

VAO-Monitoring 2019–2021

Luft- und Depositionsuntersuchungen auf persistente organische Schadstoffe (POPs) an hochgelegenen alpinen Standorten – Probenahmeperiode Herbst 2019 bis Herbst 2021



VAO-MONITORING 2019–2021

***Luft- und Depositionsuntersuchungen auf
persistente organische Schadstoffe (POPs)
an hochgelegenen alpinen Standorten –
Probenahmeperiode Herbst 2019 bis Herbst 2021***

Wolfgang Moche
Peter Weiss

REPORT
REP-0834

WIEN 2022

Projektleitung Wolfgang Moche

Autoren Wolfgang Moche
Peter Weiss

Lektorat Ira Mollay

Layout Sarah Perfler

Umschlagfoto © Wolfgang Moche

Auftraggeber BMK, Sekt. V, Abt. 5, Dr. Thomas Jakl

Publikationen Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter:
<https://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

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

Diese Publikation erscheint ausschließlich in elektronischer Form auf <https://www.umweltbundesamt.at/>.

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2022

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-99004-662-3

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	4
1 EINLEITUNG	6
2 METHODIK	8
3 ERGEBNISSE	10
3.1 PCDD/F-Luftkonzentrationen	10
3.1.1 Trends und Korrelationen	12
3.2 PCB-Luftkonzentrationen	14
3.2.1 Trends und Korrelationen	15
3.3 PCDD/F-Depositionen	16
3.3.1 Trends und Korrelationen	17
3.4 PCB-Depositionen	19
3.4.1 Trends und Korrelationen	20
3.5 Messstellenvergleiche	21
3.5.1 Verhältnis PCDD/F zu DL-PCB in Immissionsproben	21
3.6 Konzentrationsspitzen	23
3.7 Bedeutung der Deposition	25
4 ERGEBNISTABELLEN	27
5 LITERATURVERZEICHNIS	34

ZUSAMMENFASSUNG

Von 2005 bis 2021 wurden in einem nunmehr 16-jährigen Monitoringprogramm an den drei Alpengipfeln Sonnblick (A), Weißfluhjoch (CH) und Zugspitze (D) die Luftkonzentrationen und Depositionen von persistenten organischen Schadstoffen (POPs) erhoben: Zwischen 2005 und 2007 wurde im Rahmen des internationalen MONITORING-Projekts MONARPOP die Belastung des Alpenraums mit POPs erfasst. Nachfolgend wurden in kleineren Projekten (ermöglicht durch nationale Finanzierungen) in Deutschland, der Schweiz und Österreich die Luft- und Depositionsmessungen an den drei Berggipfeln fortgeführt. Mit Ende 2013 wurde die Probenahme am Weißfluhjoch aus organisatorischen Gründen eingestellt. In den Jahren 2017 bis 2019 wurden die Luft- und Depositionsmessungen im Kooperationsprojekt PureAlps mit dem Landesamt für Umwelt (LfU) in Bayern um Messungen in der terrestrischen und aquatischen Nahrungskette erweitert (PureAlps, 2016–2020, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Umweltbundesamt, Dezember 2020).

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden die Erhebungen zur Luftbelastung und Deposition von POPs an den hochgelegenen Alpenstandorten Sonnblick und Zugspitze von Herbst 2019 bis Herbst 2021 durch nationale Finanzierung weiterhin ermöglicht. Die Probenahmen auf der Zugspitze wurden im Rahmen des Projektes „OPTIMON“ durchgeführt.

Der vorliegende Bericht aktualisiert daher die Ergebnisse der gesamten Zeitreihe für die polychlorierten Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane (PCDD/F) und die polychlorierten Biphenyle (PCB), die jeweils am Umweltbundesamt für alle drei Standorte gemessen wurden, um die Jahre 2019 bis 2021 an den verbliebenen zwei Messstellen. Weitere POPs in den Luft- und Depositionsproben werden von unserem Partner in Deutschland (Bayerisches Landesamt für Umwelt) analysiert.

Die PCDD/F- und PCB-Depositionen in den Jahren 2019 bis 2021 lagen vergleichsweise niedriger als in den Jahren davor. Die aktualisierte Zeitreihe zeigt nun, wenn auch schwache, signifikante Trends einer Abnahme für die PCB-Depositionen an beiden Standorten Sonnblick und Zugspitze und für die PCDD/F-Deposition am Standort Zugspitze.

Die PCDD/F- und PCB-Luftkonzentration lagen in den Jahren 2019 bis 2021 auf der Zugspitze in einem ähnlichen Bereich wie in den Jahren davor, auf dem Hohen Sonnblick nahmen die Konzentrationen der PCDD/F in den letzten Jahren leicht, die der PCB deutlich zu. Die aktualisierte Zeitreihe zeigt nun, wenn auch schwache, signifikante Trends einer Abnahme für die PCDD/F-Luftkonzentrationen an beiden Standorten Sonnblick und Zugspitze. Für die PCB-Luftkonzentrationen ergab die statistische Auswertung eine signifikante Zunahme auf dem Hohen Sonnblick, für den Standort Zugspitze ergaben sich keine signifikanten Trends.

Somit bewirkt die Erweiterung der Datenreihe um die aktuellen Daten für 2020 und 2021 eine Änderung in den Aussagen der statistischen Auswertung im Vergleich zum letzten diesbezüglichen Bericht (Umweltbundesamt, 2015, PureAlps, 2016–2020, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Umweltbundesamt, Dezember 2020).

Die PCDD/F- und PCB-Luftkonzentrationen an den drei untersuchten Alpengipfeln sind um ein bis zwei Größenordnungen geringer als in emittentennahen Gebieten und entsprechen jenen aus anderen entlegenen Regionen (z. B. arktischen Gebieten). Im Unterschied zu den Luftkonzentrationen werden bei den PCDD/F- und PCB-Depositionen an den drei Alpengipfeln jedoch Konzentrationen in ähnlicher Größenordnung wie an quellnahen Standorten gemessen. Die Schadstoffdeposition gilt als Indikator für den Eintrag von Schadstoffen in die Landschaft (Pflanzen, Boden). Somit sind die Messergebnisse für die Depositionen der PCDD/F und PCB ein eindrucksvoller Beweis für die Belastung entlegener alpiner Standorte mit diesen Schadstoffen. Die Unterschiede in der Indikation zwischen den Luftkonzentrationen und der Deposition dieser Schadstoffe zeigen auch deutlich, dass die Deposition für die Beurteilung des Schadstoffeintrags in die Landschaft deutlich besser geeignet ist als eine Bewertung anhand der Luftkonzentration alleine. Die Wirksamkeitskontrolle der UN-Stockholmer Konvention zu persistenten organischen Verbindungen sieht bezüglich der Luftbelastung aber derzeit nur die Messung der Luftkonzentrationen vor.

Durch die stetige Abnahme der PCDD/F-¹TEQ-Konzentrationen und die stagnierenden beziehungsweise zunehmenden PCB-TEQ-Trends ist die Toxizitätsbelastung der Luft durch PCB mittlerweile vergleichbar mit jener durch PCDD/F. Bei der Deposition ist jedoch die Toxizitätsbelastung durch PCDD/F etwa eine Größenordnung höher als bei den PCB.

¹ TEQ – Toxisches Äquivalent

1 EINLEITUNG

Beschreibung und Definition

Persistente organische Schadstoffe (englisch Persistent Organic Pollutants, POPs) sind chemische Substanzen, die nach ihrer Freisetzung lange in der Umwelt verbleiben, schwer abbaubar sind, sich über Nahrungsketten anreichern, insbesondere im Fettgewebe, und so schließlich Konzentrationen erreichen, welche schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt haben können. POPs haben darüber hinaus das Potenzial zum weiträumigen Transport und können sich so über Luft- und Meeresströmungen weltweit verbreiten. Somit stellen sie nicht nur lokale oder regionale Risiken für die Umwelt und die menschliche Gesundheit in industrialisierten und besiedelten Gebieten dar, sondern belasten auch emissionsferne Regionen der Erde. Hierzu zählen vor allem arktische Regionen und Gebirge, in die POPs durch Luftströmungen eingetragen werden können und sich durch Kondensation ablagern.

Stockholmer Übereinkommen

Am 17. Mai 2004 trat das Stockholmer Übereinkommen über Persistente Organische Schadstoffe in Kraft. 184 Staaten haben das Abkommen ratifiziert und sich damit zur Einhaltung der dort getroffenen Regelungen verpflichtet. Dazu gehört die Verpflichtung, einen Plan für die Erfüllung ihrer Verpflichtungen aus diesem Übereinkommen zu erarbeiten, diesen regelmäßig zu aktualisieren und zu implementieren. (<https://www.bmu.de/themen/gesundheit-chemikalien/chemikalien/pops>).

Zur Evaluierung der Maßnahmen, die im Rahmen des Stockholmer Übereinkommens beschlossen wurden, wurde der Global Monitoring Plan entworfen, aus dem sich eine gewisse Verpflichtung zu Monitoring-Programmen ergibt.

MONARPOP, Bedeutung für die Alpen

Das Projekt MONARPOP wurde 2005 als eine Initiative von Institutionen der Alpenanrainerstaaten Deutschland, Italien, Österreich, Schweiz und Slowenien gestartet. Es sollte den Eintrag und die Belastung der Alpen mit persistenten organischen Schadstoffen (POPs) prüfen (siehe <http://www.monarpop.at/>). Speziell für die Alpen ist das frühzeitige Erkennen problematischer Stoffeinträge wichtig, da hier einzigartige Ökosysteme mit einer großen Artenvielfalt vorkommen und Futter- und Lebensmittel in hoher Qualität erzeugt werden. Auch für die überregionale Versorgung mit qualitativ hochwertigem Trinkwasser ist die Minimierung des Schadstoffeintrages in die Alpen Voraussetzung. In einem großflächigen regionalen alpinen Untersuchungsprogramm wurde die räumliche Belastungsverteilung der POPs in regionaler und vertikaler Auflösung erfasst (Offenthaler et al., 2008, Weiss et al., 2009). Nach Abschluss dieser ersten Projektphase 2007 wurden die Luft- und Depositionsmessungen an den drei Alpengipfeln Sonnblick (A), Weißfluhjoch (CH) und Zugspitze (D) auf Basis nationaler Beauftragungen in Deutschland, Österreich und der Schweiz konsistent weitergeführt. Mit Ende 2013 wurde die Probenahme auf dem Weißfluhjoch eingestellt, die Messungen an Sonnblick und Zugspitze weiterhin ermöglicht. Ende 2015 wurde auch die Projektserie MONARPOP beendet, alle vorliegenden Ergebnisse in einem Bericht (Umweltbundesamt, 2015) zusammengefasst.

Mit der Beauftragung der Messungen 2015 wurde das Untersuchungsdesign des ursprünglichen MONARPOP-Projekts geändert und im reduzierten Umfang

seit November 2015 an der Zugspitze und am Sonnblick weitergeführt (siehe dazu das nachfolgende Kapitel Methodik).

**PureAlps –
Schwerpunkte**

Von 2017 bis 2019 wurde mit dem Projekt PureAlps der Untersuchungsumfang erweitert. Neben der Weiterführung der Luft- und Depositionsmessungen lag der Schwerpunkt von PureAlps auf der Erfassung des Zusammenhanges aus Eintrag und Anreicherung der POP sowie Quecksilber (Hg) in der Nahrungskette. Zu diesem Zweck wurde ein breites Spektrum an Tierproben auf verschiedene POP-Gehalte und Hg untersucht. Dazu zählten wasserlebende Insektenlarven (nur Hg), Fische, Muskelfleisch und Leber von Gämsen sowie Murmeltieren, Honigbienen und Eier von Haubentauchern sowie Stein- und Seeadlern (Abschlussbericht „PureAlps 2016–2020“, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Umweltbundesamt, Dezember 2020, Broschüre PureAlps 2016–2020 „Schadstoffe in den Alpen Wirkungen auf ein sensibles Ökosystem“ Bayerisches Landesamt für Umwelt, Umweltbundesamt, 2022).

Mit dem Abschluss dieser Messperiode liegen für die beiden Standorte Sonnblick und Zugspitze Zeitreihen von 2005 bis 2021 bzw. für den Standort Weißfluhjoch bis 2013 für Luft- und Depositionsergebnisse persistenter organischer Schadstoffe vor. Das Umweltbundesamt untersuchte die PCDD/F und PCB in diesen Proben. Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAH), Organochlorpestizide (OCP) und Polybromierte Diphenylether (PBDE) wurden in Bayern (Helmholtz-Zentrum München, Bayerische Landesanstalt für Umweltschutz) analysiert (Kirchner et al., 2011, 2015, Jakobi et al., 2014, LFU, 2014).

Die Ergebnisse des Projektes dienen der Wirksamkeitskontrolle der UN-Stockholm-Konvention zu Persistenten Organischen Schadstoffen und finden Eingang in den zugehörigen „Global Monitoring Report“ zu dieser Konvention (UNEP, 2009, 2015).

Der gegenständliche Bericht ergänzt die Ergebnisse der Luft- und Depositionsmessungen auf PCDD/F und PCB um die aktuellen Daten der Messperiode 2019–2021 für die Standorte Sonnblick und Zugspitze.

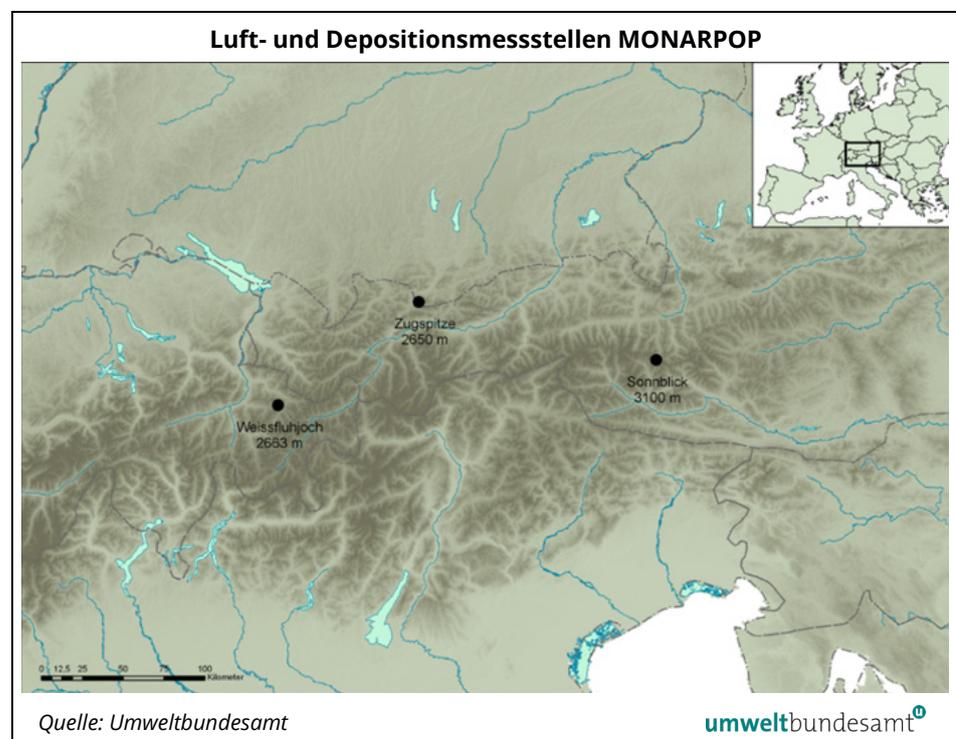
2 METHODIK

Änderungen ab 2016

Die Methoden der erstmals im Rahmen des Projektes entwickelten Probenahme von Luft und Deposition sowie der chemischen Analytik entsprechen jenen der Projektphase bis 2007 und sind in der Literatur im Detail beschrieben (Offenthaler et al., 2008). Sie werden daher im vorliegenden Bericht nur überblicksmäßig dargestellt, bzw. werden nur die ab dem Jahr 2016 eingeführten Änderungen beschrieben.

An den drei Alpengipfeln Sonnblick (A), Weißfluhjoch (CH) und Zugspitze (D) wurden aktiv mit High-Vol-Sammlern Luftproben und mit Depo-Sammlern Depositionsproben geworben (siehe Abbildung 1). Mit Oktober 2013 wurde die Probenahme am Weißfluhjoch eingestellt.

Abbildung 1:
Luft- und Depositions-
messstellen MONARPOP



Periode MONARPOP (2005) bis November 2010

Trajektorien- Vorhersagen

Von Beginn des Projektes MONARPOP im Jahr 2005 an erfolgte die Probenahme kontinuierlich und alle drei bis vier Monate wurden die Filter der Luft- und Depositionssammler gewechselt, aufbereitet und analysiert. Die Luft wurde getrennt auf vier Filtern beprobt, wobei jeder Filter durch Vorauswahl auf Basis von Trajektorien-Vorhersagen eine unterschiedliche Herkunftsregion der an den Gipfeln ankommenden Luftmassen repräsentierte.

Halbjahresergebnisse

Periode November 2010 bis November 2015

Ab November 2010 wurden die Filter alle drei bis vier Monate gewechselt, die Extrakte der Filter aus den zweiten und dritten Quartalen eines Jahres bzw. dem vierten Quartal eines Jahres mit dem ersten Quartal des darauffolgenden Jahres vereinigt und analysiert, wodurch für jedes der Quellgebiete für jedes Jahr ein Ergebnis für das Sommerhalbjahr und ein Ergebnis für das Winterhalbjahr vorliegen. Die Luftprobenahme erfolgte weiterhin getrennt auf vier Filtern, wobei jeder Filter eine unterschiedliche Herkunftsregion der an den Gipfeln ankommenden Luftmassen repräsentierte.

Änderung bei Filterwechsel

Periode ab November 2015

Seit dem Filterwechsel im November 2015 wird die Luftprobenahme kontinuierlich mit nur einem Filter unabhängig von der Herkunft der Luftmassen durchgeführt. Aufgrund dieser Änderung war es nun möglich, die Beprobung der Filter automatisch nach Datum zu steuern und damit unabhängig vom Besuch eines Betreuers zu wechseln. Die Filter wurden bis September 2016 am Sonnblick monatlich zum Monatsersten gewechselt, ab Oktober 2016 wurden die Filter jeweils zum 1.10., 15.11., 1.1., 15.2., 1.4., 15.5., 1.7., und 15.8. gewechselt, wobei die Filter am Probennehmer installiert blieben, die Beprobung automatisch von einer Filterkartusche auf die nächste umgeschaltet wurde. Der tatsächliche Austausch der Filterkartuschen erfolgte alle drei bis vier Monate, gemeinsam mit den Depositionssammlern. Auf der Zugspitze wurden die Probenahmeperioden weiterhin zum Besuchstermin des Betreuers alle drei bis vier Monate beendet bzw. die Filterköpfe ausgetauscht, ein eventueller Wechsel dazwischen erfolgte automatisch. Die Analyse der Luft- und Depositionsproben erfolgte nach dem in Periode November 2010 bis November 2015 beschriebenen Schema.

3 ERGEBNISSE

Summengehalte und gewichtete Mittel

Im nachfolgenden Ergebnisteil werden, zwecks besserer Übersichtlichkeit, in erster Linie Summengehalte der PCDD/F und PCB angegeben. Für die Darstellung von Trends, Jahresgehalten und Gehalten der Messperioden wurden zudem aus den vorhandenen Einzelergebnissen je Windmassenherkunft gewichtete Mittel gerechnet, entsprechend den zeitlichen Anteilen der Einzelwerte an der betrachteten Periode.

3.1 PCDD/F-Luftkonzentrationen

Vergleich der Standorte

Die Ergebnisse der Messperiode 2019 bis 2021 unterscheiden sich sowohl am Sonnblick als auch auf der Zugspitze nicht maßgeblich von den Perioden 2017 und 2018 (Tabelle 1, Tabelle 10 und Tabelle 11). Am Sonnblick sind die Werte in absoluten Konzentrationen seit 2017 wieder auf dem Niveau von 2006 bis 2011, während sie zwischenzeitlich auf einem niedrigeren Niveau ähnlich wie auf der Zugspitze lagen. Auf der Zugspitze sind die Konzentrationen seit 2014 ähnlich niedrig wie am Sonnblick von 2013 bis 2016. Berechnet als Toxisches Äquivalent nach WHO (TEQ, Van den Berg et al., 2006) zeigt sich ein ähnliches Bild, wenngleich nicht so eindeutig wie in absoluten Konzentrationen, was vermutlich an den unterschiedlichen Kongenerenmustern der Proben in Abhängigkeit vom Konzentrationsniveau liegt (Tabelle 1, Tabelle 10 und Tabelle 11).

Die folgenden 3 Anmerkungen gelten für die Ergebnistabellen auf den folgenden Seiten:

1. An einzelnen Standorten kann es in einzelnen Perioden leichte Abweichungen von den in der Tabelle angegebenen Periodenzeiträumen geben.
2. Ab Dezember 2015 wurde keine luftmassenherkunftsabhängige Probenahme mehr durchgeführt, daher existieren hier keine Werte zu den einzelnen Quellgebieten. Diese Felder sind grau hinterlegt. Der in der Spalte „m“ eingetragene Wert ist kein berechneter, gewichteter Mittelwert, sondern die für die Periode gemessene Luftkonzentration.
3. Ursachen für fehlende Werte können sein:
 - a. keine Messung, etwa aufgrund von beeinträchtigenden Arbeiten am Standort (z. B. Renovierungsarbeiten am Weißfluhjoch);
 - b. Sammlerausfall aufgrund von Störungen;
 - c. Ausfall der Probe aufgrund von Schäden bei Probennahme, Transport oder Probenaufbereitung;
 - d. geringe oder gar keine Sammelzeiten bzw. -volumina aufgrund selten oder nicht auftretender Herkunft der Luftmassen in der Messperiode und Verwerfen nicht plausibler Werte.

Tabelle 1:
Jahresmittelwerte der
PCDD/F-Luft-
konzentrationen an den
einzelnen Standorten

PCDD/F-Luftkonzentrationen (JMW)						
Jahr	Sonnblick		Weißfluhjoch		Zugspitze	
	² fg/Nm ³	fg TEQ/Nm ³	fg/Nm ³	fg TEQ/Nm ³	fg/Nm ³	fg TEQ/Nm ³
2006	70	1,31	52	0,81	69	1,21
2007	78	1,06	86	1,58	174	2,65
2008	64	0,88			74	1,21
2009	78	1,19	27	0,37	54	0,65
2010	64	0,39	21	0,19	30	0,10
2011	72	1,08	42	0,50	59	0,55
2012	114	2,90	78	1,26	65	1,53
2013	43	0,53			60	0,58
2014	32	0,17			43	0,40
2015	39	0,47			43	0,80
2016	32	0,32			29	0,47
2017	65	0,58			34	0,40
2018	68	0,49			42	0,29
2019	70	0,45			35	0,24
2020	95	0,93			31	0,30
2021	73	0,61			41	0,40

Vergleich mit anderen Regionen

Die PCDD/F-Luftkonzentrationen an den drei hochalpinen Standorten entsprechen mit einem Jahresmittelwert von maximal 2,9 fg ³WHO-⁴TEQ/m³ etwa dem Konzentrationsbereich von anderen entlegenen Gebieten und sind erwartungsgemäß um eine bis zwei Größenordnungen geringer als jene in Ballungsgebieten oder nahe Emittenten. Dies zeigen Vergleiche mit Ergebnissen aus anderen Studien (vgl. nachfolgende Ergebnisse mit Tabelle 1, Tabelle 10 und Tabelle 11). In verschiedenen Stadtregionen Österreichs schwankten die Jahresmittelwerte zwischen 36 ⁵fg I-TEQ/m³ und 237 fg I-TEQ/m³, an einem abgelegenen Standort (Zöbelboden) des österreichischen Nationalparks "Kalkalpen" betrug das Dreijahresmittel von 1997 bis 1999 2,7 fg I-TEQ/m³ für die Sommerzeit und 4,4 fg I-TEQ/m³ für die Winterzeit (Moche und Tanner, 2003). Vor einem städtischen Hintergrund und an einem ländlichen Standort in Bayern lagen die Mediane der PCDD/F-Konzentrationen in den Jahren 2002–2004 im Sommer bei 6,7 und 9,0 fg WHO-TEQ/m³ und im Winter bei 33 und 35 fg WHO-TEQ/m³ (LFU, 2006). In Nordrhein-Westfalen lagen die PCDD/F Luftkonzentrationen für den Zeitraum von 2017 bis 2020 im Bereich von 7,3 bis 29 fg/Nm³ (Jahresberichte 2017 bis 2020; Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV)).

² fg/Nm³ Femtogramm / Normkubikmeter

³ WHO World Health Organisation

⁴ TEQ Toxisches Äquivalent

⁵ I-TEQ Internationale Toxizitätsäquivalenzfaktoren, wurden vor Einführung der WHO-TEQ verwendet.

3.1.1 Trends und Korrelationen

Trendänderung durch verlängerte Messperiode

Von Beginn der Messungen (2005) bis zur Erhebungsperiode 2010 wurde an zwei Standorten (Weißfluhjoch, Zugspitze) ein signifikanter Trend der Abnahme der PCDD/F-Luftkonzentrationen festgestellt.

In den nachfolgenden Messjahren wurden jedoch wiederum etwas höhere Gehalte für einzelne Perioden nachgewiesen, sodass es zwischenzeitlich keine signifikante Tendenz zur Abnahme der PCDD/F-Luftkonzentrationen gab.

Mit der Verlängerung der Messreihe durch die Daten dieses Berichts ergab die statistische Auswertung nun wieder signifikante Trends, Abnahmen aber auch Zunahmen für einige Kongenere und Summenparameter. Die Trends für die einzelnen Kongenere und Parameter sind in Tabelle 2 angeführt. Die PCDD/F-Luftkonzentrationen sind für die einzelnen Messperioden in Abbildung 2 und Abbildung 3 dargestellt.

Tabelle 2:
Signifikante Trends der PCDD/F-Luftkonzentrationen für die verschiedenen Kongenere und Summenparameter.

Signifikante Abnahmen	
Sonnblick	Zugspitze
123478- HxCDD, 123678-HxCDD, 123789-HxCDD, OCDD , Summe HxCDD, 123478-HxCDF, 123678-HxCDF, 234678-HxCDF, 1234678-HpCDF, Summe HpCDF	123678-HxCDD, OCDD , Summe PeCDD, Summe HxCDD , 2378-TCDF, 23478-PeCDF , 123478-HxCDF, 123678-HxCDF, 234678-HxCDF, 1234678-HpCDF , 1234789-HpCDF, Summe PeCDF, Summe HxCDF, Summe HpCDF, Summe PCDD, Summe PCDF, Summe PCDD/PCDF, Summe 2378-Isomere, PCDD/F TEQ (ITEF), PCDD/F TEQ (WHO-98)
Signifikante Zunahmen	
1234678-HpCDD , TCDD, HpCDD, TCDF	2374-TCDD , 12378-PeCDD, 1234678-HpCDD

*fett gedruckt: signifikant nach Pearson und Spearman,
nicht fett gedruckt: signifikant nur nach einem der beiden Test*

Abbildung 2:
Zeitreihe der PCDD/F-
Luftkonzentrationen an
den drei Standorten. Auf
der x-Achse sind die Pro-
benahmezeiträume mit
Beginn und Ende bzw.
nur dem Ende aufgetra-
gen. In diesem Falle ist
der Beginn das Ende der
Vorperiode.

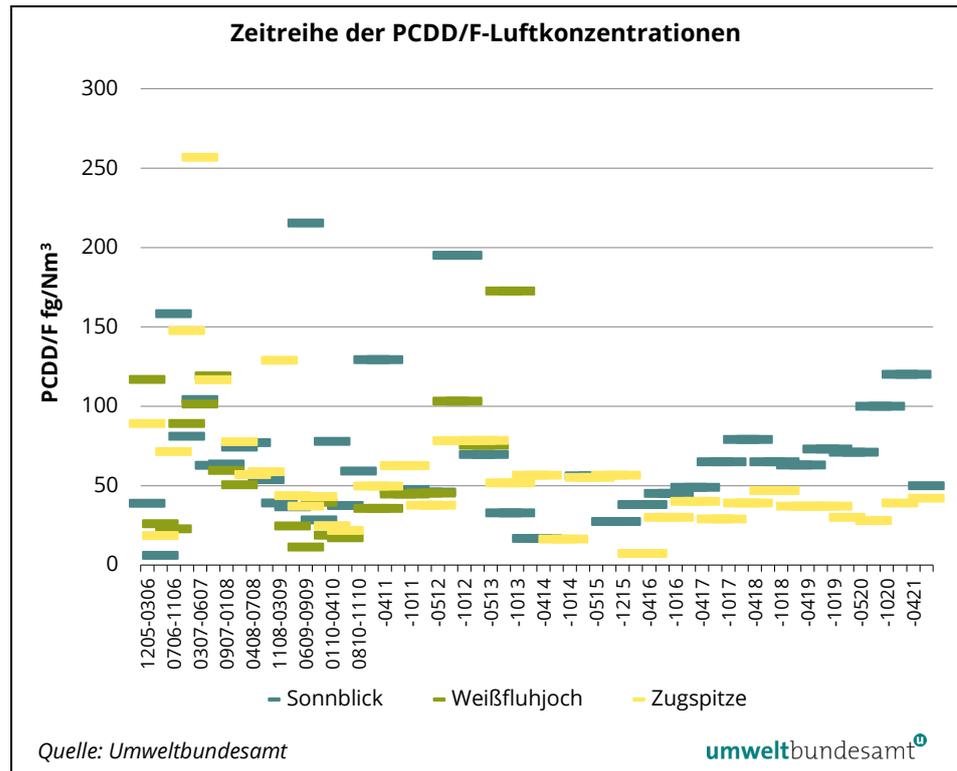
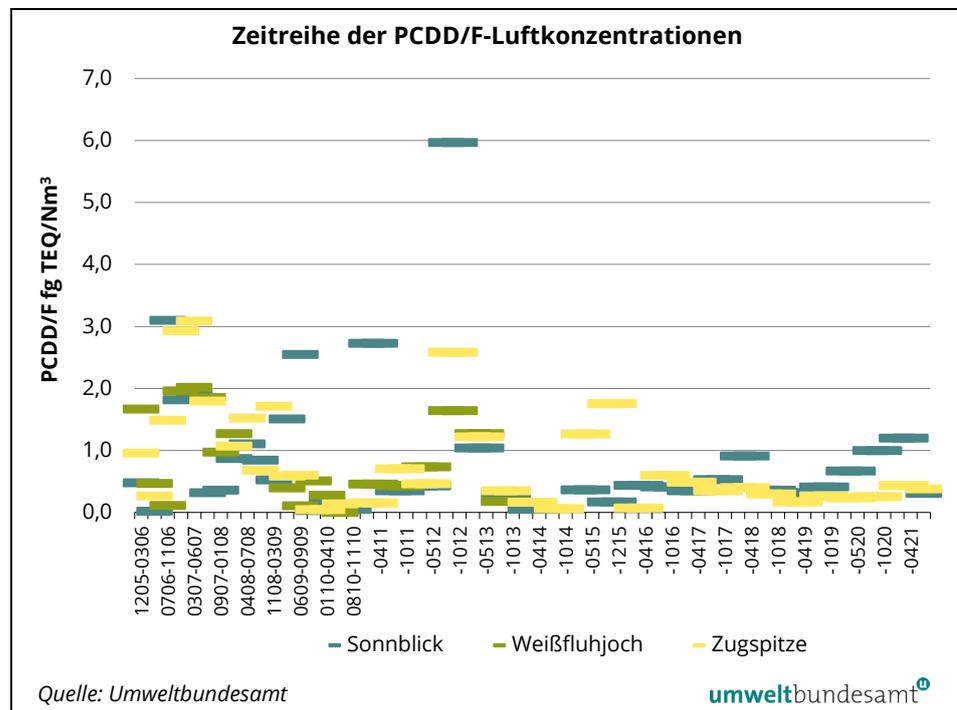


Abbildung 3:
Zeitreihe der PCDD/F-
Luftkonzentrationen in
TEQ an den drei Stand-
orten. Erklärung der x-
Achse siehe Abbildung 2.



3.2 PCB-Luftkonzentrationen

große Unterschiede an den Standorten

Die PCB-Luftkonzentrationen der Messperiode 2019–2021 unterscheiden sich auf der Zugspitze mit der Ausnahme des Jahres 2016 nicht von jenen der Perioden davor. Die Luftkonzentrationen bewegen sich seit 2011 in einem ähnlichen Bereich, mit der Ausnahme von 2016 mit einem deutlich niedrigeren Jahresmittelwert. Am Hohen Sonnblick hingegen steigen die PCB-Luftkonzentrationen seit 2017 kontinuierlich an und erreichen 2020 und 2021 die höchsten Werte seit Beginn der Messserie im Jahr 2005. Die Werte liegen damit auch deutlich höher als auf der Zugspitze. Die Ursachen dafür sind nicht bekannt. Die PCB-Luftkonzentrationen waren im Verlauf der gesamten Zeitreihe auf der Zugspitze signifikant höher als am Hohen Sonnblick, seit 2017 hat sich dies jedoch umgekehrt – mittlerweile werden am Hohen Sonnblick die höheren Gehalte gemessen (Tabelle 3, Tabelle 12 und Tabelle 13).

Stellenwert der Luftbelastung wie Dioxin

Durch die stetige Abnahme der PCDD/F-TEQ-Konzentrationen, vor allem von Projektbeginn bis 2013, und die stagnierenden beziehungsweise zunehmenden PCB-TEQ-Trends sind die PCB-TEQ-Luftkonzentrationen mittlerweile vergleichbar mit den PCDD/F-TEQ-Luftkonzentrationen (vgl. Tabelle 1 mit Tabelle 3). Somit hat die PCB-Belastung der Luft in Bezug auf dioxinähnliche Toxizität mittlerweile einen vergleichbaren Stellenwert wie die Dioxin-Luftbelastung. Ähnlich wie bei den PCDD/F sind die PCB-Luftkonzentrationen an den drei hochalpinen Messstellen erwartungsgemäß um eine Größenordnung geringer als in Ballungsräumen (LFU, 2006, Umweltbundesamt, 2003, LANUV, 2017–2020) und auf ähnlichem Niveau wie an arktischen Messstellen beziehungsweise in entlegenen Gebieten der USA (Monitoringprogramme AMAP und NDAMN, UNEP, 2009).

*Tabelle 3:
Jahresmittelwerte der
PCB-Luftkonzentrationen
(Summe der sechs „Indikator-PCB“) an den einzelnen Standorten.*

Jahr	PCB-Luftkonzentrationen (JMW)		
	Sonnblick	Weißfluhjoch	Zugspitze
	pg/Nm ³	pg/Nm ³	pg/Nm ³
2006	7,1	13,5	11,2
2007	8,8	11,9	11,2
2008	6,0		5,6
2009	3,2	4,1	4,9
2010	4,5	5,4	5,3
2011	7,1	15,8	16,2
2012	13,2	10,0	11,5
2013	5,2		12,4
2014	6,6		20,4
2015	7,1		18,6
2016	4,0		4,8
2017	14,1		10,0
2018	20,3		13,7
2019	21,9		13,6
2020	37,4		10,9
2021	38,2		9,0

3.2.1 Trends und Korrelationen

kein abnehmender Trend

Im Unterschied zu den Dioxinen nehmen die PCB-Luftkonzentrationen nicht ab, sondern am Hohen Sonnblick sogar signifikant zu und bleiben für die PCB-Summenparameter ohne signifikantem Trend auf der Zugspitze. Der Grund dafür könnte im nicht optimalen Management von PCB-haltigen Abfällen in vielen Ländern liegen (Melymuk et al., 2022). Die emissionsmindernden Maßnahmen bei den PCDD/F hingegen zeigen Wirkung und führen zu sinkenden Luftkonzentrationen. Die Trends für die einzelnen Kongenere und Parameter sind in Tabelle 4 angeführt. Die PCB-Luftkonzentrationen sind für die einzelnen Messperioden in Abbildung 4, Abbildung 5 und Abbildung 2 dargestellt.

Tabelle 4:
Signifikante Trends der PCB-Luftkonzentrationen für die verschiedenen Kongenere und Summenparameter.

Signifikante Abnahmen	
Sonnblick	Zugspitze
keine	PCB180, PCB156, PCB157, PCB167, PCB189
Signifikante Zunahmen	
PCB77, PCB81, PCB126, PCB169, PCB105, PCB114, PCB118, PCB TEQ (WHO 98), PCB28, PCB52, PCB101, PCB138, PCB153, PCB (Σ Ballschmitter)	PCB77, PCB169

fett gedruckt: signifikant nach Pearson und Spearman, nicht fett gedruckt: signifikant nur nach einem der beiden Tests

Abbildung 4:
Zeitreihe der PCB-Luftkonzentrationen (Summe sechs Indikator-PCB) an den drei Standorten (ohne Sonnblick-Ausreißer in Periode 1020–0421). Erklärung der x-Achse siehe Abbildung 2.

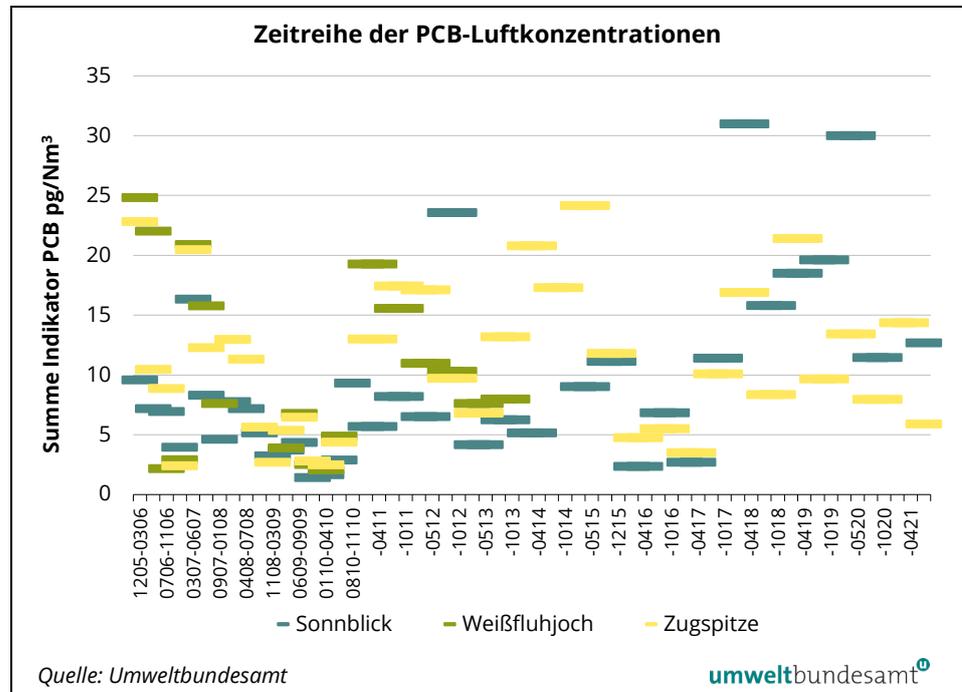
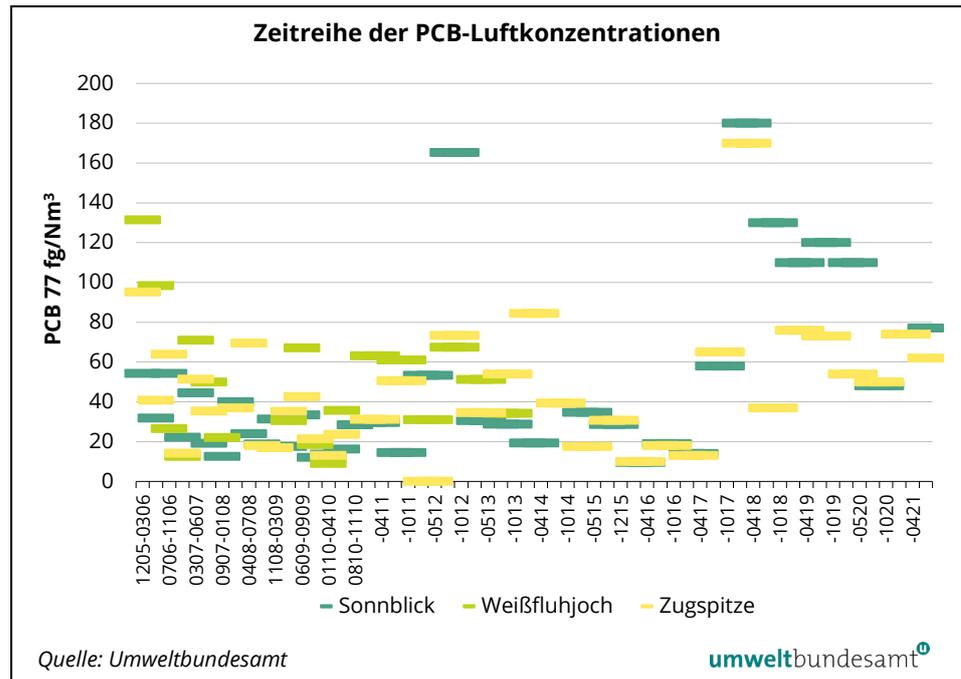


Abbildung 5:
Zeitreihe der PCB 77-
Luftkonzentrationen an
den drei Standorten
(ohne Sonnblick-Ausrei-
ßer in Periode 1020–
0421). Erklärung der x-
Achse siehe Abbildung 2.



3.3 PCDD/F-Depositionen

Vergleich verschiedener Standorte

Die letzten beiden Messperioden zeigen bei den PCDD/F-Depositionen sowohl am Hohen Sonnblick als auch auf der Zugspitze niedrigere Werte als in den Messperioden davor. Die PCDD/F-Depositionen sind am Hohen Sonnblick weiterhin signifikant höher als auf der Zugspitze (Tabelle 5, Tabelle 14).

Daten aus den Jahren 2017 bis 2020 aus Nordrhein-Westfalen geben 1,3 bis 20 pg TEQ/m².d als urbane PCDD/F-Hintergrunddeposition an (Jahresberichte 2017 – 2020; LANUV, Nordrhein-Westfalen). Von drei bayerischen Standorten (einer: urbaner Hintergrund, zwei: ländliche Gebiete) werden für die Jahre 2002 und 2003 PCDD/F-Depositionsmediane zwischen 1,7 und 5,2 pg TEQ/m².d berichtet (LFU, 2006). Aus urbanen Gebieten Sachsen-Anhalts werden PCDD/F-Jahresdepositionsmittelwerte 2017 bis 2020 im Bereich von etwa 0,2–2,7 pg TEQ/m².d angegeben (Jahresberichte 2017 – 2020; Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt).

Die PCDD/F-Einträge am Sonnblick und an der Zugspitze liegen in vergleichbarer Größenordnung wie die Einträge an diesen urbanen Standorten. Die PCDD/F-Einträge am Weißfluhjoch sind deutlich geringer (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5:
Jahresmittelwerte der
PCDD/F-Depositionen an
den einzelnen
Standorten.

Jahr	PCDD/F-Deposition (JMW)					
	Sonnblick		Weißfluhjoch		Zugspitze	
	pg/m ² .d	pg TEQ/m ² .d	pg/m ² .d	pg TEQ/m ² .d	pg/m ² .d	pg TEQ/m ² .d
2006	859	5,38	41	0,31	179	1,94
2007	1 061	6,32	42	0,33	248	3,55
2008	1 251	4,68	32	0,50	236	2,97
2009	146	1,56			66	0,31
2010	122	1,21	25	0,06	54	0,02
2011	218	1,37	53	0,22	35	0,21
2012	263	1,78	41	0,31	47	0,61
2013	379	5,86			32	0,30
2014	913	15,97			109	1,43
2015	901	4,47			73	0,81
2016	147	2,14			76	0,66
2017	511	2,57			76	0,86
2018	740	2,67			74	0,67
2019	370	6,20			71	0,63
2020	139	1,30			48	0,57
2021	126	1,56			49	0,60

3.3.1 Trends und Korrelationen

Die statistische Auswertung über alle Perioden ergab für den Hohen Sonnblick keinen signifikanten Trend einer Abnahme des PCDD/F Eintrags, für die Zugspitze jedoch schon und zwar für fast alle analysierten PCDD/F (Tabelle 6, Abbildung 6 und Abbildung 7).

Deposition an Standorten

Die Standorte Sonnblick und Zugspitze korrelieren über alle Perioden signifikant positiv hinsichtlich der Depositionen von PCDD/F, es gibt somit ähnliche zeitliche Trends der Schadstoffdeposition an beiden Standorten. Zwischenzeitlich war eine Entkoppelung der PCDD/F-Deposition an diesen beiden Standorten zu beobachten, die insbesondere auf die auffällig höheren PCDD/F-Einträge am Hohen Sonnblick in den Jahren 2014/15 und 2017/18 zurückzuführen war (Abbildung 12).

Die Trends für die einzelnen Kongenere und Parameter sind in Tabelle 6 angeführt. Die PCDD/F-Depositionskonzentrationen sind für die einzelnen Messperioden in Abbildung 6, Abbildung 7 und Abbildung 2 dargestellt.

Tabelle 6:
Signifikante Trends der PCDD/F-Depositionskonzentrationen für die verschiedenen Kongenere und Summenparameter.

Signifikante Abnahmen	
Sonnblick	Zugspitze
123789-HxCDD, 2378-TCDF, 123478-HxCDF, 123678-HxCDF	12378-PeCDD, 123478-HxCDD, 123678-HxCDD, 123789-HxCDD, 1234678-HpCDD, OCDD, Summe HxCDD, Summe HpCDD, 2378-TCDF, 23478-PeCDF, 123478-HxCDF, 123678-HxCDF, 234678-HxCDF, 1234678-HpCDF, 1234789-HpCDF, OCDF, Summe HxCDF, Summe HpCDF, Summe PCDD, Summe PCDF, Summe PCDD/PCDF, Summe 2378-Isomere, TEQ (ITEF), PCDD/F TEQ (WHO-98)
Signifikante Zunahmen	
2378-TCDD, Summe TCDD	2378-TCDD, Summe TCDD

fett gedruckt: signifikant nach Pearson und Spearman,
nicht fett gedruckt: signifikant nur nach einem Test

Abbildung 6:
PCDD/F-Depositionen an den drei Standorten (ohne Ausreißer am Sonnblick in den Perioden 1106–0307 und 0108–0408). Erklärung der x-Achse siehe Abbildung 2.

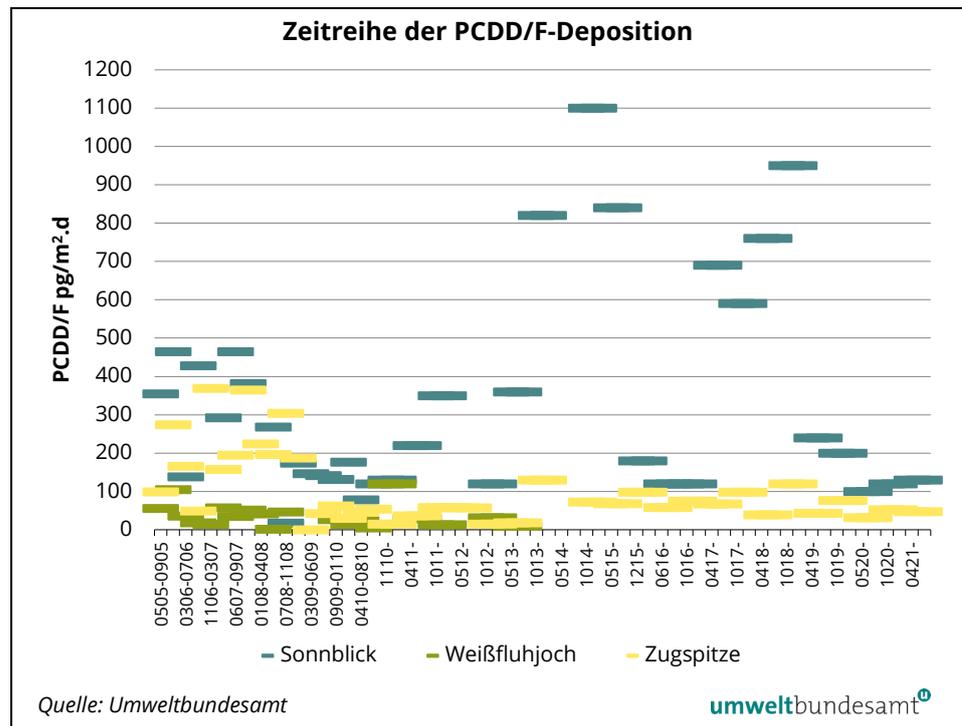
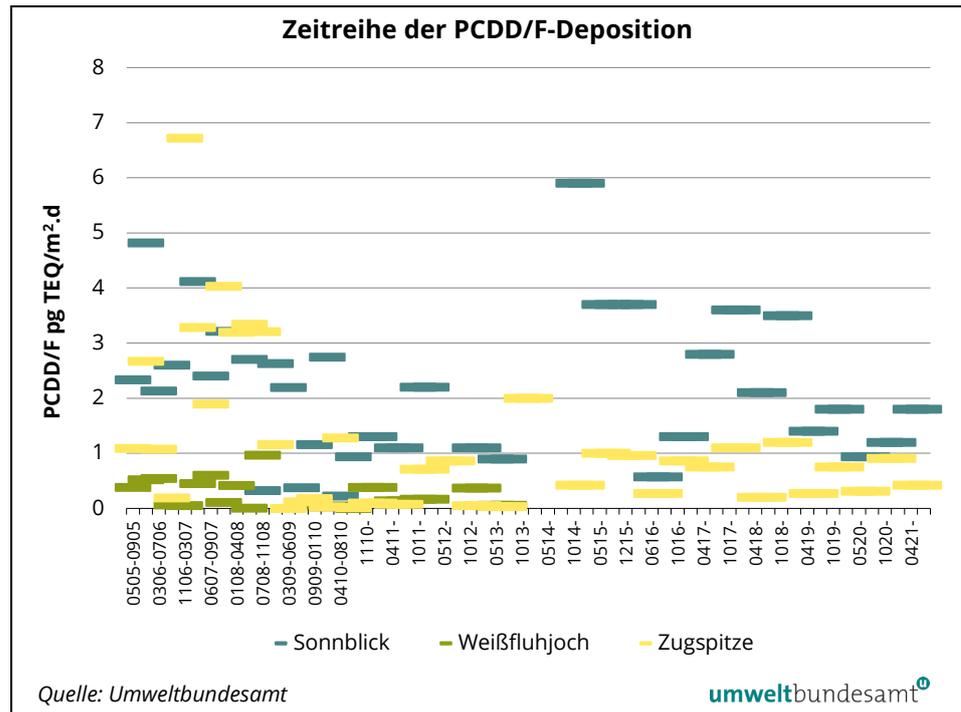


Abbildung 7:
PCDD/F-Depositionen
angegeben als TEQ an
den drei Standorten
(ohne Ausreißer am
Sonnblick in den Perio-
den 1106–0307 und
0108–0408). Erklärung
der x-Achse siehe
Abbildung 2



3.4 PCB-Depositionen

niedrigere Werte

Die PCB-Depositionen waren in den Jahren 2020 und 2021 am Hohen Sonnblick deutlich niedriger als in den Jahren davor, auf der Zugspitze im Vergleich zum gesamten Messzeitraum unterdurchschnittlich. Die niedrigen Depositionen des Jahres 2016 wurden aber an beiden Standorten deutlich überschritten. Das gilt sowohl für die PCB-Deposition ausgedrückt in toxischen Äquivalenten als auch für den Eintrag der sechs Indikator-PCB (Tabelle 7).

Vergleichswerte aus Deutschland

Von drei bayerischen Standorten (einer: urbaner Hintergrund, zwei: ländliche Gebiete) wurden in den Jahren 2002 und 2003 PCB-Depositionsmediane zwischen 38 und 40 ng/m².d (Summe der sechs Indikator-PCB) bzw. zwischen 0,91 und 1,1 pg TEQ/m².d (für die dioxinähnlichen PCB) gemessen (LFU, 2006). Aus urbanen Gebieten Sachsen-Anhalts werden PCB-Jahresdepositionsmittelwerte von 2017 bis 2020 im Bereich von rund 0,1–0,5 pg TEQ/m².d berichtet (Jahresberichte 2017 – 2020; Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt), aus Nordrhein-Westfalen wurden im gleichen Zeitraum PCB-Jahresdepositionsmittelwerte von rund 0,4 bis 1,5 pg TEQ/m².d gemessen (Jahresberichte 2017 – 2020; LANUV, Nordrhein-Westfalen). Die Standorte Sonnblick und Zugspitze weisen PCB-Einträge auf, die nicht viel niedriger bzw. ähnlich den PCB-Einträgen an diesen urbanen Standorten sind (siehe Tabelle 15).

Die PCB-Deposition, ausgedrückt in Toxizitätsäquivalenten dioxinähnlicher Substanzen, liegt etwa eine Größenordnung niedriger als die PCDD/F-Deposition

(vgl. Tabelle 14 mit Tabelle 15). Dies stellt einen Unterschied zu den Luftkonzentrationen dar, wo die beiden Schadstoffgruppen besonders in den letzten Jahren ähnliche Toxizitätskonzentrationen aufweisen (siehe Kapitel 3.2.1)

Tabelle 7:
Jahresmittelwerte der
PCB-Depositionen
(Summe der sechs „Indikator-PCB“) an den einzelnen Standorten.

Jahr	PCB-Deposition (JMW)		
	Sonnblick	Weißfluhjoch	Zugspitze
	pg/m ² .d	pg/m ² .d	pg/m ² .d
2006	4 498	1 098	3 742
2007	5 741	2 738	2 957
2008	1 980	1 708	4 413
2009	1 861		2 059
2010	2 476	2292	4 530
2011	1 803	2239	1 832
2012	2 149		1 771
2013	1 139		664
2014	1 407		3 614
2015	1 409		4 519
2016	298		707
2017	1 765		1 693
2018	2 045		1 331
2019	928		1 025
2020	803		1 153
2021	835		1 378

3.4.1 Trends und Korrelationen

positive Korrelation

Mit den Ergebnissen der letzten beiden Jahre ergeben sich nun im Gegensatz zum letzten Bericht für die meisten PCB-Kongenere und die Summe Indikator-PCB signifikante Trends einer Abnahme der PCB-Deposition an den Standorten Hoher Sonnblick und Zugspitze. Die Standorte Sonnblick und Zugspitze korrelieren signifikant positiv hinsichtlich der Depositionen von PCB, es gibt somit ähnliche zeitliche Trends der Schadstoffdeposition an beiden Standorten.

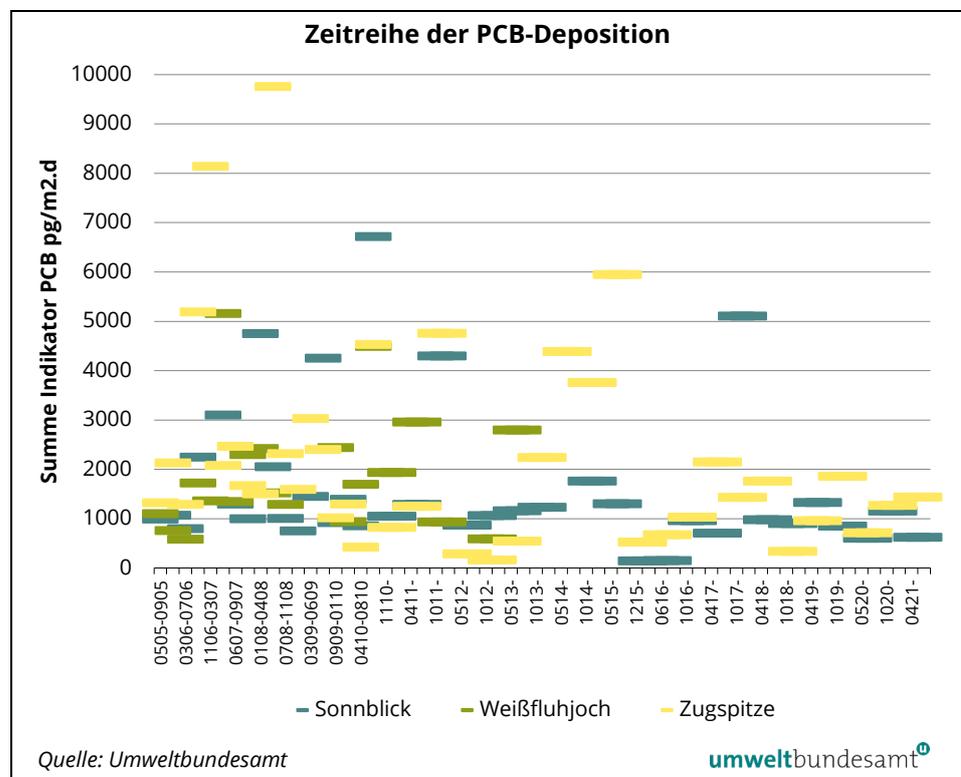
Die Trends für die einzelnen Kongenere und Parameter sind in Tabelle 8 angeführt. Die PCB-Depositionskonzentrationen sind für die einzelnen Messperioden in Abbildung 8 und Abbildung 2 dargestellt.

Tabelle 8:
Signifikante Trends der PCDD/F-Depositionskonzentrationen für die verschiedenen Kongenere und Summenparameter.

Signifikante Abnahmen	
Sonnblick	Zugspitze
PCB81, PCB118, PCB156 , PCB157, PCB167, PCB189 , PCB28, PCB101, PCB138 , PCB153, PCB180 , PCB (Σ Ballschmitter)	PCB81, PCB105, PCB114, PCB123, PCB156, PCB157 , PCB167, PCB169, PCB189, PCB138, PCB153, PCB180 , PCB (Σ Ballschmitter)
Signifikante Zunahmen	
PCB169	keine

fett gedruckt: signifikant nach Pearson und Spearman,
nicht fett gedruckt: signifikant nur nach einem der beiden Tests

Abbildung 8:
PCB-Deposition (Summe sechs Indikator-PCB) an den drei Standorten (ohne Ausreißer am Sonnblick in der Periode 1106–0307). Erklärung der x-Achse siehe Abbildung 2



3.5 Messstellenvergleiche

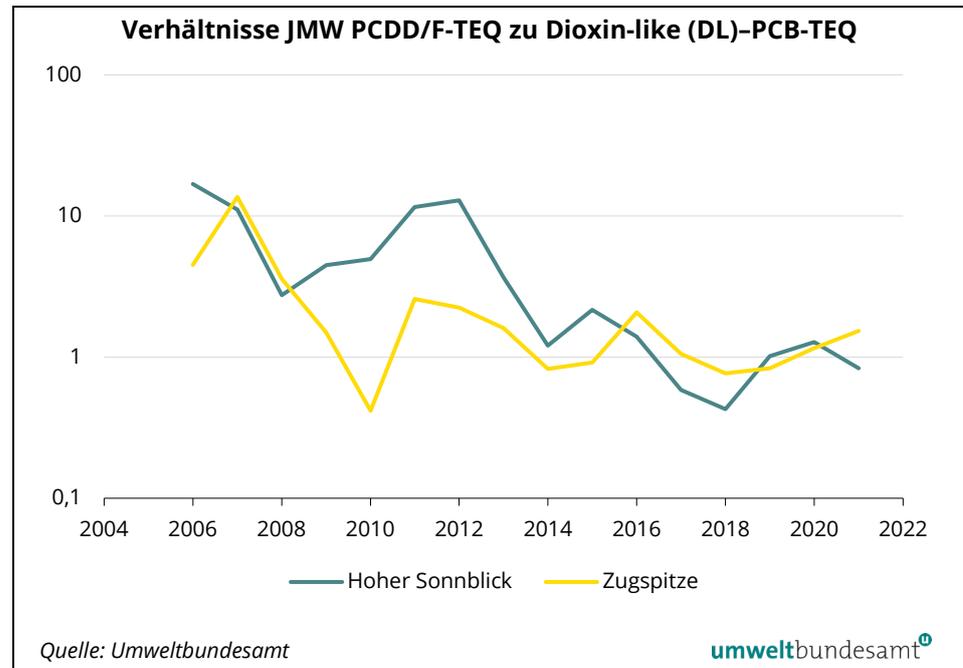
3.5.1 Verhältnis PCDD/F zu DL-PCB in Immissionsproben

PCDD/F-TEQ nun vergleichbar mit PCB-TEQ

Durch die stetige Abnahme der PCDD/F-TEQ-Konzentrationen, vor allem von Projektbeginn bis 2013, und die stagnierenden beziehungsweise zunehmenden PCB-TEQ-Trends, sind die PCB-TEQ-Luftkonzentrationen mittlerweile vergleichbar mit den PCDD/F-TEQ-Luftkonzentrationen. Somit hat die PCB-Belastung der Luft in Bezug auf dioxinähnliche Toxizität mittlerweile einen vergleichbaren Stellenwert

wie die Dioxin-Luftbelastung. In der folgenden Abbildung 9 sind die Verhältnisse PCDD/F zu DL-PCB (dioxin-like PCB) der Jahresmittelwerte (als TEQ) für die beiden Messstellen dargestellt. Deutlich zu sehen ist Abnahme des PCDD/F-TEQ-Anteils an beiden Messstellen, die dazu führt, dass ab dem Jahr 2014 die Konzentrationen der PCDD/F und DL-PCB, angegeben als TEQ, mit kleinen Schwankungen in etwa gleichbedeutend sind.

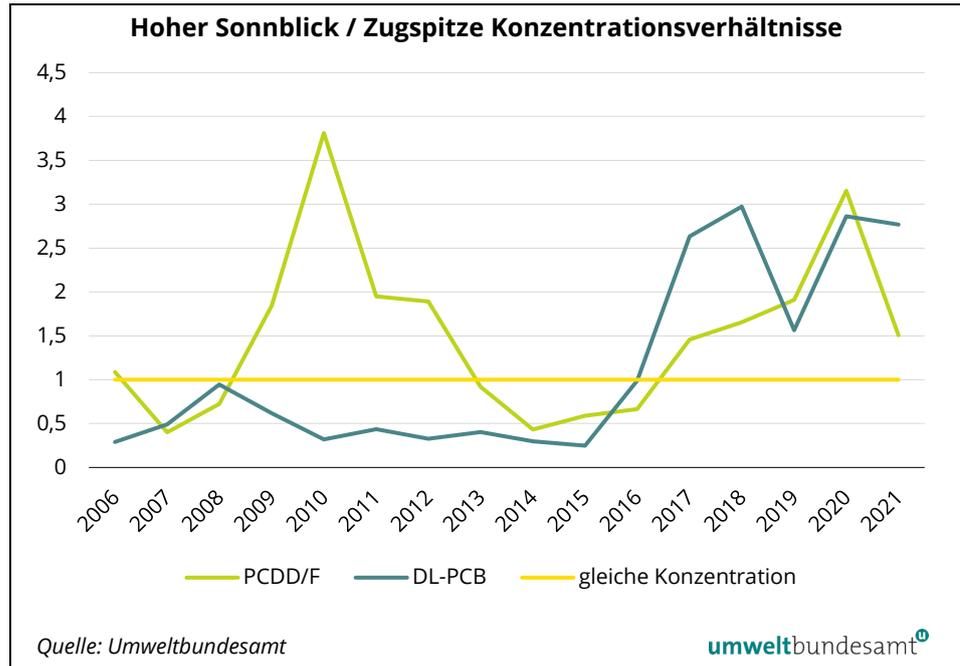
Abbildung 9:
Verhältnis der Jahresmittelwerte PCDD/F-TEQ zu DL-PCB-TEQ an den Standorten Hoher Sonnblick und Zugspitze.



Verhältnisvergleich an Messstellen

Das Verhältnis der PCDD/F- bzw. DL-PCB-Konzentrationen an beiden Messstellen ist in der folgenden Abbildung 10 dargestellt. Werte größer 1 bedeuten höhere Konzentrationen am Hohen Sonnblick, Werte kleiner 1 bedeuten höhere Konzentrationen auf der Zugspitze. Deutlich zu sehen ist, dass bis zum Jahr 2016 die DL-PCB Konzentrationen auf der Zugspitze höher waren. Seit diesem Jahr steigen die PCB-Konzentrationen am Hohen Sonnblick an, wodurch sich das Verhältnis umkehrt. Der Grund dafür ist nicht bekannt.

Abbildung 10:
Konzentrationsverhältnis
der PCDD/F- bzw. DL-
PCB zwischen den Stand-
orten Hoher Sonnblick
und Zugspitze.



saisonaler Vergleich

Der Vergleich der Konzentrationen zwischen Sommerhalbjahr und Winterhalbjahr an den beiden Messstellen zeigt einen größeren Einfluss der Jahreszeiten auf dem Hohen Sonnblick als auf der Zugspitze. In der folgenden *Tabelle 9* sind jene Kongenere und Parameter angeführt, für die im Winterhalbjahr signifikant höhere Konzentrationen gefunden wurden als im Sommerhalbjahr.

Tabelle 9:
Signifikante Trends der
PCDD/F-Depositions-
konzentrationen für die
verschiedenen Konge-
nere und Summenpara-
meter.

Signifikante höhere Konzentrationen im Winter	
Sonnblick	Zugspitze
123478-HxCDD, 123678-HxCDD, 123789-HxCDD, Summe TCDD, Summe PeCDD, Summe HxCDD, 2378-TCDF, 23478-PeCDF, 123478-HxCDF, 123678-HxCDF, 234678-HxCDF, 1234678-HpCDF, Summe PeCDF, Summe HxCDF, TEQ (ITEF), PCDD/F TEQ (WHO-98)	Summe PeCDD, Summe HxCDF

*fett gedruckt: signifikant nach t-Test und Mann-Whitney Test,
nicht fett gedruckt: signifikant nur nach einem der beiden Tests*

3.6 Konzentrationsspitzen

**Median Sonnblick
auffällig hoch**

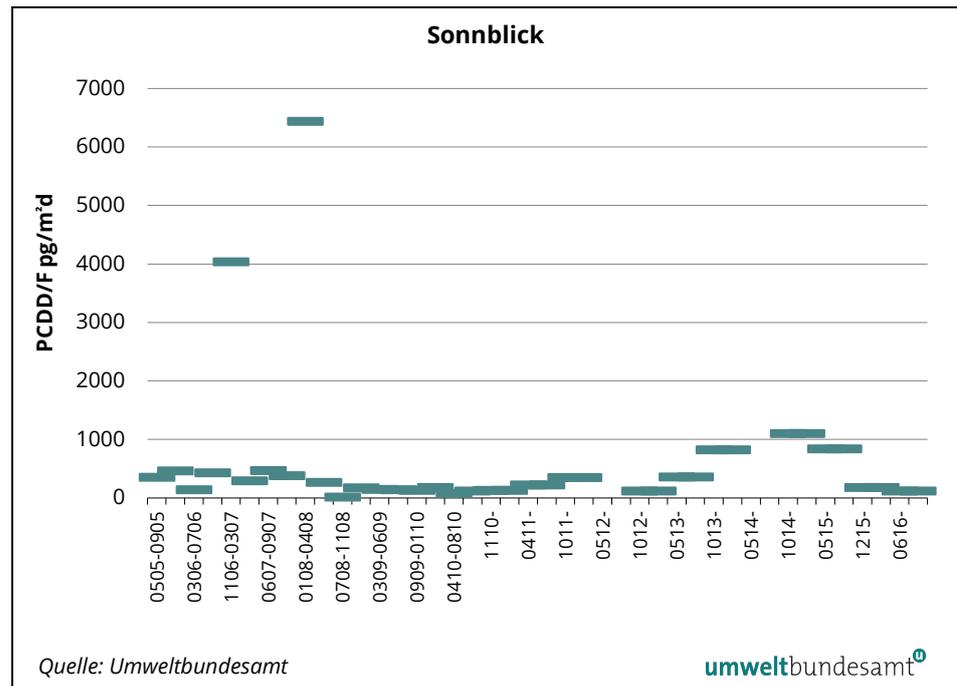
Die PCDD/F-Depositionen am Sonnblick waren in den Jahren 2014 und 2015 mit dem Drei- bis Vierfachen des Medians der gesamten Messreihe auffällig hoch. In Abbildung 8 ist dies deutlich zu sehen. In der Legende zu Abbildung 8 wird darauf hingewiesen, dass die Ausreißer aus den Perioden 1106–0307 und

0108–0408 nicht dargestellt sind. Diese hohen Werte aus den beiden genannten Perioden sind mit 4037 pg/m²d und 6439 pg/m²d um einen Faktor 14 bzw. 23 über dem Median und wurden daher bisher als Ausreißer geführt (siehe Abbildung 11). Mit den nun in den Jahren 2014 und 2015 aufgetretenen höheren Depositionen relativiert sich diese Klassifizierung als Ausreißer.

Glättung der Daten

Zu berücksichtigen ist, dass mit 2011 das Analysenschema von vierteljährlicher Probenahme und vierteljährlicher Analyse auf vierteljährliche Probenahme und halbjährliche Analyse geändert wurde (siehe auch Kapitel 2 Methodik). Damit werden kurzzeitige Konzentrationsspitzen geglättet und Extremwerte werden nicht mehr sichtbar. Die Depositionen von vor 2011 und danach sind daher hinsichtlich auffälliger Werte nicht direkt vergleichbar. Um die Vergleichbarkeit herzustellen, wurden die vierteljährlichen Daten vor 2011 auf halbjährliche Daten umgerechnet. Dazu wurde aus den beiden Winterquartalen und Sommerquartalen jeweils ein gewichteter Mittelwert berechnet. Diese umgerechneten Daten sind in Abbildung 12 dargestellt. Der Wert aus Periode 1106–0307 mit 4037 pg/m²d bleibt unverändert, da diese Periode aus organisatorischen Gründen bereits ein halbes Jahr lang war; der Wert aus Periode 0108–0408 allerdings ergibt mit der Periode 0907 0108 gemittelt 2574 pg/m²d.

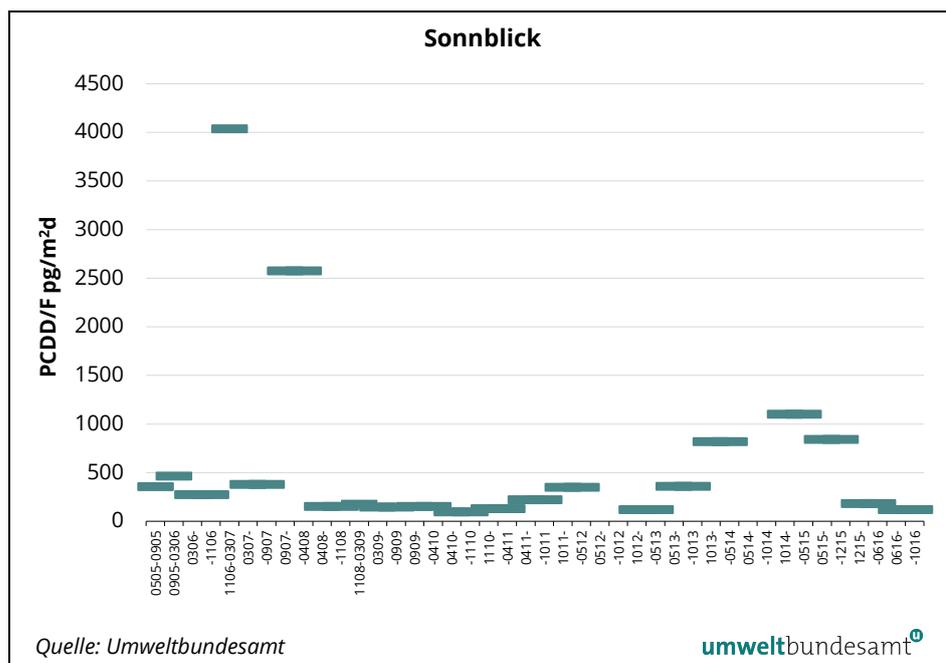
Abbildung 11:
PCDD/F-Deposition am Standort Sonnblick, Deposition mit „Ausreißern“ in den Perioden 1106–0307 und 0108–0408.



Spitzen in Winterhalbjahren

Somit liegt zwischen den Werten aus 2014 und 2015 und den Werten aus 2006 und 2007 ein Faktor 4. Auffällig ist, dass diese fünf Perioden mit erhöhten Depositionen sämtlich Winterhalbjahre sind. Es scheint immer wieder möglicherweise meteorologische Gründe zu geben, die zu Perioden mit sehr hohen Depositionen führen. **Diese fünf Perioden sind eine gute Grundlage, um anhand einer Auswertung der meteorologischen Daten nach Ursachen erhöhter Einträge zu suchen.**

Abbildung 12:
PCDD/F-Deposition am Standort Sonnblick, Deposition angegeben als Halbjahresmittelwert.



3.7 Bedeutung der Deposition

Schadstoffeinträge ubiquitär

Die ähnlich hohen PCDD/F und PCB-Depositionseinträge an den entlegenen alpinen Standorten der vorliegenden Untersuchung im Vergleich zu urbanen Standorten (siehe Kapitel 3.3 und Kapitel 3.4) sind einigermaßen bemerkenswert und verdeutlichen den ubiquitären Eintrag dieser Schadstoffe. Diese Ähnlichkeit in den Depositionen an den Alpengipfeln im Vergleich zu urbanen Gebieten stellt auch einen Unterschied zu den PCDD/F- und PCB-Luftkonzentrationen an den drei Standorten dar, die doch um eine bis mehrere Größenordnungen niedriger sind als in urbanen Gebieten (siehe Kapitel 3.1 und Kapitel 3.2).

Vorschlag Zielwert

Der deutsche Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) schlägt auf Basis einer tolerablen Humanexposition mit dioxinähnlichen Schadstoffen und auf Basis von Bodenrichtwerten unter Berücksichtigung von Aufnahmefaktoren bzw. -pfaden sowie Transferfaktoren dieser Schadstoffe zwischen den Medien für die langfristige Luftreinhaltung einen Zielwert von 4 pg TEQ/m².d für

die gemeinsame TEQ-Deposition von PCDD/F und PCB vor (LAI, 2004). Dieser Zielwert wird am Sonnblick alleine von den PCDD/F bereits in mehreren Jahren überschritten (siehe Tabelle 5) – ein weiteres Indiz für maßgebliche PCDD/F-Einträge auch in entlegenen alpinen Gebieten. Die Jahresmittelwerte am Weißfluhjoch und an der Zugspitze unterschreiten diesen Richtwert selbst bei zusätzlicher Einrechnung der PCB.

Schadstoffeintrag
Landwirtschaft

Die Deposition ist maßgeblich für den Schadstoffeintrag in die Landschaft verantwortlich. In Monitoring-Programmen und auch unter der Wirksamkeitskontrolle der Stockholm-Konvention und deren Globalen Monitoringplans wird jedoch v. a. die Luftkonzentration dieser Schadstoffe erhoben. Rückschlüsse aus den Ergebnissen der Luftkonzentrationen zur Beaufschlagung der Landschaft bzw. der untersuchten Standorte mit diesen Schadstoffen können somit irreführend sein.

Die PCB-Deposition, ausgedrückt in Toxizitätsäquivalenten dioxinähnlicher Substanzen (TEQ), liegt deutlich niedriger als die PCDD/F-Deposition (vgl. Tabelle 14 mit Tabelle 15). Somit ist an den alpinen Untersuchungsstandorten dem PCDD/F-Eintrag eine höhere Aufmerksamkeit zu widmen als den PCB.

4 ERGEBNISTABELLEN

Die folgenden 3 Anmerkungen gelten für die Ergebnistabellen auf den folgenden Seiten:

1. An einzelnen Standorten kann es in einzelnen Perioden leichte Abweichungen von den in der Tabelle angegebenen Periodenzeiträumen geben.
2. Ab Dezember 2015 wurde keine luftmassenherkunftsabhängige Probenahme mehr durchgeführt, daher existieren hier keine Werte zu den einzelnen Quellgebieten. Diese Felder sind grau hinterlegt. Der in der Spalte „m“ eingetragene Wert ist kein berechneter, gewichteter Mittelwert, sondern die für die Periode gemessene Luftkonzentration.
3. Ursachen für fehlende Werte können sein:
 - a. keine Messung, etwa aufgrund von beeinträchtigenden Arbeiten am Standort (z. B. Renovierungsarbeiten am Weißfluhjoch);
 - b. Sammlerausfall aufgrund von Störungen;
 - c. Ausfall der Probe aufgrund von Schäden bei Probennahme, Transport oder Probenaufbereitung;
 - d. geringe oder gar keine Sammelzeiten bzw. -volumina aufgrund selten oder nicht auftretender Herkunft der Luftmassen in der Messperiode und
 - e. Verwerfen nicht plausibler Werte.

Tabelle 10: PCDD/F-Luftkonzentrationen in fg/Nm³ an den einzelnen Standorten, in den einzelnen Perioden 1) (MMJJ–MMJJ) und getrennt nach Luftmassenherkünften (NW = Nordwest, NE = Nordost, S = Süd, undefined = keine der drei Regionen, m = gewichteter Periodenmittelwert) 2, 3) Anmerkungen siehe Seite 27.

PCDD/F-Luftkonzentrationen (fg/Nm ³)															
Periode	Sonnblick					Weißfluhjoch					Zugspitze				
	Luftmassenherkunft					Luftmassenherkunft					Luftmassenherkunft				
	NW	NE	S	unde- fined	m	NW	NE	S	unde- fined	m	NW	NE	S	unde- fined	m
1205-0306	39	8	88	36	39	128	95	110	122	117	88	40	172	71	89
0306-0706	9	6	5	3	6	19	57	18	30	26	14	22	28	0	18
0706-1106	111	290	211	133	158	15		49		23	145	23	35	17	71
1106-0307	76	54	57	121	81	76	124	98	85	89	120	202		139	148
0307-0607	60	176	104	146	104	95	90	101	164	101	140	401	262		257
0607-0907	52	92	56	75	63	253		95	60	119	154	48	250	64	117
0907-0108	74	90	40	49	64	37	60	76	90	60					
0108-0408	50	75	84	89	74	81		35	34	51		78			78
0408-0708	110	53	84	59	77						93	91	48	0	57
0708-1108	45	89	46		54								59		59
1108-0309	25	87		25	39						29	75	21	614	129
0309-0609	5	89	52	26	37	54	25	22	26	25	45	100	20		44
0609-0909	53	1532	44	32	215		14	3		11	15	52	37	67	37
0909-0110	24	13		35	28	32		41	40	39	51	22	16	72	43
0110-0410	28	29		167	78	16			26	19		25	35	18	25
0410-0810	31	17	62	29	37	2	46	13	66	17	19	25	20	37	22
0810-1110	89	71	27	54	59										
1110-0411	38	45		520	129	19	120	24	52	36	35	66	130	6	50
0411-1011	77	52	32	29	48	36	76	64	27	45	40	130	44	86	63
1011-0512	37	48	30	88	46	36	97	39	36	45	42	76	16	24	38
0512-1012	800	350	29	220	195	56	460		66	103	110		62	83	78
1012-0513	82	56		67	70	98	180	62	36	75	74	70	70	100	78
0513-1013	39	29	13	65	33	52	320	250	300	173	20	200	44	61	52
1013-0414	16		14	25	17						67	78	56	36	57
0414-1014											27	0	16	18	16
1014-0515	76	34	65	43	56						48	92	30	76	55
0515-1215	7	140	27	11	30						30		36	20	27
1215-0416					38										7
0416-1016					45										30
1016-0417					49										40
0417-1017					65										29
1017-0418					79										39
0418-1018					65										47
1018-0419					63										37
0419-1019					73										37
1019-0420					71										30
0420-1020					100										28
1020-0421					120										39
0421-1021					50										42
Min	5	6	5	3	6	2	14	3	26	11	14	0	16	0	7
Max	800	1532	211	520	215	253	460	250	300	173	154	401	262	614	257
Median	47	56	46	54	63	44	93	49	52	45	46	72	37	61	43

Tabelle 11: PCDD/F-Luftkonzentrationen in fg TEQ/Nm³ an den einzelnen Standorten, in den einzelnen Perioden 1) (MMJJ-MMJJ) und getrennt nach Luftmassenherkünften (NW = Nordwest, NE = Nordost, S = Süd, undefined = keine der drei Regionen, m = gewichteter Periodenmittelwert) 2, 3) Legende siehe Seite 27

PCDD/F-Luftkonzentrationen (fg TEQ/.Nm ³)															
Periode	Sonnblick					Weißfluhjoch					Zugspitze				
	Luftmassenherkunft					Luftmassenherkunft					Luftmassenherkunft				
	NW	NE	S	unde- fined	m	NW	NE	S	unde- fined	m	NW	NE	S	unde- fined	m
1205-0306	0,54	0,00	1,05	0,44	0,48	1,85	1,91	1,58	1,19	1,67	0,48	0,59	2,59	0,95	0,96
0306-0706	0,05	0,02	0,01	0,00	0,02	0,47	0,65	0,48	0,38	0,47	0,30	0,38	0,31	0,00	0,27
0706-1106	1,87	5,97	4,15	3,05	3,10	0,02		0,44		0,12	3,63	0,02	0,38	0,03	1,49
1106-0307	1,67	0,54	2,13	2,09	1,82	1,59	3,50	2,11	1,80	1,96	2,74	3,68		2,68	2,93
0307-0607	1,15	2,93	1,80	4,25	1,93	1,41	2,08	2,01	4,49	2,02	2,62	3,75	3,06		3,09
0607-0907	0,19	0,21	0,34	0,41	0,32	5,59		1,23	0,10	1,85	3,31	0,37	3,45	0,97	1,80
0907-0108	0,63	0,61	0,06	0,06	0,36	0,05	0,10	2,75	0,23	0,97					
0108-0408	1,09	1,38	1,15	0,31	0,87	2,05		1,45	0,40	1,28		1,07			1,07
0408-0708	2,97	0,39	0,90	0,73	1,11						2,33	2,55	1,30	0,00	1,52
0708-1108	0,58	1,06	0,95		0,85								0,68		0,68
1108-0309	0,30	1,30		0,26	0,52						0,60	1,37	0,21	7,66	1,71
0309-0609	0,26	1,39	2,68	0,73	1,51	0,78	0,32	0,40	0,23	0,40	0,45	1,95	0,07		0,59
0609-0909	1,81	14,73	0,39	0,61	2,55		0,14	0,00		0,11	0,00	0,63	0,78	1,27	0,60
0909-0110	0,03	0,04		0,02	0,03	0,00		0,47	0,62	0,51	0,13	0,00	0,03	0,02	0,04
0110-0410	0,21	0,07		0,18	0,17	0,30			0,21	0,28		0,00	0,11	0,02	0,05
0410-0810	0,04	0,00	0,02	0,00	0,02	0,000	0,004	0,000	0,002	0,0005	0,12	0,05	0,08	0,54	0,14
0810-1110	0,05	0,06	0,02	0,11	0,05										
1110-0411	0,10	0,29		14,00	2,73	0,10	2,00	0,54	0,44	0,46	0,08	0,03	0,54	0,01	0,15
0411-1011	0,75	0,34	0,17	0,10	0,35	0,24	0,52	0,61	0,41	0,43	0,18	3,70	0,40	0,00	0,71
1011-0512	0,40	0,40	0,13	1,10	0,43	0,48	1,20	1,10	0,19	0,73	0,69	0,48	0,59	0,01	0,46
0512-1012	26,00	13,00	0,05	6,80	5,97	0,34	9,70		0,97	1,64	3,60		1,90	3,10	2,59
1012-0513	0,94	0,48		1,80	1,04	1,20	3,90	1,20	0,61	1,27	0,98	1,70	0,39	2,60	1,22
0513-1013	0,41	0,64	0,05	0,20	0,31	0,09	0,47	0,21	0,31	0,18	0,17	1,10	0,41	0,23	0,35
1013-0414	0,15		0,03	0,01	0,05						0,19	0,27	0,12	0,17	0,17
0414-1014											0,09	0,00	0,05	0,10	0,06
1014-0515	0,95	0,00	0,27	0,16	0,37						0,70	1,70	1,90	1,00	1,27
0515-1215	0,08	4,40	0,15	0,03	0,53						0,15		0,36	0,05	0,2
1215-0416					0,44										0,07
0416-1016					0,41										0,60
1016-0417					0,35										0,49
0417-1017					0,53										0,35
1017-0418					0,91										0,40
0418-1018					0,36										0,30
1018-0419					0,32										0,17
0419-1019					0,41										0,27
1019-0420					0,67										0,24
0420-1020					1,00										0,26
1020-0421					1,20										0,44
0421-1021					0,31										0,38
Min	0,03	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0005	0,00	0,00	0,03	0,00	0,04
Max	26,00	14,73	4,15	14,00	5,97	5,59	9,70	2,75	4,49	2,02	3,63	3,75	3,45	7,66	3,09
Median	0,47	0,48	0,27	0,31	0,43	0,40	0,92	0,61	0,40	0,51	0,47	0,61	0,40	0,17	0,49

Tabelle 12: PCB-Luftkonzentrationen (Summe der sechs „Indikator“-PCB) in pg/Nm³ an den einzelnen Standorten, in den einzelnen Perioden 1) (MMJJ-MMJJ) und getrennt nach Luftmassenherkünften (NW = Nordwest, NE = Nordost, S = Süd, undefined = keine der drei Regionen, m = gewichteter Periodenmittelwert) 2, 3) Legende siehe Seite 27.

PCB-Luftkonzentrationen (pg/Nm ³)															
Periode	Sonnblick					Weißfluhjoch					Zugspitze				
	Luftmassenherkunft					Luftmassenherkunft					Luftmassenherkunft				
	NW	NE	S	unde- fined	m	NW	NE	S	unde- fined	m	NW	NE	S	unde- fined	m
1205-0306	5,7	11,9	16,2	9,8	9,6	20,8	23,3	29,7	30,0	24,8	15,3	30,4	30,7	24,2	22,8
0306-0706	6,2	7,7	7,8	7,1	7,2	11,5	45,9	17,9	26,1	22,0	9,8	12,7	9,5	10,6	10,5
0706-1106	7,5	11,2	6,3	5,9	7,0	1,9		3,0		2,2	8,7	15,1	8,2	6,6	8,9
1106-0307	2,7	6,6	4,1	4,8	4,0	3,1	4,9	2,8	2,4	2,9	2,5		3,3	1,9	2,4
0307-0607	8,1	18,7	18,2	58,7	16,3	9,4	27,5	18,3	63,3	20,9	18,6	26,5	18,2		20,5
0607-0907	6,2	19,5	7,8	8,8	8,3	15,1	15,9	16,6	15,8		11,2	9,3	23,6	7,9	12,3
0907-0108	2,9	3,9	4,6	9,6	4,6		10,0	5,1	11,6	7,6					
0108-0408	5,3	13,3	8,6	7,1	7,8							13,0			13,0
0408-0708	14,7	11,5	3,0	7,9	7,2						12,0	12,6	7,5	24,1	11,3
0708-1108	4,7	5,4	4,7	6,9	5,2								5,6		5,6
1108-0309	1,8	6,4			3,2						2,3	3,1	2,5	3,8	2,7
0309-0609	2,8	9,7	3,1	3,7	3,7	6,7	11,2	2,5	5,9	3,9	7,5	6,9	4,0		5,4
0609-0909	3,8	4,9	5,0	3,9	4,4		5,6	10,4		6,8	7,4	8,8	5,0	6,4	6,5
0909-0110	1,5	3,5	1,4	0,9	1,4	6,8		3,2	1,3	2,5	2,5	8,0	2,2	2,2	2,8
0110-0410	1,7	2,1		1,4	1,7	1,8			2,9	2,1		2,2	1,1	3,6	2,5
0410-0810	2,5	2,4	3,8	2,8	2,9	1,8	5,8	5,2	14,7	4,9	4,1	9,9	2,4	5,7	4,4
0810-1110	9,0	10,7	7,8	11,5	9,3										
1110-0411	3,9	3,7		14,0	5,7	6,0	94,3	23,3	9,2	19,3	4,8	63,8	17,3	20,0	13,0
0411-1011	7,7	8,9	3,9	14,4	8,2	15,0	38,2	10,2	15,2	15,6	13,9	22,7	13,4	26,8	17,4
1011-0512	6,1	5,3	7,3	7,8	6,5	11,9	17,9	9,5	8,7	11,0	13,3	42,1	11,6	11,6	17,1
0512-1012	59,1	21,0	15,3	29,3	23,6	1,6	75,8	7,0	8,4	10,3	18,2		6,5	8,4	12,6
1012-0513	4,4	3,3		4,8	4,2	7,3	21,5	3,9	9,0	7,6	6,5	11,9	6,3	5,8	6,8
0513-1013	9,8	4,4	4,8		6,2	6,2	18,6	8,0	10,1	8,0	8,4	33,5	8,9	21,6	13,2
1013-0414	4,3	11,3	2,9	9,6	5,2						18,2	38,3	18,8	19,3	20,8
0414-1014											35,0	19,1	7,6	18,8	17,3
1014-0515	8,3	19,4	10,2	5,8	9,0						12,4	20,6	55,8	4,1	24,2
0515-1215	4,3	11,9	6,3	5,7	6,3						15,1		11,1	9,0	11,1
1215-0416					2,4										4,8
0416-1016					6,8										5,5
1016-0417					2,7										3,5
0417-1017					11,4										10,1
1017-0418					31,0										16,9
0418-1018					15,8										8,4
1018-0419					18,5										21,4
0419-1019					19,6										9,7
1019-0420					30,0										13,4
0420-1020					11,5										8,0
1020-0421					89,6										14,4
0421-1021					12,7										5,9
Min	1,5	2,1	1,4	0,9	1,4	1,6	4,9	2,5	1,3	2,1	2,3	2,2	1,1	1,9	2,4
Max	59,1	21,0	18,2	58,7	89,6	20,8	94,3	29,7	63,3	24,8	35,0	63,8	55,8	26,8	24,2
Median	5,0	8,3	5,6	7,1	7,1	6,8	18,6	8,0	9,7	7,6	10,5	13,0	7,9	8,4	10,5

Tabelle 13: PCB-Luftkonzentrationen in fg TEQ/Nm³ an den einzelnen Standorten, in den einzelnen Perioden 1) (MMJJ) und getrennt nach Luftmassenherkünften (NW = Nordwest, NE = Nordost, S = Süd, undefined = keine der drei Regionen, m = gewichteter Periodenmittelwert) 2, 3) Legende siehe Seite 27.

PCB-Luftkonzentrationen (fg TEQ/Nm ³)															
Periode	Sonnblick					Weißfluhjoch					Zugspitze				
	Luftmassenherkunft					Luftmassenherkunft					Luftmassenherkunft				
	NW	NE	S	unde- fined	m	NW	NE	S	unde- fined	m	NW	NE	S	unde- fined	m
1205-0306	0,08	0,17	0,20	0,11	0,12	1,77	0,37	0,38	0,31	0,94	0,63	1,87	1,51	0,33	0,98
0306-0706	0,06	0,05	0,08	0,06	0,07	0,12	0,50	0,21	0,24	0,23	0,10	0,13	0,11	0,11	0,11
0706-1106	0,07	0,19	0,07	0,08	0,08	0,03		0,04		0,03	0,10	0,16	0,08	0,08	0,10
1106-0307	0,03	0,06	0,03	0,06	0,04	0,03	0,12	0,03	0,02	0,03	0,03		0,04	0,02	0,03
0307-0607	0,09	0,13	0,16	0,44	0,14	0,11	1,40	0,21	0,40	0,46	0,20	0,21	0,15		0,19
0607-0907	0,05	0,09	0,26	0,06	0,13	0,23		0,63	0,15	0,38	0,11	0,09	1,68	0,06	0,43
0907-0108	0,03	0,04	0,04	0,13	0,05		0,48	0,37	0,15	0,36					
0108-0408	0,33	0,88	0,54	0,28	0,44							0,20			0,20
0408-0708	0,84	1,13	0,36	0,17	0,47						0,21	0,19	0,43	0,53	0,36
0708-1108	0,06	0,07	0,07	0,44	0,13								0,38		0,38
1108-0309	0,15	0,61			0,29						0,50	0,26	0,57	0,14	0,44
0309-0609	0,30	0,57	0,28	0,30	0,32	0,13	1,13	0,13	0,13	0,19	1,41	0,43	0,05		0,42
0609-0909	0,78	1,20	0,09	0,09	0,45		0,49	1,13		0,65	0,63	0,74	0,45	0,47	0,54
0909-0110	0,03	0,07	0,02	0,01	0,02	1,33		0,25	0,12	0,28	0,16	0,11	0,25	0,25	0,22
0110-0410	0,20	0,28		0,02	0,15	0,11			0,03	0,09		0,03	0,02	0,18	0,10
0410-0810	0,03	0,02	0,05	0,04	0,03	0,02	0,08	0,71	0,20	0,33	0,51	0,74	0,29	0,06	0,40
0810-1110	0,07	0,08	0,06	0,08	0,07										
1110-0411	0,04	0,10		0,17	0,08	0,57	1,50	0,35	0,12	0,48	0,04	1,30	0,30	0,35	0,21
0411-1011	0,08	0,11	0,03	0,20	0,10	0,22	0,91	0,16	0,22	0,26	0,15	0,24	0,14	0,44	0,21
1011-0512	0,08	0,11	0,11	0,10	0,10	0,20	0,30	0,15	0,16	0,18	0,22	4,60	0,39	1,40	1,25
0512-1012	0,92	0,09	0,24	0,46	0,34	0,02	4,30	0,13	0,45	0,45	0,22		0,47	0,86	0,50
1012-0513	0,45	0,04		0,06	0,21	0,39	1,40	0,05	0,50	0,37	0,08	0,15	0,37	0,09	0,20
0513-1013	0,11	0,03	0,04		0,06	0,07	0,17	0,11	0,12	0,10	0,09	2,20	0,43	0,44	0,46
1013-0414	0,47	0,33	0,03	0,14	0,17						0,22	0,63	0,23	0,18	0,26
0414-1014											0,65	0,27	0,08	0,21	0,25
1014-0515	0,08	0,22	0,11	0,06	0,09						1,50	0,57	2,30	0,06	1,20
0515-1215	0,74	1,10	0,07	0,06	0,30						0,78		0,42	0,27	0,45
1215-0416					0,08										0,16
0416-1016					0,41										0,29
1016-0417					0,09										0,15
0417-1017					0,29										0,38
1017-0418					3,30										0,61
0418-1018					0,45										0,33
1018-0419					0,36										0,25
0419-1019					0,44										0,35
1019-0420					0,54										0,19
0420-1020					0,42										0,27
1020-0421					1,50										0,30
0421-1021					0,34										0,24
Min	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,08	0,05	0,03	0,09	0,04	0,03	0,02	0,06	0,10
Max	0,92	1,20	0,54	0,46	3,30	1,33	4,30	1,13	0,50	0,65	1,50	4,60	2,30	1,40	1,25
Median	0,11	0,11	0,07	0,10	0,29	0,20	0,70	0,20	0,15	0,33	0,22	0,27	0,38	0,25	0,32

Tabelle 14: PCDD/F-Depositionen an den einzelnen Standorten in den einzelnen Perioden 1) (MMJJ-MMJJ) 3) Legende siehe Seite 27.

PCDD/F-Deposition (pg/m ² d)						
Periode	Sonnblick		Weißfluhjoch		Zugspitze	
	pg/m ² .d	pg TEQ/m ² .d	pg/m ² .d	pg TEQ/m ² .d	pg/m ² .d	pg TEQ/m ² .d
0505-0905	354	2,3	56	0,4	99	1,1
0905-0306	464	4,8	105	0,5	274	2,7
0306-0706	138	2,1	36	0,5	166	1,1
0706-1106	428	2,6	18	0,1	49	0,2
1106-0307	4 037	19,7	14	0,1	369	6,7
0307-0607	292	4,1	57	0,5	157	3,3
0607-0907	465	2,4	35	0,6	194	1,9
0907-0108	381	3,2	52	0,1	364	4,0
0108-0408	6 439	18,2	41	0,4	224	3,2
0408-0708	268	2,7	1	0,0	196	3,3
0708-1108	17	0,3	46	1,0	304	3,2
1108-0309	174	2,6			187	1,2
0309-0609	146	2,2				
0609-0909	141	0,4			42	0,1
0909-0110	131	1,2	26	0,1	63	0,2
0110-0410	176	2,7	14	0,0	30	0,0
0410-0810	78	0,2	24	0,0	45	1,3
0810-1110	120	0,9	5	0,0	54	0,0
1110-0411	130	1,3	120	0,4	15	0,1
0411-1011	220	1,1	29	0,1	36	0,1
1011-0512	350	2,2	13	0,2	58	0,7
0512-1012					57	0,9
1012-0513	120	1,1	31	0,4	15	0,0
0513-1013	360	0,9	10	0,1	18	0,0
1013-0414	820	21,0			130	2,0
0414-1014						
1014-0515	1 100	5,9			72	0,4
0515-1215	840	3,7			68	1,0
1215-0516	180	3,7			98	1,0
0516-1016	120	0,6			58	0,3
1016-0417	120	1,3			75	0,9
0417-1017	690	2,8			67	0,8
1017-0418	590	3,6			98	1,1
0418-1018	760	2,1			39	0,2
1018-0419	950	3,5			120	1,2
0419-1019	240	1,4			43	0,3
1019-0519	200	1,8			76	0,8
0519-1019	100	0,9			31	0,3
1019-0420	120	1,2			52	0,9
0420-1021	130	1,8			47	0,4
Min	17	0,2	1,0	0,0	15	0,0
Max	6 439	21,0	120,0	1,0	369	6,7
Median	230	2,2	30,0	0,2	68	0,9

Tabelle 15: PCB-Depositionen an den einzelnen Standorten in den einzelnen Perioden 1) (MMJJ-MMJJ) 3) Legende siehe Seite 27.

Periode	PCB-Deposition					
	Sonnblick		Weißfluhjoch		Zugspitze	
	Σ TE-PCB pg TEQ/m ² .d	Σ Indikator-PCB pg/m ² .d	Σ TE-PCB pg TEQ/m ² .d	Σ Indikator-PCB pg/m ² .d	Σ TE-PCB pg TEQ/m ² .d	Σ Indikator-PCB pg/m ² .d
0505-0905	0,24	990	0,30	1 104	0,30	1 324
0905-0306	0,31	1 070	0,02	760	0,05	2 130
0306-0706	0,02	795	0,02	582	0,03	1 286
0706-1106	0,04	2 250	0,04	1 720	0,11	5 190
1106-0307	0,25	22 860	0,02	1 359	0,09	8 140
0307-0607	0,06	3 100	0,14	5 160	0,05	2 078
0607-0907	0,74	1 295	0,51	1 345	0,62	2 470
0907-0108	0,38	1 000	0,22	2 300	0,46	1 670
0108-0408	0,72	4 750	0,06	2 420	0,54	1 503
0408-0708	0,43	2 051	0,04	1 525	0,54	9 760
0708-1108	0,40	1 004	0,58	1 288	0,92	2 320
1108-0309	0,19	752			0,37	1 590
0309-0609	0,43	1 450			0,04	3 030
0609-0909	0,05	4 250			0,06	2 400
0909-0110	0,42	923	0,50	2 440	0,02	1 015
0110-0410	0,03	1 390	0,29	940	0,21	1 297
0410-0810	0,02	855	0,03	1 695	0,01	420
0810-1110	0,06	6 720	0,08	4 490	0,10	4 530
1110-0411	0,03	1 047	0,05	1 938	0,02	822
0411-1011	0,03	1 290	0,05	2 960	0,03	1 250
1011-0512	0,08	4 300	0,03	935	0,16	4 760
0512-1012	0,02	870			0,06	283
1012-0513	0,13	1 060	0,02	590	0,01	166
0513-1013	0,05	1 162	0,06	2 800	0,13	548
1013-0414	0,67	1 230			0,21	2 240
0414-1014					0,12	4 390
1014-0515	0,30	1 760			0,06	3 760
0515-1215	0,27	1 300			0,48	5 950
1215-0516	0,06	145			0,10	526
0516-1016	0,04	150			0,08	674
1016-0417	0,20	956			0,22	1 029
0417-1017	0,24	708			0,33	2 150
1017-0418	1,50	5 110			0,22	1 430
0418-1018	0,18	980			0,19	1 760
1018-0419	0,25	903			0,03	335
0419-1019	0,20	1 330			0,15	960
1019-0519	0,14	850			0,19	1 860
0519-1019	0,12	600			0,23	716
1019-0420	0,12	1 154			0,12	1 270
0420-1021	0,17	620			0,17	1 440
Min	0,02	145	0,02	582	0,01	166
Max	1,50	22 860	0,58	5 160	0,92	9 760
Median	0,18	1 070	0,05	1 610	0,13	1 547

5 LITERATURVERZEICHNIS

- BMLFUW – Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management, 2008. MONARPOP – Technical Report. Wien. ISBN 3-902338-93-8. http://www.monarpop.at/downloads/MONARPOP_Technical_Report.pdf.
- Jakobi, G., M. Kirchner, B. Henkelmann, W. Körner, I. Offenthaler, W. Moche, P. Weiss, M. Schaub und K.W. Schramm, 2014. Atmospheric bulk deposition measurements of organochlorine pesticides at three alpine summits. *Atmospheric Environment*, 2014, 101, 158–165.
- Kirchner, M., G. Jakobi, W. Körner, W. Levy, W. Moche, B. Niedermoser, M. Schaub, L. Ries, P. Weiss und K.W. Schramm, 2016. Levels of organochlorine pesticides at three high Alpine monitoring stations. Trends and dependence on air masses. *Aerosol and Air Quality Research*, 2016, 16, 738-751.
- LAI – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz, 2004. Bewertung von Schadstoffen, für die keine Immissionswerte festgelegt sind – Orientierungswerte für die Sonderfallprüfung und für die Anlagenüberwachung sowie Zielwerte für die langfristige Luftreinhalteplanung unter besonderer Berücksichtigung der Beurteilung krebserzeugender Luftschadstoffe. München 2004. <http://www.lanuv.nrw.de/gesundheit/pdf/LAI2004.pdf>.
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV); Jahresberichte 2017 bis 2020; <https://www.lanuv.nrw.de/index.php?id=44>
- Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Halle/Saale, 2010
Immissionsschutzbericht 2009; https://lau.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LAU/Luft/Fachberichte/Dateien/Immibericht2009.pdf
- Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Halle/Saale,
Immissionsschutzberichte 2017 bis 2021; <https://lau.sachsen-anhalt.de/luft-klima-laerm/immissionsschutz-luftqualitaet-physikalische-einwirkungen/luftqualitaet/fachpublikationen/immissionsschutzberichte/>

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 2004.

Literaturstudie zur Ermittlung des Depositionswertes von Dioxinen, Furanen und dioxinähnlichen PCB. https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/63983?_de_xdot_lubw_pudi_frontend_web_portlet_DetailPortlet_backURL=https%3A%2F%2Fpudi.lubw.de%2Fpublikationen%3Fp_id%3Dde_xdot_lubw_pudi_frontend_web_portlet_SearchPortlet%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26_de_xdot_lubw_pudi_frontend_web_portlet_SearchPortlet_mvcPath%3D%252Fhtml%252Fsearch%252Fview.jsp%26_de_xdot_lubw_pudi_frontend_web_portlet_SearchPortlet_keywords%3D%26_de_xdot_lubw_pudi_frontend_web_portlet_SearchPortlet_extendedSearch%3Dfalse%26_de_xdot_lubw_pudi_frontend_web_portlet_SearchPortlet_fullTextSearch%3Dfalse%26_de_xdot_lubw_pudi_frontend_web_portlet_SearchPortlet_cur%3D3%26_de_xdot_lubw_pudi_frontend_web_portlet_SearchPortlet_delta%3D200%26_de_xdot_lubw_pudi_frontend_web_portlet_SearchPortlet_orderByCol%3Dpublisher-publications-first%26_de_xdot_lubw_pudi_frontend_web_portlet_SearchPortlet_orderByType%3Dasc

LFU – Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, 2006. Ermittlung der Immissionsbelastung durch polychlorierte Dioxine (PCDD) und Furane (PCDF) sowie dioxinähnliche PCB in Bayern.

https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/pop/dioxine_und_pcb/ermittlung_immissionsbelastung/index.htm

LFU – Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, 2011. Erfassung von persistenten organischen Schadstoffen im bayerischen Alpenraum Projekt: POPALP. Endbericht – Teil Boden, Nadeln, Deposition, Luft.

http://www.lfu.bayern.de/umweltqualitaet/umweltbeobachtung/schadstoffe_luft/projekte/doc/schlussbericht_popalp.pdf

LFU – Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, 2014. Monitoring neuartiger Schadstoffe im Bayerischen Alpenraum.

http://www.lfu.bayern.de/umweltqualitaet/umweltbeobachtung/schadstoffe_luft/projekte/index.htm

LFU – Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg und Umweltbundesamt, Wien, 2020. PureAlps 2016–2020, Monitoring von persistenten organischen Schadstoffen und Quecksilber im Alpenraum (Immission, Deposition und Biota). https://www.umweltbundesamt.at/studien-reports/publikationsdetail?pub_id=2369&cHash=98e6c4afdc06b7a180bf03fb61885af3

Lohmann, R. und K.C. Jones, 1998. Dioxins and furans in air and deposition: A review of levels, behaviour and processes. *The Science of the Total Environment* 1998, 219, 53–81.

Melymuk L., J. Blumenthal, O. Sáňka, A. Shu-Yin, V. Singla, K. Šebková, K. Pullen Fedinick und M. L. Diamond, 2022. Persistent Problem: Global Challenges to Managing PCBs. *Environ. Sci. Technol.* 2022, 56, 12, 9029–9040.

- Moche, W. und G. Thanner, 2002. Ambient Air Monitoring of PCDD/F and PCB in Austria. *Organohalogen Compounds* 2002, 57, 5–6.
- Offenthaler, I., W. Moche, B. Schwarzl, G. Thanner, M. Uhl, K. Van Ommen, R. Bassan, C. Belis, G. Jakobi, M. Kirchner, N. Kräuchi, K.W. Schramm, W. Levy-Lopez, I. Sedivy, P. Simončič und P. Weiss, 2007. Dioxins and dioxin-like pollutants in alpine forests. *Organohalogen Compounds* 2007, 69, 608–611.
- Umweltbundesamt, 2003. Dioxinimmissionsmessungen Leoben 1999–2000. Erscheinungsort: Umweltbundesamt, 2003, Bd. BE-0227, ISBN: 3-85457-696-X. <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/BE227.pdf>.
- Umweltbundesamt, 2015. MONARPOP – Ergebnisse der Dioxin- und PCB-Messungen in Luft und Deposition. Erscheinungsort: Umweltbundesamt, 2015, Bd. REP-0546, 47.
- UNEP – United Nations Environment Programme Geneva, 2009. Global Monitoring Plan for Persistent Organic Pollutants under the Stockholm Convention Article 16 on Effectiveness Evaluation. First Regional Monitoring Report – Western Europe and Other (WEOG) Group.
- UNEP – United Nations Environment Programme, Geneva, 2015. Global Monitoring Plan for Persistent Organic Pollutants under the Stockholm Convention Article 16 on Effectiveness Evaluation. Second Regional Monitoring Report – Western Europe and Other (WEOG) Group. <http://chm.pops.int/portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-GMP-RMR-WEOG-2015.English.pdf>.
- Van den Berg, M., Birnbaum, L.S., Denison, M., De Vito, M., Farland, W., Feeley, M., Fiedler, H., Hakansson, H., Hanberg, A., Haws, L., Rose, M., Safe, S., Schrenk, D., Tohyama, C., Tritscher, A., Tuomisto, J., Tysklind, M., Walker, N. and Peterson, R.E. et al., 2006. The 2005 World Health Organization reevaluation of human and mammalian toxic equivalency factors for dioxins and dioxin-like compounds. *Toxicological Sciences*. 93, 223–241.
- Weiss, P., C. Halsall, I. Holoubek, R. Kallenborn, K.-W. Schramm, M. Vighi und F. Wania, 2009. (Guest Editors) Special Issue – Persistent Organic Pollutants in Mountains. *Environmental Pollution*. 157, 3183–3313.

Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04

office@umweltbundesamt.at
www.umweltbundesamt.at

Von 2005 bis 2021 wurden in einem nunmehr 16-jährigen Monitoringprogramm an den drei Alpengipfeln Sonnblick (A), Weißfluhjoch (CH, bis 2013) und Zugspitze (D) die Luftkonzentrationen und Depositionen von persistenten organischen Schadstoffen (POPs) erhoben.

Der vorliegende Bericht aktualisiert die Ergebnisse der Zeitreihe für die polychlorierten Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane (PCDD/F) und die polychlorierten Biphenyle (PCB), um die Jahre 2019 bis 2021.

Die PCDD/F- und PCB-Depositionen in den Jahren 2019 bis 2021 lagen vergleichsweise niedriger als in den Jahren davor.

Die PCDD/F- und PCB-Luftkonzentration lagen in den Jahren 2019 bis 2021 auf der Zugspitze in einem ähnlichen Bereich wie in den Jahren davor, auf dem Hohen Sonnblick nahmen die Konzentrationen der PCDD/F in den letzten Jahren leicht, die der PCB deutlich zu.