

## Zusammenfassung

# Erfassung von persistenten organischen Schadstoffen im bayerischen Alpenraum

## Inhaltsverzeichnis

1	<b>Einleitung</b>	1
2	<b>Hintergründe</b>	1
1	<b>Ziele des Projekts</b>	2
2	<b>Bewertung von Methoden und Ergebnissen</b>	2
2.1	Ausmaß und Bedeutung des Ferntransports von POP für den bayerischen Alpenraum	3
2.2	Höhenabhängige Messung von Immission, Deposition und ökosystemarer Dynamik von POP im bayerischen Alpenraum	4
2.3	POP-Belastung des Grund- und Quellwassers im bayerischen Alpenraum	5
3	<b>Ergänzende Bewertungsaspekte</b>	6
4	<b>Schlussfolgerungen und Ausblick</b>	7

## 1 Einleitung

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Projekts „Erfassung von persistenten organischen Schadstoffen im bayerischen Alpenraum“ (Laufzeit 2008 - 2011) zusammengefasst und bewertet. Ausführliche Darstellungen der verwendeten Methoden, der Ergebnisse und ihre wissenschaftliche Interpretation finden sich in den Schlussberichten PSP Element S-776360-5051-001 (Teil Quellwasser) und S-776360-5051-002 (Teil Boden, Nadeln, Deposition, Luft) des Helmholtz Zentrums München (HMGU).

## 2 Hintergründe

Mit der Unterzeichnung des Aarhus-Protokolls 1998 und der Stockholmer Konvention 2001 (in Kraft seit 2004) wurden langlebige organische Schadstoffe (POP) international

als globale Risiken für Umwelt und Gesundheit anerkannt. Bei den Stoffen handelt es sich um Pestizide, Industriechemikalien und unerwünscht entstehende Nebenprodukte aus Verbrennungs- und Produktionsprozessen. POP können durch die atmosphärische Zirkulation weltweit verteilt werden und fernab ihrer Entstehungsorte akkumulieren.

Über Eintrag, Umsetzung und Verbleib von POP in europäischen Ökosystemen ist vergleichsweise wenig bekannt. Allgemein gelten Waldökosysteme aufgrund des Effekts der Kronenfilterung als bedeutende Senken für POP. Für den Alpennordrand ist zudem aufgrund der klimatischen Verhältnisse zu erwarten, dass der Gehalt bestimmter POP mit zunehmender Höhe steigt, obwohl die Entfernung zu POP-Quellen zunimmt, weil in Hochlagen durch die sogenannte „cold condensation“ verstärkt POP in Böden, Schneebedeckung und Gletschereis gebunden werden können.

Diese Annahmen konnten zwar im grenzüberschreitenden Projekt MONARPOP<sup>1</sup> für den Alpenraum allgemein bestätigt werden, die hohe zeitliche und räumliche Variabilität relevanter ökosystemarer Prozesse erschwerte aber bisher eine gezielte Interpretation der Daten für den bayerischen Alpenraum.

Zudem wurden bisher etwaige Auswirkungen des Klimawandels auf die POP-Dynamik nicht berücksichtigt. Wenn Gletschereis und Permafrostböden im Zuge der Klimaerwärmung schmelzen bzw. auftauen, dann können diese Reservoirs wieder freigesetzt werden und zu erhöhten Belastungen des oberflächennahen Grundwassers und von Quellwässern im Gebirge beitragen.

### 3 Ziele des Projekts

1. Fortführung der MONARPOP-Untersuchungen zu Ausmaß und Bedeutung des Ferntransports von POP für den bayerischen Alpenraum
2. Höhenabhängige Messung von Immission, Deposition und ökosystemarer Dynamik von POP im bayerischen Alpenraum
3. Erfassung der POP-Belastung des Grund- und Quellwassers im Gebirge, um Aussagen zu Auswirkungen des Klimawandels auf die Re-Mobilisierung von POP aus Gletschereis und Permafrostböden im bayerischen Alpenraum ableiten zu können und die dafür erforderlichen Methoden zu konsolidieren

### 4 Bewertung von Methoden und Ergebnissen

Die beiden Untersuchungsgebiete Umweltforschungsstation (UFS) Schneefernerhaus und Nationalpark (NP) Berchtesgaden weisen die typische Hintergrundbelastung siedlungsferner Gebiete auf. Sie sind gut dazu geeignet, sowohl Stoffkonzentrationen und -trends der Atmosphäre am Alpennordrand, als auch den Ferntransport luftgetragener Stoffe in den bayerischen Alpenraum zu untersuchen.

Im Fokus der Untersuchungen standen polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F), polychlorierte Biphenyle (PCB), polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Organochlorpestizide (OCP) und polybromierte Diphenylether (PBDE).

---

<sup>1</sup> <http://www.monarpop.at/> Alpine Space Programm, INTERREG IIIB, finanziert u. a. durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit von 2003 bis 2007

Das hier bewertete Projekt konzentrierte sich auf ehemalige MONARPOP-Standorte und stellte dadurch die Kontinuität von POP-Messungen in den bayerischen Alpen sicher. Durch eine enge Abstimmung mit dem österreichischen Umweltbundesamt und dem schweizerischen Bundesamt für Umwelt, die die MONARPOP-Messungen auf dem Sonnblick (A) und dem Weißfluhjoch (CH) jeweils in Eigenregie fortsetzten, konnte zudem Kontinuität bei der grenzüberschreitenden Messung der POP-Belastung des europäischen Alpenraums durch Ferntransport erreicht werden.

Aus der Zusammenschau von MONARPOP und den drei nationalen Nachfolgeprojekten ergibt sich eine weltweit einzigartige Datengrundlage. Um dieses Potenzial auszuschöpfen, sollten alle verfügbaren Datensätze der Messungen von 2005 bis 2010 an den drei genannten Alpengipfeln geführt werden. Danach sind neben den hier für die bayerischen Messorte präsentierten Ergebnissen noch weiterführende Erkenntnisse zu erwarten.

#### 4.1 Ausmaß und Bedeutung des Ferntransports von POP für den bayerischen Alpenraum

- Hintergrund:** Die Datenlage war nach MONARPOP noch immer unzureichend, weil lange Sammelzeiten erforderlich sind, um in den Luft- und Depositions-Sammlern ausreichend hohe POP-Konzentrationen für die Analytik zu erreichen.
- Untersuchungsgebiet:** UFS Schneefernerhaus (Zugspitze) in enger Abstimmung mit den Messungen des österreichischen Umweltbundesamts auf dem Sonnblick und des schweizerischen Bundesamts für Umwelt auf dem Weißfluhjoch. Alle drei Alpengipfel sind ehemalige MONARPOP-Standorte.
- Methode 1:** Immission: POP-Gehalte der Luft mittels trajektoriengesteuerter Aktivsammler in Abhängigkeit vordefinierter Herkunftsgebiete in Europa (Nordwest (NW), Nordost/Ost (NE) und Südwest/Süd/Südost (S))
- Wichtigste Ergebnisse:**
- > PCDD/F: Abnehmender Trend außer für Luftmassen aus NE, für die eine Zunahme der PCDD/F-Konzentrationen beobachtet wurde.
  - > PCB: Abnehmender Trend. Die höchsten PCB-Werte wurden für Luftmassen aus NE gemessen.
  - > PCDD/F und PCB: Konzentrationsniveau meist im Bereich quellenferner Standorte
  - > PAK: Geringer bis deutlicher Trend zu höheren Immissionen aus allen Herkunftsgebieten, für NE sogar Erhöhung um Faktor 3
  - > OCP: Generelle Abnahme unabhängig vom Herkunftsgebiet, nur für Hexachlorbenzol (HCB) Zunahme aus NE und NW
- Methode 2:** Deposition: POP-Gehalte der Bulk-Deposition
- Wichtigste Ergebnisse:**
- > PCDD/F: Abnehmender Trend, wobei im Winter höhere Einträge gemessen werden als im Sommer.
  - > PCB: Kein einheitlicher Trend. Einzelne Kongenere nehmen ab.
  - > PCDD/F und PCB: Konzentrationsniveau meist im Bereich quellenferner Standorte, Einträge hängen stark mit dem Niederschlagsgeschehen zusammen
  - > PAK: Je nach Flüchtigkeit des PAH unterschiedliche Jahresgänge feststellbar. Kein eindeutiger Trend

- > OCP: Kein einheitlicher Trend, z. B. nimmt HCB zu, Endosulfan ab.
- > PBDE: Zunahme der Depositionsraten zeichnet sich ab

## Bewertung

An der UFS Schneefernerhaus werden im Vergleich zu den Stationen in Österreich und der Schweiz die höchsten Belastungen bei der Immission und Deposition von POP gemessen. Dabei spielen sowohl der höhere Niederschlag am nördlichen Alpenrand eine Rolle als auch die größeren Belastungen von Luftmassen aus dem Herkunftsgebiet Nordost im Gegensatz zu denen aus anderen Gebieten. Offen ist, ob das bayerische Alpenvorland bzw. Bayern an den Belastungen der Luftmassen aus Nordost einen Anteil hat.

Die Messungen mit trajektoriengesteuerten Instrumenten haben sich als praktikabel und erkenntnisreich erwiesen. Eine Fortführung solcher Messungen im Sinne eines Monitorings wäre wünschenswert. Im Idealfall würden sie mit windrichtungsunabhängigen aber dafür zeitlich höher aufgelösten, z. B. monatlichen Messungen ergänzt werden, um genauere Aussagen über saisonale Unterschiede und potenzielle Quellen machen zu können. Die Analyse weiterer, sogenannter „emerging POP“ wäre ebenfalls wünschenswert.

### 4.2 Höhenabhängige Messung von Immission, Deposition und ökosystemarer Dynamik von POP im bayerischen Alpenraum

**Hintergrund:** Die Höhenabhängigkeit von Eintrag, Umsetzung und Verbleib von POP ist im bayerischen Alpenraum weitgehend unbekannt.

**Untersuchungsgebiet:** klimatischer Höhengradient im NP Berchtesgaden (Erfassung meteorologischer Begleitparameter an 6 Standorten: vier ehemalige MONARPOP-Standorte zuzüglich zweier Standorte zur Verdichtung des Höhenprofils)

**Methode 1:** Transport: POP-Gehalte der Luft mit Passivsammlern (semipermeable membrane devices, SPMD, alle 7 Standorte)

Wichtigste Ergebnisse: > PCB: Stark unterschiedliches Adsorptionsverhalten von hoch- und niederchlorierten PCB, starke Abhängigkeit des Adsorptionsverhaltens von den herrschenden Lufttemperaturen

> PAK: Starker Einfluss des Hausbrands im Tal feststellbar: Höhere Konzentrationen im Winter, Tendenz zur Abnahme mit der Meereshöhe

> OCP: Je nach Pestizidtyp unterschiedliche Akkumulation im Höhenprofil. Tendenziell werden in den Monaten der Vegetationsperiode, in denen Pestizide angewendet werden, höhere Konzentrationen in den SPMDs gemessen. Einige Pestizide waren nicht nachweisbar, weil die Konzentrationen in der Luft zu niedrig waren.

**Methode 2:** Eintrag durch Kronenfilterung: POP-Gehalte von Fichtennadeln (alle 7 Standorte)

Wichtigste Ergebnisse: > PCDD/F: Tendenziell nehmen die Konzentrationen von unten bis in mittlere Höhen ab und nehmen dann nach oben hin wieder zu (U-förmiger Verlauf). Im Vergleich zu früheren Messungen (MONARPOP 2004/05) kein deutlicher Trend.

- > PCB: Tendenziell nehmen die Konzentrationen mit der Höhe zu. Kein deutlicher zeitlicher Trend
- > PAK: Höhengradient U-förmig (ähnlich PCDD/F). Im Vergleich zu MONARPOP 2004/05 nehmen Konzentrationen ab.
- > OCP: Höhengradient U-förmig, aber nicht so deutlich wie bei PCDD/F und PAK, Rückgang der Konzentrationen im Vergleich zu MONARPOP 2004/05
- > PBDE: Aussagefähigkeit der Analysen aus verschiedenen Gründen eingeschränkt

**Methode 3:** Langfristige Akkumulation: POP-Gehalte von Humus und Mineralboden (GC-MS und Mikro-EROD-Bioassay von Bodenproben, alle 7 Standorte)

- Wichtigste Ergebnisse:
- > PCDD/F: Konzentrationen nehmen mit der Höhe zu.
  - > PCB: Konzentrationen nehmen mit der Höhe zu.
  - > Mikro-EROD-Bioassay: Bestätigt die Tendenz zu zunehmenden Konzentrationen in der Höhe für dioxinähnliche Stoffe.
  - > PAK: Unterschiedlicher Höhengradient der einzelnen PAK, aber Tendenz zu einer Zunahme der Konzentrationen mit der Höhe
  - > OCP: Tendenz zu einer Zunahme der Konzentrationen mit der Höhe
  - > PBDE: Tendenz zu einer Zunahme der Konzentrationen mit der Höhe

## Bewertung

Fichtennadeln sind geeignete passive Bioindikatoren für alle gemessenen POP, vor allem in Gebieten, in denen die Infrastruktur für aktive Luftmessungen fehlt. Die POP-Belastung der Fichtennadeln im NP Berchtesgaden entspricht im Allgemeinen der von quellenfernen, gering belasteten Gebieten.

Die POP-Konzentrationen in Humus und oberem Mineralboden nehmen im Vergleich zu früheren Messungen eher zu, weil in den oberen Bodenschichten durch Streueintrag und den langsamen Abbau – vor allem in höheren Lagen – die betrachteten POP akkumulieren. Dadurch sind Humus und oberer Mineralboden die größten ökosystemaren Speicher für POP.

Die Brauchbarkeit von SPMDs als Passivsammler ist bei kalten Temperaturen und langen Expositionszeiten eingeschränkt (z. B. für hochchlorierte PCB).

Die gemessenen Höhengradienten unterliegen zahlreichen störenden Einflüssen. So spiegelt sich in den Messergebnissen nicht nur der Einfluss der Meereshöhe wider, sondern auch die Einflüsse lokalklimatischer Bedingungen, weil die Messpunkte nicht entlang einer Linie auf einem Hang eingerichtet wurden, sondern auf verschiedenen Hängen (z. B. unterschiedliche Exposition, Beschattung, Anströmbarkeit, lokale Windsysteme). Solche Einflüsse sind bei der Probenahme (schwer-)flüchtiger Stoffe von zentraler Bedeutung und müssen bei der Gestaltung zukünftiger Messungen gering gehalten werden. Bei diesem Projekt lag der Fokus aber gezielt darauf, die Messungen an den ehemaligen MONARPOP-Standorten fortzuführen.

### 4.3 POP-Belastung des Grund- und Quellwassers im bayerischen Alpenraum

**Hintergrund:** Methodenentwicklung zur Erfassung der POP-Belastung von Grund- und Quellwässern im Gebirge (Kartuschen mit Adsorberharz).  
Sekundäres Ziel: Ableitung von Aussagen zur Wirkungen des Klimawandels

auf die Re-Mobilisierung von POP-Reservoirs mittels Altersbestimmung und Bestimmung von Verdunstungseinflüssen (Isotopenmethoden).

**Untersuchungsgebiet:** Quelle im Bereich des Tunnelsystems unter dem Schneeferner (Zugspitze)

**Methode:** Entwicklung eines autarken Sammlers mit Adsorberharz für POP im Wasser

Wichtigste Ergebnisse: > Analytik: XAD-Kartuschen (Adsorberharz) sind für Untersuchungen von POP-Gehalten für Wasservolumina bis 125 m<sup>3</sup> geeignet.

> isotopebasierte Datierung: Wasserproben konnten mit den eingesetzten Methoden nicht zweifelsfrei datiert werden. Untersuchungen zum Einfluss abschmelzenden Gletschereises oder auftauender Permafrostbereiche auf die POP-Fracht von Schmelz- und Quellwässern im Gebirge sowie deren Einfluss auf das Grundwasser sind längerfristig anzulegen.

> PCDD/F, PCB, PAK und OCP: Insgesamt sehr geringe Belastungen mit deutlicher Saisonalität; im Winter hohe Konzentrationen, aber geringe Frachten wegen schwacher Quellschüttung, im Sommer umgekehrt

## Bewertung

Die entwickelte Methodik zur Wasseruntersuchung kann zur Bearbeitung zukünftiger Fragestellungen in Bayern genutzt werden.

Die POP-Gehalte im Quellwasser des Tunnelsystems unterhalb des Schneeferners waren insgesamt zwar sehr gering, weisen aber darauf hin, dass auch partikelgebundene POP durch Gesteinsklüfte der Karstfazies ins Grundwasser transportiert werden können.

Zum Einfluss des Klimawandels sind längerfristige Untersuchungen notwendig.

Für eine stichhaltige Untersuchung und Unterscheidung saisonaler und klimatischer Einflüsse auf die POP-Fracht von Schmelzwässern und den etwaigen Eintrag in Grund- und Quellwässer sollten die Untersuchungen deshalb weitergeführt werden.

## 5 Ergänzende Bewertungsaspekte

Die mit Hilfe dieses Projekts erzielten Ergebnisse dienen vor allem wissenschaftlichen Zwecken. Sie verbreitern die Datenbasis zu POP und legen so die Grundlage für künftige wissenschaftsbasierte Entscheidungen. Sie unterstützen internationale Bemühungen, zukünftige Entwicklungen globaler Risiken, die von POP ausgehen könnten, zu erkennen.

Aus einzelnen Messwerten, die im Rahmen dieses Projekts erzielt wurden, können keine konkreten Aussagen über die Wirkungen von POP-Gehalten abgeleitet werden. Eine Bewertung der Ergebnisse anhand von LAI-Beurteilungswerten ist hier nicht möglich. Die hier erzielten Werte sind nicht mit LAI-Beurteilungswerten vergleichbar. Dies gilt insbesondere für Dioxine, dioxinähnlichen PCB und PAKs.

Aus den Ergebnissen dieses Projekts können auch keine Schlussfolgerungen über konkrete Ursachen gemessener POP-Gehalte abgeleitet werden. POP sind ubiquitär verbreitet. Insbesondere wurde der Standort Zugspitze so gewählt, dass keine konkrete Belastung zu erwarten ist.

## 6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Projektergebnisse fließen in die Arbeit der LfU-Arbeitsgruppe „Messnetze-Monitoring-Programme“ (AG Monitoring), die immissionsökologischen Monitoring-Programme sowie in die Bodendauerbeobachtung und das GRABEN-Projekt des LfU ein.

Durch die seit 2005 durchgeführten POP-Messungen im Alpenraum wurde eine für Wissenschaft und Umweltpolitik einzigartige Datenreihe erarbeitet, deren Wert und Nützlichkeit mit jedem weiteren Messjahr zunimmt. Für künftige Fragestellungen sollten folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Klärung der Zunahme von PCDD/F- und PAK-Belastungen in der Luft aus Richtung Nordost
- deutlichere Unterscheidung zwischen lokalen Quellen und Ferntransport unter Berücksichtigung möglicher Quellenarten (z. B. Hausbrand, Industrie, Verkehr, Tourismus, Waldbrände, Vulkanausbrüche).
- Erweiterung des Analysespektrums auf „neue POP“ (emerging pollutants, u. a. auf Basis der Erweiterung der Stockholmer Konvention 2009)
- Einfluss des Klimawandels auf die Re-Mobilisierung von ökosystemaren POP-Senken

### Impressum:

#### Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg

Telefon: 0821 9071-0

Telefax: 0821 9071-5556

E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)

Internet: <http://www.lfu.bayern.de>

#### Bearbeitung:

Referat 16 – Medienübergreifende Umweltbeobachtung

#### Bildnachweis:

LfU

#### Stand:

04/2014 (ergänzte Version von 08/2012)

#### Postanschrift:

Bayerisches Landesamt für Umwelt  
86177 Augsburg

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbenden oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden. Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – wird um Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars gebeten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Diese Broschüre wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.