 130 in technischen Mischungen detektiert (Megson et al. 2019 und enthaltene Referenzen). Das bedeutet, dass PCB ähnlich wie PCDD/F nicht als Einzelverbindung sondern immer als Mischung verschiedener Kongenere vorkommen. In den letzten Jahren veröffentlichte Studien zeigen, dass es auch eine Reihe von unabsichtlich produzierten PCB-Kongenere aus Quellen ohne den Einfluss technischer Gemische, den sogenannten Nicht-Aroclor-Quellen, gibt, beispielsweise in Farbpigmenten, Silikonkautschuk, Löschschäumen, Asphalt-Haft- und Trennmitteln oder Herbiziden, welche die (historischen) PCB-Profile in Umweltproben verändern können (Vorkamp 2016, Herkert et al. 2018, Megson et al. 2019).

Abbildung 2: Allgemeine Strukturformeln für polychlorierte Biphenyle mit Lokanten



Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Im Gegensatz zu PCDD/F wurden PCB von den 1930er Jahren bis in die 1980er Jahre gezielt hergestellt. Ihren Einsatz fanden sie z.B. als flammhemmende Flüssigkeit in Transformatoren, elektrischen Kondensatoren oder Motoren. Sie wurden als Hydraulikflüssigkeit, Wärmetransferflüssigkeit verwendet oder als Weichmacher in Produkte und Material (Farben, Papier, Dichtungsmassen, etc.) inkorporiert (Erickson and Kaley 2011, UBA 2020). PCB wurden als technische Gemische unterschiedlicher Chlorierungsgrade hergestellt und vermarktet. Bekannte Beispiele sind die Produktreihen Aroclor (Monsanto Industrial Chemicals Company, USA) oder Chlophen (Bayer, Deutschland). In der Fachliteratur wird sich oft auf die Aroclor-Produkte bezogen. Von den 209 PCB wurden ca. 130 in technischen Mischungen detektiert (Megson et al. 2019 und enthaltene Referenzen). Das bedeutet, dass PCB ähnlich wie PCDD/F nicht als Einzelverbindung sondern immer als Mischung verschiedener Kongenere vorkommen. In den letzten Jahren veröffentlichte Studien zeigen, dass es auch eine Reihe von unabsichtlich produzierten PCB-Kongenere aus Quellen ohne den Einfluss technischer Gemische, den sogenannten Nicht-Aroclor-Quellen, gibt, beispielsweise in Farbpigmenten, Silikonkautschuk,

Löschschäumen, Asphalt-Haft- und Trennmitteln oder Herbiziden, welche die (historischen) PCB-Profile in Umweltproben verändern können (Vorkamp 2016, Herkert et al. 2018, Megson et al. 2019).

Neben der präzisen IUPAC-Nomenklatur wird für die PCB gewöhnlich ein Nummerierungssystem von Ballschmiter und Zell (1980, korrigiert Ballschmiter et al. 1992) verwendet. Diese Nummerierung wird auch in dem vorliegenden Bericht verwendet. Da der Aufwand für die Bestimmung von allen 209 PCB in einer großen Anzahl von Proben sehr aufwändig ist (VDI 2446 Bl. 1, 2009-09), wird in der Regel nur eine Auswahl selektierter PCB analytisch bestimmt. Diese orientiert sich zum einen an den toxikologischen Eigenschaften der PCB. Für PCB mit mindestens vier Chloratomen und mit keinen Chloratomen in der ortho-Stellung (PCB 77, PCB 81, PCB 126, PCB 169; Anhang A1) wird eine planare räumliche Molekülstruktur angenommen, die eine Bindung an den Ah-Rezeptor ermöglicht (Erickson and Kaley 2011). Diese PCB werden häufig auch als coplanare non-ortho-PCB bezeichnet. PCB mit mindestens vier Chloratomen in 3, 3', 4, 4', 5 oder 5'-Stellung (PCB 105, PCB 114, PCB 118, PCB 123, PCB 156, PCB 157, PCB 167, PCB 189; Anhang A1) werden als mono-ortho-PCB bezeichnet. Sie binden schwach an den Ah-Rezeptor (Erickson and Kaley 2011). Die 12 non-ortho- und mono-ortho-PCB zeigen somit eine dioxinähnliche Wirkung und werden deshalb dioxinähnliche PCB (dioxin-like PCB; dl-PCB) genannt. Ihnen wurde durch die Weltgesundheitsorganisation (WHO) Toxizitätsäquivalenzfaktoren zugeordnet, um ihr Bindungspotential an den Ah-Rezeptor im Vergleich zum 2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin zu charakterisieren. Die WHO-Bewertung wurde im Jahr 2005 aktualisiert, weshalb in Studien zwischen WHO₁₉₉₈- und WHO₂₀₀₅-TEQ-Werten unterschieden wird (Van den Berg et al. 2006). Zum anderen orientiert sich die Auswahl der zu analysierenden Kongenere an wichtigen Verbindungen in technischen Gemischen. Hier werden in der Regel sechs PCB-Kongenere (PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 138, PCB 153, PCB 180; Anhang A1), die sogenannten Indikator-PCB (i-PCB) oder Marker-PCB, bestimmt. Zum Teil ist diese Liste um ein siebtes PCB, PCB 118, erweitert.

Um den Gesamtgehalt der PCB in festen und flüssigen Abfällen abschätzen zu können, wird basierend auf einem Vorschlag der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) üblicherweise die Summe der 6 i-PCB mit dem Faktor 5 multipliziert (LAGA 1995). Dies entspricht einem Anteil der i-PCB an der Summe aller PCB von 20 %. Diese Vorgehensweise wird häufig auf Umweltmatrices, unter anderem auf Luft- und Depositionsproben übertragen (LANUV 2020, LANUV 2020). In Luftproben kann dieser Schätzwert mit einem erheblichen Fehler verbunden sein, da die leichter flüchtigen niederchlorierten PCB gegenüber schwerer flüchtigen höherchlorierten PCB in der Luft in viel größeren Mengen vorkommen können (VDI 2464 Bl. 1 2009-09). Zudem geht dadurch ein Informationsverlust einher, da andere bedeutende PCB z.B. aus Nicht-Aroclor-Quellen übersehen werden können. Dies zeigt sich auch anhand von Daten von Außenluft- und Depositionsproben in Nordrhein-Westfalen, bei denen das Produkt der i-PCB*5 und der Summe Tri- bis Decachlorbiphenyle (d.h. ohne die Berücksichtigung von Mono- und Dichlorbiphenyle) für Deposition deutlich, für Außenluftkonzentrationen mäßig voneinander abweichen (LANUV 2020, LANUV 2020).

PCB besitzen ein ähnliches Umweltverhalten wie PCDD/F, sind bei gleichem Chlorierungsgrad aber etwas flüchtiger (Landesamt für Umwelt Bayern 2018). Auch PCB können sich in Lebewesen und in der Umwelt anreichern und werden in Verbindung mit einer Reihe von unerwünschten gesundheitsrelevanten Wirkungen gebracht. Dazu zählen neben der Karzinogenität auch neurotoxische, immunsuppressive oder reproduktionstoxische Effekte (Vorkamp 2016). PCB sind weltweit in allen Umweltmatrices verbreitet und in der Stockholm-Konvention als persistente organische Schadstoffe klassifiziert (UNEP 2019).

Viele Studien beschreiben für verschiedenste Regionen der Erde sinkende atmosphärische PCDD/F- oder PCB-Belastungen seit den 1990er Jahren (z.B. Bruckmann et al. 2013, Coutinho et al. 2015, Graf et al. 2016, Quass et al. 2016, Shunthirasingham et al. 2016, Parera et al. 2018, Kirchner et al. 2020). Für Deutschland wurden auf der Grundlage der von Bund und Ländern verfügbaren Daten von Quass et al. (2016) die Langzeittrends von PCDD/F und PCB in der Außenluft und Deposition zusammengefasst: Für die PCDD/F-Außenluftkonzentrationen und -Depositionen „ist zwischen den Jahren 1990 und 2000 für alle [...] Messorte mit Langzeit-Messprogrammen ein deutlicher Rückgang zu verzeichnen, der sich in den Folgejahren in abgeschwächter Form fortsetzt. Dieser Trend ist bei den Außenluftkonzentrationen meist deutlicher ausgeprägt als bei den Depositionen.“ Danach ist bis auf wenige Ausnahmen eine Stagnation der Belastungen erkennbar. Der zeitliche Verlauf der Gesamt-PCB-Konzentration zeigt einen „deutlichen Rückgang in der Dekade bis zum Jahr 2000, der sich danach an ländlichen Messorten weiter fortsetzt, während sich für städtische Messorte ein insignifikanter Trend ergibt“. Danach erfolgt eine indifferente Entwicklung. Auch in der Deposition ergeben sich für städtische Messorte deutlich fallende Belastungen in den 1990er Jahren mit einer Stagnation ab 2001.

Aus den vorhandenen Messdaten in Deutschland der Jahre 2005 bis 2013 wurden von Quass et al. (2016) typische PCDD/F- und PCB-Belastungen für den ländlichen und städtischen Raum abgeleitet. Diese liegen für PCDD/F in der Außenluft und der Deposition zwischen ca. 5 und 25 fg WHO₂₀₀₅ TEQ/m³ bzw. 0,65 bis 1,6 pg WHO₂₀₀₅ TEQ/m²d an Standorten in quellferner Lage und zwischen 12 und 16 fg WHO₂₀₀₅ TEQ/m³ bzw. 0,75 und 4 pg WHO₂₀₀₅ TEQ/m²d an Standorten im städtischen Bereich. Für die dl-PCB wurden Werte von 1,5 bis 2,1 fg WHO₂₀₀₅ TEQ/m³ bzw. 0,27 bis 0,57 pg WHO₂₀₀₅ TEQ/m²d im ländlichen Raum und 5,4 bis 6,5 fg WHO₂₀₀₅ TEQ/m³ bzw. 0,3 bis 2,6 pg WHO₂₀₀₅ TEQ/m²d für (vor-)städtische Messorte angegeben (Tabelle 1). Quass et al. (2016) folgerte daraus, dass lokale PCDD/F-Quellen im städtischen Umfeld primär durch Emissionen wirken, die nicht nachweisbar zu erhöhten Außenluftwerten sondern lediglich zu erhöhten Depositionswerten führen und somit vermutlich vor allem durch Grobstaub emittierende Prozesse (z.B. Materialumschlag, Aufwirbelung) verursacht werden.

Tabelle 1: Typische PCDD/F- und PCB-Belastungen für den ländlichen und städtischen Raum

Parameter	ländliche Standorte	städtische Standorte
PCDD/F in der Außenluft	5 - 25 fg WHO ₂₀₀₅ TEQ/m ³	12 - 16 fg WHO ₂₀₀₅ TEQ/m ³
PCDD/F in der Deposition	0,65 - 1,6 pg WHO ₂₀₀₅ TEQ/m ² d	0,75 - 4 pg WHO ₂₀₀₅ TEQ/m ² d
dl-PCB in der Außenluft	1,5 - 2,1 fg WHO ₂₀₀₅ TEQ/m ³	5,4 - 6,5 fg WHO ₂₀₀₅ TEQ/m ³
dl-PCB in der Deposition	0,27 - 0,57 pg WHO ₂₀₀₅ TEQ/m ² d	0,3 - 2,6 pg WHO ₂₀₀₅ TEQ/m ² d

Datenquelle: Quass et al. (2016)

Aus der intensiv gesichteten Datenlage zur atmosphärischen Belastung durch PCDD/F und PCB in Deutschland wurden durch Quass et al. (2016) Empfehlungen zur Vorgehensweise bei der Überwachung der PCDD/F und PCB in Immissionen, Depositionen und Emissionen abgeleitet. Diese beinhalten unter anderem die Aufnahme von Messungen zur Bestimmung der aktuellen atmosphärischen Belastung mit PCDD/F und PCB an quellfernen Orten, um den momentan vorhandenen Mangel an aktuellen Messwerten zu decken sowie die Ergänzung des Stoffspektrums um weitere Kongenere oder Substanzen. Dies bildete den Hintergrund zum hier

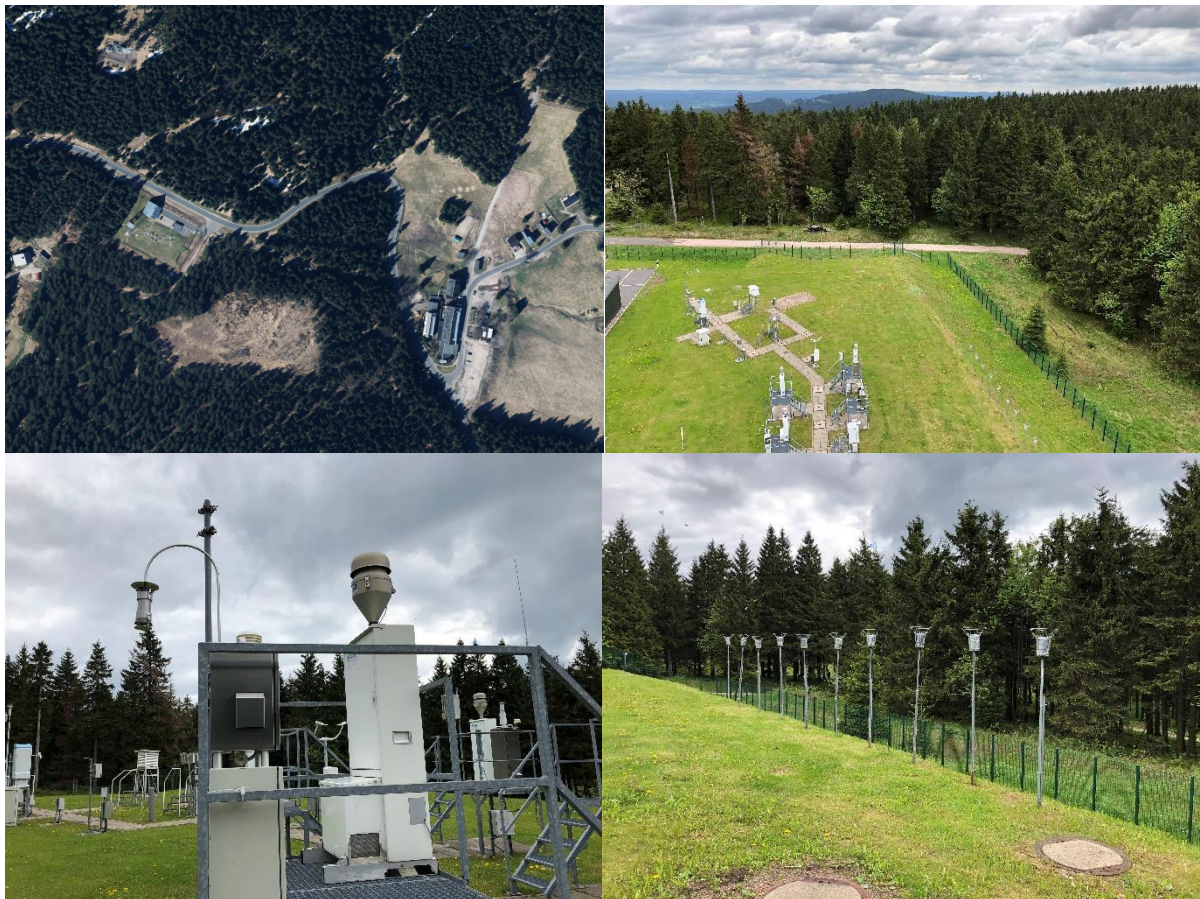
bearbeiteten Vorhaben. Um Informationen über aktuelle Hintergrundwerte für PCDD/F und PCB zu erhalten sollten an zwei Hintergrundmessstellen des Umweltbundesamtes (Waldhof, Schmücke) über einen Zeitraum von 12 Monaten monatlich Außenluft- und Depositionsproben genommen werden. Die Proben sollten auf die 2,3,7,8-substituierten PCDD/F-Kongenere inkl. Homologengruppensummen sowie die 12 WHO PCB, 7 Indikator-PCB und PCB-Homologengruppensummen (Mono bis DecaCB) analysiert werden.

2 Projektdurchführung und experimentelle Methoden

2.1 Auswahl und Beschreibung der Probenahmestandorte

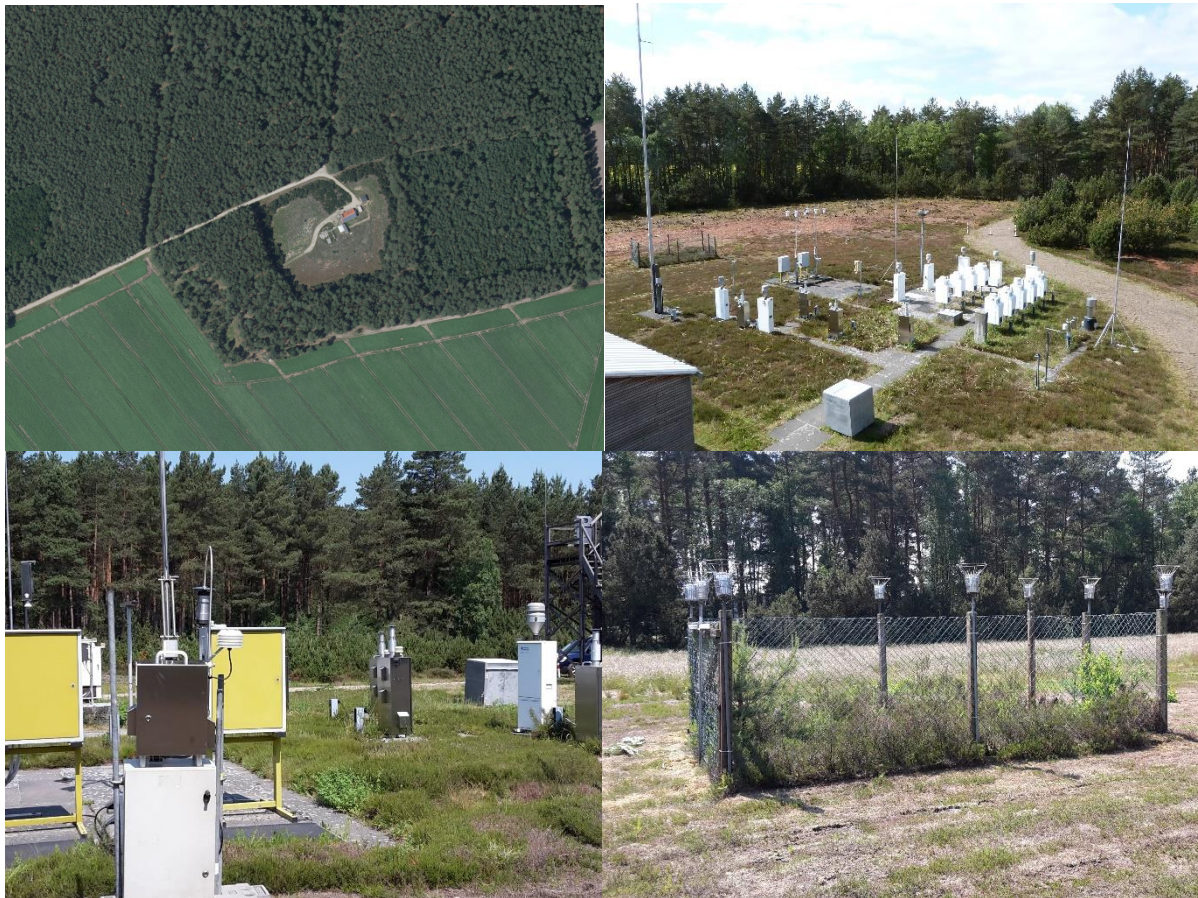
Die Probenahmestandorte wurden über den Auftrag durch das Umweltbundesamt festgelegt und umfassten die UBA-Messstation Schmücke und die UBA-Messstation Waldhof. Die Messstation Schmücke liegt im Kammbereich des Thüringer Waldes auf 937 Metern Höhe über Normal-Null, etwa 7 km nordöstlich der Stadt Suhl. Die Messstation Waldhof liegt im Osten der Lüneburger Heide auf ca. 74 m Höhe über Normal-Null in ca. 3 km Entfernung zum Ort Langenbrügge. Die Abbildungen 3 und 4 geben einen Eindruck über die UBA-Messstationen sowie die Depositions- und Luftprobenahme zur Bestimmung von PCDD/F und PCB. Die Messstationen sind im Detail in einem Bericht zu einem Vorhaben des Umweltbundesamtes zur Beurteilung der Repräsentativität der Luftmessstationen charakterisiert (Pfeiffer and Baumbach 2008).

Abbildung 3: Fotos der UBA-Messstation Schmücke und der dort installierten Probenahmegeräte zur Bestimmung von PCDD/F und PCB in Außenluft und Deposition



Quelle des digitalen Orthophotos: BKG/Geobasis-DE (2020). Quelle der Fotos der Messgeräte: Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 4: Fotos der UBA-Messstation Waldhof und der dort installierten Probenahmegeräte zur Bestimmung von PCDD/F und PCB in Außenluft und Deposition



Quelle des digitalen Orthophotos: BKG/Geobasis-DE (2020). Quelle der Fotos der Messgeräte: Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co und Umweltbundesamt.

2.2 Auswahl der Zielsubstanzen

Die Auswahl der Zielparameter wurde über den Auftrag durch das Umweltbundesamt festgelegt und umfasst wie nachfolgend aufgelistet die 2,3,7,8-substituierten PCDD/F-Kongenere, PCDD/F-Homologengruppen-summen (Tetra-PCDD/F bis Hepta-PCDD/F) sowie die 12 WHO-PCB, 6 i-PCB und die PCB Homologengruppensummen (MonoCB bis DecaCB) in der Außenluft und in der Deposition. Für die Homologengruppensummen der PCDD/F werden jeweils Tetrachlor- bis Octachlor-PCDD/F ausgewiesen und diskutiert. Da es sich bei den Octachlorverbindungen aber nur um je ein 1 Dioxin (OcD) und ein Furan (OcF) handelt, welches im Umfang der 17 PCDD/F-Einzelkongenere enthalten ist, werden im Sinne der instrumentellen PCDD/F-Analytik nur die Homologengruppensummen der Tetrachlor- bis Heptachlor-PCDD/F bestimmt.

Zielparameter:

2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin (TeD1)	2,4,4'-Trichlorbiphenyl (PCB 28)
1,2,3,7,8-Pentachlordibenzodioxin (PeD1)	2,2',5,5'-Tetrachlorbiphenyl (PCB 52)
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzodioxin (HxD1)	3,3',4,4'-Tetrachlorbiphenyl (PCB 77)
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzodioxin (HxD2)	3,4,4',5-Tetrachlorbiphenyl (PCB 81)
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzodioxin (HxD3)	2,2',4,4',5-Pentachlorbiphenyl (PCB 101)
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzodioxin (HpD1)	2,3,3',4,4'-Pentachlorbiphenyl (PCB 105)
Octachlordibenzodioxin (OcD)	2,3,4,4',5-Pentachlorbiphenyl (PCB 114)

2,3,7,8-Tetrachlordibenzofuran (TeF1)	2,3',4,4',5-Pentachlorbiphenyl (PCB 118)
1,2,3,7,8-Pentachlordibenzofuran (PeF1)	2',3,4,4',5-Pentachlorbiphenyl (PCB 123)
2,3,4,7,8-Pentachlordibenzofuran (PeF2)	3,3',4,4',5-Pentachlorbiphenyl (PCB 126)
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzofuran (HxF1)	2,2',3,4,4',5'-Hexachlorbiphenyl (PCB 138)
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzofuran (HxF2)	2,2',4,4',5,5'-Hexachlorbiphenyl (PCB 153)
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzofuran (HxF3)	2,3,3',4,4',5-Hexachlorbiphenyl (PCB 156)
2,3,4,6,7,8-Hexachlordibenzofuran (HxF4)	2,3,3',4,4',5'-Hexachlorbiphenyl (PCB 157)
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzofuran (HpF1)	2,3',4,4',5,5'-Hexachlorbiphenyl (PCB 167)
1,2,3,4,7,8,9-Heptachlordibenzofuran (HpF2)	3,3',4,4',5,5'-Hexachlorbiphenyl (PCB 169)
Octachlordibenzofuran (OcF)	2,2',3,4,4',5,5'-Heptachlorbiphenyl (PCB 180)
Summe Tetrachlordibenzodioxine (S TeD)	2,3,3',4,4',5,5'-Heptachlorbiphenyl (PCB 189)
Summe Pentachlordibenzodioxine (S PeD)	Summe Monochlorbiphenyle (S MoCB)
Summe Hexachlordibenzodioxine (S HxD)	Summe Dichlorbiphenyle (S DiCB)
Summe Heptachlordibenzodioxine (S HpD)	Summe Trichlorbiphenyle (S TriCB)
Summe Tetrachlordibenzofurane (S TeF)	Summe Tetrachlorbiphenyle (S TeCB)
Summe Pentachlordibenzofurane (S PeF)	Summe Pentachlorbiphenyle (S PeCB)
Summe Hexachlordibenzofurane (S HxF)	Summe Hexachlorbiphenyle (S HxCB)
Summe Heptachlordibenzofurane (S HpF)	Summe Heptachlorbiphenyle (S HpCB)
Summe Tetra- bis Octachlordibenzodioxine (PCDD)	Summe Octachlorbiphenyle (S OcCB)
Summe Tetra- bis Octachlordibenzofurane (PCDF)	Summe Nonachlorbiphenyle (S NoCB)
Summe Tetra- bis Octachlordibenzodioxine/-furane (PCDD/F)	Decachlorbiphenyl (DecCB)

2.3 Untersuchungszeitraum

2.3.1 Messzeitraum

Der Messzeitraum oder Untersuchungszeitraum wurde über den Auftrag durch das Umweltbundesamt festgelegt und umfasst einen Zeitraum von 12 Monaten. Ende Mai 2018 wurden die Geräte an den UBA-Messstationen installiert. Die Probenahme an der Messstation Schmücke wurde am 31.05.2018 gestartet und am 31.05.2019 beendet. Die Probenahme an der Messstation Waldhof wurde am 29.05.2018 gestartet. Die Probenahme für die Außenluftuntersuchungen wurde am 29.05.2019 beendet. Bei der Deposition gab es für die Dezemberprobe 2018 einen Totalausfall im Labor bei der Analytik auf PCDD/F. Die Depositionsprobenahme an der Station Waldhof wurde daher um einen Monat bis zum 01.07.2019 verlängert.

Besondere Vorkommnisse im Messzeitraum:

- ▶ Deposition Waldhof Dezember 2018: Totalausfall PCDD/F Analytik; die Depositionsprobenahme wurde um einen Monat verlängert
- ▶ Deposition Schmücke Februar 2019: Monochlorbiphenyle nicht analysierbar
- ▶ Deposition Waldhof und Schmücke Dezember 2018 bis Mai 2019: Monochlorbiphenyle nur mit deutlich erhöhten Bestimmungsgrenzen analysierbar

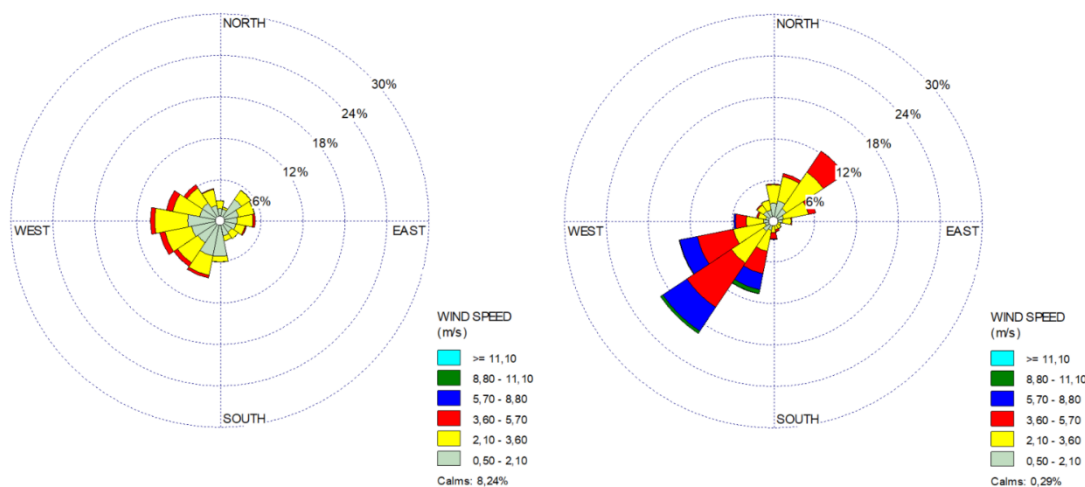
- ▶ Außenluft Waldhof Dezember 2018: einige, v.a. niederchlorierte PCB (Mono- bis Trichlorbiphenyle) nicht analysierbar, DIN und dl-PCB waren nicht betroffen, jedoch deutlicher Einfluss auf die Bildung der jeweiligen Homologengruppensummen
- ▶ Außenluft Schmücke Dezember 2018, Februar 2019: einige, v.a. niederchlorierte PCB (Mono- bis Trichlorbiphenyle) nicht analysierbar, DIN und dl-PCB waren nicht betroffen, jedoch deutlicher Einfluss auf die Bildung der jeweiligen Homologengruppensummen
- ▶ Außenluft Schmücke Februar 2019: Matrixbedingte Probleme in der Analytik; einige, v.a. niederchlorierte PCB (Mono- bis Trichlorbiphenyle) nicht analysierbar, DIN und dl-PCB nicht betroffen, deutlicher Einfluss auf jeweilige Homologengruppensummen
- ▶ Aufgrund der Trockenheit waren die Jahre 2018 und 2019 durch eine stark erhöhte Inzidenz an Waldbränden mit großen Schadensflächen gekennzeichnet. Für den Messzeitraum betraf dies vor allem die Sommermonate 2018 (BLE 2019, BLE 2020)

2.3.2 Meteorologische Bedingungen während der Probenahme

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) beschreibt das Jahr 2018 als das wärmste und sonnigste Jahr seit Beginn regelmäßiger Aufzeichnungen. Es gehörte zu den niederschlagsärmsten Jahren seit 1881. Von April bis November verliefen alle Monate ausnahmslos zu warm, zu trocken und sonnenscheinreich, erst im Dezember ging die Dürre mit ergiebigen Niederschlägen zu Ende (DWD 2018). 2019 begann mit einem niederschlagsreichen Januar, der durch erhebliche Schneemassen im Nordstau der Berge gekennzeichnet war. Es folgte ein milder und frühlingshafter Februar. Nach einer sturmreichen Phase im März war der April trocken und häufig sehr warm im Gegensatz zum sehr kühlen und nassen Mai (DWD 2019).

Die über den Untersuchungszeitraum Juni 2018 bis Mai 2019 gemittelten Werte wesentlicher meteorologischer Parameter an den UBA-Messstationen Waldhof und Schmücke sind in der Tabelle 2 und in Abbildung 5 dargestellt. Die Monatswerte sind im Anhang A4 aufgeführt.

Abbildung 5: Windverhältnisse im Untersuchungszeitraum Juni 2018 bis Mai 2019 an den Messstellen Waldhof (links) und Schmücke (rechts)



Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co. Datenquelle: elektronische Datenübermittlung Umweltbundesamt vom 05.05.2020 und 06.05.2020 (UBA 2020). Auswertung der Winddaten mittels WRPLOT View™ (Lakes Environmental 2020)

Tabelle 2: Meteorologische Bedingungen im Untersuchungszeitraum Juni 2018 bis Mai 2019 (12-Monats-Mittel)

Parameter*	Waldhof	Schmücke
Mittelwert Temperatur (°C)	11	7
Summe Niederschlag (mm)	390	1 242
Mittelwert Luftdruck (hPa)	1 006	908
Mittelwert Luftfeuchte (%)	77	83

* Datenquelle: elektronische Datenübermittlung Umweltbundesamt vom 05.05.2020 und 12.06.2020 (UBA 2020)

2.4 Messzeiten und Messhäufigkeiten

Es sollte eine zeitlich fortlaufende Messung der Zielparameter für den oben beschriebenen Messzeitraum durchgeführt werden. Die Messzeiten und Messhäufigkeiten wurden abhängig von den verwendeten Verfahren festgelegt. Die Ermittlung von PCDD/F und PCB in der Außenluft geschieht mittels diskontinuierlich arbeitender Kleinfiltergeräte (Low-Volume-Probenahmegeräte) über jeweils ca. einen Monat. Im Untersuchungszeitraum wurden somit an jeder UBA-Messstation 12 Monats-Außenluftproben auf PCDD/F untersucht. Die Ermittlung von PCDD/F und PCB in der Deposition geschieht mit diskontinuierlich arbeitenden Gräten nach dem Bergerhoff-Verfahren über jeweils ca. einen Monat. Im Untersuchungszeitraum wurden somit an jeder UBA-Messstation 12 Depositionsproben auf PCDD/F und PCB untersucht. Eine chronologische Auflistung der geplanten Messzeiten ist im Anhang A2 aufgeführt.

2.5 Messverfahren

2.5.1 Außenluft

Die PCDD/F, die PCDD/F-Homologengruppensummen sowie die 12 WHO-PCB, 6 i-PCB und PCB-Homologengruppensummen in der Außenluft der Messstationen wurden mittels aktiver Probenahme über das Verfahren mit kleinem Filter (VDI 3498 Blatt 2 2002-07) mit einem Low-Volume-Probenahmegerät (LVS; Kleinfiltergerät Typ Leckel) erfasst. Dabei wird Außenluft mit Hilfe einer geregelten Pumpe über einen binderfreien Glasfaserfilter und zwei mit Probenahmestandard ($^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,7,8-PentaCDF, $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,7,8,9-HexaCDF, $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF, $^{13}\text{C}_{12}$ -PCB60 $^{13}\text{C}_{12}$ -PCB127, $^{13}\text{C}_{12}$ -PCB159) versetzte Polyurethanschäume gesaugt. Die in der Luft dispergierten Partikel werden auf dem Glasfaserfilter gesammelt, während die filtergängigen Stoffe von den nachgeschalteten Polyurethanschäumen adsorbiert werden. Der Luftdurchsatz der Geräte wurde auf $2,7 \text{ m}^3/\text{h}$ gesetzt, um zu verhindern, dass die Geräte aufgrund der Höhenlage und/oder der Witterung durch Überlast ausfallen. Zusätzlich wurden zur Vermeidung von Geräteüberlast und zur Reduktion von Analytenverlusten durch lange Probenahmezeiten nach ca. 10 bis 15 Tagen Zwischenwechsel der Probenahmemedien während des jeweiligen Monats durchgeführt. Eine Übersicht über die verwendeten Geräte und Materialien ist in Tabelle 3 dargestellt.

Die Bestimmung der PCDD/F und PCB in der Außenluft erfolgte als Monatsmittelwert, d.h. es wurde eine Probe (bestehend aus den jeweiligen Probenahmemedien des Monats) pro Monat und Messpunkt untersucht. Über das Messprogramm wurden somit 12 Proben pro Messpunkt analysiert. Nach der Probenahme wurden die PCDD/F und PCB von den Sammelmedien

extrahiert und in einem mehrstufigen Trennungsprozess von störenden Komponenten gereinigt. Die Quantifizierung der PCDD/F und PCB erfolgte mittels hochauflösender Gaschromatographie und nachgeschalteter hochauflösender Massenspektrometrie (HRGC/HRMS). Dabei wurden für die PCDD/F die 2,3,7,8-substituierten Kongenere sowie die Tetra- bis Heptachlor-PCDD/F-Homologengruppensummen ausgewertet. Bei den PCB wurden alle 209 PCB einzeln bzw. als Coelution von 2 bis 4 Kongeneren (insgesamt 166 gaschromatographische Auftrennungen) ausgewertet und darauf basierend die 6 i-PCB, die 12 dl-PCB und die Mono- bis Decachlorbiphenyl-Homologengruppensummen ausgewiesen.

Tabelle 3: Übersicht über die Geräteparameter zur Bestimmung von PCDD/F und PCB in der Außenluft

	Waldhof	Schmücke
Gerät	Leckel (Nr.: 18/0060)	Leckel (Nr.: 18/0059)
Luftdurchsatz	2,7 m³/h	2,7 m³/h
Ansaughöhe	1,5 m	2,3 m*
Probenahmematerial	1 Glasfaserfilter 47 mm (Whatman), bei 250 °C ausgeheizt 2 PU-Schäume (45 mm x 55 mm), mit Toluol vorgereinigt	1 Glasfaserfilter 47 mm (Whatman), bei 250 °C ausgeheizt 2 PU-Schäume (45 mm x 55 mm), mit Toluol vorgereinigt
Teilproben pro Monat	2	2-3

* Die Probenahmegeräte an der Messstation Schmücke stehen erhöht auf Podesten, um ein Einschneien im Winter zu vermeiden. Daraus resultiert eine höhere Ansaughöhe.

Die Analytik der PCDD/F und aller 209 PCB zur Bildung der PCB-Homologengruppensummen erfolgte aus einem Extrakt ohne Aliquotierung, um möglichst niedrige Bestimmungsgrenzen zu ermöglichen. Dies erforderte eine Analysemethode, die in den Bereichen Extraktaufreinigung und Säulenchromatographie leicht von den Vorschlägen der VDI 3498 Bl. 2 (2002-07), VDI 2464 Bl. 1 (2009-09) und VDI 2664 Bl. 2 (VDI 2009-09) abweicht und deshalb, z.B. aufgrund von Matrixinterferenzen während der Analytik, zu vergleichsweise erhöhten Unsicherheiten (siehe auch Abschnitt 2.3) führen kann. Typische Verfahrenskennzahlen für die Bestimmung von PCDD/F und PCB in Außenluft sind in Tabelle 4 aufgeführt. Die dort aufgeführten erweiterten Messunsicherheiten wurden mit Hilfe der Standardabweichung der massenmarkierten Probenahme Standards abgeschätzt. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Werte die wahren Messunsicherheiten im Bereich der Messwerte unterschätzen.

Tabelle 4: Verfahrenskenndaten zur Bestimmung von PCDD/F und PCB in der Außenluft unter Verwendung des Verfahrens mit kleinem Filter (LVS-Probenahme, HRGC-HRMS Analytik)

Parameter	Bestimmungsgrenze (pg/Probe)*	Bestimmungsgrenze (fg/m³)*	Erweiterte Messunsicherheit (%)**
TeD1	0,1	0,1	65
PeD1	0,1	0,04	65
HxD1	0,1	0,1	75
HxD2	0,1	0,1	75
HxD3	0,1	0,1	75
HpD1	0,2	0,1	85
OcD	0,8	0,4	85
TeF1	0,1	0,1	65
PeF1	0,3	0,1	65
PeF2	0,3	0,2	65
HxF1	0,1	0,1	75
HxF2	0,1	0,1	75
HxF3	0,6	0,3	75
HxF4	0,3	0,2	75
HpF1	0,2	0,1	85
HpF2	1,5	0,8	85
OcF	0,7	0,3	85
S TeD	0,1	0,1	65
S PeD	0,1	0,04	65
S HxD	0,1	0,1	75
S HpD	0,2	0,1	85
S TeF	0,1	0,1	65

Parameter	Bestimmungsgrenze (pg/Probe)*	Bestimmungsgrenze (fg/m³)*	Erweiterte Messunsicherheit (%)**
S PeF	0,3	0,1	65
S HxF	0,1	0,1	75
S HpF	0,2	0,1	85
PCB 28 ^a	73,2	36,6	50
PCB 52 ^{a,c}	89,6	44,8	50
PCB 77 ^b	4,5	2,3	50
PCB 81 ^b	1,6	0,8	50
PCB 101 ^{a,c}	56,7	28,4	85
PCB 105 ^{b,c}	10,6	5,3	85
PCB 114 ^b	1,2	0,6	85
PCB 118 ^{b,c}	13,9	7,0	85
PCB 123 ^b	1,6	0,8	85
PCB 126 ^b	5,7	2,9	85
PCB 138 ^a	30,4	15,2	55
PCB 153 ^{a,c}	27,6	13,8	55
PCB 156 ^b	1,6	0,8	55
PCB 157 ^b	1,5	0,8	55
PCB 167 ^b	1,4	0,7	55
PCB 169 ^b	11,3	5,6	55
PCB 180 ^a	9,8	4,9	55
PCB 189 ^b	3,1	1,5	55
S MoCB	7,2	3,6	55
S DiCB	3,5	1,8	55
S TriCB	3,1	1,6	55

Parameter	Bestimmungsgrenze (pg/Probe)*	Bestimmungsgrenze (fg/m³)*	Erweiterte Messunsicherheit (%)**
S TeCB	0,6	0,3	55
S PeCB	0,3	0,2	55
S HxCB	0,6	0,3	55
S HpCB	1,4	0,7	55
S OcCB	1,0	0,5	55
S NoCB	1,2	0,6	55
DecCB	8,8	4,4	55

* Aus der Bestimmung von n=10 Matrixblindwerten und bezogen auf die gesamte Probe bzw. ein Probenahmenvolumen von 2000 m³

** Für das verwendete Verfahren konnte keine Messunsicherheit des gesamten Verfahrens nach DIN EN ISO 20988 (2007-09) ermittelt werden, da keine Parallelprobenahme durchgeführt wurde. Die erweiterte Messunsicherheit des Verfahrens wurde daher abgeschätzt aus der doppelten Standardabweichung der verwendeten massenmarkierten Probenahmestandards. Für Zielsubstanzen anderer Chlorierungsgrade sowie die Homologengruppensummen wurde der Probenahmestandard zur Abschätzung herangezogen, der den nächstgelegenen Chlorierungsgrad aufweist. Aufgrund dessen sowie aufgrund der vergleichsweise geringen Messwerte der Zielsubstanzen kann davon ausgegangen werden, dass die wahre Messunsicherheit unterschätzt wird.

^a i-PCB ^b WHO-PCB ^c Coelution

2.5.2 Deposition

Die Deposition der 2,3,7,8-substituierten PCDD/F-Kongenere, der PCDD/F-Homologengruppensummen sowie der 12 WHO-PCB, 6 i-PCB und PCB-Homologengruppensummen wurde unter Verwendung des Bergerhoff-Verfahrens monatlich erfasst. Die Probenahme erfolgte nach der VDI 2090 Bl. 1 (2001-01). Pro Messpunkt wurden 10 Glasgefäße parallel exponiert. Eine Übersicht über die verwendeten Geräte und Materialien findet sich in Tabelle 5.

Tabelle 5: Übersicht über die Geräteparameter zur Bestimmung von PCDD/F und PCB in der Deposition

	Waldhof	Schmücke
Gerät	Bergerhoff-Geräte ausgestattet mit Glasgefäßen (mit Aceton gespült und bei 250 °C ausgeheizt)	Bergerhoff-Geräte ausgestattet mit Glasgefäßen (mit Aceton gespült und bei 250 °C ausgeheizt)
Höhe Gefäßrand	1,75-1,95 m	1,8-2,0 m
Teilproben pro Monat	10	10

Die Bestimmung der PCDD/F und PCB erfolgte als Monatsmittelwert, d.h. es wurde eine Probe (bestehend aus den exponierten 10 Glasgefäßen) pro Monat und Messpunkt untersucht. Über das Messprogramm wurden somit 12 Proben pro Messpunkt analysiert. Im Labor wurde die gesamte Sammelphase extrahiert und in einem mehrstufigen Trennungsprozess von störenden

Komponenten gereinigt. Die Quantifizierung der PCDD/F und PCB erfolgte durch HRGC-HRMS. Dabei wurden für die PCDD/F die 2,3,7,8-substituierten Kongenere sowie die Tetra- bis Heptachlor-PCDD/F-Homologengruppensummen ausgewertet. Bei den PCB wurden alle 209 PCB einzeln bzw. als Coelution von 2 bis 4 Kongeneren (insgesamt 166 gaschromatographische Auftrennungen) ausgewertet und darauf basierend die 6 i-PCB, die 12 dl-PCB und die Mono- bis Decachlorbiphenyl-Homologengruppensummen ausgewiesen.

Die Analytik der PCDD/F und aller 209 PCB zur Bildung der PCB-Homologengruppensummen erfolgte aus einem Extrakt ohne Aliquotierung, um möglichst niedrige Bestimmungsgrenzen zu ermöglichen. Dies erfordert eine Analysenmethode, die in den Bereichen Extraktaufreinigung und Säulenchromatographie leicht von den Vorschlägen der VDI 2090 Bl. 1 (2001-01) abweicht und deshalb, z.B. aufgrund von Matrixinterferenzen während der Analytik, zu vergleichsweise erhöhten Unsicherheiten (siehe auch Abschnitt 2.3) führen kann. Typische Verfahrenskennndaten für die Bestimmung von PCDD/F und PCB in der Deposition sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Die dort aufgeführten erweiterten Messunsicherheiten für die 17 PCDD/F, die PCDD/F-Homologengruppensummen sowie für die DIN- und WHO-PCB wurden gemäß Anhang C8 der DIN EN ISO 20988 (2007-09) anhand von 12 Doppelproben für das Verfahren nach VDI 2090 Bl. 1 (2001-01) berechnet. Die erweiterten Messunsicherheiten der PCB Homologengruppensummen wurden darauf basierend abgeschätzt. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Werte die wahren Messunsicherheiten im Bereich der Messwerte unterschätzen.

Tabelle 6: Verfahrenskennndaten zur Bestimmung von PCDD/F und PCB in der Deposition unter Verwendung des Bergerhoff-Verfahrens

Parameter	Bestimmungsgrenze (pg/Probe)*	Bestimmungsgrenze (pg/m²d)*	Erweiterte Messunsicherheit (%)**
TeD1	0,1	0,1	n.q.
PeD1	0,2	0,1	53
HxD1	0,3	0,1	n.q.
HxD2	0,3	0,1	n.q.
HxD3	0,2	0,1	n.q.
HpD1	1,6	0,8	34
OcD	5,0	2,6	42
TeF1	0,2	0,1	55
PeF1	0,2	0,1	43
PeF2	0,2	0,1	60
HxF1	0,4	0,2	57
HxF2	0,1	0,1	67

Parameter	Bestimmungsgrenze (pg/Probe)*	Bestimmungsgrenze (pg/m ² d)*	Erweiterte Messunsicherheit (%)**
HxF3	0,2	0,1	n.q.
HxF4	0,1	0,1	69
HpF1	0,3	0,2	75
HpF2	0,6	0,3	60
OcF	0,5	0,3	51
S TeD	0,1	0,1	51
S PeD	0,2	0,1	52
S HxD	0,2	0,1	53
S HpD	1,6	0,8	29
S TeF	0,2	0,1	65
S PeF	0,2	0,1	52
S HxF	0,1	0,1	66
S HpF	0,3	0,2	74
PCB 28 ^a	490,1	254,2	24
PCB 52 ^{a,c}	303,3	157,3	40
PCB 77 ^b	16,6	8,6	45
PCB 81 ^b	1,9	1,0	54
PCB 101 ^{a,c}	268,7	139,3	26
PCB 105 ^{b,c}	32,6	16,9	21
PCB 114 ^b	1,6	0,8	75
PCB 118 ^{b,c}	74,4	38,6	27
PCB 123 ^b	1,9	1,0	67
PCB 126 ^b	2,4	1,2	39
PCB 138 ^a	146,3	75,9	84

Parameter	Bestimmungsgrenze (pg/Probe)*	Bestimmungsgrenze (pg/m ² d)*	Erweiterte Messunsicherheit (%)**
PCB 153 ^{a,c}	200,8	104,1	100
PCB 156 ^b	11,7	6,1	72
PCB 157 ^b	3,1	1,6	73
PCB 167 ^b	6,4	3,3	122
PCB 169 ^b	6,4	3,3	n.q.
PCB 180 ^a	62,5	32,4	65
PCB 189 ^b	2,3	1,2	33
S MoCB	5,4	2,8	50
S DiCB	1,9	1,0	50
S TriCB	3,5	1,8	50
S TeCB	0,5	0,3	90
S PeCB	0,8	0,4	85
S HxCB	0,9	0,5	180
S HpCB	0,7	0,3	100
S OcCB	0,8	0,4	100
S NoCB	1,9	1,0	100
DecCB	1,8	0,9	100

* Aus der Bestimmung von n=10 Matrixblindwerten und bezogen auf die gesamte Probe bzw. auf eine Fläche von 10 exponierten Gefäßen und eine Probenahmedauer von 31 Tagen

** Für das verwendete Verfahren konnte keine Messunsicherheit des gesamten Verfahrens ermittelt werden. Die angegebenen Messunsicherheiten beziehen sich auf das Verfahren nach VDI 2090 Bl. 1 (2001-01 und wurden nach DIN EN ISO 20988 (2007-09) für die PCDD/F, PCDD/F-Homologengruppensummen, i-PCB und WHO-PCB berechnet. Die Messunsicherheiten der PCB Homologengruppensummen wurden aus den erweiterten Messunsicherheiten der PCB Kongenere gleichen Chlorierungsgrades abgeschätzt.

^a i-PCB ^b WHO-PCB ^c Coelution n.q.: nicht quantifiziert

2.6 Datenverarbeitung

2.6.1 Berechnung von TEQ-Werten

Zur toxikologischen Bewertung der PCDD/F und PCB wurden die jeweiligen Toxizitätsäquivalente (TEQ) anhand der Toxizitätsäquivalenzfaktoren (TEF) nach WHO 2005 ermittelt (Van den Berg et al. 2006). Der TEQ-Wert einer Probe errechnet sich, indem die jeweiligen PCDD/F- bzw. PCB-Kongenerenmassen mit den zugeordneten Toxizitätsäquivalenzfaktoren multipliziert und die so erhaltenen Produkte addiert werden. Die Angabe der TEQ erfolgt unter Berücksichtigung der Kongenere unterhalb der Bestimmungsgrenze: inklusive voller Bestimmungsgrenze (d.h. mit dem Zahlenwert der Bestimmungsgrenze; inkl. BG), inklusive halber Bestimmungsgrenze (d.h. mit dem halben Zahlenwert der Bestimmungsgrenze; inkl. 1/2 BG) sowie exklusive Bestimmungsgrenze (d.h. mit dem Wert 0; exkl. BG).

2.6.2 Berechnung der Außenluftkonzentrationen

Unter Berücksichtigung des Probenahmevolumens erfolgt die Berechnung der Ergebnisse für alle Parameter nach der Gleichung

$$C_i = \frac{m_i}{V}$$

Dabei bedeuten:

- C_i Massenkonzentration des i-ten PCDD/F- bzw. PCB-Einzelkongeners i bzw. des TEQ-Wertes bezogen auf das ermittelte Probenahmevolumen (in fg/m³)
- m_i Masse des i-ten PCDD/F- bzw. PCB-Einzelkongeners bzw. des TEQ-Wertes in der Gesamtprobe (in fg)
- V Probenahmevolumen (in m³)

2.6.3 Berechnung der Depositionsraten

Unter Berücksichtigung des Sammelquerschnitts (Summe der Öffnungsflächen von allen zu einer Sammelprobe gehörenden Bergerhoff-Gefäße) und der Anzahl der Probenahmetage erfolgt die Berechnung der Ergebnisse für alle Parameter nach der Gleichung

$$R_{d,i} = \frac{m_i}{F \cdot d}$$

Dabei bedeuten:

- $R_{d,i}$ Depositionsrates des i-ten PCDD/F- bzw. PCB-Einzelkongeners i bzw. des TEQ-Wertes bezogen auf die Probenahmefläche und auf die Anzahl der Probenahmetage (in pg/m²d)
- m_i Masse des i-ten PCDD/F- bzw. PCB-Einzelkongeners bzw. des TEQ-Wertes in der Gesamtprobe (in pg)
- F Öffnungsfläche von allen zu einer Sammelprobe gehörenden Sammelgefäßen (in m²)
- d Anzahl der Probenahmetage

2.6.4 Behandlung von Messwerten unterhalb der Bestimmungsgrenze

Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze werden in Tabellen als „< Wert Bestimmungsgrenze“ angegeben.

Bei Außenluftproben gehen Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze mit der Hälfte der Bestimmungsgrenze in die weiteren Berechnungen (z.B. Jahresmittelwertbildung) ein. Liegt das Ergebnis dieser weiteren Berechnungen unterhalb der Bestimmungsgrenze, so erfolgt die Ergebnisangabe als „< Zahlenwert Bestimmungsgrenze“ (Tabelle 4). Die Angabe der Belastung als Toxizitätsäquivalent erfolgt als TEQ inklusive voller, inklusive halber und exklusive Bestimmungsgrenze.

Bei Depositionsproben gehen Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze mit der Hälfte der Bestimmungsgrenze in die weiteren Berechnungen (z.B. Jahresmittelwertbildung) ein. Liegt das Ergebnis dieser weiteren Berechnungen unterhalb der Bestimmungsgrenze, so erfolgt die Ergebnisangabe als „< Zahlenwert Bestimmungsgrenze“ (Tabelle 6). Die Angabe der Belastung als Toxizitätsäquivalent erfolgt als TEQ inklusive voller, inklusive halber und exklusive Bestimmungsgrenze. In Depositionsproben konnten PCDD/F und PCB nur selten bestimmt werden. Die graphische Darstellung mit Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze führt teilweise zu starken Verzerrungen in den Diagrammen. Um Missinterpretationen vorzubeugen gehen daher in die graphischen Darstellungen Depositionsraten von Verbindungen mit Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze mit dem Wert 0 ein. Graphische Darstellungen der TEQ-Depositionsraten sind aus diesem Grund ebenfalls ohne Berücksichtigung der Bestimmungsgrenzen ausgewiesen.

2.6.5 Messwertverarbeitung

Messausfälle für einzelne Verbindungen wurden als Datenlücken gewertet. Sie wurden nicht durch Schätzwerte ersetzt. Sofern Ausreißer festgestellt wurden, wurden diese kenntlich gemacht und beschrieben, ob und wie diese in weitere Berechnungen Eingang finden.

Für die Mittelwertbildungen der PCB-Homologengruppensummen wurden die Außenluftproben Waldhof Dezember 2018, Schmücke Dezember 2018 und Schmücke Februar 2019 aufgrund der analytischen Störungen einiger, vor allem niederchlorierten Verbindungen nicht berücksichtigt. In den Mittelwertbildungen für einzelne i-PCB oder dl-PCB sind sie enthalten, da diese PCB von den analytischen Störungen nicht betroffen waren. In der Darstellung von Monatswerten (Ergebnisse der Einzelproben) sind die Proben mit Verweis auf die analytischen Störungen nicht ausgenommen.

Im Fall des kompletten Probenverlustes der Waldhof-PCDD/F-Depositionsprobe im Dezember 2018 wurde die Probenahme um einen Monat verlängert, so dass für die deskriptive statistische Auswertung Werte aus 12 Monaten zur Verfügung stehen. Das bedeutet, dass die Mittelwertbildung für die PCDD/F in der Deposition an der Messstation Waldhof die Monate Juni 2018 bis November 2018 und Januar 2019 bis Juni 2019 umfasst während die Mittelwertbildung für die PCB den Messzeitraum Juni 2018 bis Mai 2019 umfasst.

In komplexen graphischen Darstellungen mit mehreren analytischen Parametern und Proben wurden die Chlorierungsgrade substanzgruppenübergreifend in ähnlichen Farbtönen dargestellt.

2.7 Qualitätssicherung

Die Probenahmemedien und -gefäße sowie das Laborequipment wurden vor der Verwendung intensiv gereinigt. Die eingesetzten Probenahmegeräte wurden vor und nach ihrer Verwendung für das Messprogramm geprüft. Das gaschromatographische System wurde regelmäßig auf die erforderliche Trennleistung überprüft. Das Massenspektrometer wurde regelmäßig auf die erforderliche Auflösung geprüft. Während des Messprogramms wurden in regelmäßigen Abständen Blindwerte untersucht, um die Qualität der Verfahren zu überprüfen und zu

gewährleisten. Für die Untersuchungen wurden ^{13}C -markierte PCDD/F und PCB als Probenahme- (nur bei der Außenluftprobenahme), Extraktions- und Injektionsstandards eingesetzt. Die mittleren Wiederfindungsraten für die massenmarkierten PCDD/F- und PCB-Probenahmestandards lagen zwischen 74 % ($^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF) und 88 % ($^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,7,8-PentaCDF). Die mittleren Wiederfindungsraten für die Extraktionsstandards in Außenluftproben lagen zwischen 63 % ($^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,7,8-TetraCDD) und 92 % ($^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,6,7,8-HexaCDF) bzw. zwischen 32 % ($^{13}\text{C}_{12}$ -PCB 209) und 118 % ($^{13}\text{C}_{12}$ -PCB 28). Die mittleren Wiederfindungsraten für die Extraktionsstandards in Depositionsproben lagen zwischen 62 % ($^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF) und 92 % ($^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF) bzw. zwischen 45 % ($^{13}\text{C}_{12}$ -PCB 209) und 87 % ($^{13}\text{C}_{12}$ -PCB 28). Die mittleren Wiederfindungsraten aller verwendeten massenmarkierten Standards sind im Anhang aufgeführt. Alle Ergebnisse wurden auf Plausibilität geprüft.

Die ANECO Institut für Umweltschutz GmbH & Co ist u.a. ein für die Ermittlung von Immissionen gemäß §29b BImSchG bekanntgegebenes Messinstitut mit langjähriger Erfahrung in der Durchführung von Immissionsmessprogrammen mit den hier angebotenen Parametern. Die ANECO Institut für Umweltschutz GmbH & Co betreibt ein Qualitätsmanagementsystem und ist akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17025 (2018-03) für eine Vielzahl von Prüfverfahren. Die Urkunde bescheinigt auch die erfolgreiche Prüfung der Kompetenz nach dem „Modul Immissionsschutz“.

Die Durchführung der Analyse der PCDD/F und der PCB erfolgte durch die Eurofins GfA Lab Service GmbH, welche hierfür gemäß DIN EN ISO/IEC 17025 (2018-03) akkreditiert und als Messstelle nach § 29b BImSchG bekanntgegeben ist.

3 Ergebnisse

3.1 Außenluft

3.1.1 TEQ-Werte für PCDD/F und PCB in der Außenluft

Alle ermittelten Einzelwerte sind in Anhang A5 zu finden. Tabelle 7 zeigt die über den zwölfmonatigen Untersuchungszeitraum Juni 2018 bis Mai 2019 gemittelten TEQ-Konzentrationen nach WHO 2005 (Van den Berg et al. 2006) für PCDD/F und PCB in der Außenluft an den UBA-Hintergrundmessstationen Waldhof und Schmücke. Die Jahresmittelwerte der TEQ-Konzentrationen lagen unter 5 fg WHO₂₀₀₅-TEQ/m³. Mit einem Anteil von maximal 3 % sind die ermittelten Werte wie erwartet deutlich geringer als der Zielwert für die langfristige Luftreinhalteplanung von 150 fg WHO-TEQ/m³ für die Summe der PCDD/F und coplanaren PCB (LAI 2004). In Abhängigkeit der Einbeziehung der Bestimmungsgrenze erreichen die PCB-TEQ-Werte zwischen 7 und 26 % der PCDD/F-TEQ Werte.

Tabelle 7: Mittlere TEQ-Außenluftkonzentrationen der PCDD/F und PCB nach WHO 2005 (fg TEQ/m³)

	Waldhof (fg TEQ/m ³)	Schmücke (fg TEQ/m ³)
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F-TEQ exkl. BG	3,4	2,0
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F-TEQ inkl. 1/2 BG	3,5	2,1
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F-TEQ inkl. BG	3,6	2,1
WHO ₂₀₀₅ -PCB-TEQ exkl. BG	0,3	0,1
WHO ₂₀₀₅ -PCB-TEQ inkl. 1/2 BG	0,5	0,3
WHO ₂₀₀₅ -PCB-TEQ inkl. BG	0,6	0,5
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB-TEQ exkl. BG	3,7	2,1
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB-TEQ inkl. 1/2 BG	3,9	2,4
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB-TEQ inkl. BG	4,1	2,6

Die Jahresmittelwerte der TEQ-Konzentrationen an den Messstellen Schmücke und Waldhof liegen leicht unterhalb des von Quass et al. (2016) auf Grundlage der von Bund und Ländern verfügbaren Immissionsdaten angegebenen Bereiches für quellenferne deutsche Messstationen von 5-25 fg WHO-TEQ/m³ für PCDD/F bzw. 1,5-2,1 fg WHO-TEQ/m³ für dl-PCB (Tabelle 8). Aktuelle TEQ-Werte für PCDD/F und dl-PCB in Nordrhein-Westfalen liegen zwischen 15 und 31 fg WHO₂₀₀₅-TEQ/m³ (LANUV 2020). Die in der vorliegenden Studie bestimmten Werte sind höher als die für den alpinen Bereich (Sonnblick, Weissfluhjoch, Schneefernerhaus/Zugspitze) berichteten TEQ-Mediane für PCDD/F-Messungen aus den Jahren 2005 bis 2013 bzw. bis 2018 von 0,4 bis 0,6 fg WHO-TEQ/m³ (Kirchner et al. 2020) sowie die TEQ-Werte der gemittelten Konzentrationen der EMEP Messstellen Birkenes II im Zeitraum Mai 2010 bis Dezember 2012 (2,6 fg WHO₂₀₀₅-TEQ/m³ für PCDD/F; 0,3 fg WHO₂₀₀₅-TEQ/m³ für dl-PCB) und Raö im Zeitraum April 2017 bis Dezember 2018 (1,2 fg WHO₂₀₀₅-TEQ/m³ für PCDD/F) (EMEP 2020). Sie liegen im

unteren Bereich der für Großbritannien veröffentlichten PCDD/F-Mediane der Jahre 1990 bis 2012 von 1,4 bis 8,3 fg WHO₁₉₉₈-TEQ/m³ für den ländlichen Bereich (Graf et al. 2016) bzw. unterhalb der mittleren PCDD/F-Konzentrationen für die Region Katalonien in Spanien in den Jahren 2009 bis 2011 von 16 fg I-TEQ/m³ (Parera et al. 2018). Für die USA wurden für PCDD/F und dl-PCB im Mittel 16 fg WHO₂₀₀₅-TEQ/m³ (städtische Gebiete), 14 fg WHO₂₀₀₅-TEQ/m³ (ländliche Gebiete) bzw. 1,2 fg WHO₂₀₀₅-TEQ/m³ (Hintergrund) berichtet (USEPA 2013).

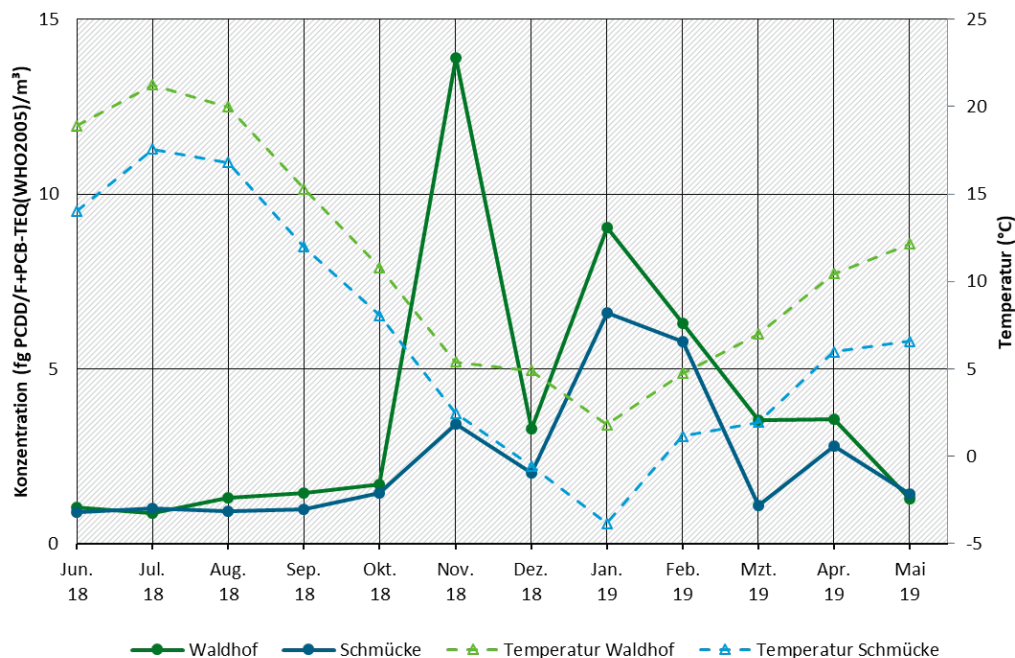
Tabelle 8: Mittlere TEQ-Außenluftkonzentrationen der PCDD/F und PCB im Vergleich zu publizierten Werten

	berichtete Werte	Region	Referenz
PCDD/F (Mittelwert inkl. ½ BG)	2,1 bzw. 3,5 fg WHO ₂₀₀₅ -TEQ/m ³	Hintergrund, Deutschland, 2018 bis 2019	diese Studie
dl-PCB (Mittelwert inkl. ½ BG)	0,5 bzw. 0,3 fg WHO ₂₀₀₅ -TEQ/m ³	Hintergrund, Deutschland, 2018 bis 2019	diese Studie
PCDD/F	5 - 25 fg WHO ₂₀₀₅ -TEQ/m ³	ländlicher Raum, Deutschland	Quass et al. 2016
PCDD/F	12 - 16 fg WHO ₂₀₀₅ -TEQ/m ³	städtischer Raum, Deutschland	Quass et al. 2016
dl-PCB	1,5 - 2,1 fg WHO ₂₀₀₅ -TEQ/m ³	ländlicher Raum, Deutschland	Quass et al. 2016
dl-PCB	5,4 - 6,5 fg WHO ₂₀₀₅ -TEQ/m ³	städtischer Raum, Deutschland	Quass et al. 2016
PCDD/F + dl-PCB	15 - 31 fg WHO ₂₀₀₅ TEQ/m ³	Nordrhein-Westfalen, ländlicher und städtischer Raum, Deutschland, 2019	LANUV 2020
PCDD/F (Median)	0,4 - 0,6 fg WHO ₂₀₀₅ -TEQ/m ³	Alpen, Hintergrund 2005 bis 2013/2018	Kirchner et al. 2020
PCDD/F (Mittelwert)	2,6 fg WHO ₂₀₀₅ -TEQ/m ³	Birkenes II, Hintergrund, Norwegen, 2010 bis 2012	EMEP 2020
dl-PCB (Mittelwert)	0,3 fg WHO ₂₀₀₅ -TEQ/m ³	Birkenes II, Hintergrund, Norwegen, 2010 bis 2012	EMEP 2020
PCDD/F (Mittelwert)	1,2 fg WHO ₂₀₀₅ -TEQ/m ³	Raö, Hintergrund, Schweden, 2017-2018	EMEP 2020
PCDD/F (Median)	1,4 - 8,5 fg WHO ₁₉₉₈ -TEQ/m ³	ländlicher Raum, Großbritannien, 1990 bis 2012	Graf et al. 2016
PCDD/F (Mittelwert)	16 fg I-TEQ/m ³	Katalonien, Spanien, 2009 bis 2011	Parera et al. 2018
PCDD/F + dl-PCB (Mittelwert)	1,2 fg WHO ₂₀₀₅ -TEQ/m ³	Hintergrund, USA, 1998-2004	USEPA 2013
PCDD/F + dl-PCB (Mittelwert)	14 fg WHO ₂₀₀₅ -TEQ/m ³	ländlicher Raum, USA, 1998-2004	USEPA 2013
PCDD/F + dl-PCB (Mittelwert)	16 fg WHO ₂₀₀₅ -TEQ/m ³	städtischer Raum, USA, 1998-2004	USEPA 2013

Die Monatswerte der PCDD/F+PCB Konzentrationen (Abbildung 6) lagen im Untersuchungszeitraum zwischen 0,9 und 13,9 fg WHO₂₀₀₅-TEQ/m³ (Waldhof) bzw. zwischen 0,9 und 6,6 fg WHO₂₀₀₅-TEQ/m³ (Schmücke). Sie waren in der kühlen Jahreszeit höher als in der wärmeren Jahreszeit. Dieser jahreszeitliche Verlauf ist auf eine deutliche Zunahme der PCDD/F-TEQ-Konzentrationen in der kühlen Jahreszeit zurückzuführen (Anhang A7 Abbildung 44; siehe auch Abbildungen 7 bis 10) und bestätigt damit frühere Studien, die erhöhte PCDD/F-Werte in den Wintermonaten aufzeigten (u.a. Vikelsøe et al. 2005, Coutinho et al. 2015, Graf et al. 2016, Quass et al. 2016, Assefa et al. 2018, Parera et al. 2018). Im Gegensatz zu den PCDD/F schwanken die TEQ-Konzentrationen der PCB jahreszeitenunabhängig nur geringfügig zwischen 0,2 und 0,9 fg WHO₂₀₀₅-TEQ/m³. Bedingt durch temperaturabhängige Re-Emissionen werden für PCB vielfach deutliche Konzentrationserhöhungen im Sommer berichtet (u.a. Graf et al. 2016, Quass et al. 2016). Eine solche Sommer-Erhöhung wurde an den UBA Messstationen Waldhof und Schmücke zwar teilweise für die PCB-Konzentrationen (Abbildungen 13 bis 18), nicht aber für die PCB-TEQ-Konzentrationen (Anhang A7 Abbildung 45) gefunden. Zusammenfassend ist der für beide Hintergrundmessstellen ermittelte Jahresverlauf der TEQ-Außenluftkonzentrationen dominiert durch den Verlauf der PCDD/F und weist auf saisonal geprägte Verbrennungsprozesse als Quelle für v.a. PCDD/F, z.B. Feuerungsanlagen, hin.

Die TEQ-Außenluftkonzentrationen sind an der Messstation Waldhof meist höher als an der Messstelle Schmücke. Dieser Unterschied ist jedoch nicht signifikant (U-Test, p=0,27). Die Unterschiede zwischen den Monatswerten sind v.a. in der kühlen Jahreszeit ausgeprägt. Die Messstation Schmücke liegt im Winter oft oberhalb der planetarischen Grenzschicht, was zu geringeren Konzentrationen an organischen Schadstoffen führen kann.

Abbildung 6: Monatswerte der PCDD/F+PCB-TEQ Konzentrationen nach WHO₂₀₀₅ inkl. 1/2 BG (fg/m³) sowie der Temperatur, UBA-Messstationen Waldhof und Schmücke



Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co. Quelle Temperatur: Stundenwerte der UBA-Messstationen Waldhof und Schmücke, Datenübermittlung des Umweltbundesamts per E-Mail (05.05.2020 und 12.06.2020) (UBA 2020).

3.1.2 Außenluftkonzentrationen der 17 PCDD/F-Kongenere und der PCDD/F-Homologengruppensummen

In den Tabellen 9 und 10 sind die über den Untersuchungszeitraum Juni 2018 bis Mai 2019 gemittelten Konzentrationen der 2,3,7,8-substituierten PCDD/F-Kongenere und der PCDD/F-Homologengruppensummen dargestellt. Die Monatswerte finden sich in Abbildungen 7 bis 10 sowie in Anhang A5. Die mittleren Konzentrationen der 17 Kongenere (Tabelle 9), der Summe der 17 Einzelkongenere (Waldhof: 104 fg/m^3 , Schmücke 59 fg/m^3) sowie der PCDD/F-Homologengruppensummen (Waldhof: 283 fg/m^3 , Schmücke 162 fg/m^3) waren an der Messstation Waldhof höher als an der Messstation Schmücke. Dabei waren an beiden Messstationen die prozentualen Anteile der Konzentrationen der Einzelverbindungen an der Gesamtsumme der 17 PCDD/F-Konzentrationen (Kongenerenprofil; Abbildung 11) sowie die prozentualen Anteile der einzelnen PCDD/F-Homologengruppensummenkonzentrationen an der Summe der PCDD/F-Homologengruppensummenkonzentration (Homologengruppensummenprofil; Abbildung 12) sehr ähnlich, was den Hintergrundcharakter der Messstationen bestätigt. Die höchsten mittleren Kongenerenkonzentrationen wurden für Octachlordibenzodioxin erreicht (59 fg/m^3 bzw. 28 fg/m^3) gefolgt von 1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzodioxin (21 fg/m^3 bzw. 11 fg/m^3) und 1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzofuran ($7,6 \text{ fg/m}^3$ bzw. $4,1 \text{ fg/m}^3$). Die geringsten Konzentrationen wurden für 2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin und 1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzofuran ermittelt, deren Monatswerte nur selten oberhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Die höchsten mittleren Konzentrationen der Homologengruppensummen wurden für Tetrachlordibenzofurane erreicht (74 fg/m^3 bzw. 51 fg/m^3) gefolgt von Octachlordibenzodioxin (s.o.) und den Heptachlordibenzodioxinen (37 fg/m^3 bzw. 20 fg/m^3).

Die in diesem Vorhaben bestimmten Konzentrationen der 17 PCDD/F-Kongenere befinden sich in der gleichen Größenordnung wie die Werte aus den Jahren 2010 bis 2012 der EMEP-Station Birkenes II (Summe 17 PCDD/F: 56 fg/m^3 ; OCDD: $24,5 \text{ fg/m}^3$; EMEP 2020, Tabelle 11). Sie liegen oberhalb der für die alpinen Stationen Sonnblick, Weißfluhjoch und Schneefernerhaus/Zugspitze berichteten Mediane der Jahre 2005 bis 2013/2018 (Summe 17 PCDD/F: 14,8 bis $16,5 \text{ fg/m}^3$; OCDD: 7,5 bis $9,3 \text{ fg/m}^3$; Kirchner et al. 2020) und deutlich oberhalb der für die EMEP-Station Raö 2016 bis 2018 ermittelten Werte (Summe 17 PCDD/F: 3 fg/m^3), die ungewöhnlich wenig OCDD ($0,01 \text{ fg/m}^3$) aufwiesen (EMEP 2020). PCDD/F-Homologengruppensummen wurden von Kirchner et al. (2020) für die drei alpinen Messstationen ausgewiesen und lagen für alle Tetra- bis Octachlordibenzodioxine und -furane zwischen 42 und 48 fg/m^3 mit maximalen Werten für die Tetrachlordibenzofurane (12 bis 15 fg/m^3). Mittlere PCDD/F-Luftkonzentrationen in Nordrhein-Westfalen aus dem Jahr 2019 sowie in den USA (Tabellen 11, 12) sind höher als die in diesem Vorhaben gemessenen Werte (LANUV 2020).

Tabelle 9: Bestimmungshäufigkeiten, mittlere Konzentrationen und Standardabweichungen der 2,3,7,8-substituierten PCDD/F, UBA-Messstationen Waldhof und Schmücke

	Waldhof			Schmücke		
	Häufigkeit Bestimmung	mittlere Konzentration (fg/m ³)	Standard-abweichung (fg/m ³)	Häufigkeit Bestimmung	mittlere Konzentration (fg/m ³)	Standard-abweichung (fg/m ³)
TeD1	58%	0,1	0,2	42%	0,1	0,1
PeD1	75%	0,8	0,8	75%	0,4	0,5
HxD1	75%	0,8	0,9	92%	0,5	0,5
HxD2	92%	2,1	2,4	92%	0,9	1,0
HxD3	100%	1,3	1,4	83%	0,7	0,7
HpD1	100%	20,5	22,2	100%	10,9	11,7
OcD	100%	50,0	48,7	100%	28,1	27,1
TeF1	100%	2,4	2,1	100%	2,0	1,4
PeF1	92%	1,6	1,8	92%	1,0	1,0
PeF2	100%	2,9	3,4	100%	1,8	1,7
HxF1	100%	2,3	2,8	100%	1,3	1,3
HxF2	100%	2,0	2,4	92%	1,1	1,1
HxF3	17%	0,3	0,5	8%	<0,3	0,1
HxF4	92%	2,3	3,2	92%	1,3	1,3
HpF1	100%	7,6	9,4	100%	4,1	3,6
HpF2	42%	1,1	1,5	33%	0,7	0,7
OcF	100%	6,2	6,6	100%	3,4	2,6

Tabelle 10: Bestimmungshäufigkeiten, mittlere Konzentrationen und Standardabweichung der PCDD/F-Homologengruppensummen, UBA-Messstationen Waldhof und Schmücke

	Waldhof			Schmücke		
	Häufigkeit Bestimmung	mittlere Konzentration (fg/m ³)	Standard-abweichung (fg/m ³)	Häufigkeit Bestimmung	mittlere Konzentration (fg/m ³)	Standard-abweichung (fg/m ³)
S TeD	92%	13,0	13,7	100%	6,9	4,8
S PeD	92%	13,5	17,1	83%	5,9	6,0
S HxD	100%	23,9	28,4	100%	11,0	11,4
S HpD	100%	37,4	40,1	100%	19,7	20,2
OcD	100%	50,0	48,7	100%	28,1	27,1
S TeF	100%	74,1	57,7	100%	51,3	26,0
S PeF	100%	33,4	36,5	100%	19,6	15,5
S HxF	100%	19,9	24,7	100%	10,4	10,1
S HpF	100%	11,7	14,5	100%	6,2	5,8
OcF	100%	6,2	6,6	100%	3,4	2,6

Tabelle 11: Mittlere Außenluftkonzentrationen der Summe der 2,3,7,8-substituierten PCDD/F im Vergleich zu publizierten Werten

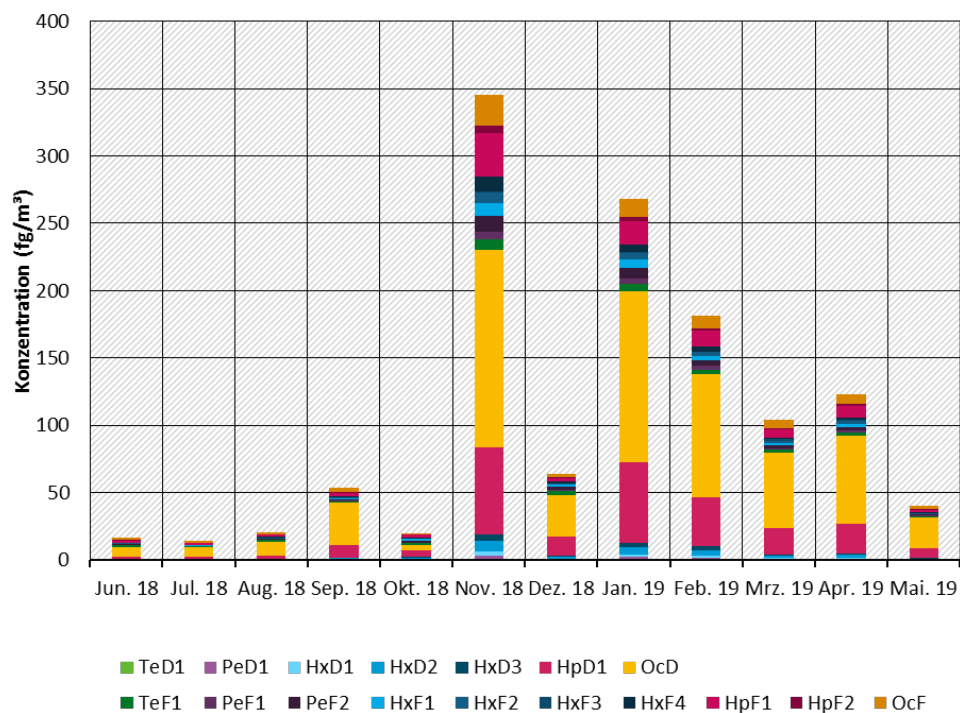
	berichtete Werte	Region	Referenz
17 PCDD/F (Mittelwert)	59 bzw. 104 fg/m ³	Waldhof, Schmücke, Hintergrund, Deutschland, 2018 bis 2019	diese Studie
PCDD/F (Mittelwert)	265 - 588 fg/m ³	Nordrhein-Westfalen, ländlicher und städtischer Raum, Deutschland, 2019	LANUV 2020
17 PCDD/F (aufsummierte Mediane)	14,8 - 16,5 fg/m ³	Alpen, Hintergrund, 2005 bis 2013/2018	Kirchner et al. 2020
17 PCDD/F (Mittelwert)	56 fg/m ³	Birkenes II, Hintergrund, Norwegen, 2010 bis 2012	EMEP 2020
17 PCDD/F (Mittelwert)	3 fg/m ³	Raö, Hintergrund, Schweden, 2017-2018	EMEP 2020
17 PCDD/F (Median)	285 fg/m ³	Hintergrund, ländlicher und städtischer Raum, USA, 1998-2004	USEPA 2013

Tabelle 12: Mittlere Außenluftkonzentrationen der Summe der PCDD/F im Vergleich zu publizierten Werten

	berichtete Werte	Region	Referenz
Tetra- bis Octa-PCDD/F-Homologensumme (Mittelwert)	162 bzw. 283 fg/m ³	Waldhof, Schmücke, Hintergrund, Deutschland, 2018 bis 2019	diese Studie
Tetra- bis Octa-PCDD/F-Homologensumme (Mittelwert)	740 - 1900 fg/m ³	Nordrhein-Westfalen, ländlicher und städtischer Raum, Deutschland, 2019	LANUV 2020
Tetra- bis Octa-PCDD/F-Homologensumme (Median)	42 - 48 fg/m ³	Alpen, Hintergrund, 2005 bis 2013/2018	Kirchner et al. 2020
Tetra- bis Octa-PCDD/F-Homologensumme (Median)	525 fg/m ³	Hintergrund, ländlicher und städtischer Raum, USA, 1998-2004	USEPA 2013

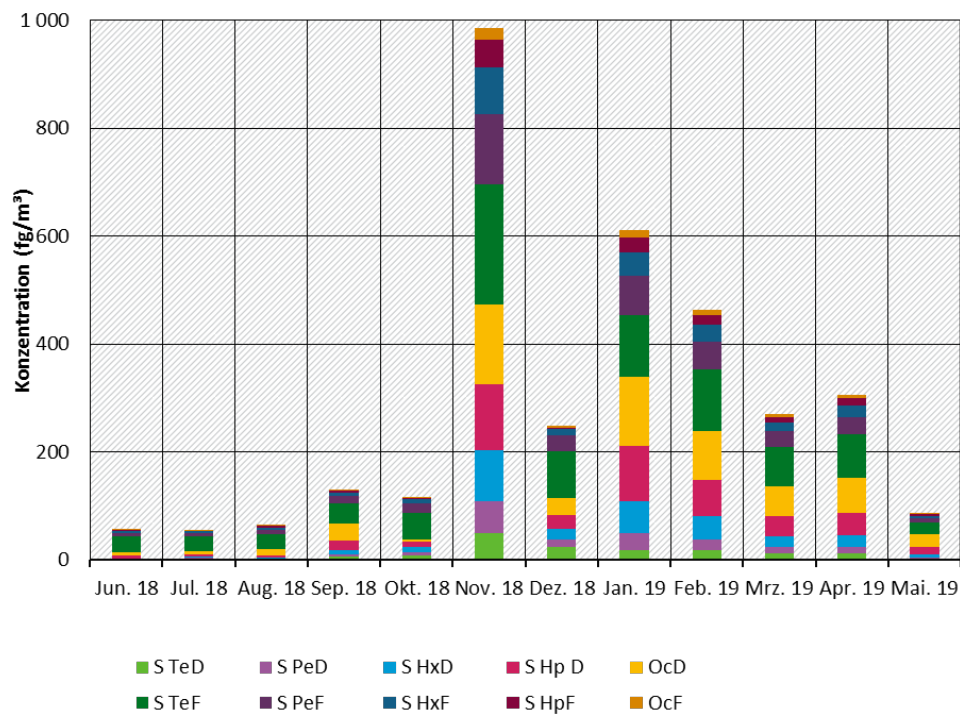
Der jahreszeitliche Verlauf der Konzentrationen der 17 PCDD/F-Kongenere und PCDD/F-Homologengruppensummen (Abbildungen 7 und 9) zeigt an beiden Messstationen deutlich höhere Werte im Winter als im Sommer, was publizierte Werte bestätigen (u.a. Vikelsøe et al. 2005, Coutinho et al. 2015, Graf et al. 2016, Quass et al. 2016, Assefa et al. 2018, Parera et al. 2018). Während die Konzentrationen der 17 PCDD/F-Kongenere und der Homologengruppensummen an den Stationen Waldhof und Schmücke in den Sommermonaten auf einem ähnlich hohen Niveau lagen, war die winterliche Konzentrationserhöhung für Waldhof deutlich ausgeprägter. Die saisonal bedingte Konzentrationserhöhung kann sowohl meteorologisch begründet sein (z.B. weniger Austausch, geringere Höhe der Mischungsschicht, weniger temperaturbedingte Volatilisierung von vergleichsweise flüchtigeren PCDD/F im Winter) als auch auf saisonale Emissionen in Verbindung mit der kalten Jahreszeit hindeuten. Geringere Winterkonzentrationen auf der Schmücke im Vergleich zu Waldhof können durch die Lage der Messstation auf über 900 m Höhe und daraus resultierender Lage oberhalb der Mischungsschicht begründet sein.

Abbildung 7: Konzentrationen der 17 PCDD/F-Kongenere (fg/m³), UBA-Messtation Waldhof



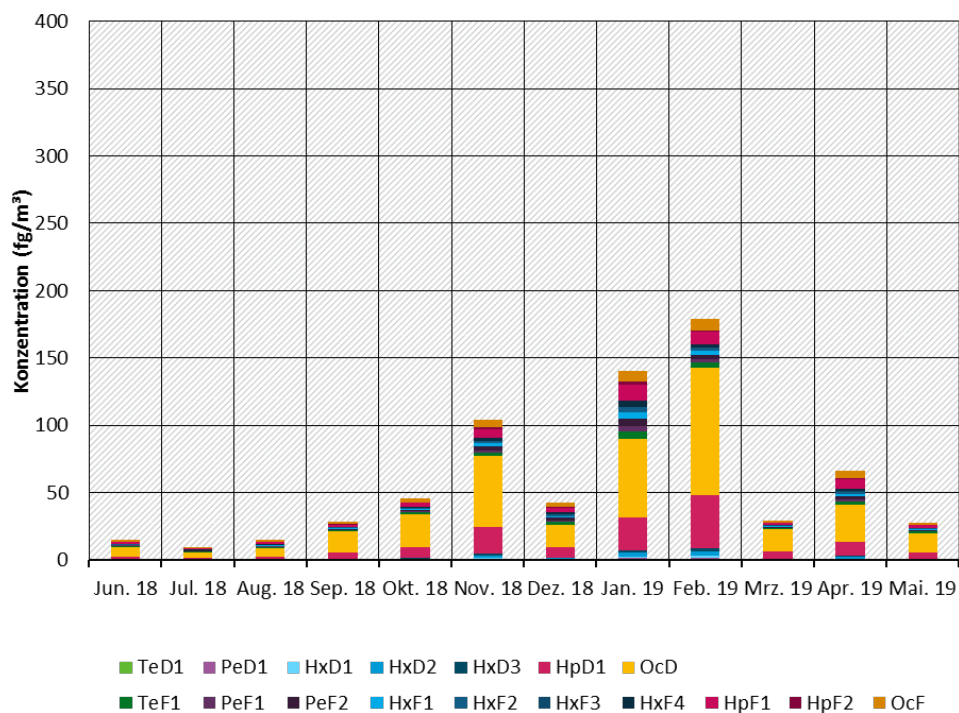
Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 8: Konzentrationen der PCDD/F-Homologengruppensummen (fg/m³), UBA-Messtation Waldhof



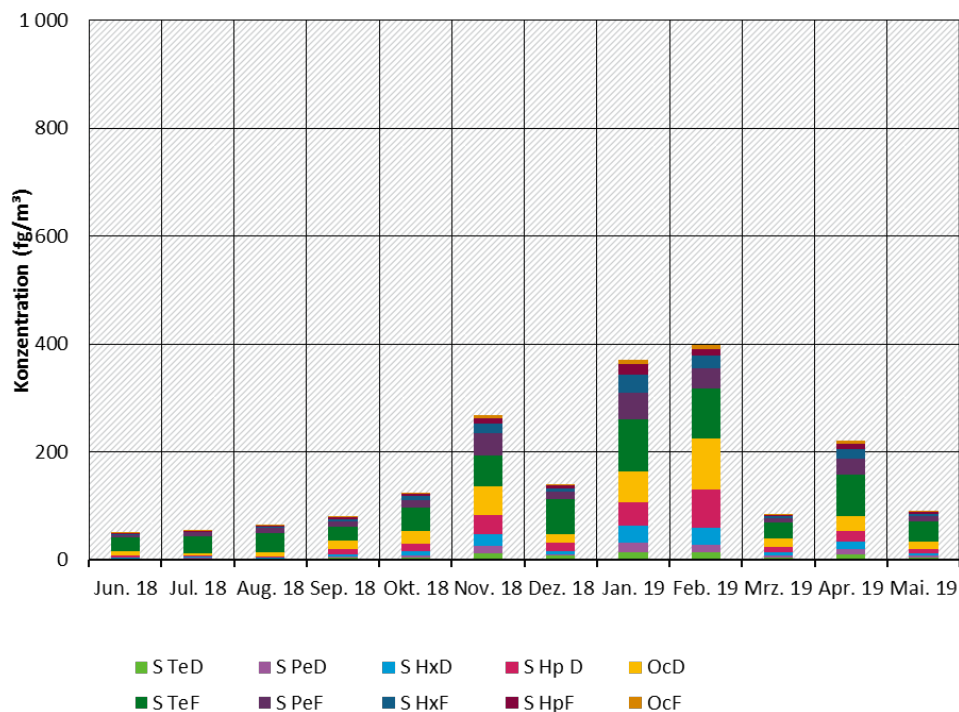
Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 9: Konzentrationen der 17 PCDD/F-Kongenere (fg/m³), UBA-Messtation Schmücke



Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 10: Konzentrationen der PCDD/F-Homologengruppensummen (fg/m³), UBA-Messtation Schmücke

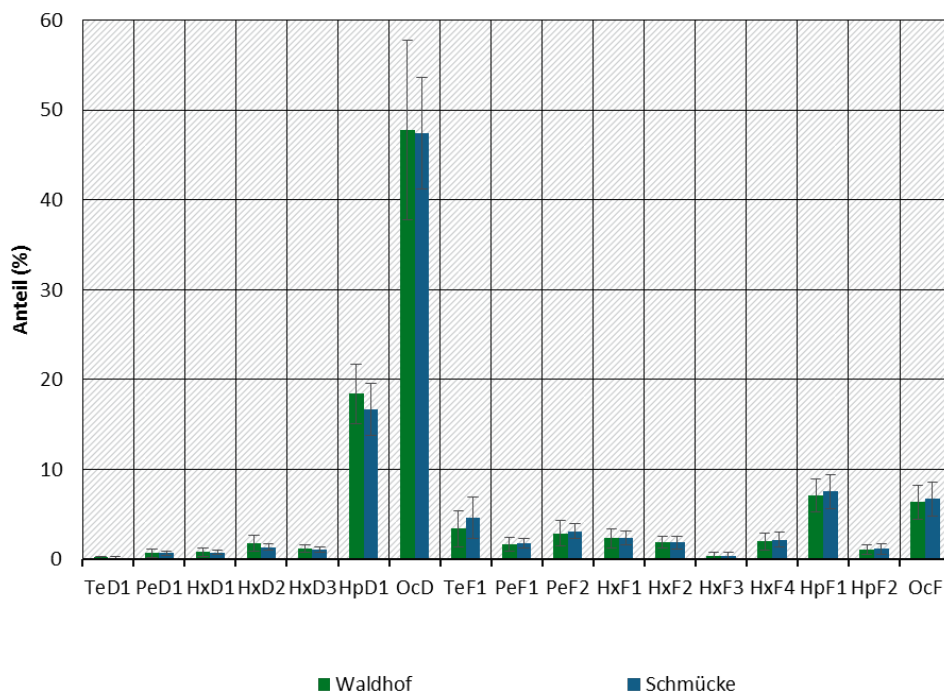


Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

3.1.3 Profile der 17 PCDD/F-Kongenere und der Homologengruppensummen in der Außenluft

Die über den Untersuchungszeitraum Juni 2018 bis Mai 2019 gemittelten PCDD/F-Kongeneren- und Homologengruppensummenprofile sind in den Abbildungen 11 und 12 dargestellt. Die 2,3,7,8-substituierten PCDD/F-Kongenere machen ca. 36 % (Schmücke) bzw. 37 % (Waldhof) der Summe aller Tetra- bis Octa-PCDD/F aus. Ca. 70% der 17 PCDD/F entfallen auf die 7 PCDD und ca. 30 % auf die PCDF. Die höchsten mittleren Kongenerenanteile wurden für Octachlordibenzodioxin erreicht (ca. 48 %) gefolgt von 1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzodioxin (ca. 18 %), 1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzofuran (ca. 7 %) und Octachlordibenzofuran (ca. 6,5 %). Die gemittelten Kongenerenprofile an den Messstationen Waldhof und Schmücke sind den Referenzprofilen für quellenferne Standorte, die auf der Grundlage der von Bund und Ländern verfügbaren Immissionsdaten durch Quass et al. (2016) abgeleitet wurden, mit absoluten Differenzen von maximal 4,3 % für Octachlordibenzodioxin an der Messstation Schmücke sehr ähnlich. Auch die alpinen Hintergrundmessstationen Sonnblick, Weißfluhjoch und Zugspitze (2005 bis 2013/2018) sowie die EMEP-Station Birkenes II (2010-2012) zeigen im Mittel eine deutliche Dominanz von Octachlordibenzodioxin (ca. 44 % bis 56 %) und 1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzodioxin (ca. 12 bis 18 %) (EMEP 2020, Kirchner et al. 2020).

Abbildung 11: PCDD/F-Kongenerenprofile (Jahresmittelwerte, Standardabweichungen), UBA-Messstationen Waldhof und Schmücke

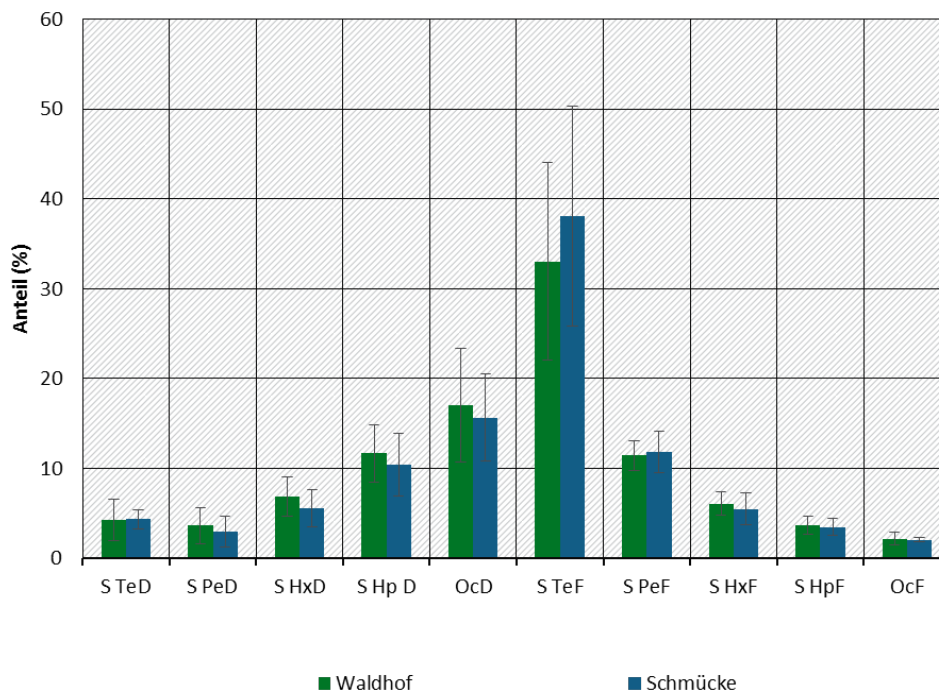


Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Für die Homologengruppensummen gilt: Der Anteil der Tetra- bis Octadioxine an der Summe aller Tetra-bis Octa-PCDD/F liegt bei 44 % (Schmücke) bzw. 49 % (Waldhof) und ist damit ungefähr gleich groß wie der Anteil der Tetra- bis Octafurane. Dabei wurden die höchsten Anteile für die Tetrachlordibenzofurane (ca. 38 % bzw. 33 %), gefolgt von Octachlordibenzodioxin (ca. 16 % bzw. 17 %) und den Heptachlordibenzodioxinen (ca. 10 % bzw. 12 %) gefunden. Die PCDD/F-Homologengruppensummenprofile sind den gemittelten Profilen der alpinen Hintergrundmessstationen Sonnblick, Weißfluhjoch und

Schneefernerhaus/Zugspitze der Jahre 2005-2013/2018 sehr ähnlich (Kirchner et al. 2020). Hier lagen die gemittelten prozentualen Anteile für die Tetrachlordibenzofurane zwischen ca. 28 % und 35 %, die von Octachlordibenzodioxin zwischen ca. 12 % und 22 % und die für Heptachlordibenzodioxin zwischen ca. 14 % und 15 %. Diese Ergebnisse unterscheiden sich deutlich von dem Homologengruppensummen-Referenzprofil für quellferne Standorte auf der Grundlage der von Bund und Ländern verfügbaren Immissionsdaten (Quass et al. 2016). Dort wurden prozentuale Anteile für das Octachlordibenzodioxin von ca. 30 %, für die Tetrachlordibenzofurane von ca. 19 % und für die Pentachlordibenzofurane von ca. 11 % berichtet.

Abbildung 12: PCDD/F-Homologengruppensummenprofile (Jahresmittelwerte, Standardabweichungen), UBA-Messstationen Waldhof und Schmücke



Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Trotz großer Ähnlichkeiten deutet sich über den Untersuchungszeitraum dieses Vorhabens eine saisonale Verschiebung der Profilanteile an (Anhang A8). Diese ist allerdings statistisch nicht signifikant und fällt zwischen den Messstationen im Detail unterschiedlich aus. Für Waldhof verringern sich die mittleren relativen Anteile von Octachlordibenzodioxin, 2,3,7,8-Tetrachlordibenzofuran, 1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzofuran und Octachlordibenzofuran in den Wintermonaten (Oktober bis März) im Vergleich zu den Sommermonaten (April bis September), während die Anteile der anderen Kongenere ansteigen. Auf der Schmücke verringern sich in den Wintermonaten die mittleren relativen Anteile von 2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin sowie der meisten PCDF-Kongenere. Im Gegensatz zu Waldhof steigt der Anteil an Octachlordibenzodioxin. Eine ähnliche saisonale Verschiebung wie auf der Schmücke wurde auch von Quass et al. (2016) beobachtet. Saisonale Verschiebungen der Profileanteile waren für die PCDD/F-Homologengruppensummen stärker ausgeprägt als für die 17 Einzelkongenere. In den Wintermonaten ist eine deutliche Verringerung der prozentualen Anteile der Tetrachlor-dibenzofurane (ca. 9 % absolut für Waldhof, ca. 15 % absolut für Schmücke) zu erkennen. Mit Ausnahme der sich verringern den Anteile der Tetrachlordibenzofurane, von Octachlordibenzo-dioxin (s.o.) und von

Octachlordibenzofuran erhöhten sich die mittleren Anteile der meisten anderen untersuchten PCDD/F-Homologengruppensummen im Winter. Die sich andeutende Profilverschiebung bei sich erhöhenden Konzentrationen im Winter (s.o.) könnte auf den Einfluss saisonaler PCDD/F-Quellen in der kalten Jahreszeit hinweisen, ist jedoch statistisch nicht signifikant.

3.1.4 Außenluftkonzentrationen der i-PCB, WHO-PCB und der PCB-Homologengruppensummen

In den Tabellen 13, 15 und 17 sind die über den Untersuchungszeitraum gemittelten Konzentrationen der i-PCB, dl-PCB und der PCB-Homologengruppensummen an den Messstationen Waldhof und Schmücke aufgeführt. Die Monatswerte finden sich in den Abbildungen 13 bis 18 sowie Anhang A5.

Die mittleren Konzentrationen der 6 i-PCB (Tabelle 13) sowie die Summenkonzentrationen der i-PCB liegen für die Station Waldhof (Summe i-PCB: 8,4 pg/m³) leicht oberhalb der Werte von der Schmücke (Summe i-PCB: 6,9 pg/m³), was vor dem Hintergrund der Messunsicherheiten als gleichwertig zu bewerten ist. Die gemittelten Konzentrationen sind für PCB 28, PCB 52 und PCB 101 (1,6 bis 2 pg/m³) am höchsten und für PCB 180 (0,2 bis 0,3 pg/m³) am geringsten. Die i-PCB-Profile (Abbildung 20) sind bei beiden Messstationen sehr ähnlich mit leichten Verschiebungen zu PCB 28 an der Messstation Schmücke.

Tabelle 13: Bestimmungshäufigkeiten, mittlere Konzentrationen und Standardabweichung der i-PCB, UBA-Messstationen Waldhof und Schmücke

	Waldhof			Schmücke		
	Häufigkeit Bestimmung	mittlere Konzentration (pg/m ³)	Standard-abweichung (pg/m ³)	Häufigkeit Bestimmung	mittlere Konzentration (pg/m ³)	Standard-abweichung (pg/m ³)
PCB 28	100%	2,0	0,7	100%	1,9	0,7
PCB 52*	100%	2,1	0,8	92%	1,7	0,8
PCB 101*	100%	2,0	1,0	100%	1,6	0,8
PCB 138	100%	0,9	0,4	100%	0,6	0,3
PCB 153*	100%	1,1	0,6	100%	0,9	0,5
PCB 180	100%	0,3	0,1	100%	0,2	0,1

* Coelution

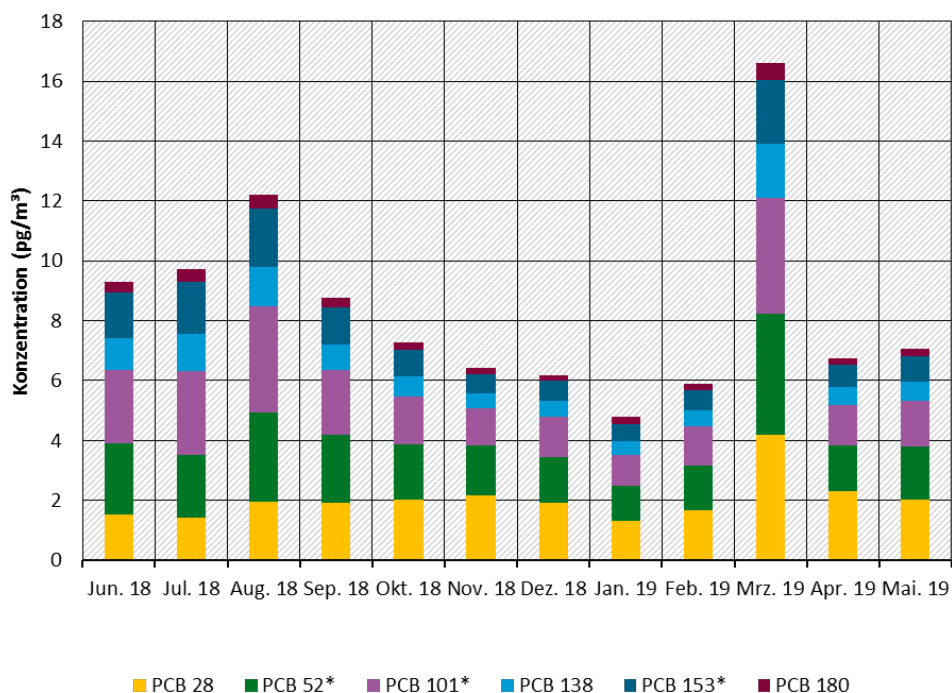
Die in diesem Vorhaben ermittelten i-PCB-Konzentrationen liegen in der gleichen Größenordnung wie an weiteren UBA-Messstationen (Tabelle 14). Sie sind geringer als die für Nordrhein-Westfalen publizierten Werte von 86 bis 262 pg/m³ (LANUV 2020) oder die in Großbritannien für den ländlichen Bereich ermittelten Werte der Jahre 1990-2012 von 12 bis 34 pg/m³ (Mediane; Graf et al. 2016). Die hier ermittelten Werte sind höher als die für das Jahr 2018 aufsummierten Mittelwerte der EMEP-Stationen Birkenes, Norwegen (3,1 pg/m³) und Zeppelin, Spitzbergen, Norwegen (1,6 pg/m³) und liegen in einem ähnlichen Bereich wie berichtete Werte für Košetice (7,2 pg/m³), Raö (6,5 pg/m³) (EMEP 2020) und den alpinen Bereich (2,9 - 27,5 pg/m³; Freier et al. 2019). Im Luftmessnetz des UBA werden an einigen

Messstationen routinemäßig neben anderen persistenten organischen Schadstoffen i-PCB mit High-Volume-Probenahmegegeräten (ca. 30 m³/h) als Monatsmittel bestehend aus 5 eintägigen Einzelproben pro Monat erfasst. Diese stimmen mit den hier ermittelten Werten trotz unterschiedlicher Messdauer (Mittel aus 5 Eintagesproben vs. Monatsprobe) überwiegend gut überein (Dreyer 2020), was die Einordnung der Messstationen als Hintergrundstationen bekräftigt.

Tabelle 14: Mittlere Außenluftkonzentrationen der Summe der 6 i-PCB im Vergleich zu publizierten Werten

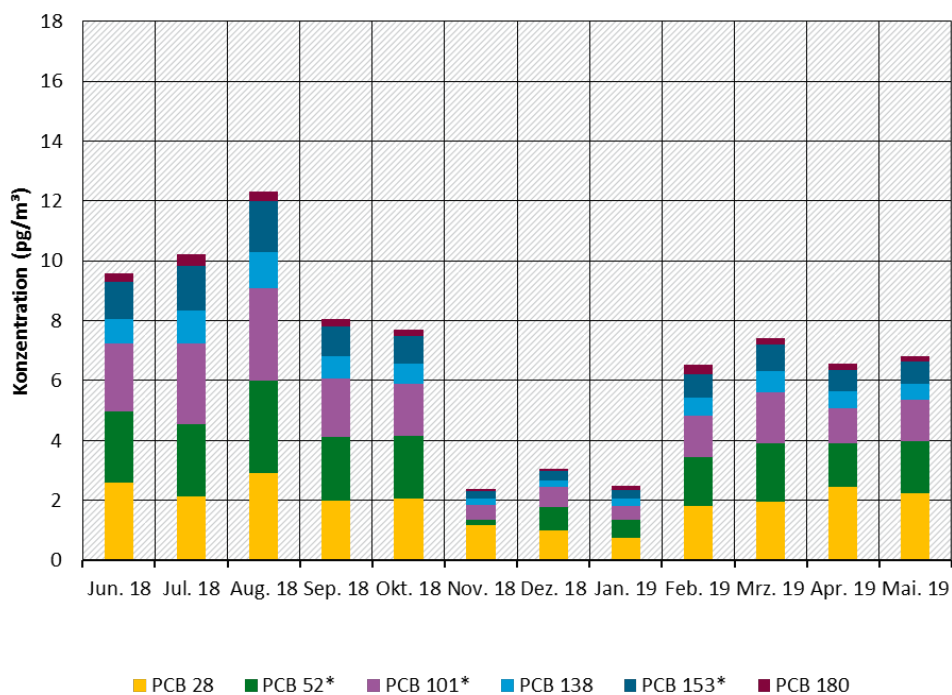
	berichtete Werte	Region	Referenz
6 i-PCB (Mittelwert)	6,9 bzw. 8,4 pg/m ³	Waldhof, Schmücke, Hintergrund, Deutschland, 2018 bis 2019	diese Studie
6 i-PCB (Mittelwert)	4,7 pg/m ³	UBA Messstation Zingst, Hintergrund, Deutschland, 2019	Routinemessprogramm des UBA
6 i-PCB (Mittelwert)	7,6 pg/m ³	UBA Messstation Westerland, Hintergrund, Deutschland, 2019	Routinemessprogramm des UBA
6 i-PCB (Mittelwert)	8,6 pg/m ³	UBA Messstation Waldhof, Hintergrund, Deutschland, 2019	Routinemessprogramm des UBA
6 i-PCB (Mittelwert)	86 - 262 pg/m ³	Nordrhein-Westfalen, ländlicher und städtischer Raum, Deutschland, 2019	LANUV 2020
6 i-PCB (Mittelwert)	3,1 pg/m ³	Birkenes, Hintergrund, Norwegen, 2018	EMEP 2020
6 i-PCB (Mittelwert)	1,6 pg/m ³	Zeppelin (Spitzbergen), Hintergrund, Norwegen, 2018	EMEP 2020
6 i-PCB (Mittelwert)	6,5 pg/m ³	Raö, Hintergrund, Schweden, 2018	EMEP 2020
6 i-PCB (Mittelwert)	7,2 pg/m ³	Košetice, Hintergrund, Tschechien, 2018	EMEP 2020
6 i-PCB (Median)	12 - 34 pg/m ³	ländlicher Raum, Großbritannien, 1990 bis 2012	Graf et al. 2016

Abbildung 13: Konzentrationen der i-PCB (pg/m³), UBA-Messstation Waldhof



* Coelution. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 14: Konzentrationen der i-PCB (pg/m³), UBA-Messstation Schmücke



* Coelution. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Der jahreszeitliche Verlauf der Konzentrationen der i-PCB (Abbildungen 13 und 14) zeigt an beiden Messstationen höhere Werte im Sommer als im Winter, was dem typischen Jahresgang für PCB in Außenluft entspricht (Graf et al. 2016, Quass et al. 2016, EMEP 2020). Dabei verschiebt sich der prozentuale Anteil in den Wintermonaten leicht hin zu PCB 28 (Anhang 8). An der Messstelle Waldhof wird der Jahresgang im März durch auffallend erhöhte Werte, deren Ursache unklar ist, unterbrochen. Die hohen Werte im März werden in den Ergebnissen der Märzprobe des Routine-UBA-Messprogramms nicht abgebildet. Dieses bestimmt jedoch nicht über den gesamten Monat, sondern bestimmt den Monatswert aus 5 einzelnen Tagesproben. Die Monatswerte der i-PCB-Konzentrationen für Waldhof und auf der Schmücke liegen in einem ähnlichen Bereich. Die Werte auf der Schmücke fallen von November 2018 bis Januar 2019 geringer aus als für Waldhof oder den anderen Monaten. Dies könnte meteorologisch begründet sein (s.o.).

Die mittleren Konzentrationen der 12 dl-PCB (Tabelle 15) sowie die Summenkonzentrationen der dl-PCB liegen an der Messstation Waldhof (Summe dl-PCB: $0,64 \text{ pg/m}^3$) ebenfalls leicht oberhalb der Werte von der Schmücke (Summe dl-PCB: $0,55 \text{ pg/m}^3$) und sind im Rahmen der Messunsicherheit als gleichwertig zu bewerten. Die Quantifizierungshäufigkeiten und Konzentrationen variieren zwischen den dl-PCB-Kongeneren. PCB 169 wurde in keiner Außenluftprobe der beiden UBA-Messstationen quantifiziert. PCB 81, PCB 126 und PCB 189 wurden in weniger als der Hälfte der Proben quantifiziert. Bis auf PCB 114 und PCB 157 wurden die weiteren dl-PCB in mehr als 90 % der Proben quantifiziert. Höchste Werte wurden für PCB 118 (hier coeluierend mit PCB 106) und PCB 105 (hier coeluierend mit PCB 127) erreicht. Die dl-PCB-Profile (Abbildung 21) sind an beiden Messstationen sehr ähnlich.

Die an den UBA-Messstationen ermittelten dl-PCB-Konzentrationen liegen leicht oberhalb der für die EMEP-Station Birkenes II berichteten Konzentrationen im Zeitraum 2010 bis 2012 ($0,2 \text{ pg/m}^3$; EMEP 2020; Tabelle 16) und im unteren Bereich der für Zentral- und Osteuropa im Zeitraum 2011 bis 2013 angegebenen Mittelwerte ($0,6$ bis 9 pg/m^3 ; Šebková et al. 2014). Sie sind deutlich geringer als publizierte aktuelle Werte ($7,7$ bis $18,6 \text{ pg/m}^3$) für Nordrhein-Westfalen (LANUV 2020).

Der Konzentrationen der dl-PCB (Abbildungen 15 und 16) weisen an beiden Messstationen den für PCB allgemein typischen jahreszeitlichen Verlauf mit höheren Werten im Sommer als im Winter auf. Wie auch bei den i-PCB zeigen sich für die dl-PCB in der Märzprobe erhöhte Konzentrationen, die für die meisten dl-PCB maximale Werte erreichen. Ebenso liegen die Monatswerte der dl-PCB-Konzentrationen an der Station Waldhof und auf der Schmücke in einem ähnlichen Bereich, fallen auf der Schmücke von November 2018 bis Januar 2019 aber geringer aus.

Tabelle 15: Bestimmungshäufigkeiten, mittlere Konzentrationen und Standardabweichung der dl-PCB, UBA-Messstationen Waldhof und Schmücke

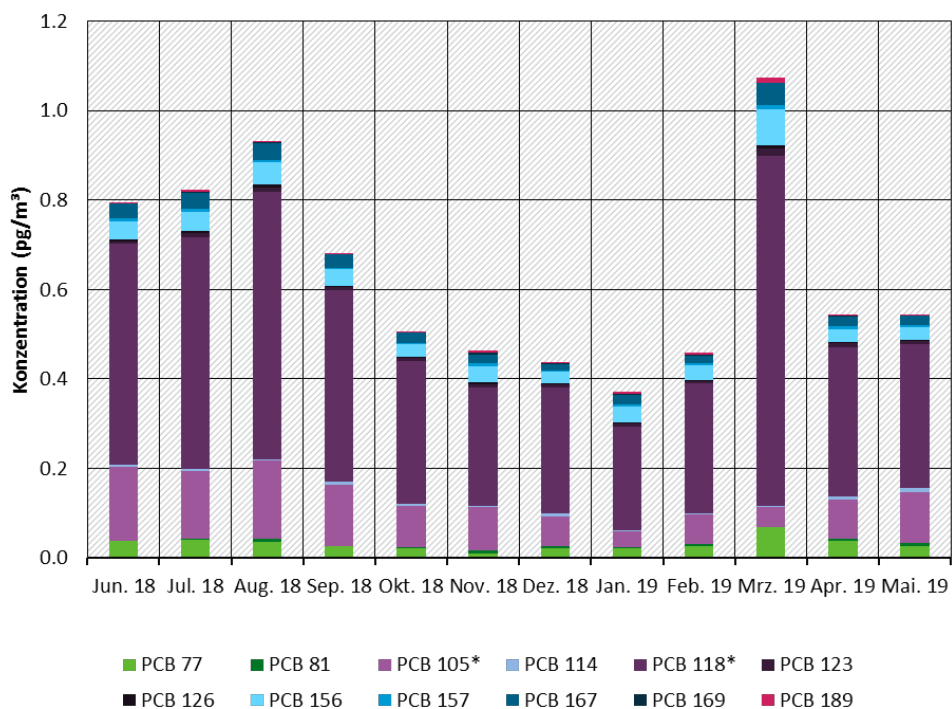
	Waldhof			Schmücke		
	Häufigkeit Bestimmung	mittlere Konzentration (pg/m ³)	Standard-abweichung (pg/m ³)	Häufigkeit Bestimmung	mittlere Konzentration (pg/m ³)	Standard-abweichung (pg/m ³)
PCB 77	92%	0,03	0,01	100%	0,03	0,01
PCB 81	33%	0,004	0,003	33%	0,003	0,003
PCB 105*	100%	0,10	0,05	100%	0,11	0,06
PCB 114	67%	0,005	0,003	58%	0,004	0,003
PCB 118*	100%	0,41	0,16	100%	0,34	0,16
PCB 123	92%	0,008	0,003	92%	0,007	0,003
PCB 126	58%	0,004	0,002	25%	0,003	0,001
PCB 156	100%	0,04	0,01	100%	0,03	0,01
PCB 157	75%	0,005	0,003	50%	0,003	0,002
PCB 167	100%	0,03	0,01	100%	0,02	0,01
PCB 169	0%	< 0,006	0,001	0%	< 0,006	0,001
PCB 189	58%	0,004	0,003	25%	0,003	0,002

* Coelution

Tabelle 16: Mittlere Außenluftkonzentrationen der Summe der dl-PCB im Vergleich zu publizierten Werten

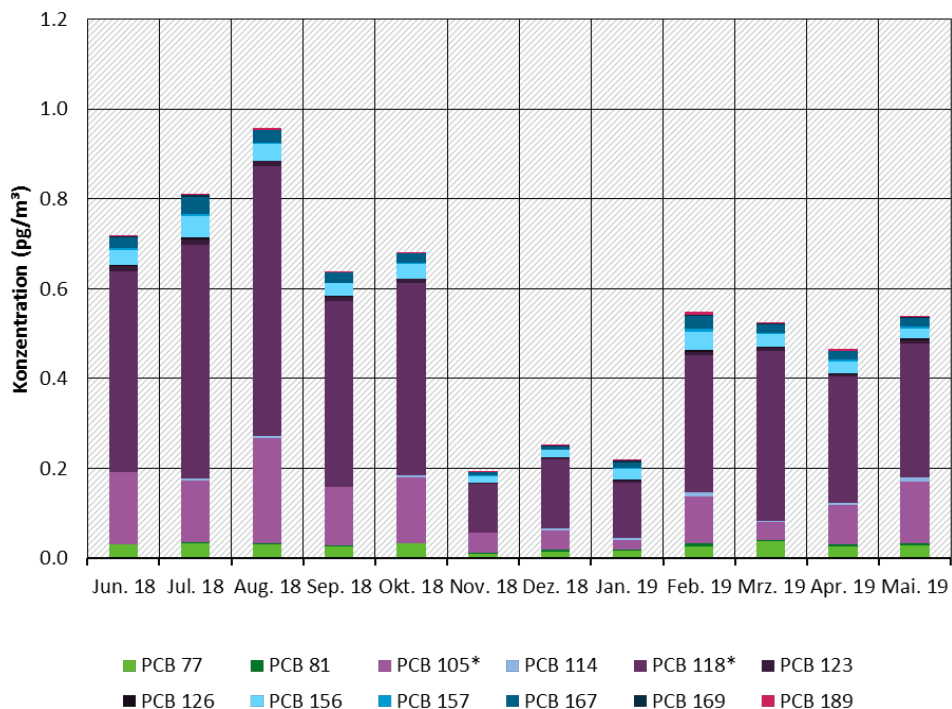
	berichtete Werte	Region	Referenz
12 dl-PCB (Mittelwert)	0,55 bzw. 0,64 pg/m ³	Waldhof, Schmücke, Hintergrund, Deutschland, 2018 bis 2019	diese Studie
12 dl-PCB (Mittelwert)	7,7 - 18,6 pg/m ³	Nordrhein-Westfalen, ländlicher und städtischer Raum, Deutschland, 2019	LANUV 2020
12 dl-PCB (Mittelwert)	0,2 pg/m ²	Birkenes II, Hintergrund, Norwegen, 2010 bis 2012	EMEP 2020
12 dl-PCB (Mittelwert)	0,6 – 9 pg/m ³	Zentral- und Osteuropa, 2011 bis 2013	Šebková et al. 2014
12 dl-PCB (Median)	0,8 pg/m ³	Hintergrund, ländlicher und städtischer Raum, USA, 1998-2004	USEPA 2013

Abbildung 15: Konzentrationen der dl-PCB (pg/m³), UBA-Messstation Waldhof



* Coelution. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 16: Konzentrationen der dl-PCB (pg/m³), UBA-Messstation Schmücke



* Coelution. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Die mittleren Konzentrationen der PCB-Homologengruppensummen (Tabelle 17) sowie der Gesamt-PCB-Konzentrationen (ca. 50 pg/m³) sind an beiden Messstationen sehr ähnlich. Mit 9 bis 13 pg/m³ wurden für Trichlor-, Dichlor- und Tetrachlorbiphenyle die höchsten gemittelten Konzentrationen und prozentualen Anteile (Abbildung 22) gefunden. Dies deckt sich mit Werten aus Nordrhein-Westfalen, wo maximale Werte für Tri- (40 bis 340 pg/m³) und Tetrachlorbiphenyle (68 bis 880 pg/m³) publiziert wurden (LANUV 2020).

Die in diesem Vorhaben bestimmten Werte für die PCB Homologensummen sind (z.T. deutlich) geringer als publizierte Jahresmittelkonzentrationen (Tri- bis DecaCB: 320 bis 1500 pg/m³; Tabelle 18) für Nordrhein-Westfalen (LANUV 2020). Sie liegen unterhalb von mittleren Werten und für urbane Regionen in den USA im Jahr 2017 (142 pg/m³; Herkert et al. 2018) bzw. 2007 (835 pg/m³; Hu et al. 2008).

Die Konzentrationen der PCB-Homologengruppensummen (Abbildungen 17 und 18) und deren prozentuale Anteile (Abbildung 22) waren z.T. starken monatlichen Schwankungen unterworfen. Der für PCB typische saisonale Verlauf ist nur auf der Schmücke für die Tri- bis Heptachlorbiphenyle erkennbar. Auffälligkeiten in der Märzprobe (Waldhof) bzw. in den Proben November 2018 bis Januar 2019 (Schmücke) sind nicht oder nicht in der Deutlichkeit wie bei den dl-PCB und i-PCB erkennbar. Zwischen den Sommer- und Wintermonaten ist eine deutliche Profilverschiebung v.a. von den Tetra- bis Heptachlorbiphenylen zu den Mono- und Dichlorbiphenylen erkennbar (Anhang A8).

Um den Gesamtgehalt der PCB in einer Probe abschätzen zu können, wird basierend auf einem Vorschlag der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) üblicherweise die Summe der 6 i-PCB mit dem Faktor 5 multipliziert (LAGA 1995). Dies entspricht einem Anteil der i-PCB an der Summe aller PCB von 20 %. Der in diesem Projekt berechnete mittlere Anteil der i-PCB an der Summe aller PCB in der Außenluft liegt bei 17 % (Waldhof) bzw. 15 % (Schmücke), was Faktoren von 5,9 bzw. 6,7 entspricht. Das bedeutet, dass das üblicherweise praktizierte Vorgehen der Ermittlung des PCB-Gesamtgehalts in den untersuchten Außenluftproben zu einer Unterschätzung der Gesamt-PCB-Belastung von 16 % (Waldhof) bzw. 26 % (Schmücke) führt und weitere, ggf. bedeutende PCB in Außenluftproben nicht erkannt werden würden.

Die in diesem Vorhaben durchgeführte Analytik auf alle 209 PCB zur Ermittlung der Homologengruppensummen ermöglicht hingegen die Identifizierung weiterer PCB. Von 166 gaschromatographisch aufgetrennten PCB bzw. PCB-Coelutionen wurden über den Messzeitraum in den Außenluftproben zwischen 105 und 144 quantifiziert. Dabei wird ersichtlich, dass es einige PCB gibt, deren mittlere Konzentrationen an den Messstationen Waldhof und Schmücke in einem ähnlichen Bereich wie die der i-PCB (0,3 bis ca. 2 pg/m³) liegen oder z.T. diese überschreiten (Abbildung 19). Dieses sind die folgenden PCB (absteigend geordnet nach mittlerer Konzentration): PCB 11 (5,6 bzw. 5,9 pg/m³), PCB 18 (2,5 bzw. 3,9 pg/m³), PCB 93/95/98/102 (2,2 bzw. 1,8 pg/m³), PCB 5/8 (ca. 2 pg/m³), PCB 31 (ca. 1,8 pg/m³), PCB 139/149 (1,6 bzw. 1,1 pg/m³), PCB 43/49 (1,3 bzw. 1,1 pg/m³), PCB 47/48/65/75 (1,3 bzw. 1,1 pg/m³), PCB 17 (0,9 bzw. 1,3 pg/m³), PCB 44 (1,2 bzw. 1 pg/m³), PCB 20/33 (ca. 1 pg/m³), und PCB 151 (1 bzw. 0,8 pg/m³).

Tabelle 17: Bestimmungshäufigkeiten, mittlere Konzentrationen und Standardabweichung der PCB-Homologengruppensummen Messstationen Waldhof und Schmücke

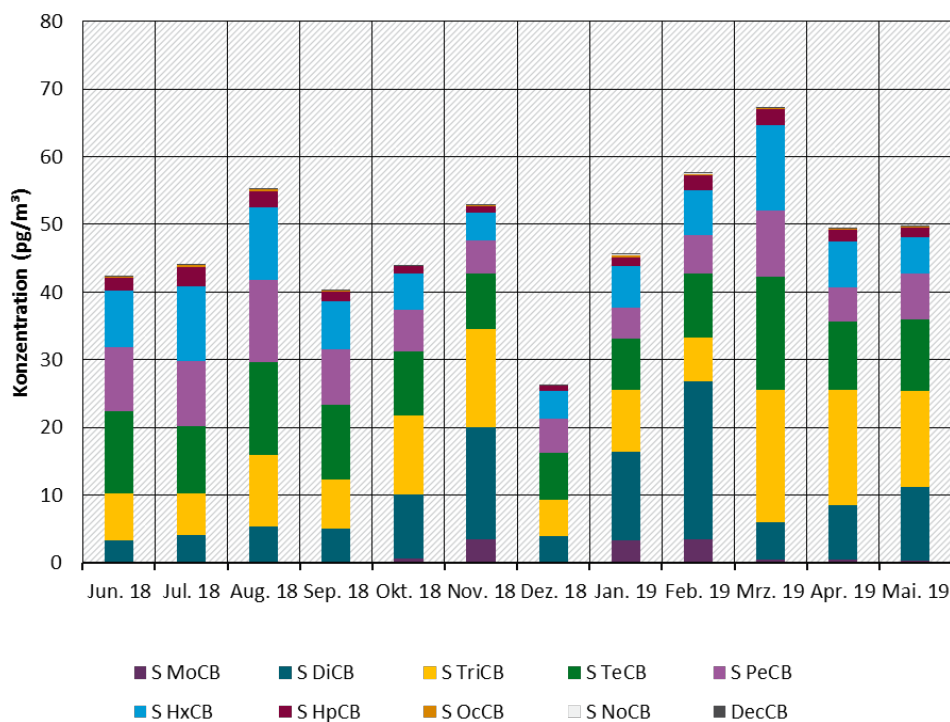
	Waldhof			Schmücke		
	Häufigkeit Bestimmung	mittlere Konzentration (pg/m ³)	Standard-abweichung (pg/m ³)	Häufigkeit Bestimmung	mittlere Konzentration (pg/m ³)	Standard-abweichung (pg/m ³)
S MoCB	92%	1,2	1,5	83%	1,3	1,6
S DiCB	92%	9,5	6,2	83%	9,7	3,1
S TriCB	92%	11,2	4,6	83%	13,0	6,1
S TeCB	92%	10,8	2,6	83%	9,4	3,9
S PeCB	92%	7,5	2,5	83%	6,3	3,1
S HxCB	92%	7,6	2,7	83%	5,6	2,8
S HpCB	92%	1,8	0,6	83%	1,3	0,7
S OcCB	92%	0,18	0,07	83%	0,13	0,05
S NoCB	50%	0,008	0,009	25%	0,004	0,004
DecCB	75%	0,009	0,005	50%	0,005	0,003

* Die Proben Waldhof-Dezember, Schmücke-Dezember und Schmücke-Februar sind aufgrund von analytischen Störungen bei den niederchlorierten PCB in der Mittelwertbildung nicht enthalten.

Tabelle 18: Mittlere Außenluftkonzentrationen der PCB-Homologensummen im Vergleich zu publizierten Werten

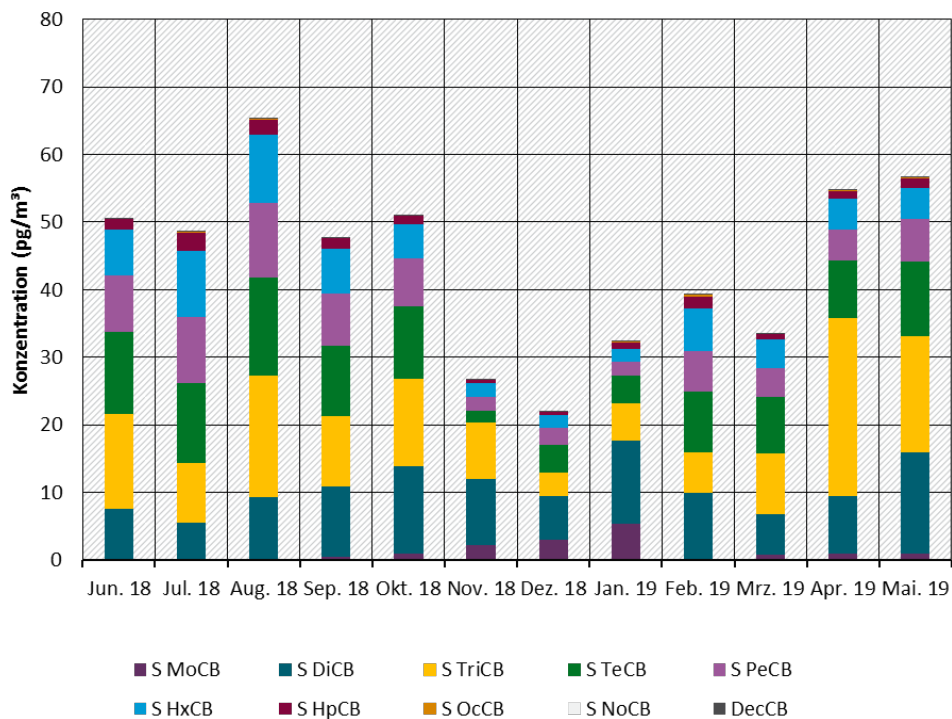
	berichtete Werte	Region	Referenz
MoCB bis DecCB (Mittelwert)	Ca. 50 pg/m ³	Schmücke, Waldhof, Hintergrund, Deutschland, 2018 bis 2019	diese Studie
TriCB bis DecCB (Mittelwert)	68 – 880 pg/m ³	Nordrhein-Westfalen, ländlicher und städtischer Raum Deutschland, 2019	LANUV 2020
MoCB bis DecCB (Mittelwert)	142 pg/m ³	Iowa City, städtischer Raum, USA, 2017	Herkert et al. 2018
MoCB bis DecCB (Mittelwert)	835 pg/m ³	Chicago, städtischer Raum, USA, 2007	Hu et al. 2008

Abbildung 17: Konzentrationen der PCB-Homologengruppensummen (pg/m³), UBA-Messtation Waldhof



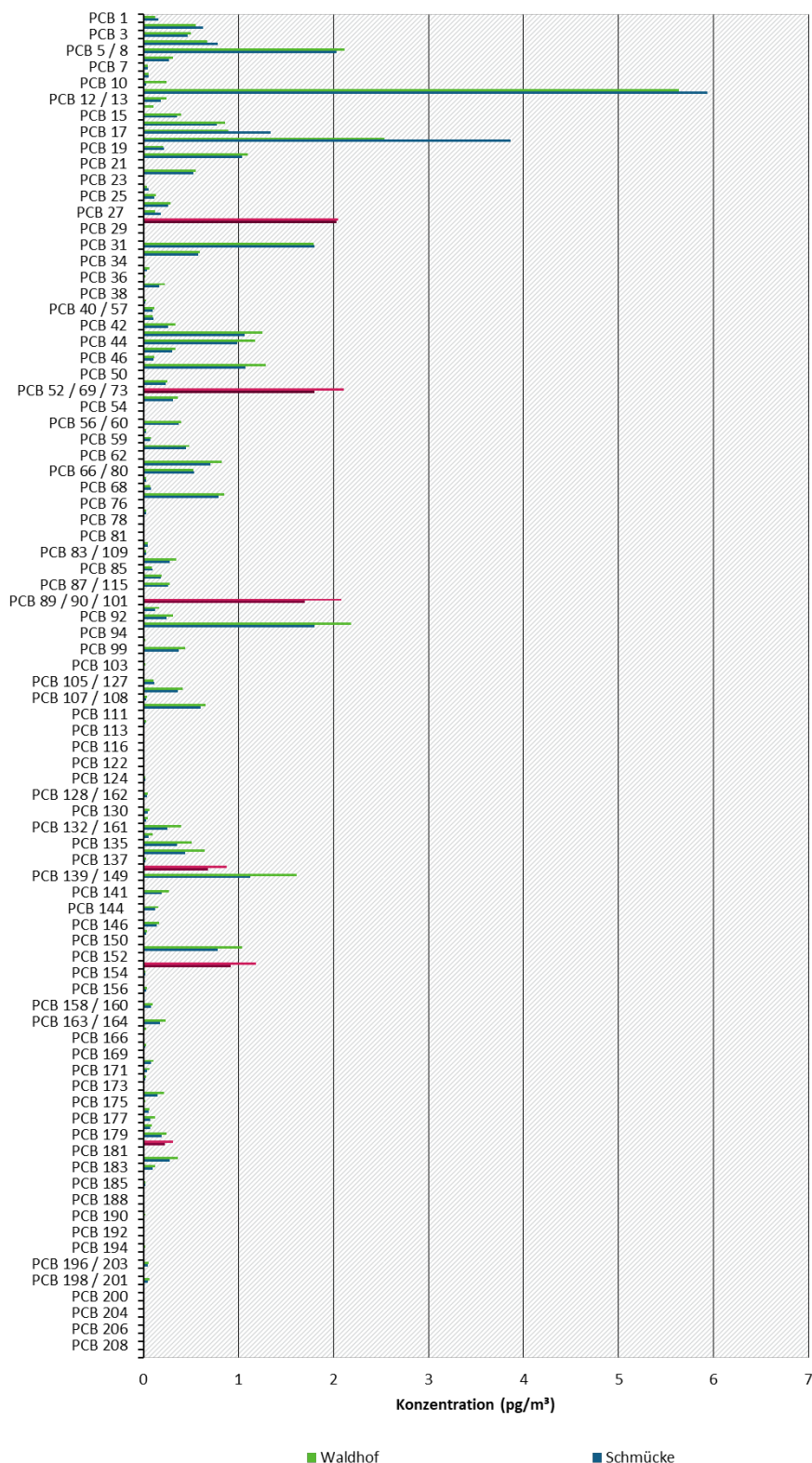
Analytische Störungen der niederchlorierten PCB der Probe Waldhof-Dez. 2018 führen zu Minderbefunden der betroffenen Homologengruppensummen. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 18: Konzentrationen der PCB-Homologengruppensummen (pg/m³), UBA-Messtation Schmücke



Analytische Störungen der niederchlorierten PCB der Proben Schmücke-Dez. 2018 und -Feb. 2019 führen zu Minderbefunden der betroffenen Homologengruppensummen. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 19: Mittlere Konzentrationen der 209 PCB (pg/m³), UBA-Messstationen Waldhof und Schmücke



Aufsteigende Reihenfolgen der PCB, nur jedes zweite PCB ist namentlich genannt. i-PCB sind in Rottönen (hell: Waldhof, dunkel: Schmücke) gekennzeichnet. Die Proben Waldhof-Dezember, Schmücke-Dezember und Schmücke-Februar sind aufgrund von analytischen Störungen bei den niederchlorierten PCB in der Mittelwertbildung nicht enthalten. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Die Dominanz von PCB 11 wurde auch für andere Außenluftproben berichtet ($11 \pm 9 \text{ pg/m}^3$ (Herkert et al. 2018); im Mittel 24 pg/m^3 (Hu et al. 2008)). Vorkamp (2016) zeigt in ihrem zusammenfassenden Artikel die ubiquitäre Verbreitung von PCB 11 mit Konzentrationen von 0.4 bis 31 pg/m^3 bzw. bis im Mittel 60 pg/m^3 in der Antarktis, 9 pg/m^3 in Svalbard (Arktis), $<BG$ bis 54 pg/m^3 für den ländlichen Hintergrund in den USA und 2 bis 307 pg/m^3 für urbane Gebiete in Italien, USA und Japan.

Quellen für PCB sind v.a. technische PCB-Gemische (z.B. Arochlor-Mischungen). Weitere Quellen sind Pigmente, Industriechemikalien, Pestizide, Verbrennungsprozesse oder der Abbau von Quellen technischer Mischungen. Für die in diesem Vorhaben neben den i-PCB bedeutsamen PCB in Außenluft kommen neben den technischen Mischungen v.a. diverse Farbpigmente sowie die Silikonkautschukproduktion (v.a. PCB 47), Löschschäume (PCB 20, PCB 33, PCB 95), Thermoplastik (PCB 5, PCB 8, PCB 18), Herbizidproduktion oder -verwendung (PCB 47, PCB 48) oder Asphalttaft- bzw. -trennmittel als Quelle in Frage (Hu et al. 2008, Anezaki et al. 2015, Vorkamp 2016, Megson et al. 2019; Anhang A9).

3.1.5 Profile der i-PCB, WHO-PCB und der PCB-Homologengruppensummen in der Außenluft

Die über den Untersuchungszeitraum Juni 2018 bis Mai 2019 gemittelten PCB-Kongeneren- und Homologengruppensummenprofile sind in den Abbildungen 20 und 22 dargestellt. Die i-PCB haben einen Anteil an der Summe aller PCB von 17 % (Waldhof) bzw. 15 % (Schmücke). Die dl-PCB haben einen Anteil an der Summe aller PCB von 1,3 % (Waldhof) bzw. 1,2 % (Schmücke).

In den i-PCB-Profilen (Abbildung 20) wurden die höchsten mittleren Kongenerenanteile mit ca. 26 % (Waldhof) bzw. 30 % (Schmücke) für PCB 28 erreicht gefolgt von PCB 52 (ca. 25 % bzw. 24 %; Coelution mit PCB 69 und PCB 73) und PCB 101 (ca. 23 % bzw. 22 %; Coelution mit PCB 89 und PCB 90). Die geringsten prozentualen Anteile wurden für PCB 180 (ca. 3,6 % bzw. 3,4 %) verzeichnet. Diese Befunde entsprechen den von Quass et al. (2016) publizierten Profilen für ländliche und ländlich stadtnahe Standorte vor 2010 in Niedersachsen und Hessen sowie denen der EMEP-Messstationen Košetice und Birkenes aus dem Jahr 2018 (EMEP 2020). Bei der arktischen Messstation Zeppelin (Spitzbergen, Norwegen) ist eine deutliche Verschiebung zum flüchtigeren PCB 28 (48 %) erkennbar (EMEP 2020). Abweichungen gibt es auch zu bayrischen Messorten im Zeitraum 1993 bis 2003 sowie den UBA-Messstationen im Zeitraum 2007 bis 2011, bei denen geringere Anteile der niederchlorierten i-PCB und höhere Anteile der höherchlorierten i-PCB ausgewiesen wurden (Quass et al. 2016).

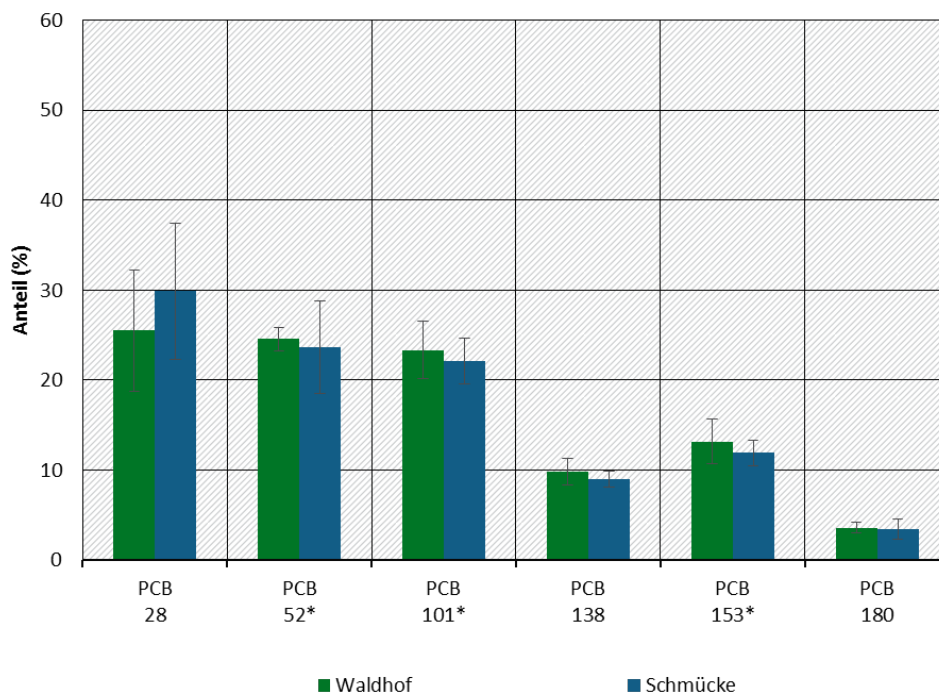
In den dl-PCB-Profilen (Abbildung 21) wurden die höchsten mittleren Kongenerenanteile für das PCB 118 erreicht (ca. 63 bzw. 61 %; Coelution mit PCB 106) gefolgt von PCB 105 (17 % bzw. 19 %; Coelution mit PCB 127). Die Anteile von PCB 77, PCB 156 und PCB 167 lagen zwischen 3,8 und 6,2 %, die der weiteren dl-PCB unter 1,5 %. Von Quass et al. (2016) berichtete mediane dl-PCB-Profil von Daten der Ländermessnetze Bayerns und Niedersachsens vor 2010 weisen ebenfalls eine deutliche Dominanz von PCB 118 und erhöhte Anteile von PCB 105 (>10 %), PCB 77, PCB 156 und PCB 167 auf. Die Anteile weiterer dl-PCB liegen meist unter 1 %. Das mittlere dl-PCB-Profil der EMEP-Messstation Birkenes II der Jahre 2010 bis 2012 hat Anteile von PCB 118 von 57 %, PCB 105 (16 %), PCB 77 (8%) und weiteren dl-PCB (0,7 bis 3,7 %; EMEP 2020).

Die Homologengruppensummenprofile (Abbildung 22) der Messstationen Waldhof und Schmücke sind durch hohe Standardabweichungen der Mittelwerte gekennzeichnet. Höchste Anteile werden für die Trichlorbiphenyle (ca. 22 % bzw. 27 %), Tetrachlorbiphenyle (ca. 22 % bzw. 19 %) und Dichlorbiphenyle (ca. 19 % bzw. 22 %) erreicht. Die Anteile der Penta- und Hexachlorbiphenyle liegen zwischen ca. 10 % und 15 %, die der weiteren PCB-

Homologengruppensummen unter 4 % (Mono- und Heptachlorbiphenyle) bzw. unter 0,5 % (Octa- bis Decachlorbiphenyle). Dabei ist zu beachten, dass die Anzahl der Isomere pro Homologengruppe stark variiert (1 Isomer bei Decachlorbiphenyl bis 46 Isomere bei Pentachlorbiphenyl).

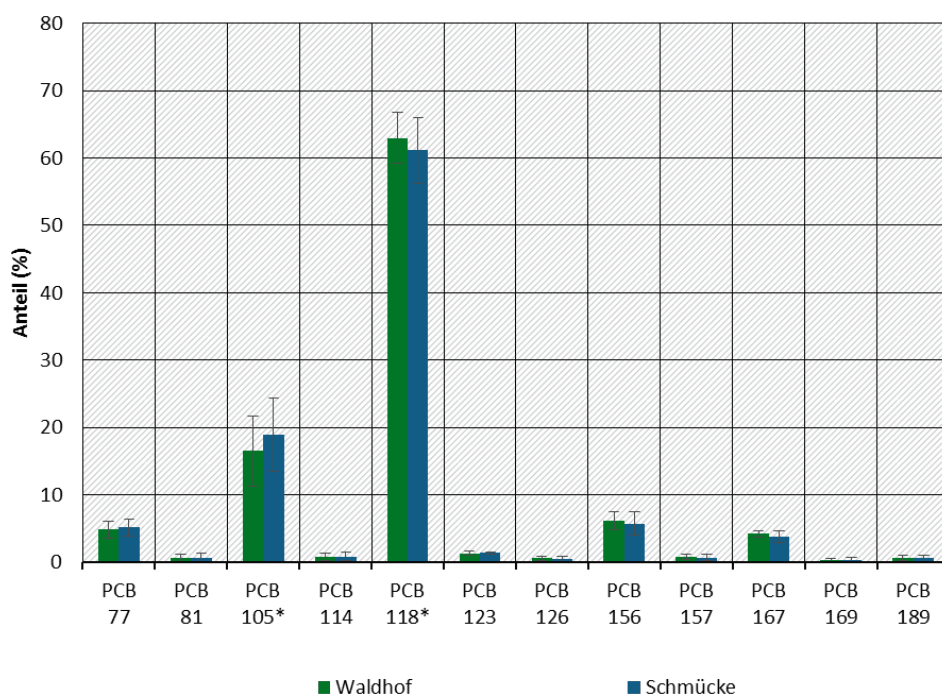
Die Sommer- bzw. Winterprofile der PCB sind sich relativ ähnlich. Über den Untersuchungszeitraum dieses Vorhabens ist z.T. eine leichte, nicht signifikante saisonale Verschiebung der Profilanteile einzelner Verbindungen erkennbar (Abbildungen Anhang 8). In den i-PCB-Profilen ist der mittlere Anteil von PCB 28 im Winter höher als im Sommer. An der Messstation Waldhof deutet sich im Winter eine Erhöhung des PCB 52-Anteils, auf der Schmücke eine Erhöhung des PCB 180-Anteils an. Die mittleren Anteile der anderen i-PCB sinken leicht. In den dl-PCB-Profilen ist an beiden Messstationen eine Verringerung des mittleren PCB 105-Anteils im Winter zu sehen. An der Messstation Schmücke sinkt der PCB 118-Anteil in den Wintermonaten während er für Waldhof steigt. Die Anteile der weiteren dl-PCB steigen zumeist, am deutlichsten für PCB 156. In den Homologengruppensummenprofilen steigen die mittleren Anteile der Mono- und Dichlorbiphenyle bei beiden Messstationen in den Wintermonaten deutlich an, während die der Tetra- bis Heptachlorbiphenyle sinken. An der Messstation Schmücke sinkt auch der mittlere Anteil der Trichlorbiphenyle. Hierbei sind Verzerrungen durch analytische Störungen (Abschnitt 2.3.1) oder saisonal bedingtes Durchbruchverhalten während der Probenahme möglich.

Abbildung 20: i-PCB-Profile (Jahresmittelwerte, Standardabweichungen)



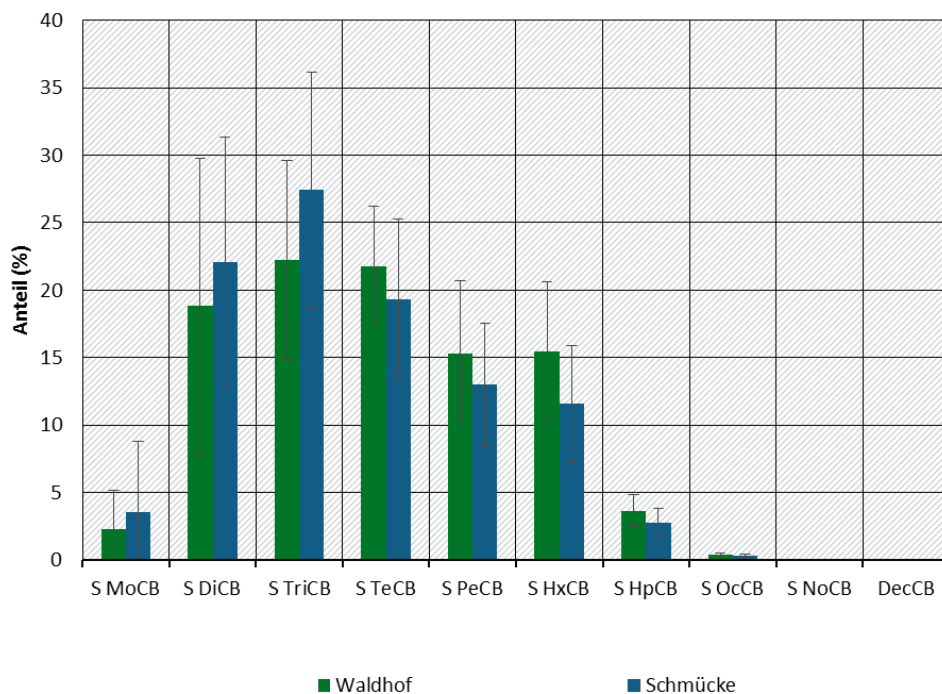
* Coelution. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 21: dl-PCB-Profile (Jahresmittelwerte, Standardabweichungen)



* Coelution. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 22: PCB-Homologengruppensummenprofile (Jahresmittelwerte, Standardabweichungen)



Die Proben Waldhof-Dezember, Schmücke-Dezember und Schmücke-Februar sind aufgrund von analytischen Störungen bei den niederchlorierten PCB in der Mittelwertbildung nicht enthalten. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

3.2 Deposition

3.2.1 TEQ-Werte für PCDD/F und PCB in der Deposition

An den UBA-Messstationen Waldhof und Schmücke wurden die 2,3,7,8-substituierten PCDD/F und PCB in der Deposition nur selten oberhalb der Bestimmungsgrenzen gefunden (Abschnitte 2.2.2, 3.2.4, Anhang A6). Dies limitiert die Interpretations- und Vergleichsmöglichkeiten und wirkt sich auch auf die Betrachtungen der TEQ-Werte aus, die deutlich durch die geringen Quantifizierungshäufigkeiten der Einzelanalyte bzw. deren analytischen Bestimmungsgrenzen beeinflusst wurden. Es ist daher davon auszugehen, dass die Depositionsdaten mit einer deutlich erhöhten Messunsicherheit versehen sind.

Tabelle 19 zeigt die über den zwölfmonatigen Untersuchungszeitraum gemittelten TEQ-Werte nach WHO 2005 (Van den Berg et al. 2006) für PCDD/F und PCB in der Deposition an den Hintergrundmessstationen Waldhof und Schmücke. Die Jahresmittelwerte der TEQ-Depositionen lagen deutlich unter 1 pg WHO₂₀₀₅-TEQ/m²d. Damit sind die ermittelten Werte auch deutlich geringer als der Zielwert für die langfristige Luftreinhalteplanung von 4 pg WHO-TEQ/m²d für die Summe der PCDD/F und coplanaren PCB (LAI 2004). In Abhängigkeit der Einbeziehung der Bestimmungsgrenze erreichen die PCB TEQ-Werte zwischen 1 und 70 % der PCDD/F-TEQ Werte.

Tabelle 19: Mittlere TEQ-Depositionen der PCDD/F und PCB nach WHO 2005 (pg TEQ/m²d)

	Waldhof (pg TEQ/m ² d)	Schmücke (pg TEQ/m ² d)
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F TEQ exkl. BG	0,05	0,15
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F TEQ inkl. 1/2 BG	0,20	0,36
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F TEQ inkl. BG	0,35	0,57
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ exkl. BG	0,002	0,001
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ inkl. 1/2 BG	0,15	0,17
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ inkl. BG	0,30	0,35
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ exkl. BG	0,06	0,15
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ inkl. 1/2 BG	0,34	0,54
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ inkl. BG	0,63	0,92

Messzeitraum Waldhof: Juni 2018 bis November 2018, Januar 2019 bis Juni 2019; Messzeitraum Schmücke: Juni 2018 bis Mai 2019

Die Jahresmittelwerte der TEQ-Konzentrationen an den Messstellen Schmücke und Waldhof liegen leicht unterhalb des von Quass et al. (2016) auf Grundlage der von Bund und Ländern verfügbaren Immissionsdaten angegebenen Bereiches für quellenferne deutsche Messstationen von 0,65 bis 1,6 pg WHO₂₀₀₅-TEQ/m²d für PCDD/F bzw. 0,27 bis 0,57 pg WHO₂₀₀₅-TEQ/m²d für dl-PCB (Tabelle 20). Die Werte liegen unterhalb der für Melpitz berichteten TEQ-Mittelwerte für PCDD/F- und PCB-Messungen im Zeitraum Februar bis Juli 2019 (Ortsmitte sowie Ortsrand (Hintergrund): 2,6 pg WHO₂₀₀₅-TEQ inkl. BG/m²d) (Heinz 2020) und unterhalb der für Nordrhein-Westfalen publizierten Werte aus dem Jahr 2019 (2,3 bis 35 pg WHO₂₀₀₅-TEQ/m²d; LANUV 2020). Die TEQ-Mittelwerte für die PCDD/F liegen ebenfalls unterhalb der für die Messstation Zugspitze/Schneefernerhaus im Messzeitraum 2005 bis 2018 (Median 0,8 WHO₂₀₀₅-TEQ/m²d; Kirchner et al. 2020).

Tabelle 20: Mittlere TEQ-Deposition der PCDD/F und PCB im Vergleich zu publizierten Werten

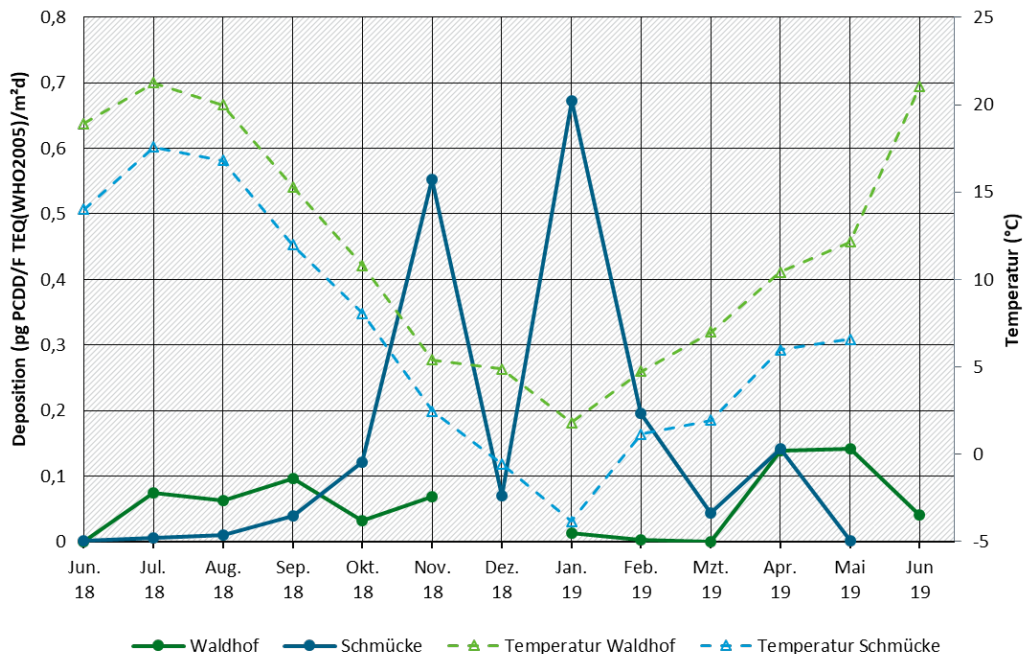
	berichtete Werte	Region	Referenz
PCDD/F (Mittelwert inkl. ½ BG)	0,20 bzw. 0,36 pg WHO ₂₀₀₅ -TEQ/m ² d	Waldhof, Schmücke, Hintergrund, Deutschland, 2018 bis 2019	diese Studie
dl-PCB (Mittelwert inkl. ½ BG)	0,15 bzw. 0,17 pg WHO ₂₀₀₅ -TEQ/m ² d	Waldhof, Schmücke, Hintergrund, Deutschland, 2018 bis 2019	diese Studie
PCDD/F	0,65 - 1,6 pg WHO ₂₀₀₅ -TEQ/m ² d	Ländlicher Raum, Deutschland	Quass et al. 2016
PCDD/F	0,75 - 4,0 pg WHO ₂₀₀₅ -TEQ/m ² d	städtischer Raum, Deutschland	Quass et al. 2016
dl-PCB	0,27 - 0,57 pg WHO ₂₀₀₅ -TEQ/m ² d	ländlicher Raum, Deutschland	Quass et al. 2016
dl-PCB	0,3 - 2,6 pg WHO ₂₀₀₅ -TEQ/m ² d	städtischer Raum, Deutschland	Quass et al. 2016
PCDD/F + dl-PCB	2,3 - 35 pg WHO ₂₀₀₅ -TEQ/m ² d	Nordrhein-Westfalen, ländlicher und städtischer Raum, Deutschland, 2019	LANUV 2020
PCDD/F (Median)	0,8 pg WHO ₂₀₀₅ -TEQ/m ² d	Zugspitze, Hintergrund, 2005 bis 2019	Kirchner et al. 2020
PCDD/F+dl-PCB (Mittelwert)	2,6 pg WHO ₂₀₀₅ -TEQ/m ² d	Melpitz, ländlicher Raum, Deutschland, 2019	Heinz 2020

Die TEQ-Monatswerte der PCDD/F+PCB Depositionen exkl. BG (Abbildung 23) lagen im Untersuchungszeitraum zwischen 0 und 0,14 pg WHO₂₀₀₅-TEQ/m²d (Waldhof) bzw. zwischen 0 und 0,67 fg WHO₂₀₀₅-TEQ/m²d (Schmücke). Schwankungen der TEQ-Depositionen gehen vor allem auf die Depositionsschwankungen der PCDD/F zurück.

Ein jahreszeitlicher Verlauf der TEQ-Werte mit höheren Werten in den Wintermonaten wie bei den Außenluftkonzentrationen oder wie in der Deposition an der Messstation Zugspitze/Schneefernerhaus ist in der Deposition an den untersuchten UBA-Messstationen nicht eindeutig ausgeprägt, deutet sich auf der Schmücke jedoch an. Während die TEQ-Depositionsraten in den Sommermonaten an den Messstationen Waldhof und Schmücke ähnlich

hoch sind, differieren sie in den Wintermonaten mit einzelnen höheren Werten für Schmücke als für Waldhof. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen in der Außenluft, bei denen höhere Winterkonzentrationen an der Messstation Waldhof zu verzeichnen waren. Eine Beeinflussung dieses Ergebnisses durch die Quantifizierungen im Bereich der Bestimmungsgrenzen ist nicht auszuschließen.

Abbildung 23: Monatswerte der PCDD/F+PCB TEQ Depositionen nach WHO2005 exkl. BG (fg/m³) sowie der Temperatur



Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co. Quelle Temperatur: Stundenwerte der Messstationen Waldhof und Schmücke, Datenübermittlung des Umweltbundesamts per E-Mail (05.05.2020 und 12.06.2020) (UBA 2020). Deposition der 17 PCDD/F-Kongeneren und der PCDD/F-Homologengruppensummen

In den Tabellen 21 und 22 sind die über den Untersuchungszeitraum gemittelten Depositionsraten der 2,3,7,8-substituierten PCDD/F-Kongeneren und -Homologengruppensummen dargestellt. In der Deposition wurden überwiegend (d.h. in mehr als 50 % der Proben) nur die Kongenere Octachlordibenzodioxin, 1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzodioxin und 1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzofuran quantifiziert, vereinzelt auch weitere 2,3,7,8-substituierte PCDD/F-Kongenere (überwiegend PCDF). Die mittleren Depositionen der 17 Einzelkongeneren, der Summe der 17 Einzelkongeneren (Waldhof: 6 pg/m²d, Schmücke: 13 pg/m²d) sowie der PCDD/F-Homologensummen (Waldhof: 11 pg/m²d, Schmücke: 19 pg/m²d) waren an der Messstation Waldhof geringer als an der Messstation Schmücke. Die höchsten mittleren Kongenerendepositionsraten wurden für Octachlordibenzodioxin erreicht (2,7 pg/m²d bzw. 6,7 pg/m²d). Bei den Homologengruppensummen waren die höchsten Werte für Octachlordibenzodioxin (s.o.) gefolgt von den Tetrachlordibenzofuranen (1,6 pg/m²d bzw. 1,7 pg/m²d) und Octachlordibenzofuran (1,5 pg/m²d bzw. 1,0 pg/m²d) zu finden.

Die in diesem Vorhaben bestimmten Depositionsraten der 17 PCDD/F-Kongeneren bzw. Homologensummen sind geringer als die für die alpine Messstation Schneefernerhaus/Zugspitze berichteten Werte zwischen 2005 und 2018 (Summe Mediane 17 PCDD/F: ca. 53 pg/m²d, Summe PCDD/F: 72 pg/m²d; Kirchner et al. 2020). Sie liegen leicht unterhalb der mittleren Depositionsraten im Zeitraum Februar bis Juli 2019 in Melpitz (Ortsmitte: OcD ca. 12 pg/m²d,

HpD1 ca. 3,5 pg/m²d; Heinz 2020) und unterhalb der 2019-Werte in Nordrhein-Westfalen (Summe 17 PCDD/F: 196 bis 625 pg/m²d, Summe PCDD/F: 300 bis 1100 pg/m²d; LANUV 2020).

Im jahreszeitlichen Verlauf der Depositionsraten der 17 PCDD/F-Kongenere und PCDD/F-Homologengruppensummen (Abbildungen 24 bis 27) deuten sich nur an der Messstation Schmücke höhere Werte im Winter als im Sommer an, was publizierten Jahresverläufen in der Deposition entspricht (Kirchner et al. 2011).

Tabelle 21: Bestimmungshäufigkeiten, mittlere Depositionen und Standardabweichungen der 17 PCDD/F, Messstationen Waldhof und Schmücke

	Waldhof			Schmücke		
	Häufigkeit Bestimmung	mittlere Deposition (pg/m ² d)	Standard-abweichung (pg/m ² d)	Häufigkeit Bestimmung	mittlere Deposition (pg/m ² d)	Standard-abweichung (pg/m ² d)
TeD1	0%	< 0,1	0,0	0%	< 0,1	0,0
PeD1	0%	< 0,1	0,0	17%	< 0,1	0,1
HxD1	0%	< 0,1	0,1	17%	0,1	0,1
HxD2	17%	< 0,1	0,1	42%	0,2	0,1
HxD3	0%	< 0,1	0,1	42%	0,2	0,1
HpD1	58%	< 0,8	0,5	67%	2,2	2,0
OcD	58%	2,7	1,6	75%	6,7	5,0
TeF1	42%	0,1	0,1	25%	0,1	0,1
PeF1	25%	< 0,1	0,1	25%	0,1	0,1
PeF2	42%	0,1	0,0	25%	0,2	0,1
HxF1	8%	< 0,2	0,1	25%	< 0,2	0,2
HxF2	42%	< 0,1	0,1	50%	0,2	0,1
HxF3	8%	< 0,1	0,0	8%	0,1	0,1
HxF4	33%	< 0,1	0,1	33%	0,2	0,2
HpF1	83%	0,5	0,4	83%	0,9	1,0
HpF2	0%	< 0,3	0,1	17%	< 0,3	0,2
OcF	42%	1,5	3,7	42%	1,0	1,8

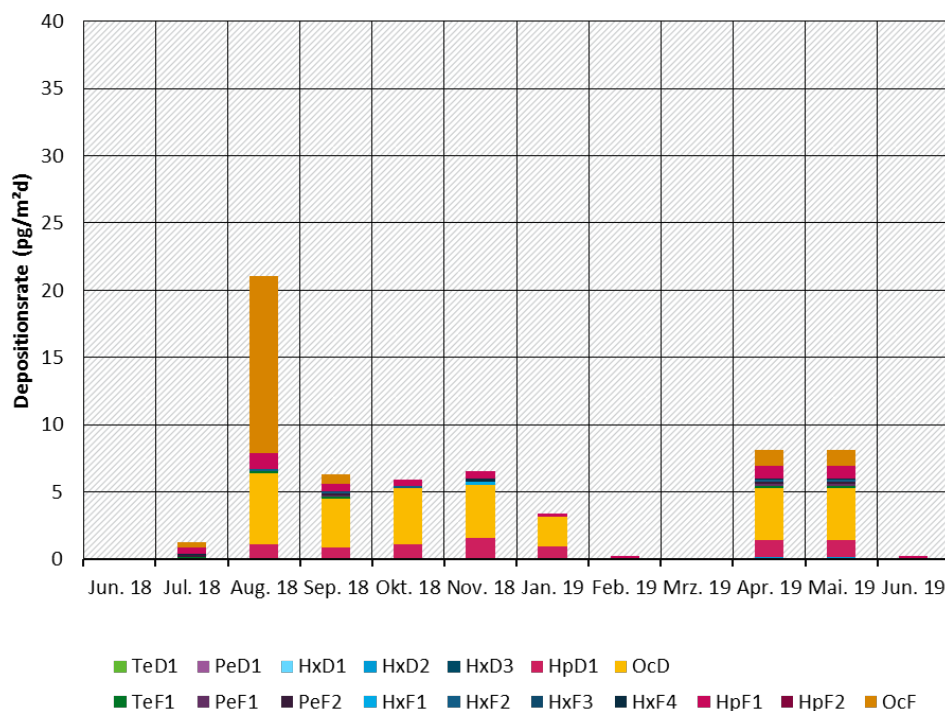
Tabelle 22: Bestimmungshäufigkeiten, mittlere Depositionen und Standardabweichung der PCDD/F-Homologengruppensummen, Messstationen Waldhof und Schmücke

	Waldhof			Schmücke		
	Häufigkeit Bestimmung	mittlere Deposition (pg/m²d)	Standard-abweichung (pg/m²d)	Häufigkeit Bestimmung	mittlere Deposition (pg/m²d)	Standard-abweichung (pg/m²d)
S TeD	83%	0,7	0,5	58%	0,4	0,4
S PeD	42%	0,2	0,2	33%	0,4	0,6
S HxD	50%	0,6	0,7	75%	1,6	1,5
S HpD	83%	1,4	0,9	75%	3,9	3,5
OcD	58%	2,7	1,6	75%	6,7	5,0
S TeF	83%	1,6	1,3	83%	1,7	1,6
S PeF	67%	0,8	0,8	58%	0,9	1,4
S HxF	67%	0,5	0,5	67%	1,1	1,3
S HpF	92%	0,7	0,6	75%	1,1	1,4
OcF	33%	1,5	3,7	33%	1,0	1,8

Tabelle 23: Mittlere Deposition der Summe der PCDD/F im Vergleich zu publizierten Werten

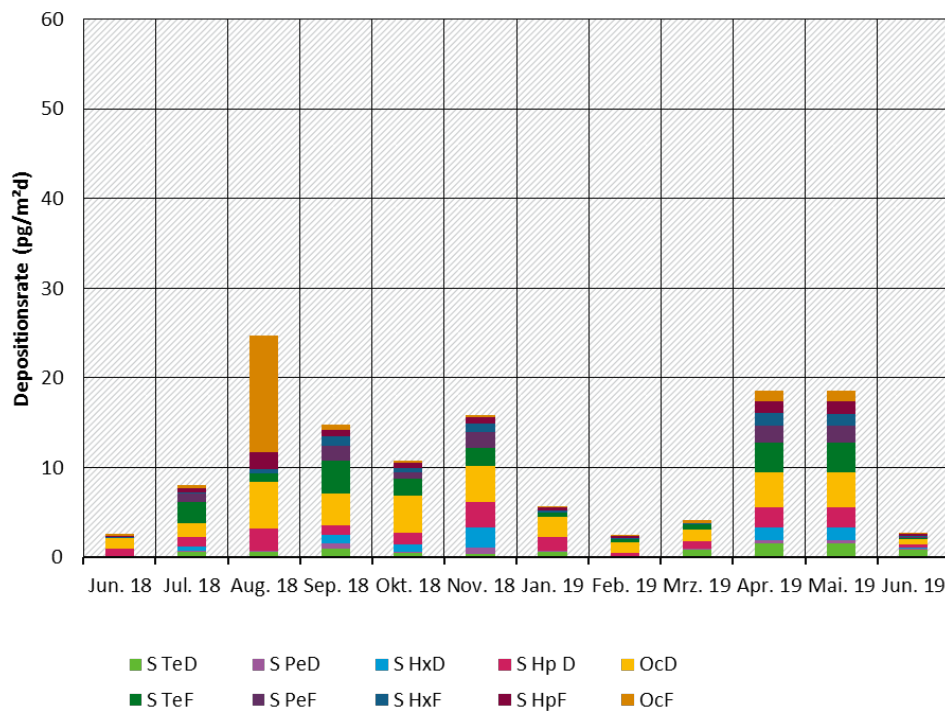
	berichtete Werte	Region	Referenz
17 PCDD/F (Mittelwert)	6 bzw. 13 pg/m²d	Waldhof, Schmücke, Hintergrund, Deutschland, 2018 bis 2019	diese Studie
S TeD/F bis OcD/F (Mittelwert)	11 bzw. 19 pg/m²d	Waldhof, Schmücke, Hintergrund, Deutschland, 2018 bis 2019	diese Studie
17 PCDD/F (Mittelwert)	196 - 625 pg/m²d	Nordrhein-Westfalen, ländlicher und städtischer Raum, Deutschland, 2019	LANUV 2020
17 PCDD/F (aufsummierte Mediane)	ca. 53 pg/m²d	Zugspitze, Hintergrund, 2005 bis 2018	Kirchner et al. 2020
OcD; HpD1	ca. 12 bzw. 3,5 pg/m²d	Melpitz, ländlicher Raum, Deutschland, 2019	Heinz 2020
S TeD/F bis OcD/F (Mittelwert)	300 - 1100 pg/m²d	Nordrhein-Westfalen, ländlicher und städtischer Raum, Deutschland, 2019	LANUV 2020
S TeD/F bis OcD/F (Median)	72 pg/m²d	Zugspitze, Hintergrund, 2005 bis 2018	Kirchner et al. 2020

Abbildung 24: Depositionsraten der 17 PCDD/F-Kongeneren (pg/m²d), Messstation Waldhof



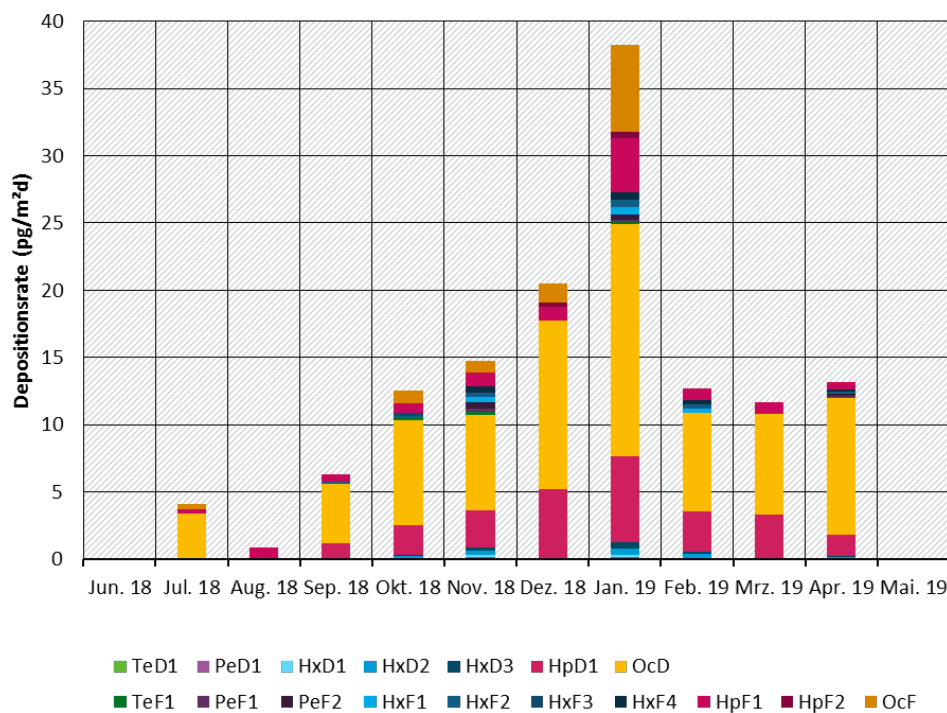
* Werte < BG sind nicht in der Graphik enthalten. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 25: Depositionsraten der PCDD/F-Homologengruppensummen (pg/m²d), Messstation Waldhof



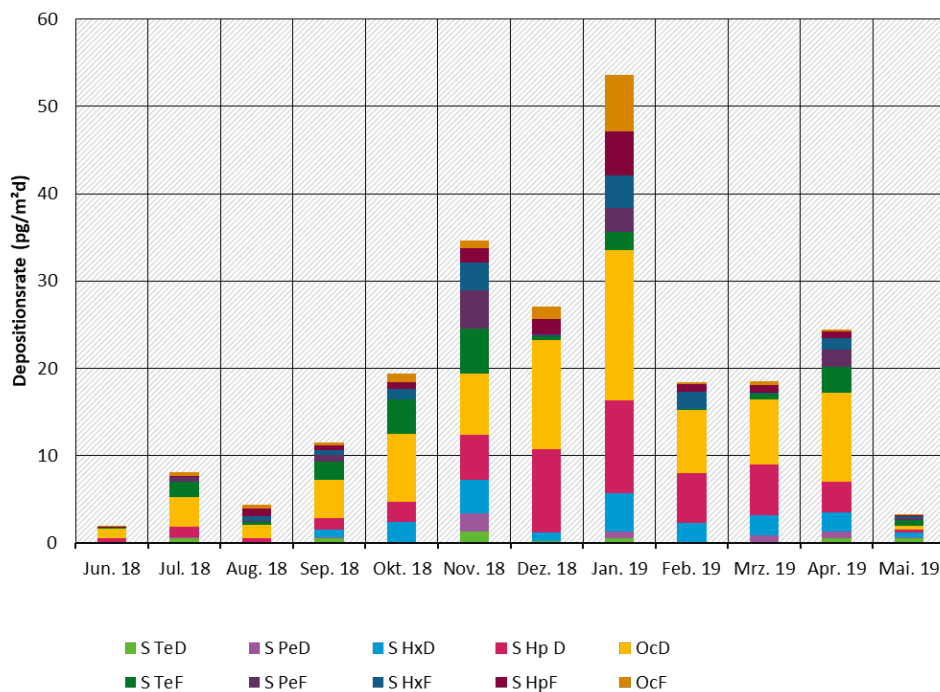
* Werte < BG sind nicht in der Graphik enthalten. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 26: Depositionsraten der 17 PCDD/F-Kongeneren (pg/m²d), Messstation Schmücke



* Werte < BG sind nicht in der Graphik enthalten. Eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 27: Depositionsraten der PCDD/F-Homologengruppensummen (pg/m²d), Messstation Schmücke



* Werte < BG sind nicht in der Graphik enthalten. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

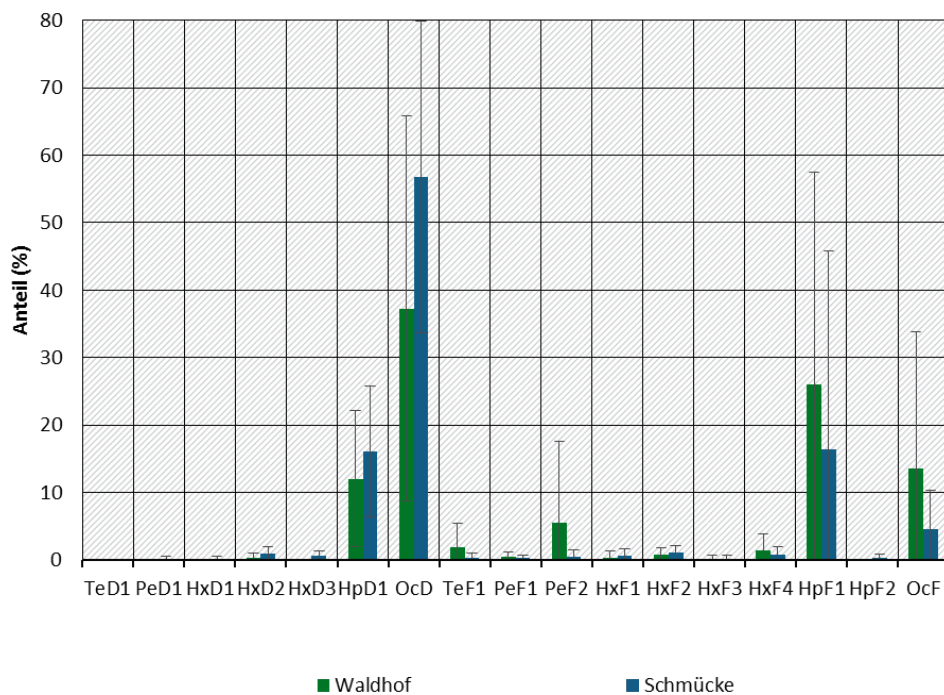
3.2.2 Profile der 17 PCDD/F-Kongenere und der Homologengruppensummen in der Deposition

Die über den zwölfmonatigen Untersuchungszeitraum gemittelten PCDD/F-Kongeneren- und Homologengruppensummenprofile der Deposition sind in den Abbildungen 28 und 29 dargestellt. Die hohen Standardabweichungen der Mittelwerte zeigen den großen Schwankungsbereich der prozentualen Anteile, der durch die geringen Quantifizierungshäufigkeiten sowie die Quantifizierungen nahe der Bestimmungsgrenzen bedingt ist. Ein klares mittleres Profil erscheint daher nicht ableitbar.

Die 2,3,7,8-substituierten PCDD/F-Kongenere machen im Mittel ca. 61 % (Waldhof) bzw. 68 % (Schmücke) der Summe aller Tetra-bis Octa-PCDD/F aus. Ca. 60 % (Waldhof) bis 75 % (Schmücke) der 17 PCDD/F entfallen unter den gegebenen Quantifizierungsbedingungen auf die 7 PCDD und ca. 25 % bis 40 % auf die PCDF. Der Anteil der Tetra-bis Octachlordioxin-Homologensummen an der Summe aller Tetra-bis Octa-PCDD/F liegt bei 53 % (Waldhof) bzw. 75 % (Schmücke). Die höchsten mittleren Kongenerenanteile wurden mit z.T. deutlich mehr als 30 % für Octachlordibenzodioxin erreicht gefolgt von 1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzodioxin, 1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzofuran und Octachlordibenzofuran (meist je deutlich über 10 %). Die Dominanz des Octachlordibenzodioxins (30 % bzw. 37 %) zeigt sich auch im mittleren Homologengruppensummenprofil der UBA Standorte (Abbildung 29). Die Heptachlordibenzodioxine und Tetrachlordibenzofurane machen je über 10 % der Profile aus. Aufgrund der großen Schwankungen ist eine saisonal bedingte Verschiebung in den Kongeneren- oder Homologengruppensummenprofilen nicht beschreibbar.

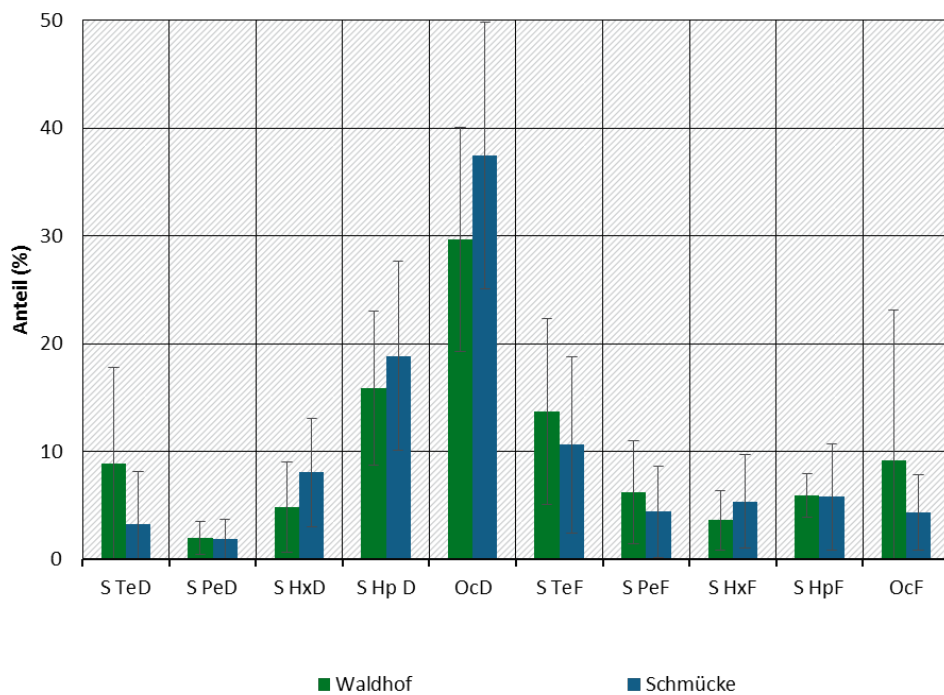
Für die Depositionen konnte Quass et al. (2016) aufgrund der als unzureichend eingeordneten Datenübertragbarkeit statistisch keine Hintergrundreferenzprofile ableiten. Für die einzelnen Standorte ist aber auch hier eine Dominanz der oben genannten Verbindungen in ähnlicher Weise erkennbar. Für die Messstation Zugspitze/Schneefernerhaus zeigen sich für den Zeitraum 2005 bis 2018 im Mittel ebenfalls höhere prozentuale Anteile der Hepta- und Octadioxine (jeweils ca. 22 % bis 42 %; Kirchner et al. 2020). Die Anteile aller anderen Homologengruppensummen liegen jedoch übergreifend unter 12 %.

Abbildung 28: PCDD/F-Kongenerenprofile in der Deposition (Jahresmittelwerte, Standardabweichungen)



Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 29: PCDD/F-Homologengruppensummenprofile (Jahresmittelwerte, Standardabweichungen)



Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

3.2.3 Deposition der i-PCB, WHO-PCB und der PCB-Homologengruppensummen

In den nachfolgenden Tabellen und Abbildungen sind die über den Untersuchungszeitraum Juni 2018 bis Mai 2019 gemittelten Depositionsraten der i-PCB, dl-PCB und der PCB-Homologengruppensummen an den Messstationen Waldhof und Schmücke aufgeführt. Ebenso wie für die PCDD/F in der Deposition fallen die Depositionsraten der PCB im Vergleich zu den Bestimmungsgrenzen sehr gering aus. Die Ergebnisse sind daher durch geringe Quantifizierungshäufigkeiten oder Werte nahe der Bestimmungsgrenze gekennzeichnet, die Verläufe oder Profile verzerren.

Die mittleren Depositionsraten der 6 i-PCB (Tabelle 24) liegen meist unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Die jahreszeitlichen Verläufe sind dementsprechend lückenhaft, was dazu führt, dass an der Messstation Waldhof nur der Mittelwert von PCB 180, an der Messstelle Schmücke nur die Mittelwerte von PCB 138, PCB 153 und PCB 180 knapp oberhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenzen lagen. Im Verlauf ist erkennbar, dass die Quantifizierungshäufigkeiten in den Sommermonaten höher sind, was auch in der Deposition auf den schon für die Immission beschriebenen typischen saisonalen Verlauf mit höheren Werten im Sommer deuten lässt.

Im Luftmessnetz des UBA werden an einigen Messstationen, u.a. an der Station Waldhof, routinemäßig neben anderen persistenten organischen Schadstoffen i-PCB mittels Wet-Only-Depositionssammlern als Monatsmittel erfasst. Auch diese Messreihen weisen geringe Quantifizierungshäufigkeiten auf. In den Monatsproben mit Werten oberhalb der Bestimmungsgrenzen sind v.a. in den Sommermonaten Unterschiede erkennbar, wobei mit dem in diesem Vorhaben verwendeten Bergerhoff-Verfahren höhere Depositionsraten ermittelt wurden. Dies lässt vermuten, dass ein nicht unerheblicher Teil der i-PCB-Deposition über die trockene Deposition eingetragen werden kann, die mit Wet-Only-Sammlern nicht erfasst wird. Ermittelte Unterschiede wären demnach technikbedingt.

Die in diesem Vorhaben bestimmten i-PCB-Depositionsraten liegen in der gleichen Größenordnung wie mittlere Depositionsraten aus dem UBA-Routinemessprogramm aus dem Jahr 2019 (Tabelle 25). Veröffentlichte Depositionsraten von EMEP-Stationen für das Jahr 2018 liegen im Mittel in der gleichen Größenordnung (Raö, Schweden: 680 pg/m²d; Pallas, Finnland: 215 pg/m²d, Werte überwiegend beeinflusst durch die Bestimmungsgrenzen) wie hier aufgeführte Werte (EMEP 2020). Für die alpine Messstation Zugspitze/Schneefernerhaus lagen die Depositionsmediane der i-PCB-Kongenere im Zeitraum Mai 2005 bis Juni 2010 bei ca. 1500 (Winter) bzw. 2200 (Sommer) pg/m²d (Kirchner et al. 2011). Aus einer Publikation von Bartlett et al. (2019) über die Deposition von PCB auf dem Lomonosovfonna, ein Gletscher auf Spitzbergen, lässt sich eine Depositionsrate der 6 i-PCB im Zeitraum 2013 bis 2014 von ca. 85 pg/m²d abschätzen. Mittlere Depositionsraten für 2019 in Nordrhein-Westfalen liegen deutlich höher bei 4,8 bis 320 ng/m²d (LANUV 2020).

Tabelle 24: Bestimmungshäufigkeiten, mittlere Depositionsraten und Standardabweichung der i-PCB, Messstationen Waldhof und Schmücke

	Waldhof			Schmücke		
	Häufigkeit Bestimmung	mittlere Deposition (pg/m ² d)	Standard-abweichung (pg/m ² d)	Häufigkeit Bestimmung	mittlere Deposition (pg/m ² d)	Standard-abweichung (pg/m ² d)
PCB 28	8%	< 254	99	8%	< 254	46

	Waldhof			Schmücke		
	Häufigkeit Bestimmung	mittlere Deposition (pg/m²d)	Standard-abweichung (pg/m²d)	Häufigkeit Bestimmung	mittlere Deposition (pg/m²d)	Standard-abweichung (pg/m²d)
PCB 52*	8%	< 157	39	0%	< 157	11
PCB 101*	33%	< 139	55	25%	< 139	49
PCB 138	42%	< 76	60	50%	103	107
PCB 153*	42%	< 104	68	42%	113	88
PCB 180	50%	46	39	58%	50	35

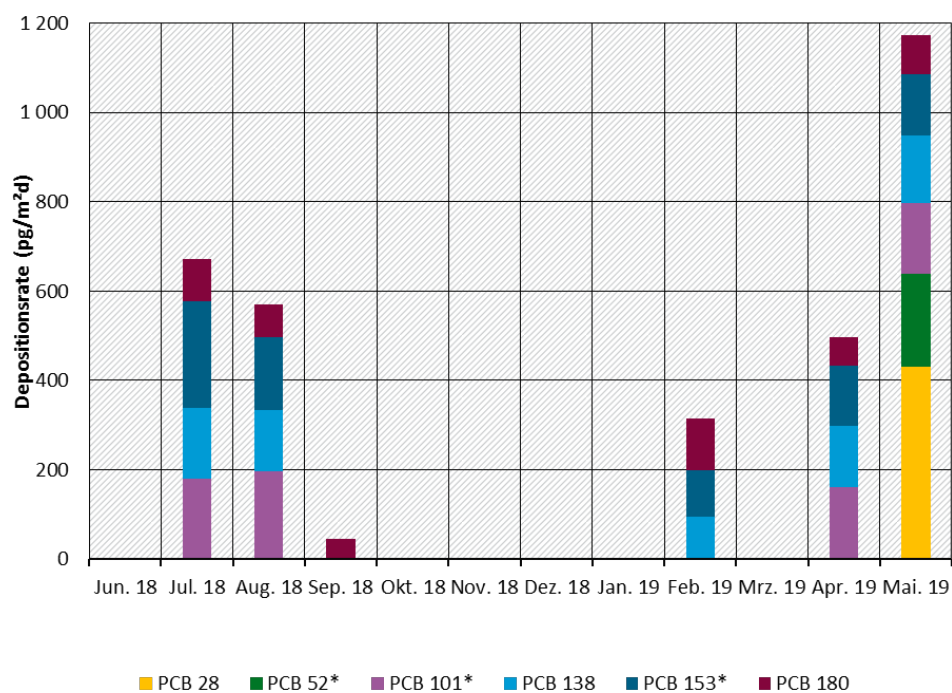
* Coelution

Tabelle 25: Mittlere Deposition der Summe der 6 i-PCB im Vergleich zu publizierten Werten

	berichtete Werte	Region	Referenz
6 i-PCB (Mittelwert)	411 bzw. 540 pg/m²d	Waldhof, Schmücke, Hintergrund, Deutschland, 2018 bis 2019	diese Studie
6 i-PCB (Mittelwert)	160 pg/m²d	UBA Messstation Zingst, Hintergrund, Deutschland, 2019	Routinemessprogramm des UBA
6 i-PCB (Mittelwert)	240 pg/m²d	UBA Messstation Westerland, Hintergrund, Deutschland, 2019	Routinemessprogramm des UBA
6 i-PCB (Mittelwert)	280 pg/m²d	UBA Messstation Waldhof, Hintergrund, Deutschland, 2019	Routinemessprogramm des UBA
6 i-PCB (Mittelwert)	4800 - 320000 pg/m²d	Nordrhein-Westfalen, ländlicher und städtischer Raum, Deutschland, 2019	LANUV 2020
6 i-PCB (Mittelwert)	250 pg/m²d	Pallas, Hintergrund, Finnland, 2018	EMEP 2020
6 i-PCB (Mittelwert)	680 pg/m²d	Raö, Hintergrund, Schweden, 2018	EMEP 2020
6 i-PCB (Sommer/Winter Median)*	ca. 2200 bzw. 1500 pg/m²d	Zugspitze, Hintergrund, 2005 bis 2019	Kirchner et al. 2011
6 i-PCB	ca. 85 pg/m²d	Lomonossovfonna (Gletscher), Spitzbergen, Norwegen, 2013/14	Bartlett et al. 2019

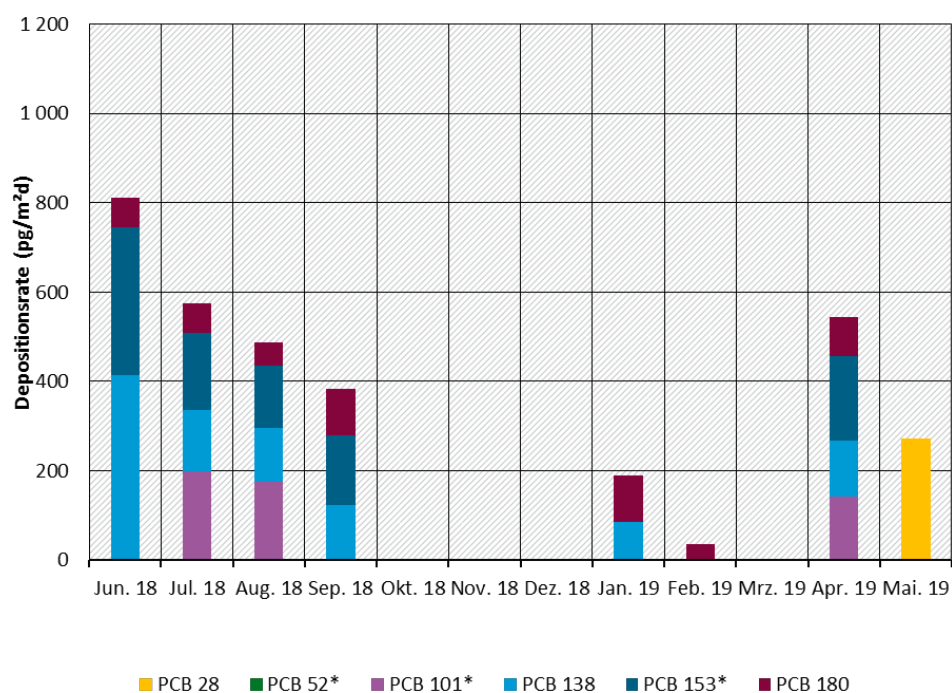
*aus Graphik abgelesene Werte

Abbildung 30: Depositionsraten der i-PCB (pg/m²d), Messstation Waldhof



* Coelution. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 31: Konzentrationen der i-PCB (pg/m²d), Messstation Schmücke



* Coelution. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Die mittleren Depositionsraten der 12 dl-PCB (Tabelle 26) sowie die Summenkonzentrationen der dl-PCB inkl. ½ BG liegen an der Messstation Waldhof (Summe dl-PCB: 49 pg/m²d) und Schmücke (Summe dl-PCB: 48 pg/m²d) ähnlich hoch und sind im Rahmen der Messunsicherheiten als gleichwertig zu bewerten. Die Quantifizierungshäufigkeiten und Depositionsraten variieren zwischen den dl-PCB-Kongeneren. PCB 169, PCB 126, PCB 123 und PCB 81 wurde in keiner Depositionsprobe der beiden UBA-Messstationen quantifiziert. Die weiteren dl-PCB wurden zu maximal 50 % quantifiziert. Damit sind die in Tabelle 26 aufgeführten Mittelwerte stark durch die Bestimmungsgrenzen beeinflusst. In den Sommermonaten wurden dl-PCB deutlich häufiger quantifiziert und erreichen Depositionsraten von über 150 pg/m²d (Abbildungen 32, 33).

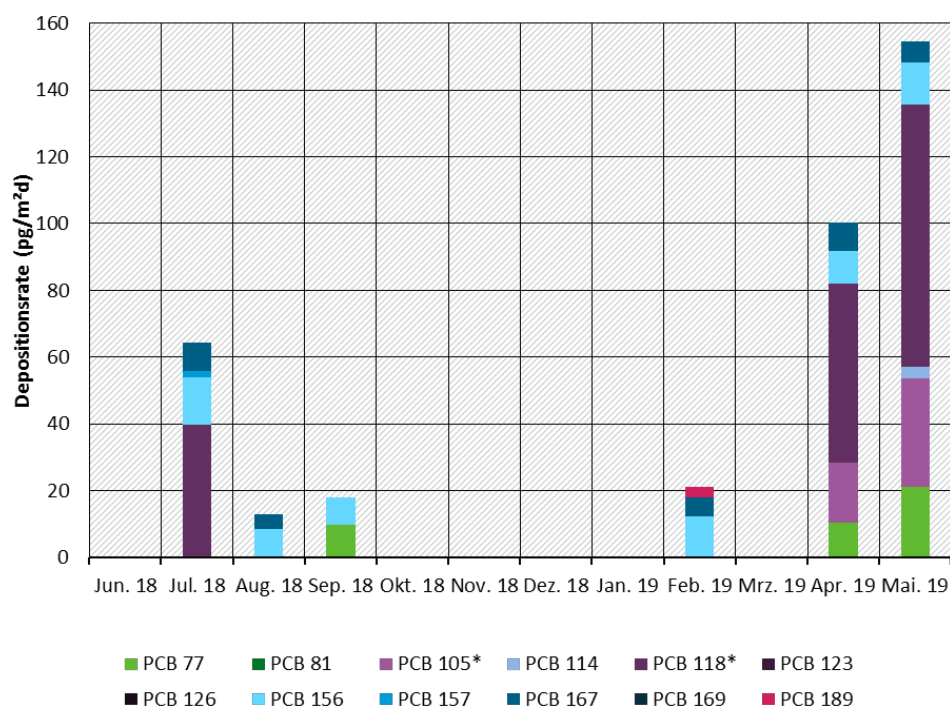
Für die alpine Messstation Zugspitze/Schneefernerhaus lagen die medianen Depositionen der dl-PCB-Kongeneren im Zeitraum Mai 2005 bis Juni 2010 bei ca. 200 (Winter) bzw. 300 (Sommer) pg/m²d (Kirchner et al. 2011) und damit oberhalb der hier bestimmten Werte. Für Melpitz konnten keine dl-PCB-Depositionen oberhalb der Bestimmungsgrenzen von 6 bis 250 pg/m²d aufgezeigt werden (Heinz 2020). Für Nordrhein-Westfalen wurden um mehr als Faktor 10 höhere Depositionsraten berichtet (Tabelle 27; LANUV 2020).

Tabelle 26: Bestimmungshäufigkeiten, mittlere Depositionsraten und Standardabweichung der dl-PCB, Messstationen Waldhof und Schmücke

	Waldhof			Schmücke		
	Häufigkeit Bestimmung	mittlere Deposition (pg/m²d)	Standard-abweichung (pg/m²d)	Häufigkeit Bestimmung	mittlere Deposition (pg/m²d)	Standard-abweichung (pg/m²d)
PCB 77	25%	< 8,6	6,1	25%	< 8,6	7,1
PCB 81	0%	1,1	0,7	0%	1,3	1,0
PCB 105*	17%	< 16,9	8,4	17%	< 16,9	5,0
PCB 114	8%	1,2	1,0	0%	1,2	1,1
PCB 118*	25%	< 38,6	20,9	50%	< 38,6	15,2
PCB 123	0%	1,1	0,8	0%	1,2	1,1
PCB 126	0%	< 1,2	1,0	0%	1,3	1,0
PCB 156	50%	6,5	5,0	42%	< 6,1	4,2
PCB 157	8%	< 1,6	0,6	8%	< 1,6	1,0
PCB 167	42%	3,5	3,0	42%	4,1	3,2
PCB 169	0%	< 3,3	0,6	0%	< 3,3	1,1
PCB 189	8%	< 1,2	0,9	0%	1,3	1,0

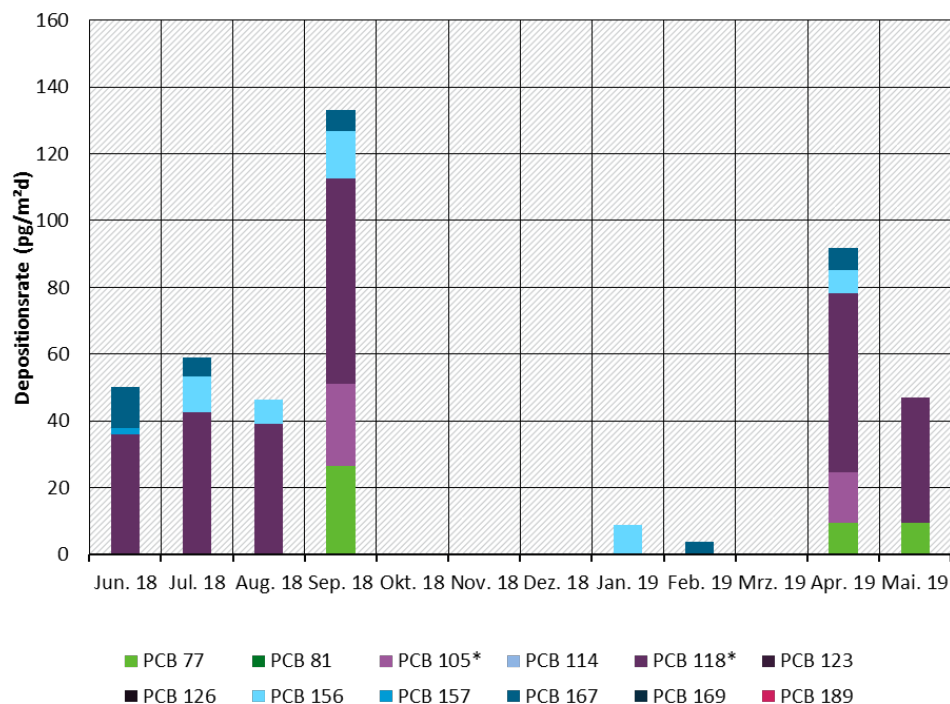
* Coelution

Abbildung 32: Depositionsraten der dl-PCB (pg/m²d), Messstation Waldhof



* Coelution. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 33: Depositionsraten der dl-PCB (pg/m²d), Messstation Schmücke



* Coelution. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Tabelle 27: Mittlere Deposition der Summe der 12 dl-PCB im Vergleich zu publizierten Werten

	berichtete Werte	Region	Referenz
12 dl-PCB (Mittelwert)	49 bzw. 48 pg/m ² d	Hintergrund, Deutschland, 2018 bis 2019	diese Studie
12 dl-PCB (Mittelwert)	805 - 62000 pg/m ² d	Nordrhein-Westfalen, ländlicher und städtischer Raum, Deutschland, 2019	LANUV 2020
12 dl-PCB	< BG (6 bis 250 pg/m ² d)	Melpitz, ländlicher Raum, Deutschland, 2019	Heinz 2020
12 dl-PCB (Sommer/Winter Median)*	ca. 200 bzw. 300 pg/m ² d	Zugspitze, Hintergrund, 2005 bis 2019	Kirchner et al. 2011

*aus Graphik abgelesene Werte

Die mittleren Depositionsraten der PCB-Homologengruppensummen im Messzeitraum Juni 2018 bis Mai 2019 (Tabelle 28) sowie der Gesamt-PCB-Depositionen (inkl. 1/2 BG; ca. 1550 (Schmücke) bis 1900 (Waldhof) pg/m²d) sind an beiden Messstationen ähnlich. Sie sind deutlich höher als die PCB-Deposition im arktischen Spitzbergen 2013-2014 (ca. 400 pg/m²d) (Bartlett et al. 2019) und deutlich geringer als der ländliche und städtische Raum in Nordrhein-Westfalen (LANUV 2020; Tabelle 29). Mit 431 pg/m²d inkl. 1/2 BG wurden die höchsten Depositionsraten für die Gruppe der Dichlorbiphenyle an der Station Waldhof gefunden. Wie für andere PCB (s.o.) befinden sich die Konzentrationen der in den PCB-Homologengruppensummen enthaltenen Einzelanalyten zum Teil unter der Bestimmungsgrenze. Werden die Bestimmungsgrenzen der Kongenere nicht mit der Hälfte in der entsprechenden Homologengruppensumme berücksichtigt, verschiebt sich das Maximum der Depositionsraten zur Gruppe der Hexachlorbiphenyle. Die Bestimmungshäufigkeiten und Depositionsraten der zugrundeliegenden 209 PCB waren starken monatlichen Schwankungen unterworfen (Abbildungen 34 und 35) und beeinflussen damit deutlich aggregierende Betrachtungsweisen. Eine tiefergreifende Diskussion der Daten sowie die vergleichende Betrachtung der ermittelten PCB-Deposition mit der Abschätzung der Gesamt-PCB-Deposition auf Grundlage der Multiplikation der Summe der i-PCB-Werte mit dem Faktor 5 (LAGA 1995) entfällt daher an dieser Stelle.

Die in diesem Vorhaben durchgeführte Analytik auf alle 209 PCB zur Ermittlung der Homologen-gruppensummen ermöglicht die Identifizierung weiterer PCB. Von 166 gaschromatographisch aufgetrennten PCB bzw. PCB-Coelutionen wurden in den Depositionsproben über den Messzeitraum Juni 2018 bis Mai 2019 zwischen 0 und 94 PCB quantifiziert, z.T. mit ähnlichen Depositionsraten wie die quantifizierten i-PCB (Abbildung 36). Folgende PCB fallen mit Mittelwerten oberhalb der Bestimmungsgrenze auf (absteigend geordnet nach mittlerer Deposition): PCB 182/187, PCB 14, PCB 4, PCB 163/164, PCB 170. PCB 11, das dominante PCB in der Außenluft, lag in nur einer Probe oberhalb der Bestimmungsgrenze von 730 pg/m²d. Auch die z.T. erhöhten Bestimmungsgrenzen für PCB, die in der Außenluft auffallend waren, führen zu einem anderen Muster in der Deposition im Vergleich zur Außenluft an den UBA-Messstationen oder zu Befunden vom Lomonossovfonna in Spitzbergen 2013-2014. Dort lagen ähnlich wie in den Außenluftproben Werte für PCB 11, PCB 18, PCB 31, PCB 44, PCB 70/74, PCB 95, PCB 110 und PCB 149 in einem gleichen Bereich wie die der meisten i-PCB (Bartlett et al. 2019).

Tabelle 28: Bestimmungshäufigkeiten, mittlere Depositionsraten und Standardabweichung der PCB-Homologengruppensummen, Messstationen Waldhof und Schmücke

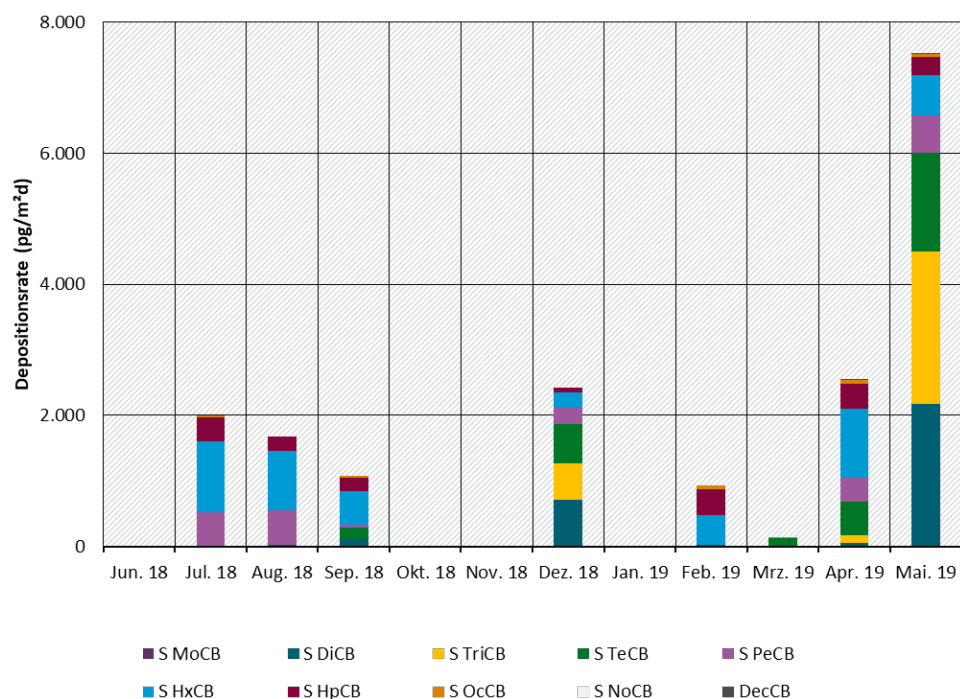
	Waldhof			Schmücke		
	Häufigkeit Bestimmung	mittlere Deposition (pg/m ² d)	Standard-abweichung (pg/m ² d)	Häufigkeit Bestimmung	mittlere Deposition (pg/m ² d)	Standard-abweichung (pg/m ² d)
S MoCB*	0%	< 2,8	-	0%	< 2,8	-
S DiCB	50%	431	585	58%	349	227
S TriCB	25%	339	635	17%	224	380
S TeCB	42%	288	428	58%	186	217
S PeCB	50%	220	213	67%	184	156
S HxCB	58%	425	411	75%	396	378
S HpCB	58%	165	159	92%	176	166
S OcCB	50%	21	24	83%	32	52
S NoCB	0%	< 3,1	-	0%	< 1,9	-
DecCB	17%	2,3	2,5	17%	1,8	1,3

* Die Analysen der Monochlorbiphenyle in den Proben Dezember 2018 bis Mai 2019 zeigten matrixbedingte Störungen auf, die zu deutlich erhöhten Bestimmungsgrenzen geführt haben.

Tabelle 29: Mittlere Deposition der PCB-Homologensummen im Vergleich zu publizierten Werten

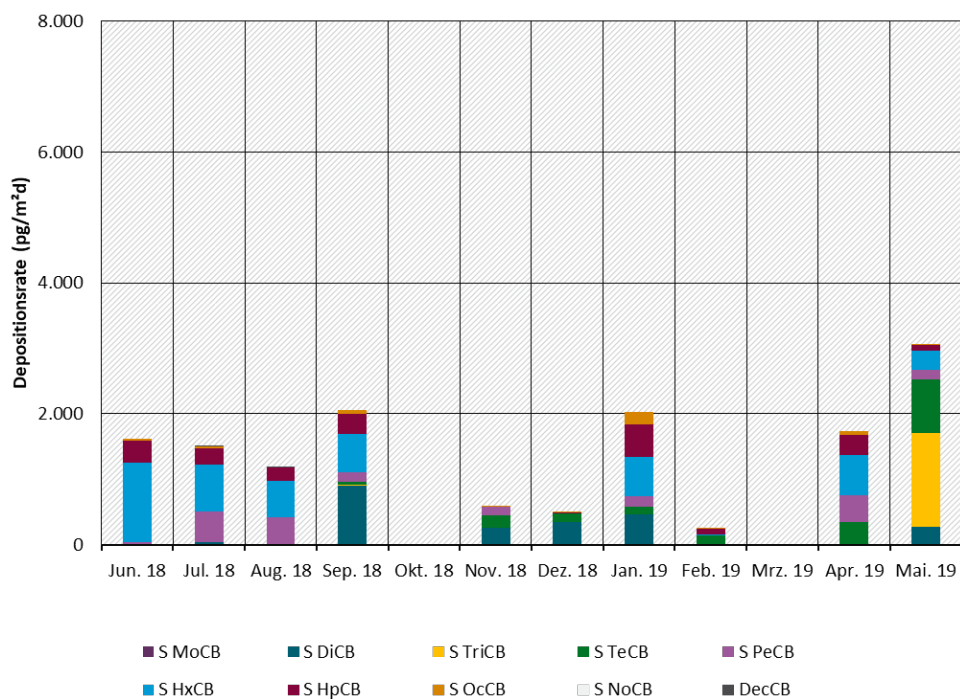
	berichtete Werte	Region	Referenz
MoCB bis DecCB (Mittelwert)	ca. 1900 bzw. 1550 pg/m ² d	Waldhof, Schmücke, Hintergrund, Deutschland, 2018 bis 2019	diese Studie
TriCB bis DecCB (Mittelwert)	15000 - 1200000 pg/m ² d	Nordrhein-Westfalen, ländlicher und städtischer Raum, Deutschland, 2019	LANUV 2020
MoCB bis DecCB	ca. 400 pg/m ² d	Lomonossovonna (Gletscher), Spitzbergen, Norwegen, 2013/14	Bartlett et al. 2019

Abbildung 34: Depositionsraten der PCB-Homologengruppensummen (pg/m²d), Messstation Waldhof



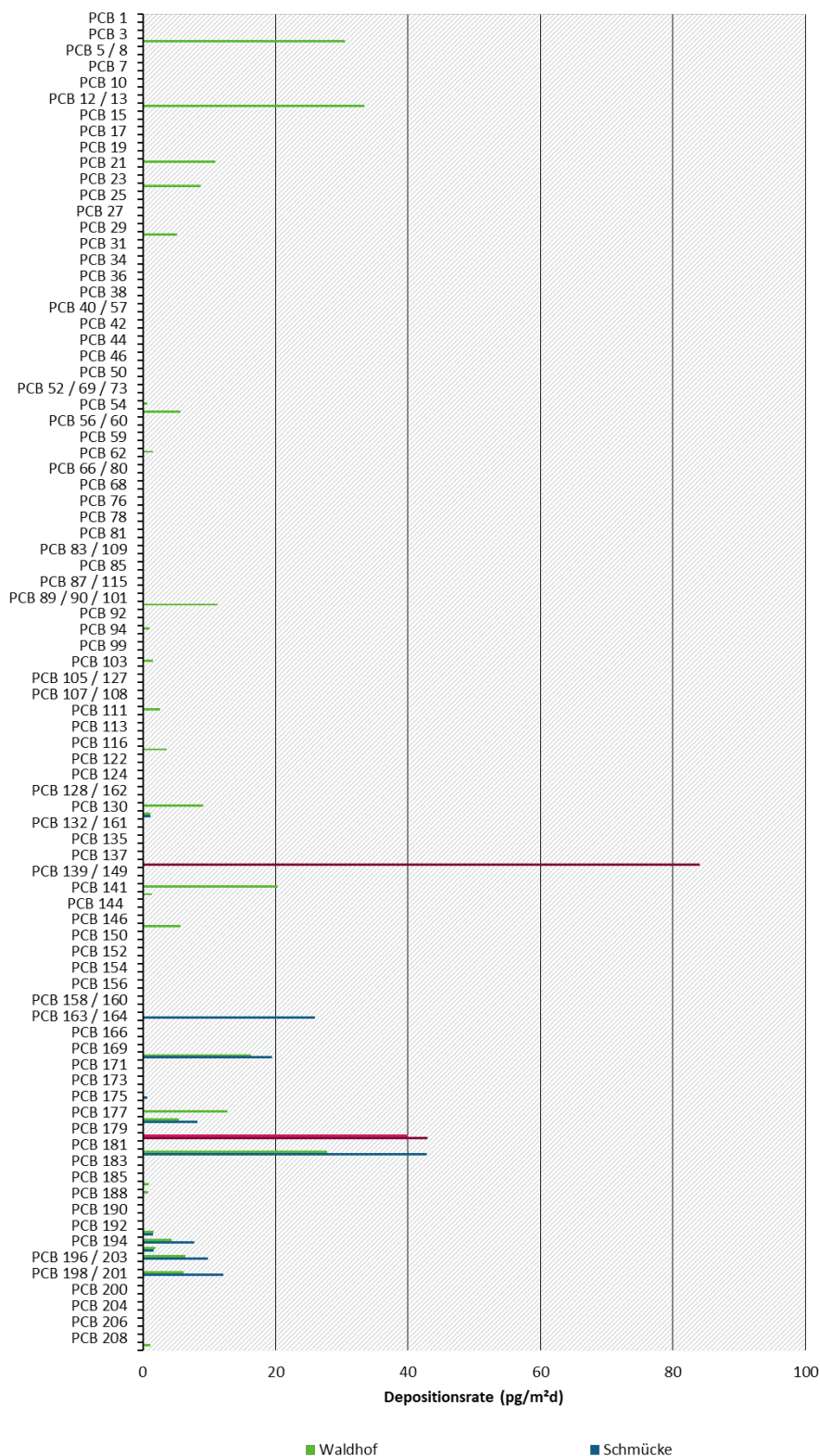
Analytische Störungen bei den MoCB der Proben Waldhof Dez. 2018 bis Mai 2019 können zu Minderbefunden der betroffenen Homologengruppensummen geführt haben. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 35: Depositionsraten der PCB-Homologengruppensummen (pg/m²d), Messstation Schmücke



Analytische Störungen bei den MoCB der Proben Schmücke Dez. 2018 bis Mai 2019 können zu Minderbefunden der betroffenen Homologengruppensummen geführt haben. Eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 36: Mittlere Depositionsraten der 209 PCB (pg/m²d), Messstation Waldhof und Schmücke



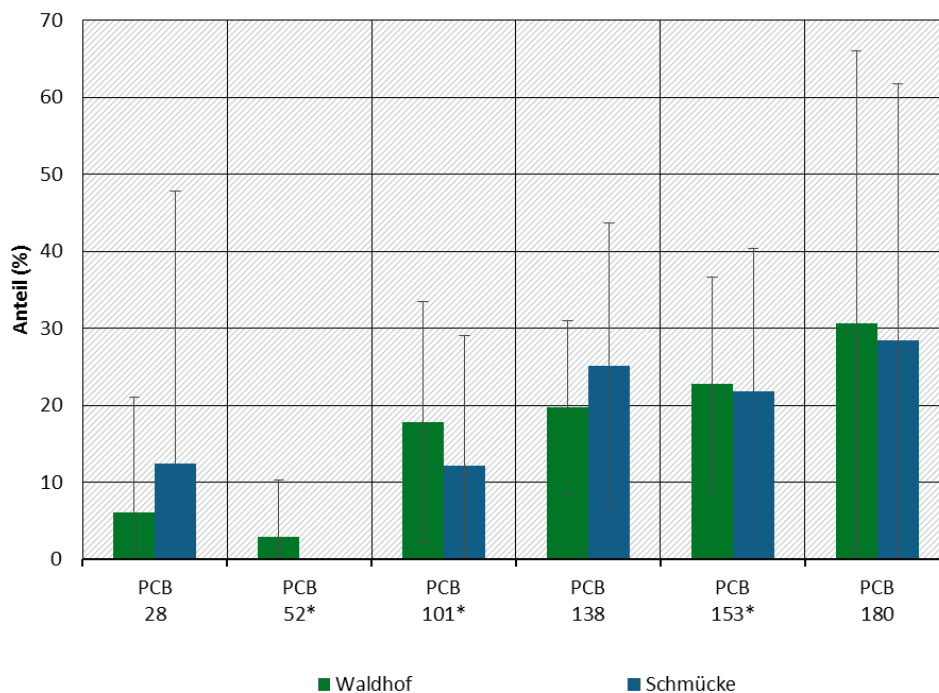
Aufsteigende Reihenfolgen der PCB, nur jedes 2. PCB ist namentlich genannt. i-PCB sind in Rottönen (hell: Waldhof, dunkel: Schmücke) gekennzeichnet. Die Monochlorbiphenyle der Proben Dezember 2018 bis Mai 2019 sind aufgrund von analytischen Störungen in der Mittelwertbildung nicht enthalten. Werte < BG sind in der Graphik nicht dargestellt. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

3.2.4 Profile der i-PCB, WHO-PCB und der PCB-Homologengruppensummen in der Deposition

Die über den Untersuchungszeitraum Juni 2018 bis Mai 2019 gemittelten PCB-Kongeneren- und Homologengruppensummenprofile sind in den Abbildungen 37 bis 39 dargestellt. Aufgrund der geringen und fluktuierenden Quantifizierungshäufigkeiten von PCB in der Deposition, sind die mittleren prozentualen Anteile mit hohen Standardabweichungen versehen und damit entsprechend unsicher. Die Profile werden daher nicht im Detail diskutiert.

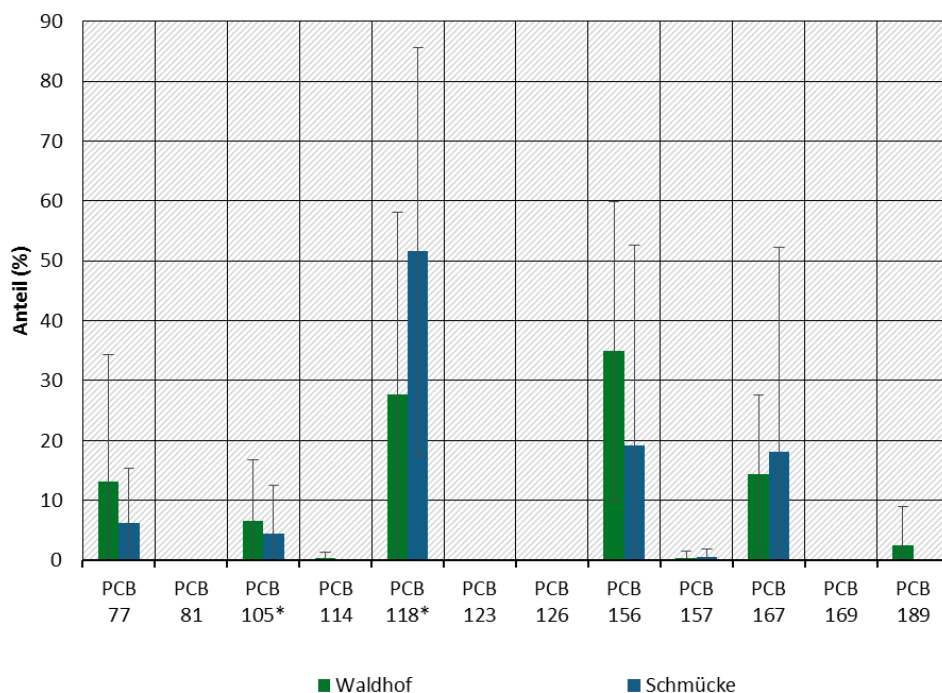
In den i-PCB-Profilen (Abbildung 37) scheinen die höherchlorierten i-PCB die größeren mittleren Kongenerenanteile als die niederchlorierten PCB (PCB 28, PCB 52) aufzuweisen. Dies steht im Gegensatz zu den Befunden in der Außenluft (s.o.), bei denen die niederchlorierten i-PCB die höchsten Anteile hatten. Es ist hierbei zu beachten, dass die PCB 28 und PCB 52 in der Deposition höhere Bestimmungsgrenzen als die höherchlorierten i-PCB haben, was zu weiteren Verzerrungen beitragen kann. Ein ähnliches Bild zeigt sich für die dl-PCB (Abbildung 38). Wie auch bei der Außenluft waren PCB 77, PCB 105, PCB 118, PCB 156 und PCB 167 die wichtigsten dl-PCB-Kongenere, wobei PCB 188 die höchsten prozentualen Anteile aufwies. Im Gegensatz zur Außenluft scheinen nach Zahlenlage in der Deposition die höher chlorierten PCB 156 und 167 deutlich größere prozentuale Anteile zu haben. Auch dieser Befund kann durch die höheren Bestimmungsgrenzen von PCB 77 und PCB 105 verzerrt worden sein. Dieser Effekt kann auch dazu beigetragen haben, dass für die PCB-Homologengruppensummen maximale Anteile für Hexachlorbiphenyle ermittelt wurden (Abbildung 39), während das Außenluftprofil deutlich zu den niederchlorierten PCB verschoben ist.

Abbildung 37: i-PCB-Profile (Jahresmittelwerte, Standardabweichungen)



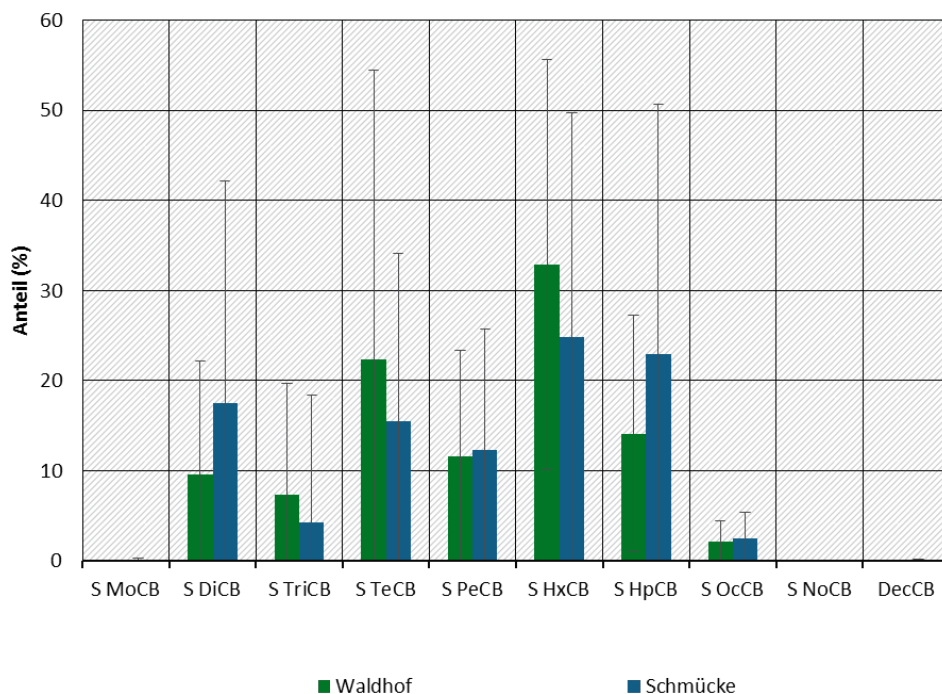
* Coelution. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 38: dl-PCB-Profile (Jahresmittelwerte, Standardabweichungen)



* Coelution. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 39: PCB-Homologengruppensummenprofile (Jahresmittelwerte, Standardabweichungen)



Die Proben Waldhof-Dezember, Schmücke-Dezember und Schmücke-Februar sind aufgrund von analytischen Störungen bei den niederchlorierten PCB in der Mittelwertbildung nicht enthalten. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

4 Quellenverzeichnis

- Anezaki, K., et al. (2015): Polychlorinated biphenyl contamination of paints containing polycyclic- and Naphthol AS-type pigments. In: Environmental Science and Pollution Research, 2015, 22, 14478-14488
- Assefa, A., et al. (2018): Tracing the sources of PCDD/Fs in Baltic Sea air by using metals as source markers. In: Environ Sci Process Impacts, 2018, 20, 544-552
- Ballschmiter, K., et al. (1992): The determination of chlorinated biphenyls, chlorinated dibenzodioxins and chlorinated dibenzofurans by GC-MS. In: Journal of High Resolution Chromatography, 1992, 15, 260-270
- Ballschmiter, K. and M. Zell (1980): Analysis of polychlorinated biphenyls (PCB) by glass capillary gas chromatography - composition of technical Aroclor- and Clphen-PCB mixtures. In: Fresenius Z. Anal. Chem., 1980, 302, 20-31
- Bartlett, P. W., et al. (2019): 'New' unintentionally produced PCBs in the Arctic. In: Emerging Contaminants, 2019, 5, 9-14
- Behnke, A., et al. (2017): Dioxine und dioxinähnliche PCB in Umwelt und Nahrungsketten In: Umweltbundesamt [Hrsg.]: Hintergrund // Februar 2017, Dessau-Roßlau, S. 1-48.
- BKG/Geobasis-DE (2020):
- BLE (2019): Waldbrandstatistik der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2018. In: [Hrsg.]: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung.
- BLE (2020): Waldbrandstatistik der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2019. In: [Hrsg.]: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung.
- Bruckmann, P., et al. (2013): Trends of PCDD/F and PCB concentrations and depositions in ambient air in Northwestern Germany. In: Chemosphere, 2013, 93, 1471-1478
- Coutinho, M., et al. (2015): Long-time monitoring of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans over a decade in the ambient air of Porto, Portugal. In: Chemosphere, 2015, 137, 207-213
- DIN (2007-09): DIN EN ISO 20988. Luftbeschaffenheit - Leitlinien zur Schätzung der Messunsicherheit.
- DIN (2018-03): DIN EN ISO/IEC 17025. Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2017); Deutsche und Englische Fassung EN ISO/IEC 17025:2017
- Dreyer, A. (2020): Bestimmung von persistenten organischen Luftverunreinigungen im Niederschlag im Luftmessnetz des Umweltbundesamtes im Zeitraum 01.01.2016 – 31.12.2019: Teil 2: Zusätzliche Qualitätssicherung. In: [Hrsg.], S. 130.
- DWD (2018): Deutschlandwetter im Jahr 2018: 2018 – ein außergewöhnliches Wetterjahr mit vielen Rekorden. In: Offenbach, Deutschland, Deutscher Wetterdienst: 1-4.
- DWD (2019): Deutschlandwetter im Jahr 2019: Drittwärmstes Jahr seit 1881 – Niederschlagsarm und sonnenscheinreich. In: Offenbach, Deutschland, Deutscher Wetterdienst: 1-5.
- EMEP (2020). The co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe ('European Monitoring and Evaluation Programme').

- Erickson, M. D. and R. G. Kaley (2011): Applications of polychlorinated biphenyls. In: Environmental Science and Pollution Research, 2011, 18, 135-151
- Freier, K. P., et al. (2019): PureAlps 2016-2020: Monitoring of Persistent Pollutants in the Alps. In: [Hrsg.], S. 1-36.
- Graf, C., et al. (2016): The TOMPs ambient air monitoring network – Continuous data on UK air quality for over 20 years. In: Environmental Pollution, 2016, 217, 42-51
- Heinz, T. (2020): Messung und Bewertung von Dioxinen in Melpitz: Bericht über die Durchführung von Immissionsmessungen. In: [Hrsg.], Dresden, Deutschland, S. 73.
- Herkert, N. J., et al. (2018): Emissions of Tetrachlorobiphenyls (PCBs 47, 51, and 68) from Polymer Resin on Kitchen Cabinets as a Non-Aroclor Source to Residential Air. In: Environmental Science & Technology, 2018, 52, 5154-5160
- Hu, D. and K. C. Hornbuckle (2010): Inadvertent polychlorinated biphenyls in commercial paint pigments. In: Environmental Science & Technology, 2010, 44, 2822-2827
- Hu, D., et al. (2008): Discovery of Non-Aroclor PCB (3,3'-Dichlorobiphenyl) in Chicago Air. In: Environmental Science & Technology, 2008, 42, 7873-7877
- Kirchner, M., et al. (2020): Air concentrations and deposition of chlorinated dioxins and furans (PCDD/F) at three high alpine monitoring stations: Trends and dependence on air masses. In: Atmospheric Environment, 2020, 223,
- Kirchner, M., et al. (2011): Erfassung von persistenten organischen Schadstoffen im bayerischen Alpenraum: Endbericht – Teil Boden, Nadeln, Deposition, Luft In: [Hrsg.], München.
- LAGA (1995): LAGA Merkblatt 8376: Reinigung und Entsorgung von Transformatoren mit PCB-haltiger oder PCB-kontaminierter mineralöhlhaltiger oder synthetischer Isolierflüssigkeit. In: L. A. (LAGA) [Hrsg.].
- LAI (2004): Bewertung von Schadstoffen, für die keine Grenzwerte festgelegt sind - Orientierungswerte für die Sonderfallprüfung und für die Anlagenüberwachung sowie Zielwerte für die langfristige Luftreinhalteplanung unter besonderer Berücksichtigung der Beurteilung krebserzeugender Luftschadstoffe. In: [Hrsg.], S. 1-28.
- Lakes Environmental (2020): WRPLOT View™ - Freeware, Version 8.0.2.
<https://www.weblakes.com/products/wrplot/index.html>
- LANUV (2020): Aussenluft-Jahresmittelwerte 2019-PCDD PCDF PCB. In: U. u. V. N.-W. Landesamt für Natur [Hrsg.], S. 1-4.
- LANUV (2020): Deposition-Jahresmittelwerte 2019-PCDD PCDF PCB. In: U. u. V. N.-W. Landesamt für Natur [Hrsg.], S. 1-4.
- LfU Bayern (2018): Dioxine und PCB – Stoffbeschreibung.
https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/analytik_org_stoffe_dioxine_pcb/index.htm
- Megson, D., et al. (2019): Evaluation of the effectiveness of different indicator PCBs to estimating total PCB concentrations in environmental investigations. In: Chemosphere, 2019, 237, 1-12
- Megson, D., et al. (2018): How many PCBs are there in the environment and where do they come from? Tagung: DIOXIN Krakow,
- Parera, J., et al. (2018): Long-term monitoring programme of polychlorinated dioxins and polychlorinated furans in ambient air of Catalonia, Spain (1994–2015). In: Science of The Total Environment, 2018, 633, 738-744

Pfeiffer, H. and G. Baumbach (2008): Beurteilung der Repräsentativität der Messstationen des Umweltbundesamt-Luftmessnetzes In: [Hrsg.]: Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes, FKZ 206 42 202.

Quass, U., et al. (2016): Zuordnung und Quantifizierung der Dioxineinträge auf dem Luftpfad mittels Betrachtung der emissionsseitigen und immissionsseitigen Kongenerenmuster. In: Umweltbundesamt [Hrsg.]: Texte 23/2016, 1. Dessau-Roßlau, S. 1-377.

Šebková, K., et al. (2014): Global Monitoring Plan for Persistent Organic Pollutants Under the Stockholm Convention Article 16 on Effectiveness Evaluation. Second Regional Monitoring Report of the Central, Eastern European and Central Asian Region. In: [Hrsg.], Brno, Czech Republic, S. 102+annexes.

Shunthirasingham, C., et al. (2016): Atmospheric concentrations and loadings of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in the Canadian Great Lakes Basin (GLB): Spatial and temporal analysis (1992–2012). In: Environmental Pollution, 2016, 217, 124-133

UBA (2020): Dioxindatenbank des Bundes und der Länder.
<https://www.dioxindb.de/index.html> 20.05.2020

UBA (2020): elektronische Datenübermittlung Umweltbundesamt vom 05.05.2020 und 12.06.2020.

UNEP (2019): Stockholm Convention. <http://www.pops.int/> 30.06.2020

USEPA (2013): Atmospheric measurements of polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs), polychlorinated dibenzofurans (PCDFs), and dioxin-like polychlorinated biphenyls (PCBs) in rural and remote areas of the United States from June 1998 through November 2004. In: [Hrsg.], Washington, DC, USA.

Van den Berg, M., et al. (2006): The 2005 World Health Organization Reevaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-Like Compounds. In: Toxicological Sciences, 2006, 93, 223-241

VDI (2001-01): VDI 2090 Blatt 1. Messen von Immissionen - Bestimmung der Deposition von schwerflüchtigen organischen Substanzen - Bestimmung der PCDD/F-Deposition; Bergerhoff-Probenahme und GC/HRMS-Analyse. 1-40.

VDI (2002-07): VDI 3498 Blatt 2 Messen von Immissionen - Messen von Innenraumluft - Messen von polychlorierten Dibenzo-p-dioxinen und Dibenzofuranen; Verfahren mit kleinem Filter 1-38.

VDI (2009-09): VDI 2464 Blatt 1 Messen von Immissionen - Messen von Innenraumluft - Messen von polychlorierten Biphenylen (PCB) - GC/MS-Verfahren für PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180 Verein Deutscher Ingenieure: 1-32.

VDI (2009-09): VDI 2464 Blatt 2. Messen von Immissionen - Messen von Innenraumluft - Messen von polychlorierten Biphenylen (PCB) - HR-GC/HR-MS-Verfahren für coplanare PCB Verein Deutscher Ingenieure: 1-32.

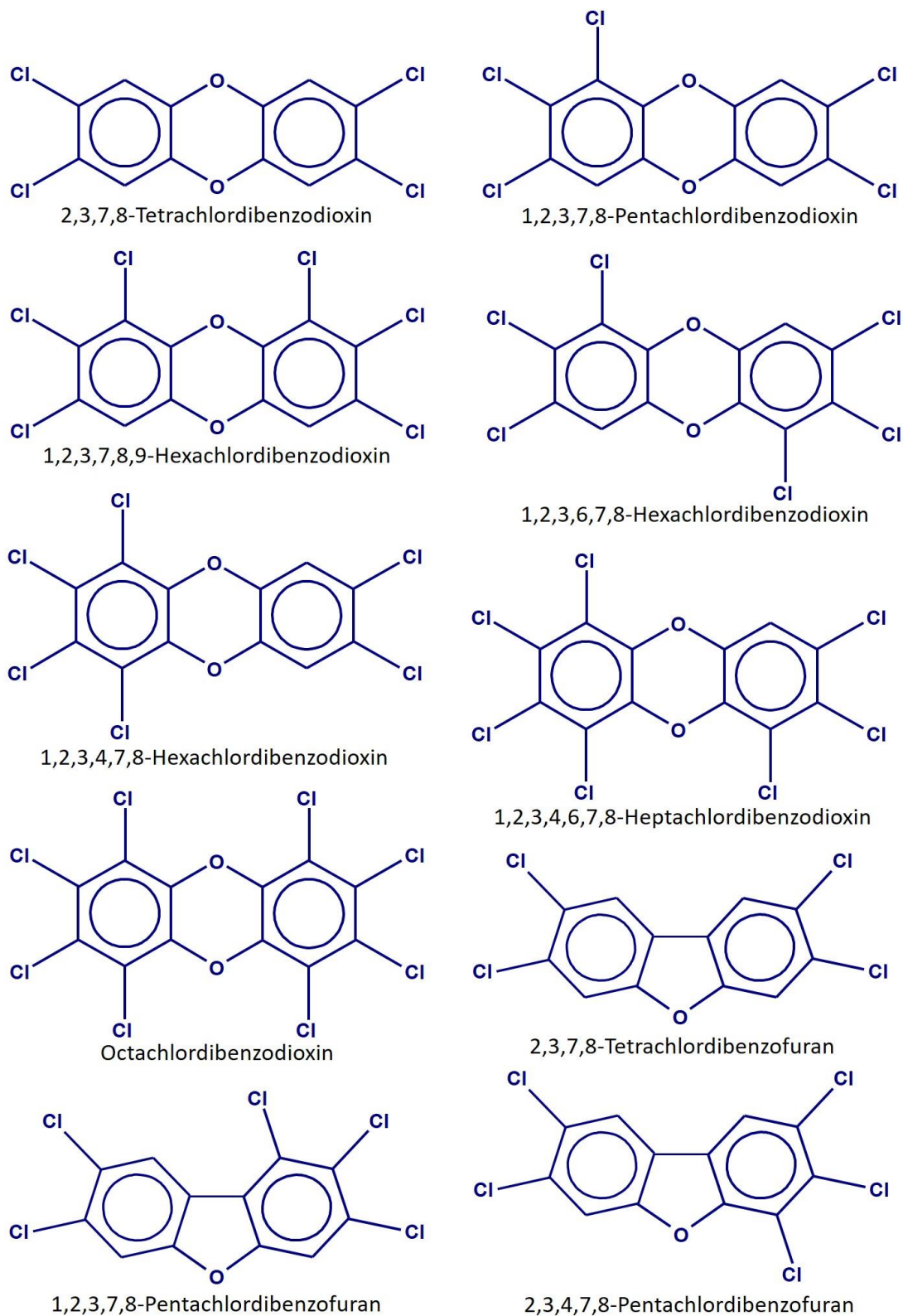
Vikelsøe, J., et al. (2005): The Danish Dioxin Monitoring Programme II - Dioxin in the Atmosphere of Denmark. In: [Hrsg.]: NERI Technical Report No. 565, March 2006. Copenhagen, Denmark, S. 1-83.

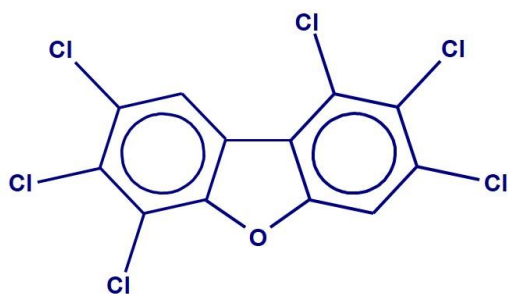
Vorkamp, K. (2016): An overlooked environmental issue? A review of the inadvertent formation of PCB-11 and other PCB congeners and their occurrence in consumer products and in the environment. In: The Science of the total environment, 2016, 541, 1463-1476

5 Anhang

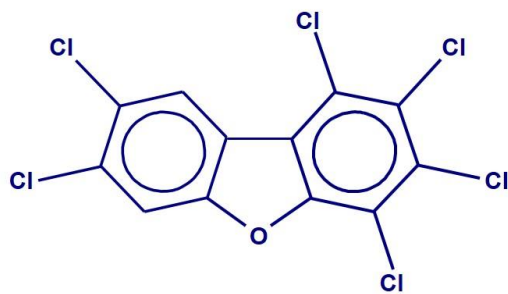
A.1 Strukturformeln ausgewählter PCDD/F- und PCB-Kongenere

Abbildung 40: Strukturformeln der 2,3,7,8-substituierten PCDD/F

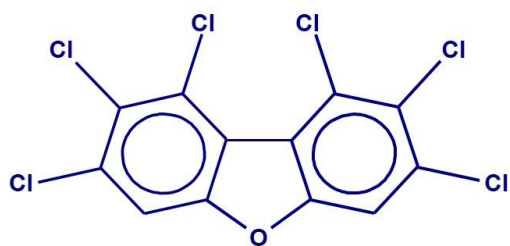




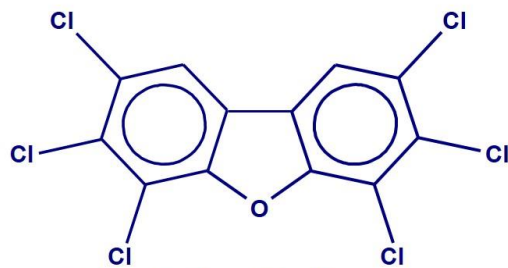
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzofuran



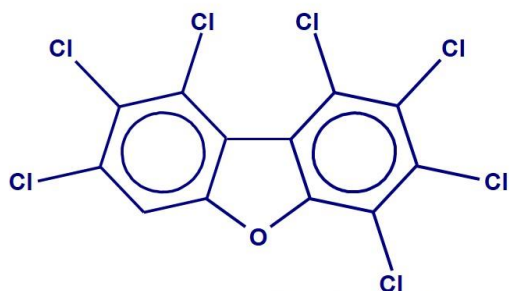
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzofuran



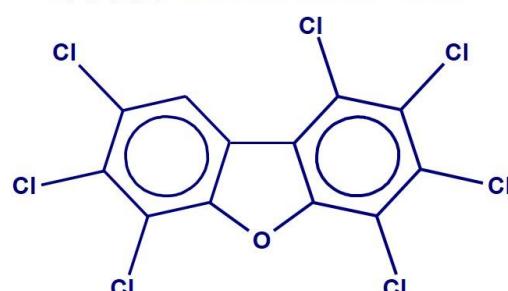
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzofuran



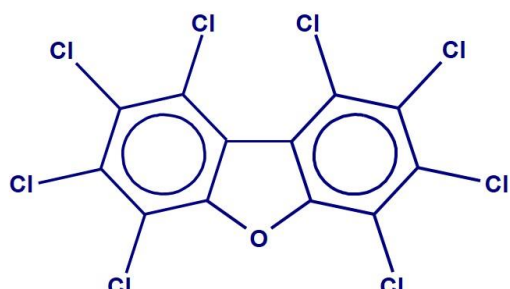
2,3,4,6,7,8-Hexachlordibenzofuran



1,2,3,4,7,8,9-Heptachlordibenzofuran



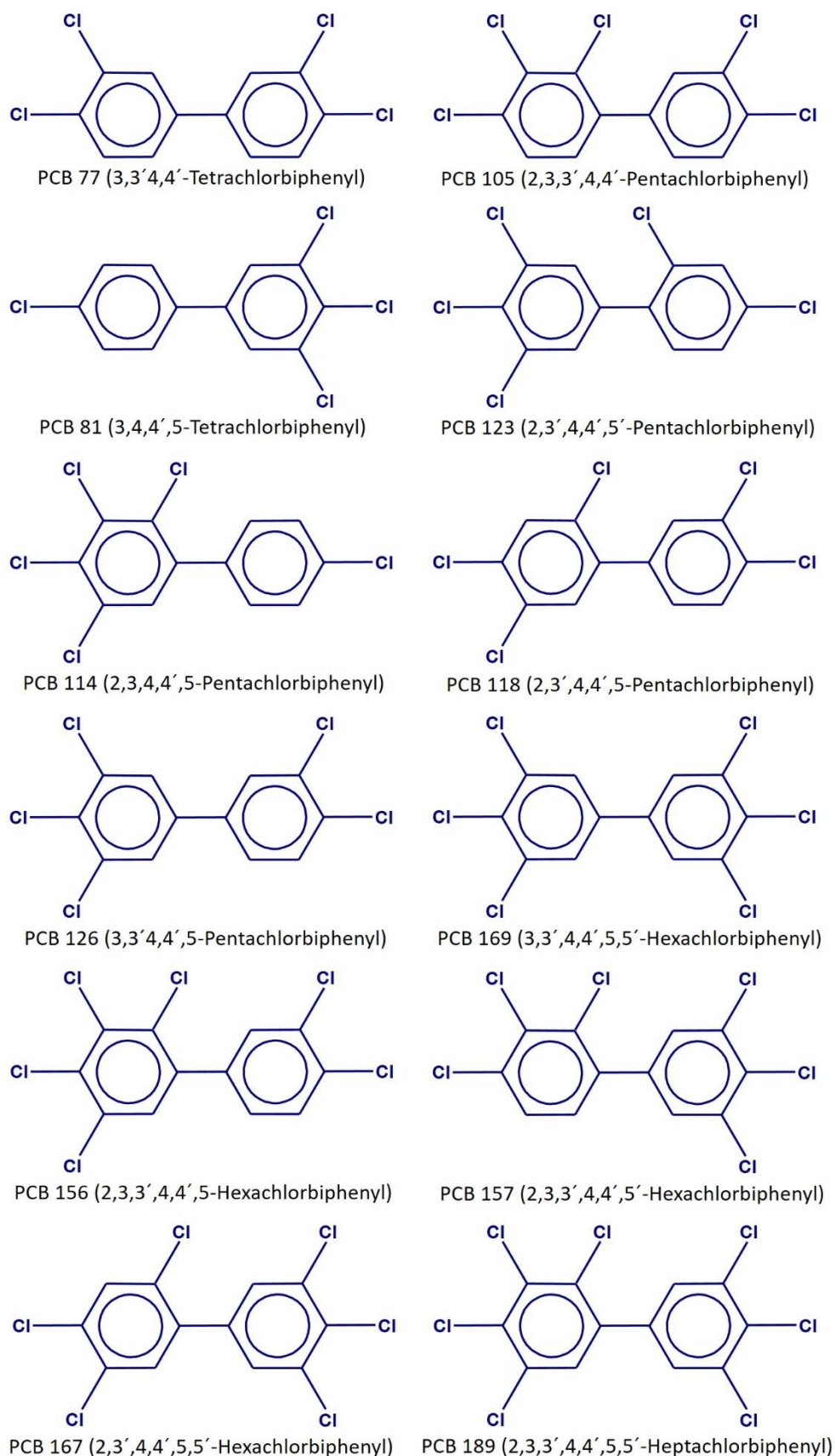
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzofuran



Octachlordibenzofuran

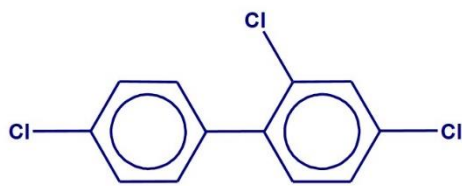
Quelle: Frank Neugebauer, persönliche Kommunikation (Einwilligung zum Abdruck vom 10.02.2021).

Abbildung 41: Strukturformeln der 12 di-PCB

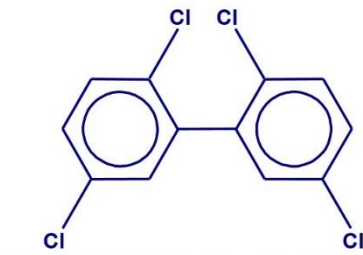


Quelle: Frank Neugebauer, persönliche Kommunikation (Einwilligung zum Abdruck vom 10.02.2021).

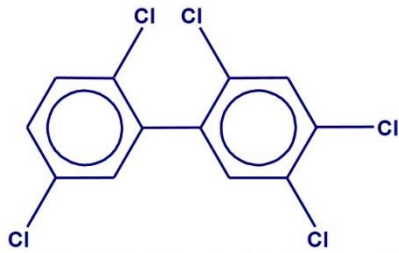
Abbildung 42: Strukturformeln der 6 i-PCB



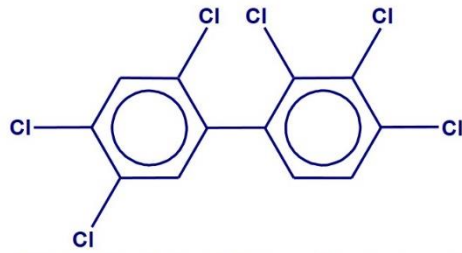
PCB 28 (2,4,4'-Trichlorobiphenyl)



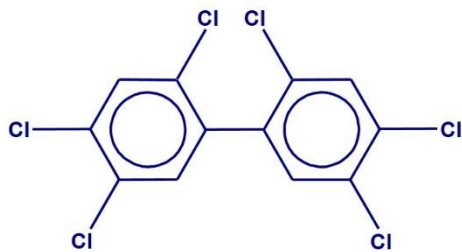
PCB 52 (2,2',5,5'-Tetrachlorobiphenyl)



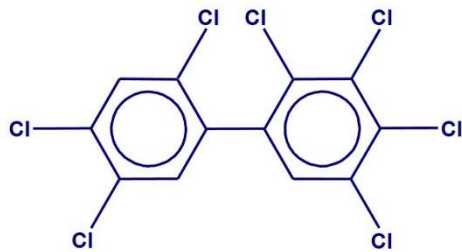
PCB 101 (2,2',4,5,5'-Pentachlorobiphenyl)



PCB 138 (2,2',3,4,4'5'-Hexachlorobiphenyl)



PCB 153 (2,2',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl)



PCB 180 (2,2',3,4,4',5,5'-Heptachlorobiphenyl)

Quelle: Frank Neugebauer, persönliche Kommunikation (Einwilligung zum Abdruck vom 10.02.2021).

A.2 Probenahmetermine

Tabelle 30: Probenahmetermine Messstation Waldhof

Probenahmemonat	Start	Stopp
Jun. 18	29.05.2018	02.07.2018
Jul. 18	02.07.2018	01.08.2018
Aug. 18	01.08.2018	31.08.2018
Sep. 18	31.08.2018	01.10.2018
Okt. 18	01.10.2018	01.11.2018
Nov. 18	01.11.2018	30.11.2018
Dez. 18	30.11.2018	28.12.2018
Jan. 19	28.12.2018	29.01.2019
Feb. 19	29.01.2019	28.02.2019
Mrz. 19	28.02.2019	01.04.2019
Apr. 19	01.04.2019	30.04.2019
Mai. 19	30.04.2019	29.05.2019
Jun. 19*	29.05.2019	01.07.2019

* nur Deposition

Tabelle 31: Probenahmetermini Messstation Schmücke

Probenahmemonat	Start	Stopp
Jun. 18	31.05.2018	05.07.2018
Jul. 18	05.07.2018	02.08.2018
Aug. 18	02.08.2018	06.09.2018
Sep. 18	06.09.2018	05.10.2018
Okt. 18	05.10.2018	01.11.2018
Nov. 18	01.11.2018	06.12.2018
Dez. 18	06.12.2018	03.01.2019
Jan. 19	03.01.2019	30.01.2019
Feb. 19	30.01.2019	28.02.2019
Mrz. 19	28.02.2019	28.03.2019
Apr. 19	28.03.2019	02.05.2019
Mai. 19	02.05.2019	31.05.2019

A.3 Mittlere Wiederfindungsraten der Extraktions- und Probenahmestandards

Tabelle 32: Mittlere Wiederfindungsraten (%) der Probenahmestandards (Außenluftprobenahme)

	mittlere Wiederfindungsrate (%)
¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PentaCDF	88
¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8,9-HexaCDF	75
¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF	74
¹³ C ₁₂ -PCB60	75
¹³ C ₁₂ -PCB127	83
¹³ C ₁₂ -PCB159	78

Tabelle 33: Mittlere Wiederfindungsraten (%) der Extraktionsstandards in Außenluftproben

	mittlere Wiederfindungsrate (%)
¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TetraCDD	63
¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PentaCDD	73
¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HexaCDD	83
¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HexaCDD	82
¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD	76
¹³ C ₁₂ -OctaCDD	73
¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TetraCDF	65
¹³ C ₁₂ -2,3,4,7,8-PentaCDF	79
¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HexaCDF	86
¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HexaCDF	92
¹³ C ₁₂ -2,3,4,6,7,8-HexaCDF	80
¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF	84
¹³ C ₁₂ -OctaCDF	67
¹³ C ₁₂ -PCB 1	95
¹³ C ₁₂ -PCB 3	84
¹³ C ₁₂ -PCB 4	82
¹³ C ₁₂ -PCB 8	102
¹³ C ₁₂ -PCB 15	83
¹³ C ₁₂ -PCB 19	97
¹³ C ₁₂ -PCB 28	118
¹³ C ₁₂ -PCB 54	97
¹³ C ₁₂ -PCB 52	76

	mittlere Wiederfindungsrate (%)
¹³ C ₁₂ -PCB 70	74
¹³ C ₁₂ -PCB 81	74
¹³ C ₁₂ -PCB 77	64
¹³ C ₁₂ -PCB 104	69
¹³ C ₁₂ -PCB 95	63
¹³ C ₁₂ -PCB 101	68
¹³ C ₁₂ -PCB 123	74
¹³ C ₁₂ -PCB 118	71
¹³ C ₁₂ -PCB 114	70
¹³ C ₁₂ -PCB 105	65
¹³ C ₁₂ -PCB 126	65
¹³ C ₁₂ -PCB 155	47
¹³ C ₁₂ -PCB 153	74
¹³ C ₁₂ -PCB 138	72
¹³ C ₁₂ -PCB 167	76
¹³ C ₁₂ -PCB 156	73
¹³ C ₁₂ -PCB 157	72
¹³ C ₁₂ -PCB 169	62
¹³ C ₁₂ -PCB 188	55
¹³ C ₁₂ -PCB 180	72
¹³ C ₁₂ -PCB 170	76
¹³ C ₁₂ -PCB 189	78
¹³ C ₁₂ -PCB 202	52
¹³ C ₁₂ -PCB 205	72
¹³ C ₁₂ -PCB 208	49
¹³ C ₁₂ -PCB 209	32

Tabelle 34: Mittlere Wiederfindungsraten (%) der Extraktionsstandards in Depositionsproben

	mittlere Wiederfindungsrate (%)
¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TetraCDD	69
¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PentaCDD	79
¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HexaCDD	88
¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HexaCDD	87
¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD	81
¹³ C ₁₂ -OctaCDD	80
¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TetraCDF	70
¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PentaCDF	77
¹³ C ₁₂ -2,3,4,7,8-PentaCDF	81
¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HexaCDF	82
¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HexaCDF	83
¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8,9-HexaCDF	76
¹³ C ₁₂ -2,3,4,6,7,8-HexaCDF	78
¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF	92
¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF	62
¹³ C ₁₂ -OctaCDF	68
¹³ C ₁₂ -PCB 1	68
¹³ C ₁₂ -PCB 3	63
¹³ C ₁₂ -PCB 4	73
¹³ C ₁₂ -PCB 8	78
¹³ C ₁₂ -PCB 15	64
¹³ C ₁₂ -PCB 19	78
¹³ C ₁₂ -PCB 28	87
¹³ C ₁₂ -PCB 54	76
¹³ C ₁₂ -PCB 52	79
¹³ C ₁₂ -PCB 70	79
¹³ C ₁₂ -PCB 81	78
¹³ C ₁₂ -PCB 77	72
¹³ C ₁₂ -PCB 104	75
¹³ C ₁₂ -PCB 95	66
¹³ C ₁₂ -PCB 101	69
¹³ C ₁₂ -PCB 123	76
¹³ C ₁₂ -PCB 118	73
¹³ C ₁₂ -PCB 114	77

	mittlere Wiederfindungsrate (%)
¹³ C ₁₂ -PCB 105	67
¹³ C ₁₂ -PCB 126	67
¹³ C ₁₂ -PCB 155	56
¹³ C ₁₂ -PCB 153	79
¹³ C ₁₂ -PCB 138	76
¹³ C ₁₂ -PCB 167	81
¹³ C ₁₂ -PCB 156	77
¹³ C ₁₂ -PCB 157	76
¹³ C ₁₂ -PCB 169	67
¹³ C ₁₂ -PCB 188	67
¹³ C ₁₂ -PCB 180	77
¹³ C ₁₂ -PCB 170	75
¹³ C ₁₂ -PCB 189	82
¹³ C ₁₂ -PCB 202	65
¹³ C ₁₂ -PCB 205	83
¹³ C ₁₂ -PCB 208	60
¹³ C ₁₂ -PCB 209	45

A.4 Meteorologie Untersuchungszeitraum Monatsdaten

Tabelle 35: Meteorologische Bedingungen im Untersuchungszeitraum Juni 2018 bis Mai 2019 (Monatsmittel), Messstation Waldhof

	Monatsmittel Temperatur (°C)	Monatssumme Niederschlag (mm)	Monatsmittel Luftfeuchte (%)	Monatsmittel Luftdruck (hPa)
Juni 18	18,9	17,6	67	1 006
Juli 18	21,2	40,3	61	1 006
August 18	20,0	19,1	66	1 006
September 18	15,3	18,8	72	1 009
Oktober 18	10,8	19,0	81	1 006
November 18	5,4	9,9	91	1 009
Dezember 18	4,9	67,1	94	1 006
Januar 19	1,8	48,3	91	1 001
Februar 19	4,7	17,7	80	1 010
März 19	7,0	74,3	84	1 003
April 19	10,4	26,4	65	1 007
Mai 19	12,1	31,6	72	1 004
Juni 19	21,1	53,1	65	1 006

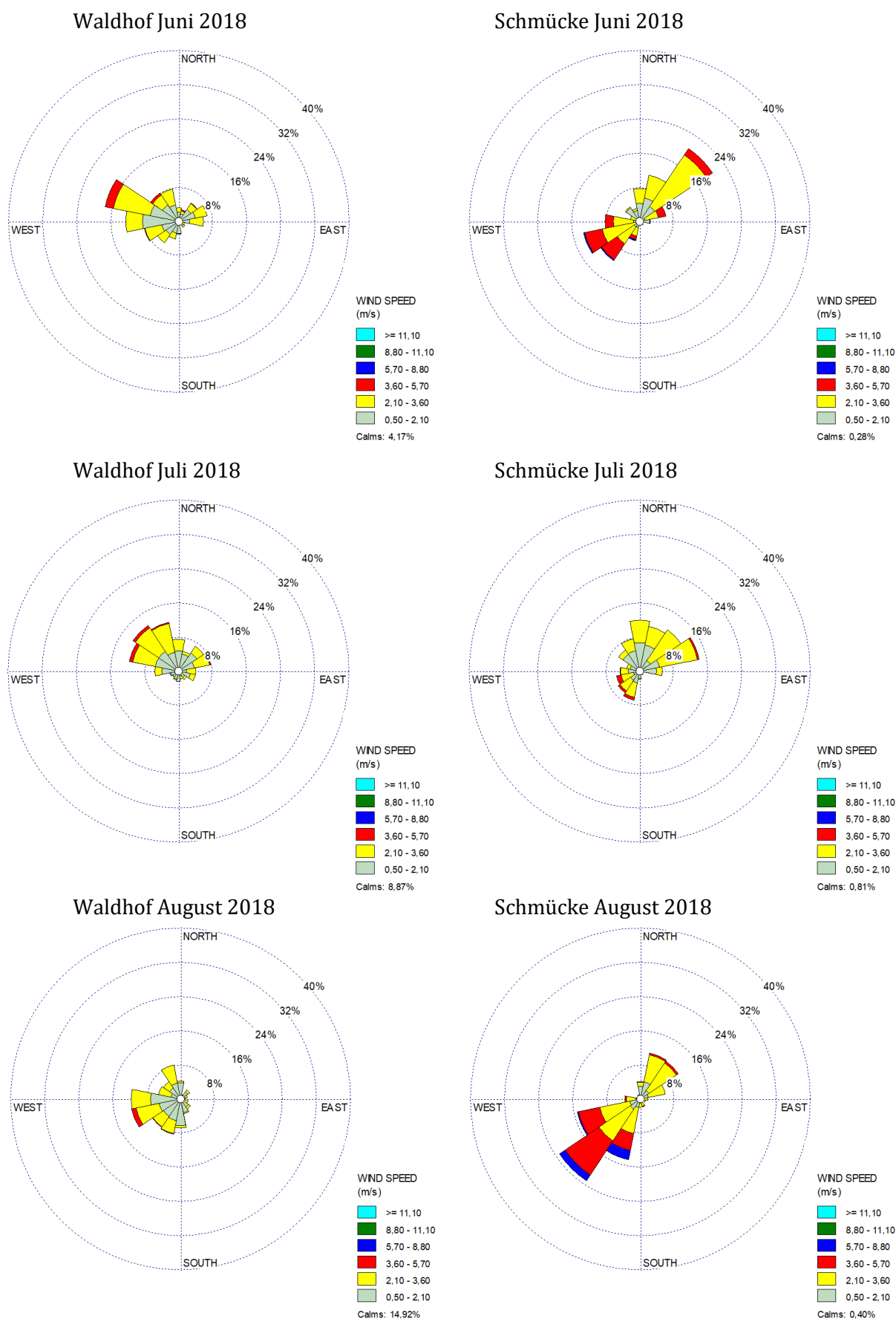
* Datenquelle: elektronische Datenübermittlung Umweltbundesamt vom 05.05.2020 und 12.06.2020 (UBA 2020). Hinweis:
Die meteorologischen Daten des Umweltbundesamtes sind nicht nach den Kriterien des DWD geprüft.

Tabelle 36: Meteorologische Bedingungen im Untersuchungszeitraum Juni 2018 bis Mai 2019 (Monatsmittel), Messstation Schmücke

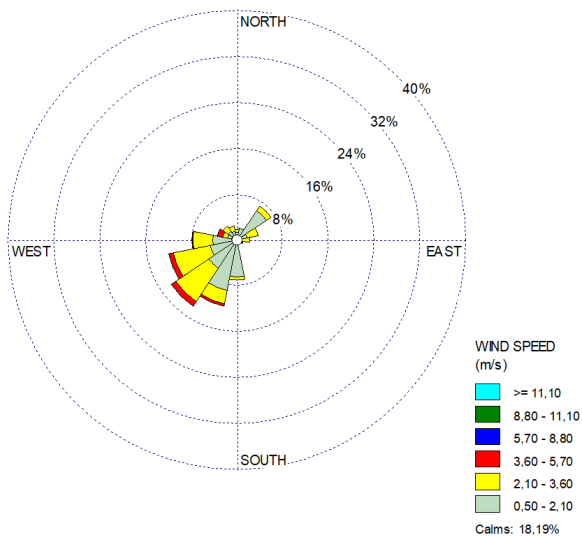
	Monatsmittel Temperatur (°C)	Monatssumme Niederschlag (mm)	Monatsmittel Luftfeuchte (%)	Monatsmittel Luftdruck (hPa)
Juni 18	14,0	25,6	82	909
Juli 18	17,6	82,0	64	909
August 18	16,8	50,5	73	910
September 18	12,0	73,1	77	912
Oktober 18	8,1	70,2	87	908
November 18	2,5	31,3	93	908
Dezember 18	-0,6	237,4	100	907
Januar 19	-3,8	271,0	97	901
Februar 19	1,1	46,2	79	911
März 19	2,0	164,6	90	906
April 19	6,0	35,3	72	905
Mai 19	6,6	154,4	83	905
Juni 19	16,9	28,0	67	910

* Datenquelle: elektronische Datenübermittlung Umweltbundesamt vom 05.05.2020 und 12.06.2020 (UBA 2020). Hinweis: Die meteorologischen Daten des Umweltbundesamtes sind nicht nach den Kriterien des DWD geprüft.

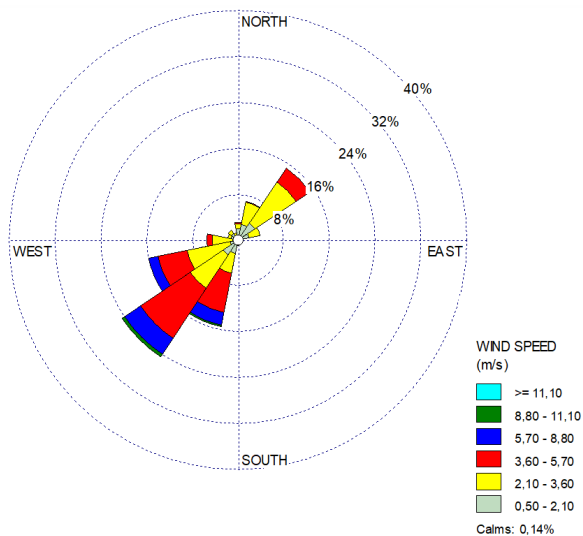
Abbildung 43: Windverhältnisse im Untersuchungszeitraum (Monatswerte)



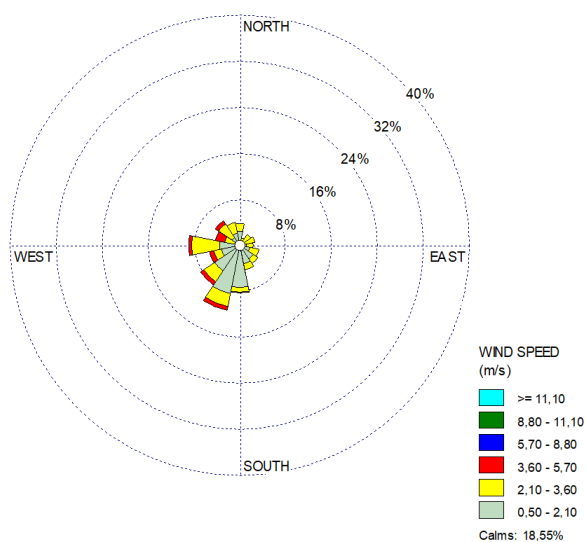
Waldhof September 2018



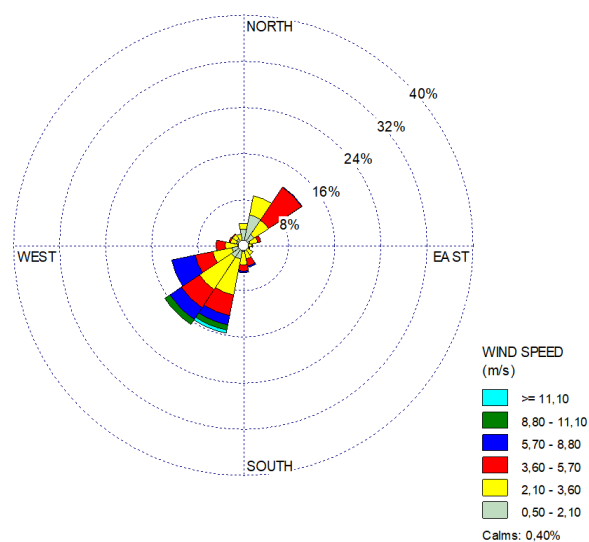
Schmücke September 2018



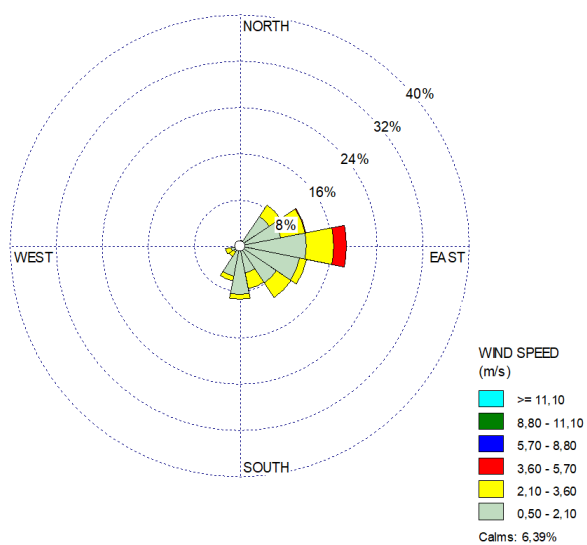
Waldhof Oktober 2018



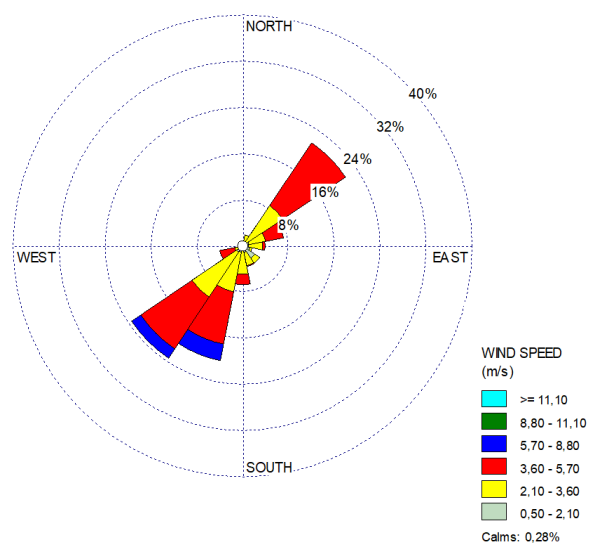
Schmücke Oktober 2018



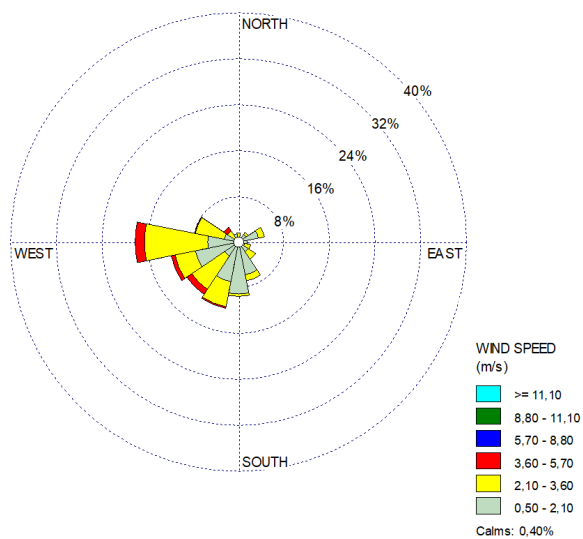
Waldhof November 2018



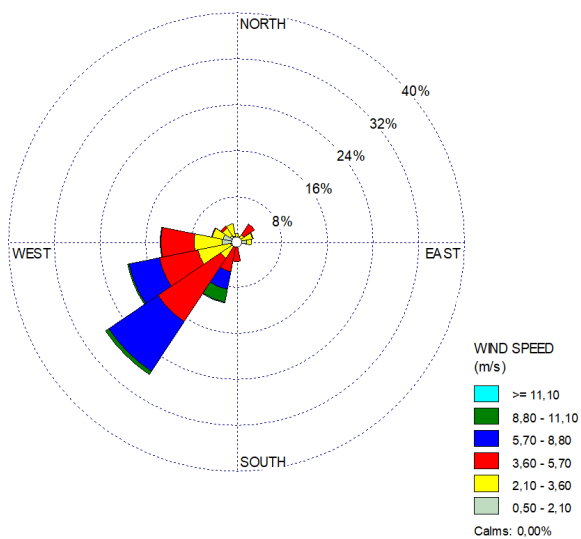
Schmücke November 2018



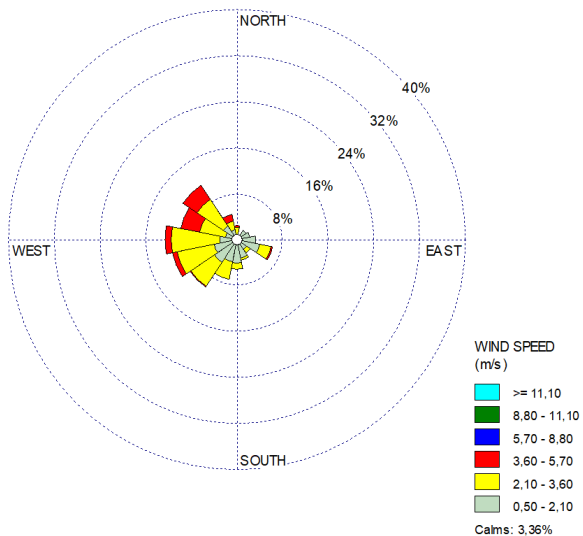
Waldhof Dezember 2018



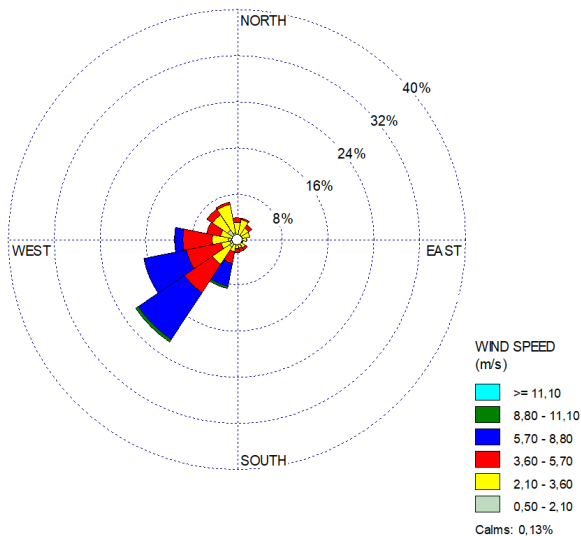
Schmücke Dezember 2018



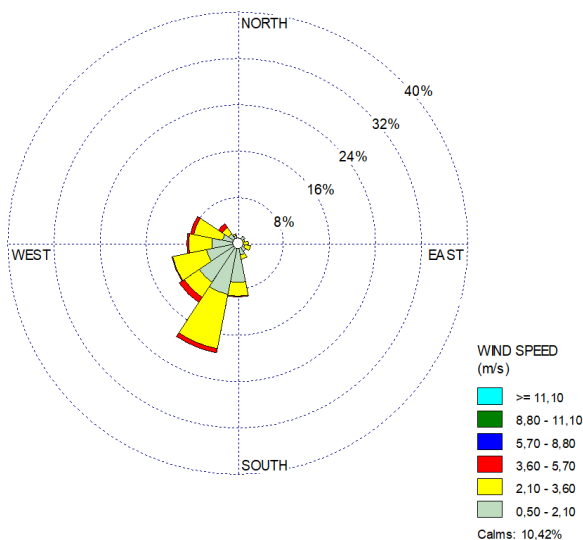
Waldhof Januar 2019



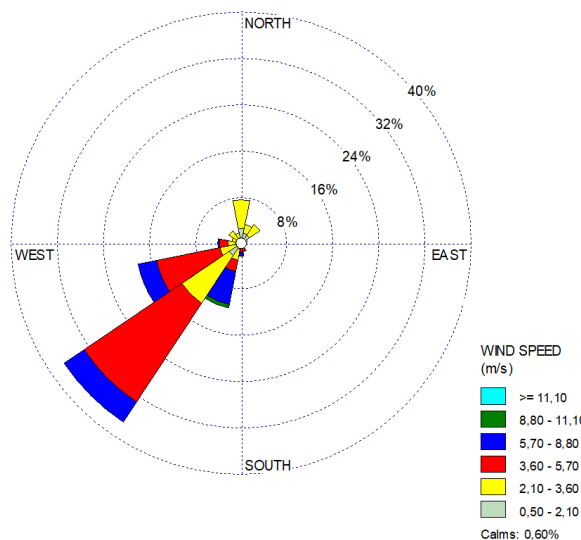
Schmücke Januar 2019



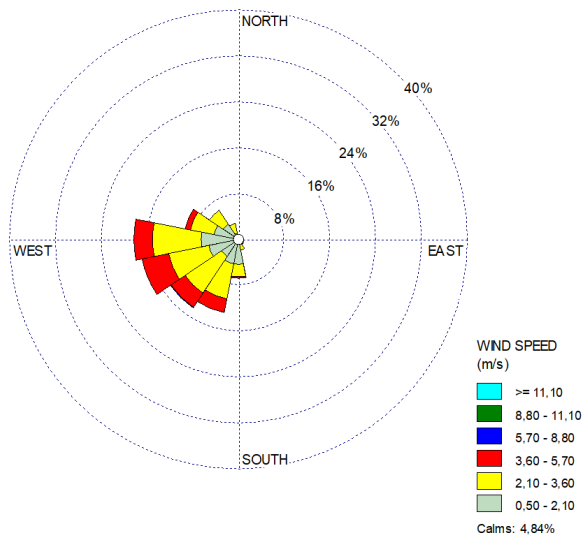
Waldhof Februar 2019



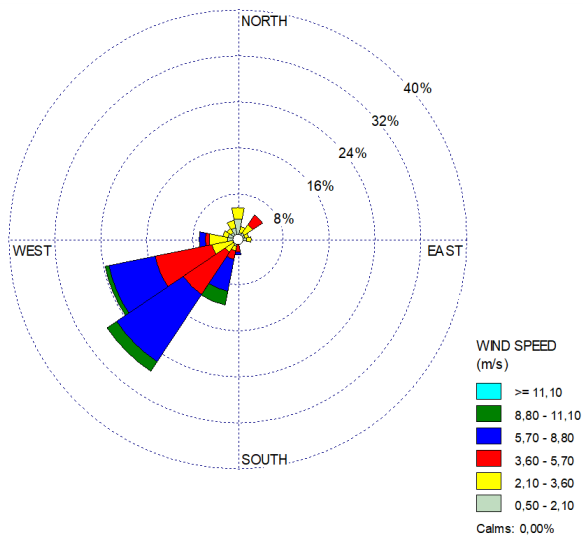
Schmücke Februar 2019



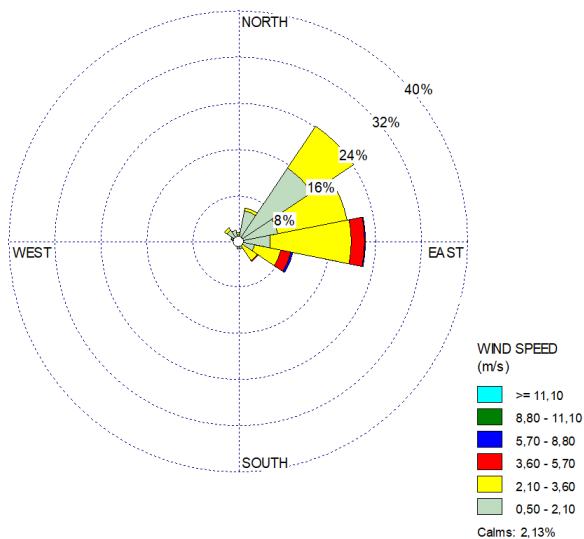
Waldhof März 2019



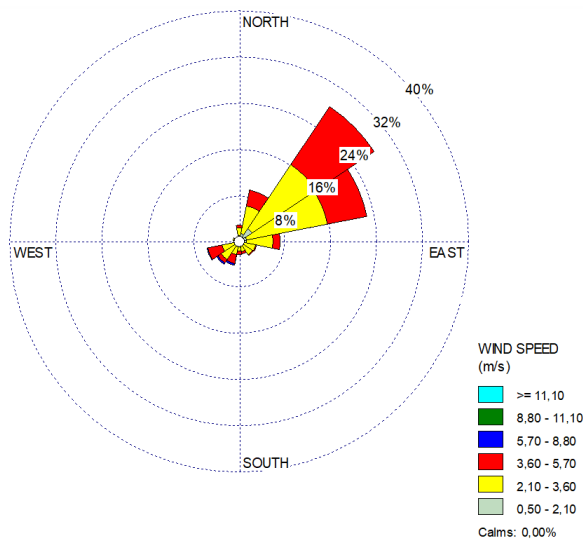
Schmücke März 2019



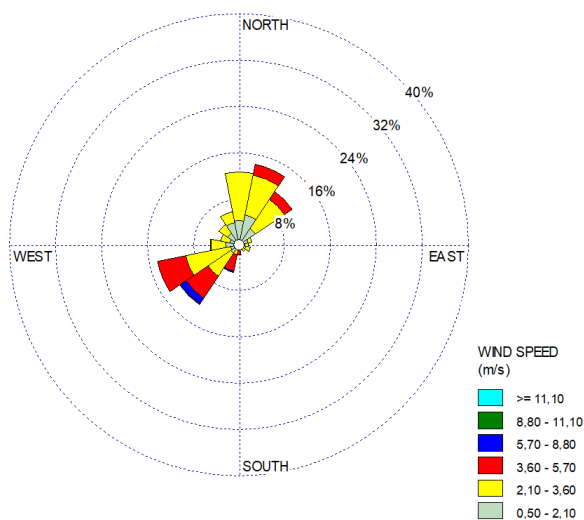
Waldhof April 2019



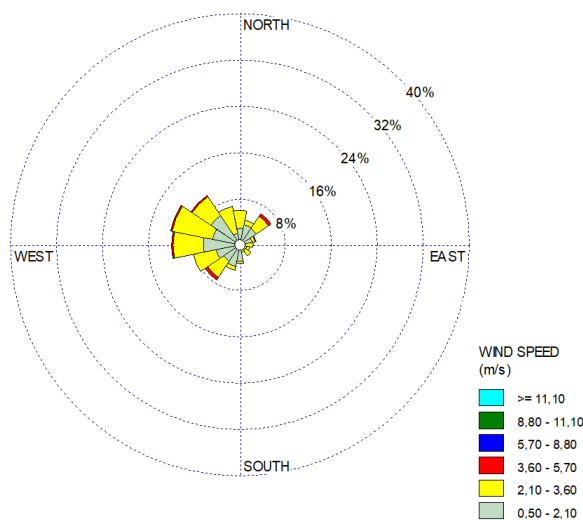
Schmücke April 2019



Waldhof Mai 2019



Schmücke Mai 2019



Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co. Datenquelle: elektronische Datenübermittlung Umweltbundesamt vom 05.05.2020 und 06.05.2020 (UBA 2020). Auswertung der Winddaten mittels WRPLOT View™ (Lakes Environmental 2020)

A.5 Messwerte Außenluft

Tabelle 37: TEQ-Konzentrationen (fg TEQ/m³), Messstation Waldhof

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
WHO ₂₀₀₅ -PCDD /F TEQ exkl. BG	0,5	0,3	0,5	1,2	1,5	13,1
WHO ₂₀₀₅ -PCDD /F TEQ inkl. 1/2 BG	0,5	0,5	0,6	1,2	1,5	13,2
WHO ₂₀₀₅ -PCDD /F TEQ inkl. BG	0,5	0,5	0,6	1,2	1,5	13,2
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ exkl. BG	0,5	0,0	0,6	0,0	0,0	0,6
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ inkl. 1/2 BG	0,5	0,4	0,7	0,2	0,2	0,7
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ inkl. BG	0,6	0,7	0,7	0,4	0,3	0,8
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ exkl. BG	1,0	0,3	1,1	1,2	1,5	13,7
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ inkl. 1/2 BG	1,0	0,9	1,3	1,5	1,7	13,9
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ inkl. BG	1,1	1,4	1,5	1,7	1,8	14,1
	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
WHO ₂₀₀₅ -PCDD /F TEQ exkl. BG	2,8	8,5	5,8	2,7	3,3	0,8
WHO ₂₀₀₅ -PCDD /F TEQ inkl. 1/2 BG	2,8	8,7	5,8	2,7	3,3	0,9
WHO ₂₀₀₅ -PCDD /F TEQ inkl. BG	2,9	9,0	5,8	2,7	3,3	0,9
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ exkl. BG	0,4	0,0	0,4	0,7	0,0	0,4
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ inkl. 1/2 BG	0,5	0,3	0,5	0,8	0,2	0,4
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ inkl. BG	0,5	0,7	0,5	0,8	0,5	0,5
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ exkl. BG	3,2	8,5	6,3	3,5	3,4	1,2
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ inkl. 1/2 BG	3,3	9,0	6,3	3,5	3,6	1,3
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ inkl. BG	3,4	9,6	6,4	3,6	3,8	1,4

Tabelle 38: TEQ-Konzentrationen (fg TEQ/m³), Messstation Schmücke

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
WHO ₂₀₀₅ -PCDD /F TEQ exkl. BG	0,4	0,4	0,7	0,8	1,1	3,4
WHO ₂₀₀₅ -PCDD /F TEQ inkl. 1/2 BG	0,5	0,4	0,7	0,8	1,3	3,4
WHO ₂₀₀₅ -PCDD /F TEQ inkl. BG	0,5	0,5	0,7	0,8	1,5	3,4
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ exkl. BG	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ inkl. 1/2 BG	0,4	0,6	0,2	0,2	0,2	0,1
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ inkl. BG	0,8	0,7	0,4	0,3	0,3	0,1
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ exkl. BG	0,4	0,9	0,7	0,8	1,1	3,4
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ inkl. 1/2 BG	0,9	1,0	0,9	1,0	1,4	3,4
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ inkl. BG	1,3	1,2	1,2	1,1	1,8	3,5
	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
WHO ₂₀₀₅ -PCDD /F TEQ exkl. BG	1,5	6,0	5,2	0,8	2,6	0,9
WHO ₂₀₀₅ -PCDD /F TEQ inkl. 1/2 BG	1,8	6,1	5,2	0,8	2,6	0,9
WHO ₂₀₀₅ -PCDD /F TEQ inkl. BG	2,1	6,3	5,2	0,9	2,6	1,0
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ exkl. BG	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,4
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ inkl. 1/2 BG	0,2	0,5	0,6	0,2	0,2	0,5
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ inkl. BG	0,5	0,9	0,6	0,5	0,4	0,5
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ exkl. BG	1,5	6,0	5,7	0,8	2,6	1,4
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ inkl. 1/2 BG	2,0	6,6	5,8	1,1	2,8	1,4
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ inkl. BG	2,6	7,2	5,8	1,4	3,0	1,5

Tabelle 39: Konzentrationen der 2,3,7,8-substituierten PCDD/F (fg/m³), Messstation Waldhof

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
TeD1	< 0,02	< 0,15	< 0,11	0,06	0,09	0,57
PeD1	< 0,07	< 0,12	< 0,12	0,22	0,35	2,67
HxD1	< 0,10	< 0,09	0,15	0,38	0,43	2,97
HxD2	0,19	0,16	< 0,19	0,74	0,79	7,85
HxD3	0,12	0,18	0,27	0,48	0,46	4,71
HpD1	2,17	2,1	2,94	9,51	4,69	65,2
OcD	7,39	6,85	10,23	31,12	3,94	146,6
TeF1	0,96	0,65	0,93	1,11	1,58	7,44
PeF1	0,31	< 0,26	0,41	0,58	0,76	5,69
PeF2	0,54	0,37	0,46	1,01	1,36	11,48
HxF1	0,38	0,44	0,61	0,8	1,03	9,64
HxF2	0,43	0,26	0,39	0,58	0,71	8,08
HxF3	< 0,11	< 0,10	< 0,10	< 0,28	< 0,11	< 1,31
HxF4	0,35	< 0,25	0,46	0,76	0,79	11,08
HpF1	1,59	1,17	1,76	2,62	1,79	32,78
HpF2	< 0,68	< 0,28	< 0,23	< 0,75	< 0,75	5,06
OcF	1,49	1,29	1,9	3,01	0,68	23,02
	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
TeD1	0,2	< 0,39	0,26	0,09	0,13	< 0,04
PeD1	0,82	1,9	1,47	0,56	0,71	0,17
HxD1	< 0,49	2,19	1,47	0,79	0,79	0,38
HxD2	1,41	5,27	4,11	1,76	2,07	0,49
HxD3	0,89	2,84	2,7	1,05	1,32	0,42
HpD1	13,98	60,	36,59	19,72	22,24	6,92
OcD	30,87	127,3	91,36	55,96	64,92	23,42
TeF1	2,61	5,37	3,55	1,93	2,38	0,82
PeF1	1,14	4,33	2,53	1,21	1,84	0,46
PeF2	2,44	7,88	4,28	2,29	2,37	0,6
HxF1	1,14	5,63	3,13	1,64	2,26	0,59
HxF2	1,02	5,14	3,4	1,44	2,06	0,48
HxF3	< 0,10	< 0,94	< 0,23	1,58	0,83	< 0,10
HxF4	1,41	5,84	3,65	0,54	2,1	0,56
HpF1	2,87	17,22	11,97	6,33	8,46	2,09
HpF2	< 0,37	3,43	1,3	0,86	1,2	< 0,70
OcF	2,73	13,51	9,67	6,32	7,66	2,53

Tabelle 40: Konzentrationen der 2,3,7,8-substituierten PCDD/F (fg/m³), Messstation Schmücke

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
TeD1	< 0,04	< 0,05	0,08	< 0,01	< 0,13	0,17
PeD1	< 0,07	0,07	0,16	0,18	< 0,26	0,72
HxD1	0,12	0,08	< 0,08	0,17	0,4	0,9
HxD2	0,16	0,12	< 0,19	0,43	0,6	1,56
HxD3	0,12	0,14	< 0,15	0,27	0,54	1,2
HpD1	2,08	1,12	1,95	4,76	7,57	19,69
OcD	6,91	3,87	6,42	15,31	24,54	52,98
TeF1	1,12	0,86	1,11	0,97	1,54	2,41
PeF1	0,2	0,28	< 0,46	0,44	0,72	1,92
PeF2	0,44	0,38	0,55	0,71	1,27	2,93
HxF1	0,32	0,33	0,56	0,55	0,85	2,01
HxF2	0,3	0,22	< 0,28	0,38	0,61	1,62
HxF3	< 0,07	< 0,14	< 0,07	< 0,22	< 0,16	< 0,40
HxF4	0,3	0,21	0,43	0,55	0,96	2,64
HpF1	1,21	0,88	1,55	1,66	2,78	6,4
HpF2	< 0,67	< 0,08	< 0,10	< 0,82	< 0,38	1,7
OcF	1,28	0,99	1,43	1,53	2,79	5,43
	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
TeD1	< 0,13	< 0,31	0,21	< 0,05	0,08	0,06
PeD1	< 0,45	1,29	1,4	0,27	0,53	0,18
HxD1	0,48	1,33	1,48	0,2	0,61	0,18
HxD2	0,68	2,62	3,05	0,37	0,99	0,29
HxD3	< 0,49	1,78	2,26	0,31	0,85	0,31
HpD1	8,16	24,67	40,1	5,35	10,43	4,54
OcD	16,31	58,48	94,13	16,37	27,83	14,24
TeF1	2,58	5,29	3,98	0,75	2,43	1,23
PeF1	0,86	3,57	2,09	0,32	1,12	0,58
PeF2	1,85	5,91	3,7	0,56	2,28	0,84
HxF1	1,12	4,68	2,68	0,43	1,93	0,55
HxF2	1,31	3,95	2,31	0,4	1,84	0,42
HxF3	< 0,24	< 0,45	< 0,20	0,43	< 0,25	< 0,31
HxF4	1,31	4,18	2,99	< 0,16	1,94	0,42
HpF1	3,76	12,14	8,88	1,64	6,72	1,84
HpF2	< 0,83	2,28	1,24	< 0,83	1,03	< 0,79
OcF	2,92	7,73	8,24	1,47	5,21	1,68

Tabelle 41: Konzentrationen der PCDD/F-Homologengruppensummen (fg/m³), Messstation Waldhof

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
S TeD	< 0,04	2,08	1,45	6,75	7,43	48,99
S PeD	< 0,04	1,36	0,51	3,68	6,68	58,86
S HxD	2,36	2,01	2,22	8,16	9,28	94,63
S HpD	5,22	3,70	4,91	17,06	9,47	123,5
OcD	7,39	6,84	10,22	31,12	3,94	146,6
S TeF	28,5	27,03	28,89	38,23	50,36	223,3
S PeF	6,13	7,19	7,87	13,26	17,05	129,8
S HxF	3,38	2,32	3,89	5,90	7,63	87,71
S HpF	2,28	1,72	2,64	4,06	2,90	49,62
OcF	1,49	1,29	1,9	3,01	0,68	23,02
	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
S TeD	24,11	18,99	18,42	12,86	11,97	3,03
S PeD	14,41	31,51	19,83	11,48	12,13	1,98
S HxD	19,88	58,95	43,33	18,66	21,13	5,86
S HpD	24,88	102,3	66,44	38,07	40,92	12,55
OcD	30,87	127,3	91,36	55,96	64,92	23,42
S TeF	87,52	114,3	114,3	73,09	80,89	22,49
S PeF	28,2	73,56	50,32	27,64	32,78	7,44
S HxF	11,89	42,15	31,9	16,9	20,91	4,74
S HpF	3,52	28,43	17,98	10,26	13,3	3,49
OcF	2,73	13,51	9,67	6,32	7,66	2,53

Tabelle 42: Konzentrationen der PCDD/F-Homologengruppensummen (fg/m³), Messstation Schmücke

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
S TeD	1,75	2,93	1,82	3,29	4,26	12,49
S PeD	< 0,04	1,79	< 0,04	2,98	3,21	13,25
S HxD	2,12	1,56	1,42	4,67	7,7	21,37
S HpD	4,49	2,14	3,77	8,72	14,3	36,6
OcD	6,91	3,87	6,41	15,31	24,54	52,98
S TeF	26,38	31,26	35,42	26,83	42,18	56,51
S PeF	4,16	7,27	9,69	9,33	14,79	41,11
S HxF	1,85	1,27	3,16	4,46	6,91	17,35
S HpF	1,75	0,88	2,00	2,71	3,78	10,46
OcF	1,28	0,99	1,43	1,53	2,79	5,43
	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
S TeD	8,87	14,4	13,93	4,68	9,76	4,28
S PeD	1,74	17,8	13,4	3,48	9,59	3,15
S HxD	5,5	31,21	33,03	5,06	13,61	4,2
S HpD	14,99	42,41	69,67	10,44	19,97	8,57
OcD	16,31	58,48	94,13	16,37	27,83	14,24
S TeF	65,59	96,02	94,13	28,26	76,88	35,99
S PeF	13,5	50,01	36,64	8,2	29,2	10,8
S HxF	5,95	33,01	23,24	4,67	18,11	4,48
S HpF	4,93	19,94	12,34	2,73	10,56	2,87
OcF	2,92	7,73	8,24	1,47	5,21	1,68

Tabelle 43: Konzentrationen der dl-PCB (fg/m³), Messstation Waldhof

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
PCB 77	37,1	40,4	35,2	25,9	22,5	< 19,9
PCB 81	< 1,0	< 3,5	< 13,2	< 0,9	< 1,5	< 13,6
PCB 105 ^a	165,9	151,5	176,8	137,9	94,1	96,9
PCB 114	5,6	5,0	< 3,8	6,6	4,5	2,4
PCB 118 ^b	493,2	518,5	597,2	426,9	317,7	263,9
PCB 123	< 10,2	10,4	11,3	8,8	7,5	7,3
PCB 126	4,9	< 6,6	6,2	< 3,7	< 2,8	6,
PCB 156	41,1	42,3	50,1	37,	30,1	35,4
PCB 157	6,1	7,4	3,6	< 5,6	< 4,1	6,4
PCB 167	32,7	36,5	38,9	29,9	22,5	20,1
PCB 169	< 1,3	< 1,9	< 2,6	< 1,2	< 0,4	< 6,5
PCB 189	< 2,2	5,1	4,3	< 3,6	< 2,2	5,5
	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
PCB 77	20,5	22,4	25,6	67,9	37,7	27,1
PCB 81	5,9	< 4,9	4,9	< 3,3	5,2	6,1
PCB 105 ^a	67,1	34,2	66,8	44,5	86,7	113,3
PCB 114	6,2	< 4,9	< 3,3	< 5,3	8,2	10,9
PCB 118 ^b	282,4	232,6	291,1	781,7	334,1	321,4
PCB 123	5,3	6,7	4,6	17,	9,1	6,4
PCB 126	3,9	< 4,9	4,2	7,	< 3,4	3,4
PCB 156	25,2	35,2	31,8	79,6	29,4	26,9
PCB 157	< 3,5	5,7	5,3	11,3	5,5	4,
PCB 167	15,8	20,	16,3	48,4	21,7	21,3
PCB 169	< 3,5	< 4,9	< 3,3	< 3,1	< 3,4	< 3,3
PCB 189	< 3,5	6,1	4,7	10,2	3,6	< 3,3

^a Coelution PCB 105 / 127, ^b Coelution PCB 106 / 118

Tabelle 44: Konzentrationen der dl-PCB (fg/m³), Messstation Schmücke

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
PCB 77	30,5	32,9	30,7	27,3	33,3	10,3
PCB 81	< 1,3	< 6,1	< 6,2	< 1,5	< 1,5	< 1,6
PCB 105 ^a	159,6	137,1	233,6	130,2	145,7	45,6
PCB 114	< 2,7	5,0	5,4	< 3,4	4,7	< 1,3
PCB 118 ^b	445,7	520,1	600,5	412,6	429,2	108,7
PCB 123	12,2	11,5	10,7	9,7	8,1	2,8
PCB 126	< 7,3	4,2	< 3,3	< 2,5	< 2,8	< 1,0
PCB 156	33,4	49,	37,1	28,7	32,9	12,9
PCB 157	3,4	3,8	< 2,1	< 2,8	< 5,4	2,
PCB 167	25,2	38,2	29,3	22,3	20,6	7,4
PCB 169	< 1,3	< 8,1	< 2,4	< 0,5	< 0,9	< 0,2
PCB 189	< 3,0	< 5,8	< 6,7	< 2,3	< 2,6	2,0
	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
PCB 77	14,6	16,1	25,3	38,	25,2	29,4
PCB 81	3,8	< 6,9	9,1	< 3,6	6,3	4,8
PCB 105 ^a	44,4	21,7	104,2	40,8	86,6	135,5
PCB 114	3,8	< 6,9	8,5	< 3,5	4,6	10,7
PCB 118 ^b	153,8	124,7	305,3	378,1	283,2	297,4
PCB 123	3,9	< 6,9	6,3	7,6	4,7	7,6
PCB 126	< 3,4	< 6,9	5,	< 3,5	< 2,8	4,2
PCB 156	14,6	22,2	40,9	30,4	25,4	22,
PCB 157	< 3,4	< 6,9	7,2	< 3,5	4,5	4,5
PCB 167	6,7	11,7	27,9	18,4	19,4	19,2
PCB 169	< 3,4	< 6,9	< 3,3	< 3,5	< 2,8	< 3,3
PCB 189	< 3,4	< 6,9	7,4	< 3,5	3,2	< 3,3

^a Coelution PCB 105 / 127, ^b Coelution PCB 106 / 118

Tabelle 45: Konzentrationen der i-PCB (pg/m³), Messstation Waldhof

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
PCB 28	1,55	1,44	1,94	1,94	2,02	2,17
PCB 52 ^a	2,37	2,08	3,01	2,25	1,85	1,66
PCB 101 ^b	2,43	2,79	3,52	2,18	1,62	1,23
PCB 138	1,06	1,26	1,33	0,83	0,64	0,50
PCB 153 ^c	1,52	1,75	1,96	1,27	0,91	0,65
PCB 180	0,37	0,41	0,46	0,3	0,22	0,23
	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
PCB 28	1,91	1,33	1,66	4,20	2,31	2,04
PCB 52 ^a	1,55	1,15	1,49	4,03	1,55	1,75
PCB 101 ^b	1,33	1,02	1,31	3,89	1,34	1,55
PCB 138	0,55	0,46	0,54	1,80	0,60	0,63
PCB 153 ^c	0,68	0,59	0,69	2,13	0,75	0,84
PCB 180	0,16	0,23	0,22	0,57	0,20	0,24

^a Coelution PCB 52 / 69 / 73, ^b Coelution PCB 89 / 90 / 101, ^c Coelution PCB 153 / 168

Tabelle 46: Konzentrationen der i-PCB (pg/m³), Messstation Schmücke

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
PCB 28	2,61	2,14	2,90	2,00	2,07	1,18
PCB 52a	2,38	2,40	3,10	2,11	2,07	< 0,38
PCB 101b	2,24	2,71	3,10	1,95	1,75	0,50
PCB 138	0,84	1,09	1,20	0,76	0,68	0,19
PCB 153c	1,24	1,49	1,71	1,01	0,91	0,26
PCB 180	0,27	0,38	0,33	0,23	0,22	0,08
	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
PCB 28	0,98	0,75	1,80	1,94	2,46	2,22
PCB 52a	0,81	0,59	1,65	1,96	1,45	1,75
PCB 101b	0,67	0,48	1,38	1,72	1,15	1,40
PCB 138	0,22	0,23	0,60	0,70	0,58	0,54
PCB 153c	0,30	0,28	0,79	0,88	0,70	0,74
PCB 180	0,09	0,15	0,34	0,20	0,22	0,18

^a Coelution PCB 52 / 69 / 73, ^b Coelution PCB 89 / 90 / 101, ^c Coelution PCB 153 / 168

Tabelle 47: Konzentrationen der PCB-Homologengruppensummen (pg/m³), Messstation Waldhof

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
S MoCB	0,08	0,07	0,08	0,19	0,7	3,52
S DiCB	3,25	4,11	5,33	4,84	9,41	16,5
S TriCB	6,98	6,09	10,45	7,23	11,74	14,54
S TeCB	12,04	9,87	13,85	11,06	9,45	8,25
S PeCB	9,46	9,70	12,04	8,26	6,14	4,9
S HxCB	8,49	11,09	10,73	7,00	5,24	3,95
S HpCB	1,83	2,83	2,45	1,44	1,12	1,04
S OcCB	0,15	0,2	0,18	0,15	0,08	0,13
S NoCB	0,01	< 0,01	0,02	< 0,001	< 0,001	0,03
DecCB	0,01	< 0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
S MoCB	n.a,	3,31	3,51	0,49	0,5	0,36
S DiCB	4,03	13,08	23,32	5,57	7,97	10,91
S TriCB	5,22	9,18	6,52	19,49	17,03	14,16
S TeCB	6,94	7,56	9,34	16,66	10,08	10,48
S PeCB	5,05	4,55	5,74	9,82	5,17	6,76
S HxCB	4,12	6,18	6,63	12,56	6,74	5,37
S HpCB	0,78	1,29	2,16	2,51	1,78	1,53
S OcCB	0,08	0,36	0,27	0,14	0,18	0,16
S NoCB	0,004	0,01	0,005	< 0,003	< 0,003	0,01
DecCB	0,01	0,02	0,02	< 0,003	0,01	0,02

Nur Werte > Bestimmungsgrenzen gehen in die Bildung der Homologengruppensummen ein. Liegen die Konzentrationen aller Kongenere einer Homologengruppe unterhalb der Bestimmungsgrenze, wird der Wert für die Homologengruppensumme als < maximale BG dargestellt.

n.a.: aufgrund von Störmatrix nicht analysierbar

Tabelle 48: Konzentrationen der PCB-Homologengruppensummen (pg/m³), Messstation Schmücke

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
S MoCB	0,21	0,11	0,22	0,47	0,98	2,25
S DiCB	7,37	5,4	9,13	10,46	12,98	9,69
S TriCB	13,99	8,79	17,89	10,33	12,89	8,41
S TeCB	12,14	11,92	14,56	10,52	10,7	1,73
S PeCB	8,47	9,806	10,99	7,67	7,07	2,03
S HxCB	6,77	9,78	10,07	6,61	5,09	2,13
S HpCB	1,44	2,59	2,3	1,51	1,17	0,4
S OcCB	0,11	0,2	0,17	0,12	0,09	0,07
S NoCB	< 0,003	< 0,01	< 0,00	< 0,002	< 0,001	0,01
DecCB	0,005	< 0,02	< 0,01	0,01	0,01	< 0,00
	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
S MoCB	3,09	5,43	n.a,	0,87	0,97	1,04
S DiCB	6,45	12,2	9,95	5,91	8,57	14,92
S TriCB	3,47	5,53	6,06	9,05	26,33	17,09
S TeCB	4,06	4,18	8,88	8,34	8,48	11,06
S PeCB	2,49	2,04	6,06	4,29	4,59	6,35
S HxCB	1,85	1,91	6,28	4,22	4,51	4,64
S HpCB	0,46	0,85	1,69	0,75	1,06	1,29
S OcCB	0,05	0,21	0,34	0,05	0,15	0,15
S NoCB	< 0,003	< 0,01	0,011	< 0,003	0,008	0,005
DecCB	< 0,003	0,01	0,02	< 0,003	0,01	0,01

Nur Werte > Bestimmungsgrenzen gehen in die Bildung der Homologengruppensummen ein. Liegen die Konzentrationen aller Kongenere einer Homologengruppe unterhalb der Bestimmungsgrenze, wird der Wert für die Homologengruppensumme als < maximale BG dargestellt.

n.a.: aufgrund von Störmatrix nicht analysierbar

Tabelle 49: Konzentrationen der 209 PCB (pg/m³), Messstation Waldhof

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
PCB 1	0,020	0,019	0,017	0,029	0,088	0,356
PCB 2	0,026	0,023	0,033	0,058	0,340	1,706
PCB 3	0,034	0,031	0,033	0,106	0,271	1,461
Summe MonoCB	0,080	0,073	0,083	0,192	0,700	3,523
PCB 10	< 0,003	< 0,002	< 0,004	< 0,001	< 0,004	0,023
PCB 4	0,142	0,141	0,193	0,249	0,434	1,379
PCB 9	< 0,035	0,013	0,003	0,012	0,044	0,116
PCB 7	< 0,035	0,013	0,009	0,014	0,031	0,098
PCB 6	0,093	0,068	0,097	< 0,009	0,274	0,696
PCB 5 / 8	0,530	0,565	0,930	1,273	1,932	3,613
PCB 14	< 0,040	< 0,014	< 0,014	< 0,008	< 0,021	0,067
PCB 11	2,175	3,023	3,683	2,867	6,112	9,461
PCB 12 / 13	0,064	0,051	0,091	0,107	0,204	0,554
PCB 15	0,249	0,231	0,325	0,320	0,380	0,497
Summe DiCB	3,253	4,106	5,333	4,844	9,413	16,504
PCB 19	0,072	0,027	0,110	0,218	0,229	0,527
PCB 30	< 0,009	< 0,024	< 0,016	< 0,019	< 0,010	< 0,003
PCB 18	0,993	0,572	2,111	2,342	2,731	4,225
PCB 17	0,330	0,177	0,643	0,745	0,867	1,358
PCB 24	0,012	< 0,010	0,023	0,029	0,038	0,059
PCB 27	0,054	0,026	0,102	0,111	0,123	0,167
PCB 32	0,243	0,271	0,425	0,550	0,652	0,904
PCB 16	0,348	0,399	0,597	0,799	0,944	1,253
PCB 23	< 0,008	< 0,004	< 0,004	< 0,001	< 0,004	0,009
PCB 34	< 0,007	< 0,004	0,005	0,005	< 0,009	0,011
PCB 29	< 0,008	0,006	0,011	0,014	0,018	0,024
PCB 26	0,157	0,165	0,249	0,285	0,276	0,292
PCB 25	0,068	0,068	0,100	0,128	0,128	0,121
PCB 31	1,393	1,351	1,943	1,956	1,865	1,569
PCB 28	1,546	1,438	1,942	1,938	2,015	2,169
PCB 21	< 0,009	< 0,001	0,005	< 0,001	0,010	0,020
PCB 20 / 33	0,919	0,837	1,212	1,159	1,132	1,094

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
PCB 22	0,545	0,477	0,656	0,253	0,499	0,422
PCB 36	< 0,024	0,008	0,013	< 0,000	< 0,014	0,019
PCB 39	0,044	0,007	0,022	< 0,003	< 0,014	0,027
PCB 38	< 0,003	< 0,004	< 0,009	< 0,001	< 0,017	0,038
PCB 35	0,055	0,061	0,061	0,025	0,042	0,062
PCB 37	0,201	0,186	0,220	0,112	0,171	0,166
Summe TriCB	6,98	6,087	10,453	7,225	11,741	14,536
PCB 54	0,004	0,004	0,01	0,013	0,01	0,008
PCB 50	< 0,008	0,005	0,007	0,008	0,009	0,010
PCB 53	0,328	0,265	0,383	0,428	0,378	0,317
PCB 51	0,212	0,145	0,21	0,265	0,273	0,262
PCB 45	0,346	0,253	0,386	0,373	0,351	0,295
PCB 46	0,130	0,087	0,135	0,102	0,097	0,095
PCB 52 / 69 / 73	2,368	2,077	3,007	2,246	1,851	1,661
PCB 43 / 49	1,382	1,072	1,649	1,369	1,133	0,980
PCB 47 / 48 / 65 / 75	1,211	0,852	1,301	1,159	1,103	1,258
PCB 62	< 0,003	< 0,002	< 0,004	< 0,001	< 0,001	0,002
PCB 44	1,372	1,149	1,558	1,209	0,978	0,859
PCB 59	0,091	0,073	0,095	0,070	0,067	0,066
PCB 42	0,355	0,284	0,371	0,287	0,258	0,437
PCB 64 / 71 / 72	0,985	0,821	1,065	0,817	0,675	0,618
PCB 41	0,148	0,109	0,16	0,101	0,094	0,101
PCB 68	0,072	0,061	0,083	0,058	0,071	0,090
PCB 40 / 57	0,145	0,109	0,151	0,103	0,089	< 0,022
PCB 67	0,034	0,027	0,032	0,022	0,024	< 0,011
PCB 58 / 63	0,039	0,031	0,041	0,030	0,027	< 0,012
PCB 61 / 74	0,567	0,457	0,614	0,500	0,424	0,531
PCB 70	1,005	0,909	1,202	0,889	0,711	0,576
PCB 76	0,012	0,012	0,013	0,013	0,008	< 0,012
PCB 66 / 80	0,689	0,588	0,778	0,586	0,485	< 0,014
PCB 55	0,01	0,009	0,011	0,008	0,007	< 0,013
PCB 56 / 60	0,492	0,425	0,560	0,372	0,304	0,083
PCB 79	< 0,002	< 0,002	< 0,005	< 0,002	< 0,002	< 0,012

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
PCB 78	< 0,004	0,002	< 0,001	0,006	0,008	< 0,014
PCB 81	< 0,001	< 0,003	< 0,013	< 0,001	< 0,001	< 0,014
PCB 77	0,037	0,040	0,035	0,026	0,022	< 0,020
Summe TetraCB	12,037	9,868	13,854	11,06	9,454	8,252
PCB 104	< 0,000	< 0,001	< 0,002	< 0,001	< 0,001	0,001
PCB 96	0,021	0,019	0,026	0,017	0,014	0,012
PCB 103	0,025	0,023	0,027	0,017	0,015	0,010
PCB 100	0,009	0,007	0,009	0,008	0,019	0,006
PCB 94	0,007	0,012	0,01	0,010	0,008	0,007
PCB 93 / 95 / 98 / 102	2,776	2,689	3,384	2,396	1,839	1,359
PCB 88	< 0,002	< 0,001	< 0,002	< 0,002	< 0,003	< 0,000
PCB 91 / 121	0,204	0,172	0,211	0,149	0,115	0,096
PCB 92	0,373	0,372	0,486	0,312	0,246	0,19
PCB 84	0,372	0,364	0,475	0,326	0,218	0,193
PCB 89 / 90 / 101	2,434	2,788	3,520	2,178	1,616	1,232
PCB 113	0,006	0,006	< 0,002	0,006	0,004	< 0,000
PCB 99	0,497	0,499	0,596	0,44	0,338	0,287
PCB 112 / 119	0,028	0,025	0,034	0,024	0,018	0,018
PCB 109 / 83	0,043	0,042	0,051	0,036	0,027	0,024
PCB 86 / 97 / 117 / 125	0,289	0,269	0,325	0,259	0,186	0,163
PCB 116	< 0,001	< 0,001	< 0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,000
PCB 87 / 115	0,417	0,410	0,504	0,370	0,270	0,230
PCB 111	< 0,001	< 0,001	< 0,002	< 0,000	0,001	< 0,000
PCB 85	0,154	0,136	0,165	0,115	0,082	0,082
PCB 120	0,005	0,006	0,005	0,004	< 0,003	0,004
PCB 110	0,994	1,043	1,261	0,886	0,610	0,521
PCB 82	0,071	0,058	0,078	0,070	0,050	0,049
PCB 124	0,022	0,025	0,033	0,017	0,014	0,012
PCB 107 / 108	0,044	0,045	0,049	0,035	0,026	0,023
PCB 123	< 0,010	0,010	0,011	0,009	0,007	0,007
PCB 106 / 118	0,493	0,518	0,597	0,427	0,318	0,264
PCB 114	0,006	0,005	< 0,004	0,007	0,005	0,002
PCB 122	0,005	0,005	< 0,005	< 0,003	< 0,003	0,002

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
PCB 105 / 127	0,166	0,151	0,177	0,138	0,094	0,097
PCB 126	0,005	< 0,007	0,006	< 0,004	< 0,003	0,006
Summe PentaCB	9,465	9,700	12,04	8,257	6,143	4,899
PCB 155	0,005	0,004	0,003	0,004	0,004	0,005
PCB 150	0,006	0,016	0,007	0,005	0,004	0,004
PCB 152	< 0,001	0,005	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,003
PCB 145	< 0,001	< 0,002	< 0,002	< 0,000	< 0,000	< 0,000
PCB 136 / 148	0,454	0,943	0,659	0,413	0,341	0,295
PCB 154	0,024	0,051	0,030	0,024	0,021	0,016
PCB 151	0,812	1,732	1,148	0,753	0,626	0,505
PCB 135	0,395	0,831	0,529	0,368	0,291	0,224
PCB 144	0,118	0,246	0,181	0,125	0,093	0,082
PCB 147	0,03	0,056	0,039	0,035	0,028	0,021
PCB 139 / 149	2,072	2,129	2,492	1,576	1,159	0,763
PCB 140	< 0,002	0,009	0,007	0,006	< 0,004	0,002
PCB 143	< 0,002	< 0,003	< 0,004	< 0,001	< 0,001	0,001
PCB 134	0,096	0,102	0,116	0,078	0,056	0,045
PCB 131 / 133 / 142	0,049	0,057	0,064	0,042	0,028	0,020
PCB 165	< 0,001	< 0,003	< 0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001
PCB 146	0,285	0,279	0,312	0,211	0,156	0,109
PCB 132 / 161	0,455	0,442	0,503	0,353	0,234	0,185
PCB 153 / 168	1,52	1,75	1,965	1,267	0,915	0,645
PCB 141	0,342	0,37	0,401	0,284	0,184	0,143
PCB 137	0,027	0,033	0,037	0,030	0,02	0,020
PCB 130	0,073	0,076	0,11	0,071	0,053	0,042
PCB 163 / 164	0,366	0,381	0,458	0,278	0,198	0,143
PCB 138	1,062	1,257	1,33	0,833	0,644	0,499
PCB 158 / 160	0,125	0,136	0,152	0,105	0,075	0,061
PCB 129	0,018	0,017	0,016	0,02	0,016	0,014
PCB 166	< 0,001	< 0,002	< 0,002	0,002	0,001	0,001
PCB 159	< 0,001	< 0,002	< 0,002	< 0,000	< 0,000	< 0,001
PCB 128 / 162	0,07	0,08	0,075	0,055	0,036	0,039
PCB 167	0,033	0,036	0,039	0,030	0,022	0,020

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
PCB 156	0,041	0,042	0,05	0,037	0,03	0,035
PCB 157	0,006	0,007	0,004	< 0,006	< 0,004	0,006
PCB 169	< 0,001	< 0,002	< 0,003	< 0,001	< 0,000	< 0,006
Summe HexaCB	8,486	11,087	10,728	7,004	5,236	3,950
PCB 188	< 0,001	0,001	< 0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001
PCB 184	< 0,002	< 0,002	0,001	< 0,001	< 0,002	< 0,002
PCB 179	0,204	0,386	0,273	0,151	0,125	0,098
PCB 176	0,051	0,105	0,069	0,040	0,032	0,027
PCB 186	< 0,001	< 0,002	< 0,002	< 0,000	< 0,000	< 0,000
PCB 178	0,079	0,154	0,095	0,054	0,045	0,034
PCB 175	0,016	0,039	0,026	0,012	0,009	0,008
PCB 182 / 187	0,39	0,784	0,473	0,247	0,211	0,158
PCB 183	0,149	0,198	0,215	0,128	0,104	0,087
PCB 185	0,024	0,028	0,040	0,021	0,015	0,014
PCB 174	0,217	0,29	0,328	0,181	0,136	0,129
PCB 181	< 0,001	0,002	< 0,005	< 0,000	< 0,001	< 0,001
PCB 177	0,110	0,138	0,154	0,094	0,070	0,067
PCB 171	0,056	0,068	0,084	0,046	0,038	0,036
PCB 173	< 0,001	0,007	0,006	< 0,005	< 0,004	0,003
PCB 172	0,029	0,042	0,037	0,026	0,019	0,019
PCB 192	< 0,001	< 0,002	< 0,005	< 0,000	< 0,000	< 0,001
PCB 180	0,368	0,411	0,456	0,305	0,219	0,234
PCB 193	0,009	0,02	0,019	0,014	0,009	0,009
PCB 191	0,006	0,008	0,009	< 0,006	< 0,004	0,004
PCB 170	0,106	0,12	0,139	0,104	0,074	0,09
PCB 190	0,02	0,027	0,026	0,017	0,012	0,014
PCB 189	< 0,002	0,005	0,004	< 0,004	< 0,002	0,006
Summe HeptaCB	1,834	2,832	2,455	1,439	1,118	1,039
PCB 202	0,014	0,018	0,022	0,017	0,011	0,009
PCB 200	0,010	0,010	0,014	0,014	0,009	0,008
PCB 204	< 0,001	< 0,002	< 0,002	< 0,001	< 0,000	< 0,000
PCB 197	0,003	0,004	0,003	< 0,004	< 0,003	0,002
PCB 199	0,007	0,011	0,008	0,008	< 0,005	0,005

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
PCB 198 / 201	0,041	0,068	0,054	0,045	0,025	0,037
PCB 196 / 203	0,041	0,057	0,05	0,042	0,026	0,037
PCB 195	0,012	0,01	0,012	0,009	< 0,005	0,009
PCB 194	0,017	0,019	0,019	0,016	0,011	0,021
PCB 205	< 0,002	0,001	0,001	< 0,001	< 0,001	0,002
Summe OctaCB	0,145	0,196	0,184	0,152	0,082	0,131
PCB 208	< 0,003	< 0,007	0,004	< 0,002	< 0,002	0,004
PCB 207	0,003	< 0,006	0,004	< 0,001	< 0,001	0,003
PCB 206	0,006	< 0,017	0,008	< 0,005	< 0,004	0,024
Summe NonaCB	0,009	< 0,006	0,015	< 0,001	< 0,001	0,030
PCB 209	0,006	< 0,008	0,011	0,010	0,006	0,007
Summe Deca	0,006	< 0,008	0,011	0,010	0,006	0,007

	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
PCB 1	n.a.	0,248	0,365	0,065	0,068	< 0,067
PCB 2	n.a.	1,565	1,690	0,213	0,172	0,196
PCB 3	n.a.	1,493	1,450	0,211	0,258	0,168
Summe MonoCB	n.a.	3,306	3,506	0,489	0,498	0,363
PCB 10	n.a.	< 1,769	< 3,511	< 0,026	0,011	< 0,007
PCB 4	n.a.	1,974	1,544	0,327	0,506	0,479
PCB 9	n.a.	0,143	0,143	0,026	0,035	0,038
PCB 7	n.a.	0,135	0,119	0,030	0,039	0,03
PCB 6	n.a.	0,652	0,803	0,187	0,209	0,295
PCB 5 / 8	n.a.	3,943	5,045	1,500	1,633	2,304
PCB 14	n.a.	< 0,552	< 1,398	< 0,011	< 0,011	0,018
PCB 11	3,322	5,375	14,347	3,044	4,903	6,971
PCB 12 / 13	0,298	0,442	0,678	0,150	0,162	0,211
PCB 15	0,413	0,437	0,626	0,285	0,477	0,564
Summe DiCB	4,033	13,08	23,32	5,569	7,974	10,909
PCB 19	n.a.	0,325	< 0,003	0,201	0,197	0,353
PCB 30	n.a.	< 0,006	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
PCB 18	< 0,003	2,369	< 0,003	2,018	6,035	4,534
PCB 17	< 0,003	0,913	< 0,003	0,743	2,473	1,559
PCB 24	< 0,003	0,042	< 0,003	0,032	0,082	0,07

	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
PCB 27	< 0,003	0,129	< 0,003	0,111	0,293	0,243
PCB 32	0,289	0,480	0,515	1,368	0,620	0,523
PCB 16	0,789	0,732	0,725	2,008	0,824	0,777
PCB 23	0,013	0,006	0,011	0,019	0,006	< 0,004
PCB 34	0,016	0,01	0,015	0,021	0,006	0,006
PCB 29	0,028	0,015	0,028	< 0,003	0,013	0,015
PCB 26	0,294	0,217	0,275	0,679	0,248	0,271
PCB 25	0,143	0,109	0,129	0,319	0,119	0,122
PCB 31	1,605	1,189	1,529	3,767	1,315	1,804
PCB 28	1,907	1,332	1,659	4,197	2,306	2,038
PCB 21	n.a.	0,019	0,025	< 0,003	0,016	0,015
PCB 20 / 33	n.a.	0,713	0,908	2,125	0,943	1,054
PCB 22	n.a.	0,356	0,440	1,133	0,754	0,537
PCB 36	0,022	0,021	0,019	0,053	0,034	0,016
PCB 39	0,026	0,021	0,026	0,071	0,027	0,023
PCB 38	0,02	0,020	0,021	0,047	0,018	0,008
PCB 35	0,071	0,05	0,062	0,138	0,130	0,045
PCB 37	n.a.	0,131	0,134	0,462	0,571	0,161
Summe TriCB	5,224	9,18	6,521	19,493	17,027	14,155
PCB 54	0,012	0,019	0,024	0,012	0,008	0,014
PCB 50	0,009	0,012	0,015	0,009	0,009	0,013
PCB 53	0,25	0,364	0,494	0,245	0,284	0,469
PCB 51	n.a.	0,321	0,405	0,170	0,193	0,292
PCB 45	n.a.	0,263	0,424	0,207	0,293	0,473
PCB 46	0,097	0,076	0,077	0,237	0,154	0,103
PCB 52 / 69 / 73	1,549	1,151	1,492	4,03	1,546	1,745
PCB 43 / 49	0,945	0,737	0,887	2,584	0,964	0,995
PCB 47 / 48 / 65 / 75	1,119	0,966	1,069	3,024	1,250	0,969
PCB 62	0,008	< 0,005	< 0,003	< 0,008	< 0,003	< 0,003
PCB 44	0,822	0,69	0,814	2,189	1,218	0,921
PCB 59	0,049	0,047	0,058	0,147	0,090	0,064
PCB 42	0,237	0,204	0,214	0,620	0,418	0,242
PCB 64 / 71 / 72	n.a.	0,468	0,548	1,456	0,916	0,676
PCB 41	n.a.	0,061	0,093	< 0,013	0,126	0,094
PCB 68	n.a.	0,073	0,094	< 0,008	0,096	0,071
PCB 40 / 57	0,097	0,111	0,124	0,082	0,184	0,158

	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
PCB 67	0,026	0,028	0,037	0,021	0,023	0,038
PCB 58 / 63	0,03	0,034	0,042	0,024	0,033	0,047
PCB 61 / 74	0,359	0,416	0,486	0,326	0,331	0,628
PCB 70	0,604	0,713	0,892	0,552	0,684	1,181
PCB 76	0,01	0,02	< 0,003	0,012	0,021	< 0,003
PCB 66 / 80	0,328	0,414	0,563	0,342	0,625	0,702
PCB 55	0,017	0,007	0,014	0,008	0,015	0,014
PCB 56 / 60	0,308	0,338	0,407	0,270	0,566	0,521
PCB 79	0,005	< 0,005	0,005	< 0,003	0,004	< 0,003
PCB 78	0,01	< 0,005	0,008	< 0,003	0,006	0,008
PCB 81	0,006	< 0,005	0,005	< 0,003	0,005	0,006
PCB 77	0,021	0,022	0,026	0,068	0,038	0,027
Summe TetraCB	6,935	7,562	9,339	16,659	10,076	10,483
PCB 104	< 0,003	< 0,005	< 0,007	< 0,003	< 0,005	< 0,003
PCB 96	< 0,000	0,027	0,024	0,014	0,025	0,028
PCB 103	< 0,000	< 0,005	0,033	< 0,003	0,019	0,034
PCB 100	< 0,003	0,014	0,012	0,009	0,004	0,015
PCB 94	< 0,003	0,007	0,015	0,007	0,006	0,015
PCB 93 / 95 / 98 / 102	1,460	1,826	2,374	1,319	1,358	2,735
PCB 88	< 0,003	0,005	0,007	< 0,003	< 0,003	0,005
PCB 91 / 121	0,114	0,107	0,110	0,350	0,177	0,128
PCB 92	0,211	0,173	0,177	0,620	0,219	0,246
PCB 84	0,223	0,193	0,230	0,733	0,485	0,252
PCB 89 / 90 / 101	1,326	1,023	1,309	3,889	1,336	1,554
PCB 113	0,006	0,007	0,005	0,017	0,008	0,004
PCB 99	0,305	0,247	0,251	0,943	0,411	0,362
PCB 112 / 119	< 0,003	0,020	0,017	0,063	0,027	0,022
PCB 109 / 83	0,027	0,020	0,02	0,023	0,018	0,021
PCB 86 / 97 / 117 / 125	0,182	0,101	0,128	0,141	0,081	0,139
PCB 116	< 0,003	< 0,005	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
PCB 87 / 115	0,228	0,129	0,176	0,203	0,113	0,185
PCB 111	< 0,003	0,006	0,004	< 0,003	< 0,003	< 0,003
PCB 85	0,066	0,019	0,017	0,063	0,072	0,076
PCB 120	0,005	0,012	0,011	< 0,003	< 0,003	< 0,003
PCB 110	0,489	0,295	0,398	0,452	0,271	0,420

	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
PCB 82	n,a,	0,008	< 0,003	0,017	0,037	0,029
PCB 124	0,014	0,012	0,013	0,041	0,015	0,015
PCB 107 / 108	0,024	0,023	0,024	0,075	0,034	0,032
PCB 123	0,005	0,007	0,005	0,017	0,009	0,006
PCB 106 / 118	0,282	0,233	0,291	0,782	0,334	0,321
PCB 114	0,006	< 0,005	< 0,003	< 0,005	0,008	0,011
PCB 122	0,009	< 0,005	0,004	< 0,019	0,012	0,012
PCB 105 / 127	0,067	0,034	0,067	0,045	0,087	0,113
PCB 126	0,004	< 0,005	0,004	0,007	< 0,003	0,003
Summe PentaCB	5,050	4,547	5,739	9,820	5,167	6,758
PCB 155	< 0,003	< 0,005	< 0,003	< 0,003	< 0,003	0,008
PCB 150	0,006	< 0,005	< 0,003	< 0,007	< 0,003	0,007
PCB 152	< 0,003	< 0,005	< 0,003	< 0,007	< 0,003	< 0,003
PCB 145	< 0,003	< 0,005	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
PCB 136 / 148	0,379	0,913	0,981	0,796	0,819	0,445
PCB 154	0,014	< 0,005	< 0,003	< 0,018	0,019	0,029
PCB 151	0,565	1,503	1,482	1,133	0,986	0,761
PCB 135	0,287	0,671	0,730	0,572	0,593	0,361
PCB 144	0,068	0,226	0,265	0,175	0,079	0,117
PCB 147	n.a.	< 0,005	0,069	0,057	0,024	0,024
PCB 139 / 149	0,817	1,094	0,923	3,229	1,250	1,038
PCB 140	< 0,003	< 0,005	< 0,003	< 0,026	0,008	0,005
PCB 143	< 0,003	< 0,005	< 0,003	< 0,013	< 0,003	< 0,003
PCB 134	0,043	0,073	0,053	0,215	0,134	0,059
PCB 131 / 133 / 142	0,023	0,042	0,031	0,114	0,026	0,034
PCB 165	< 0,003	0,069	< 0,003	0,235	< 0,003	< 0,003
PCB 146	0,085	0,007	0,12	< 0,009	0,144	0,154
PCB 132 / 161	0,152	0,130	0,218	0,962	0,598	0,242
PCB 153 / 168	0,682	0,585	0,689	2,130	0,754	0,841
PCB 141	0,138	0,099	0,162	0,518	0,222	0,185
PCB 137	0,016	0,014	0,019	0,041	0,019	0,016
PCB 130	0,037	0,033	0,038	0,103	0,039	0,044
PCB 163 / 164	0,117	0,103	0,158	0,103	0,237	0,184
PCB 138	0,551	0,464	0,537	1,803	0,598	0,633
PCB 158 / 160	0,065	0,061	0,066	0,212	0,049	0,068
PCB 129	n.a.	< 0,005	0,017	< 0,008	0,021	0,022

	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
PCB 166	< 0,003	< 0,005	< 0,007	< 0,003	< 0,003	< 0,003
PCB 159	< 0,003	< 0,005	< 0,006	< 0,003	< 0,003	< 0,003
PCB 128 / 162	0,035	0,033	0,029	0,036	0,039	0,031
PCB 167	0,016	0,020	0,016	0,048	0,022	0,021
PCB 156	0,025	0,035	0,032	0,080	0,029	0,027
PCB 157	< 0,003	0,006	0,005	0,011	0,006	0,004
PCB 169	< 0,003	< 0,005	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Summe HexaCB	4,122	6,183	6,626	12,555	6,735	5,375
PCB 188	< 0,003	< 0,005	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
PCB 184	< 0,003	< 0,005	< 0,003	< 0,003	< 0,003	0,004
PCB 179	0,131	0,287	0,375	0,296	0,261	0,201
PCB 176	0,038	0,059	0,101	0,066	0,068	0,055
PCB 186	< 0,152	< 0,005	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
PCB 178	0,058	0,090	0,147	0,084	0,098	0,077
PCB 175	0,019	0,020	0,028	0,019	0,010	0,016
PCB 182 / 187	n.a.	< 0,005	0,683	0,186	0,483	0,374
PCB 183	0,072	0,066	0,081	0,207	0,061	0,098
PCB 185	0,012	0,014	0,018	0,042	0,012	0,016
PCB 174	0,109	0,163	0,158	0,450	0,193	0,144
PCB 181	< 0,003	< 0,005	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
PCB 177	0,059	0,09	0,083	0,242	0,204	0,077
PCB 171	0,029	0,046	0,042	0,140	0,07	0,039
PCB 173	< 0,003	< 0,005	0,004	0,009	< 0,003	0,004
PCB 172	0,015	0,026	0,024	0,070	0,023	0,02
PCB 192	< 0,003	< 0,005	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
PCB 180	0,159	0,233	0,221	0,572	0,199	0,237
PCB 193	0,005	0,008	0,008	0,027	0,012	0,009
PCB 191	< 0,003	< 0,005	0,004	0,013	0,004	0,004
PCB 170	0,062	0,152	0,150	0,069	0,071	0,127
PCB 190	0,011	0,027	0,026	0,012	0,012	0,027
PCB 189	< 0,003	0,006	0,005	0,01	0,004	< 0,003
Summe HeptaCB	0,777	1,289	2,160	2,511	1,783	1,527
PCB 202	0,008	0,014	0,012	< 0,009	< 0,003	0,017
PCB 200	0,004	0,010	0,010	< 0,005	0,009	0,013
PCB 204	< 0,003	< 0,005	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
PCB 197	< 0,003	0,006	0,004	< 0,003	< 0,003	< 0,003

	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
PCB 199	0,005	0,014	0,018	0,011	< 0,003	0,009
PCB 198 / 201	0,024	0,142	0,083	0,060	0,075	0,043
PCB 196 / 203	0,021	0,092	0,081	0,045	0,055	0,048
PCB 195	0,006	0,029	0,020	0,009	0,017	0,012
PCB 194	0,011	0,05	0,040	0,017	0,028	0,024
PCB 205	< 0,003	< 0,005	0,005	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Summe OctaCB	0,079	0,357	0,274	0,142	0,184	0,164
PCB 208	< 0,003	0,006	< 0,003	< 0,006	< 0,024	0,005
PCB 207	< 0,003	< 0,006	< 0,003	< 0,004	< 0,019	0,004
PCB 206	0,004	< 0,005	0,005	< 0,003	< 0,003	0,004
Summe NonaCB	0,004	0,006	0,005	< 0,003	< 0,003	0,013
PCB 209	0,006	0,015	0,017	< 0,003	0,006	0,015
Summe Deca	0,006	0,015	0,017	< 0,003	0,006	0,015

Tabelle 50: Konzentrationen der 209 PCB (pg/m³), Messstation Schmücke

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
PCB 1	0,043	0,027	0,033	0,052	0,130	0,271
PCB 2	0,079	0,042	0,092	0,254	0,525	1,090
PCB 3	0,092	0,039	0,101	0,163	0,326	0,887
Summe MonoCB	0,213	0,107	0,225	0,469	0,981	2,248
PCB 10	< 0,016	0,011	< 0,253	< 0,016	< 0,017	0,016
PCB 4	0,371	0,264	0,340	0,460	0,954	1,196
PCB 9	< 0,042	0,010	0,012	0,028	0,083	0,067
PCB 7	< 0,042	0,010	0,009	0,013	0,041	0,073
PCB 6	0,158	0,131	0,144	0,214	0,339	0,368
PCB 5 / 8	1,357	1,103	1,642	1,631	2,624	2,18
PCB 14	< 0,049	< 0,015	< 0,020	< 0,018	< 0,019	< 0,021
PCB 11	4,961	3,484	6,449	7,680	8,362	5,209
PCB 12 / 13	0,100	0,065	0,118	0,118	0,205	0,292
PCB 15	0,423	0,320	0,418	0,319	0,368	0,290
Summe DiCB	7,37	5,399	9,132	10,463	12,976	9,689
PCB 19	0,253	0,092	0,125	0,199	0,316	0,266
PCB 30	< 0,011	< 0,010	< 0,017	< 0,014	< 0,026	< 0,010
PCB 18	3,644	0,897	5,402	2,085	3,489	2,541
PCB 17	1,145	0,274	1,758	0,680	1,163	0,943
PCB 24	0,053	0,011	0,061	0,030	0,045	0,037
PCB 27	0,177	0,040	0,247	0,104	0,156	0,103
PCB 32	0,621	0,432	0,691	0,582	0,654	0,417
PCB 16	0,835	0,633	0,932	0,841	0,944	0,612
PCB 23	< 0,009	< 0,009	0,004	< 0,013	< 0,005	0,005
PCB 34	< 0,008	< 0,009	0,006	< 0,009	< 0,008	0,008
PCB 29	0,01	0,007	0,015	< 0,013	0,02	0,015
PCB 26	0,284	0,232	0,329	0,248	0,273	0,178
PCB 25	0,136	0,088	0,13	0,102	0,112	0,08
PCB 31	2,215	1,923	2,715	1,748	1,904	0,975
PCB 28	2,611	2,144	2,897	1,999	2,069	1,182
PCB 21	< 0,019	< 0,005	0,009	< 0,014	< 0,016	0,01
PCB 20 / 33	1,193	1,113	1,558	1,037	1,082	0,627
PCB 22	0,587	0,595	0,753	0,495	0,515	0,286
PCB 36	< 0,012	0,008	< 0,002	< 0,014	< 0,013	< 0,009

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
PCB 39	0,043	0,014	< 0,011	< 0,019	< 0,023	0,017
PCB 38	< 0,015	< 0,010	0,003	< 0,015	< 0,022	< 0,011
PCB 35	0,039	0,047	0,044	< 0,029	< 0,025	0,025
PCB 37	0,147	0,233	0,213	0,18	0,148	0,079
Summe TriCB	13,994	8,786	17,891	10,331	12,891	8,407
PCB 54	0,013	0,004	0,01	0,01	0,011	0,004
PCB 50	< 0,011	< 0,005	0,007	0,007	0,009	0,004
PCB 53	0,404	0,315	0,42	0,356	0,381	0,149
PCB 51	0,266	0,213	0,232	0,238	0,269	0,139
PCB 45	0,384	0,342	0,429	0,348	0,36	0,144
PCB 46	0,128	0,116	0,130	0,103	0,109	< 0,232
PCB 52 / 69 / 73	2,376	2,397	3,096	2,11	2,07	< 0,375
PCB 43 / 49	1,38	1,292	1,663	1,153	1,182	0,450
PCB 47 / 48 / 65 / 75	1,353	1,217	1,332	1,057	1,189	< 0,218
PCB 62	0,002	< 0,005	< 0,002	< 0,000	< 0,002	< 0,160
PCB 44	1,282	1,312	1,621	1,157	1,131	< 0,212
PCB 59	0,089	0,088	0,096	0,074	0,077	< 0,157
PCB 42	0,307	0,343	0,395	0,302	0,301	< 0,224
PCB 64 / 71 / 72	0,956	0,912	1,157	0,806	0,787	< 0,223
PCB 41	0,151	0,16	0,141	0,111	0,113	< 0,233
PCB 68	0,08	0,077	0,08	0,064	0,077	< 0,152
PCB 40 / 57	0,126	0,126	0,147	0,108	0,108	0,044
PCB 67	0,03	0,03	0,034	0,023	0,027	0,012
PCB 58 / 63	0,042	0,038	0,044	0,030	0,033	0,012
PCB 61 / 74	0,586	0,566	0,715	0,522	0,538	0,162
PCB 70	0,982	1,051	1,306	0,881	0,879	0,270
PCB 76	0,023	0,016	0,038	0,011	0,013	< 0,005
PCB 66 / 80	0,663	0,731	0,845	0,593	0,599	0,193
PCB 55	0,013	< 0,010	0,011	0,008	0,009	0,005
PCB 56 / 60	0,468	0,542	0,579	0,399	0,391	0,133
PCB 79	0,002	< 0,006	< 0,006	< 0,002	< 0,003	< 0,001
PCB 78	< 0,004	< 0,003	< 0,011	0,02	< 0,007	< 0,004
PCB 81	< 0,001	< 0,006	< 0,006	< 0,001	< 0,002	< 0,002
PCB 77	0,031	0,033	0,031	0,027	0,033	0,010
Summe TetraCB	12,136	11,921	14,557	10,518	10,695	1,729

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
PCB 104	< 0,001	< 0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001
PCB 96	0,017	0,015	0,023	0,018	0,017	< 0,000
PCB 103	0,017	0,017	0,02	0,015	0,016	< 0,001
PCB 100	0,008	0,007	0,007	0,015	0,014	0,002
PCB 94	0,013	0,01	0,009	0,009	0,009	0,003
PCB 93 / 95 / 98 / 102	2,445	2,743	2,995	2,111	1,943	0,569
PCB 88	< 0,002	< 0,005	< 0,001	< 0,003	< 0,002	< 0,002
PCB 91 / 121	0,163	0,195	0,188	0,14	0,139	0,042
PCB 92	0,323	0,357	0,387	0,282	0,257	0,072
PCB 84	0,323	0,415	0,454	0,318	0,29	0,091
PCB 89 / 90 / 101	2,239	2,715	3,097	1,949	1,751	0,496
PCB 113	< 0,001	< 0,003	0,006	0,006	< 0,004	< 0,002
PCB 99	0,455	0,498	0,587	0,439	0,409	0,126
PCB 112 / 119	0,023	0,02	0,026	0,021	0,022	0,007
PCB 109 / 83	0,04	0,045	0,046	0,037	0,036	0,012
PCB 86 / 97 / 117 / 125	0,278	0,286	0,322	0,259	0,242	0,074
PCB 116	< 0,001	< 0,004	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,002
PCB 87 / 115	0,386	0,44	0,482	0,371	0,341	0,098
PCB 111	< 0,001	< 0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,000	< 0,002
PCB 85	0,125	0,169	0,165	0,127	0,118	0,041
PCB 120	< 0,001	< 0,003	< 0,001	< 0,003	< 0,002	< 0,002
PCB 110	0,879	1,063	1,173	0,878	0,757	0,205
PCB 82	0,064	0,070	0,073	0,075	0,075	0,017
PCB 124	0,019	0,018	0,028	0,018	0,018	0,005
PCB 107 / 108	0,038	0,043	0,045	0,032	0,033	0,009
PCB 123	0,012	0,011	0,011	0,01	0,008	0,003
PCB 106 / 118	0,446	0,52	0,601	0,413	0,429	0,109
PCB 114	< 0,003	0,005	0,005	< 0,003	0,005	< 0,001
PCB 122	< 0,002	< 0,003	0,004	< 0,005	< 0,002	< 0,002
PCB 105 / 127	0,160	0,137	0,234	0,130	0,146	0,046
PCB 126	< 0,007	0,004	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,001
Summe PentaCB	8,47	9,806	10,986	7,673	7,074	2,026
PCB 155	0,002	< 0,003	0,003	< 0,002	0,005	0,002
PCB 150	0,005	< 0,004	0,009	0,007	< 0,004	< 0,003
PCB 152	< 0,001	< 0,004	< 0,002	< 0,004	< 0,002	< 0,001

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
PCB 145	< 0,001	< 0,004	< 0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,000
PCB 136 / 148	0,352	0,857	0,802	0,602	0,316	0,265
PCB 154	0,019	0,038	0,038	0,03	0,018	< 0,012
PCB 151	0,675	1,507	1,49	1,081	0,569	0,446
PCB 135	0,314	0,671	0,655	0,47	0,267	0,195
PCB 144	0,116	0,237	0,229	0,168	0,09	0,065
PCB 147	0,021	0,053	0,059	0,056	0,027	0,023
PCB 139 / 149	1,654	1,923	2,043	1,250	1,094	0,343
PCB 140	< 0,008	< 0,006	< 0,003	< 0,005	< 0,004	< 0,001
PCB 143	< 0,007	< 0,006	< 0,003	< 0,002	< 0,002	< 0,001
PCB 134	0,074	0,095	0,093	0,061	0,056	0,020
PCB 131 / 133 / 142	0,046	0,050	0,052	0,029	0,030	0,010
PCB 165	< 0,006	< 0,005	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,001
PCB 146	0,213	0,245	0,251	0,16	0,146	0,039
PCB 132 / 161	0,341	0,405	0,414	0,283	0,240	0,083
PCB 153 / 168	1,236	1,488	1,710	1,006	0,912	0,257
PCB 141	0,271	0,33	0,330	0,183	0,173	0,057
PCB 137	0,026	0,033	0,040	0,025	0,026	0,007
PCB 130	0,057	0,074	0,054	0,057	0,059	0,013
PCB 163 / 164	0,282	0,37	0,305	0,185	0,179	0,046
PCB 138	0,838	1,086	1,204	0,760	0,682	0,194
PCB 158 / 160	0,100	0,141	0,136	0,086	0,081	0,024
PCB 129	0,016	0,010	0,022	0,016	0,016	0,007
PCB 166	0,002	< 0,007	< 0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,000
PCB 159	< 0,001	< 0,008	< 0,002	< 0,000	< 0,001	< 0,000
PCB 128 / 162	0,048	0,078	0,065	0,045	0,044	0,015
PCB 167	0,025	0,038	0,029	0,022	0,021	0,007
PCB 156	0,033	0,049	0,037	0,029	0,033	0,013
PCB 157	0,003	0,004	< 0,002	< 0,003	< 0,005	0,002
PCB 169	< 0,001	< 0,008	< 0,002	< 0,000	< 0,001	< 0,000
Summe HexaCB	6,772	9,782	10,07	6,609	5,086	2,132
PCB 188	< 0,001	< 0,005	< 0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001
PCB 184	< 0,002	< 0,005	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,001
PCB 179	0,162	0,362	0,326	0,227	0,134	0,095
PCB 176	0,042	0,099	0,089	0,065	0,034	0,032

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
PCB 186	< 0,001	< 0,006	< 0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001
PCB 178	0,062	0,139	0,133	0,081	0,050	0,036
PCB 175	0,013	0,030	0,022	0,013	0,011	0,007
PCB 182 / 187	0,299	0,707	0,599	0,378	0,230	< 0,001
PCB 183	0,128	0,165	0,166	0,103	0,101	0,022
PCB 185	0,02	0,029	0,027	0,017	0,016	0,004
PCB 174	0,175	0,272	0,241	0,152	0,148	0,043
PCB 181	< 0,001	0,004	< 0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,000
PCB 177	0,085	0,138	0,118	0,087	0,078	0,023
PCB 171	0,043	0,068	0,059	0,039	0,039	0,013
PCB 173	0,004	0,007	0,005	< 0,003	< 0,002	0,001
PCB 172	0,022	0,035	0,027	0,019	0,018	0,006
PCB 192	< 0,001	< 0,005	< 0,002	< 0,000	< 0,001	< 0,000
PCB 180	0,272	0,376	0,328	0,228	0,218	0,078
PCB 193	0,008	0,017	0,022	0,009	0,008	0,003
PCB 191	0,005	< 0,004	0,004	< 0,003	< 0,003	0,001
PCB 170	0,082	0,123	0,104	0,081	0,074	0,03
PCB 190	0,018	0,024	0,023	0,012	0,012	0,005
PCB 189	< 0,003	< 0,006	< 0,007	< 0,002	< 0,003	0,002
Summe HeptaCB	1,442	2,592	2,295	1,513	1,168	0,404
PCB 202	0,011	0,017	0,017	0,013	0,013	< 0,004
PCB 200	0,009	< 0,007	0,011	0,008	0,009	0,004
PCB 204	< 0,000	< 0,008	< 0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,000
PCB 197	0,003	< 0,007	0,004	< 0,002	< 0,003	0,001
PCB 199	0,005	0,015	0,01	0,009	0,007	< 0,004
PCB 198 / 201	0,029	0,069	0,062	0,040	0,027	0,028
PCB 196 / 203	0,031	0,069	0,064	0,035	0,027	0,024
PCB 195	0,009	0,009	< 0,030	< 0,005	< 0,006	0,004
PCB 194	0,013	0,015	< 0,027	0,011	0,011	0,009
PCB 205	< 0,001	< 0,002	< 0,020	< 0,000	< 0,001	0,001
Summe OctaCB	0,110	0,196	0,168	0,116	0,093	0,07
PCB 208	< 0,003	< 0,011	< 0,003	< 0,002	< 0,002	< 0,001
PCB 207	< 0,003	< 0,010	< 0,003	< 0,002	< 0,001	< 0,000
PCB 206	< 0,004	< 0,021	< 0,011	< 0,012	< 0,006	0,014
Summe NonaCB	< 0,003	< 0,010	< 0,003	< 0,002	< 0,001	0,014

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
PCB 209	0,005	< 0,015	< 0,007	0,006	0,006	< 0,003
Summe Deca	0,005	< 0,015	< 0,007	0,006	0,006	< 0,003

	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
PCB 1	0,339	0,667	n.a.	0,113	0,119	0,130
PCB 2	1,830	2,801	n.a.	0,426	0,446	0,529
PCB 3	0,920	1,960	n.a.	0,334	0,406	0,380
Summe MonoCB	3,086	5,434	n.a.	0,872	0,972	1,037
PCB 10	0,040	0,025	n.a.	< 0,016	0,023	0,018
PCB 4	< 0,274	1,947	n.a.	0,596	0,756	0,894
PCB 9	0,082	0,146	n.a.	0,05	0,038	0,095
PCB 7	0,073	0,139	n.a.	0,043	0,055	0,063
PCB 6	0,132	0,491	n.a.	0,231	0,177	0,443
PCB 5 / 8	1,224	2,360	n.a.	1,314	2,66	3,434
PCB 14	< 0,019	0,050	n.a.	< 0,010	< 0,012	0,026
PCB 11	4,437	6,355	8,828	3,400	4,294	9,155
PCB 12 / 13	0,222	0,410	0,548	0,112	0,180	0,247
PCB 15	0,216	0,290	0,601	0,137	0,392	0,556
Summe DiCB	6,448	12,202	9,945	5,906	8,571	14,923
PCB 19	< 0,013	0,218	< 0,012	0,101	< 0,038	0,540
PCB 30	< 0,008	< 0,007	< 0,008	< 0,004	< 0,012	< 0,008
PCB 18	< 0,003	1,534	< 0,003	0,718	12,415	5,927
PCB 17	< 0,003	0,577	< 0,003	0,270	4,595	2,000
PCB 24	< 0,003	0,026	< 0,003	0,011	0,187	0,080
PCB 27	< 0,003	0,078	< 0,003	0,037	0,596	0,271
PCB 32	0,339	0,260	0,558	0,668	0,773	0,683
PCB 16	0,405	0,389	0,675	0,949	0,672	0,937
PCB 23	0,005	< 0,007	0,011	0,011	0,006	0,008
PCB 34	0,006	< 0,007	0,014	0,013	0,008	0,009
PCB 29	0,015	0,015	0,029	< 0,006	0,024	0,021
PCB 26	0,161	0,134	0,298	0,33	0,313	0,297
PCB 25	0,074	0,066	0,136	0,139	0,144	0,131
PCB 31	0,871	0,700	1,548	1,816	2,001	2,006
PCB 28	0,981	0,753	1,803	1,943	2,461	2,223
PCB 21	< 0,003	< 0,007	0,018	< 0,007	0,024	0,015

	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
PCB 20 / 33	0,543	0,441	0,846	1,032	1,202	1,117
PCB 22	n.a.	0,195	n.a.	0,602	0,627	0,572
PCB 36	0,009	< 0,007	0,022	0,030	0,014	0,015
PCB 39	0,013	0,013	0,029	0,043	0,023	0,021
PCB 38	0,011	0,017	0,02	0,025	0,014	0,006
PCB 35	0,036	0,035	0,069	0,086	0,052	0,051
PCB 37	n.a.	0,073	n.a.	0,211	0,195	0,162
Summe TriCB	3,467	5,534	6,063	9,053	26,332	17,093
PCB 54	0,005	< 0,008	0,019	0,005	0,008	0,014
PCB 50	0,006	< 0,007	0,017	< 0,003	0,009	0,010
PCB 53	0,122	0,176	0,469	0,109	0,298	0,485
PCB 51	0,082	0,247	0,296	0,076	0,270	0,397
PCB 45	n.a.	0,153	n.a.	0,099	0,297	0,484
PCB 46	0,047	0,042	0,103	0,114	0,095	0,103
PCB 52 / 69 / 73	0,81	0,588	1,649	1,96	1,454	1,746
PCB 43 / 49	0,475	0,355	0,989	1,165	0,923	1,037
PCB 47 / 48 / 65 / 75	0,579	0,663	1,266	1,496	1,144	1,17
PCB 62	< 0,003	< 0,007	0,005	0,006	0,004	< 0,003
PCB 44	0,484	0,331	0,920	1,071	0,853	1,000
PCB 59	0,026	0,026	0,051	0,080	0,070	0,059
PCB 42	0,123	0,092	0,232	0,286	0,235	0,252
PCB 64 / 71 / 72	0,304	0,213	n.a.	0,729	0,632	0,720
PCB 41	n.a.	0,032	n.a.	0,115	0,083	0,066
PCB 68	n.a.	0,042	n.a.	0,139	0,073	0,099
PCB 40 / 57	0,051	0,061	0,157	0,038	0,092	0,159
PCB 67	0,015	0,018	0,048	0,009	0,023	0,041
PCB 58 / 63	0,016	0,018	0,05	0,012	0,028	0,049
PCB 61 / 74	0,193	0,233	0,569	0,162	0,373	0,656
PCB 70	0,343	0,375	1,042	0,296	0,658	1,175
PCB 76	0,009	0,010	0,025	< 0,003	< 0,003	0,023
PCB 66 / 80	0,183	0,276	0,445	0,189	0,464	0,762
PCB 55	0,008	0,007	0,020	0,004	0,009	0,022
PCB 56 / 60	0,158	0,203	0,469	0,132	0,330	0,502
PCB 79	< 0,003	< 0,007	0,005	< 0,003	0,005	< 0,003
PCB 78	0,005	< 0,007	0,01	< 0,003	0,012	0,008
PCB 81	0,004	< 0,007	0,009	< 0,004	0,006	0,005

	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
PCB 77	0,015	0,016	0,025	0,038	0,025	0,029
Summe TetraCB	4,062	4,181	8,881	8,335	8,483	11,06
PCB 104	< 0,003	< 0,007	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
PCB 96	0,009	0,011	n.a.	0,006	0,014	0,029
PCB 103	n.a.	< 0,007	n.a.	< 0,003	0,013	0,027
PCB 100	0,004	< 0,007	0,018	0,006	0,009	0,01
PCB 94	0,005	0,009	0,017	0,007	0,007	0,014
PCB 93 / 95 / 98 / 102	0,661	0,833	2,446	0,574	1,153	2,667
PCB 88	< 0,003	< 0,007	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
PCB 91 / 121	0,056	0,032	0,114	0,141	0,108	0,117
PCB 92	0,101	0,076	0,218	0,265	0,17	0,220
PCB 84	0,117	0,079	0,225	0,303	0,209	0,246
PCB 89 / 90 / 101	0,667	0,475	1,377	1,722	1,153	1,402
PCB 113	< 0,003	< 0,007	0,004	0,007	0,005	0,004
PCB 99	0,170	0,106	0,300	0,427	0,304	0,333
PCB 112 / 119	0,007	0,008	0,020	0,026	0,018	0,017
PCB 109 / 83	0,013	0,007	0,024	0,009	0,020	0,019
PCB 86 / 97 / 117 / 125	0,079	0,038	0,146	0,051	0,146	0,122
PCB 116	< 0,003	< 0,007	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
PCB 87 / 115	0,106	0,057	0,191	0,073	0,222	0,167
PCB 111	< 0,003	< 0,007	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
PCB 85	0,043	0,021	0,060	0,019	0,091	0,064
PCB 120	< 0,003	< 0,007	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
PCB 110	0,219	0,117	0,419	0,157	0,468	0,357
PCB 82	n.a.	0,011	n.a.	0,008	0,037	0,029
PCB 124	0,007	< 0,007	0,016	0,020	0,013	0,017
PCB 107 / 108	0,015	0,012	0,032	0,039	0,026	0,032
PCB 123	0,004	< 0,007	0,006	0,008	0,005	0,008
PCB 106 / 118	0,154	0,125	0,305	0,378	0,283	0,297
PCB 114	0,004	< 0,007	0,009	< 0,003	0,005	0,011
PCB 122	0,006	< 0,007	0,015	0,006	0,012	0,012
PCB 105 / 127	0,044	0,022	0,104	0,041	0,087	0,135
PCB 126	< 0,003	< 0,007	0,005	< 0,003	< 0,003	0,004
Summe PentaCB	2,491	2,040	6,063	4,289	4,595	6,350
PCB 155	< 0,003	< 0,007	< 0,003	0,005	< 0,003	0,008

	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
PCB 150	< 0,003	< 0,007	0,009	< 0,003	< 0,003	0,005
PCB 152	< 0,003	< 0,007	0,006	< 0,003	< 0,003	0,005
PCB 145	< 0,003	< 0,007	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
PCB 136 / 148	0,146	0,193	0,734	0,181	0,396	0,411
PCB 154	< 0,003	< 0,014	0,015	< 0,003	< 0,003	0,017
PCB 151	0,244	0,345	1,244	0,278	0,729	0,725
PCB 135	0,117	0,177	0,654	0,135	0,338	0,318
PCB 144	0,044	0,039	0,213	0,043	0,113	0,100
PCB 147	n.a.	< 0,007	n.a.	0,01	0,012	0,015
PCB 139 / 149	0,384	0,304	0,984	0,999	0,817	0,841
PCB 140	< 0,003	< 0,007	0,005	< 0,005	0,009	0,008
PCB 143	< 0,003	< 0,007	< 0,003	< 0,003	< 0,003	0,004
PCB 134	0,019	0,013	0,055	0,059	0,053	0,052
PCB 131 / 133 / 142	0,01	< 0,007	0,032	0,018	0,031	0,031
PCB 165	< 0,003	< 0,007	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
PCB 146	0,044	0,044	0,111	0,135	0,050	0,131
PCB 132 / 161	0,089	0,074	0,235	0,230	0,220	0,215
PCB 153 / 168	0,301	0,279	0,787	0,883	0,702	0,736
PCB 141	0,062	0,054	0,194	0,195	0,172	0,154
PCB 137	0,007	< 0,007	0,018	0,026	0,014	0,016
PCB 130	0,017	0,011	0,039	0,037	0,029	0,037
PCB 163 / 164	0,069	0,068	0,180	0,133	0,081	0,128
PCB 138	0,223	0,234	0,596	0,696	0,583	0,54
PCB 158 / 160	0,028	0,028	0,067	0,081	0,061	0,058
PCB 129	0,006	< 0,007	n.a.	0,017	< 0,003	0,011
PCB 166	< 0,003	< 0,007	0,004	< 0,003	0,003	0,005
PCB 159	< 0,003	< 0,007	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
PCB 128 / 162	0,015	0,011	0,034	0,011	0,037	0,025
PCB 167	0,007	0,012	0,028	0,018	0,019	0,019
PCB 156	0,015	0,022	0,041	0,030	0,025	0,022
PCB 157	< 0,003	< 0,007	0,007	< 0,003	0,005	0,004
PCB 169	< 0,003	< 0,007	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Summe HexaCB	1,846	1,914	6,275	4,217	4,507	4,641
PCB 188	< 0,003	< 0,007	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
PCB 184	< 0,003	< 0,007	0,004	< 0,003	0,004	0,003
PCB 179	0,063	0,119	0,332	0,082	0,255	0,184

	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
PCB 176	0,016	0,023	0,094	0,023	0,065	0,045
PCB 186	< 0,003	< 0,007	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
PCB 178	0,021	0,028	0,143	0,025	0,097	0,073
PCB 175	0,006	< 0,007	0,033	< 0,003	< 0,003	0,015
PCB 182 / 187	0,082	0,233	n.a.	< 0,003	< 0,003	0,339
PCB 183	0,036	0,041	0,114	0,086	0,076	0,088
PCB 185	0,005	< 0,007	0,019	0,017	0,013	0,014
PCB 174	0,053	0,066	0,17	0,132	0,122	0,117
PCB 181	< 0,003	< 0,007	< 0,003	< 0,003	0,003	< 0,003
PCB 177	0,03	0,037	0,094	0,07	0,056	0,057
PCB 171	0,016	0,02	0,048	0,033	0,037	0,032
PCB 173	< 0,003	< 0,007	0,005	< 0,003	0,003	0,005
PCB 172	0,008	0,008	0,027	0,02	0,017	0,017
PCB 192	< 0,003	< 0,007	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
PCB 180	0,089	0,153	0,336	0,203	0,215	0,181
PCB 193	< 0,003	< 0,007	0,011	0,009	0,007	0,005
PCB 191	< 0,003	< 0,007	0,005	0,009	0,004	< 0,003
PCB 170	0,031	0,101	0,211	0,029	0,071	0,095
PCB 190	0,005	0,018	0,033	0,006	0,015	0,021
PCB 189	< 0,003	< 0,007	0,007	< 0,003	0,003	< 0,003
Summe HeptaCB	0,460	0,847	1,686	0,745	1,065	1,291
PCB 202	0,007	0,012	0,02	0,005	0,011	0,013
PCB 200	< 0,003	< 0,007	0,014	< 0,003	0,006	0,011
PCB 204	< 0,003	< 0,007	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
PCB 197	< 0,003	< 0,007	< 0,003	< 0,003	< 0,003	0,004
PCB 199	< 0,003	0,012	0,016	< 0,003	0,007	0,009
PCB 198 / 201	0,016	0,063	0,093	0,017	0,050	0,037
PCB 196 / 203	0,016	0,065	0,099	0,02	0,052	0,043
PCB 195	0,004	0,016	0,026	< 0,003	0,009	0,008
PCB 194	0,008	0,038	0,062	0,005	0,016	0,027
PCB 205	< 0,003	< 0,007	0,004	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Summe OctaCB	0,05	0,206	0,335	0,047	0,152	0,152
PCB 208	< 0,003	< 0,013	0,007	< 0,006	0,003	< 0,004
PCB 207	< 0,003	< 0,010	< 0,003	< 0,004	< 0,003	0,005
PCB 206	< 0,003	< 0,007	0,005	< 0,003	0,005	< 0,003
Summe NonaCB	< 0,003	< 0,007	0,011	< 0,003	0,008	0,005

	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
PCB 209	< 0,003	0,010	0,017	< 0,003	0,006	0,007
Summe Deca	< 0,003	0,010	0,017	< 0,003	0,006	0,007

A.6 Messwerte Deposition

Tabelle 51: TEQ-Werte der PCDD/F-Depositionen (pg TEQ/m²d), Messstation Waldhof

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F TEQ exkl. BG	0,00	0,07	0,06	0,10	0,03	0,07
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F TEQ inkl. 1/2 BG	0,06	0,15	0,14	0,21	0,16	0,25
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F TEQ inkl. BG	0,11	0,22	0,23	0,33	0,28	0,44
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ exkl. BG	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ inkl. 1/2 BG	0,04	0,06	0,41	0,03	0,03	0,03
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ inkl. BG	0,08	0,12	0,82	0,06	0,06	0,05
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ exkl. BG	0,00	0,07	0,06	0,10	0,03	0,07
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ inkl. 1/2 BG	0,10	0,21	0,56	0,24	0,19	0,28
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ inkl. BG	0,19	0,34	1,05	0,39	0,34	0,49
	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19	Jun. 19
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F TEQ exkl. BG	0,01	0,00	0,00	0,14	0,14	0,03
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F TEQ inkl. 1/2 BG	0,17	0,26	0,40	0,26	0,26	0,08
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F TEQ inkl. BG	0,32	0,52	0,81	0,38	0,38	0,13
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ exkl. BG	0,000	0,001	0,000	0,004	0,006	0,008
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ inkl. 1/2 BG	0,18	0,19	0,18	0,20	0,20	0,18
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ inkl. BG	0,36	0,39	0,36	0,40	0,40	0,35
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ exkl. BG	0,01	0,00	0,00	0,14	0,14	0,04
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ inkl. 1/2 BG	0,35	0,45	0,58	0,46	0,46	0,26
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ inkl. BG	0,68	0,90	1,17	0,78	0,78	0,48

Komplettverlust der Probe Waldhof Dezember 2018. Dafür Ersatzprobe Juni 2019.

Tabelle 52: TEQ-Werte der PCDD/F-Depositionen (pg TEQ/m²d), Messstation Schmücke

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F TEQ exkl. BG	0,00	0,00	0,01	0,03	0,12	0,55
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F TEQ inkl. 1/2 BG	0,07	0,12	0,52	0,17	0,26	0,58
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F TEQ inkl. BG	0,14	0,24	1,04	0,30	0,40	0,61
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ exkl. BG	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ inkl. 1/2 BG	0,05	0,09	0,17	0,06	0,03	0,03
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ inkl. BG	0,10	0,18	0,34	0,11	0,07	0,05
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ exkl. BG	0,00	0,01	0,01	0,04	0,12	0,55
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ inkl. 1/2 BG	0,12	0,21	0,69	0,23	0,30	0,61
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ inkl. BG	0,24	0,42	1,37	0,41	0,47	0,67
	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F TEQ exkl. BG	0,07	0,67	0,20	0,04	0,14	0,00
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F TEQ inkl. 1/2 BG	0,48	0,69	0,47	0,61	0,24	0,13
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F TEQ inkl. BG	0,89	0,71	0,74	1,18	0,34	0,27
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ exkl. BG	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ inkl. 1/2 BG	0,21	0,43	0,20	0,26	0,17	0,40
WHO ₂₀₀₅ -PCB TEQ inkl. BG	0,41	0,86	0,40	0,52	0,33	0,79
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ exkl. BG	0,07	0,67	0,20	0,04	0,14	0,00
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ inkl. 1/2 BG	0,69	1,12	0,66	0,87	0,41	0,53
WHO ₂₀₀₅ -PCDD/F+PCB TEQ inkl. BG	1,30	1,56	1,13	1,70	0,67	1,06

Tabelle 53: Depositionen der 2,3,7,8-substituierten PCDD/F (pg/m²d), Messstation Waldhof

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
TeD1	< 0,02	< 0,02	< 0,01	< 0,06	< 0,03	< 0,09
PeD1	< 0,04	< 0,04	< 0,06	< 0,11	< 0,10	< 0,08
HxD1	< 0,07	< 0,14	< 0,05	< 0,13	< 0,07	< 0,23
HxD2	< 0,03	< 0,14	< 0,07	< 0,14	< 0,14	< 0,25
HxD3	< 0,06	< 0,11	< 0,04	< 0,11	< 0,11	< 0,19
HpD1	< 0,76	< 0,86	1,15	0,85	1,13	1,56
OcD	< 2,36	< 2,67	5,22	3,62	4,16	3,97
TeF1	< 0,02	0,15	0,19	0,18	< 0,10	< 0,17
PeF1	< 0,02	< 0,09	< 0,11	0,1	< 0,07	< 0,10
PeF2	< 0,02	0,14	< 0,12	0,13	< 0,14	< 0,22
HxF1	< 0,04	< 0,22	< 0,22	< 0,21	< 0,15	0,23
HxF2	< 0,03	< 0,11	0,14	0,1	0,14	< 0,22
HxF3	< 0,05	< 0,06	< 0,05	0,11	< 0,19	< 0,11
HxF4	< 0,03	0,10	< 0,14	< 0,04	< 0,05	0,23
HpF1	< 0,14	0,46	1,23	0,53	0,51	0,57
HpF2	< 0,02	< 0,04	< 0,19	< 0,31	< 0,08	< 0,12
OcF	< 0,33	0,42	13,13	0,69	< 0,58	< 0,49
	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19	Jun. 19
TeD1	< 0,06	< 0,16	< 0,16	< 0,02	< 0,02	< 0,05
PeD1	< 0,11	< 0,20	< 0,21	< 0,17	< 0,17	< 0,00
HxD1	< 0,11	< 0,13	< 0,42	< 0,13	< 0,13	< 0,00
HxD2	< 0,10	< 0,13	< 0,42	0,14	0,14	< 0,03
HxD3	< 0,10	< 0,12	< 0,42	< 0,10	< 0,10	< 0,02
HpD1	0,93	< 0,45	< 0,42	1,28	1,28	< 0,24
OcD	2,21	< 2,35	< 2,56	3,87	3,86	< 1,30
TeF1	< 0,11	< 0,27	< 0,28	0,18	0,18	< 0,13
PeF1	< 0,16	< 0,14	< 0,38	0,12	0,12	< 0,00
PeF2	< 0,22	< 0,16	< 0,38	0,16	0,16	0,11
HxF1	< 0,07	< 0,07	< 0,35	< 0,20	< 0,20	< 0,04
HxF2	< 0,07	< 0,08	< 0,35	0,16	0,16	< 0,04
HxF3	< 0,10	< 0,11	< 0,35	< 0,09	< 0,09	< 0,05
HxF4	< 0,07	< 0,08	< 0,35	0,13	0,13	< 0,04
HpF1	0,27	0,22	< 0,34	0,9	0,9	0,17
HpF2	< 0,06	< 0,13	< 0,34	< 0,29	< 0,29	< 0,07
OcF	< 0,25	< 0,26	< 0,71	1,2	1,2	< 0,42

Tabelle 54: Depositionen der 2,3,7,8-substituierten PCDD/F (pg/m²d), Messstation Schmücke

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
TeD1	< 0,04	< 0,03	< 0,22	< 0,03	< 0,08	< 0,05
PeD1	< 0,04	< 0,06	< 0,36	< 0,10	< 0,09	0,17
HxD1	< 0,07	< 0,09	< 0,43	< 0,07	< 0,09	0,17
HxD2	< 0,08	< 0,06	< 0,31	< 0,15	0,21	0,3
HxD3	< 0,06	< 0,07	< 0,38	< 0,11	0,15	0,21
HpD1	< 0,21	< 0,92	< 0,56	1,20	2,19	2,81
OcD	< 2,31	3,37	< 2,91	4,41	7,76	7,05
TeF1	< 0,05	< 0,12	< 0,17	< 0,11	0,15	0,30
PeF1	< 0,03	< 0,04	< 0,37	< 0,07	< 0,06	0,23
PeF2	< 0,02	< 0,09	< 0,35	< 0,15	< 0,20	0,41
HxF1	< 0,05	< 0,23	< 0,39	< 0,16	< 0,24	0,39
HxF2	< 0,04	< 0,15	< 0,41	0,15	0,16	0,35
HxF3	< 0,07	< 0,19	< 0,57	< 0,20	0,22	< 0,11
HxF4	< 0,04	< 0,14	< 0,44	< 0,05	< 0,07	0,44
HpF1	< 0,14	0,32	0,87	0,54	0,72	1,08
HpF2	< 0,03	< 0,04	< 1,43	< 0,08	< 0,36	< 0,24
OcF	< 0,07	0,4	< 0,88	< 0,61	0,94	0,86
	Dez, 18	Jan, 19	Feb, 19	Mrz, 19	Apr, 19	Mai, 19
TeD1	< 0,12	< 0,02	< 0,17	< 0,23	< 0,06	< 0,06
PeD1	< 0,18	0,14	< 0,21	< 0,30	< 0,09	< 0,05
HxD1	< 0,59	0,21	< 0,13	< 0,60	< 0,11	< 0,09
HxD2	< 0,51	0,47	0,39	< 0,60	0,15	< 0,09
HxD3	< 0,51	0,41	0,21	< 0,60	0,12	< 0,10
HpD1	5,19	6,38	2,94	3,31	1,56	< 0,42
OcD	12,54	17,27	7,34	7,50	10,2	< 0,80
TeF1	< 0,35	0,19	< 0,20	< 0,40	< 0,24	< 0,27
PeF1	< 0,41	0,15	< 0,16	< 0,54	0,10	< 0,04
PeF2	< 0,46	0,39	< 0,31	< 0,54	0,18	< 0,23
HxF1	< 0,37	0,56	0,30	< 0,50	< 0,16	< 0,07
HxF2	< 0,30	0,52	0,32	< 0,50	0,16	< 0,06
HxF3	< 0,69	< 0,12	< 0,30	< 0,50	< 0,08	< 0,09
HxF4	< 0,42	0,57	0,32	< 0,50	0,14	< 0,06
HpF1	1,07	4,02	0,92	0,86	0,59	< 0,13
HpF2	0,31	0,5	< 0,16	< 0,48	< 0,05	< 0,09
OcF	1,37	6,44	< 0,45	< 1,01	< 0,52	< 0,15

Tabelle 55: Depositionen der PCDD/F-Homologengruppensummen (pg/m²d), Messstation Waldhof

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
S TeD	< 0,05	0,61	0,66	1,00	0,50	0,42
S PeD	< 0,10	< 0,11	< 0,11	0,49	< 0,11	0,67
S HxD	< 0,10	0,57	< 0,11	1,00	0,85	2,20
S HpD	0,80	1,06	2,40	1,01	1,28	2,92
OcD	< 2,36	< 3,10	5,21	3,62	4,16	3,97
S TeF	< 0,10	2,32	0,94	3,70	1,97	2,04
S PeF	< 0,08	0,99	< 0,09	1,6	0,71	1,73
S HxF	< 0,05	< 0,06	0,44	1,01	0,47	1,00
S HpF	0,20	0,46	1,85	0,72	0,51	0,69
OcF	< 0,33	< 0,86	13,12	0,69	< 0,58	< 0,49
	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19	Jun. 19
S TeD	0,65	< 0,05	0,87	1,54	1,54	0,87
S PeD	< 0,09	< 0,10	< 0,09	0,33	0,33	0,14
S HxD	< 0,09	< 0,10	< 0,09	1,43	1,43	< 0,09
S HpD	1,56	< 0,76	0,81	2,33	2,33	< 0,68
OcD	2,21	< 2,35	< 2,56	3,87	3,86	< 1,30
S TeF	0,45	0,36	0,63	3,25	3,24	< 0,09
S PeF	0,08	< 0,08	< 0,07	1,93	1,93	0,22
S HxF	0,21	< 0,05	< 0,05	1,37	1,37	0,07
S HpF	0,27	0,22	< 0,13	1,38	1,38	0,17
OcF	< 0,25	< 0,26	< 0,71	1,20	1,20	< 0,42

Komplettverlust der Probe Waldhof Dezember 2018. Dafür Ersatzprobe Juni 2019.

Tabelle 56: Depositionen der PCDD/F-Homologengruppensummen (pg/m²d), Messstation Schmücke

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
S TeD	< 0,05	0,54	< 0,06	0,53	< 0,07	1,25
S PeD	< 0,10	< 0,12	< 0,11	< 0,12	< 0,13	2,11
S HxD	< 0,09	< 0,12	< 0,10	0,90	2,27	3,86
S HpD	< 0,74	1,20	< 0,82	1,35	2,37	5,16
OcD	< 2,31	3,37	< 2,97	4,41	7,76	7,05
S TeF	< 0,10	1,72	0,4	2,09	3,88	5,08
S PeF	< 0,08	0,58	< 0,08	0,75	< 0,10	4,43
S HxF	< 0,05	< 0,07	0,59	0,50	1,15	3,16
S HpF	< 0,14	< 0,17	0,87	0,54	0,85	1,66
OcF	< 0,07	< 0,92	< 0,88	< 0,61	0,94	0,86
	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
S TeD	0,19	0,57	< 0,06	< 0,07	0,52	0,56
S PeD	< 0,11	0,68	< 0,10	0,82	0,78	< 0,10
S HxD	0,91	4,45	2,17	2,34	2,22	0,52
S HpD	9,52	10,57	5,68	5,76	3,49	< 0,78
OcD	12,54	17,27	7,34	7,50	10,2	< 0,80
S TeF	0,40	2,08	< 0,10	0,62	2,90	0,66
S PeF	0,19	2,70	< 0,08	< 0,10	2,06	0,27
S HxF	< 0,06	3,75	1,93	< 0,07	1,33	0,19
S HpF	1,81	5,08	0,92	0,86	0,70	< 0,15
OcF	1,37	6,44	< 0,45	< 1,01	< 0,52	< 0,15

Tabelle 57: Depositionen der dl-PCB (pg/m²d), Messstation Waldhof

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18	
PCB 77	< 1,1	< 0,9	< 5,3	9,8	< 8,6	< 8,0	
PCB 81	< 0,9	< 0,8	< 4,8	< 1,4	< 0,3	< 0,4	
PCB 105 ^a	< 1,4	<17,5	<17,5	<16,8	<17,0	<15,8	
PCB 114	< 0,7	< 0,5	< 5,6	< 0,8	< 0,4	< 0,4	
PCB 118 ^b	<35,2	39,9	<40,0	<38,4	<38,7	<36,0	
PCB 123	< 0,7	< 0,7	< 6,0	< 0,6	< 0,6	< 0,4	
PCB 126	< 0,5	< 1,0	< 7,2	< 0,4	< 0,4	< 0,4	
PCB 156	< 5,6	14,2	8,5	8,1	< 6,1	< 2,5	
PCB 157	< 0,7	1,8	< 2,8	< 0,8	< 0,5	< 0,2	
PCB 167	< 0,6	8,5	4,5	< 3,3	< 3,3	< 1,1	
PCB 169	< 0,8	< 0,9	< 3,2	< 0,4	< 0,4	< 0,2	
PCB 189	< 0,7	< 0,9	< 2,3	< 1,0	< 0,4	< 0,5	
	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19	Jun. 19
PCB 77	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	10,3	21,1	15,1
PCB 81	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	<2,7
PCB 105 ^a	< 3,2	<14,4	<15,4	<14,4	18,2	32,7	25,5
PCB 114	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	3,4	3,6
PCB 118 ^b	< 3,2	<32,8	<35,0	<32,9	53,6	78,3	98,1
PCB 123	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	<2,7
PCB 126	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	<2,7
PCB 156	< 3,2	< 2,8	12,5	< 5,2	9,8	12,7	42,9
PCB 157	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	4,1
PCB 167	< 3,2	< 2,8	5,5	< 2,8	8,6	6,4	21,7
PCB 169	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	<2,7
PCB 189	< 3,2	< 2,8	3,3	< 2,8	< 3,0	< 3,0	8,2

^a Coelution PCB 105 / 127, ^b Coelution PCB 106 / 118

Tabelle 58: Depositionen der dl-PCB (pg/m²d), Messstation Schmücke

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
PCB 77	< 1,0	< 0,5	< 2,6	26,4	< 9,9	< 6,7
PCB 81	< 1,4	< 0,5	< 2,3	< 0,7	< 0,4	< 1,0
PCB 105 ^a	< 15,1	< 18,7	< 16,7	24,7	< 19,5	< 13,1
PCB 114	< 1,0	< 0,7	< 1,0	< 0,8	< 0,3	< 0,2
PCB 118 ^b	35,9	42,6	39,	61,5	< 44,3	< 30,0
PCB 123	< 0,8	< 0,6	< 1,0	< 1,2	< 0,2	< 0,8
PCB 126	< 0,7	< 1,5	< 1,9	< 0,8	< 0,6	< 0,4
PCB 156	< 0,9	10,8	7,4	14,2	< 7,0	< 4,7
PCB 157	2,1	< 0,9	< 4,0	< 2,1	< 1,1	< 0,2
PCB 167	12,2	5,5	< 3,3	6,2	< 3,8	< 2,6
PCB 169	< 0,9	< 1,0	< 4,9	< 0,8	< 0,2	< 0,2
PCB 189	< 1,0	< 1,1	< 1,0	< 2,2	< 0,4	< 0,2
	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
PCB 77	< 8,4	< 6,5	< 8,1	< 3,9	9,4	9,4
PCB 81	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 105 ^a	< 16,4	< 17,1	< 15,8	< 20,5	15,2	< 15,8
PCB 114	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 118 ^b	< 37,4	< 38,9	< 36,1	< 46,8	53,6	37,6
PCB 123	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 126	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 156	< 5,9	8,9	< 5,7	< 3,9	7,1	< 6,1
PCB 157	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 167	< 3,1	< 6,5	3,8	< 3,9	6,6	< 6,1
PCB 169	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 189	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1

^a Coelution PCB 105 / 127, ^b Coelution PCB 106 / 118

Tabelle 59: Depositionen der i-PCB (pg/m²d), Messstation Waldhof

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18	
PCB 28	< 232	< 262	< 263	< 253	< 255	< 237	
PCB 52 ^a	< 143	< 162	< 163	< 157	< 158	< 147	
PCB 101 ^b	< 127	179	197	< 139	< 140	< 130	
PCB 138	< 1	159	137	< 76	< 76	< 71	
PCB 153 ^c	< 95	240	163	< 104	< 104	< 97	
PCB 180	< 30	94	72	46	< 33	< 30	
	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19	Jun. 19
PCB 28	< 3	< 216	< 231	< 217	< 239	431	232
PCB 52 ^a	< 153	< 134	< 143	< 134	< 148	209	< 129
PCB 101 ^b	< 136	< 118	< 126	< 119	160	159	300
PCB 138	< 3	< 64	95	< 65	137	149	438
PCB 153 ^c	< 3	< 88	105	< 89	135	138	419
PCB 180	< 3	< 28	115	< 28	64	89	384

^a Coelution PCB 52 / 69 / 73, ^b Coelution PCB 89 / 90 / 101, ^c Coelution PCB 153 / 168

Tabelle 60: Depositionen der i-PCB (pg/m²d), Messstation Schmücke

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
PCB 28	< 227	< 281	< 251	< 271	< 292	< 197
PCB 52 ^a	< 140	< 174	< 155	< 167	< 181	< 122
PCB 101 ^b	< 124	200	175	< 148	< 160	< 108
PCB 138	413	137	121	124	< 87	< 59
PCB 153 ^c	332	171	139	156	< 120	< 81
PCB 180	67	66	51	104	< 37	< 25
	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
PCB 28	< 247	< 257	< 238	< 309	< 198	273
PCB 52 ^a	< 153	< 159	< 147	< 191	< 122	< 147
PCB 101 ^b	< 135	< 141	< 131	< 169	142	< 130
PCB 138	< 74	86	< 71	< 92	127	< 71
PCB 153 ^c	< 101	< 105	< 98	< 126	188	< 97
PCB 180	< 31	103	36	< 39	88	< 30

Tabelle 61: Depositionen der PCB-Homologengruppensummen (pg/m²d), Messstation Waldhof

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18	
S MoCB	< 4	< 5	< 5	< 2	< 4	< 4	
S DiCB	< 668	< 756	28	117	< 735	< 685	
S TriCB	< 232	< 262	< 263	< 253	< 255	< 237	
S TeCB	< 143	< 162	< 163	168	< 158	< 147	
S PeCB	< 127	527	526	44	< 140	< 130	
S HxCB	< 95	1079	900	514	< 104	< 97	
S HpCB	< 30	361	231	204	< 33	< 30	
S OcCB	< 1	36	< 24	31	< 3	< 3	
S NoCB	< 1	< 6	< 31	< 8	< 1	< 0	
DecCB	< 1	< 1	< 5	< 6	< 1	< 1	
	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19	Jun. 19
S MoCB	< 101	< 55	< 59	< 55	< 61	< 61	< 53
S DiCB	712	< 623	33	< 624	49	2182	1263
S TriCB	557	< 216	< 231	< 217	116	2314	1005
S TeCB	599	< 134	< 143	123	525	1516	600
S PeCB	250	< 118	< 126	< 119	352	560	926
S HxCB	240	< 88	451	< 89	1064	617	2204
S HpCB	62	< 28	384	< 28	382	287	1310
S OcCB	< 3	< 3	68	3	51	38	192
S NoCB	< 3	< 3	< 3	< 3	< 13	< 3	4
DecCB	< 3	< 3	< 3	< 3	6	9	< 3

Nur Werte > Bestimmungsgrenzen gehen in die Bildung der Homologengruppensummen ein. Liegen die Konzentrationen aller Kongenere einer Homologengruppe unterhalb der Bestimmungsgrenze, wird der Wert für die Homologengruppensumme als < maximale BG dargestellt.

Tabelle 62: Depositionen der PCB-Homologengruppensummen (pg/m²d), Messstation Schmücke

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
S MoCB	< 4	6	6	< 4	< 5	< 3
S DiCB	< 654	29	< 723	906	< 843	261
S TriCB	< 227	< 281	< 251	15	< 292	< 197
S TeCB	< 140	< 174	< 155	42	< 181	188
S PeCB	39	479	416	137	< 160	133
S HxCB	1209	708	548	597	< 120	1
S HpCB	343	249	210	304	1	1
S OcCB	24	27	3	50	< 2	6
S NoCB	< 1	< 3	< 2	< 2	< 1	< 2
DecCB	< 1	4	2	< 2	< 1	< 0
	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
S MoCB	< 101	< 131	n.a.	< 79	< 50	< 121
S DiCB	348	462	< 686	< 890	10	278
S TriCB	< 247	< 257	< 238	< 309	< 198	1427
S TeCB	138	120	149	< 191	343	829
S PeCB	< 135	165	< 131	< 169	410	135
S HxCB	< 101	599	4	< 126	605	304
S HpCB	4	498	95	< 39	311	75
S OcCB	5	185	18	< 4	54	6
S NoCB	< 3	< 8	< 4	< 4	< 4	< 13
DecCB	< 3	< 7	< 3	< 4	< 3	< 6

Nur Werte > Bestimmungsgrenzen gehen in die Bildung der Homologengruppensummen ein. Liegen die Konzentrationen aller Kongenere einer Homologengruppe unterhalb der Bestimmungsgrenze, wird der Wert für die Homologengruppensumme als < maximale BG dargestellt.

n.a.: aufgrund von Störmatrix nicht analysierbar

Tabelle 63: Depositionen der 209 PCB (pg/m²d), Messstation Waldhof

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18	
PCB 1	< 0,5	5,3	< 3,6	< 2,1	< 1,3	< 4,0	
PCB 2	< 4,0	< 4,6	< 4,6	< 2,4	< 4,4	< 4,1	
PCB 3	< 2,6	3,6	5,0	< 1,4	< 2,8	< 2,6	
Summe MonoCB	< 4,0	< 4,6	< 4,6	< 2,4	< 4,4	< 4,1	
PCB 10	< 0,5	< 0,2	< 11,2	< 0,8	< 0,1	< 0,7	
PCB 4	< 22	< 25	28	< 21	< 25	< 23	
PCB 9	< 2,2	< 4,9	< 7,5	< 4,7	< 4,7	< 4,4	
PCB 7	< 2,2	< 2,5	< 7,5	< 2,4	< 2,4	< 2,2	
PCB 6	< 2,7	< 17,5	< 8,9	< 16,9	< 17,0	< 15,9	
PCB 5 / 8	< 92	< 104	< 104	117	< 101	< 94	
PCB 14	< 2,6	< 1,4	< 8,5	< 1,2	< 0,5	< 0,7	
PCB 11	< 668	< 756	< 760	< 730	< 735	< 685	
PCB 12 / 13	< 4,3	< 5,7	< 11	< 3,1	< 3,6	< 5,2	
PCB 15	< 3,6	< 33	< 33	< 32	< 32	< 30	
Summe DiCB	< 668	< 756	28	117	< 735	< 685	
PCB 19	< 2,5	< 17	< 39	< 17	< 17	< 16	
PCB 30	< 1,5	< 3,7	< 27	< 1,0	< 0,9	< 0,7	
PCB 18	< 221	< 250	< 251	< 241	< 243	< 227	
PCB 17	< 2,3	< 98	< 98	< 94	< 95	< 89	
PCB 24	< 1,9	< 4,5	< 34	< 1,9	< 4,1	< 3,8	
PCB 27	< 1,6	< 13	< 27	< 13	< 13	< 12	
PCB 32	< 1,4	< 53	< 53	< 51	< 51	< 48	
PCB 16	< 2,5	< 78	< 79	< 76	< 76	< 71	
PCB 23	< 1,6	< 4	< 30	< 0	< 0	< 1	
PCB 34	< 1,5	< 3	< 30	< 0	< 0	< 1	
PCB 29	< 1,6	< 3	< 31	< 1	< 3	< 3	
PCB 26	< 1,5	< 36	< 36	< 35	< 35	< 33	
PCB 25	< 1,6	< 18	< 29	< 18	< 18	< 17	
PCB 31	< 197	< 223	< 224	< 215	< 217	< 202	
PCB 28	< 232	< 262	< 263	< 253	< 255	< 237	
PCB 21	< 1,8	< 3,6	< 32	< 0,2	< 0,4	< 0,7	
PCB 20 / 33	< 157	< 177	< 178	< 171	< 172	< 160	
PCB 22	< 1,6	< 78	< 78	< 75	< 76	< 70	

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18	
PCB 36	< 2,4	< 1,3	< 17	< 1,0	< 0,6	< 0,2	
PCB 39	< 2,4	< 1,9	< 16	< 1,8	< 0,9	< 0,8	
PCB 38	< 3,1	< 1,5	< 23	< 0,1	< 0,6	< 0,5	
PCB 35	< 2,8	< 8,6	< 20	< 8,3	< 8,3	< 7,8	
PCB 37	< 39	< 44	< 22	< 42	< 43	< 40	
Summe TriCB	< 232	< 262	< 263	< 253	< 255	< 237	
PCB 54	< 0,4	< 0,8	< 7,5	< 0,2	< 0,3	< 0,3	
PCB 50	< 0,5	< 0,9	< 9,6	< 0,4	< 0,4	< 0,4	
PCB 53	< 24	< 27	< 27	< 26	< 26	< 24	
PCB 51	< 17	< 19	< 20	22	< 19	< 18	
PCB 45	< 0,6	< 32	< 32	< 31	< 31	< 29	
PCB 46	< 0,6	< 12	< 3,4	< 11	< 11	< 11	
PCB 52 / 69 / 73	< 143	< 162	< 163	< 157	< 158	< 147	
PCB 43 / 49	< 0,8	< 106	< 106	< 102	< 103	< 96	
PCB 47 / 48 / 65 / 75	< 97	< 110	< 110	122	< 107	< 99	
PCB 62	< 0,4	< 0,4	< 2,4	< 0,3	< 0,2	< 0,2	
PCB 44	< 0,6	< 99	< 99	< 95	< 96	< 89	
PCB 59	< 0,4	< 11	< 2,2	< 10	< 10	< 9,5	
PCB 42	< 0,6	< 43	< 3,4	< 41	< 42	< 39	
PCB 64 / 71 / 72	< 0,5	< 79	< 80	< 77	< 77	< 72	
PCB 41	< 0,6	< 18	< 3,2	< 18	< 18	< 17	
PCB 68	< 13	< 14	< 2,3	14,4	< 14	< 13	
PCB 40 / 57	< 1,6	< 15	< 7,5	< 14	< 14	< 13	
PCB 67	< 0,8	< 0,7	< 4,0	< 4,5	< 4,5	< 1,7	
PCB 58 / 63	< 0,9	< 0,7	< 4,3	< 4,8	< 4,8	< 1,5	
PCB 61 / 74	< 1	< 55	< 55	< 53	< 54	< 50	
PCB 70	< 79	< 89	< 90	< 86	< 87	< 81	
PCB 76	< 0,8	< 0,7	< 4,3	< 0,7	< 0,8	< 0,5	
PCB 66 / 80	< 68	< 77	< 77	< 74	< 75	< 70	
PCB 55	< 0,8	< 0,8	< 4,4	< 1,4	< 0,9	< 0,8	
PCB 56 / 60	< 1,4	< 51	< 52	< 50	< 50	< 46	
PCB 79	< 0,8	< 0,7	< 4,2	< 1,2	< 0,3	< 0,3	

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18	
PCB 78	< 1,0	< 0,8	< 4,9	< 1,4	< 0,7	< 0,7	
PCB 81	< 0,9	< 0,8	< 4,8	< 1,4	< 0,3	< 0,4	
PCB 77	< 1,1	< 0,9	< 5,3	9,8	< 8,6	< 8,0	
Summe TetraCB	< 143	< 162	< 163	168	< 158	< 147	
PCB 104	< 0,2	< 0,6	< 1,8	< 0,1	< 0,3	< 0,2	
PCB 96	< 0,2	< 0,8	< 2,1	< 0,4	< 0,4	< 0,3	
PCB 103	< 0,2	< 0,9	< 2,5	< 0,3	< 0,5	< 0,3	
PCB 100	< 0,4	< 0,7	< 12	< 0,1	< 0,3	< 0,3	
PCB 94	< 0,5	< 0,9	< 15	< 0,1	< 0,3	< 0,4	
PCB 93 / 95 / 98 / 102	< 121	165	169	< 132	< 133	< 123	
PCB 88	< 0,6	< 0,9	< 15	< 0,1	< 0,4	< 0,4	
PCB 91 / 121	< 0,4	< 0,8	< 15	< 9,2	< 9,3	< 8,7	
PCB 92	< 0,5	25,4	30,1	< 18	< 18	< 17	
PCB 84	< 0,6	< 14	19,8	17,4	< 14	< 13	
PCB 89 / 90 / 101	< 127	179	197	< 139	< 140	< 130	
PCB 113	< 0,4	< 0,8	< 12	< 0,1	< 0,3	< 0,3	
PCB 99	< 0,4	< 25	< 25	< 24	< 24	< 23	
PCB 112 /119	< 0,4	< 0,9	< 15	< 1,2	< 0,6	< 0,5	
PCB 109 / 83	< 0,7	< 1,2	< 21	< 2,3	< 1,4	< 1,0	
PCB 86 / 97 / 117 / 125	< 0,7	< 18	< 14	< 17	< 18	< 16	
PCB 116	< 0,4	< 0,8	< 13	< 0,1	< 0,3	< 0,3	
PCB 87 / 115	< 0,4	26,3	26,2	26,8	< 21	< 19	
PCB 111	< 0,3	< 0,7	< 12	< 0,1	< 0,2	< 0,3	
PCB 85	< 0,5	< 11	< 15	< 4,0	< 11	< 10	
PCB 120	< 0,4	< 0,7	< 12,1	< 1,5	< 0,3	< 0,3	
PCB 110	< 59	88,9	83,0	< 65	< 65	< 61	
PCB 82	< 0,6	< 1,1	< 17,8	< 7,9	< 8,0	< 1,9	
PCB 124	< 0,7	< 0,7	< 6,3	< 0,9	< 0,5	< 0,7	
PCB 107 /108	< 0,7	2,7	< 6,0	< 2,1	< 1,2	< 0,9	
PCB 123	< 0,7	< 0,7	< 6,0	< 0,6	< 0,6	< 0,4	
PCB 106 /118	< 35	39,9	< 40	< 38	< 39	< 36	

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18	
PCB 114	< 0,7	< 0,5	< 5,6	< 0,8	< 0,4	< 0,4	
PCB 122	< 0,7	< 0,5	< 5,7	< 0,2	< 0,2	< 0,7	
PCB 105 /127	< 1,4	< 17	< 18	< 17	< 17	< 16	
PCB 126	< 0,5	< 1,0	< 7,2	< 0,4	< 0,4	< 0,4	
Summe PentaCB	< 127	527	526	44	< 140	< 130	
PCB 155	< 0,3	< 0,5	< 1,9	< 0,6	< 0,1	< 0,1	
PCB 150	< 0,4	< 0,6	< 2,1	< 0,6	< 0,1	< 0,1	
PCB 152	< 0,4	< 0,6	< 2,3	< 0,7	< 0,1	< 0,1	
PCB 145	< 0,4	< 0,6	< 2,3	< 0,7	< 0,1	< 0,1	
PCB 136 /148	< 0,4	56,4	70,1	84,9	< 45	< 42	
PCB 154	< 0,4	< 0,7	< 2,5	< 0,8	< 0,1	< 0,2	
PCB 151	< 88	179	145	117	< 96	< 90	
PCB 135	< 0,6	54,4	43,5	62,6	< 37	< 34	
PCB 144	< 0,5	21,2	32,5	16,5	< 13	< 12	
PCB 147	< 0,5	4,	< 3,2	5,2	< 0,6	< 0,4	
PCB 139 /149	< 93,0	162	152	112	< 102	< 95	
PCB 140	< 0,6	< 0,6	< 1,5	< 0,9	< 0,3	< 0,2	
PCB 143	< 0,6	< 0,5	< 1,4	< 0,9	< 0,3	< 0,2	
PCB 134	< 0,7	8,5	< 1,8	8,7	< 3,3	< 2,8	
PCB 131 / 133 / 142	< 1,6	< 0,9	< 2,6	< 3,7	< 1,5	< 1,6	
PCB 165	< 0,5	< 0,5	< 1,3	< 0,8	< 0,3	< 0,2	
PCB 146	< 0,5	30,5	19,7	< 16	< 16	< 15	
PCB 132 /161	< 23	35,2	41,4	38,5	< 26	< 24	
PCB 153 /168	< 95	240	163	< 104	< 104	< 97	
PCB 141	< 0,6	27,6	25,6	23,2	< 19	< 18	
PCB 137	< 0,6	< 2,8	< 1,7	< 1,7	< 1,2	< 1,3	
PCB 130	< 0,7	9,9	< 2,0	6,	< 2,7	< 2,0	
PCB 163 /164	< 0,6	38,1	42,	24,2	< 24	< 22	
PCB 138	< 0,6	159	137	< 76	< 76	< 71	
PCB 158 /160	< 9,9	17,6	< 2	< 11	< 11	< 10	
PCB 129	< 0,7	< 0,9	< 2,0	< 1,9	< 0,4	< 1,9	
PCB 166	< 0,7	< 0,9	< 2,9	< 0,2	< 0,3	< 0,1	
PCB 159	< 0,6	< 0,9	< 2,8	< 0,2	< 0,3	< 0,1	

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18	
PCB 128 /162	< 1,1	10,1	14,8	8,3	< 7,8	< 1,9	
PCB 167	< 0,6	8,5	4,5	< 3,3	< 3,3	< 1,1	
PCB 156	< 5,6	14,2	8,5	8,1	< 6,1	< 2,5	
PCB 157	< 0,7	1,8	< 2,8	< 0,8	< 0,5	< 0,2	
PCB 169	< 0,8	< 0,9	< 3,2	< 0,4	< 0,4	< 0,2	
Summe HexaCB	< 95	1079	900	514	< 104	< 97	
PCB 188	< 0,4	< 0,9	< 1,5	< 0,5	< 0,2	< 0,1	
PCB 184	< 0,4	< 0,9	< 1,5	< 0,5	< 0,2	< 0,1	
PCB 179	< 15,8	29,3	29,8	19,7	< 17	< 16	
PCB 176	< 0,4	6,3	8,1	5,7	< 1,5	< 1,4	
PCB 186	< 0,4	< 1,0	< 1,6	< 0,6	< 0,2	< 0,1	
PCB 178	< 0,7	11,5	9,8	9,5	< 2,6	< 1,7	
PCB 175	< 0,6	1,4	< 2,2	< 0,8	< 1,1	< 0,6	
PCB 182 /187	< 23	78,7	36,	43,4	< 25	< 24	
PCB 183	< 0,6	26,6	< 4,3	< 13	< 13	< 12	
PCB 185	< 0,6	< 3,3	< 4,0	< 1,2	< 1,2	< 1,2	
PCB 174	< 22	34,4	35,9	26,	< 25	< 23	
PCB 181	< 0,6	< 3,1	< 4,5	< 0,4	< 0,2	< 3,5	
PCB 177	< 0,7	18,2	14,7	14,3	< 11	< 1,9	
PCB 171	< 0,7	8,7	< 4,7	8,9	< 3,0	< 0,2	
PCB 173	< 0,8	< 3,8	< 5,2	< 1,4	< 0,2	< 0,2	
PCB 172	< 2,5	6,3	< 4,6	3,5	< 1,3	< 1,4	
PCB 192	< 0,5	< 2,4	< 3,7	< 0,3	< 0,2	< 0,2	
PCB 180	< 30	94,1	72,2	45,6	< 33	< 30	
PCB 193	< 0,4	5,3	< 2,8	2,8	< 0,7	< 0,5	
PCB 191	< 0,5	< 2,0	< 3,0	< 1,2	< 0,1	< 0,1	
PCB 170	< 12	33,6	24,8	21,	< 13	< 12	
PCB 190	< 0,7	7,1	< 3,1	3,6	< 2,8	< 1,1	
PCB 189	< 0,7	< 0,9	< 2,3	< 1,0	< 0,4	< 0,5	
Summe HeptaCB	< 30	361	231	204	< 33	< 30	
PCB 202	< 0,5	< 1,1	< 10	< 1,3	< 0,5	< 0,9	
PCB 200	< 0,5	< 1,3	< 12	< 1,5	< 0,2	< 1,1	
PCB 204	< 0,5	< 1,3	< 11	< 1,5	< 0,2	< 1,1	
PCB 197	< 0,5	< 1,2	< 11	< 1,4	< 0,2	< 1,0	
PCB 199	< 0,5	< 1,2	< 10	< 2,4	< 0,6	< 1,1	

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18	
PCB 198 /201	< 1,4	15,6	< 24	13,2	< 2,2	< 2,7	
PCB 196 /203	< 1,2	11,5	< 19	10,7	< 3,0	< 2,4	
PCB 195	< 0,8	2,2	< 3,1	2,5	< 0,7	< 0,4	
PCB 194	< 0,6	6,5	< 2,5	5,	< 2,8	< 1,3	
PCB 205	< 0,5	< 0,6	< 2,1	< 0,3	< 0,3	< 0,3	
Summe OctaCB	< 1,4	35,9	< 24	31,4	< 3,0	< 2,7	
PCB 208	< 0,4	< 2,8	< 20	< 1,1	< 0,2	< 0,0	
PCB 207	< 0,4	< 2,5	< 17	< 1,0	< 0,2	< 0,0	
PCB 206	< 0,8	< 6,0	< 31	< 7,6	< 1,1	< 0,4	
Summe NonaCB	< 0,8	< 6,0	< 31	< 7,6	< 1,1	< 0,4	
PCB 209	< 0,8	< 1,5	< 4,6	< 6,2	< 1,0	< 0,6	
Summe Deca	< 0,8	< 1,5	< 4,6	< 6,2	< 1,0	< 0,6	

	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19	Jun. 19
PCB 1	< 101	< 55	< 59	< 55	< 61	< 61	< 53
PCB 2	< 101	< 14	< 15	< 14	< 16	< 16	< 14
PCB 3	< 101	< 14	< 15	< 14	< 16	< 16	< 14
Summe MonoCB	< 101	< 55	< 59	< 55	< 61	< 61	< 53
PCB 10	67,6	< 2,8	< 3,8	< 2,8	< 4,8	< 3,0	< 2,7
PCB 4	223	< 21	< 22	< 21	24	90	40,4
PCB 9	23,5	< 2,8	5,4	< 2,8	< 4,4	10,7	6,9
PCB 7	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	7,2	12,8	6,8
PCB 6	< 17	< 14	17,5	< 14	17,7	46,8	23,8
PCB 5 / 8	< 3	< 85	< 91	< 86	< 94	207	106
PCB 14	398	< 2,8	< 6,2	< 2,8	< 3,0	3,1	< 2,7
PCB 11	< 713	< 623	< 665	< 624	< 688	1688	1011
PCB 12 / 13	< 3,2	< 2,8	10	< 2,8	< 5,2	16,9	9,7
PCB 15	< 30,8	< 27	< 29	< 27	< 30	106	58,2
Summe DiCB	712	< 623	33	< 624	49	2182	1263
PCB 19	51,5	< 14	< 15	< 14	< 16	48	21,4
PCB 30	61,6	< 2,8	< 3	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 18	< 236	< 206	< 220	< 207	< 228	421	< 199
PCB 17	< 92,3	< 81	< 86	< 81	< 89	185	85,4

	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19	Jun. 19
PCB 24	97,4	< 2,8	< 3	< 2,8	< 3,0	6,6	4,4
PCB 27	< 3,2	< 11	< 11	< 11	< 12	25,7	11,3
PCB 32	< 49,7	< 43	< 46	< 44	< 48	97,8	52,7
PCB 16	< 3,2	< 65	< 69	< 65	< 71	129	67,1
PCB 23	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 34	10,6	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 29	21,	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	4,2	< 2,7
PCB 26	< 34,1	< 30	< 32	< 30	< 33	58	31,6
PCB 25	156,5	< 15	< 16	< 15	< 17	29	15,5
PCB 31	< 3,2	< 184	< 196	< 184	< 203	360	193
PCB 28	< 3,2	< 216	< 231	< 217	< 239	431	232
PCB 21	130,7	< 2,8	< 3	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 20 / 33	< 167	< 146	< 156	< 146	< 161	271	149,5
PCB 22	< 3,2	< 64	< 68	< 64	< 71	138	76,
PCB 36	3,7	< 2,8	< 3	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 39	< 3,2	< 2,8	< 3	< 2,8	4,5	< 3,0	< 2,7
PCB 38	24,	< 2,8	< 3	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 35	< 3,2	< 7,1	< 3	< 7,1	12,9	16,7	9,1
PCB 37	< 3	< 36	< 39	< 36	98,9	91,9	55,2
Summe TriCB	557	< 216	< 231	< 217	116	2314	1005
PCB 54	7,3	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 50	4,9	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 53	< 25	< 22	< 23	< 22	< 24	31,9	< 21,1
PCB 51	58,1	< 16	< 17	< 16	19,8	24,7	< 15,4
PCB 45	63,1	< 26	< 28	< 26	< 29	42	< 25,4
PCB 46	11,8	< 10	< 10,3	< 3	< 11	12	< 9,3
PCB 52 / 69 / 73	< 153	< 134	< 143	< 134	< 148	209	<129
PCB 43 / 49	167	< 87	< 93	< 87	< 96	131	< 83,9
PCB 47 / 48 / 65 / 75	< 3	< 90	< 96	105	196	178	107
PCB 62	18,6	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 44	104	< 81	< 87	< 82	91,1	134	82,8
PCB 59	12,9	< 9	< 9,3	< 9	< 10	13,3	< 8,4
PCB 42	< 3,2	< 35	< 38	< 35	< 39	47	< 34

	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19	Jun. 19
PCB 64 / 71 / 72	< 3,2	< 65	< 70	< 66	< 72	123	69,2
PCB 41	41,7	< 15	< 16	< 15	< 17	21	< 15
PCB 68	< 13	< 12	< 12,5	17,7	25	14	11,7
PCB 40 / 57	< 14,0	< 12	< 13,0	< 12	17	17	< 11,8
PCB 67	37,5	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	5,4	3,7
PCB 58 / 63	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 4,5	5,6	< 3,9
PCB 61 / 74	< 52	< 45	< 49	< 46	< 50	85,1	54,
PCB 70	< 84	< 74	< 79	< 74	< 81	154	97,3
PCB 76	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	3,9	9,9	3,4
PCB 66 / 80	< 73	< 63	< 68	< 64	82	127	79,
PCB 55	65,1	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	3,2	4,2
PCB 56 / 60	< 3,2	< 42	< 45	< 42	78,9	106	72,6
PCB 79	6,6	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,4	< 2,7
PCB 78	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 81	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 77	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	10,3	21,1	15,1
Summe TetraCB	599	< 134	< 143	123	525	1516	600
PCB 104	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 96	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 103	17,6	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,4	< 3,0	< 2,7
PCB 100	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 94	12,1	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,7	< 3,0	< 2,7
PCB 93 / 95 / 98 / 102	< 129	< 112	< 120	< 113	< 124	137	237
PCB 88	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,7	< 3,0	< 2,7
PCB 91 / 121	113,6	< 7,9	< 2,9	< 2,8	9,8	11,7	< 7,6
PCB 92	< 17,6	< 15,3	< 16,4	< 15	27	22	39,1
PCB 84	16,1	< 12	< 12,6	< 11,9	40,7	26,0	27,
PCB 89 / 90 / 101	< 136	< 118	< 126	< 119	160	159	299,9
PCB 113	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,5	< 3,0	< 2,7
PCB 99	< 3,2	< 21	< 22	< 21	34	32	25,
PCB 112 / 119	16,9	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 4,0	< 3,0	< 2,7

	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19	Jun. 19
PCB 109 / 83	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	3,1
PCB 86 / 97 / 117 / 125	< 3,2	< 15	< 16	< 15	< 16	20,7	18,1
PCB 116	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 87 / 115	< 20	< 18	< 19	< 17,8	< 20	26,1	39,6
PCB 111	31,4	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 85	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 10	< 10	< 8,8
PCB 120	42,4	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 110	< 3,2	< 55,4	< 59,2	< 56	< 61	< 61	97,3
PCB 82	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 7,4	< 7,4	< 6,5
PCB 124	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	4,2	3,3
PCB 107 / 108	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	4,8	7,1	4,7
PCB 123	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 106 / 118	< 3	< 33	< 35	< 33	54	78	98,1
PCB 114	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	3,4	3,6
PCB 122	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	3,5	< 3,0	4,1
PCB 105 / 127	< 3,2	< 14	< 15	< 14	18	33	25,5
PCB 126	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
Summe PentaCB	250	< 118	< 126	< 119	352	560	926
PCB 155	3,6	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 150	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 152	4,1	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 145	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 136 / 148	< 43,6	< 38,0	< 41	< 38	82	< 42	71,8
PCB 154	5,0	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 151	< 6,4	< 82	< 87	< 82	131	< 90	147
PCB 135	< 36	< 31	< 33	< 31	82	< 34	69,2
PCB 144	< 3,2	< 11	< 12	< 2,8	33	< 12	31,3
PCB 147	58,6	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 139 / 149	< 99,3	< 87	98,4	< 87	185	119	354
PCB 140	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,4	< 3,0	< 2,7
PCB 143	16,7	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,2	< 3,0	< 2,7
PCB 134	< 3,2	< 2,8	5,3	< 2,8	24,3	6,8	21,8

	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19	Jun. 19
PCB 131 / 133 / 142	< 3,2	< 2,8	3,2	< 2,8	5,3	4,7	11,
PCB 165	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 146	< 15	< 13	17,6	< 13	22	21	62,5
PCB 132 / 161	< 3	< 22	24,1	< 22	90	42	120
PCB 153 / 168	< 3	< 88	105	< 89	135	138	419
PCB 141	59,6	< 16	25,6	< 16	46	37	130
PCB 137	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	4,3	6,2
PCB 130	69,2	< 2,8	6,5	< 2,8	7,9	9,3	20,5
PCB 163 / 164	< 3,2	< 20	33,	< 20	41	39	131
PCB 138	< 3,2	< 64	95	< 65	137	149	438
PCB 158 / 160	< 11	< 9,2	12	< 9	13	16	56,9
PCB 129	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	4,5	< 3,0	15,5
PCB 166	7,1	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 159	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 128 / 162	16,2	< 2,8	7,3	< 2,8	8,3	12,1	28,9
PCB 167	< 3,2	< 2,8	5,5	< 2,8	8,6	6,4	21,7
PCB 156	< 3,2	< 2,8	12,5	< 5,2	9,8	12,7	42,9
PCB 157	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	4,1
PCB 169	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
Summe HexaCB	240	< 88	451	< 89	1064	617	2204
PCB 188	9,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 184	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 179	< 3,2	< 14,7	< 15,7	< 14,7	39	16	59,5
PCB 176	< 3,2	< 2,8	4,1	< 2,8	10,9	4,3	21,
PCB 186	10,4	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 178	< 3,2	< 2,8	8,5	< 2,8	18,8	6,8	32,2
PCB 175	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	9,1
PCB 182 / 187	< 25	< 21,6	49,0	< 21,6	86,2	40,8	164,4
PCB 183	< 13,0	< 11,3	32,0	< 11	15,2	19,2	86,2
PCB 185	11,6	< 2,8	4,4	< 2,8	3,6	3,2	15,1
PCB 174	< 24	< 20,8	49,4	< 20,8	39	32	144
PCB 181	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 177	22,4	< 9,5	24,1	< 9,5	42	18,3	76,0

	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19	Jun. 19
PCB 171	8,6	< 2,8	15,3	< 2,8	13,5	10,3	48,9
PCB 173	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	3,6	< 3,0	4,3
PCB 172	< 3,2	< 2,8	7,8	< 2,8	7,9	6,2	33,1
PCB 192	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 180	< 3	< 27,6	115	< 27,6	64	89	384
PCB 193	< 3,2	< 2,8	5,4	< 2,8	6,5	< 3,0	13,7
PCB 191	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	8,4
PCB 170	< 3	< 10,7	53,7	< 11	27	35	168
PCB 190	< 3,2	< 2,8	11,3	< 2,8	4,1	6,3	34,4
PCB 189	< 3,2	< 2,8	3,3	< 2,8	< 3,0	< 3,0	8,2
Summe HeptaCB	62	< 28	384	< 28	382	287	1310
PCB 202	< 3,2	< 2,8	3,1	< 2,8	< 3,0	< 3,0	6,0
PCB 200	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	7,0
PCB 204	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	< 2,7
PCB 197	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	2,8
PCB 199	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	5,8
PCB 198 / 201	< 3,2	< 2,8	15	< 2,8	19,2	10,7	47,6
PCB 196 / 203	< 3,2	< 2,8	21	< 2,8	19,1	13,9	61,6
PCB 195	< 3,2	< 2,8	8,8	< 2,8	5,5	4,3	18,6
PCB 194	< 3,2	< 2,8	20,3	3,0	7,2	9,6	39,9
PCB 205	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	2,9
Summe OctaCB	< 3,2	< 2,8	68	3,0	51,0	38,5	192
PCB 208	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 12,6	< 3,0	< 2,7
PCB 207	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 10,2	< 3,0	< 2,7
PCB 206	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 3,0	< 3,0	4,4
Summe NonaCB	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	< 12,6	< 3,0	4,4
PCB 209	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	5,6	8,8	< 2,7
Summe Deca	< 3,2	< 2,8	< 2,9	< 2,8	5,6	8,8	< 2,7

Nur Werte > Bestimmungsgrenzen gehen in die Bildung der Homologengruppensummen ein. Liegen die Konzentrationen aller Kongenere einer Homologengruppe unterhalb der Bestimmungsgrenze, wird der Wert für die Homologengruppensumme als < maximale BG dargestellt.

Tabelle 64: Depositionen der 209 PCB (pg/m²d), Messstation Schmücke

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
PCB 1	< 0,5	7,4	6,8	< 3,5	< 4,9	4,4
PCB 2	< 3,9	6,5	6,2	9,2	< 5,1	< 3,4
PCB 3	< 0,4	7,0	5,5	< 3,2	< 3,2	< 2,2
Summe MonoCB	< 3,9	6,5	5,5	< 3,5	< 5,1	< 3,4
PCB 10	< 1,5	< 12	< 31	< 0,5	< 0,7	< 8,4
PCB 4	< 2	29,2	< 24	< 26	< 28	50,6
PCB 9	< 2,0	< 5,2	< 4,7	< 5,0	< 5,4	4,7
PCB 7	< 2,0	< 2,6	< 2,4	3,1	< 2,7	3,4
PCB 6	< 2,4	< 19	< 17	< 18	< 20	16,2
PCB 5 / 8	< 3	< 111	< 99	< 107	< 116	186
PCB 14	< 2,3	< 1,7	< 3,6	< 1,5	< 1,3	< 1,5
PCB 11	< 654	< 809	< 723	867	< 843	< 569
PCB 12 / 13	< 4,1	< 2,4	< 5,5	< 4,9	< 3,9	< 4,3
PCB 15	< 3,4	< 35	< 31	36	< 36	< 25
Summe DiCB	< 654	29,2	< 723	906	< 843	261
PCB 19	< 2,4	< 19	< 17	< 18	< 19	< 13
PCB 30	< 1,5	< 5,4	< 7	< 1,4	< 1,4	< 0,8
PCB 18	< 2	< 268	< 239	< 258	< 279	< 188
PCB 17	< 2,2	< 105	< 94	< 101	< 109	< 74
PCB 24	< 1,9	< 6,6	< 8,4	< 2,6	< 4,7	< 3,2
PCB 27	< 1,5	< 14	< 6,9	< 13	< 14	< 10
PCB 32	< 1,5	< 56	< 50	< 54	< 59	< 40
PCB 16	< 2,6	< 84	< 75	< 81	< 87	< 59
PCB 23	< 1,6	< 4,3	< 7,6	< 0,3	< 0,3	< 0,8
PCB 34	< 1,6	< 3,9	< 7,4	< 0,2	< 0,3	< 0,7
PCB 29	< 1,7	< 4,2	< 8,0	< 1,5	< 1,1	< 2,5
PCB 26	< 1,6	< 39	< 35	< 37	< 40	< 27
PCB 25	< 1,6	< 20	< 18	< 19	< 20	< 14
PCB 31	< 193	< 239	< 214	< 230	< 249	< 168
PCB 28	< 227	< 281	< 251	< 271	< 292	< 197
PCB 21	< 1,8	< 4,3	< 8,8	< 0,1	< 1,3	< 0,9
PCB 20 / 33	< 153	< 189	< 169	< 183	< 197	< 133
PCB 22	< 67	< 83	< 74	< 80	< 87	< 58
PCB 36	< 3,2	< 2,5	< 2,2	< 0,6	< 0,7	< 0,5

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
PCB 39	< 3,2	< 2,0	< 4,5	< 1,3	< 0,6	< 0,4
PCB 38	< 4,1	< 2,8	< 6,3	< 0,2	< 0,2	< 0,6
PCB 35	< 3,7	< 9,2	< 5,9	14,8	< 9,5	< 6,4
PCB 37	< 4,0	< 47	< 42	< 45	< 49	< 33
Summe TriCB	< 227	< 281	< 251	14,8	< 292	< 197
PCB 54	< 0,5	< 0,8	< 1,4	< 0,8	< 0,4	< 0,3
PCB 50	< 0,7	< 1,0	< 2,0	< 1,1	< 0,5	< 0,4
PCB 53	< 0,7	< 28	< 25	< 27	< 30	< 20
PCB 51	< 17	< 21	< 19	< 20	< 22	22,7
PCB 45	< 0,8	< 34	< 31	< 33	< 36	< 24
PCB 46	< 0,9	< 13	< 3,0	< 12	< 13	< 8,8
PCB 52 / 69 / 73	< 140	< 174	< 155	< 167	< 181	< 122
PCB 43 / 49	< 1,2	< 113	< 101	< 109	< 118	< 80
PCB 47 / 48 / 65 / 75	< 95	< 117	< 105	< 113	< 122	145
PCB 62	< 0,6	< 0,6	< 0,3	< 0,6	< 0,3	< 0,2
PCB 44	< 0,8	< 106	< 94	< 102	< 110	< 74
PCB 59	< 0,5	< 11	< 0,3	< 11	< 12	< 7,9
PCB 42	< 0,8	< 46	< 0,5	< 44	< 48	< 32
PCB 64 / 71 / 72	< 0,8	< 85	< 76	< 82	< 89	< 60
PCB 41	< 0,8	< 20	< 0,5	< 19	< 21	< 14
PCB 68	< 12	< 15	< 14	15,9	< 16	20
PCB 40 / 57	< 2,4	< 16	< 14	< 15	< 17	< 11
PCB 67	< 1,2	< 0,4	< 1,9	< 3,2	< 5,2	< 3,5
PCB 58 / 63	< 1,4	< 0,4	< 1,8	< 2,5	< 5,5	< 3,7
PCB 61 / 74	< 48	< 59	< 53	< 57	< 61	< 42
PCB 70	< 77	< 96	< 86	< 92	< 100	< 67
PCB 76	< 1,3	< 0,4	< 1,9	< 1,2	< 2,7	< 0,6
PCB 66 / 80	< 66	< 82	< 74	< 79	< 86	< 58
PCB 55	< 1,3	< 0,4	< 1,8	< 2,1	< 1,5	< 0,9
PCB 56 / 60	< 44	< 55	< 49	< 53	< 57	< 39
PCB 79	< 1,3	< 0,4	< 2,1	< 0,6	< 0,3	< 0,9
PCB 78	< 1,5	< 0,5	< 2,3	< 1,1	< 1,2	< 1,1
PCB 81	< 1,4	< 0,5	< 2,3	< 0,7	< 0,4	< 1,0
PCB 77	< 1,0	< 0,5	< 2,6	26,4	< 9,9	< 6,7
Summe TetraCB	< 140	< 174	< 155	42,3	< 181	188

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
PCB 104	< 0,2	< 0,1	< 1,0	< 0,3	< 0,4	< 0,3
PCB 96	< 0,2	< 0,1	< 1,2	< 0,5	< 0,5	< 0,4
PCB 103	< 0,3	< 0,2	< 1,4	< 0,6	< 0,6	< 0,5
PCB 100	< 0,2	< 0,7	< 1,1	< 0,2	< 0,1	< 0,2
PCB 94	< 0,3	< 0,8	< 1,4	< 0,2	< 0,1	< 0,2
PCB 93 / 95 / 98 / 102	< 118	162	147	< 141	< 152	103
PCB 88	< 0,3	< 0,8	< 1,3	< 0,2	< 0,1	< 0,2
PCB 91 / 121	< 0,2	< 0,7	< 1,3	< 9,9	< 10,7	< 7,2
PCB 92	< 16,1	25,7	18,8	< 19	< 21	< 14
PCB 84	< 0,3	16	14,1	16,8	< 16	12,1
PCB 89 / 90 / 101	< 124	200	175	< 148	< 160	< 108
PCB 113	< 0,2	< 0,7	< 0,9	< 0,1	< 0,1	< 0,1
PCB 99	< 21,8	< 27	< 24	< 26	< 28	< 19
PCB 112 / 119	< 1,7	< 0,8	< 1,1	< 1,0	< 0,5	< 0,2
PCB 109 / 83	< 0,4	< 1,0	< 1,5	< 2,7	< 3,4	< 0,3
PCB 86 / 97 / 117 / 125	< 15,6	< 19	< 17	< 19	< 20	< 14
PCB 116	< 0,2	< 0,7	< 0,9	< 0,2	< 0,1	< 0,2
PCB 87 / 115	< 18,6	33,5	21,8	28,2	< 24	16,8
PCB 111	< 0,2	< 0,6	< 0,8	< 0,1	< 0,1	< 0,1
PCB 85	< 9,6	< 12	< 1,1	< 11,4	< 12	< 8
PCB 120	< 0,2	< 0,6	< 0,8	< 0,1	< 0,1	< 0,1
PCB 110	< 58	< 71,9	< 64,3	< 69	< 75	< 51
PCB 82	< 0,3	< 8,8	< 1,3	< 8,4	< 9,1	< 6,2
PCB 124	< 0,8	< 0,6	< 1,0	2,0	< 1,0	1,0
PCB 107 / 108	3,2	< 0,5	< 1,0	4,0	< 1,6	< 1,4
PCB 123	< 0,8	< 0,6	< 1,0	< 1,2	< 0,2	< 0,8
PCB 106 / 118	35,9	42,6	39,0	61,5	< 44	< 30
PCB 114	< 1,0	< 0,7	< 1,0	< 0,8	< 0,3	< 0,2
PCB 122	< 1,0	< 0,7	< 1,1	< 0,6	< 0,3	< 0,2
PCB 105 / 127	< 15	< 19	< 17	25	< 19	< 13
PCB 126	< 0,7	< 1,5	< 1,9	< 0,8	< 0,6	< 0,4
Summe PentaCB	39,1	479	416	137	< 160	133
PCB 155	< 0,3	< 0,6	< 0,8	< 0,1	< 0,1	< 0,1
PCB 150	< 0,3	< 0,6	< 0,9	< 0,1	< 0,1	< 0,1
PCB 152	< 0,3	< 0,7	< 1,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
PCB 145	< 0,3	< 0,6	< 0,9	< 0,1	< 0,1	< 0,1
PCB 136 / 148	< 40	< 49	< 44	< 48	< 51	< 35
PCB 154	2,0	< 0,8	< 1,1	< 0,2	< 0,1	< 0,1
PCB 151	< 86	< 106	< 95	< 102	< 110	< 75
PCB 135	< 33	< 40	< 36	< 39	< 42	< 28
PCB 144	< 11	< 14	< 13	< 14	< 15	< 10
PCB 147	2,9	< 0,9	< 1,2	< 2,2	< 0,6	< 0,1
PCB 139 / 149	172,	194	149	115	< 117	< 79
PCB 140	< 1,7	< 1,8	< 9,1	< 0,7	< 0,2	< 0,3
PCB 143	< 1,6	< 1,5	< 7,7	< 0,6	< 0,2	< 0,2
PCB 134	< 5,0	13,1	< 10,1	6,3	< 6,4	< 4,4
PCB 131 /133 /142	6,3	< 2,8	< 15	< 3,9	< 2,2	1,3
PCB 165	< 1,3	< 1,5	< 7,5	< 0,5	< 0,2	< 0,2
PCB 146	74,8	27,2	21,8	25	< 18	< 12
PCB 132 / 161	< 23	39,4	32,6	33,4	< 30	< 20
PCB 153 / 168	332	171	139	156	< 120	< 81
PCB 141	< 17,2	31,8	28,3	28,4	< 22	< 15
PCB 137	< 2,4	3,5	< 10	5,8	< 1,6	< 2,1
PCB 130	13,7	8,6	< 11	7,8	< 2,8	< 3,6
PCB 163 / 164	144	41,8	24,6	45,3	< 27	< 18
PCB 138	413	137	121	124	< 87	< 59
PCB 158 / 160	25,5	23,6	15	16	< 12	< 8
PCB 129	< 2,1	< 2,1	< 11	< 4,0	< 1,5	< 0,6
PCB 166	< 0,8	< 1,0	< 4,1	< 0,2	< 0,2	< 0,1
PCB 159	< 0,8	< 1,0	< 4,2	< 0,2	< 0,2	< 0,1
PCB 128 / 162	9,1	< 8,6	9,	13,5	< 8,9	< 6,0
PCB 167	12,2	5,5	< 3,3	6,2	< 3,8	< 2,6
PCB 156	< 0,9	10,8	7,4	14,2	< 7,0	< 4,7
PCB 157	2,1	< 0,9	< 4,0	< 2,1	< 1,1	< 0,2
PCB 169	< 0,9	< 1,0	< 4,9	< 0,8	< 0,2	< 0,2
Summe HexaCB	1209	708	548	597	< 120	1,3
PCB 188	< 0,4	< 0,4	< 0,9	< 0,4	< 0,4	< 0,3
PCB 184	< 0,3	< 0,4	< 1,0	< 0,4	< 0,4	< 0,3
PCB 179	< 15	< 19	< 17	< 18	< 20	< 13
PCB 176	< 0,4	4,8	4,2	< 4,3	< 4,6	< 3,1

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
PCB 186	< 0,4	< 0,5	< 1,1	< 0,4	< 0,4	< 0,3
PCB 178	22,6	8,7	5,5	8,2	< 5,5	< 3,7
PCB 175	2,0	< 0,6	1,6	< 1,7	< 0,9	0,7
PCB 182 / 187	120	47,2	33,1	48,2	< 29	< 20
PCB 183	30,	20,8	24,2	23	< 15	< 10
PCB 185	< 0,8	< 2,2	< 1,3	3,2	< 0,5	< 2,1
PCB 174	31	37,8	31,5	30,4	< 28	< 19
PCB 181	< 0,8	< 2,0	< 1,2	< 0,4	< 0,4	< 0,2
PCB 177	27,3	17,8	18,6	17,1	< 13	< 8,7
PCB 171	10,8	8,1	6,9	10,9	< 6,7	< 4,5
PCB 173	< 1,0	< 2,5	< 1,6	< 0,5	< 0,5	< 0,2
PCB 172	< 0,8	< 2,0	6,1	8,3	< 1,5	< 2,1
PCB 192	< 0,7	< 1,6	< 0,9	< 0,3	< 0,3	< 0,2
PCB 180	66,6	66,4	51,4	104	< 37	< 25
PCB 193	4,7	3,6	< 0,7	5,	1,4	< 0,9
PCB 191	< 0,6	< 1,3	< 0,8	< 1,9	< 0,9	< 0,1
PCB 170	28	27,4	22,0	41,3	< 15	< 10
PCB 190	< 0,6	6,	4,6	5,2	< 3,2	< 2,2
PCB 189	< 1,0	< 1,1	< 1,0	< 2,2	< 0,4	< 0,2
Summe HeptaCB	343	249	210	304	1,4	0,7
PCB 202	< 0,3	< 1,0	< 1,1	< 1,6	< 1,0	< 0,1
PCB 200	< 0,4	< 1,5	< 1,2	< 1,3	< 1,1	< 0,1
PCB 204	< 0,4	< 1,5	< 1,3	< 0,1	< 1,2	< 0,1
PCB 197	< 0,4	< 1,4	< 1,1	< 0,1	< 1,0	< 0,1
PCB 199	< 0,4	< 1,3	< 1,1	< 0,6	< 1,1	< 0,1
PCB 198 / 201	9,7	8,9	< 3,4	23,8	< 2,5	2,6
PCB 196 / 203	7,1	8,8	< 5,7	16,3	< 2,5	3,3
PCB 195	< 0,7	2,7	< 0,6	< 3,6	< 0,9	< 0,2
PCB 194	6,8	6,7	3,2	9,7	< 1,8	< 2,2
PCB 205	0,4	< 0,3	< 0,4	< 0,7	< 0,2	< 0,1
Summe OctaCB	24,1	27,1	3,2	49,8	< 2,5	5,8
PCB 208	< 0,2	< 1,2	< 2,4	< 0,5	< 0,4	< 0,1
PCB 207	< 0,2	< 1,1	< 2,3	< 0,4	< 0,3	< 0,1
PCB 206	< 1,0	< 2,6	< 2,4	< 2,0	< 0,6	< 1,9
Summe NonaCB	< 1,0	< 2,6	< 2,4	< 2,0	< 0,6	< 1,9

	Jun. 18	Jul. 18	Aug. 18	Sep. 18	Okt. 18	Nov. 18
PCB 209	< 1,0	4,4	2,2	< 2,0	< 0,9	< 0,4
Summe Deca	< 1,0	4,4	2,2	< 2,0	< 0,9	< 0,4

	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
PCB 1	< 101	< 131	n,a,	< 79	< 50	< 121
PCB 2	< 101	< 33	n,a,	< 20	< 13	< 31
PCB 3	< 101	< 33	n,a,	< 20	< 13	< 31
Summe MonoCB	< 101	< 131	n,a,	< 79	< 50	< 121
PCB 10	< 3,1	< 23,0	< 3,0	< 3,9	< 3,5	< 7,2
PCB 4	77,0	67,0	< 23	< 30	< 19	54,8
PCB 9	7,0	< 18,4	< 4,4	< 5,7	< 3,7	13,3
PCB 7	4,2	< 18,3	< 3,0	< 3,9	3,4	< 6,1
PCB 6	21,3	33,9	< 15,9	< 21	< 13,2	27,1
PCB 5 / 8	238	284	< 94	< 122	< 78	130
PCB 14	< 3,1	< 20,1	< 3,0	< 3,9	< 3,3	< 6,1
PCB 11	< 711	< 740	< 686	< 890	< 570	< 685
PCB 12 / 13	< 5,4	23,6	< 5,2	< 6,7	6,3	< 6,1
PCB 15	< 31	53,4	< 30	< 38	< 25	52,4
Summe DiCB	348	462	< 686	< 890	9,6	278
PCB 19	< 16	< 11	< 16	< 20	< 13	29,7
PCB 30	< 3,1	< 6,5	< 3	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 18	< 235	< 245	< 227	< 295	< 188	233
PCB 17	< 92	< 96	< 89	< 115	< 74	92,2
PCB 24	< 3,1	< 6,5	< 3	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 27	< 12,2	< 7	< 12	< 15	< 10	13,0
PCB 32	< 50	< 52	< 48	< 62	< 40	70,3
PCB 16	< 74	< 77	< 71	< 92	< 59	100
PCB 23	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 34	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 29	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 26	< 34,0	< 35	< 33	< 43	< 27	36,9
PCB 25	< 17,3	< 18	< 17	< 22	< 14	19,5
PCB 31	< 210	< 218	< 203	< 263	< 168	221
PCB 28	< 247	< 257	< 238	< 309	< 198	273
PCB 21	< 3,1	< 6,5	< 3	< 3,9	< 2,5	< 6,1

	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
PCB 20 / 33	< 167	< 173	< 161	< 208	< 133	163
PCB 22	< 73,1	< 76	< 71	< 91	< 59	106
PCB 36	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 39	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 38	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 35	< 8,1	< 6,5	< 7,8	< 3,9	< 6,4	< 7,8
PCB 37	< 41	< 43	< 40	< 52	< 33,1	69,4
Summe TriCB	< 247	< 257	< 238	< 309	< 198	1427
PCB 54	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 50	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 53	< 25	< 16	< 24	< 31	< 20	< 24,1
PCB 51	< 18,3	< 31	< 18	< 23	15,6	28,7
PCB 45	< 30,1	< 18	< 29	< 38	< 24	33,1
PCB 46	< 11,1	< 11	< 10,7	< 14	< 9	14,4
PCB 52 / 69 / 73	< 153	< 159	< 147	< 191	< 122	< 147
PCB 43 / 49	< 99	< 103	< 96	< 124	< 80	< 96
PCB 47 /48 /65 /75	122	< 107	126	< 129	125	165
PCB 62	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 44	< 93	< 97	< 90	< 116	< 74,4	114
PCB 59	< 9,9	< 6,5	< 3,0	< 12	< 8	9,8
PCB 42	< 40,4	< 42	< 39	< 51	< 32	< 39
PCB 64 / 71 / 72	< 74,8	< 78	< 72	< 94	< 60	78,6
PCB 41	< 17,4	< 18	< 17	< 22	< 14	21,7
PCB 68	15,2	< 14	23,2	< 16,7	14,4	21,7
PCB 40 / 57	< 14,0	< 6,5	< 13,5	< 17	< 11	15,7
PCB 67	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 3,5	< 6,1
PCB 58 / 63	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 61 / 74	< 52	61,8	< 50	< 65	< 42	55,8
PCB 70	< 84	< 87	< 81	< 105	75,4	106
PCB 76	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 66 / 80	< 72	< 75	< 70	< 91	58,4	83,4
PCB 55	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 56 / 60	< 48,3	58,6	< 47	< 60	44,7	71,8
PCB 79	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 78	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1

	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
PCB 81	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 77	< 8,4	< 6,5	< 8,1	< 3,9	9,4	9,4
Summe TetraCB	138	120	149	< 191	343	829
PCB 104	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 96	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 103	< 3,1	< 7,0	< 3,0	< 3,9	< 2,7	< 6,1
PCB 100	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 94	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 93 / 95 / 98 / 102	< 128	165	< 124	< 160	112	< 124
PCB 88	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 91 / 121	< 9,0	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 7,2	9,8
PCB 92	< 18	< 18,2	< 17	< 22	18	< 17
PCB 84	< 14	< 14	< 13	< 17	16,8	22,9
PCB 89 / 90 / 101	< 135	< 141	< 131	< 169	142	< 130
PCB 113	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 99	< 3,1	< 7	< 23	< 30	25,4	25,8
PCB 112 / 119	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 109 / 83	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 86 / 97 / 117 / 125	< 17	< 18	< 16	< 21	< 14	17
PCB 116	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 87 / 115	< 20	< 21	< 20	< 25,3	23	21,7
PCB 111	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 85	< 3,1	< 6,5	< 10	< 13	< 8,3	< 10
PCB 120	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 110	< 63	< 66	< 61	< 79	< 51	< 61
PCB 82	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 6,2	< 7,4
PCB 124	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 107 / 108	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	4,0	< 6,1
PCB 123	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 106 / 118	< 37	< 39	< 36	< 47	53,6	37,6
PCB 114	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 122	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 105 / 127	< 16	< 17	< 16	< 21	15,2	< 16
PCB 126	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
Summe PentaCB	< 135	165	< 131	< 169	410	135

	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
PCB 155	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 150	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 152	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 145	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 136 / 148	< 43,4	< 36,8	< 42	< 54	< 35	48,4
PCB 154	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 151	< 93,2	167	< 90	< 117	< 75	< 90
PCB 135	< 36	91,1	< 34	< 4,8	< 28	37,6
PCB 144	< 12,5	21,1	< 12	< 3,9	14,8	15,9
PCB 147	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 139 / 149	< 99,0	127	< 95,6	< 124	109	112
PCB 140	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 143	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 134	< 5,4	< 6,5	< 5,3	< 6,8	5,7	9,9
PCB 131 /133 /142	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	5,4	< 6,1
PCB 165	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 146	< 15	< 16	< 15	< 19	22	16
PCB 132 / 161	< 25	34,7	< 24	< 31	28,7	38,5
PCB 153 / 168	< 101	< 105	< 98	< 126	188	< 97
PCB 141	< 19	26,0	< 18	< 23	28,9	26,4
PCB 137	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	4,4	< 6,1
PCB 130	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 5,6	7,9	< 6,1
PCB 163 / 164	< 23	25,3	< 22	< 29	30,9	< 22
PCB 138	< 74	86,4	< 71	< 92	127	< 71
PCB 158 / 160	< 10	11,9	< 10	< 13	11,3	< 10
PCB 129	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 166	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 159	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 128 / 162	< 3,1	< 6,5	< 7,3	< 3,9	8,1	< 6,1
PCB 167	< 3,1	< 6,5	3,8	< 3,9	6,6	< 6,1
PCB 156	< 5,9	8,9	< 5,7	< 3,9	7,1	< 6,1
PCB 157	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 169	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
Summe HexaCB	< 101	599	4	< 126	605	304
PCB 188	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1

	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
PCB 184	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 179	< 16,8	50,9	< 16,2	< 21,0	16	18
PCB 176	4,0	11,5	< 3,0	< 3,9	5,6	< 6,1
PCB 186	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 178	< 4,6	21,5	6,7	< 3,9	14,6	10,5
PCB 175	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	3,3	< 6,1
PCB 182 / 187	< 25	116	30,3	< 31	79,0	39,9
PCB 183	< 13	21,6	< 13	< 16	15,0	< 12
PCB 185	< 3,1	8,1	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 174	< 24	47,4	< 23	< 30	23	< 23
PCB 181	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 177	< 11	28,8	< 10	< 14	15	< 10
PCB 171	< 3,1	9,1	6,0	< 7,1	6,2	7,0
PCB 173	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 172	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	7,4	< 6,1
PCB 192	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 180	< 31	103	35,8	< 39	87,9	< 30
PCB 193	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	4,2	< 6,1
PCB 191	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 170	< 12	69,1	16,4	< 15	29,0	< 12
PCB 190	< 3,1	10,9	< 3,0	< 3,9	4,3	< 6,1
PCB 189	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
Summe HeptaCB	4	498	95	< 39	311	75
PCB 202	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 200	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 204	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 197	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 199	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 198 / 201	< 3,1	75,4	4,7	< 3,9	15,0	6,4
PCB 196 / 203	4,6	57,	7,5	< 3,9	12,9	< 6,1
PCB 195	< 3,1	17,4	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
PCB 194	< 3,1	35,5	5,6	< 3,9	26,	< 6,1
PCB 205	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
Summe OctaCB	4,6	185	17,8	< 3,9	53,8	6,4
PCB 208	< 3,1	7,7	< 3,6	< 3,9	< 4,3	< 13

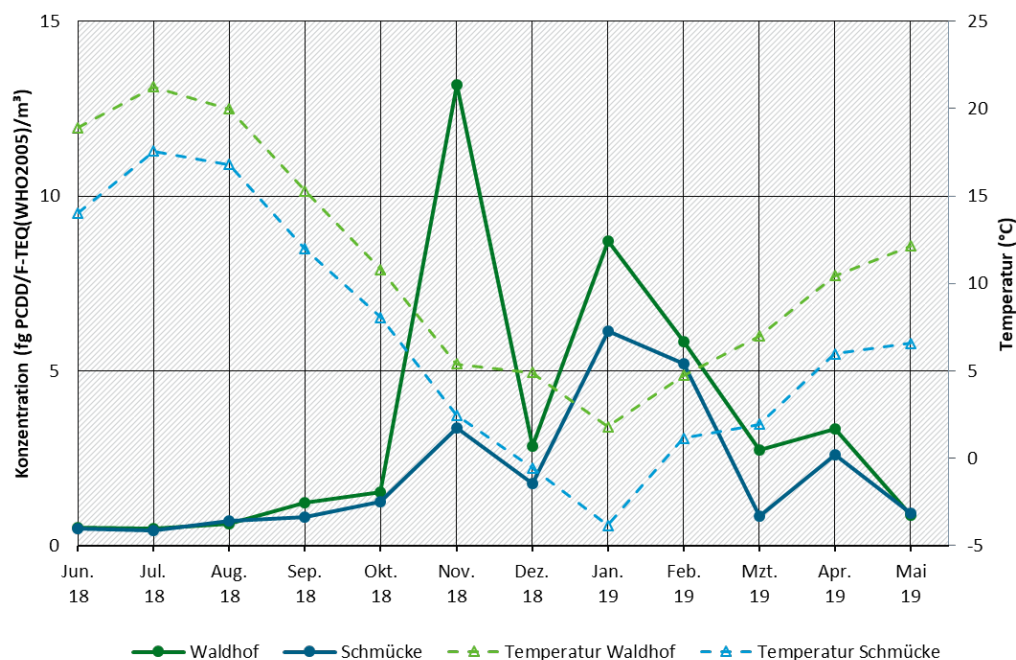
	Dez. 18	Jan. 19	Feb. 19	Mrz. 19	Apr. 19	Mai. 19
PCB 207	< 3,1	< 7,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 10
PCB 206	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
Summe NonaCB	< 3,1	< 7,5	< 3,6	< 3,9	< 4,3	< 13
PCB 209	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1
Summe Deca	< 3,1	< 6,5	< 3,0	< 3,9	< 2,5	< 6,1

Nur Werte > Bestimmungsgrenzen gehen in die Bildung der Homologengruppensummen ein. Liegen die Konzentrationen aller Kongenere einer Homologengruppe unterhalb der Bestimmungsgrenze, wird der Wert für die Homologengruppensumme als < maximale BG dargestellt.

n.a.: aufgrund von Störmatrix nicht analysierbar

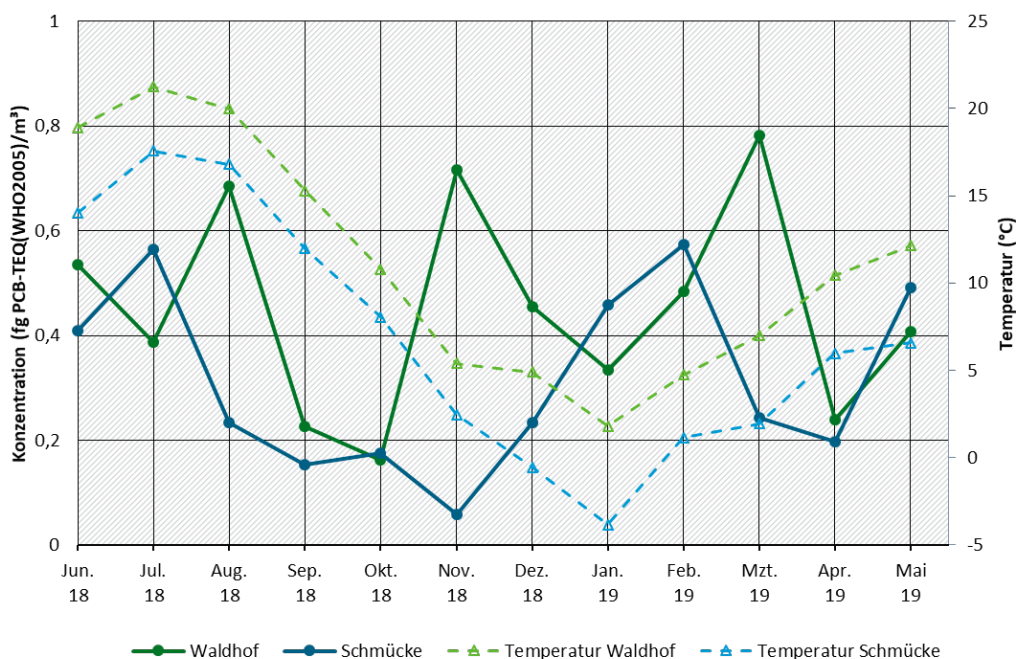
A.7 Verlauf der TEQ-Konzentrationen

Abbildung 44: Monatswerte der PCDD/F-TEQ Konzentrationen nach WHO₂₀₀₅ inkl. 1/2 BG (fg/m³) sowie der Temperatur



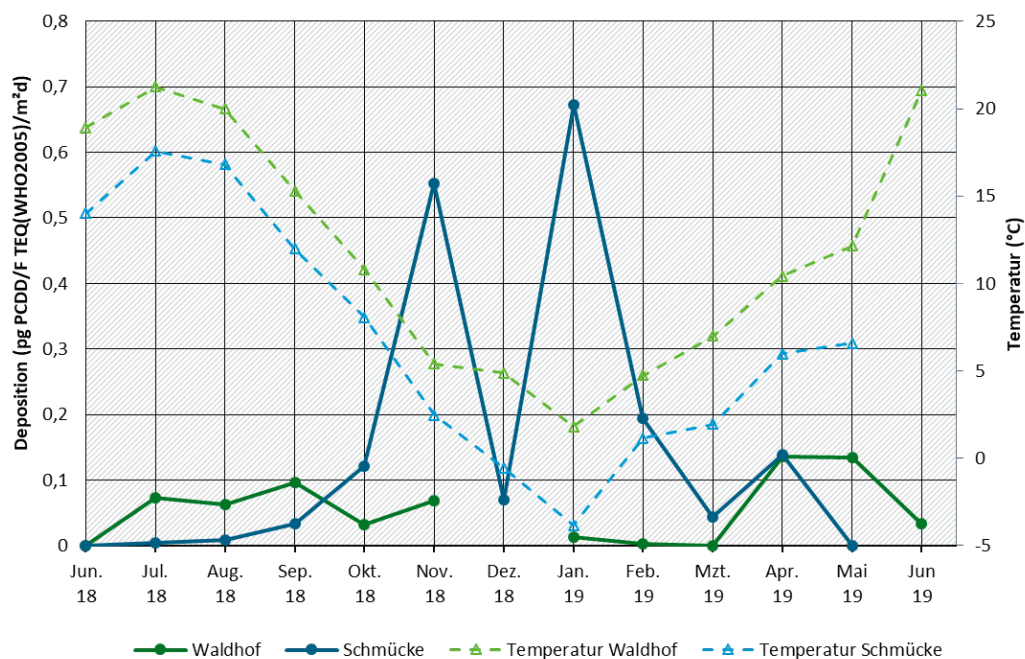
Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 45: Monatswerte der PCB-TEQ Konzentrationen nach WHO₂₀₀₅ inkl. 1/2 BG (fg/m³) sowie der Temperatur



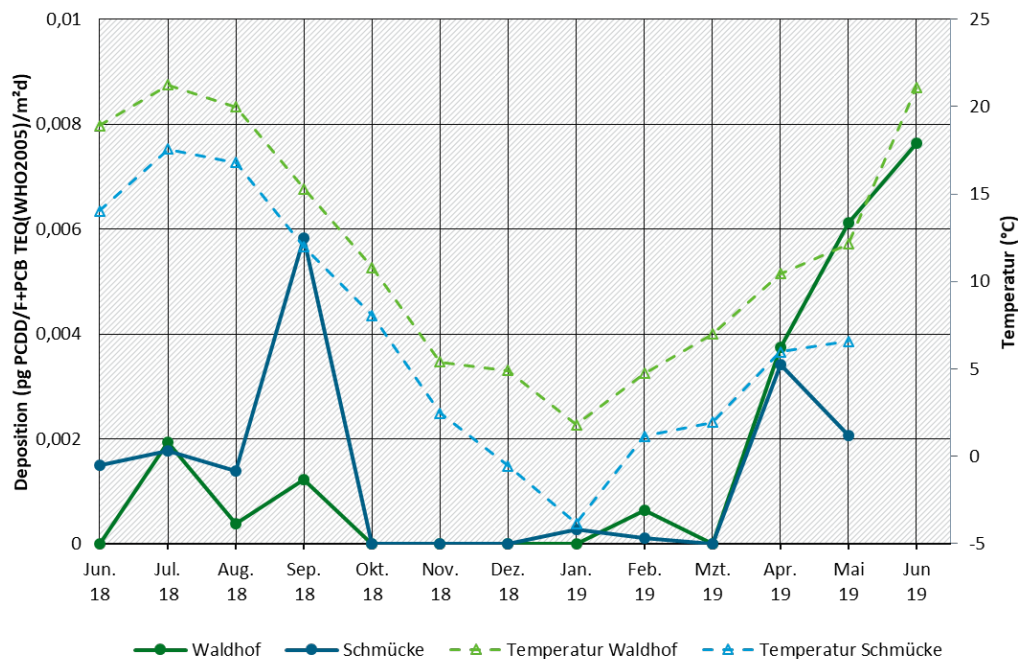
Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 46: Monatswerte der PCDD/F-TEQ Depositionsraten nach WHO₂₀₀₅ exkl. BG (pg/m²d) sowie der Temperatur



Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

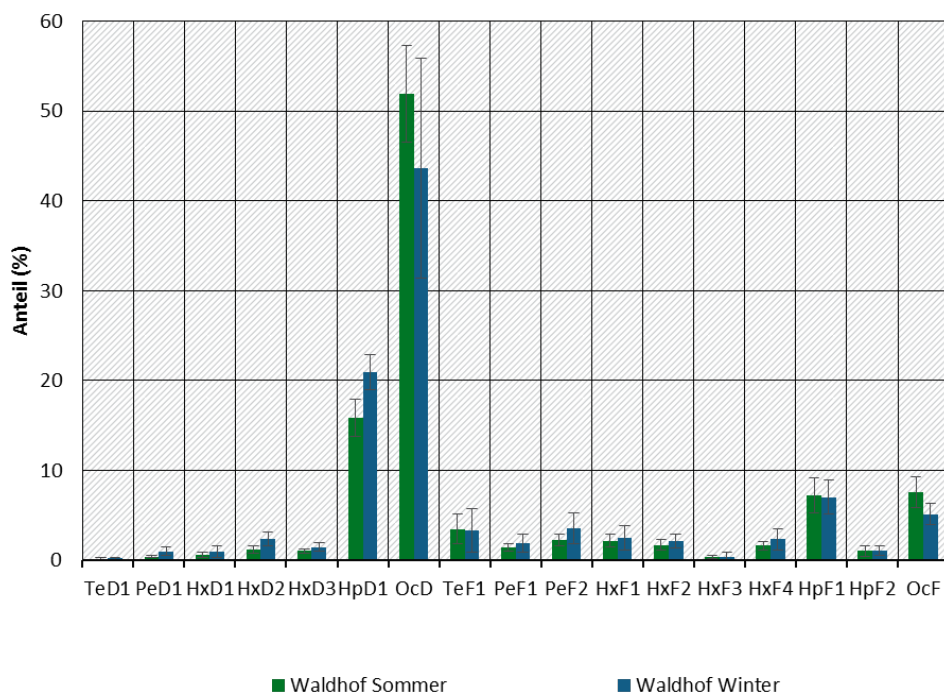
Abbildung 47: Monatswerte der PCB-TEQ Depositionsraten nach WHO₂₀₀₅ exkl. BG (pg/m²d) sowie der Temperatur



Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

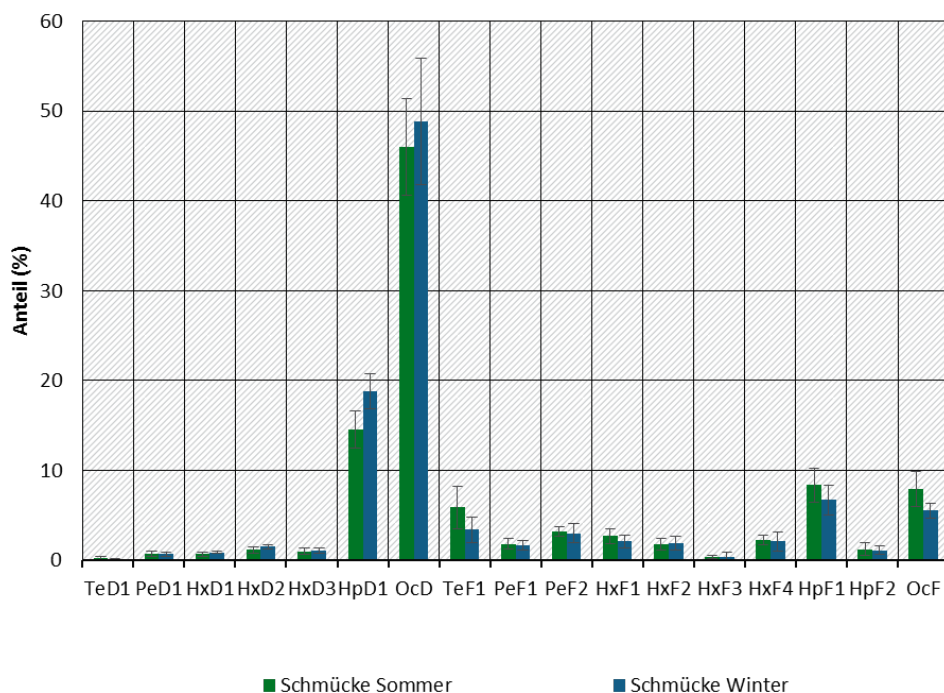
A.8 Sommer/Winter-Profile

Abbildung 48: PCDD/F-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Außenluftproben, Messstation Waldhof



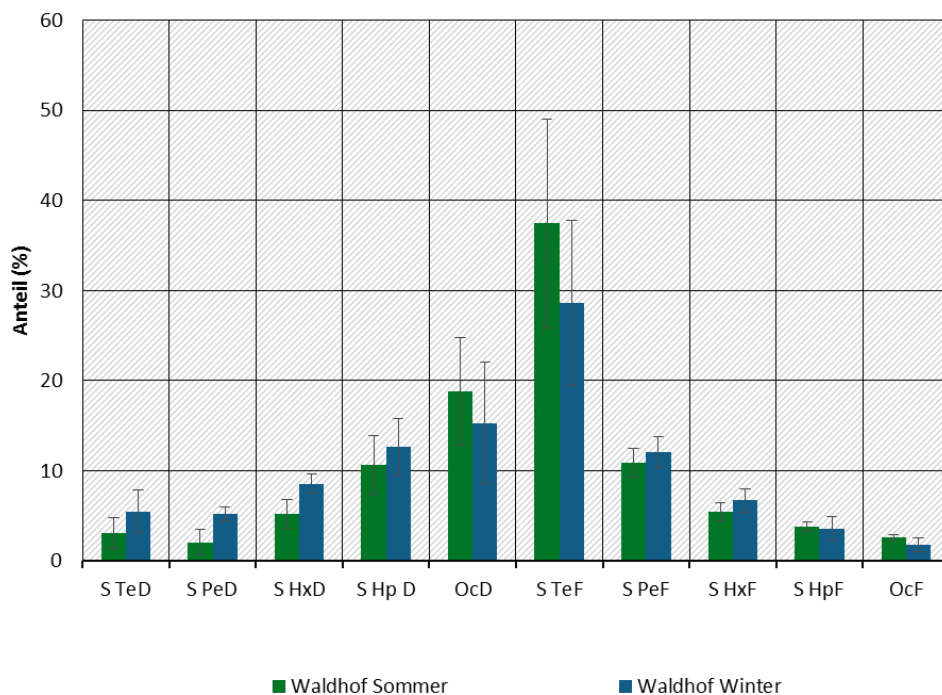
Sommermonate: April bis September; Wintermonate: Oktober bis März. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 49: PCDD/F-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Außenluftproben, Messstation Schmücke



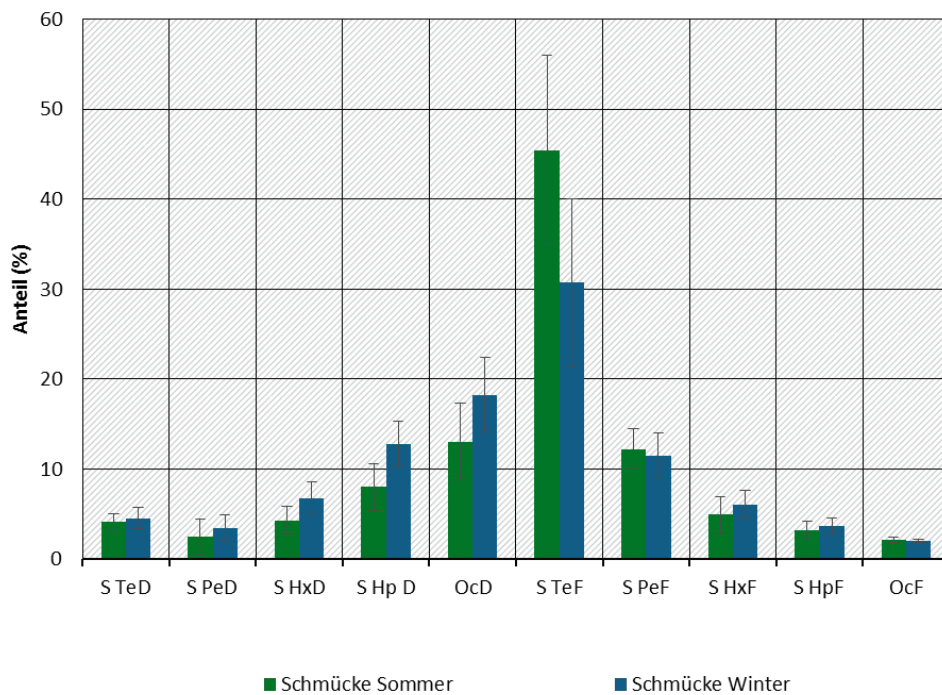
Sommermonate: April bis September; Wintermonate: Oktober bis März. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 50: PCDD/F-Homologengruppensummen-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Außenluftproben, Messstation Waldhof



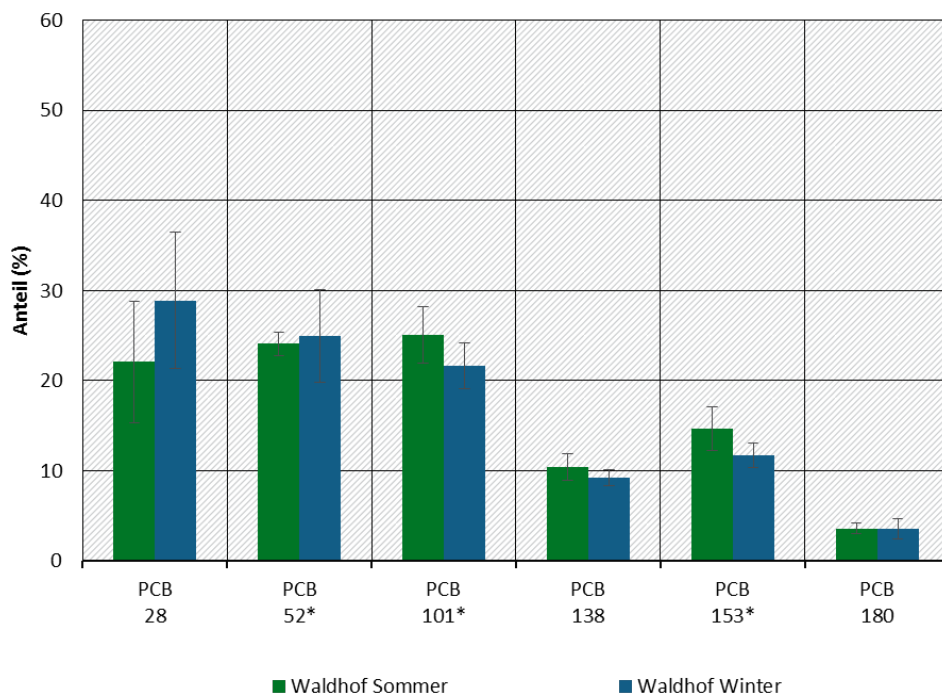
Sommermonate: April bis September; Wintermonate: Oktober bis März. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 51: PCDD/F-Homologengruppensummen-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Außenluftproben, Messstation Schmücke



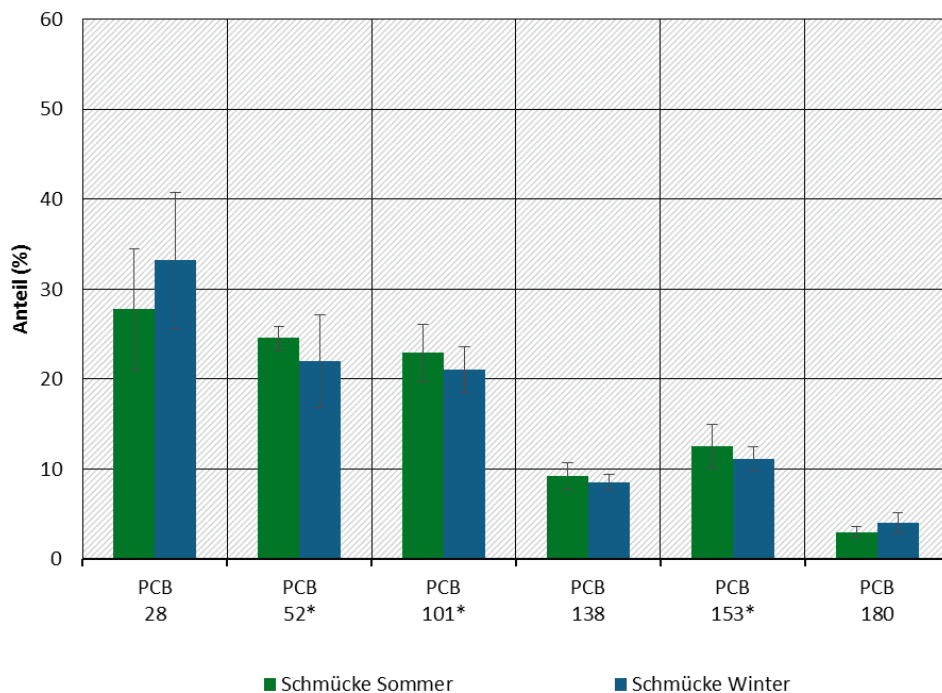
Sommermonate: April bis September; Wintermonate: Oktober bis März. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 52: i-PCB-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Außenluftproben, Messstation Waldhof



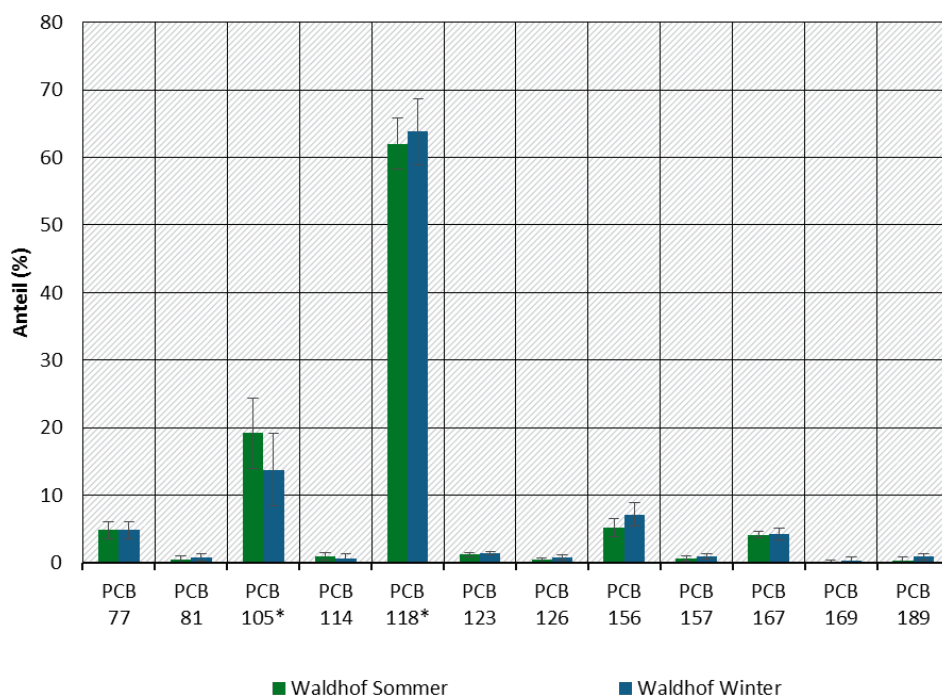
Sommermonate: April bis September; Wintermonate: Oktober bis März. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 53: i-PCB-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Außenluftproben, Messstation Schmücke



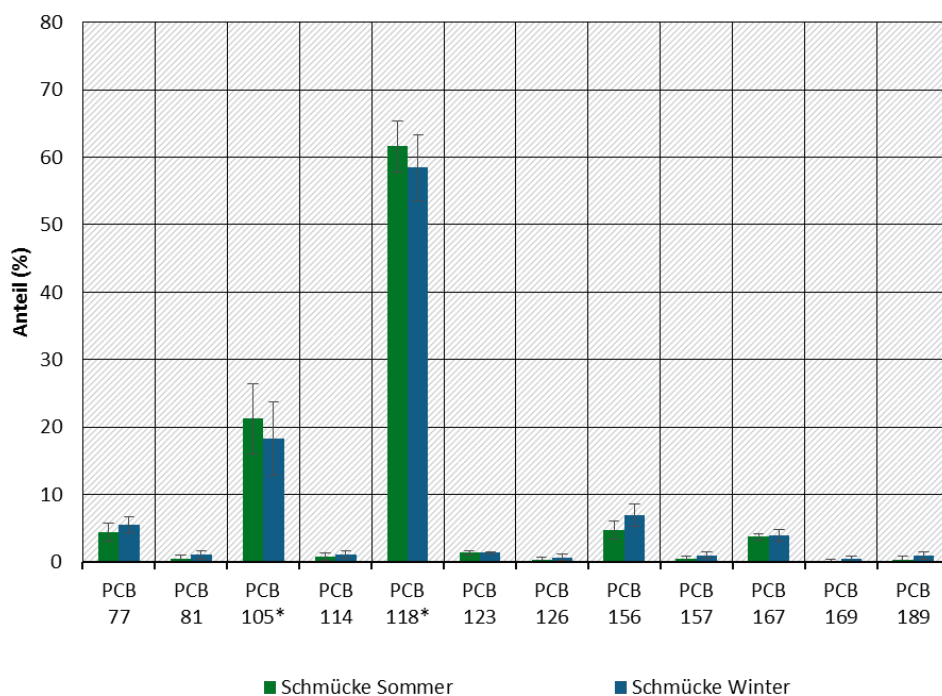
Sommermonate: April bis September; Wintermonate: Oktober bis März. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 54: dl-PCB-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Außenluftproben, Messstation Waldhof



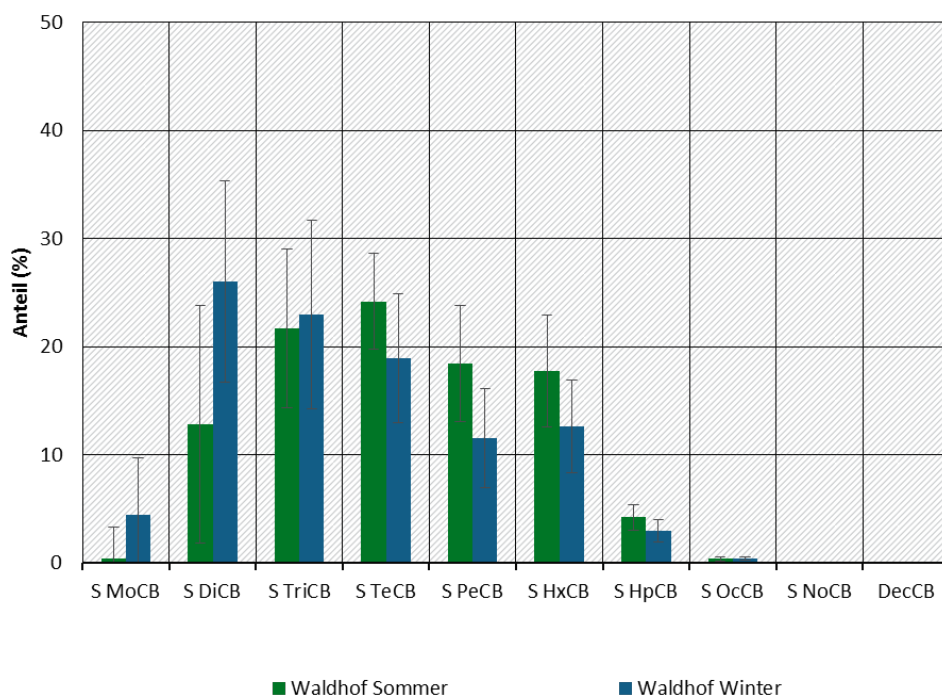
Sommermonate: April bis September; Wintermonate: Oktober bis März. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 55: dl-PCB-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Außenluftproben, Messstation Schmücke



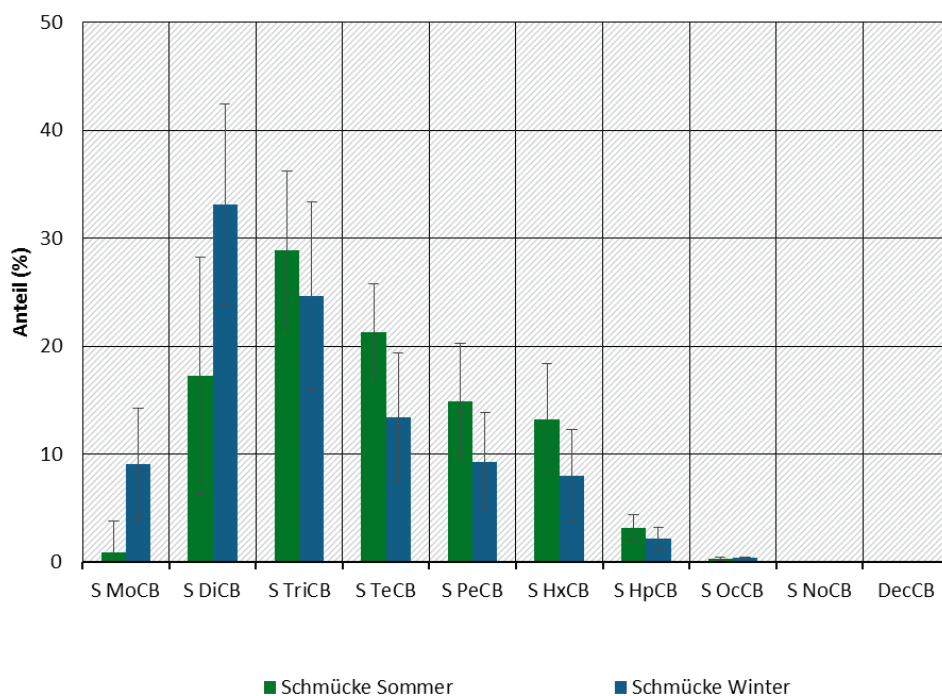
Sommermonate: April bis September; Wintermonate: Oktober bis März. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 56: PCB-Homologengruppensummen-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Außenluftproben, Messstation Waldhof



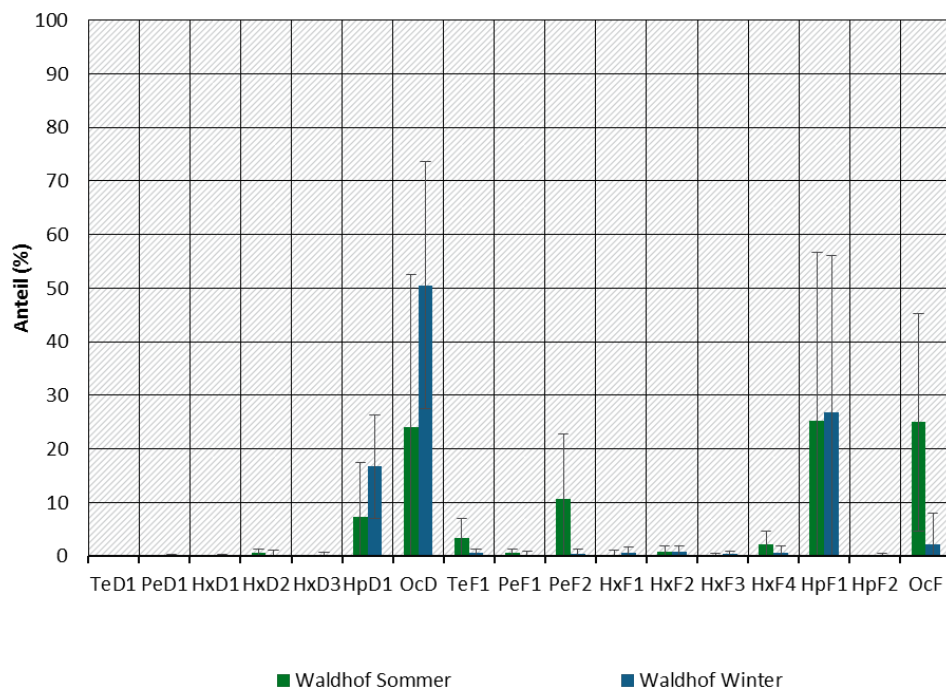
Sommermonate: April bis September; Wintermonate: Oktober bis März. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 57: PCB-Homologengruppensummen-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Außenluftproben, Messstation Schmücke



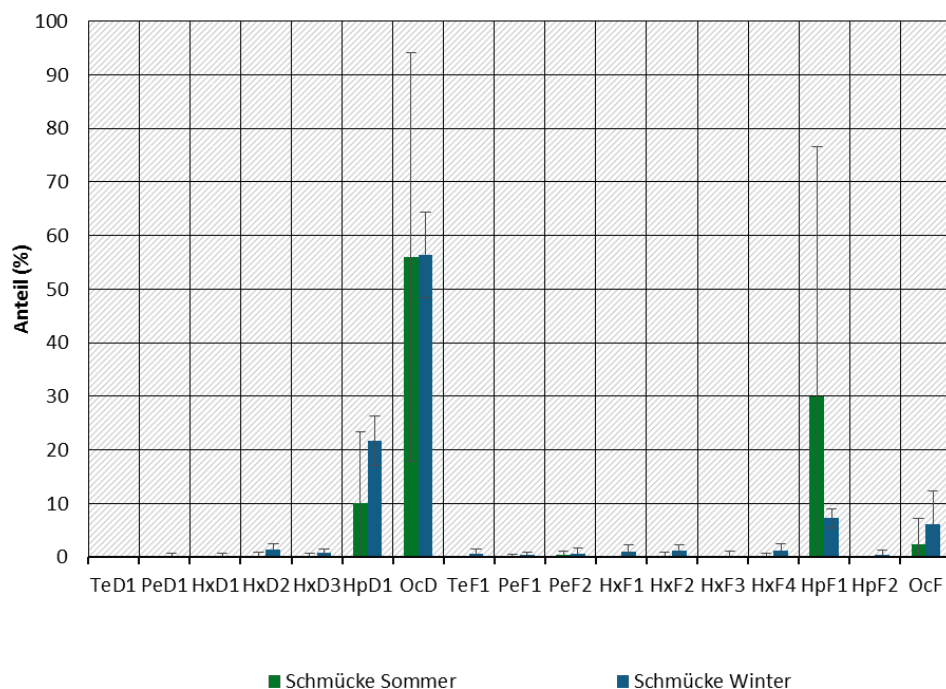
Sommermonate: April bis September; Wintermonate: Oktober bis März. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 58: PCDD/F-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Depositionsproben, Messstation Waldhof



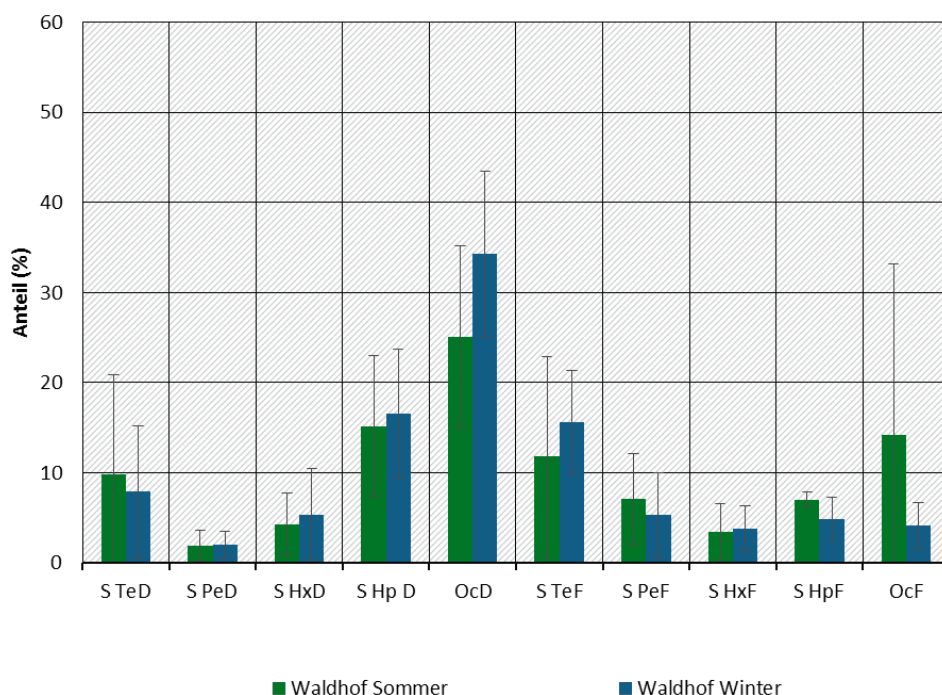
Sommermonate: April bis September; Wintermonate: Oktober bis März. Nur Werte > BG sind berücksichtigt. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 59: PCDD/F-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Depositionsproben, Messstation Schmücke



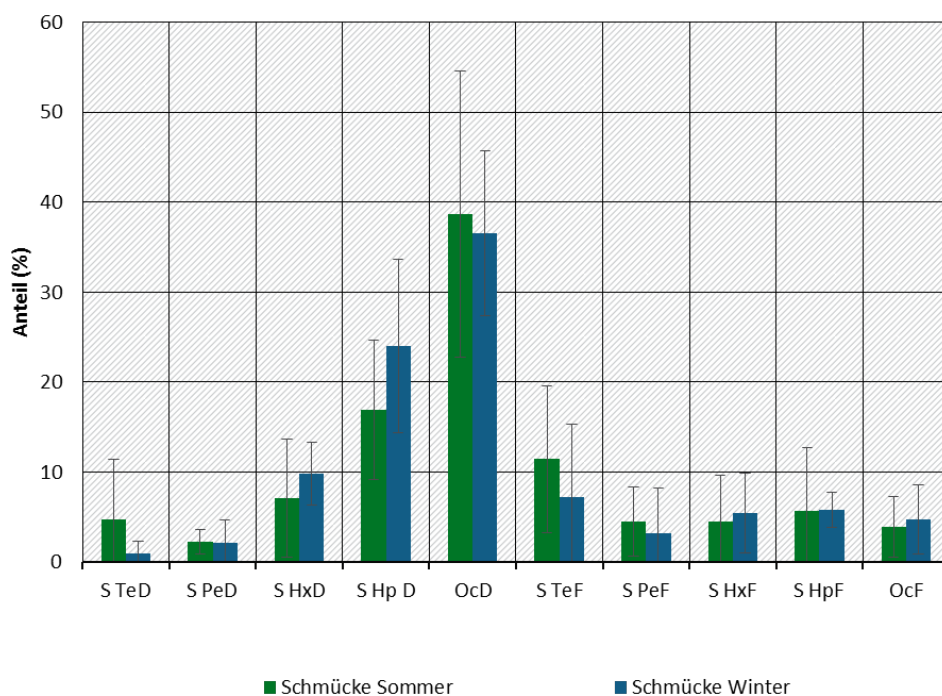
Sommermonate: April bis September; Wintermonate: Oktober bis März. Nur Werte > BG sind berücksichtigt. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 60: PCDD/F-Homologengruppensummen-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Depositionsproben, Messstation Waldhof



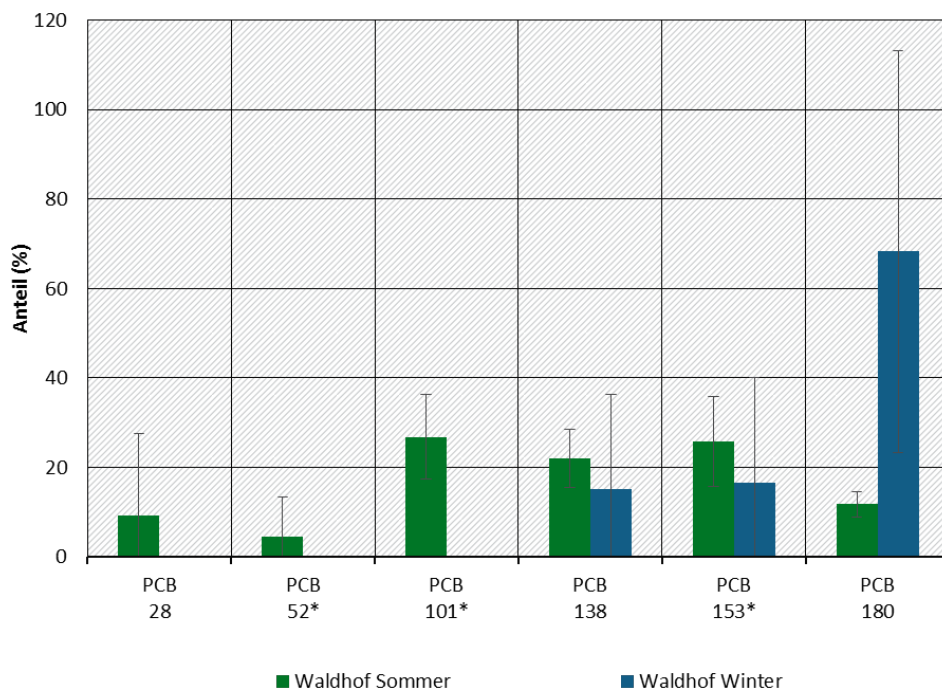
Sommermonate: April bis September; Wintermonate: Oktober bis März. Nur Werte > BG sind berücksichtigt. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 61: PCDD/F-Homologengruppensummen-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Depositionsproben, Messstation Schmücke



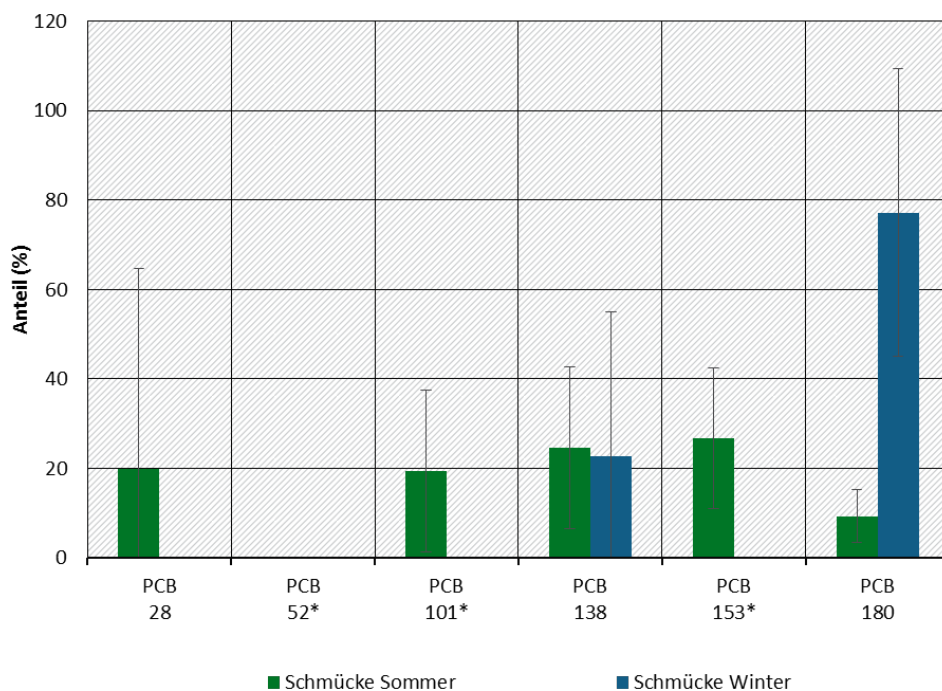
Sommermonate: April bis September; Wintermonate: Oktober bis März. Nur Werte > BG sind berücksichtigt. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 62: i-PCB-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Depositionsproben, Messstation Waldhof



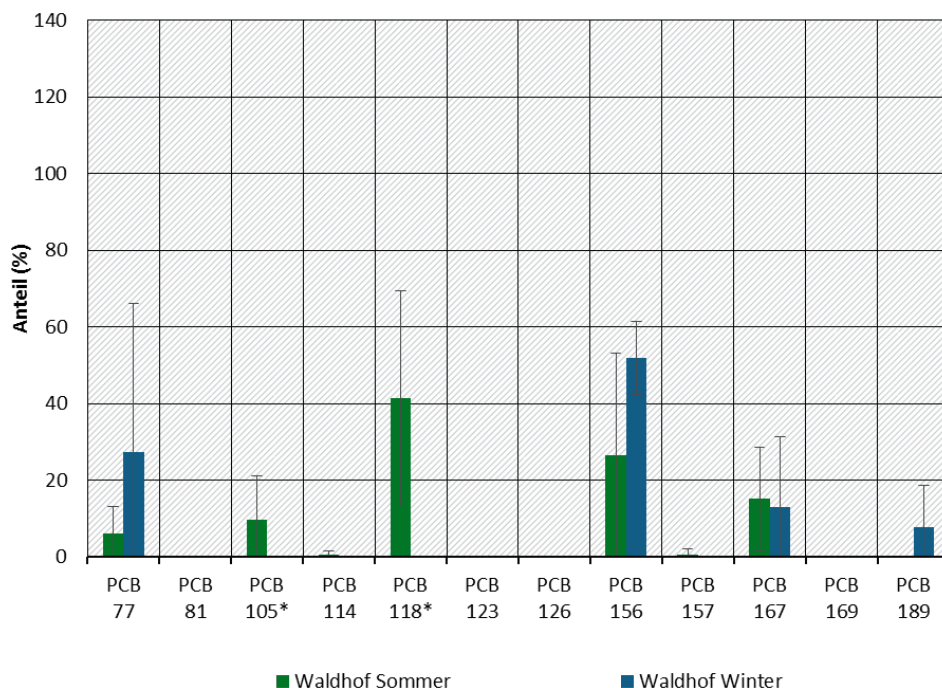
Sommermonate: April bis September; Wintermonate: Oktober bis März. Nur Werte > BG sind berücksichtigt. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 63: i-PCB-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Depositionsproben, Messstation Schmücke



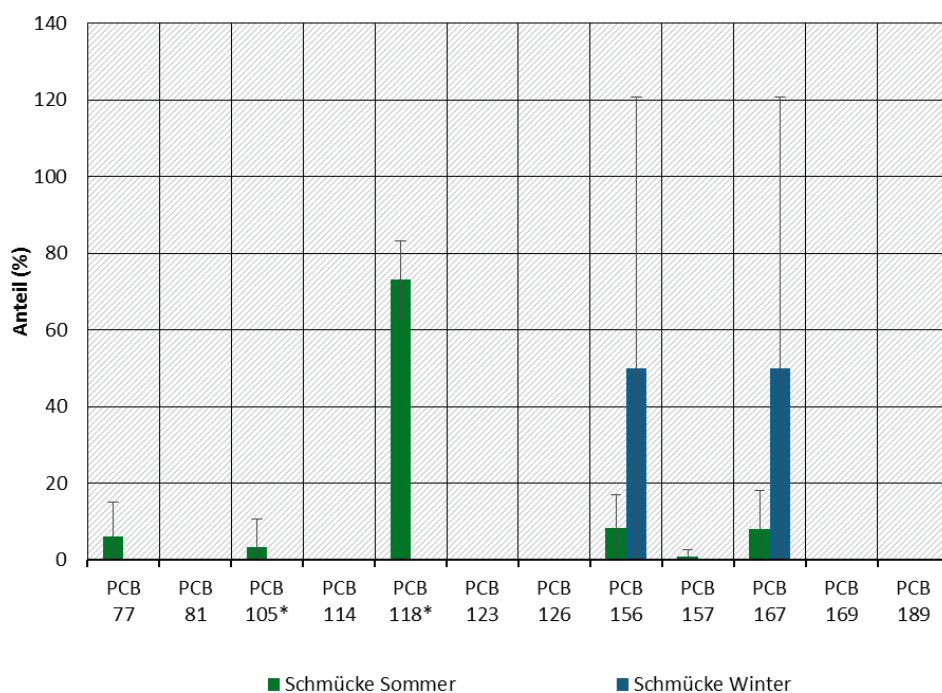
Sommermonate: April bis September; Wintermonate: Oktober bis März. Nur Werte > BG sind berücksichtigt. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 64: dl-PCB-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Depositionsproben, Messstation Waldhof



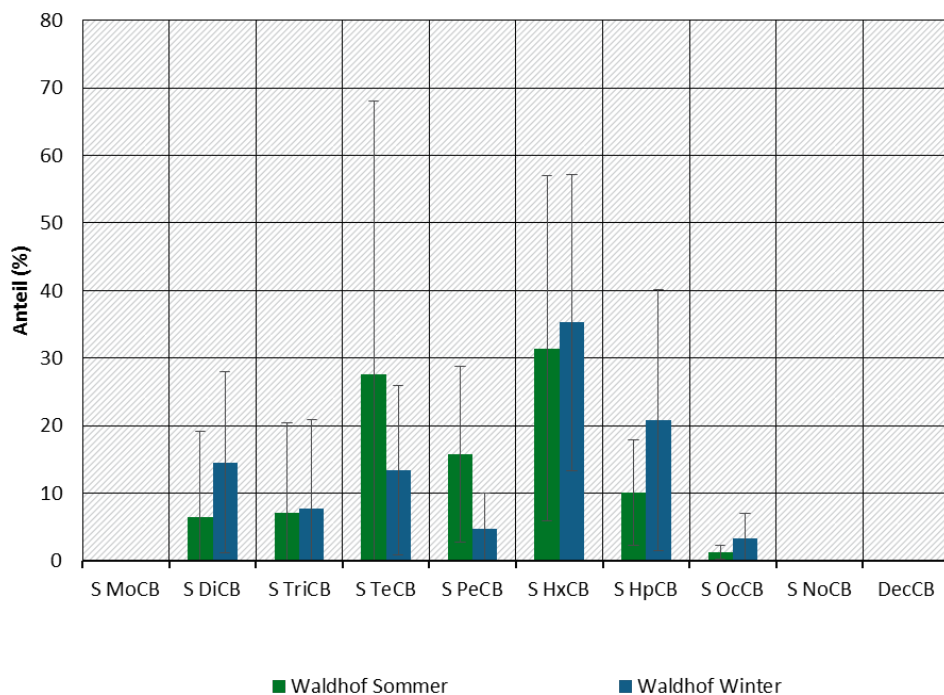
Sommermonate: April bis September; Wintermonate: Oktober bis März. Nur Werte > BG sind berücksichtigt. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 65: dl-PCB-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Depositionsproben, Messstation Schmücke



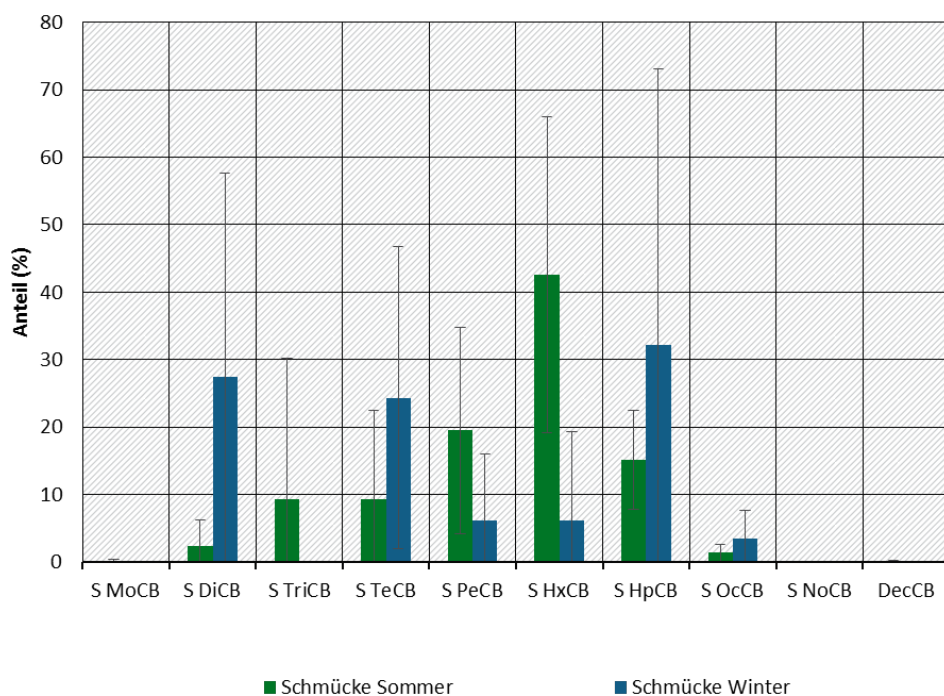
Sommermonate: April bis September; Wintermonate: Oktober bis März. Nur Werte > BG sind berücksichtigt. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 66: PCB-Homologengruppensummen-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Depositionsproben, Messstation Waldhof



Sommermonate: April bis September; Wintermonate: Oktober bis März. Nur Werte > BG sind berücksichtigt. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

Abbildung 67: PCB-Homologengruppensummen-Profile für die Sommer- und Wintermonate (Mittelwerte, Standardabweichungen) Depositionsproben, Messstation Schmücke



Sommermonate: April bis September; Wintermonate: Oktober bis März. Nur Werte > BG sind berücksichtigt. Quelle: eigene Darstellung, Aneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co.

A.9 Kongenerenspezifische PCB-Quellen

Abbildung 68: Chlorierungs-Matrix und Häufigkeitsmuster von PCB-Kongeneren in Aroclor-Gemischen (a) und nicht-Aroclor-Quellen (b)

Cl position	none	2	3	4	23	24	25	26	34	35	234	235	236	245	246	345	2345	2346	2356	23456
23456																				209
2356																		197	201	208
2346																		194	196	206
2345																		189	191	193
345																		155	168	182
246																		153	154	167
245																		136	149	150
236																		133	135	146
235																		128	130	132
234																		107	111	113
35																		80	107	111
34																		77	79	105
26																		54	71	73
25																		52	53	70
24																		47	49	51
23																		40	42	44
4																		15	22	28
3																		11	13	20
2																		4	6	8
none																		1	2	3

% contribution in Aroclors
<0.002
0.002-0.01
0.01-0.1
0.1-1
>1

a)

Cl position	none	2	3	4	23	24	25	26	34	35	234	235	236	245	246	345	2345	2346	2356	23456
23456																				209
2356																		197	201	208
2346																		194	196	206
2345																		189	191	193
345																		155	168	182
246																		153	154	167
245																		136	149	150
236																		133	135	146
235																		128	130	132
234																		107	111	113
35																		80	107	111
34																		77	79	105
26																		54	71	73
25																		52	53	70
24																		47	49	51
23																		40	42	44
4																		15	22	28
3																		11	13	20
2																		4	6	8
none																		1	2	3

Azo pigments	
Naphthol AS pigments	
Phthlocyanine blue pigments	
Phthlocyanine green pigments	
Diketopyrrolopyrrole pigments	
Dioxazine pigments	
Titanium dioxide pigments	

Silicon rubber	
Chlorophenylsilanes	
Asphalt tack & release agent	
Thermoplastic	
PVC pipe	
Firefighting foams	
sulfentrazone	
Solid waste incineration/combustion	

b)

Bezugsquelle: Megson et al. 2018 (Einwilligung zum Abdruck vom 02.06.2020)

Tabelle 65: Potentielle Quellen für bedeutende nicht-i-PCB in der Außenluft

PCB	Quelle
PCB 5	Bestandteil in Aroclormischungen 0,01-0,1 % (Megson et al. 2019) Pigmente (Hu and Hornbuckle 2010, Anezaki et al. 2015, Megson et al. 2019) Thermoplastik (Megson et al. 2019)
PCB 8	Bestandteil in Aroclormischungen >1 % (Megson et al. 2019) Pigmente (Megson et al. 2019, Hu and Hornbuckle 2010) Thermoplastik (Megson et al. 2019)
PCB11	Pigmente (Hu and Hornbuckle 2010, Megson et al. 2019) Thermoplastik (Megson et al. 2019) Konsumprodukte (Papier, Textilien, Verpackung...) (Vorkamp 2016)
PCB 17	Bestandteil in Aroclormischungen >1 % (Megson et al. 2019) Pigmente (Anezaki et al. 2015)
PCB 18	Bestandteil in Aroclormischungen >1 % (Megson et al. 2019) Pigmente (Anezaki et al. 2015, Hu and Hornbuckle 2010)
PCB 20	Bestandteil in Aroclormischungen 0,1-1 % (Megson et al. 2019) Pigmente (Anezaki et al. 2015, Hu and Hornbuckle 2010) Löschschäume (Megson et al. 2019)
PCB 33	Bestandteil in Aroclormischungen >1 % (Megson et al. 2019) Pigmente (Anezaki et al. 2015, Hu and Hornbuckle 2010, Megson et al. 2019) Löschschäume (Megson et al. 2019)
PCB 31	Bestandteil in Aroclormischungen >1 % (Megson et al. 2019) Pigmente (Anezaki et al. 2015, Hu and Hornbuckle 2010) Asphalthaft- bzw. -trennmittel (Megson et al. 2019)
PCB 43	Bestandteil in Aroclormischungen 0,1-1 % (Megson et al. 2019)
PCB 44	Bestandteil in Aroclormischungen >1 % (Megson et al. 2019)
PCB 49	Bestandteil in Aroclormischungen >1 % (Megson et al. 2019)
PCB 47	Bestandteil in Aroclormischungen 0,1-1 % (Megson et al. 2019) Silikonkautschukproduktion (Megson et al. 2019, Herkert et al. 2018) Sulfentrazon (Herbizid) (Megson et al. 2019)
PCB 48	Bestandteil in Aroclormischungen 0,1-1 % (Megson et al. 2019) Pigmente (Anezaki et al. 2015) Sulfentrazon (Herbizid) (Megson et al. 2019)
PCB 65	Bestandteil in Aroclormischungen <0,002 % (Megson et al. 2019)
PCB 75	Bestandteil in Aroclormischungen 0,01-0,1 % (Megson et al. 2019)
PCB 93	Bestandteil in Aroclormischungen 0,002-0,01 % (Megson et al. 2019) Pigmente (Anezaki et al. 2015)
PCB 95	Bestandteil in Aroclormischungen >1 % v Pigmente (Anezaki et al. 2015, Hu and Hornbuckle 2010) Löschschäume (Megson et al. 2019)

PCB	Quelle
PCB 98	Bestandteil in Aroclormischungen <0,002 % (Megson et al. 2019) Pigmente (Anezaki et al. 2015)
PCB 102	Bestandteil in Aroclormischungen 0,01-0,1% (Megson et al. 2019) Pigmente (Anezaki et al. 2015)
PCB 139	Bestandteil in Aroclormischungen 0,01-0,1 % (Megson et al. 2019)
PCB 149	Bestandteil in Aroclormischungen >1 % % (Megson et al. 2019) Pigmente (Anezaki et al. 2015, Hu and Hornbuckle 2010)
PCB 151	Bestandteil in Aroclormischungen 0,1-1 % (Megson et al. 2019)