

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.