

Monarpop — Dioxin- und PCB- Messungen in Luft und Deposition



Sonnblick, Weißfluhjoch, Zugspitze

MONARPOP – ERGEBNISSE DER DIOXIN- UND PCB-MESSUNGEN IN LUFT UND DEPOSITION

Sonnblick, Weißfluhjoch, Zugspitze

Peter Weiss
Wolfgang Moche

REPORT
REP-0546

Wien 2015

Projektleitung

Peter Weiss

Autoren

Peter Weiss, Wolfgang Moche

Trajektorienberechnungen zu den Luftmassen-Herkunftsregionen

Bernhard Niedermoser
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
Freisaalweg 16
5020 Salzburg

Probenahme

Wolfgang Moche (Sonnblick)

Gert Jakobi (Zugspitze)
Helmholtz-Zentrum München
Ingolstädter Landstraße 1
D-85764 Neuherberg

Marcus Schaub (Weißfluhjoch)
Eidg. Forschungsanstalt WSL
Zürcherstraße 111
CH-8903 Birmensdorf

Analytik

Andrea Sitka, Martha Schmid, Alexander Gloser, Gerhard Thanner, Karin Engel, Alexandra Messner,
Wolfgang Moche

Lektorat

Maria Deweis

Satz/Layout

Elisabeth Riss

Umschlagfoto

© Wolfgang Moche

Die Studie wurde vom BMLFUW, Abteilung V/5, Dr. Thomas Jakl beauftragt.

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

Impressum

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

Das Umweltbundesamt druckt seine Publikationen auf klimafreundlichem Papier.

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2015

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-99004-357-8

INHALTSVERZEICHNIS

	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	4
	TABELLENVERZEICHNIS	6
	ZUSAMMENFASSUNG	9
1	EINLEITUNG	13
2	METHODIK	14
3	ERGEBNISSE	17
3.1	PCDD/F-Luftkonzentrationen	17
3.1.1	Standortvergleich	19
3.1.2	Auswertungen zur Luftmassenherkunft	20
3.1.3	Saisonalität der Konzentrationen	21
3.1.4	Trends	22
3.2	PCB-Luftkonzentrationen	23
3.2.1	Standortvergleich	27
3.2.2	Auswertungen zur Luftmassenherkunft	27
3.2.3	Saisonalität der Konzentrationen	29
3.2.4	Trends	30
3.3	Zusammenhänge zwischen PCDD/F- und PCB- Luftkonzentrationen, getrennt nach Standorten bzw. nach Luftmassenherkünften	31
3.4	Zusammenhänge der PCDD/F- und PCB- Luftkonzentrationen zwischen den Standorten	34
3.5	PCDD/F-Depositionen	35
3.5.1	Standortvergleich	37
3.5.2	Saisonalität der Konzentrationen	37
3.5.3	Trends	38
3.6	PCB-Depositionen	39
3.6.1	Standortvergleich	41
3.6.2	Saisonalität der Gehalte	41
3.6.3	Trends	42
3.7	Zusammenhänge zwischen PCDD/F- und PCB-Deposition getrennt nach Standorten	42
3.8	Zusammenhänge der PCDD/F- und PCB-Deposition zwischen den Standorten	43
3.9	Zusammenhänge zwischen Luftkonzentration und Deposition	44
4	LITERATURVERZEICHNIS	46

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<i>Abbildung 1: Luft- und Depositionsmessstellen MONARPOP</i>	<i>14</i>
<i>Abbildung 2: Herkunftsregionen für die getrennte Luftsammlung</i>	<i>15</i>
<i>Abbildung 3: OCDD-Luftkonzentrationen an den drei Standorten (ohne Ausreißer)</i>	<i>20</i>
<i>Abbildung 4: PCDD/F-Luftkonzentrationen an den drei Standorten, getrennt nach Luftmassenherkunft</i>	<i>21</i>
<i>Abbildung 5: PCDD/F-Luftkonzentrationen an den drei Standorten, getrennt nach Saison</i>	<i>21</i>
<i>Abbildung 6: Zeitreihe der PCDD/F-Luftkonzentrationen an den drei Standorten</i>	<i>22</i>
<i>Abbildung 7: Zeitreihe der PCDD/F-Luftkonzentrationen in TEQ an den drei Standorten</i>	<i>22</i>
<i>Abbildung 8: PCB-Luftkonzentrationen an den drei Standorten</i>	<i>27</i>
<i>Abbildung 9: PCB-Luftkonzentrationen (Summe sechs Indikator PCB) an den drei Standorten, getrennt nach Luftmassenherkunft</i>	<i>28</i>
<i>Abbildung 10: PCB77-Luftkonzentrationen an den drei Standorten, getrennt nach Luftmassenherkunft (ohne Ausreißer > 300 fg/Nm³)</i>	<i>28</i>
<i>Abbildung 11: Angesaugtes Luftvolumen an den drei Standorten als Indikator für die Häufigkeit des Auftretens von Luftmassen aus den vier Herkunftsregionen</i>	<i>29</i>
<i>Abbildung 12: PCB-Luftkonzentrationen (Summe der Indikator PCB) an den drei Standorten getrennt nach Saison</i>	<i>30</i>
<i>Abbildung 13: PCB118-Luftkonzentrationen (Summe der Indikator PCB) an den drei Standorten getrennt nach Saison für NW-Luftmassenherkünfte</i>	<i>30</i>
<i>Abbildung 14: Zeitreihe der PCB-Luftkonzentrationen (Summe sechs Indikator PCB) an den drei Standorten.....</i>	<i>31</i>
<i>Abbildung 15: Zeitreihe der PCB77-Luftkonzentrationen an den drei Standorten (ohne Sonnblick-Ausreißer in Periode 1012-0513)</i>	<i>31</i>
<i>Abbildung 16: Signifikante Korrelationen zwischen PCDD/F- bzw. PCDF- und PCB-Luftkonzentrationen an den drei Standorten</i>	<i>32</i>

<i>Abbildung 17: Signifikante Korrelationen zwischen PCDD/F- und PCB-Luftkonzentrationen an den drei Standorten bei Luftmassenherkünften aus NW (Sonnblick, Weißfluhjoch) bzw. S (Zugspitze)</i>	<i>33</i>
<i>Abbildung 18: Signifikante Korrelationen zwischen PCDD/F-TEQ-Luftkonzentrationen an den drei Standorten</i>	<i>34</i>
<i>Abbildung 19: Signifikante Korrelationen zwischen PCB-Luftkonzentrationen (Summe sechs Indikator-PCB) an den drei Standorten</i>	<i>34</i>
<i>Abbildung 20: PCDD/F-Deposition an den drei Standorten (ohne Ausreißerwerte beim Sonnblick)</i>	<i>37</i>
<i>Abbildung 21: PCDD/F TEQ-Deposition an den drei Standorten, getrennt nach Saison (ohne Ausreißer beim Sonnblick)</i>	<i>38</i>
<i>Abbildung 22: PCDD/F-Depositionen an den drei Standorten (ohne Ausreißer am Sonnblick in den Perioden 1106-0307 und 0108-0408)</i>	<i>38</i>
<i>Abbildung 23: PCDD/F-Depositionen in TEQ an den drei Standorten (ohne Ausreißer am Sonnblick in den Perioden 1106-0307 und 0108-0408)</i>	<i>39</i>
<i>Abbildung 24: PCB189-Deposition an den drei Standorten</i>	<i>41</i>
<i>Abbildung 25: PCB-Deposition (Summe sechs Indikator PCB) an den drei Standorten (ohne Ausreißer am Sonnblick in der Periode 1106-0307)</i>	<i>42</i>
<i>Abbildung 26: Signifikante Korrelation zwischen PCDD/F- und PCB-Deposition am Sonnblick und an der Zugspitze</i>	<i>43</i>
<i>Abbildung 27: Signifikante Korrelationen zwischen den PCDD/F-TEQ-Depositionen bzw. zwischen den PCB-Depositionen am Sonnblick und auf der Zugspitze</i>	<i>43</i>
<i>Abbildung 28: Signifikante Korrelationen zwischen den mittleren PCDD/F-Luftkonzentrationen (links) bzw. jenen bei nordwestlichen Luftmassenherkünften (rechts) und den PCDD/F-Depositionen auf dem Weißfluhjoch</i>	<i>44</i>
<i>Abbildung 29: Signifikante Korrelationen zwischen den mittleren PCDD/F-Luftkonzentrationen (links) bzw. jenen bei südlichen Luftmassenherkünften (rechts) und den PCDD/F-Depositionen auf der Zugspitze</i>	<i>45</i>

TABELLENVERZEICHNIS

<i>Tabelle 1: Jahresmittelwerte der PCDD/F-Luftkonzentrationen an den einzelnen Standorten</i>	<i>17</i>
<i>Tabelle 2: PCDD/F-Luftkonzentrationen in fg/Nm³ an den einzelnen Standorten, in den einzelnen Perioden und getrennt nach Luftmassenherkünften.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabelle 3: PCDD/F-Luftkonzentrationen in fg TEQ/Nm³ an den einzelnen Standorten, in den einzelnen Perioden¹ und getrennt nach Luftmassenherkünften.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabelle 4: Signifikante Unterschiede zwischen PCDD/F-Luftkonzentrationen nach Luftmassenherkunft</i>	<i>20</i>
<i>Tabelle 5: Signifikante Unterschiede zwischen PCDD/F-Luftkonzentrationen nach Saison und Luftmassenherkünften</i>	<i>21</i>
<i>Tabelle 6: PCB-Luftkonzentrationen (Summe der sechs „Indikator“-PCB) in pg/Nm³ an den einzelnen Standorten, in den einzelnen Perioden und getrennt nach Luftmassenherkünften</i>	<i>24</i>
<i>Tabelle 7: PCB-Luftkonzentrationen (Summe aller dioxinähnlichen PCB mit TEQ) in fg TEQ/Nm³ an den einzelnen Standorten, in den einzelnen Perioden und getrennt nach Luftmassenherkünften</i>	<i>25</i>
<i>Tabelle 8: PCB118-Luftkonzentrationen in fg/Nm³ an den einzelnen Standorten, in den einzelnen Perioden und getrennt nach Luftmassenherkünften</i>	<i>26</i>
<i>Tabelle 9: Jahresmittelwerte der PCB-Luftkonzentrationen (Summe der sechs „Indikator-PCB“) an den einzelnen Standorten.</i>	<i>26</i>
<i>Tabelle 10: Signifikante Unterschiede zwischen PCB-Luftkonzentrationen nach Luftmassenherkunft</i>	<i>28</i>
<i>Tabelle 11: Signifikante Unterschiede zwischen PCB-Luftkonzentrationen nach Saison</i>	<i>29</i>
<i>Tabelle 12: PCDD/F-Depositionen an den einzelnen Standorten in den einzelnen Perioden</i>	<i>36</i>
<i>Tabelle 13: Jahresmittelwerte der PCDD/F-Depositionen an den einzelnen Standorten.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabelle 14: Signifikante Unterschiede zwischen PCDD/F-Deposition nach Saison</i>	<i>38</i>
<i>Tabelle 15: PCB-Depositionen an den einzelnen Standorten in den einzelnen Perioden</i>	<i>40</i>

<i>Tabelle 16: Jahresmittelwerte der PCB-Depositionen (Summe der sechs „Indikator-PCB“) an den einzelnen Standorten.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabelle 17: Signifikante Unterschiede zwischen PCB-Deposition nach Saison</i>	<i>42</i>

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des Projektes MONARPOP werden seit 2005 an den drei Alpengipfeln Sonnblick (A), Weißfluhjoch (CH) und Zugspitze (D) die Luftkonzentrationen und Depositionen von persistenten organischen Schadstoffen (POPs) erfasst. Der vorliegende Bericht enthält die Ergebnisse der gesamten Zeitreihe bis einschließlich 2013 für die polychlorierten Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F) und die polychlorierten Biphenyle (PCB), die jeweils am Umweltbundesamt für alle drei Standorte gemessen werden. Weitere POPs in den Luft- und Depositionsproben werden von den Partnern in Deutschland (Helmholtz-Zentrum München, Bayerische Landesanstalt für Umwelt) und in der Schweiz (EMPA Zürich) analysiert.

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 Standorten 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 Stockholm-Konvention zu persistenten organischen Verbindungen sieht bezüglich der Luftbelastung aber derzeit nur die Messung der Luftkonzentrationen vor.

Hinsichtlich der festgestellten Toxizitätsbelastung anhand der Umrechnung der einzelnen PCDD/F- und PCB-Konzentrationen mit „toxischen Äquivalenten“ (TEQ) ist den PCDD/F sowohl bei der Luftkonzentration als auch bei der Deposition ein deutlich höherer Stellenwert einzuräumen als den PCB.

Die Auswertung der Luftkonzentrationen nach Herkunftsregionen zeigte bei einzelnen PCDD/F-Homologen und PCB-Kongeneren und an einzelnen Standorten eine Abhängigkeit der festgestellten Konzentrationen von der Herkunft der Luftmassen. Auffällig dabei war jedoch, dass signifikant höhere Luftkonzentrationen fast immer aus dem nordost-europäischen Herkunftsgebiet stammten. Insgesamt spielt jedoch die meteorologische Häufigkeit des Eintreffens von Luftmassen aus den untersuchten vier Quellgebieten (Nordwest-Europa, Nordost-Europa, Süd-Europa und sonstige Herkunft) eine größere Rolle bei der Beaufschlagung der Alpen mit PCDD/F und PCB als die festgestellten Konzentrationsunterschiede nach Herkunft. Denn das Eintreffen von Luftmassen aus Nordost-Europa ist bei allen drei Standorten markant seltener als das Eintreffen von Luftmassen aus den anderen drei Herkunftsregionen.

Standortunterschiede in den Luftkonzentrationen wurden bei den PCB festgestellt: Der Sonnblick weist geringere PCB-Luftkonzentrationen auf als die Standorte Weißfluhjoch und Zugspitze. Bei der PCB-Deposition wurde lediglich bei PCB89 ein Standortunterschied festgestellt (Zugspitze > Sonnblick, Weißfluhjoch). Umgekehrt war es bei der PCDD/F-Deposition: Der Sonnblick weist signi-

Konzentration und Deposition von POPs

Bedeutung der Depositionsmessung

Einschätzung der Toxizität

Auswertung nach Herkunftsregionen

fikant höhere Werte auf als die Zugspitze und die Zugspitze signifikant höhere als das Weißfluhjoch. Bei den PCDD/F-Luftkonzentrationen zeigt sich dieser Unterschied nur bei OCDD (Sonnblick, Zugspitze > Weißfluhjoch).

**saisonale
Unterschiede in der
Belastung**

Eine lediglich schwache und statistisch zumeist nicht signifikante Saisonalität der Luftkonzentrationen wurde beobachtet; mit höheren Gehalten einzelner PCDD/F sowohl im Winter als auch im Sommer und höheren PCB-Gehalten zumeist im Sommer. Die saisonalen Unterschiede sind bei PCB tendenziell gleich zu jenen aus Ballungsgebieten, aber deutlich weniger ausgeprägt. Auch bei der PCDD/F-Deposition wurden am Sonnblick und an der Zugspitze höhere Einträge im Winter festgestellt, am Weißfluhjoch jedoch im Sommer – die Unterschiede sind jedoch nur für vereinzelte Kongenere signifikant. Signifikante saisonale Unterschiede in der PCB-Deposition zwischen Sommer- und Winterhalbjahr gab es mit einer Ausnahme (PCB123 am Weißfluhjoch: Winter > Sommer) an keinem der drei Standorte.

Trendbestimmung

Signifikante Ab- oder Zunahmen wurden bei den Luftkonzentrationen nicht nachgewiesen (Ausnahme: Abnahme der PCDF-Luftkonzentration an der Zugspitze). Bis zur Erhebungsperiode 2010 gab es noch eine solche signifikante Abnahme, danach wurden wiederum höhere Luftkonzentrationen bei den PCDD/F und PCB nachgewiesen, sodass der Gesamttrend nicht signifikant ist. Bei den Depositionen zeigte lediglich die Zugspitze bei der Summe PCDD, PCDF, PCDD/F, PCDD/F in TEQ eine signifikante Abnahme im Untersuchungszeitraum.

**Korrelationen
PCDD/F- und PCB**

An den drei Untersuchungsstandorten wurden positive Korrelationen zwischen den PCDD/F- und PCB-**Luftkonzentrationen** nachgewiesen. Somit gehen höhere Luftkonzentrationen bei den PCDD/F auch mit höheren Luftkonzentrationen bei den PCB einher. An den einzelnen Standorten waren vornehmlich die Luftmassenherkunftsregionen Nordwest-Europa (Sonnblick, Weißfluhjoch) und Süd-Europa (Zugspitze) für das Auftreten einer korrelierenden Luftbelastung bei den PCDD/F und PCB verantwortlich.

Auch zwischen den Standorten traten signifikant positive Korrelationen bei den Luftkonzentrationen auf, besonders bei den PCB-Luftkonzentrationen. Somit treten höhere bzw. geringere PCB-Luftkonzentrationen tendenziell jeweils gleichzeitig an den drei Standorten auf.

Im Unterschied zu den Luftkonzentrationen wurden bei der **Deposition** jedoch weniger häufig und schwächere positive Korrelationen zwischen der PCDD/F-Deposition und der PCB-Deposition bzw. zwischen den Schadstoffdepositionen an den drei Standorten festgestellt. Die signifikanten Korrelationen betrafen den Sonnblick und die Zugspitze. Die Deposition der PCDD/F (ausgedrückt in TEQ) bzw. die Deposition der PCB (Indikator PCB und TEQ PCB) korrelierten zwischen Sonnblick und Zugspitze positiv. Aber auch Weißfluhjoch und Zugspitze zeigen eine signifikant positive Korrelation beim PCB-Eintrag (in TEQ). Somit gibt es bei diesen beiden Standorten eine gewisse Parallelität höherer oder geringerer Einträge während gleicher Perioden.

Signifikante positive Korrelationen zwischen den Luftkonzentrationen und den Depositionen konnten während des Beobachtungszeitraums an allen drei Standorten, aber nur bei den PCDD/F, nachgewiesen werden. Sie waren allerdings nicht sehr ausgeprägt. Es betraf PCDD/F-Depositionen und -Luftkonzentrationen bei Luftmassenherkünften aus Nordwest-Europa (Weißfluhjoch) oder aus

Süd-Europa (Zugspitze). Die insgesamt schwachen bis fehlenden (bei den PCB) Korrelationen zwischen Luftkonzentration und Deposition der untersuchten Schadstoffe zeigen jedoch deutlich, dass die Luftkonzentration nur einen ungenügenden Rückschluss auf den Eintrag dieser Schadstoffe in die Landschaft zulässt. Dieser wird maßgeblich durch die Depositionswerte charakterisiert.

1 EINLEITUNG

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/>). 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. Daher liegt mittlerweile für diese drei Standorte eine Zeitreihe von 2005 bis 2013 für Luft- und -Depositionsergebnisse persistenter organischer Schadstoffe vor. Das Umweltbundesamt untersuchte die PCDD/F und PCB in diesen Proben. PAH, Pestizide und 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 fasst die Ergebnisse der Luft- und Depositionsmessungen auf PCDD/F und PCB von 2005 bis 2013 an den drei Alpengipfeln Sonnblick (A), Weißfluhjoch (CH) und Zugspitze (D) im Rahmen des Projektes MONARPOP zusammen.

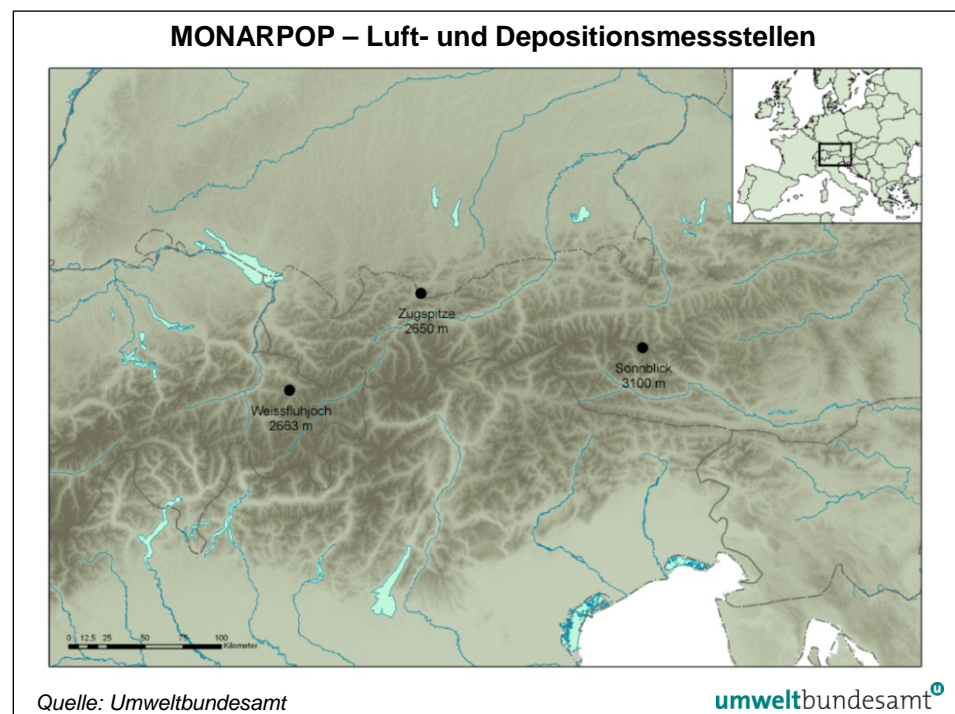
Ziele von MONARPOP

2 METHODIK

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 OFFENTHALER et al. (2008) im Detail beschrieben. Sie werden daher im vorliegenden Bericht nur überblicksmäßig dargestellt.

An den drei Alpengipfeln Sonnblick (A), Weißfluhjoch (CH) und Zugspitze (D) werden aktiv mit High-Vol-Sammlern Luftproben und mit Depo-Sammlern Depositionsproben gewonnen (siehe Abbildung 1). Die Probenahme erfolgt kontinuierlich und alle drei bis vier Monate werden die Filter der Sammler gewechselt, aufbereitet und analysiert.

Abbildung 1:
Luft- und
Depositionsmessstellen
MONARPOP.



Luftprobennahme getrennt nach Herkunftsregionen

Die Luftprobennahme erfolgt getrennt nach vier Filtern, wobei jeder Filter eine unterschiedliche Herkunftsregion der an den Gipfeln ankommenden Luftmassen repräsentiert. Die Herkunftsregionen der Luftmassen werden mittels Trajektorienvorhersagen der Zentralanstalt für Meteorologie täglich bestimmt, und die dementsprechend zu beprobenden Filter der Sammler mittels Fernsteuerung in täglicher Auflösung automatisch gesteuert bzw. aktiviert. Die drei Herkunftsregionen von Luftmassen, nach denen getrennt gesammelt wird, umfassen die nordwest-europäische Region (näherungsweise Norddeutschland, Benelux-Staaten), die nordost-europäische Region (näherungsweise Polen, Tschechien, Slowakei) und die süd-europäische Region (Norditalien) (siehe Abbildung 2). Alle Luftmassen, die aufgrund der Verweilzeiten oder Herkünfte nicht diesen drei Regionen zugeordnet werden können, werden gemeinsam auf einem vierten Filter („undefined“; sonstiges Herkunftsgebiet) gesammelt.



Abbildung 2:
Herkunftsregionen für
die getrennte
Luftsammlung
(NW = Nordwest,
NE = Nordost, S = Süd).

Im Zuge der Fortführungsmessungen wurde ein Fehler bei der Erfassung der gesaugten Volumina durch den High-Vol-Sammler festgestellt. Die in der ersten MONARPOP-Messperiode (bis Mitte 2007) gemessenen Gasvolumina der Sammler und die darauf basierenden publizierten PCDD/F- und PCB-Luftkonzentrationen (OFFENTHALER et al. 2008) wurden deshalb korrigiert. Aus diesem Grund unterscheiden sich die in diesem Bericht enthaltenen PCDD/F- und PCB-Luftkonzentrationen dieser ersten Messperiode von jenen in OFFENTHALER et al. (2008).

Im nachfolgenden Ergebnisteil werden, aufgrund der besseren Übersichtlichkeit, in erster Linie Summengehalte der PCDD/F und PCB angegeben. Für die Darstellung von Trends, der Jahresgehalte und der Gehalte der Messperioden wur-

den zudem aus den vorhandenen Einzelergebnissen je Windmassenherkunft gewichtete Mittel gerechnet, entsprechend den zeitlichen Anteilen der Einzelwerte an der betrachteten Periode.

Die statistischen Tests wurden mit der Software SPSS durchgeführt. Entsprechend den Daten (normalverteilt oder nicht) oder den Fragestellungen wurden Tests für normalverteilte Variablen oder nichtparametrische Test für unabhängige oder verbundene Stichproben bzw. normale oder Rangkorrelationen gerechnet.

3 ERGEBNISSE

3.1 PCDD/F-Luftkonzentrationen

Die PCDD/F-Luftkonzentrationen an den drei hochalpinen Standorten sind erwartungsgemäß um eine bis zwei Größenordnungen geringer als jene in Ballungsgebieten oder nahe Emittenten. Am Zöbelboden, einem im Waldbereich gelegenen Hintergrundstandort in den Nördlichen Kalkalpen Österreichs, wurden PCDD/F-Konzentrationen in einer ähnlichen Größenordnung wie an den drei untersuchten hochalpinen Standorten gemessen (MOCHE & THANNER 2003). In den USA wurden im Rahmen des NDAMN-Monitoringprogrammes PCDD/F-Luftkonzentrationen von 6–15 fg TEQ/m³ in ländlichen Gebieten und von 0,1–3 fg TEQ/m³ in entlegenen Gebieten gemessen (UNEP 2009). Die PCDD/F-Luftgehalte an den drei Alpengipfeln entsprechen etwa dem Konzentrationsbereich entlegener Gebiete der USA (siehe Tabelle 2).

PCDD/F-Luftkonzentrationen (JMW)						
Jahr	Sonnblick		Weißfluhjoch		Zugspitze	
	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

*Tabelle 1:
Jahresmittelwerte der
PCDD/F-Luft-
konzentrationen an den
einzelnen Standorten
(Quelle:
Umweltbundesamt).*

Tabelle 2: PCDD/F-Luftkonzentrationen in fg/Nm³ an den einzelnen Standorten, in den einzelnen Perioden¹ (MMJJ-MMJJ) und getrennt nach Luftmassenherkünften (NW = Nordwest, NE = Nordost, S = Süd, undefined = keine der drei Regionen, m = gewichteter Periodenmittelwert)² (Quelle: Umweltbundesamt).

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	38,7	7,7	87,7	35,6	38,8	127,5	94,7	109,8	122,0	116,9	87,6	39,9	172,4	71,3	89,2
0306-0706	9,4	5,9	5,4	3,2	6,0	18,7	57,0	17,8	30,4	26,0	13,7	21,9	28,2	0,0	18,5
0706-1106	110,7	290,0	211,0	132,9	158,3	14,9		49,0		22,7	145,3	22,5	35,2	16,5	71,4
1106-0307	75,7	54,1	56,6	120,9	81,2	76,0	123,8	98,2	84,5	89,1	119,8	202,0		138,8	147,6
0307-0607	60,3	176,0	103,6	145,9	104,2	94,9	90,3	100,9	163,7	101,4	140,3	401,3	262,2		256,8
0607-0907	51,8	92,2	55,6	75,0	62,9	252,7		94,6	59,7	119,1	153,5	47,6	250,0	63,7	116,8
0907-0108	74,0	90,3	40,0	48,7	63,7	36,7	60,2	76,2	90,3	59,5					
0108-0408	49,9	74,5	83,7	88,8	74,2	81,0		35,2	33,7	50,6		77,6			77,6
0408-0708	110,0	52,5	84,4	58,8	77,1						93,0	91,0	47,7	0,0	57,0
0708-1108	44,5	89,1	46,0		53,7								58,8		58,8
1108-0309	24,7	86,5		25,2	39,2						29,2	74,8	21,1	614,0	129,0
0309-0609	4,7	88,5	52,1	25,7	36,7	53,8	25,4	21,7	26,4	24,7	44,9	99,5	19,9		43,7
0609-0909	53,1	1.532,0	43,9	31,5	215,4		14,0	3,3		11,3	15,2	51,6	36,9	66,8	37,1
0909-0110	23,7	12,8		34,9	28,5	32,0		40,5	39,9	39,5	50,9	22,0	15,9	71,5	43,0
0110-0410	28,3	28,5		167,2	77,9	15,8			26,4	18,8		25,0	34,7	17,9	24,8
0410-0810	31,0	17,3	62,4	28,9	37,5	2,3	45,9	13,1	66,0	17,1	18,5	25,2	19,6	37,2	21,8
0810-1110	89,0	71,0	27,0	54,0	59,2										
1110-0411	38,0	45,0		520,0	129,3	19,0	120,0	24,0	52,0	35,6	35,0	66,0	130,0	5,5	49,8
0411-1011	77,0	52,0	32,0	29,0	47,5	36,0	76,0	64,0	27,0	44,6	40,0	130,0	44,0	86,0	62,6
1011-0512	37,0	48,0	30,0	88,0	45,9	36,0	97,0	39,0	36,0	45,3	42,0	76,0	16,0	24,0	37,6
0512-1012	800,0	350,0	29,0	220,0	195,0	56,0	460,0		66,0	103,2	110,0		62,0	83,0	78,4
1012-0513	82,0	56,0		67,0	69,5	98,0	180,0	62,0	36,0	75,5	74,0	70,0	70,0	100,0	78,4
0513-1013	39,0	29,0	13,0	65,0	32,8	52,0	320,0	250,0	300,0	172,5	20,0	200,0	44,0	61,0	51,7
Min	4,7	5,9	5,4	3,2	6,0	2,3	14,0	3,3	26,4	11,3	13,7	21,9	15,9	0,0	18,5
Max	800	1532	211	520	215	252	460	250	300	172	153	401	262	614	256
Median	49,9	56,0	49,1	61,9	62,9	44,3	92,5	49,0	52,0	45,3	47,9	70,0	44,0	63,7	58,8

¹ An einzelnen Standorten kann es in einzelnen Perioden leichte Abweichungen von den in der Tabelle angegebenen Periodenzeiträumen geben.

² Ursachen für fehlende Werte können sein:

- 1) keine Messung aufgrund von beeinträchtigenden Arbeiten am Standort (z. B. Renovierungsarbeiten am Weißfluhjoch);
- 2) Sammlerausfall aufgrund von Störungen;
- 3) Ausfall der Probe aufgrund von Schäden bei Probenahme, Transport oder Probenaufbereitung;
- 4) geringe oder gar keine Sammelzeiten bzw. -volumina aufgrund selten oder nicht auftretender Herkunft der Luftmassen in der Messperiode und
- 5) Verwerfen unplausibler Werte.

Tabelle 3: PCDD/F-Luftkonzentrationen in fg TEQ/Nm³ an den einzelnen Standorten, in den einzelnen Perioden¹ (MMJJ-MMJJ) und getrennt nach Luftmassenherkünften (NW = Nordwest, NE = Nordost, S = Süd, undefined = keine der drei Regionen, m = gewichteter Periodenmittelwert)² (Quelle: Umweltbundesamt).

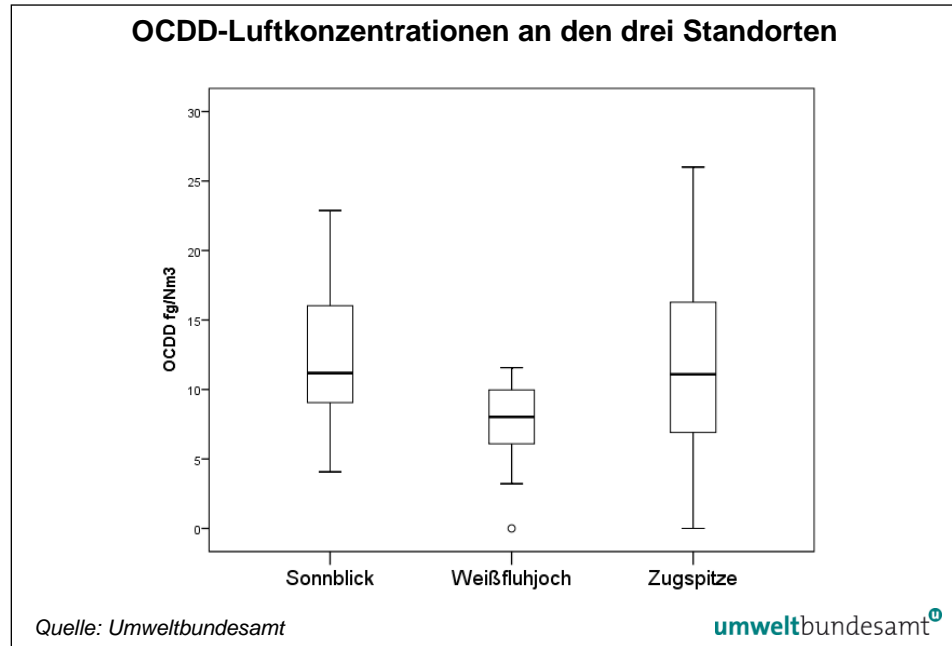
PCDD/F-Luftkonzentrationen (fg TEQ/Nm ³)															
Periode	Sonnblick					Weißfluhjoch					Zugspitze				
	Luftmassenherkunft					Luftmassenherkunft					Luftmassenherkunft				
	NW	NE	S	unde- fined	m	NW	NE	S	unde- fined	m	NW	NE	S	unde- fined	m
1205-0306	0,54	0,00	1,05	0,44	0,48	1,85	1,91	1,58	1,19	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
Min	0,03	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	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	0,54	0,48	0,37	0,42	0,52	0,40	0,92	0,61	0,40	0,51	0,54	0,63	0,41	0,23	0,71

3.1.1 Standortvergleich

Keiner der drei Standorte ist bei den PCDD/F-Luftkonzentrationen, ausgedrückt als Summe PCDD/F oder in TEQ, im Beobachtungszeitraum signifikant höher oder niedriger belastet (siehe Tabelle 2 bis Tabelle 1, siehe auch Kapitel 3.1.4). Lediglich bei Octachlorodibenzodioxin (OCDD) weisen der Sonnblick und die Zugspitze signifikant höhere Konzentrationen als das Weißfluhjoch auf (siehe Abbildung 3). Sonst gab es bei keinem der untersuchten Dioxine oder Furane bzw. bei keiner Homologengruppe signifikante standörtliche Unterschiede in den Luftkonzentrationen.

**keine signifikanten
Unterschiede**

Abbildung 3:
OCDD-Luft-
konzentrationen an den
drei Standorten (ohne
Ausreißer).



3.1.2 Auswertungen zur Luftmassenherkunft

**signifikante
Unterschiede**

Bei einzelnen Dioxinen und Furanen wurden signifikant unterschiedliche Gehalte in den Luftkonzentrationen in Abhängigkeit von der Herkunft der Luftmassen festgestellt (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Signifikante Unterschiede zwischen PCDD/F-Luftkonzentrationen nach Luftmassenherkunft (NW = Nordwest, NE = Nordost, S = Süd, undefined = keine der drei Regionen) (Quelle: Umweltbundesamt).

Sonnblick	Weißfluhjoch	Zugspitze
OCDD, Σ PCDD: undefined > S	2,3,7,8-TCDF, Σ PCDD, Σ PCDD/F: NE > NW OCDD, Σ PCDD: NE > S 2,3,7,8-TCDF, Σ PCDD: NE > undefined	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF: S > undefined

Bei der Summe der PCDD/F (gesamt und ausgedrückt in TEQ) wurden aber nur für das Weißfluhjoch signifikante herkunftsspezifische Luftkonzentrationsunterschiede, und zwar zwischen den Herkunftsn NW und NE festgestellt (siehe Tabelle 4, Abbildung 4). Demnach ist vereinzelt die Herkunftsregion für vergleichsweise höhere PCDD/F-Luftkonzentrationen an den Alpengipfeln verantwortlich. Aufgrund des kontinuierlichen Luftmonitorings repräsentiert dies mittlerweile einen Untersuchungszeitraum von mehreren Jahren (2005 bis 2013).

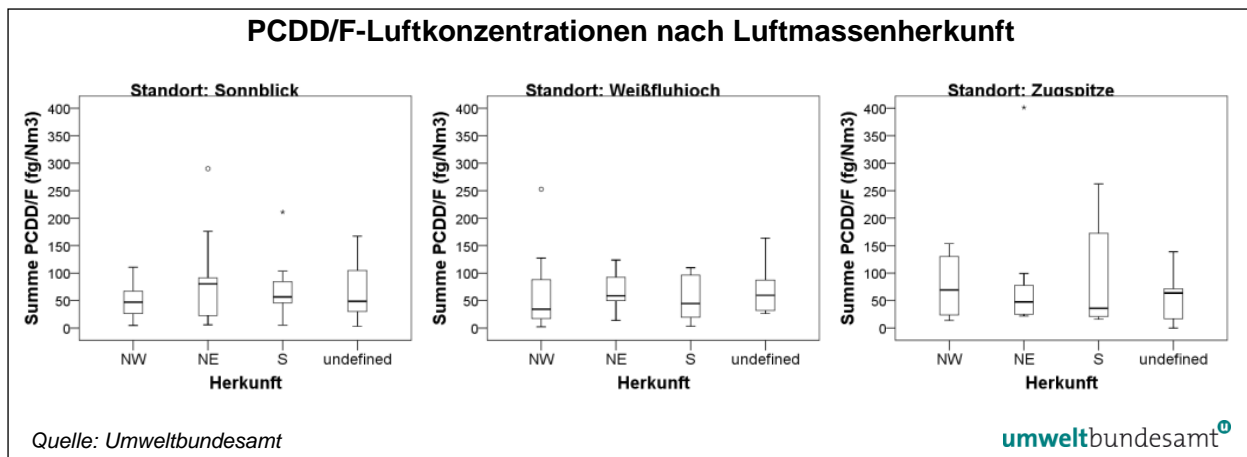


Abbildung 4: PCDD/F-Luftkonzentrationen an den drei Standorten, getrennt nach Luftmassenherkunft (NW = Nordwest, NE = Nordost, S = Süd, undefined = keine der drei Regionen).

3.1.3 Saisonalität der Konzentrationen

Von Untersuchungen in Ballungszentren ist bekannt, dass die PCDD/F-Luftkonzentrationen aufgrund des Hausbrands eine typische Saisonalität aufweisen, mit höheren Gehalten im Winter bzw. während der Heizperiode (MOCHE UND THANNER 2003). Ein solcher Unterschied wurde an den drei Alpengipfeln nicht festgestellt (siehe Abbildung 5). Lediglich am Weißfluhjoch und an der Zugspitze wurden bei Herkünften aus Süd-Europa signifikant höhere Gehalte im Winter gemessen (siehe Tabelle 5). Am Sonnblick wurden bei einzelnen PCDD/F sogar höhere Gehalte für den Sommer nachgewiesen (siehe Tabelle 5).

kaum signifikante Unterschiede

Tabelle 5: Signifikante Unterschiede zwischen PCDD/F-Luftkonzentrationen nach Saison (SO = Sommerhalbjahr, WI = Winterhalbjahr) und Luftmassenherkünften (NE = Nordost, S = Süd) (Quelle: Umweltbundesamt).

Herkunft	Sonnblick	Weißfluhjoch	Zugspitze
alle	12378-PeCDF: SO > WI		
NE	12378-PeCDF: SO > WI		
S	2378-TCDF: SO > WI	Σ PCDD/F in TEQ: WI > SO	OCDD: WI > SO

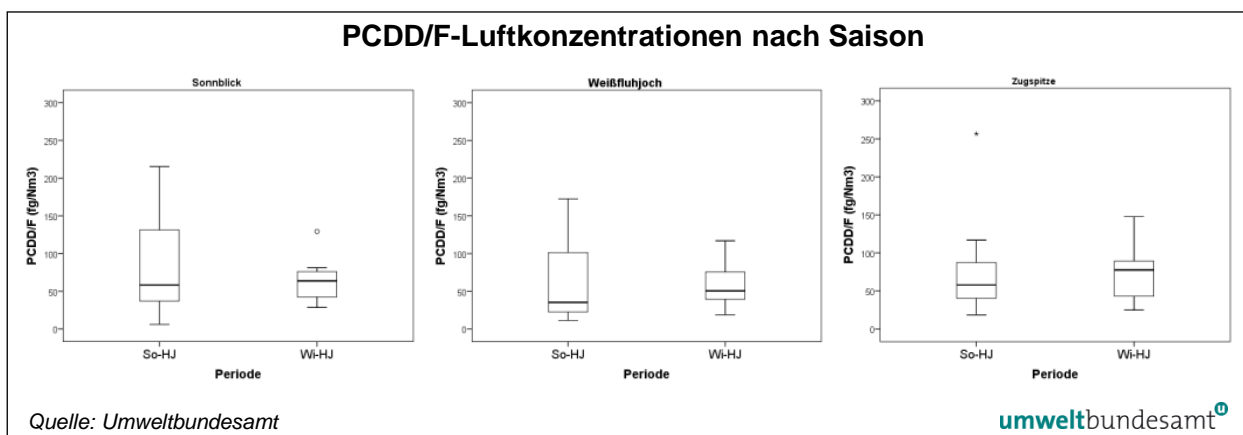


Abbildung 5: PCDD/F-Luftkonzentrationen an den drei Standorten, getrennt nach Saison (So-HJ = Sommerhalbjahr, Wi-HJ = Winterhalbjahr).

3.1.4 Trends

Noch bis zur Erhebungsperiode 2010 wurde an zwei Standorten (Weißfluhjoch, Zugspitze) ein signifikanter Trend der Abnahme der PCDD/F-Luftkonzentrationen festgestellt. In den nachfolgenden drei Messjahren wurden jedoch wiederum etwas höhere Gehalte für einzelne Perioden nachgewiesen, sodass es – mit Ausnahme der Abnahme der Summe PCDF auf der Zugspitze – keine signifikante Tendenz zur Abnahme der PCDD/F-Luftkonzentrationen gibt (siehe Abbildung 6, Abbildung 7).

kein signifikanter Trend

Abbildung 6:
Zeitreihe der PCDD/F-Luftkonzentrationen an den drei Standorten.

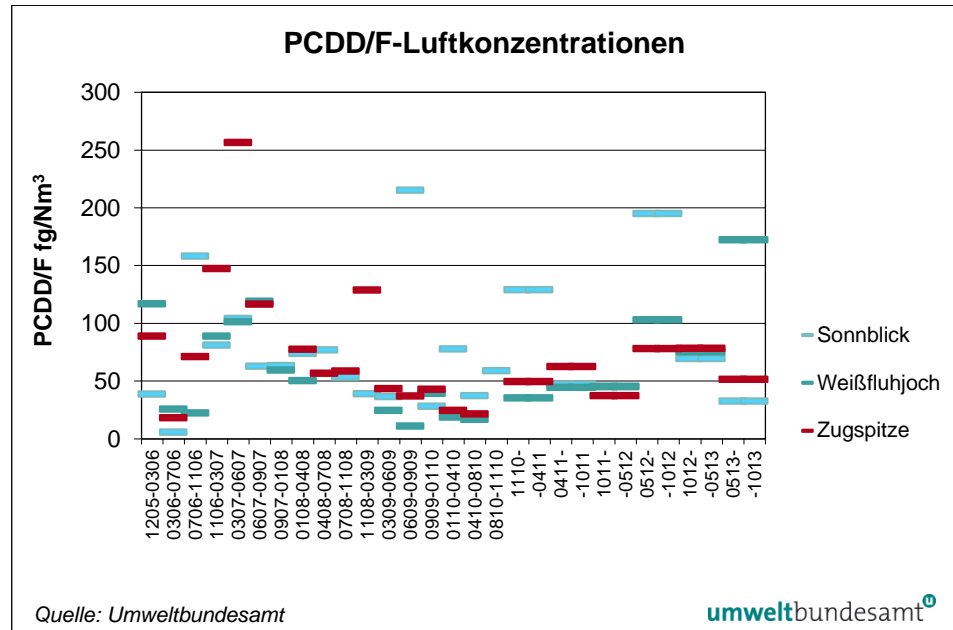
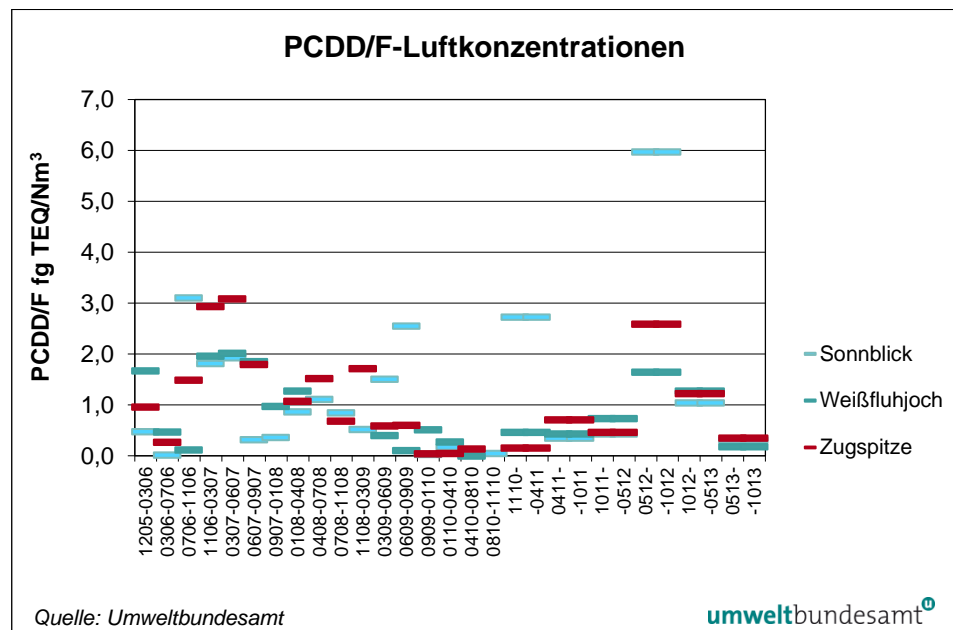


Abbildung 7:
Zeitreihe der PCDD/F-Luftkonzentrationen in TEQ an den drei Standorten.



3.2 PCB-Luftkonzentrationen

Die PCB-TEQ-Luftkonzentrationen sind deutlich geringer als die der PCDD/F-TEQ (vgl. Tabelle 7 mit Tabelle 3). Somit hat die Dioxinbelastung der Luft in Bezug auf dioxinähnliche Toxizität einen höheren Stellenwert als die PCB-Luftbelastung. Ähnlich wie bei den PCDD/F sind die PCB-Luftkonzentrationen an den drei hochalpinen Messstellen erwartungsgemäß um eine Größenordnung geringer als in Ballungsräumen (MOCHE & THANNER 2003). Für die Hintergrundmessstellen des Arktischen Monitoringprogrammes (AMAP) wurden PCB-Luftkonzentrationen im Bereich von 5–20 pg/m³ (Summe von 7 bzw. 10 AMAP PCBs, die die Indikator-PCBs inkludieren; UNEP 2009). Die drei hochalpinen Stationen weisen ähnliche Konzentrationen wie diese arktischen Messstellen auf (siehe Tabelle 6). Das US NDAMN-Monitoringprogramm wies Luftkonzentrationen von dioxinähnlichen PCBs von 0,5–1,0 fg TEQ/m³ in ländlichen Gebieten und von 0,1–0,5 fg/TEQ m³ in entlegenen Gebieten nach (UNEP 2009). Der Bereich der PCB-Konzentrationen an den drei Alpengipfeln liegt in ähnlicher Höhe (siehe Tabelle 7).

Tabelle 6: PCB-Luftkonzentrationen (Summe der sechs „Indikator“-PCB) in pg/Nm³ an den einzelnen Standorten, in den einzelnen Perioden³ (MMJJ-MMJJ) und getrennt nach Luftmassenherkünften (NW = Nordwest, NE = Nordost, S = Süd, undefined = keine der drei Regionen, m = gewichteter Periodenmittelwert)⁴ (Quelle: Umweltbundesamt).

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
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	23,6	20,8	94,3	29,7	63,3	24,8	18,6	63,8	30,7	26,8	22,8
Median	5,3	6,6	5,0	7,1	6,2	6,8	18,6	8,0	9,7	7,6	8,5	12,7	7,0	7,9	10,5

³ An einzelnen Standorten kann es in einzelnen Perioden leichte Abweichungen von den in der Tabelle angegebenen Periodenzeiträumen geben.

⁴ Ursachen für fehlende Werte können sein:

- 1) keine Messung aufgrund von beeinträchtigenden Arbeiten am Standort (z. B. Renovierungsarbeiten am Weißfluhjoch);
- 2) Sammlerausfall aufgrund von Störungen;
- 3) Ausfall der Probe aufgrund von Schäden bei Probenahme, Transport oder Probenaufbereitung;
- 4) geringe oder gar keine Sammelzeiten bzw. -volumina aufgrund selten oder nicht auftretender Herkunft der Luftmassen in der Messperiode und
- 5) Verwerfen unplausibler Werte.

Tabelle 7: PCB-Luftkonzentrationen (Summe aller dioxinähnlichen PCB mit TEQ) in fg TEQ/Nm³ an den einzelnen Standorten, in den einzelnen Perioden³ (MMJJ-MMJJ) und getrennt nach Luftmassenherkünften (NW = Nordwest, NE = Nordost, S = Süd, undefined = keine der drei Regionen, m = gewichteter Periodenmittelwert)^{4,5} (Quelle: Umweltbundesamt).

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
Min (seit 0607)	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 (seit 0607)	0,92	1,20	0,54	0,46	0,47	1,33	4,30	1,13	0,50	0,65	1,41	4,60	1,68	1,40	1,25
Median (seit 0607)	0,10	0,09	0,08	0,12	0,13	0,20	0,70	0,20	0,15	0,33	0,21	0,25	0,38	0,35	0,39

⁵ Die Perioden mit kursiv geschriebenen Gehalten in Tabelle 7 sind bei den Gesamt-PCB-TEQ-Konzentrationen nicht mit den Perioden mit normal geschriebenen Gehalten vergleichbar, da in den normal geschriebenen Perioden aufgrund tieferer Nachweisgrenzen jene TE-PCB mit tendenziell geringen Konzentrationen öfter nachweisbar waren, was sich auf die Gesamt-TEQ-Konzentration auswirkt.

Tabelle 8: PCB118-Luftkonzentrationen in fg/Nm³ an den einzelnen Standorten, in den einzelnen Perioden³ (MMJJ-MMJJ) und getrennt nach Luftmassenherkünften (NW = Nordwest, NE = Nordost, S = Süd, undefined = keine der drei Regionen, m = gewichteter Periodenmittelwert)⁴ (Quelle: Umweltbundesamt).

PCB118-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	210	510	620	340	366	810	1.100	1.100	1.100	979	490	970	1.100	1.000	794
0306-0706	250	220	320	260	269	580	2.200	1.000	1.100	1.082	370	530	430	440	440
0706-1106	280	590	280	300	302	100		120		105	370	530	330	340	370
1106-0307	120	210	150	220	162	120	230	130	110	128	91		130	72	92
0307-0607	370	430	540	1.400	491	610	1.200	860	1.300	887	710	750	530		648
0607-0907	210	330	210	240	226	760		730	540	674	390	320	1.000	260	459
0907-0108	110	120	170	390	171		460	250	490	351					
0108-0408	350	700	520	340	433							620			620
0408-0708	830	800	160	490	432						610	610	370	1.600	615
0708-1108	200	270	270	380	269								400		400
1108-0309	86	470			206						100	140	110	140	116
0309-0609	150	470	110	160	165	500	820	160	490	277	380	260	160		229
0609-0909	260	220	350	320	299		580	670		603	230	360	280	470	309
0909-0110	74	200	81	56	79	480		170	85	152	98	310	97	100	119
0110-0410	66	110		79	79	120			140	126		120	66	240	161
0410-0810	120	99	210	140	145	83	390	440	1.000	354	230	390	120	220	206
0810-1110	320	330	250	340	302										
1110-0411	140	150		170	149	240	5.400	880	410	896	160	4.100	270	820	493
0411-1011	320	420	170	540	336	900	2.500	700	810	942	570	760	540	1.000	669
1011-0512	240	300	320	300	290	510	740	460	450	507	520	3.400	670	740	1.065
0512-1012	3.200	0	750	1.500	1.068	86	6.400	450	620	776	860		340	540	511
1012-0513	170	130		260	183	540	920	170	460	412	280	470	260	310	299
0513-1013	390	180	180		247	390	1.100	550	490	499	370	1.600	430	930	602
Min	66	0	81	56	79	83	230	120	85	105	91	120	66	72	92
Max	3.200	800	750	1.500	1.068	900	6.400	1.100	13.00	1.082	860	4.100	1.100	1.600	1.065
Median	210	270	250	300	269	490	1.010	460	490	503	370	530	335	440	440

Tabelle 9:
Jahresmittelwerte der
PCB-Luft-
konzentrationen
(Summe der sechs
„Indikator-PCB“) an den
einzelnen Standorten.

	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

3.2.1 Standortvergleich

Bei der Summe der sechs Indikator-PCB- und bei den PCB TEQ-Luftkonzentrationen weisen im Beobachtungszeitraum das Weißfluhjoch und die Zugspitze jeweils signifikant höhere Luftkonzentrationen als der Sonnblick auf (siehe Abbildung 8). Bei den Indikator-PCB waren v. a. die Ergebnisse von PCB101 und PCB138 für dieses Ergebnis verantwortlich. Zwischen Weißfluhjoch und Zugspitze bestehen keine signifikanten Unterschiede in der PCB-Luftkonzentration.

**signifikante
Unterschiede**

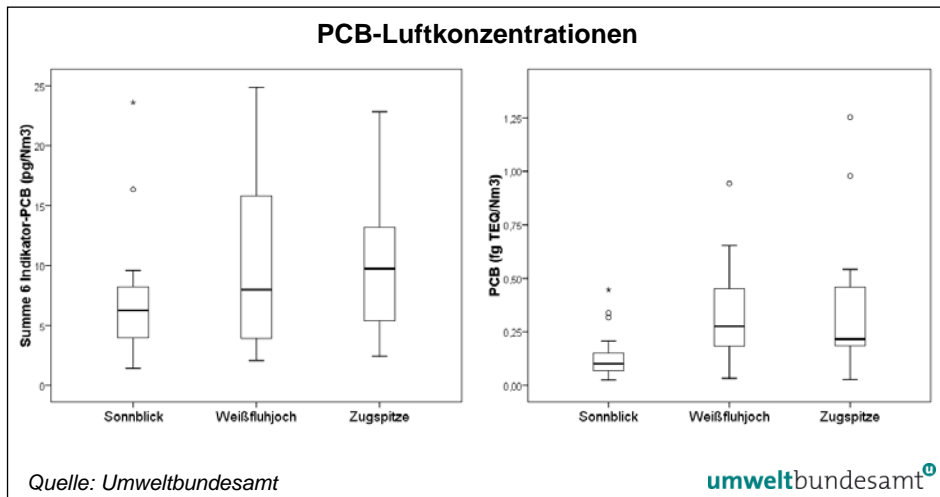


Abbildung 8:
PCB-Luft-
konzentrationen an den
drei Standorten.

3.2.2 Auswertungen zur Luftmassenherkunft

An allen drei Standorten wurden bei PCBs signifikante Unterschiede in den Luftkonzentrationen in Abhängigkeit von der Herkunft der Luftmassen festgestellt (siehe Tabelle 10).

**signifikante
Unterschiede**

Am Sonnblick waren die Luftkonzentrationen von PCB77 bei NE-Herkünften signifikant höher als bei NW-Herkünften der Luftmassen (siehe Tabelle 10, Abbildung 9, Abbildung 11).

Am Weißfluhjoch waren die Luftkonzentrationen von zahlreichen PCBs bei NE-Herkünften höher als bei anderen Herkünften der Luftmassen (siehe Tabelle 10, Abbildung 9, Abbildung 10).

Auch an der Zugspitze wiesen zahlreiche PCBs höhere Konzentrationen bei NE-Herkünften auf als bei anderen Herkünften der Luftmassen (siehe Tabelle 10, Abbildung 9, Abbildung 10).

Somit fällt auf, dass besonders am Weißfluhjoch und an der Zugspitze NE-Herkünfte der Luftmassen (Großregion Nordosteuropa) tendenziell zu signifikant höheren PCB-Luftkonzentrationen an den drei Alpengipfeln beitragen als Luftmassenherkünfte aus anderen Regionen.

Allerdings ist das Eintreffen von Luftmassen aus der NE-Herkunftsregion bei allen drei Standorten markant seltener als das Eintreffen von Luftmassen aus den anderen drei Herkunftsregionen (Abbildung 11). Somit ist die NE-Herkunftsregion – trotz höherer Konzentrationen bei einzelnen PCBs – insgesamt nicht für einen höheren Schadstoffeintrag an den Alpengipfeln verantwortlich.

Tabelle 10: Signifikante Unterschiede zwischen PCB-Luftkonzentrationen nach Luftmassenherkunft (NW = Nordwest, NE = Nordost, S = Süd, undefined = keine der drei Regionen).

Sonnblick	Weißfluhjoch	Zugspitze
PCB77: NE > NW	Fast alle PCB: NE > NW Rd. die Hälfte der PCB: NE > S, NE > undefined	Rd. die Hälfte der PCB: NE > NW Fast alle PCB: NE > S PCB28, PCB52, Σ Indikator PCB: NE > undefined

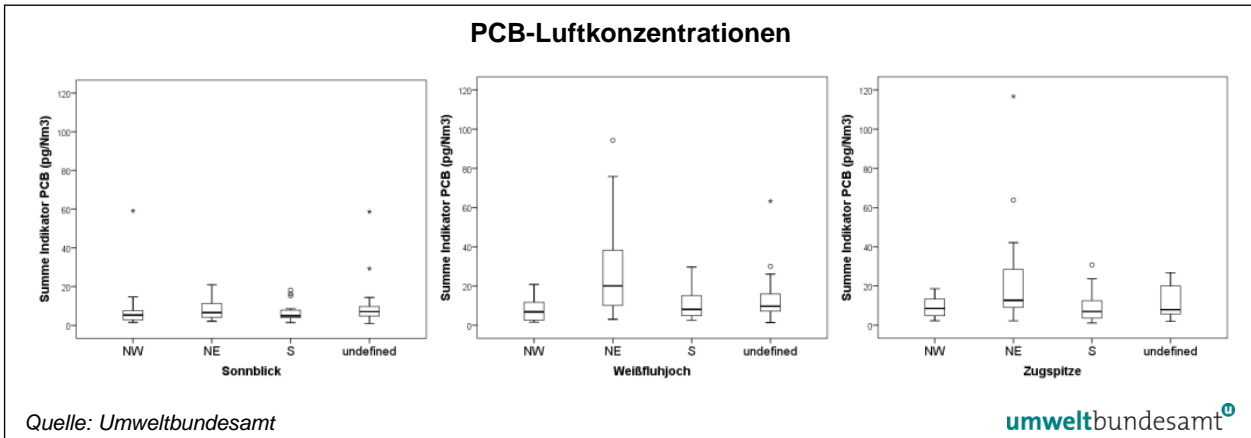


Abbildung 9: PCB-Luftkonzentrationen (Summe sechs Indikator PCB) an den drei Standorten, getrennt nach Luftmassenherkunft (NW = Nordwest, NE = Nordost, S = Süd, undefined = keine der drei Regionen).

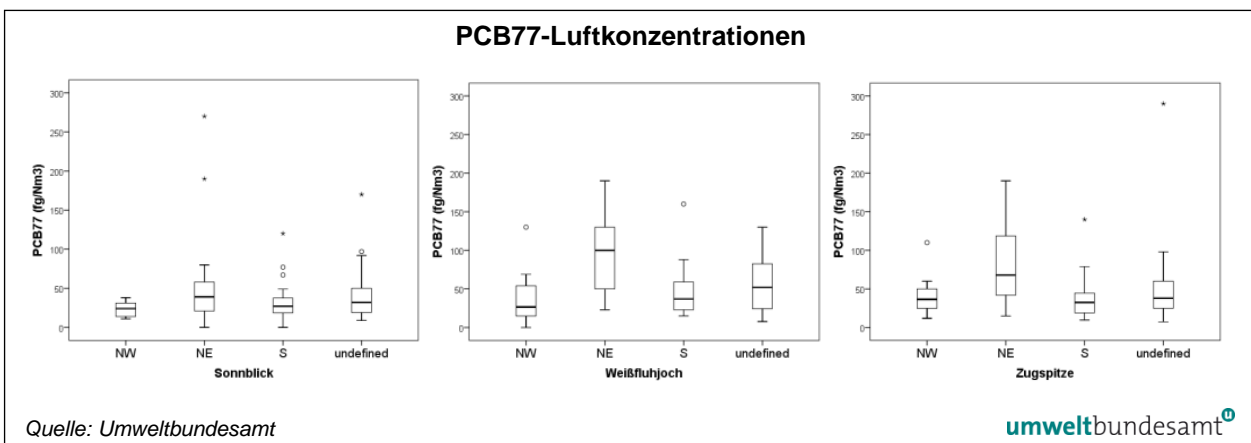


Abbildung 10: PCB77-Luftkonzentrationen an den drei Standorten, getrennt nach Luftmassenherkunft (ohne Ausreißer > 300 fg/Nm³) (NW = Nordwest, NE = Nordost, S = Süd, undefined = keine der drei Regionen).

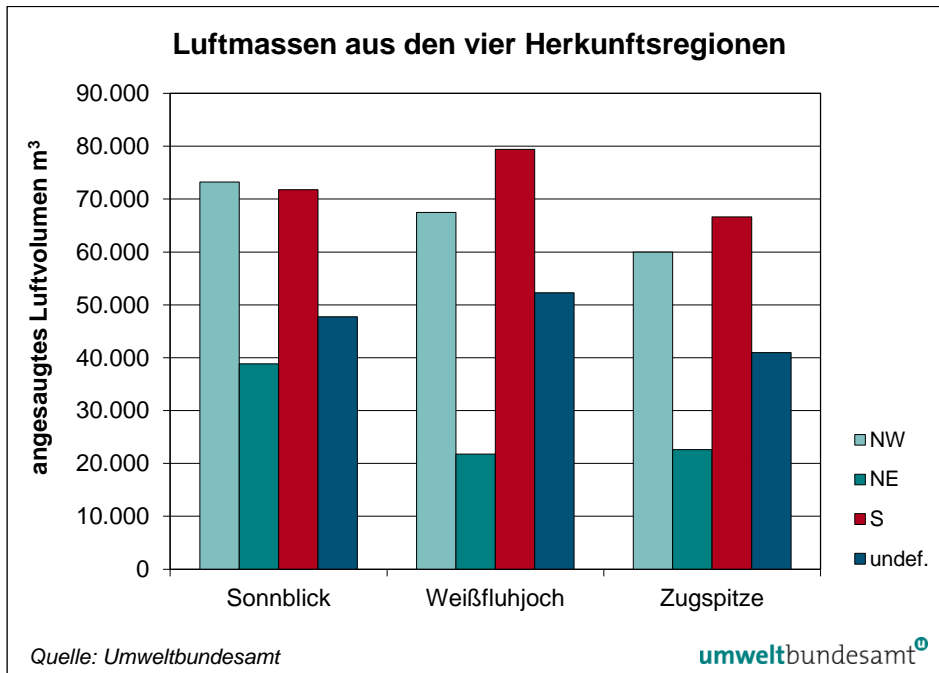


Abbildung 11: Angesaugtes Luftvolumen an den drei Standorten als Indikator für die Häufigkeit des Auftretens von Luftmassen aus den vier Herkunftsregionen (NW = Nordwest, NE = Nordost, S = Süd, undef. = keine der drei Regionen).

3.2.3 Saisonalität der Konzentrationen

Gemäß Abbildung 12 und Abbildung 13 ist der Median der Luftkonzentrationen der PCB-Summen an den Standorten Sonnblick und Zugspitze im Sommer höher als im Winter. Höhere PCB-Luftkonzentrationen im Sommer als im Winter wurden auch bei Untersuchungen in Ballungsräumen nachgewiesen und mit einem stärkeren Ausgasen von PCB aus Produkten, Deponien oder Böden aufgrund höherer sommerlicher Temperaturen in Zusammenhang gebracht (MOCHE & THANNER 2003). Allerdings sind diese höheren Sommer-PCB-Luftkonzentrationen nur bei einzelnen Substanzen und bei einzelnen Luftmassen-Herkünften signifikant (siehe Tabelle 11). Einzelne PCB zeigen am Sonnblick und am Weißfluhjoch bei einzelnen Herkünften auch die umgekehrte Tendenz – also höhere Gehalte im Winter (siehe Tabelle 11).

geringe signifikante Unterschiede

Tabelle 11: Signifikante Unterschiede zwischen PCB-Luftkonzentrationen nach Saison (SO = Sommerhalbjahr, WI = Winterhalbjahr) in den einzelnen Luftmassenherkünften (NW = Nordwest, NE = Nordost, S = Süd, undefined = keine der drei Regionen) (Quelle: Umweltbundesamt).

Herkunft	Sonnblick	Weißfluhjoch	Zugspitze
NW	PCB77, PCB105, PCB118, PCB28, PCB52, Σ Indikator PCB: SO > WI	PCB81, PCB126: WI > SO	PCB77, PCB105, PCB118, PCB28, PCB52: SO > WI
NE	PCB114: WI > SO		
undefined		PCB77, PCB105, PCB118, PCB52, PCB101: SO > WI	

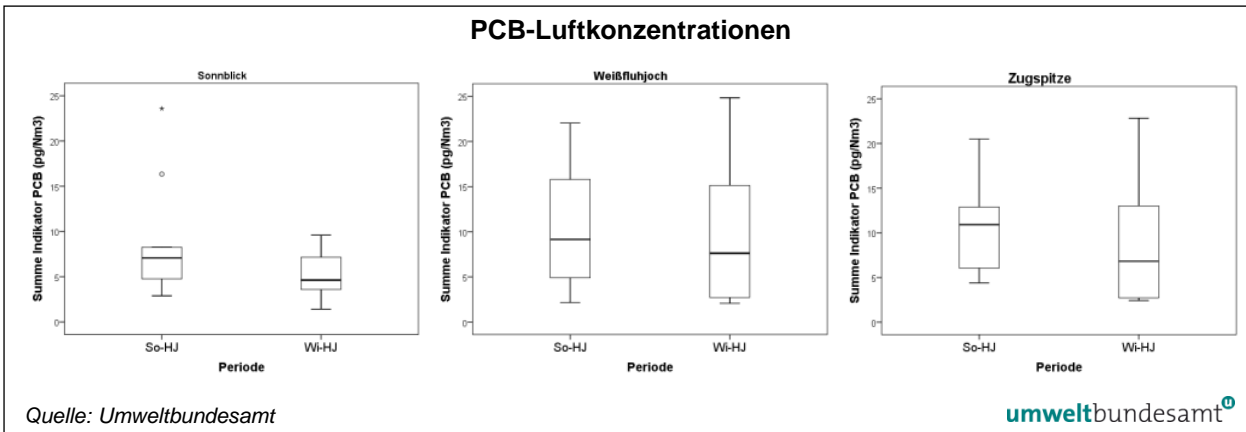


Abbildung 12: PCB-Luftkonzentrationen (Summe der Indikator PCB) an den drei Standorten getrennt nach Saison (So-HJ = Sommerhalbjahr, Wi-HJ = Winterhalbjahr).

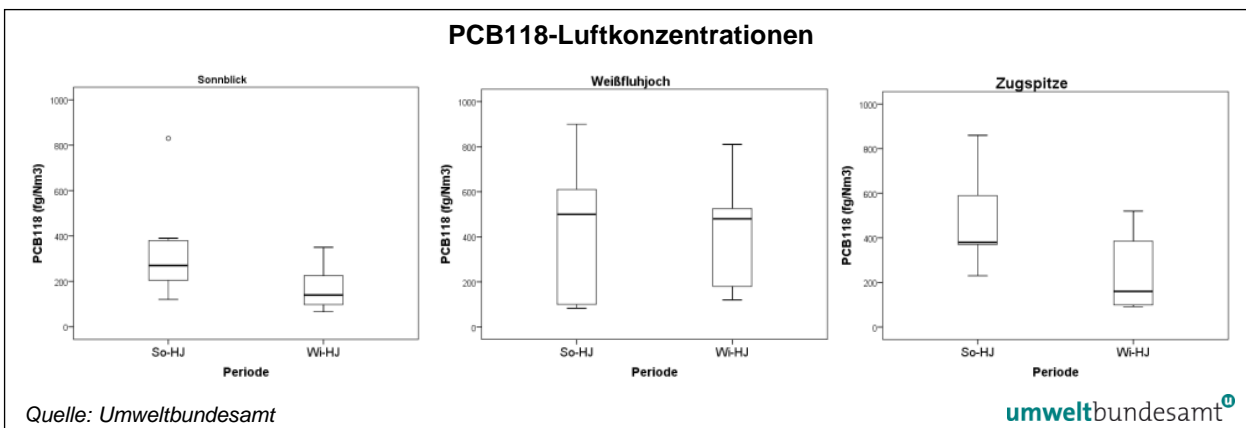


Abbildung 13: PCB118-Luftkonzentrationen (Summe der Indikator PCB) an den drei Standorten getrennt nach Saison (So-HJ = Sommerhalbjahr, Wi-HJ = Winterhalbjahr) für NW-Luftmassenherkünfte.

3.2.4 Trends

**kein signifikanter
Trend**

Bis zur Periode 2010 wurden signifikante zeitliche Abnahmen der Luftkonzentration der PCBs an allen drei Berggipfeln nachgewiesen. In den nachfolgenden Perioden wurden jedoch wiederum etwas höhere Gehalte wie zu Beginn der Messungen nachgewiesen, sodass insgesamt keine signifikante Abnahme der PCB-Luftkonzentrationen festzustellen ist (siehe Abbildung 14, Abbildung 15).

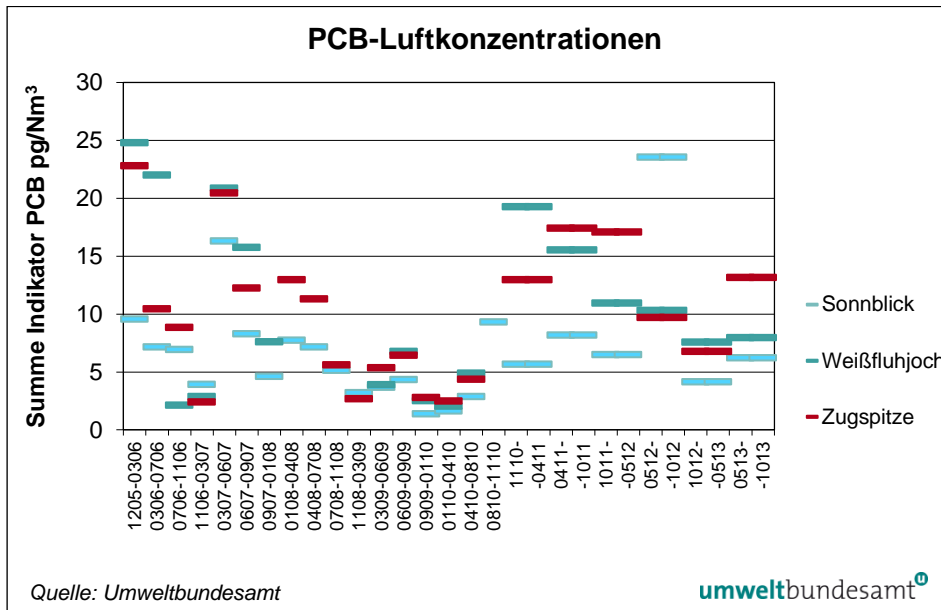


Abbildung 14: Zeitreihe der PCB-Luftkonzentrationen (Summe sechs Indikator PCB) an den drei Standorten.

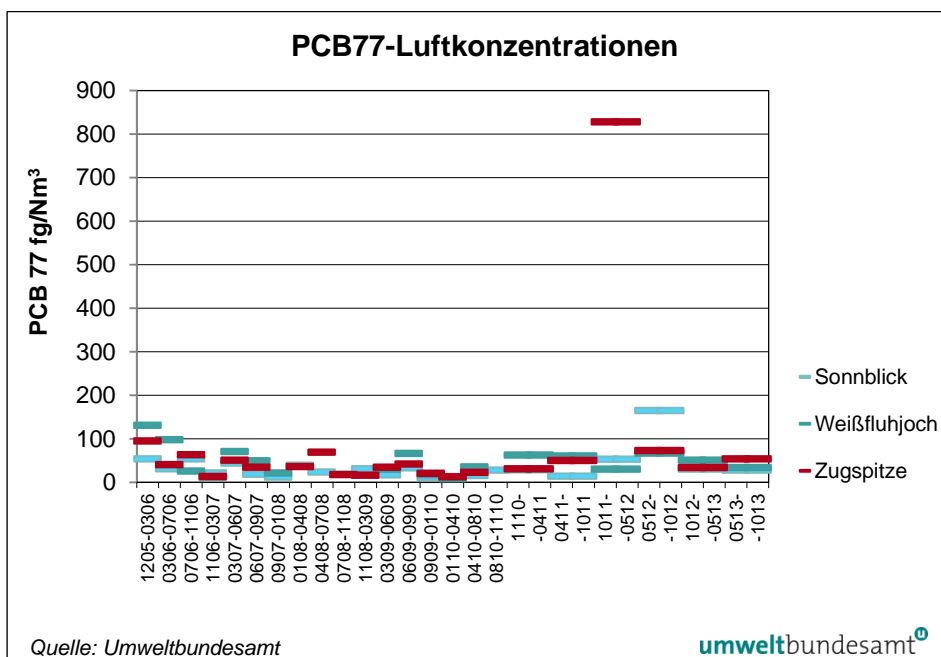


Abbildung 15: Zeitreihe der PCB77-Luftkonzentrationen an den drei Standorten (ohne Sonnblick-Ausreißer in Periode 1012-0513).

3.3 Zusammenhänge zwischen PCDD/F- und PCB-Luftkonzentrationen, getrennt nach Standorten bzw. nach Luftmassenherkünften

An den drei Untersuchungsstandorten wurden positive Korrelationen zwischen den PCDD/F- und PCB-Luftkonzentrationen nachgewiesen. Somit gehen höhere Luftkonzentrationen bei den PCDD/F auch mit höheren Luftkonzentrationen bei den PCB einher. Konkret sind folgende Luftkonzentrationen an den einzelnen Standorten signifikant positiv korreliert:

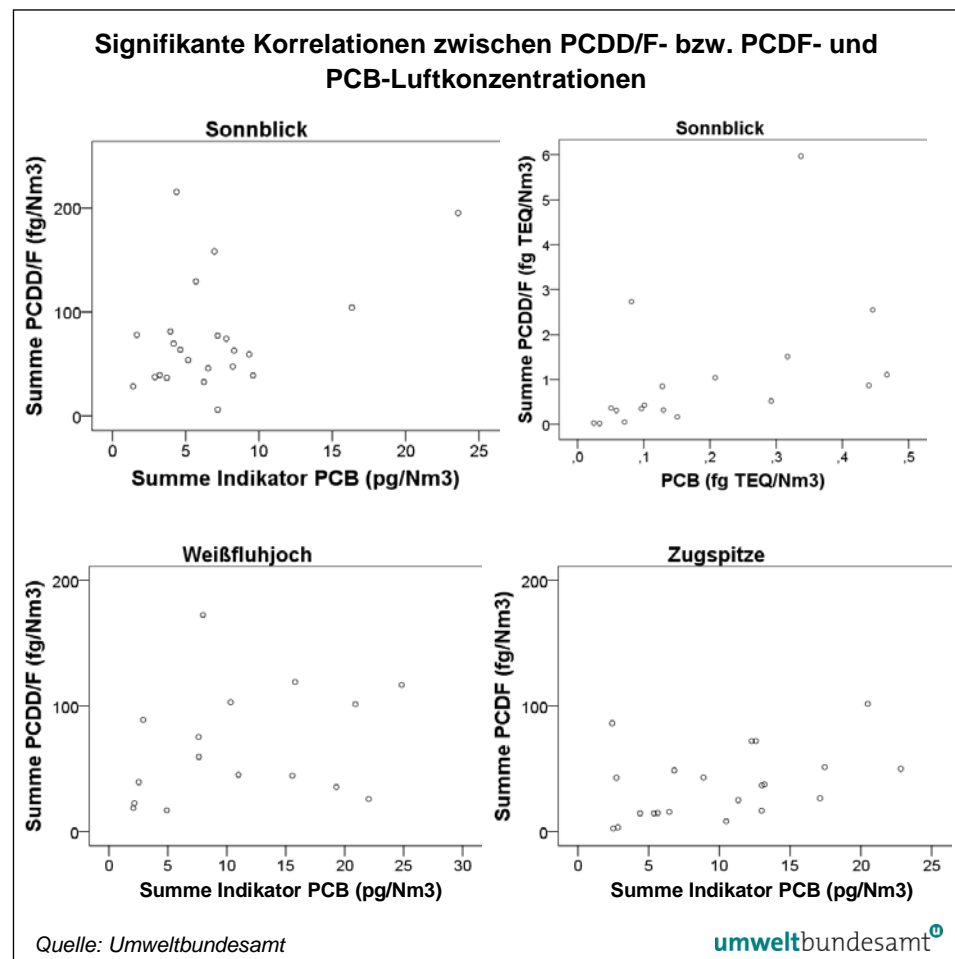
signifikante Korrelationen

Am Sonnblick ist die Summe der PCDD/F (absolut und ausgedrückt in TEQ) mit der Summe der Indikator-PCB und der PCB-TEQ-Konzentration⁶ korreliert (siehe Abbildung 16). Vor allem die PCDF bei den PCDD/F sind für dieses Ergebnis verantwortlich.

Am Weißfluhjoch ist die Summe der PCDD/F (absolut) mit der Summe der Indikator-PCB schwach signifikant positiv korreliert (siehe Abbildung 16).

Auf der Zugspitze war die Summe der PCDF mit der Summe der Indikator-PCB signifikant positiv korreliert, was besonders auf den Einfluss der Luftkonzentration von TCDF und niedrig chlorierten Indikator-PCB zurückzuführen ist (siehe Abbildung 16).

Abbildung 16:
Signifikante Korrelationen zwischen PCDD/F- bzw. PCDF- und PCB-Luftkonzentrationen an den drei Standorten.



Die Prüfung auf Korrelationen der Luftkonzentration an den einzelnen Standorten, getrennt nach Luftmassenherkünften ergab folgende signifikant positive Korrelationen:

⁶ Im Laufe der Messperiode kam es zu analytisch methodischen Verbesserungen der Nachweisgrenzen bei den dioxinähnlichen PCB. Daraus resultieren Unterschiede in den Nachweisen und somit Konzentrationswerten einzelner dioxinähnlicher PCB über die Zeitreihe, da Konzentrationen kleiner der Nachweisgrenze gleich 0 gesetzt wurden. Daher wurden die Korrelationen für die dioxinähnlichen PCB getrennt nach diesen beiden Perioden unterschiedlicher Nachweisgrenzen getestet.

Am Sonnblick sind bei Luftmassenherkünften aus der NW-europäischen Region die PCDD/F (absolut und ausgedrückt in TEQ) mit der Summe der Indikator-PCB und den PCB-TEQ-Luftkonzentrationen⁶ korreliert (siehe Abbildung 17). Auch bei NE-Herkünften traten – allerdings weniger ausgeprägte – Korrelationen zwischen den PCDD/F und PCB auf.

Am Weißfluhjoch sind ebenfalls bei Luftmassenherkünften aus der nordwest-europäischen Region die PCDD/F (absolut) mit der Summe der Indikator-PCB korreliert (siehe Abbildung 17) und bei Herkunft aus der nordost-europäischen Region die PCDD/F (absolut und ausgedrückt in TEQ) mit den PCB-TEQ-Luftkonzentrationen.

An der Zugspitze waren bei südlichen Luftmassenherkünften die PCDD/F (absolut und ausgedrückt in TEQ) mit der Summe der Indikator-PCB und den PCB-TEQ-Luftkonzentrationen⁶ positiv korreliert (siehe Abbildung 17).

Somit sind an den einzelnen Standorten vornehmlich die Luftmassenherkunftsregionen Nordwest (Sonnblick, Weißfluhjoch) und Süd (Zugspitze) für das Auftreten einer korrelierenden Luftbelastung bei den PCDD/F und PCB verantwortlich.

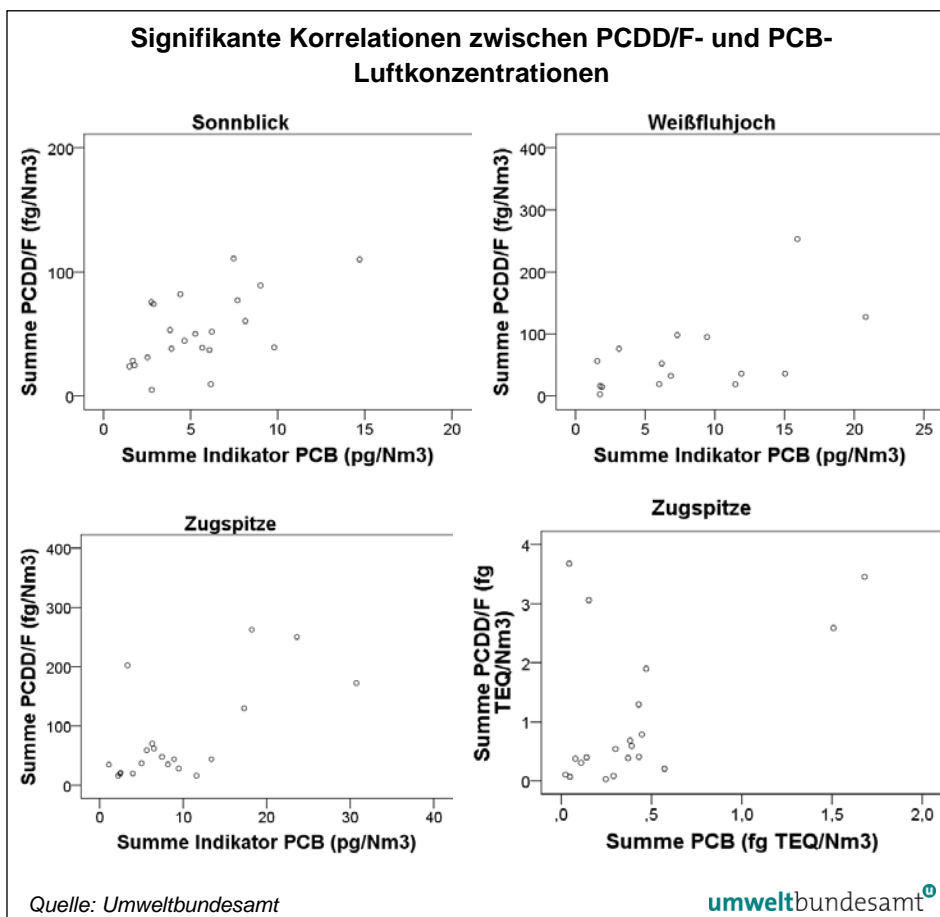


Abbildung 17: Signifikante Korrelationen zwischen PCDD/F- und PCB-Luftkonzentrationen an den drei Standorten bei Luftmassenherkünften aus NW (Sonnblick, Weißfluhjoch) bzw. S (Zugspitze).

3.4 Zusammenhänge der PCDD/F- und PCB-Luftkonzentrationen zwischen den Standorten

signifikante Standorte-Korrelation

Auch zwischen den Standorten traten signifikant positive Korrelationen bei den Luftkonzentrationen auf, so etwa bei den PCDD/F (ausgedrückt in TEQ) zwischen Sonnblick und Weißfluhjoch bzw. Zugspitze. Und zwischen Weißfluhjoch und Zugspitze bei den PCDD/F (absolut und ausgedrückt in TEQ) (siehe Abbildung 18).

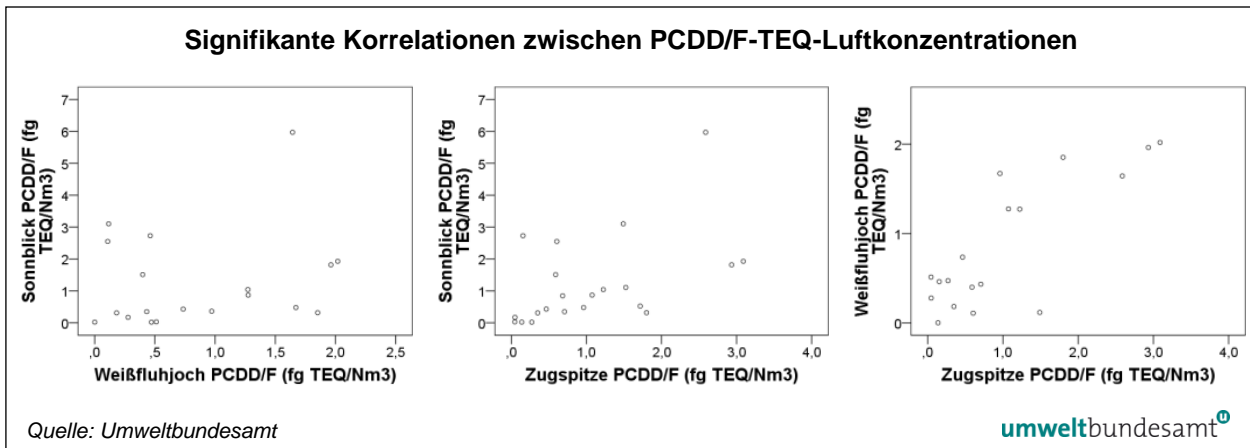


Abbildung 18: Signifikante Korrelationen zwischen PCDD/F-TEQ-Luftkonzentrationen an den drei Standorten.

Deutlicher ausgeprägte positive Korrelationen zwischen den Standorten traten bei den PCB-Luftkonzentrationen auf. Die Summenkonzentrationen der Indikator-PCB waren an allen drei Standorten signifikant positiv korreliert (siehe Abbildung 19). Somit treten höhere bzw. geringere PCB-Luftkonzentrationen jeweils gleichzeitig an den drei Standorten auf. Auch die Abbildung 14 und Abbildung 15 ließen dies bereits vermuten.

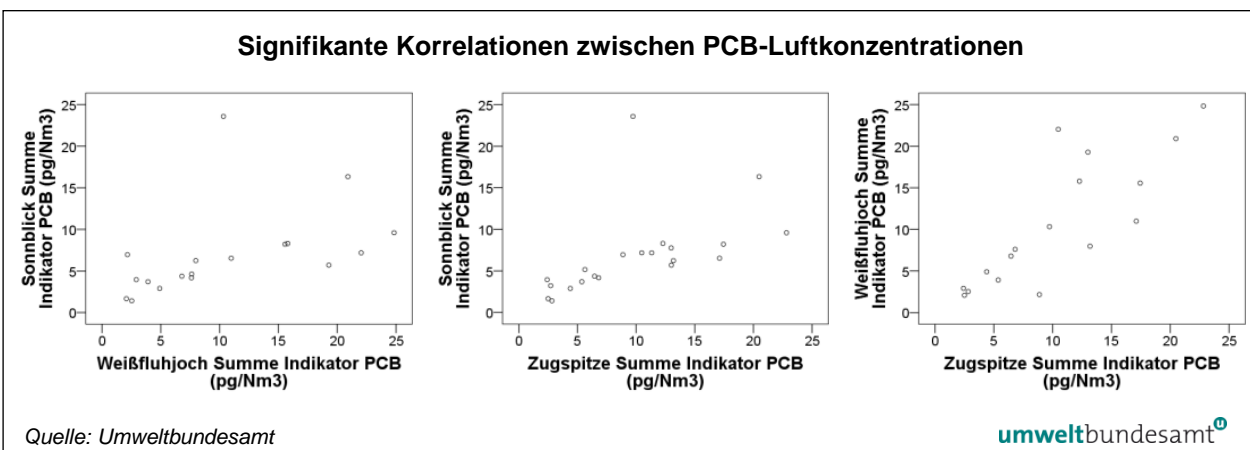


Abbildung 19: Signifikante Korrelationen zwischen PCB-Luftkonzentrationen (Summe sechs Indikator-PCB) an den drei Standorten.

3.5 PCDD/F-Depositionen

Die PCB-Deposition, ausgedrückt in Toxizitätsäquivalenten dioxinähnlicher Substanzen, liegt deutlich niedriger als die PCDD/F-Deposition (vgl. Tabelle 12 mit Tabelle 15). Somit ist an den alpinen Untersuchungsstandorten dem PCDD/F-Eintrag eine höhere Aufmerksamkeit zu widmen als den PCB.

Aus urbanen Gebieten und den frühen 90er-Jahren werden PCDD/F-Depositionen berichtet (LOHMANN & JONES 1998), die etwa eine Größenordnung höher liegen als jene vom Sonnblick und der Zugspitze, die vergleichsweise zum Weißfluhjoch höhere PCDD/F-Einträge aufweisen (siehe Tabelle 12). Bei diesen Vergleichen ist jedoch zu beachten, dass im Messzeitraum der vorliegenden Studie gegenüber den frühen 90er-Jahren aufgrund von emissionsmindernden Maßnahmen eine Abnahme des Eintrages wahrscheinlich ist (vgl. auch OFFENTHALER et al. 2007). Eine aktuellere Studie auf Basis von Daten aus Nordrhein-Westfalen gibt ca. 10 pg TEQ/m².d als urbane PCDD/F-Hintergrunddeposition an (LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG 2004). Dieser Richtwert wird an den drei Alpengipfeln zumeist unterschritten, in einzelnen Perioden am Sonnblick jedoch überschritten (siehe Tabelle 12). 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 2005 bis 2009 im Bereich von etwa 2–22 pg TEQ/m².d, mit einem weitaus überwiegenderen Anteil der Werte unter 4 pg TEQ/m².d berichtet (LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT 2010). Die PCDD/F-Einträge am Sonnblick und an der Zuspitze liegen in vergleichbarer Größenordnung wie die Einträge an diesen urbanen Standorten (siehe Tabelle 12).

Der fehlende Unterschied bei den PCDD/F-Einträgen zwischen den entlegenen alpinen Standorten der vorliegenden Untersuchung im Vergleich zu urbanen Standorten ist einigermaßen bemerkenswert und verdeutlicht die ubiquitäre Belastung mit diesen Schadstoffen. Der deutsche Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) schlägt auf Basis von einer tolerablen Humanexposition mit dioxinähnlichen Schadstoffen und auf Basis von Bodenrichtwerten unter Berücksichtigung von Aufnahmefaktoren bzw. -pfaden sowie Transferfaktoren dieser Schadstoffe zwischen den Medien einen Zielwert für die langfristige Luftreinhalteplanung 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 12) – 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.

**urbane
Vergleichswerte**

**vorgeschlagener
Zielwert**

Tabelle 12: PCDD/F-Depositionen an den einzelnen Standorten in den einzelnen Perioden⁷ (MMJJ-MMJJ).⁸

PCDD/F-Deposition						
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	2,33	56	0,38	99	1,09
0905-0306	464	4,82	105	0,52	274	2,67
0306-0706	138	2,13	36	0,55	166	1,08
0706-1106	428	2,60	18	0,06	49	0,19
1106-0307	4.037	19,75	14	0,05	369	6,72
0307-0607	292	4,12	57	0,45	157	3,28
0607-0907	465	2,41	35	0,60	194	1,89
0907-0108	381	3,21	52	0,11	364	4,03
0108-0408	6.439	18,16	41	0,41	224	3,20
0408-0708	268	2,70	1	0,00	196	3,34
0708-1108	17	0,32	46	0,97	304	3,21
1108-0309	174	2,63			187	1,16
0309-0609	146	2,20				
0609-0909	141	0,38			42	0,12
0909-0110	131	1,16	26	0,07	63	0,18
0110-0410	176	2,74	14	0,03	30	0,03
0410-0810	78	0,22	24	0,05	45	1,28
0810-1110	120	0,94	5	0,00	54	0,02
1110-0411	130	1,30	120	0,38	15	0,10
0411-1011	220	1,10	29	0,14	36	0,07
1011-0512	350	2,20	13	0,17	58	0,71
0512-1012					57	0,86
1012-0513	120	1,10	31	0,37	15	0,05
0513-1013	360	0,90	10	0,06	18	0,04
Min	17	0,22	1	0,00	0	0,00
Max	6.439	19,75	120	0,97	369	6,72
Median	220	2,20	30	0,16	60,3	0,97

⁷ An einzelnen Standorten kann es in einzelnen Perioden leichte Abweichungen von den in der Tabelle angegebenen Periodenzeiträumen geben.

⁸ Ursachen für fehlende Werte können sein:

- 1) keine Messung aufgrund von beeinträchtigenden Arbeiten am Standort (z. B. Renovierungsarbeiten am Weißfluhjoch);
- 2) Ausfall der Probe aufgrund von Schäden bei Probenahme, Transport oder Probenaufbereitung und
- 3) Verwerfen unplausibler Werte.

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			47	0,61

Tabelle 13:
Jahresmittelwerte der PCDD/F-Depositionen an den einzelnen Standorten.

3.5.1 Standortvergleich

Die PCDD/F- und PCDD/F TEQ-Deposition unterscheidet sich zwischen den Standorten signifikant. Am Sonnblick ist die PCDD/F-Deposition deutlich höher als an den anderen beiden Standorten, obwohl etwa die Zugspitze einen signifikant höheren Jahresniederschlag als der Sonnblick aufweist; an der Zugspitze ist sie höher als am Weißfluhjoch (siehe Tabelle 12, Tabelle 13, Abbildung 20). Am Sonnblick gab es zwei Perioden mit auffallend erhöhter PCDD/F-Deposition im Vergleich zu anderen Perioden (von 11/06 bis 03/07 und von 01/08 bis 04/08, siehe Tabelle 12). In diesen beiden Perioden wurden auch bei den Indikator-PCB höhere Einträge festgestellt (siehe Tabelle 15). Die PCDD/F-Luftkonzentrationen waren in diesen Perioden jedoch nicht auffällig (siehe Tabelle 2). Die Ursachen für diese höheren Einträge sind nicht bekannt.

signifikante Unterschiede

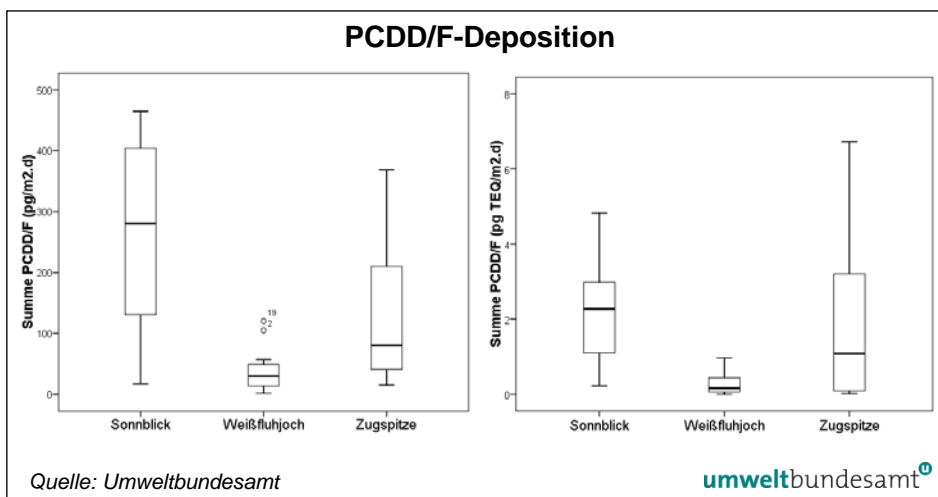


Abbildung 20:
PCDD/F-Deposition an den drei Standorten (ohne Ausreißerwerte beim Sonnblick).

3.5.2 Saisonalität der Konzentrationen

Signifikante Unterschiede in der PCDD/F-Deposition nach Jahreszeit wurden nur für vereinzelte PCDD/F-Homologen festgestellt (siehe Tabelle 14). Bemerkenswert am Weißfluhjoch ist die im Unterschied zu den beiden anderen Standorten tendenziell höhere PCDD/F Deposition im Sommer als im Winter (siehe Abbildung 21). Bei einzelnen Furanen ist dieser anders gerichtete saisonale Unterschied am Weißfluhjoch sogar statistisch signifikant (siehe Tabelle 14).

geringe signifikante Unterschiede

Tabelle 14: Signifikante Unterschiede zwischen PCDD/F-Deposition nach Saison (SO = Sommerhalbjahr, WI = Winterhalbjahr).

Sonnblick	Weißfluhjoch	Zugspitze
Summe HxCDD; PeCDF: WI > SO	12378-PeCDF, 1234678-HpCDF: SO > WI	keine

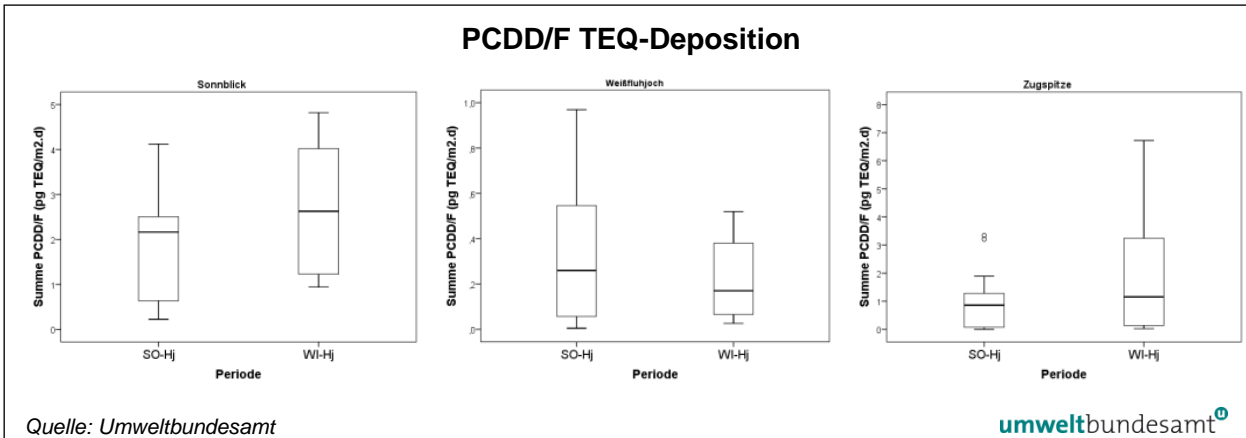


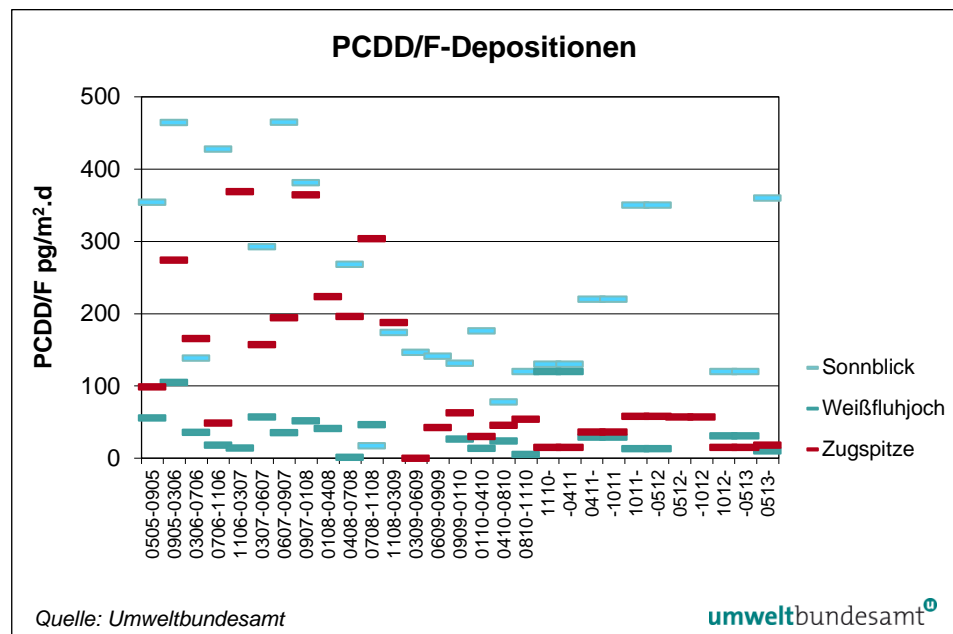
Abbildung 21: PCDD/F TEQ-Deposition an den drei Standorten, getrennt nach Saison (So-HJ = Sommerhalbjahr, Wi-HJ = Winterhalbjahr; ohne Ausreißer beim Sonnblick).

3.5.3 Trends

signifikante Abnahme an der Zugspitze

Lediglich an der Zugspitze wurde bei der Summe PCDD, PCDF, PCDD/F, PCDD/F in TEQ eine signifikante Abnahme der Deposition im Untersuchungszeitraum festgestellt (siehe Abbildung 22, Abbildung 23).

Abbildung 22: PCDD/F-Depositionen an den drei Standorten (ohne Ausreißer am Sonnblick in den Perioden 1106-0307 und 0108-0408).



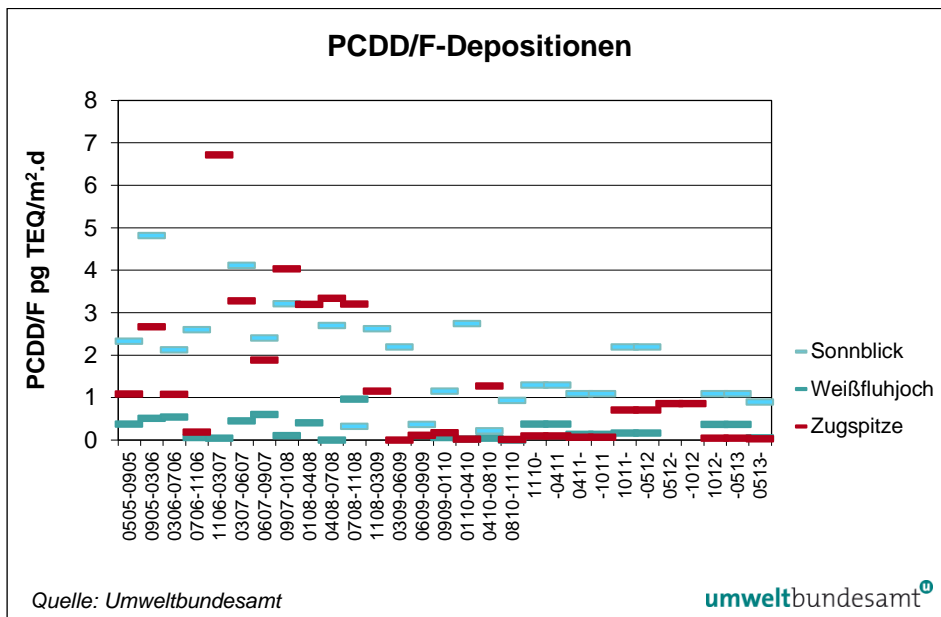


Abbildung 23: PCDD/F-Depositionen in TEQ an den drei Standorten (ohne Ausreißer am Sonnblick in den Perioden 1106-0307 und 0108-0408).

3.6 PCB-Depositionen

Eine Studie auf Basis von Daten aus Nordrhein-Westfalen gibt ca. 6 pg TEQ/m².d als urbane PCB-Hintergrunddeposition an (LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG 2004). Dieser Richtwert wird an den drei Alpengipfeln erwartungsgemäß deutlich unterschritten (siehe Tabelle 15). 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 2005 bis 2009 im Bereich von rd. 0,2–3 pg TEQ/m².d mit einem weitaus überwiegenden Anteil der Werte deutlich unter 1 pg TEQ/m².d berichtet (LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT 2010). Die Standorte Sonnblick und Zugspitze weisen PCB-Einträge auf, die nicht viel niedriger bzw. ähnlich den PCB-Einträgen an diesen urbanen Standorten sind.

urbane Vergleichswerte

Die ähnlich hohen PCB-Einträge an den entlegenen alpinen Standorten der vorliegenden Untersuchung im Vergleich zu urbanen Standorten sind – wie schon bei den PCDD/F (siehe Kapitel 3.5) – 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). Die Deposition ist maßgeblich für den Schadstoffeintrag in die Landschaft. In Monitoringprogrammen und auch unter der Wirksamkeitskontrolle der Stockholm-Konvention und dem Globalen Monitoringplan 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.

Deposition ist maßgeblich für Schadstoffeintrag

Tabelle 15:
PCB-Depositionen an
den einzelnen
Standorten in den
einzelnen Perioden⁹
(MMJJ-MMJJ).^{10,11}

PCB-Deposition						
Periode	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
Min	0,02	752	0,02	582	0,01	166
Max	0,74	22.860	0,58	5.160	0,92	9.760
Median	0,11	1.226	0,05	1.610	0,09	1.630

⁹ An einzelnen Standorten kann es in einzelnen Perioden leichte Abweichungen von den in der Tabelle angegebenen Periodenzeiträumen geben.

¹⁰ Ursachen für fehlende Werte können sein:

- 1) Sammlerabstellung aufgrund von beeinträchtigenden Arbeiten am Standort (z. B. Renovierungsarbeiten am Weißfluhjoch);
- 2) Ausfall der Probe aufgrund von Schäden bei Probenahme, Transport oder Probenaufbereitung und
- 3) Verwerfen unplausibler Werte.

¹¹ Die Perioden mit kursiv geschriebenen Gehalten in Tabelle 15 sind bei den Gesamt-PCB-TEQ-Konzentrationen nicht mit den Perioden mit normal geschriebenen Gehalten vergleichbar, da in den normal geschriebenen Perioden aufgrund tieferer Nachweisgrenzen jene TE-PCB mit tendenziell geringen Konzentrationen öfter nachweisbar waren, was sich auf die Gesamt-TEQ-Konzentration auswirkt.

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	2.292	4.530
2011	1.803	2.239	1.832
2012	2.149		1.771

Tabelle 16:
Jahresmittelwerte der
PCB-Depositionen
(Summe der sechs
„Indikator-PCB“) an den
einzelnen Standorten.

3.6.1 Standortvergleich

Im Unterschied zu den PCB-Luftkonzentrationen (siehe Kapitel 3.2.1) und den PCDD/F-Depositionen (siehe Kapitel 3.5.1) gab es bei den PCB-Depositionen keine signifikanten Standortunterschiede bezüglich Höhe der Deposition (siehe Tabelle 15, Tabelle 16, Abbildung 25), mit Ausnahme von PCB189, das an der Zugspitze eine signifikant höhere Deposition als an den anderen beiden Standorten aufwies (siehe Abbildung 24).

**keine signifikanten
Unterschiede**

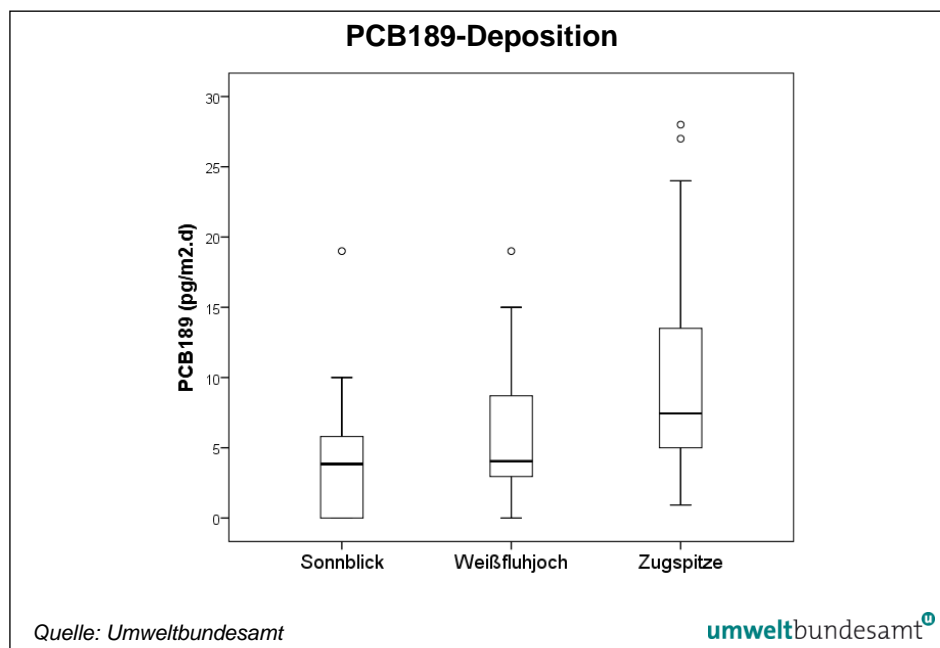


Abbildung 24:
PCB189-Deposition an
den drei Standorten.

3.6.2 Saisonalität der Gehalte

Signifikante saisonale Unterschiede in der PCB-Deposition zwischen Sommer- und Winterhalbjahr gab es mit Ausnahme von PCB123 am Weißfluhjoch (siehe Tabelle 17) an keinem der drei Standorte.

**keine signifikanten
Unterschiede**

Tabelle 17: Signifikante Unterschiede zwischen PCB-Deposition nach Saison (SO = Sommerhalbjahr, WI = Winterhalbjahr).

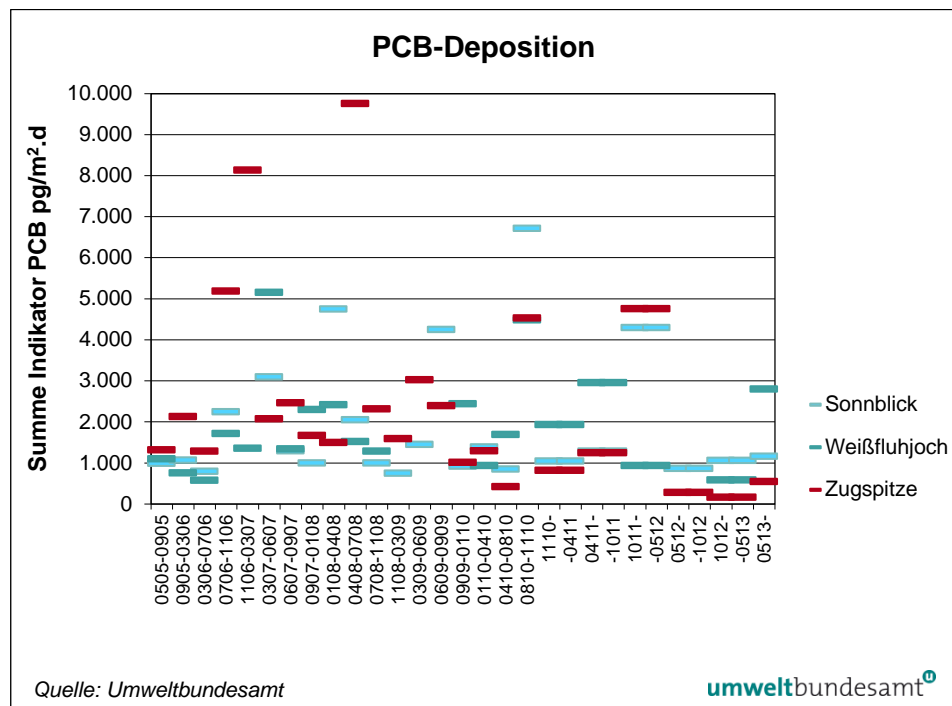
Sonnblick	Weißfluhjoch	Zugspitze
	PCB123: WI > SO	keine

3.6.3 Trends

kein signifikanter Trend

Es wurden keine signifikanten Trends einer Ab- oder Zunahme der PCB-Deposition an den drei Standorten während des Beobachtungszeitraums festgestellt (siehe Abbildung 25).

Abbildung 25: PCB-Deposition (Summe sechs Indikator PCB) an den drei Standorten (ohne Ausreißer am Sonnblick in der Periode 1106-0307).



3.7 Zusammenhänge zwischen PCDD/F- und PCB-Deposition getrennt nach Standorten

Vereinzelt positive Korrelation

Bei den PCDD/F- und PCB-Luftkonzentrationen zeigten sich an allen drei Standorten positive Korrelationen (siehe Kapitel 3.3). Bei der Deposition wurde jedoch lediglich am Sonnblick und auf der Zugspitze eine signifikant positive, nicht sehr ausgeprägte positive Korrelation zwischen der PCDD/F-Deposition und der PCB-Deposition festgestellt (siehe Abbildung 26).

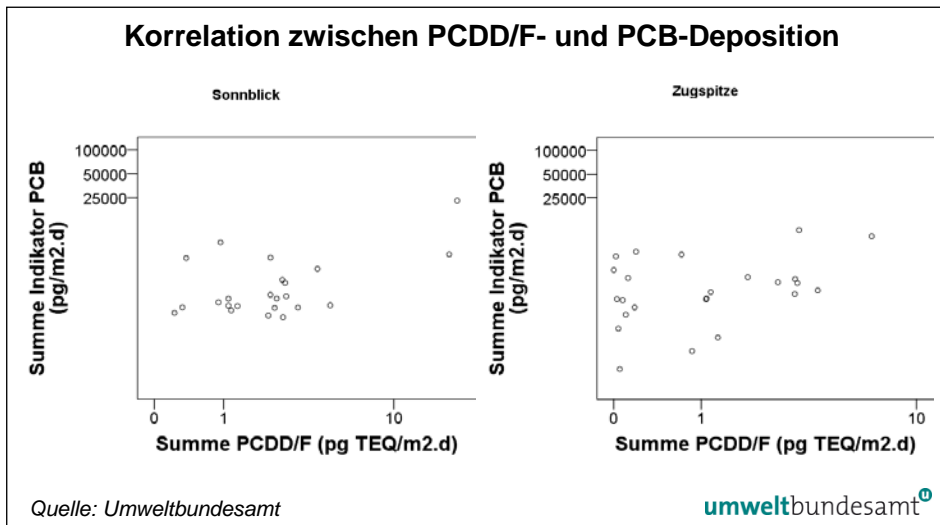


Abbildung 26:
Signifikante Korrelation zwischen PCDD/F- und PCB-Deposition am Sonnblick und an der Zugspitze.

3.8 Zusammenhänge der PCDD/F- und PCB-Deposition zwischen den Standorten

Auch hier zeigten sich im Unterschied zu den häufigen Korrelationen zwischen den Standorten bei den PCDD/F-Luftkonzentrationen bzw. bei den PCB-Luftkonzentrationen (siehe Kapitel 3.4) nur vereinzelt Korrelationen. Die Deposition der PCDD/F (ausgedrückt in TEQ) bzw. die Deposition der PCB (Indikator PCB und TEQ PCB) korrelierten zwischen Sonnblick und Zugspitze positiv (siehe Abbildung 27). Aber auch zwischen Weißfluhjoch und Zugspitze gibt es eine signifikant positive Korrelation beim PCB-Eintrag (in TEQ).

positive Standorte-Korrelation

Somit gibt es jeweils bei diesen beiden Standorten eine gewisse Parallelität höherer oder geringerer Einträge zu gleichen Perioden bei jeweils diesen Schadstoffgruppen.

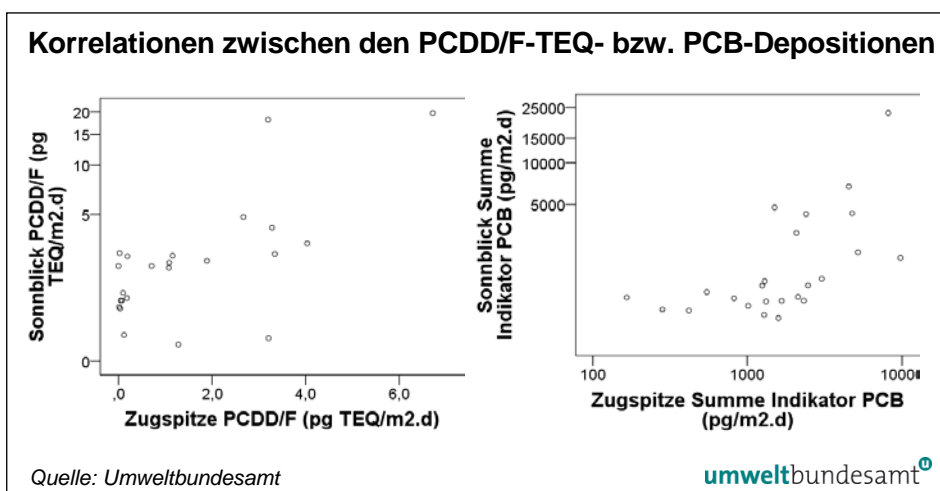


Abbildung 27:
Signifikante Korrelationen zwischen den PCDD/F-TEQ-Depositionen bzw. zwischen den PCB-Depositionen am Sonnblick und auf der Zugspitze.

3.9 Zusammenhänge zwischen Luftkonzentration und Deposition

Signifikante positive Korrelationen zwischen den Luftkonzentrationen und den Depositionen über dem Beobachtungszeitraum konnten an zwei Standorten, aber nur bei den PCDD/F nachgewiesen werden. Zudem waren sie nicht sehr ausgeprägt.

Am Weißfluhjoch waren die mittleren PCDD/F-Luftkonzentrationen und jene bei nordwestlichen Luftmassenherkunftsregionen mit den PCDD/F-Depositionen korreliert (siehe Abbildung 28).

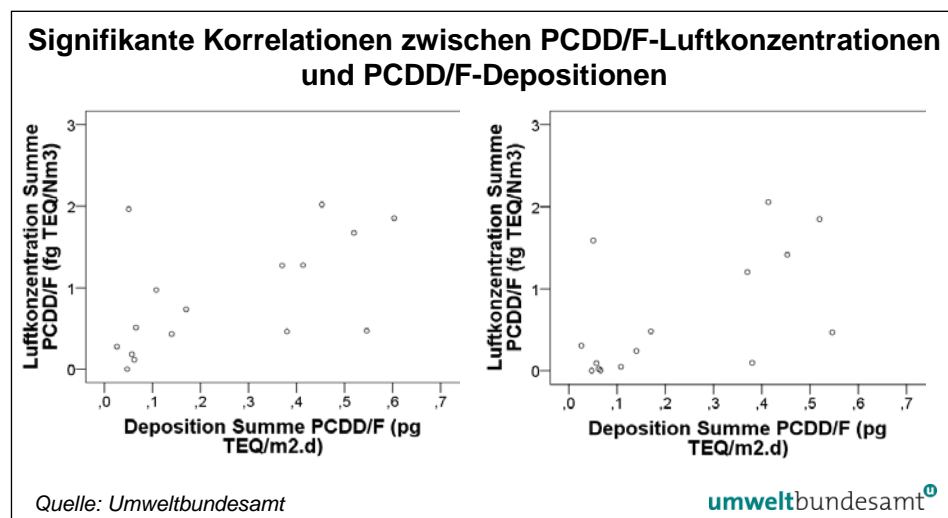
Auf der Zugspitze waren die PCDD/F-Luftkonzentrationen bei südlichen Luftmassenherkunftsregionen bzw. die mittleren Konzentrationen mit den PCDD/F-Depositionen korreliert (siehe Abbildung 29).

Bemerkenswert ist, dass beim Weißfluhjoch die PCDD/F-Luftkonzentrationen bei Herkünften aus Nordwest-Europa mit der PCDD/F-Deposition korreliert waren. Nordwestliche Herkünfte sind vermutlich überwiegend auch mit Wetterlagen verbunden, die mit stärkerer Niederschlagstätigkeit in den Alpen einhergeht. Interessanterweise ist jedoch beim nordalpin gelegenen Standort Zugspitze, der wohl den höchsten Niederschlag bei Nordwest-Wetterlagen aufweist, die PCDD/F-Luftkonzentration bei südlichen Luftmassenherkünften positiv mit der Höhe der Deposition korreliert.

Deposition für Schadstoffeintrag verantwortlich

Die insgesamt schwachen bis fehlenden (bei den PCB) Korrelationen zwischen Luftkonzentration und Deposition der untersuchten Schadstoffe zeigen deutlich, dass die Luftkonzentration nur einen ungenügenden Rückschluss auf den Eintrag dieser Schadstoffe in die Landschaft zulässt. Dieser wird maßgeblich durch die Depositionswerte charakterisiert.

Abbildung 28:
Signifikante Korrelationen zwischen den mittleren PCDD/F-Luftkonzentrationen (links) bzw. jenen bei nordwestlichen Luftmassenherkünften (rechts) und den PCDD/F-Depositionen auf dem Weißfluhjoch.



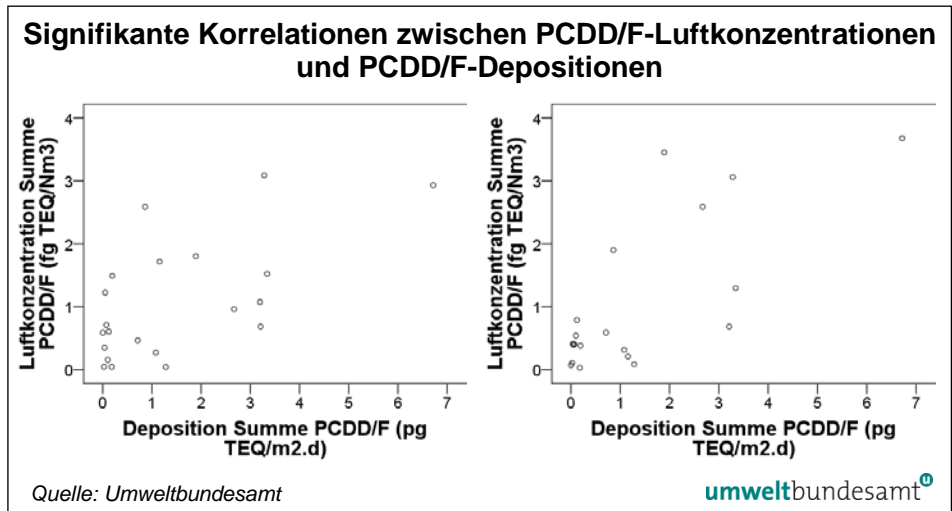


Abbildung 29:
Signifikante Korrelationen zwischen den mittleren PCDD/F-Luftkonzentrationen (links) bzw. jenen bei südlichen Luftmassenherkünften (rechts) und den PCDD/F-Depositionen auf der Zugspitze.

4 LITERATURVERZEICHNIS

- JAKOBI, G.; KIRCHNER, M.; HENKELMANN, B.; KÖRNER, W.; OFFENTHALER, I.; MOCHE, W.; WEISS, P.; SCHAUB, M. & SCHRAMM K.W. (2014): Atmospheric bulk deposition measurements of organochlorine pesticides at three alpine summits. *Atmospheric Environment* 101: 158–165.
- KIRCHNER, M.; JAKOBI, G.; LEVY, W.; KOCSIS, G.; HENKELMANN, B.; PFISTER, G.; BERNHÖFT, S.; FISCHER, N. & SCHRAMM, K.-W. (2011): Erfassung von persistenten organischen Schadstoffen im bayerischen Alpenraum Projekt: POPALP. Endbericht – Teil Boden, Nadeln, Deposition, Luft. Landesamt für Umwelt, Augsburg.
http://www.lfu.bayern.de/umweltqualitaet/umweltbeobachtung/schadstoffe_luft/projekte/doc/schlussbericht_popalp.pdf
- KIRCHNER, M.; JAKOBI, G.; KÖRNER, W.; LEVY, W.; MOCHE, W.; NIEDERMOSER, B.; SCHAUB, M.; RIES, L.; WEISS, P. & SCHRAMM, K.-W. (2015): Levels of organochlorine pesticides at three high Alpine monitoring stations: Trends and dependence on air masses. *Aerosol and Air Quality Research*. (in press)
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (2004): Literaturstudie zur Ermittlung des Depositionswertes von Dioxinen, Furanen und dioxinähnlichen PCB. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/14558/U12-U46-N03.pdf?command=downloadContent&filename=U12-U46-N03.pdf>
- LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT (2010): Immissionsschutzbericht 2009. Halle/Saale.
<http://www.mu.sachsen-anhalt.de/lau/luesa/reload.html?berichte-immissionsschutz.html>
- 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. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), München.
<http://www.lanuv.nrw.de/gesundheit/pdf/LAI2004.pdf>
- LFU – Bayerisches Landesamt für Umwelt (2006): Ermittlung der Immissionsbelastung durch polychlorierte Dioxine (PCDD) und Furane (PCDF) sowie dioxinähnliche PCB in Bayern. Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg.
http://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/analytik_org_stoffe_dioxine_pcb/ermittlung_immissionsbelastung/doc/projekt_7050_dimm_abschlussbericht.pdf
- LFU – Bayerisches Landesamt für Umwelt (2014): Monitoring neuartiger Schadstoffe im Bayerischen Alpenraum. Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg.
http://www.lfu.bayern.de/umweltqualitaet/umweltbeobachtung/schadstoffe_luft/projekte/index.htm
- LOHMANN, R. & JONES, K.C. (1998): Dioxins and furans in air and deposition: A review of levels, behaviour and processes. *The Science of the Total Environment* 219: 53–81.

- MOCHE, W. & THANNER, G. (2003): Dioxinimmissionsmessungen Leoben 1999-2000. Berichte, Bd. BE-0227. Umweltbundesamt, Wien. ISBN: 3-85457-696-X.
<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/BE227.pdf>.
- OFFENTHALER, I.; MOCHE, W.; SCHWARZL, B.; THANNER, G.; UHL, M.; VAN OM-MEN, K.; BASSAN, R.; BELIS, C.; JAKOBI, G.; KIRCHNER, M.; KRÄUCHI, N.; SCHRAMM, K-W.; LEVY-LOPEZ, W.; SEDIVY, I.; SIMONČIČ, P. & WEISS, P. (2007): Dioxins and dioxin-like pollutants in alpine forests. *Organohal. Compds.* 69: 608–611.
- OFFENTHALER, I.; BASSAN, R.; BELIS, C.; GARO-STACH, I.; GANZ, ST.; IOZZA, S.; JAKOBI, G.; KAISER, A.; KIRCHNER, M.; KNOTH, W.; KRÄUCHI, N.; LEVY, W.; MOCHE, W.; NURMI-LEGAT, J.; RACCANELLI, ST.; SCHRAMM, K-W.; SCHRÖDER, P.; SEDIVY, I.; SIMONČIČ, P.; STAUDINGER, M.; THANNER, G.; UHL, M.; VILHAR, U. & WEISS, P. (2008): MONARPOP – Technical Report. Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management, Wien. ISBN 3-902338-93-8.
http://www.monarpop.at/downloads/MONARPOP_Technical_Report.pdf.
- UNEP – United Nations Environment Programme (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, Geneva.
<http://chm.pops.int/Portals/0/Repository/GMP/UNEP-POPS-GMP-RMR-WEOG.English.PDF>
- UNEP – United Nations Environment Programme (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. UNEP, Geneva. (in press)
- WEISS, P.; HALSALL, C.; HOLOUBEK, I.; KALLENBORN, R.; SCHRAMM, K.-W.; VIGHI, M. & WANIA, F. (Guest Editors) (2009): Special Issue – Persistent Organic Pollutants in Mountains. *Environ. Poll.* 157: 3183–3313.

Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

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

Fax: +43-(0)1-313 04/5400

office@umweltbundesamt.at

www.umweltbundesamt.at

An den drei Alpengipfeln Sonnblick (A), Weißfluhjoch (CH) und Zugspitze (D) werden seit 2005 Luftkonzentrationen und Depositionen von persistenten organischen Schadstoffen (POPs) im Rahmen des Projektes MONARPOP erfasst. Dafür wurde eine Technologie entwickelt, die es erlaubt, ganzjährig unter alpinen Wetterbedingungen und getrennt nach Herkunftsregionen der Luftmassen zu sammeln. Der Bericht umfasst die Ergebnisse 2005–2013 für polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F) und polychlorierte Biphenyle (PCB). Die PCDD/F- und PCB-Luftkonzentrationen an den drei Alpengipfeln sind um ein bis zwei Größenordnungen geringer als in Emittenten-nahen Gebieten. Die Depositionen sind jedoch ähnlich wie an quellnahen Standorten – ein Beleg für den Eintrag dieser Schadstoffe in entlegenen Regionen.

Die Ergebnisse dienen der Wirksamkeitskontrolle der UN Stockholm-Konvention zu POPs und finden Eingang in den zugehörigen „Global Monitoring Report“.