

Zusammenfassung

Monitoring neuartiger Schadstoffe im Bayerischen Alpenraum (EMPOP)

1	Kurzbeschreibung und Zielsetzung	1
2	Untersuchte Stoffgruppen	2
3	Probenahme	2
4	Die wichtigsten Ergebnisse	3
4.1	Immissions- und Depositionsmessungen an der UFS Schneefernerhaus	3
4.1.1	Etablierte POP	3
4.1.2	Neuartige POP	4
4.2	Quellwasseruntersuchungen im Zugspitztunnel und am Partnachursprung	5
4.3	Medien- und chemikalienübergreifender Vergleich	6
4.3.1	PAH	6
4.3.2	OCP und Endosulfansulfat	7
4.3.3	PCDD/F	7
4.3.4	PCB	7
5	Schlussfolgerung und Ausblick	7

1 Kurzbeschreibung und Zielsetzung

Persistente organische Schadstoffe (persistent organic pollutants, POP) zeigen aufgrund ihrer Langlebigkeit und schweren Abbaubarkeit eine längerfristige Umweltrelevanz, wobei sie sich in der Nahrungskette anreichern können. Ihre chronische Toxizität stellt ein Risiko für Mensch, Tier und Umwelt dar. Aufgrund ihres Potenzials zum atmosphärischen Ferntransport resultiert ein globales Problem, da sie sich auch fernab ihrer Emissionsquelle akkumulieren. Zu den POP zählen neben kommerziell produzierten Verbindungen wie Pflanzenschutzmittel und Industriechemikalien auch eine Vielzahl unerwünschter Nebenprodukte, die bei Produktions- und thermischen Prozessen entstehen. Globale Übereinkommen hinsichtlich der Einschränkung oder des Verbotes von POP sind in der 2001 verabschiedeten und 2004 in Kraft getretenen Stockholm Konvention geregelt.

Mit dem Projekt „Monitoring neuartiger Schadstoffe im bayerischen Alpenraum (EMPOP)“ wurden die Untersuchungen von POP in Luft, Deposition und Wasser des 2010 beendeten Projektes „Persistente organische Schadstoffe im Alpenraum (POPALP)“ an der Umweltforschungsstation (UFS) Schneefernerhaus auf der Zugspitze weitergeführt und um per- und polyfluorierte Tenside, neuartige polybromierte und -chlorierte Flammschutzmittel sowie um seit 2011 neu in die Stockholm Konvention aufgenommene POP ergänzt. Ziel von EMPOP war es, Immissionskonzentrationen und Depositionsraten neuartiger persistenter organischer Schadstoffe (sog. „EMerging“ POP) zu ermitteln. Daraus abgeleitet sollte die Bedeutung des atmosphärischen Ferntransportes (Hintergrundbelastung) und lokaler Quellen für das Vorkommen der neuartigen POP im bayerischen Alpenraum beurteilt werden. Des Weiteren sollten durch die Weiterführung der Messungen der etablierten POP über die Auswertungen der Luftmassenverteilung signifikante Aussagen zur Herkunft erhalten werden. Die Belastung hochalpiner Quellwässer mit POP wurde an den zwei Messstellen Tunnelsystem an der UFS Schneefernerhaus und Partnachursprung untersucht, um den Einfluss des durch den Klimawandel bedingten Abschmelzens des Permafrostkörpers auf die Quellwasserqualität und das Umweltverhalten der langlebigen POP zu beobachten.

Zur Abschätzung von Trends werden in der Auswertung der etablierten POP die Daten aus den vorhergehenden Probenahmezeiträumen des POPALP-Projektes mitberücksichtigt. In der anschließenden medienübergreifenden Betrachtung werden die Stoffmuster für die Immission, Deposition und Quellwässer verglichen und Zusammenhänge zwischen Immission und Deposition betrachtet.

2 Untersuchte Stoffgruppen

Zu den etablierten POP zählen eine Vielzahl an Organochlorpestiziden (OCP), polychlorierte Dibenzop-dioxine und Dibenzofurane (PCDD/PCDF), polychlorierte Biphenyle (PCB), polybromierte Diphenylether (PBDE) und die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH). Letztere sind in der POP-Konvention nicht aufgelistet. Im Rahmen des EMPOP-Projektes wurde das Monitoring-Programm um die beiden Endosulfan-Isomere (α - und β -Endosulfan) und das Hexabromcyclododecan (HBCD) ergänzt. Zusätzlich wurden der Metabolit Endosulfansulfat, per- und polyfluorierte Tenside sowie neuartige polybromierte und -chlorierte Flammschutzmittel untersucht.

3 Probenahme

Die Bestimmung der etablierten POP in der Luft (Immission) erfolgte mittels trajektoriengesteuerter Aktivsammler (High-Volume-Sammler) für drei definierte Herkunftsgebiete in Europa (Nordost, Nordwest, Süd) sowie ein undefiniertes Quellgebiet. Zur Bestimmung der neuartigen Flammschutzmittel wurde ein zusätzlicher Einkanal-Low-Volume-Sammler installiert, mit dem eine herkunftsunabhängige Luftprobenahme erfolgte. Der Eintrag der POP über die Gesamtdosition (nass und trocken) wurde mit modifizierten Bulksammlern (Kopplung eines beheizten Glastrichters mit einer Depositionskartusche) ermittelt. Die Probenahmen umfassten jeweils Zeiträume von etwa drei Monaten.

Die Beprobung der Quellwässer erfolgte für die Standorte Partnachursprung und Zugspitztunnel. Neben den etablierten POP wurden die beiden Endosulfan-Isomere und das Endosulfansulfat als Vertreter der neuartigen POP untersucht. Zusätzlich wurde ein auf dem Zugspitzplatt während der Sommermonate temporär entstehendes Gewässer („Zugspitzsee“) sowie die Partnach mit sog. virtuellen Organismen (hier: semipermeable Polyethylenmembrane, SPMD) beprobt.

4 Die wichtigsten Ergebnisse

Um einen längeren zeitlichen Verlauf abbilden und bewerten zu können, wurden auch die Ergebnisse seit 2005/2006 in die Auswertung mit einbezogen.

4.1 Immissions- und Depositionsmessungen an der UFS Schneefernerhaus

4.1.1 Etablierte POP

4.1.1.1 Herkunftsabhängige Immissionsmessungen mit High-Volume-Sammlern

Bei den Immissionsmessungen wurden für die PAH generell nur geringe Konzentrationen ermittelt, deren zeitlicher Verlauf z. T. stark schwankt. Für einige höhermolekulare PAH wurde eine Zunahme der Konzentrationen beobachtet. In den Wintermonaten wurden meist höhere Konzentrationen detektiert als in den Sommermonaten. Während für die niedermolekularen PAH die Luftmassen aus Nordost am höchsten belastet waren, wurden für die höhermolekularen PAH höhere Konzentrationen in Luftmassen aus Nordost oder Nordwest detektiert.

Für die PCB ist kein einheitlicher zeitlicher Trend erkennbar. Es wurden jedoch höhere Konzentrationen in den Sommer- als in den Wintermonaten ermittelt. Die höchsten Gehalte wurden wiederum in Luftmassen aus Nordost detektiert.

Die Immission der PCDD/F ist leicht rückgängig. Gemittelt über den gesamten Betrachtungszeitraum (2005–2013) wurden die höchsten Immissionskonzentrationen für die Luftmassen aus Nordost beobachtet.

Bei den OCP wurde für Pentachlorbenzol (PeCB) und Pentachloranisol (PCA) eine Abnahme der Konzentrationen beobachtet. Gemittelt über den gesamten betrachteten Zeitraum (2005–2013) waren die Luftmassen aus Nordost am stärksten belastet. Anwendungsbedingt (Einsatz in der Landwirtschaft, Wiederausgasen aus Böden und Vegetation) waren die Immissionswerte in den Sommermonaten deutlich höher als in den Wintermonaten.

Bei den polybromierten Flammschutzmitteln wurden die Hauptkongenere des technischen PentaBDE (BDE 47, 99, 100, 153, 154) als Summe betrachtet. Es wurden nur geringe Luftkonzentrationen bestimmt. Das flüchtigste Kongener BDE 28 wurde ebenfalls in sehr geringen Konzentrationen in allen Proben detektiert. Vor allem der DecaBDE (BDE 209) lag in vergleichsweise hohen Konzentrationen vor. In zwei Probenahmezeiträumen wurden für die Luftmassen aus nordöstlicher und/oder undefinierter Richtung auffällig hohe Werte beobachtet, während für die anderen beiden betrachteten Zeiträume keine deutlichen Unterschiede in Abhängigkeit von der Luftmassenrichtung erkennbar war.

4.1.1.2 Herkunftsunabhängige Immissionsmessungen mit dem Low-Volume-Sammler

In den Dreimonats-Luftproben (seit November 2012) des zusätzlich für die Flammschutzmittel installierten Low-Volume-Sammlers wurden die beiden flüchtigsten PBDE-Kongenere BDE 28 in allen und BDE 47 in fast allen Probenahmezeiträumen detektiert. Die Konzentrationen waren jedoch sehr niedrig. BDE 99 konnte in den letzten drei Probenahmezeiträumen (April 2013 bis Februar 2014) im Spurenbereich detektiert werden. Die Konzentrationen der übrigen PBDE-Kongenere lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze. Ein zeitlicher Trend ist für die PBDE aufgrund der geringen Datenlage noch nicht ableitbar. Für das BDE 28 wurden jedoch keine signifikanten Schwankungen in den Konzentrationen beobachtet. Die Werte für das BDE 209 lagen für alle Probenahmezeiträume unterhalb der Bestimmungsgrenze.

4.1.1.3 Depositionsmessungen

Die Depositionsraten nehmen für die PAH tendenziell ab. Der saisonale Unterschied (Sommer/Winter) ist nicht signifikant. Die ermittelten Werte waren vergleichbar mit anderen Bergregionen.

Für die PCB wurde ebenfalls eine Abnahme der Depositionsraten beobachtet. Der saisonale Vergleich zeigte deutlich höhere Werte für die Winter- als für die Sommermonate.

Sowohl für die PCDD/F-Depositionsraten als auch die Toxizitätsäquivalente ist eine Abnahme erkennbar. Das Verhältnis PCDF/PCDD hat sich in den letzten Jahren in Richtung der PCDF verschoben. Die Deposition der OCP ist rückläufig mit höheren Werten in den Sommer- und Herbstmonaten.

Für die PBDE wurde für die Depositionsraten der Summe der Hauptkongenere des technischen PentabDE und des BDE 183 kein Trend beobachtet. Für das BDE 209 (DecaBDE) wurden geringere Depositionen ermittelt als im Vorgängerprojekt POPALP.

4.1.2 Neuartige POP

4.1.2.1 Herkunftsabhängige Immissionsmessungen mit High-Volume-Sammlern

Die Immissionsmessungen ergaben eine Abnahme der Konzentrationen der Endosulfan-Isomere. Dabei wurden für das β -Isomer geringere Konzentrationen ermittelt, deren Abnahme zudem nicht so ausgeprägt ist wie beim α -Isomer. Für das α -Isomer wurden die höchsten Werte in Luftproben aus Richtung Süd beobachtet. Die Immissionskonzentrationen des Endosulfansulfat sind über den betrachteten Probenahmezeitraum (2011–2013) rückläufig. Die höchsten Werte wurden für den Süd- und den Nordost-Sektor beobachtet.

Das Hexabrombenzol (HBB) wurde in zwei Probenahmezeiträumen in deutlich höheren Konzentrationen in den Luftmassen aus Nordost und/oder undefinierter Richtung detektiert. Für die anderen beiden auswertbaren Zeiträume wurden unabhängig von der Herkunft der Luftmassen ähnliche Konzentrationen ermittelt. Das Decabromdiphenylethan (DBDPE) wurde in etwa der Hälfte der auswertbaren Proben detektiert. Im ersten Probenahmezeitraum wurde für die Luftmasse aus undefinierter Richtung eine auffällig hohe Konzentration an DBDPE ermittelt. Das 1,2-Bis[2,4,6-tribromphenoxy]-ethan (BTBPE) wurde lediglich in einer Probe für die Luftmasse aus undefinierter Richtung detektiert. Die Dechloran Plus-Isomere *syn* und *anti* wurden in der Mehrzahl der Proben nachgewiesen. Die Luftmassen aus Richtung Nordwest waren i. Allg. am geringsten mit Dechloran Plus belastet. Auffällig hohe Konzentrationen wurden für den ersten Probenahmezeitraum für die Luftmassen aus undefinierter Richtung und für den dritten Probenahmezeitraum aus Richtung Nordost ermittelt. Zeitliche Trends und saisonale Abhängigkeiten sind bisher nicht ableitbar.

In den für den Zeitraum 2006/2010 ausgewerteten Luftproben wurden in allen Proben die drei Vertreter der Fluortelomeralkohole (FTOH; 6:2-, 8:2-, 10:2-FTOH) nachgewiesen, wobei das 8:2-FTOH den höchsten Anteil ausmachte. Die höchsten Konzentrationen wurden wiederum für die Luftmassen aus Richtung Nordost ermittelt. Aufgrund der begrenzten Datenlage lassen sich noch keine zeitlichen Trends ableiten.

4.1.2.2 Herkunftsunabhängige Immissionsmessungen mit dem Low-Volume-Sammler

In den Luftproben wurden als Vertreter der neuartigen polybromierten Flammschutzmittel das HBB, Pentabrommethylbenzol (PBEB) und Pentabromtoluol (PBT) in allen bzw. fast allen Dreimonats-Proben (seit November 2013) detektiert. Die Konzentrationen schwankten z. T. erheblich. Zeitliche Trends und saisonale Abhängigkeiten können aufgrund der begrenzten Datenlage noch nicht abgeleitet werden. Das sehr schwerflüchtige, hochbromierte DBDPE konnte aufgrund der relativ hohen Nachweisgrenzen nicht detektiert werden.

Die beiden Isomere des polychlorierten Flammschutzmittels Dechloran Plus wurden ebenfalls in fast allen Proben detektiert. Dies belegt die Relevanz des Einsatzes als additives Flammschutzmittel und dessen atmosphärischen Ferntransport.

4.1.2.3 Depositionsmessungen

In den Depositionsproben wurden die neuartigen polybromierten Flammschutzmittel HBCD, DBDPE, HBB, PBEB und PBT in allen untersuchten Proben bestimmt. Für HBB, PBEB und PBT waren die Depositionsraten sehr niedrig ($\leq 0,4 \text{ ng}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$), was mit den Konzentrationen für die Immission korreliert. Für das DBDPE wurden sehr hohe Depositionsraten beobachtet, die über denen des BDE 209 lagen. Dies belegt dessen stark gestiegenen Einsatz als Ersatzstoff für das BDE 209 und dessen diffuse Verbreitung. Die HBCD-Isomere (als Summe) wurden ebenfalls in den meisten Proben detektiert. Die ermittelten Depositionsraten waren höher als die für das BDE 209 und die Summe der Hauptkongenere des technischen PentaBDE und des BDE 183, jedoch deutlich geringer als die für das DBDPE.

Die beiden Isomere des polychlorierten Flammschutzmittels Dechloran Plus wurden in allen untersuchten Depositionsproben detektiert. Die ermittelten Depositionsraten waren höher als die des BDE 209 und der Summe der Hauptkongenere des technischen PentaBDE und des BDE 183. Abgesehen von den ersten beiden Probenahmezeiträumen (November 2010 bis Juli 2011) lag das Verhältnis für die beiden Isomere *syn* zu *anti* im erwarteten Bereich von etwa 1:2.

Die Analyse der Depositionsproben auf perfluorierte Tenside konnte aufgrund unzureichender Extraktionseffizienz vom verwendeten Adsorbensmaterial noch nicht durchgeführt werden.

4.2 Quellwasseruntersuchungen im Zugspitztunnel und am Partnachursprung

Die Belastung hochalpiner Quellwässer mit POP ist weitestgehend unbekannt. Hinzu kommt die durch den Klimawandel eingeleitete Abschmelzung der Gletscher und der hochalpinen Permafrostbereiche der inneren geologischen Formationen. Ziel derartiger Untersuchungen ist die Erfassung der POP in Quell- und Schmelzwässern im Ultraspurenbereich. Dazu wurden spezielle Probenahmeeinrichtungen entwickelt und validiert, die es erlauben, Wässer integrativ über längere Zeiträume von bis zu sechs Monaten mit Volumina bis zu 100 m^3 zu beproben. Die Zugspitze mit dem angeschlossenen Tunnelsystem am Schneefernerhaus ist hierfür geeignet und wurde als ein Standort an der Grenzfläche zwischen Permafrost und Niederschlagspenetration etabliert. Dort wurden zwei Messstellen eingerichtet, von denen eine seit September 2009 kontinuierlich beprobt wird. Von der zweiten Messstelle konnten seit Oktober 2010 Proben gewonnen werden. Beide Messstellen wurden weiter beprobt, um mehr Analysergebnisse über einen längeren Zeitraum zu erhalten und den Einfluss des Klimawandels auf die Dynamik des Permafrostkörpers und das Umweltverhalten der langlebigen POP zu beobachten.

Bislang konnte festgestellt werden, dass die hier untersuchten POP mit dem Perkolat durch das klüftige anstehende Kalksteinmassiv transportiert werden. Die beobachteten Transportphänomene der einzelnen Chemikalien basieren vorwiegend auf deren physikalisch-chemischen Eigenschaften. Jedoch werden selbst die schwer wasserlöslichen Stoffe im Quellwasser gefunden, wobei hier auch Hinweise auf einen Transport in adsorbierter Phase gegeben sind. Vor dem Hintergrund der Klimaänderung konnte der Einfluss des Permafrostkörpers auf die Quellwasserqualität in der vorliegenden Untersuchungsperiode noch nicht herausgearbeitet werden. Die Probenahmestellen im Zugspitztunnel haben sich aufgrund ihres Schüttungsverhaltens als besonders geeignet herausgestellt. Die Untersuchungen von POP wurden mit physikalischen Parametern des untersuchten Wassers sowie mit Immissions- und Depositionsdaten auf der Zugspitze ergänzt. Bei beiden beprobten Tunnelwässern handelt es sich aufgrund der Isotopencharakterisierung sehr wahrscheinlich um junges Wasser (maximal drei Jahre). Die Belastung der Wässer ist niedrig aber detektierbar. So liegen z. B. die Werte für die PCDD/F von den Proben-Kartuschen eines Abflusses in einem Bereich von $2,7 \pm 0,8 \text{ pg WHO}_{2005}\text{-TEQ}/\text{m}^3$ und für die PCB bei $0,02 \pm 0,02 \text{ pg WHO}_{2005}\text{-TEQ}/\text{m}^3$. In den Quellwasserproben des Tunnelsystems der Zugspitze

wurden sowohl die wasserunlöslichen Hepta- und OctaCDD als auch die wasserlöslichen Tetra- und PentaCDD und PentaCDF detektiert. Die Konzentrationen waren im untersuchten Zeitraum jedoch sehr niedrig. Wie bereits im POPALP-Projekt festgestellt werden konnte, werden offenbar auch partikel-sorbierte Anteile des Niederschlages durch die Klüfte des anstehenden Kalksteins transportiert. Sie sind somit vermutlich auch in derartigen Gesteinsformationen grundwassergängig. Es wurden für das Winterhalbjahr höhere Konzentrationen ermittelt.

Die erste hochalpine Installation an der Partnach zur aktiven Probenahme von großen Volumina über längere Zeiträume erbrachte ebenfalls während der Sommerhalbjahre Ergebnisse, die ein Vorhandensein vieler POP im Partnachursprungswasser belegen und zugleich Hinweise auf deren partikulären Transport erbrachten. Dort wurden zwei Probenahmesysteme im Sommer 2012 installiert, die jährlich die Partnach von Frühling bis zum Herbst überwachten. Die untersuchten Stoffgruppen der OCP, PAH, PCB und PCDD/F sind insgesamt ebenfalls niedrig konzentriert im Vergleich zu anderen natürlichen Gewässern mit saisonalen Schwankungen, die im Sommer die niedrigsten Werte aufweisen. Die Probenahme mit Virtuellen Organismen (semipermeable Polyethylenmembranen, SPMD), die das tierische Fettgewebe simulieren, bestätigen den Konzentrationsbereich der analysierten Stoffe. Allerdings ergaben die Messungen spezifische Unterschiede für die wasserlöslicheren POP. Lipophile POP wurden erwartungsgemäß stärker im fettähnlichen Triolein der Virtuellen Organismen angereichert.

Einige POP, insbesondere aus der Gruppe der OCP, erfahren aufgrund von Verteilungs- und Transformationsprozessen Veränderungen in ihren Konzentrationen, selbst während der Gesteinspassage. Hier ist insbesondere das Endosulfansulfat zu nennen, das offenbar bedeutsamer ist als die gerade in die POP-Liste aufgenommenen Ausgangsstoffe α - und β -Endosulfan. Die vorwiegend über trockene und nasse Deposition eingetragenen Endosulfane werden nach der Gesteinspassage im Tunnel und auch im Quellwasser fast nur noch als Endosulfansulfat aufgefunden, dass wiederum in den Depositionsproben und der Luft kaum detektiert wird. Endosulfansulfat ist auch in deutschen Böden aktuell in deutlich höheren Konzentrationen festgestellt worden als die Ausgangssubstanzen α - und β -Endosulfan. Endosulfansulfat ist somit ähnlich wie im Fall des Metaboliten DDE des Insektizids DDT als noch persistenterer Problemstoff als die Ausgangsverbindungen α - und β -Endosulfan im Alpenraum identifiziert.

4.3 Medien- und chemikalienübergreifender Vergleich

Eine medienübergreifende Diskussion war lediglich für die etablierten POP für einen begrenzten Zeitraum möglich. Dieser lag für die Immission und Deposition zwischen Juli und Oktober 2012, für die Quellwasseruntersuchungen im Tunnelsystem der Zugspitze zwischen Oktober 2012 bis Juli 2013 und für die Quellwasseruntersuchungen am Partnachursprung zwischen August und Oktober 2010.

4.3.1 PAH

Eine Korrelation zwischen Immissionsmuster und Depositionsraten ist nur bedingt möglich. Ähnliche Verläufe werden lediglich für die niedermolekularen PAH mit zwei bis drei Benzolringen beobachtet. Die über alle Eintragspfade (nasse Deposition, gas- und partikelförmige trockene Deposition) gemittelten generalisierten Depositionsgeschwindigkeiten nehmen mit der Anzahl der aromatischen Ringe zu. Eine Korrelation mit der Umgebungstemperatur ist nicht möglich.

In der Luft überwiegen die niedermolekularen PAH. Für die Deposition werden ähnliche Anteile an nieder- und hochmolekularen PAH beobachtet. Im Quellwasser des Tunnelsystems der Zugspitze dominieren die höhermolekularen PAH, im Quellwasser der Partnach die niedermolekularen PAH. Für die Deposition und die Quellwässer des Tunnelsystems der Zugspitze und am Partnachursprung werden für die einzelnen PAH ähnliche Verteilungsmuster beobachtet, die sich jedoch deutlich von denen in der Luft unterscheiden. Phenanthren dominiert deutlich bei der Deposition und in den Quellwässern. Bei der Immission dominieren Fluoren und Phenanthren.

4.3.2 OCP und Endosulfansulfat

Es wird für die einzelnen OCP kein Zusammenhang zwischen Immission und Deposition beobachtet. Für das 4,4'-DDT ist der zeitliche Verlauf von Immission und Deposition ähnlich. Die Verteilungsmuster der HCH-Isomere für die Deposition und die beiden Quellwässer ähneln sich. Lindan (γ -HCH) dominiert bei den HCH-Isomeren in allen vier Medien. Endosulfansulfat wird in der Luft nicht detektiert. In den Quellwässern machen die beiden Endosulfan-Isomere nur einen Anteil an der OCP-Summe von jeweils unter 10 % aus. Bei der Deposition unterscheiden sich die Anteile der Endosulfan-Isomere und des Endosulfansulfats nur geringfügig.

Der Vergleich ausgewählter OCP für die vier Probearten (Luft, Deposition, Zugspitz- und Partnachquellwasser) zeigt Ähnlichkeiten für die Muster der Quellwässer. Sie unterscheiden sich jedoch deutlich von den Mustern für die Immission und Deposition. In der Luft überwiegt das Hexachlorbenzol, bei der Deposition das Lindan.

4.3.3 PCDD/F

Die Immissionskonzentrationen der einzelnen PCDD- und PCDF-Kongenere schwanken sehr stark. In der Luft dominieren die PCDF, in den Quellwässern die PCDD. Für die Deposition ist der Anteil der PCDD um etwa < 20 % höher als der der PCDF.

4.3.4 PCB

Die Verteilungsmuster der Indikator-PCB ähneln sich für die Immission, Deposition und die beiden untersuchten Quellwässer. Die sechs betrachteten Kongenere liegen in ähnlichen Anteilen vor. Für die mono-*ortho* PCB werden lediglich geringfügige Unterschiede im Verteilungsmuster für das Quellwasser des Tunnelsystems der Zugspitze im Vergleich zu den anderen drei Matrizes beobachtet. Das PCB 118 ist das dominante Kongener. Generell dominieren die Indikator-PCB mit Anteilen über 80 % deutlich gegenüber den mono-*ortho* PCB in allen vier Probenmatrizes.

5 Schlussfolgerung und Ausblick

Die Ergebnisse von EMPOP geben zusammen mit den Daten aus den Vorgängerprojekten MONAR-POP und POPALP einen umfassenden Überblick über den zeitlichen Verlauf der Belastungssituation im bayerischen Alpenraum mit etablierten POP. Für einzelne Stoffgruppen und Verbindungen waren zeitliche Trends erkennbar. Durch Erweiterung des Messspektrums um ausgewählte neuartige POP konnte deren Relevanz belegt werden. Aufgrund der begrenzten Datenlage sind jedoch für diese Substanzen noch keine zeitlichen Trends ableitbar. Eine Weiterführung des Monitoring-Programms ist erforderlich, um auch für die neuartigen POP die diffuse Verbreitung, die Hintergrundbelastung und lokale Quellen identifizieren und beurteilen zu können.

Die Quellwasseruntersuchung sowohl im Tunnelsystem an der Zugspitze als auch am Partnachsprung im Reintal haben belegt, dass durch den Eintrag der POP in den hochalpinen Standort Zugspitze auch die darunterliegenden Grundwasser- und Oberflächenwassersysteme beeinflusst werden. Wie bereits im POPALP-Projekt diskutiert wurde, sind längerfristige Untersuchungen an den Quellwasserstandorten notwendig, um Erkenntnisse zum Einfluss des Klimawandels auf die Dynamik und Stabilität des dort vorliegenden Permafrostkörpers zu erhalten.

Eine kontinuierliche Beprobung ist somit notwendig, um langfristige Erkenntnisse über das Vorkommen, die Hintergrundbelastung, den Ferntransport, lokale Quellen und zeitliche und saisonale Veränderungen beim Ein- und Austrag der etablierten und neuartigen POP zu gewinnen. Die weltweite Datenlage für Berggebiete ist nur sehr gering, sodass derzeit ein Vergleich der Ergebnisse sowie die Ableitung von Zusammenhängen nur bedingt möglich wäre. Eine Zusammenarbeit mit Institutionen anderer Alpenländern (z. B. Schweiz, Österreich) würde weitere Erkenntnisse liefern.

Des Weiteren ist eine weitere Optimierung der Probenahme-, Probenvorbereitungs- und Messmethoden für die neuartigen POP erforderlich, um empfindlicher messen und Matrixinterferenzen weitestgehend verringern zu können. Vor allem für die Deposition der neuartigen POP besteht die Problematik, geeignete Adsorbentien zu finden. Um den Einfluss von durch den Skitourismus bedingten Stoffeinträgen auf die Quellwasserqualität und das Umweltverhalten bewerten zu können, ist die Untersuchung auf poly- und perfluorierte Tenside von Bedeutung. Hier wäre u. a. auch die Untersuchung des Umsetzungspotentials der Fluortelomeralkohole zu perfluorierten Carbonsäuren von Interesse.

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

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

Bearbeitung:

Ref. 16/ Claudia Niegel, Ludwig Peichl

Bildnachweis:

LfU

Stand:

September 2014

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 Wahlwerbern 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 erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.