



Umweltinstitut des Landes Vorarlberg

Umweltanalytik

**Untersuchung schwer abbaubarer
Schadstoffe in hochalpinen Regionen
Vorarlbergs**

Schriftenreihe Lebensraum Vorarlberg, Band 56

Umweltanalytik

Untersuchung schwer abbaubarer Schadstoffe in hochalpinen Regionen Vorarlbergs

Gesamtbearbeitung:

Christoph Scheffknecht ([email: christoph.scheffknecht@vorarlberg.at](mailto:christoph.scheffknecht@vorarlberg.at))

Probenahme und Felduntersuchung:

Sedimente: Gerhard Hutter, Harald Urthaler

Boden: Josef Scherer

Firn: Richard Werner

Chemische und physikalische Untersuchungen und Probenahme:

Rainer Florineth

Walter Hämmerle

Hansjörg Kapeller

Peter Singer

Norbert Lerchster

Harald Urthaler

Special thanks to Mr. **Joan O. Grimalt** from [CSIC](#), Barcelona for providing us with data of european remote mountain lakes for reference purposes.

Impressum

Herausgeber und Medieninhaber:
Amt der Vorarlberger Landesregierung
Römerstraße 16, A-6900 Bregenz

Verleger:
Umweltinstitut des Landes Vorarlberg
Montfortstraße 4, A-6900 Bregenz
Tel. 05574/511-42099
Email: umweltinstitut@vorarlberg.at

Satz/Repro: Atelier Schuster/Haselwanter, Lustenau
Druck: Höfle Druck, Dornbirn

Bregenz, Oktober 2003

ISBN 3-902290-03-X

Vorwort

Vorarlberg verfügt als Gebirgsland über einen enormen Naturreichtum, den es nachhaltig zu schützen gilt. Vor allem den sensiblen Ökosystemen in den hochalpinen Regionen ist dabei besonderes Augenmerk zu schenken. Aus dem Wissen um die potentielle Gefährdung dieser Ökosysteme wurden an ausgewählten Gebirgsseen und an hochalpinen Böden spezielle Schadstoffuntersuchungen durchgeführt.

Bestimmte organische Schadstoffe sind selbst in den entlegensten Regionen der Erde nachweisbar. So wird seit Jahrzehnten die Anreicherung von Schadstoffen in den Polargebieten mit Sorge beobachtet. Jüngere Studien zeigen, dass auch in den Hochgebirgsregionen der Alpen und anderer Gebirgsketten schwer abbaubare organische Schadstoffe nachzuweisen sind. Dieses Umweltproblem mit globaler Dimension veranlasste im Jahr 2001 über hundert Staaten, die Stockholmer Konvention zu unterzeichnen, die ein weltweites Verbot der Produktion und Anwendung gefährlicher langlebiger organischer Schadstoffe vorsieht.

Die vorliegende Studie belegt, dass auch unsere Gebirgsregionen nicht vor Einträgen organischer Schadstoffe durch weiträumige Luftverfrachtungen verschont geblieben sind. Glücklicherweise handelt es sich hierbei im Vergleich zu anderen Regionen um sehr geringe Belastungen. Jedoch allein die analytischen Nachweise verpflichten zu verstärkter Vorsorge im Bereich der Chemikalienpolitik und zu noch höher Sensibilität auf dem Gebiet des vorsorgenden Umweltschutzes. Hier ist eine konsequente Umsetzung der Stockholmer Konvention gefordert.

Ich danke den Bearbeitern der Studie für den wertvollen Beitrag zur Umweltüberwachung im Lande. Aufbauend auf die orientierende Ersterhebung soll die Schadstoffkontrolle in den Hochgebirgsregionen als wesentlicher Teil der Umweltvorsorge fortgeführt werden.

Ing. Erich Schwärzler
Umweltlandesrat



Inhalt

Kurzfassung	1
1 Einleitung	2
2 Zielsetzung	4
3 Untersuchungsparameter	4
3.1 Auswahl der Untersuchungsparameter	4
3.2 Kurzbeschreibung der Untersuchungsparameter	5
4 Auswahl und Beschreibung der Probenstellen	7
5 Diskussion der Ergebnisse	10
5.1 Vorbemerkungen	10
5.2 Polychlorierte Biphenyle, Hexachlorbenzol, Hexachlorcyclohexane	10
5.3 Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe	12
5.4 Schwermetalle	13
6 Zusammenfassung und Ausblick	16
7 Literatur	17
8 Anhang	20
8.1 Probenahme	20
8.2 Parameter und Prüfanweisungen	20
8.3 Ergebnistabellen	22
8.4 Bodenbeschreibung der Probenahmestandorte	29

15 Abbildungen

14 Tabellen

Kurzfassung

Sedimentproben von vier Hochgebirgsseen im Süden Vorarlbergs und Bodenproben aus deren Einzugsgebiet sowie Firnproben vom Vermuntgletscher im Silvrettagebiet wurden auf schwer abbaubare organische Schadstoffe und Schwermetalle untersucht. Dabei wurden auch Substanzen analysiert, die seit einigen Jahren in Europa nicht mehr hergestellt und verwendet werden dürfen. Die Ergebnisse zeigen, dass diese auch in entlegenen Regionen – wenn auch in geringen Mengen – nachzuweisen sind. Hauptverantwortlich für diesen Befund sind globale atmosphärische Transportprozesse.

Abstract

Sediment- and soilsamples from four remote high mountain lakes and snow from a glacier in the south of the state Vorarlberg in Austria were collected. The concentrations of various persistent organic substances (focussing on organochlorine-compounds) and heavy metals were analysed. Small amounts were found in these remote regions due to atmospheric transport processes.

1 Einleitung

Eine Vielzahl an Schadstoffen kann in den unterschiedlichsten Umweltbereichen in zum Teil beträchtlichen Konzentrationen nachgewiesen werden. In der Umgebung von Ballungsräumen und Industriezonen ist dies nicht überraschend. Unerwartet war hingegen vor einigen Jahrzehnten die Beobachtung, dass in abgelegenen Gebieten wie in (ant-)arktischen Regionen schwer abbaubare organische Schadstoffe nachzuweisen sind. Diese Schadstoffe werden oft unter dem Fachbegriff POP (Persistent Organic Pollutants) [10] zusammengefasst. Erst später wurde entdeckt, dass auch in entlegenen, alpinen Hochgebirgsregionen schwer abbaubare Schadstoffe angereichert werden können.

Diese Substanzen werden auf Grund ihrer physikalischen Eigenschaften (Flüchtigkeit, Adsorption an Partikeln etc.) über weite Entfernungen transportiert [1, 2, 3, 5]. Dabei wandern die Schadstoffe über Luftverfrachtungen bevorzugt von wärmeren in kältere Regionen („Globale Destillation“ [1]). In wärmeren Regionen verdampfen flüssige Substanzen, da der Dampfdruck mit zunehmender Temperatur steigt und kondensieren in kälteren Regionen (Abbildung 1). Diese Vorgänge können mehrfach hintereinander auftreten („Heuschreckeneffekt“). Die Temperatur nimmt jedoch nicht nur mit zunehmendem geographischem Breitengrad ab, sondern auch mit der Meereshöhe. Leichter flüchtige Verbindungen werden über weitere Strecken transportiert, da sie erst in sehr kühlen Regionen kondensieren (hohe Mobilität). Auch Meeresströmungen werden als Verfrachtungsweg diskutiert, sind aber im Falle von Hochgebirgsregionen ohne Bedeutung.

„Globale Destillation“

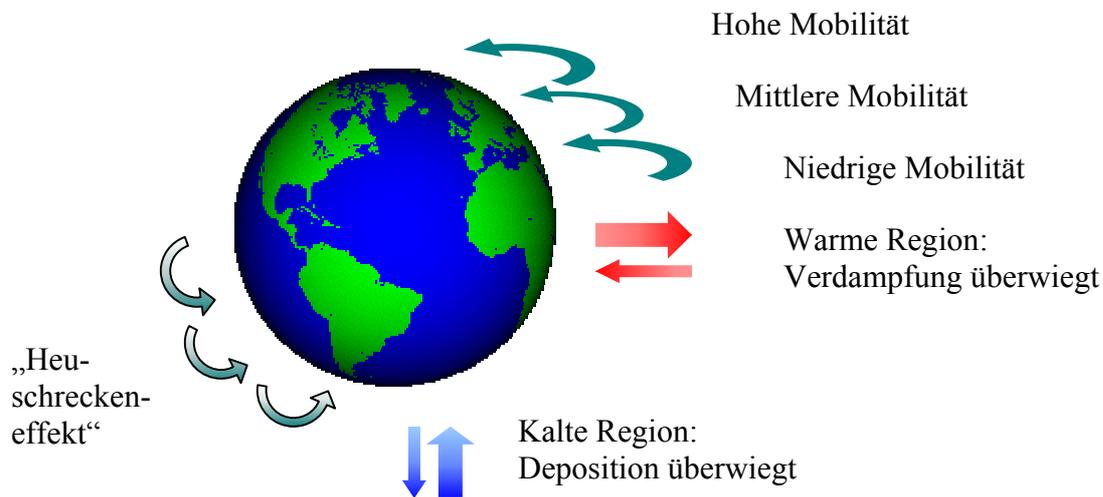


Abbildung 1

Der im Falle der POP ohnehin sehr langsame biologische Abbau verlangsamt sich in den kalten Regionen zusätzlich und die Chemikalien werden wegen ihrer guten Fettlöslichkeit in der Nahrungskette angereichert. So sind z.B. Fische und vor allem Eisbären und Pinguine, die am Ende der Nahrungskette stehen, stark mit POP belastet.

Diese Tatsachen wurden bereits vor Jahrzehnten erkannt und führten in einzelnen Nationen (USA 1977, BRD 1983) zum Produktionsausstieg und zu Verboten und Beschränkungen im Umgang mit POP. Da es sich aber um ein globales Problem handelt, wurde nach jahrelangen Verhandlungen von 110 Staaten die „Stockholm-Konvention“ [4, 5] unterzeichnet, die die Produktion und Anwendung der wichtigsten POP im Rahmen nationaler Gesetze verbietet oder einschränkt. Auch nicht staatliche Umweltorganisationen, wie Greenpeace, Global 2000 und WWF haben sich für ein Verbot zur Herstellung und Verwendung dieser Schadstoffe engagiert [9].

Während die Anreicherung von Schadstoffen in der Arktis und Antarktis seit Jahrzehnten intensiv erforscht wurde, liegen über die Situation im hochalpinen Raum weit weniger Daten vor. Die meisten dieser Daten wurden in Österreich im Rahmen von Projekten des Umweltbundesamts Wien erhoben. Hochgebirgsseen reagieren sehr empfindlich auf Umweltveränderungen. Daher dienen sie seit den 1980er Jahren als Frühwarnsysteme. Daten zur Situation der schwer abbaubaren Schadstoffe in Gebirgsseen wurden in europaweiten Projekten wie MOLAR [28], ALPE-2 und EMERGE [38] ermittelt. Diese Untersuchungen zeigen, dass zumindest regional hohe Belastungen in Sedimenten und vor allem im Fettgewebe von Tieren nachzuweisen sind. So wurden zum Beispiel in Fischen aus österreichischen und italienischen Hochgebirgsseen erhöhte Gehalte verschiedenster Chemikalien gemessen [7, 8].

Auf den Zusammenhang zwischen Schadstoffmengen in Fichtennadeln sowie im Auflagehumus mit der Seehöhe wurde in einem UBA-Bericht [6] detailliert eingegangen. Ein ermitteltes Höhenprofil zeigte, dass die Gehalte für einige Substanzen (z.B. PCB) mit der Höhe zunehmen. Vereinzelt wurden auch Schadstoffgehalte in Niederschlägen aus höheren Regionen ermittelt [20, 21, 32, 33].

Für eine fachlich korrekte Beurteilung der Situation, insbesondere was die Herkunft der Schadstoffe betrifft, sind jedoch weitere Informationen notwendig. Daher wurde vom Umweltministerium im Jahr 2000 das länderübergreifende Projekt „MONARPOP“ [45] konzipiert. Dabei sollen von verschiedenen Messstellen, verteilt über den gesamten Alpenbogen, Informationen zur Belastungssituation gewonnen werden. Weiters soll die Höhenabhängigkeit und der weiträumige Transport der Chemikalien dargestellt werden. Der Starttermin ist zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts noch unklar.

2 Zielsetzung

Die Ergebnisse der Untersuchungen europäischer Hochgebirgsseen zeigen regional deutlich unterschiedliche Schadstoffbelastungen. Zur möglichst raschen Erfassung der lokalen Situation in Vorarlberg wurde vom Umweltinstitut des Landes Vorarlberg im Jahr 2001 ein Projekt gestartet. Ziel des Projektes war die Untersuchung ausgewählter, schwer abbaubarer Schadstoffe im Sediment von Vorarlberger Hochgebirgsseen und in Bodenproben im Einzugsgebiet dieser Seen. Die Bestimmung von Umweltchemikalien in Firnproben von einem Gletscher im Silvrettagebiet sollte zusätzliche Daten für eine erste Einschätzung der atmosphärischen Deposition von Schadstoffen liefern.

Um das Verhältnis Aufwand zu Informationsgewinn zu optimieren, sollte das Projekt im ersten Schritt lediglich orientierende Daten liefern. Es wurde die Anzahl der zu untersuchenden Substanzgruppen entsprechend minimiert und das Augenmerk auf die wesentlichen Umweltschadstoffe gerichtet. Nach Vorliegen der Daten sollte dann gezielt auf eventuelle Probleme in Nachfolgeprojekten eingegangen werden.

Eine weitergehende Interpretation der Daten, wie z.B. eine Ableitung der Herkunft der Schadstoffe, ist nicht Ziel dieses Projekts. Dies ist nur mit deutlich höherem Aufwand im Rahmen länderübergreifender Projekte möglich, wie zum Beispiel im Rahmen des Projekts „MONARPOP“ [45].

3 Untersuchungsparameter

3.1 Auswahl der Untersuchungsparameter

Bei der Vielzahl der schwer abbaubaren Schadstoffe ist eine sorgfältige Auswahl der Parameter sehr wichtig, um das Verhältnis Aussagekraft zu Aufwand optimieren zu können. Folgende Kriterien wurden für die Auswahl der Untersuchungsparameter herangezogen:

- Herkunft der Schadstoffe: Vorwiegend synthetisch hergestellt ?
- Verwendung der Substanzen: Gezielte Anwendung oder Entstehung als Nebenprodukt ?
- Mobilität in Ökosystemen
- Vorhandene Literaturdaten (Referenzwerte)
- Optimierung des Untersuchungsaufwandes

Die Wahl fiel auf einige wichtige Vertreter schwer abbaubarer organischer Verbindungen: Polychlorierte Biphenyle (PCB), Hexachlorbenzol (HCB) und die Hexachlorcyclohexane (HCH). Diese Verbindungen werden bzw. wurden synthetisch hergestellt. Zudem bedingt die hohe Mobilität die atmosphärische Verfrachtung über sehr weite Entfernungen.

Die polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) werden nicht für die Verwendung in Produkten synthetisch hergestellt und sind weniger mobil. Sie entstehen vor allem bei Verbrennungsprozessen und kommen daher in geringen Mengen ubiquitär in der Natur vor.

Da Schwermetalle nicht abgebaut werden können, wurden auch diese untersucht. Metalle sind grundsätzlich geogen bedingt, können aber auch durch atmosphärische Transportprozesse akkumuliert werden.

Für eine Standortcharakterisierung wurden weitere Parameter (Nährstoffparameter etc.) bestimmt. Die Daten werden in diesem Bericht zwar dargestellt, aber nicht diskutiert.

3.2 Kurzbeschreibung der Untersuchungsparameter

3.2.1 Polychlorierte Biphenyle, Hexachlorbenzol und Hexachlorcyclohexane

Alle drei Substanzgruppen zählen zu den chlorierten Kohlenwasserstoffen.

Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Seit Beginn der 1930er Jahre wurden weltweit (ohne Rußland und Osteuropa) ca. 1,2 – 1,5 Mio. Tonnen polychlorierte Biphenyle (PCB) hergestellt [10, 11]. Nach 1984 wurden die PCB innerhalb der EU nur noch in Spanien und Frankreich erzeugt. In Österreich ist die Verwendung von PCB verboten. Die gelblichen bis farblosen, flüssigen PCB wurden vielfältig verwendet: Isolier- und Kühlflüssigkeit in Hochspannungstransformatoren und Kondensatoren, Hochdruckschmiermittel, Hydrauliköl, Additiv in Weichmachern für Kunststoffe, Lacke und Klebstoffe [10, 11].

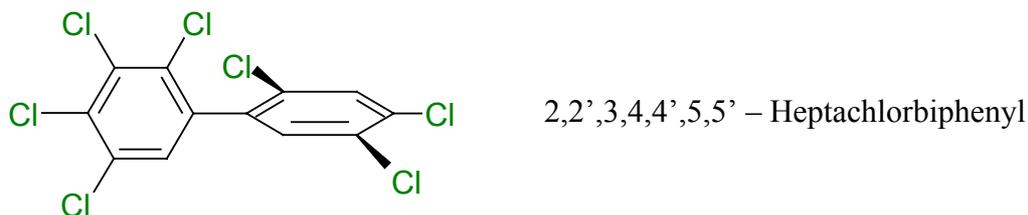


Abbildung 2: PCB 180, ein typischer Vertreter der polychlorierten Biphenyle

Zur Verbindungsklasse der PCB gehören 209 Einzelverbindungen mit 1-10 Chloratomen, die als „Congenere“ bezeichnet werden und durch eine Zahl benannt werden (z.B. „PCB 180“). Die einzelnen Verbindungen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer physikalischen und chemischen, sowie der toxikologischen Eigenschaften zum Teil erheblich.

Besonders die hochchlorierten PCB sind ausgezeichnet fettlöslich und reichern sich über die Nahrungskette im Fettgewebe von Menschen und Tieren an. Diese Bioakkumulation führt zu chronischen Belastungen. PCB stehen im Verdacht krebserregend und fortpflanzungsschädigend zu sein. Die akute Toxizität der PCB ist hingegen relativ gering [10].

Die PCB sind biologisch schlecht abbaubar und werden über weite Entfernungen verfrachtet, weshalb diese Verbindungen weltweit überall nachgewiesen werden können.

Da es sehr aufwändig wäre, alle 209 Congenere zu messen, ist es international üblich, sechs ausgewählte Congenere zu analysieren (siehe Ergebnistabellen im Anhang).

Wenn in diesem Bericht von der Summe der PCB die Rede ist, so bezieht sich diese Aussage auf die Summe dieser sechs Verbindungen (im Einklang mit einschlägigen Fachnormen).

Hexachlorbenzol (HCB)

Hexachlorbenzol (HCB) war früher als Pflanzenschutzmittel gegen Pilzkrankungen zugelassen. HCB reichert sich im Fettgewebe an und wirkt akut und chronisch toxisch.

Hexachlorcyclohexane (HCH)

Es existieren acht stereoisomere Hexachlorcyclohexane (HCH), die mit griechischen Buchstaben bezeichnet werden. Von großer Bedeutung sind dabei das alpha- und das gamma-HCH. Letztere Substanz ist auch unter dem Namen Lindan bekannt. Lindan wird nur mehr in Ausnahmefällen als Insektizid verwendet. Es war früher Bestandteil einiger Holzschutzmittel. Lindan wirkt im Vergleich zu alpha-HCH akut deutlich toxischer. Die chronische Toxizität ist jedoch wegen der besseren Wasserlöslichkeit und biologischen Abbaubarkeit geringer.

3.2.2 Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe

Die Vertreter der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) werden nur in sehr geringen Mengen gezielt hergestellt. Sie entstehen bei Verbrennungsprozessen aus fast allen organischen Verbindungen. Die bei der Verbrennung entstehenden Mengen hängen dabei sehr stark von den Verbrennungsbedingungen ab.

Die PAK bestimmen die Gefährlichkeit (fruchtschädigend, krebserregend) vieler Produkte, Emissionen und Stoffgemische, in denen sie vorkommen: Bitumen, Teer, Räucherrauch, Zigarettenrauch, Dieselmotoremissionen.

Die Mobilität der PAK ist geringer als bei den oben erwähnten chlorierten Verbindungen.

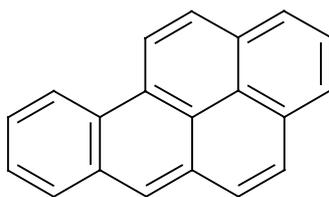


Abbildung 3: Benzo(a)pyren, einer der wichtigsten Vertreter der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe

3.2.3 Schwermetalle

Die meisten Schwermetalle kommen in der Natur, außerhalb von Anreicherungen (z.B. Erzlagerstätten) nur in geringen Mengen vor. Die natürlichen, geogen bedingten Gehalte sind sehr unterschiedlich und erstrecken sich über einen weiten Größenbereich.

Ein großer Teil der Schwermetalle und vor allem ihre chemischen Verbindungen wirken auf Lebewesen toxisch, einige sogar bereits in sehr geringen Mengen (Quecksilber, Blei, Cadmium). Andererseits sind viele Schwermetalle für Lebewesen in geringen Mengen essentiell. Eine Übersicht der ausgewählten Schwermetalle bezüglich der genannten Eigenschaften gibt Tabelle 1: Klassifizierung von Schwermetallen [10].

Auch Schwermetalle können über weite Strecken verfrachtet werden. Der Transport kann in Form von Feinstaub oder gasförmig in Form flüchtiger Verbindungen erfolgen.

Schwermetalle können nicht biologisch abgebaut werden. Daher ist eine Anreicherung sehr leicht möglich.

	<i>Ep</i>	<i>Et</i>	<i>Tp</i>	<i>Tt</i>
Blei			•	•
Cadmium			•	•
Chrom		•		
Cobalt		•		
Kupfer	•	•	•	•
Molybdän	•	•		•
Nickel	•	•	•	
Quecksilber			•	•
Vanadium	•	•		
Zink	•	•		

Ep = essentiell für Pflanzen

Et = essentiell für Tiere

Tp = in geringen Mengen toxisch für Pflanzen

Tt = in geringen Mengen toxisch für Tiere

Tabelle 1: Klassifizierung von Schwermetallen [10]

4 Auswahl und Beschreibung der Probenstellen

Bei der Auswahl der Hochgebirgsseen wurden folgende Kriterien herangezogen:

- Der Gebirgssee sollte über 1800 m Meereshöhe liegen.
- Das Einzugsgebiet des Sees sollte vergleichsweise groß sein.
- Der See sollte möglichst abgelegen liegen (minimaler menschlicher Einfluss, Ausnahme Silvretta Stausee), aber für die Probenahme mit geringem Aufwand erreichbar sein.

Nach diesen Kriterien wurden vier alpine Seen im kristallin geprägten Süden Vorarlbergs ausgewählt (Tabelle 2: Ausgewählte Gebirgsseen):

Name	Seehöhe [m]	Fläche [m ²]	Einzugsgebiet [km ²]
Brüllender See	2323	29800	1,27
Ganda See	1960	6800	2,49
Herz See	2216	8000	0,31
Silvretta See	2030	124000	34,2

Tabelle 2: Ausgewählte Gebirgsseen



Abbildung 4: Brüllender See



Abbildung 5: Ganda See



Abbildung 6: Herz See



Abbildung 7: Silvretta See

Neben Sedimenten aus diesen Seen wurden auch Bodenproben aus deren Einzugsgebieten untersucht. Darüber hinaus wurden vom Vermuntgletscher im Einzugsgebiet des Silvretta Sees in 2805m Seehöhe Firnproben analysiert.



Abbildung 8: Lageplan der Probenahmestellen



Abbildung 9: Firnprobenahme



Abbildung 10: Bodenprobenahme

5 Diskussion der Ergebnisse

5.1 Vorbemerkungen

Die Analysenergebnisse sind in tabellarischer Form im Anhang dargestellt.

Wie aus den allgemeinen Parametern (Tabelle 7: Ergebnisse der Sediment- und Bodenuntersuchungen; Allgemeine Parameter) ersichtlich, unterscheiden sich die Sedimente der Seen und Böden der Einzugsgebiete in ihrer Charakteristik nur geringfügig. Lediglich der Silvretta See, der durch Gletscherschluff maßgeblich beeinflusst ist, weist im Vergleich zu den übrigen Seen einen deutlich geringeren organischen Sedimentanteil auf. Dies zeigt sich anhand der signifikant niedrigeren Werte für die Parameter Glühverlust, Gesamtstickstoff, Organischer Kohlenstoff und Kohlenwasserstoffe.

5.2 Polychlorierte Biphenyle, Hexachlorbenzol, Hexachlorcyclohexane

5.2.1 Sedimente und Boden

Polychlorierte Biphenyle (PCB) sind in sämtlichen Sedimenten nachweisbar, allerdings nur in geringen Mengen, wie ein Vergleich mit Ergebnissen aus anderen Untersuchungen bzw. mit wichtigen Literaturdaten zeigt (Abbildung 11: Summe der PCB-Gehalte im Sediment der untersuchten Hochgebirgsseen im Vergleich zu Referenzgewässern).

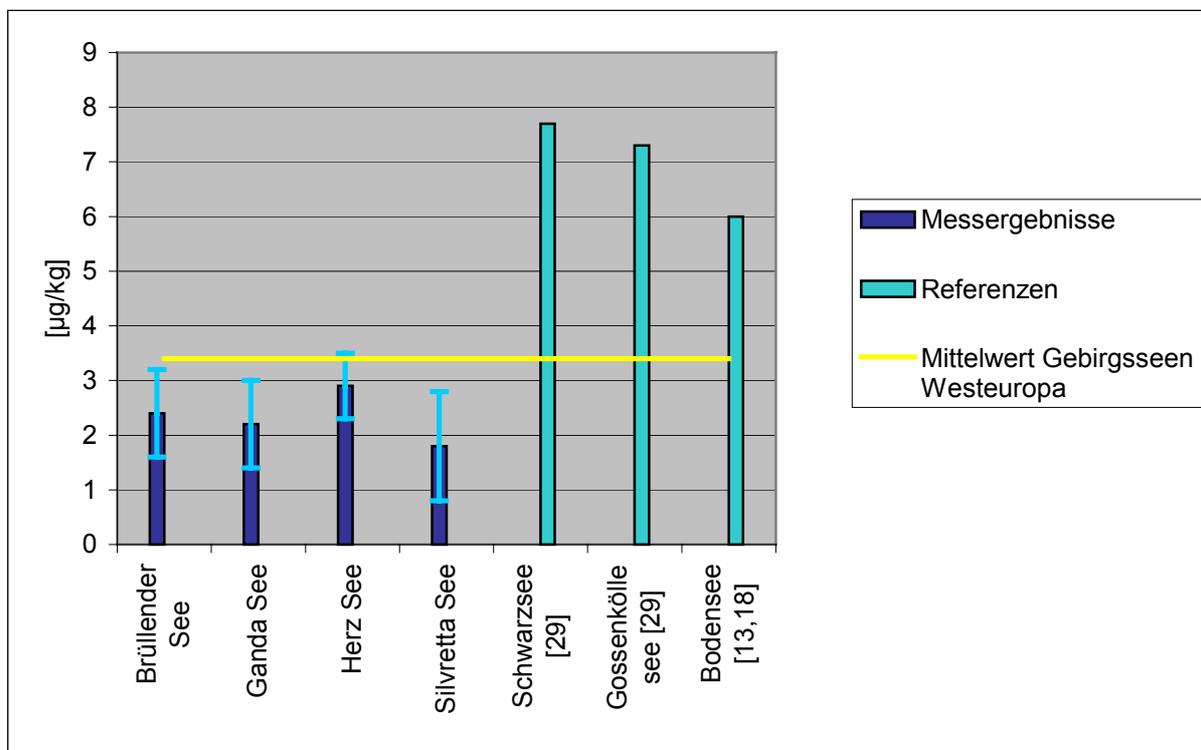


Abbildung 11: Summe der PCB-Gehalte im Sediment der untersuchten Hochgebirgsseen im Vergleich zu Referenzgewässern

Die gefundenen Gehalte liegen durchwegs unter dem Durchschnitt anderer westeuropäischer Gebirgsseen [23, 29], im Vergleich zu den beiden Tiroler Seen Schwarzsee und Gossenköllesee sogar deutlich. Die Werte von Sedimenten aus dem Bodensee [13, 16, 18] bewegen sich in einer Größenordnung, die den Gehalten in Hochgebirgsseen entspricht. Jüngere Messungen an Bodenseesedimenten aus der Flachwasserzone am Vorarlberger Ufer [27] zeigen, dass die PCB-Belastung in diesem Bereich noch unter den literaturbekannten Werten aus Bodenseesedimenten liegt. Im Gegensatz zum Bodensee kommen im Falle der Gebirgsseen nur atmosphärische Eintragspfade in Frage. Zu bedenken ist allerdings, dass der biologische Abbau in hochalpinen Regionen viel langsamer vor sich geht, wodurch Anreicherungen auch bei niederen atmosphärischen Eintragsfrachten stattfinden können.

Die Gehalte der restlichen untersuchten organischen Chlorverbindungen (HCB, HCH) in den Sedimenten sind ebenfalls gering und konnten in nur zwei Fällen nachgewiesen werden.

Die Gehalte an organischen Chlorverbindungen in den Bodenproben, insbesondere die PCB, sind denen der Sedimente sehr ähnlich. Die Ergebnisse von Untersuchungen des Auflagehumus von österreichischen Hintergrund-Waldgebieten [6] und Waldböden in Nordbayern [42] liegen in der gleichen Größenordnung. Die Belastungen der Böden der untersuchten Hochgebirgsregionen mit PCB sind somit mit Böden aus tieferen Lagen vergleichbar. Auffallend ist auch der eindeutige Nachweis des Pflanzenschutzmittels Lindan – wenn auch in geringen Mengen - in diesen abgelegenen Gebieten.

Das Verteilungsmuster der Mittelwerte der sechs analysierten PCB-Congeneren der untersuchten Sedimente und Bodenproben zeigt im Vergleich zu publizierten Literaturdaten [29] von europäischen Gebirgsseen eine auffällige Verschiebung. Der Anteil an höher chlorierten Biphenylen ist geringer. (Abbildung 12: PCB-Congeneren-Verteilung in den Sediment- und Bodenproben). Die höher chlorierten PCB sind weniger flüchtig, aber persistenter.

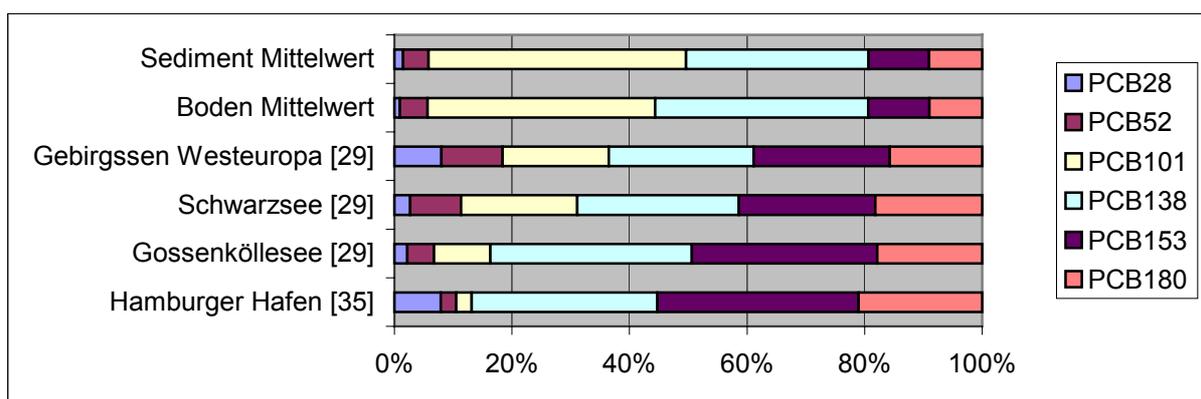


Abbildung 12: PCB-Congeneren-Verteilung in den Sediment- und Bodenproben

Die Ergebnisse der Sediment- und Bodenuntersuchungen sind im Anhang zusammengefasst (Tabelle 9: Ergebnisse der Sediment- und Bodenuntersuchungen; PCB, HCB und HCH). Für eine leichtere Interpretation wurden zusätzlich Vergleichswerte aus der Literatur in die Tabelle aufgenommen. In der Abbildung (Abbildung 11: Summe der PCB-Gehalte im Sediment der untersuchten Hochgebirgsseen im Vergleich zu Referenzgewässern) sowie in der Tabelle im Anhang werden die Ergebnisse der Summe der sechs ausgewählten Congenere als Intervalle (Minimum – Maximum) angegeben, da der Gehalt einiger Einzelverbindungen unter der Bestimmungsgrenze liegt.

5.2.2 Firn

Bei den Firnproben beträgt der Betrachtungszeitraum (Akkumulationszeitraum) ca. ein Jahr. Im Unterschied dazu repräsentieren die Sediment- und Bodenproben wesentlich längere Zeiträume.

Die Konzentrationen der polychlorierten Kohlenwasserstoffe in den Firnproben liegen vorwiegend unter der analytischen Bestimmungsgrenze oder deutlich unter literaturbekannten Vergleichswerten (Tabelle 14: Ergebnisse der Firnuntersuchungen; PCB, HCB und HCH).

Im Falle der beiden chlorierten Cyclohexanisomere (vor allem Lindan) liegen die publizierten Werte für die Niederschlagskonzentrationen zum Teil erheblich höher. Dies gilt insbesondere für Niederschläge in der Nähe von Siedlungsgebieten. Dennoch sind die Niederschläge auch in den höheren Regionen ein entscheidender Eintragungspfad. Der Abbau der Schadstoffe ist verlangsamt und führt dadurch zu einer Anreicherung. Die gefundenen Gehalte an Lindan im Sediment und Boden deuten darauf hin.

5.3 Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe

Die Sediment- und Bodenproben weisen sehr geringe Gehalte bezüglich der sechs untersuchten polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) auf (Tabelle 10: Ergebnisse der Sediment- und Bodenuntersuchungen; PAK). Die Werte liegen durchwegs unter den literaturbekannten Referenzdaten.

Die Sedimentwerte sind in einem Diagramm einigen wichtigen Referenzwerten gegenübergestellt (Abbildung 13: Summe der PAK-Gehalte im Sediment der untersuchten Hochgebirgsseen im Vergleich zu Referenzgewässern).

Nach dem publizierten Klassifizierungssystem nach Houlobek [15] sind die Sedimente als nicht verunreinigt einzustufen.

Die Ergebnisse der Bodenanalysen sind ebenfalls unauffällig. Alle Proben weisen nur geringe Gehalte an PAK auf und sind im Bereich literaturbekannter Referenzwerte (Tabelle 10: Ergebnisse der Sediment- und Bodenuntersuchungen; PAK). Die untersuchten Bodenproben können nach international anerkannten Bewertungssystemen als unbelastet eingestuft werden (Berliner Liste, Holland Liste, Bewertung nach Eikmann-Kloke [15]).

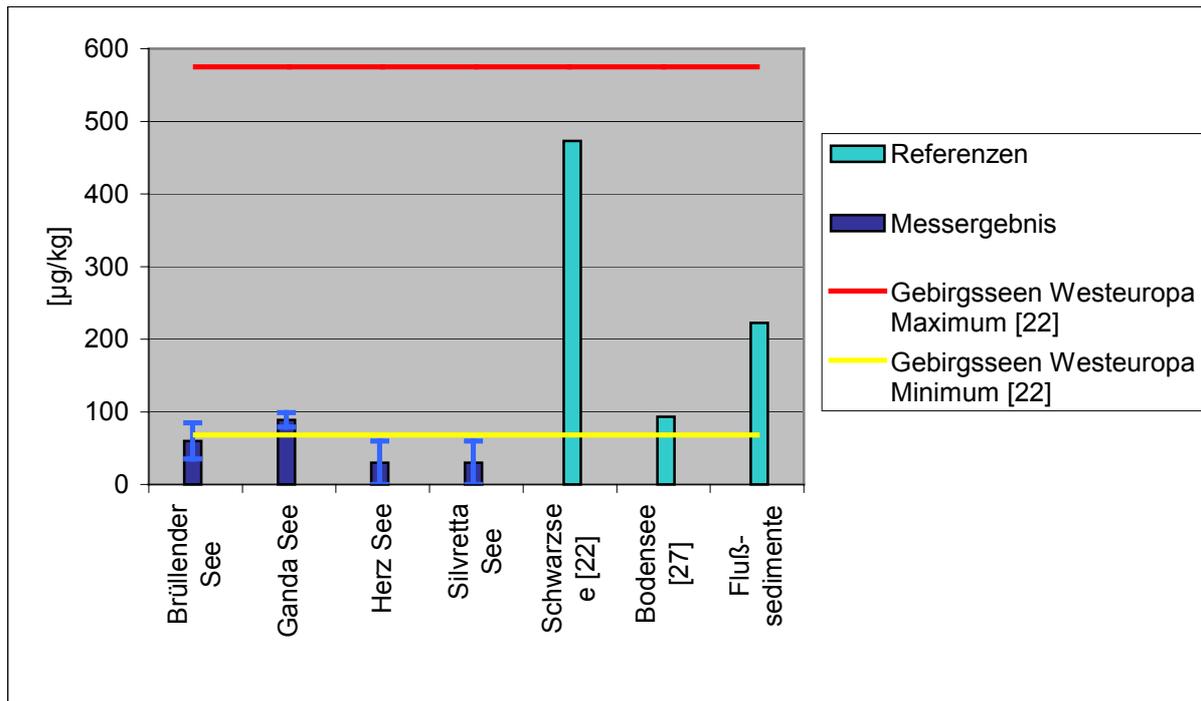


Abbildung 13: Summe der PAK-Gehalte im Sediment der untersuchten Hochgebirgsseen im Vergleich zu Referenzgewässern

Da die Vertreter der Substanzklasse der PAK nur mittlere Mobilität zeigen, ist der globale Einfluss weniger stark und regionale Effekte, etwa durch Schwerindustrie oder Kohlefeuerungen stehen im Vordergrund. So finden sich in den Sedimenten von Gebirgsseen in der Tatra in Polen und der Slowakei [22] bis zu 200 mal höhere Werte. Aus den in Vorarlberg ermittelten PAK-Ergebnissen lässt sich keine bedeutende regionale Emissionsquelle ableiten.

5.4 Schwermetalle

5.4.1 Sedimente und Boden

Die Untersuchungen der Sedimente zeigen nur geringe Schwermetallgehalte.

Leicht erhöht sind die Arsen- und Chromgehalte beim Ganda See und beim Herz See, sowie die Blei- und Zinkgehalte im Falle des Herz Sees. Für den Kristallinbereich im Süden Vorarlbergs liegen diese Werte innerhalb der geogen bedingten Bandbreite, wie umfangreiche Untersuchungen von Bachsedimenten [39] zeigen. Die leicht höheren Blei- und Zinkgehalte im Sediment des Herz Sees sind vermutlich auf randliche Hofbildungen bei der Entstehung der bekannten Silbertaler Erzlagerstätten zurückzuführen. In der Region wurde von der frühen Eisenzeit bis ins Mittelalter Bergbau auf Eisenerze und silberhaltige Fahlerze betrieben. Ein anthropogener Einfluss auf die Schwermetallgehalte der untersuchten Sedimente lässt sich nicht ableiten.

Im Vergleich zu typischen Schwermetallkonzentrationen von Sedimenten aus Seen in Baden-Württemberg [18], findet man in den untersuchten Gebirgsseen vor allem deutlich niedrigere Werte für die besonders toxischen Schwermetalle Cadmium und Quecksilber. Die gefundenen Schwermetallgehalte in den Sedimenten sind denen in Bodenseesedimenten [27] ähnlich.

Beurteilt man die Befunde anhand des Konzepts des Geoakkumulationsindex nach Müller und österreichweiter „Background“-Werte für Fließgewässer [17] sind wiederum die geogen bedingten, erhöhten Arsen-, Chrom- und Bleiwerte vor allem im Falle des Ganda Sees und des Herz Sees auffällig (Abbildung 14: Schwermetallgehalte in den Sedimenten der untersuchten Hochgebirgsseen und Bewertung gemäß dem Konzept des Geoakkumulationsindex [17]).

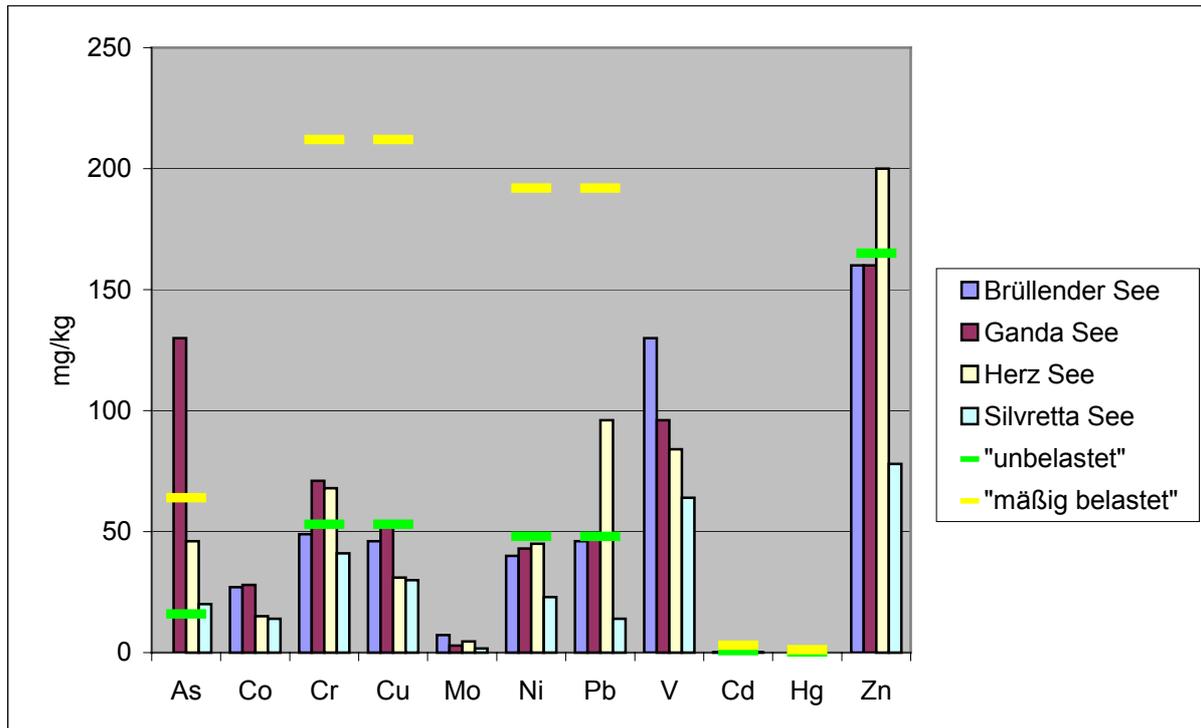


Abbildung 14: Schwermetallgehalte in den Sedimenten der untersuchten Hochgebirgsseen und Bewertung gemäß dem Konzept des Geoakkumulationsindex [17]

Die Schwermetallkonzentrationen in den Bodenproben zeigen ein ähnliches Bild wie die Sedimentgehalte. Wiederum sind die Arsengehalte in der Umgebung des Ganda- und des Herz Sees und die Blei- und Zinkwerte des Bodens im Einzugsgebiet des Herz Sees in Analogie zu den Sedimenten im Vergleich zu den Durchschnittswerten von Vorarlberger Böden [40] geogen bedingt erhöht [39]. Die Vanadiumwerte der Böden sind außer beim Silvretta See auf Grund der geologischen Verhältnisse etwas höher als die Richtwerte der ÖNORM L1075 [19] zur Beurteilung von Böden (Abbildung 15: Schwermetallgehalte in Bodenproben der Seen-Einzugsgebiete und Bewertung nach ÖNORM L1075).

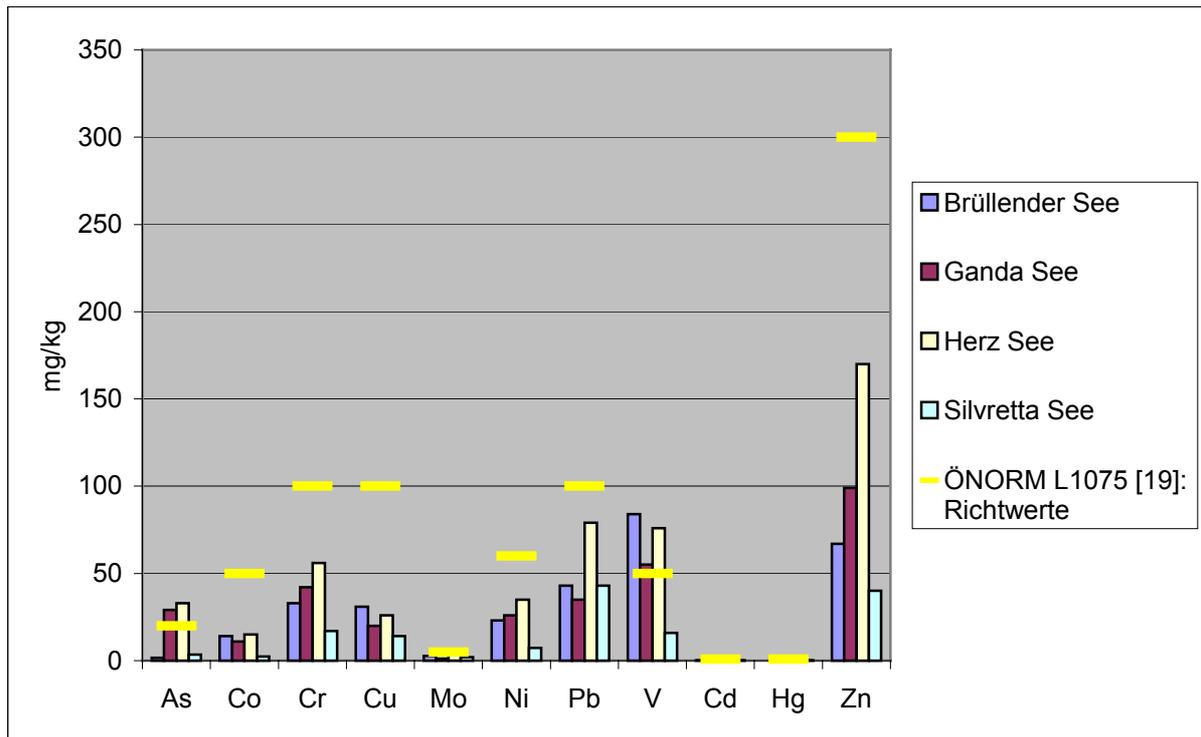


Abbildung 15: Schwermetallgehalte in Bodenproben der Seen-Einzugsgebiete und Bewertung nach ÖNORM L1075

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Sedimentwerte durchwegs leicht höhere Schwermetallgehalte wie die Böden aufweisen. Diese Werte sind geogen bedingt, ein menschlicher Einfluss ist nicht feststellbar.

Die Schwermetallgehalte der Sedimente und Bodenproben sind im Anhang tabellarisch dargestellt (Tabelle 11: Ergebnisse der Sediment- und Bodenuntersuchungen; Schwermetalle).

5.4.2 Firn

Die Schwermetallkonzentrationen in den Firnproben deuten auf keine signifikanten Depositionen über atmosphärische Eintragspfade hin. Die Werte sind durchwegs sehr niedrig bis nicht nachweisbar. Dieser Befund stützt die These, dass die Schwermetallgehalte in den untersuchten Sedimenten und Böden nicht anthropogen beeinflusst sind.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die untersuchten Hochgebirgsseen sind entlegen, aber nicht unberührt. Wie auch bei anderen alpinen Seen finden sich anthropogene Einflüsse. Die Ergebnisse der Schadstoffuntersuchungen zeigen, dass typische „Industriechemikalien“ in Sedimenten und Böden vorhanden sind. So können verschiedenste Chemikalien, wie zum Beispiel polychlorierte Biphenyle oder Lindan nachgewiesen werden, obwohl die Herstellung und Verwendung in vielen Ländern bereits verboten ist. Im Vergleich zu ähnlichen Seen in Europa sind die Gehalte jedoch merklich niedriger.

Die vorliegenden Erkenntnisse deuten - in Übereinstimmung mit der Literatur - darauf hin, dass überwiegend weiträumige Verfrachtungen für das Vorkommen von Umweltchemikalien in abgelegenen naturnahen Lebensräumen verantwortlich sind. Aufgrund der Langlebigkeit dieser Substanzen sind diese überall nachweisbar.

Auch neuere, schwer abbaubare flüchtige Substanzen gelangen weiterhin in die Umwelt, wie zum Beispiel die Vertreter der polybromierten Diphenylether, die mittlerweile als Flammschutzmittel in großen Mengen verwendet werden [41]. Eine kritische Auseinandersetzung über den Umgang mit flüchtigen, persistenten Chemikalien ist daher weiterhin angebracht.

Die Schadstoffgehalte in Hochgebirgsregionen müssen weiter beobachtet werden, da sie wichtige Indikatoren für Umweltveränderungen darstellen. In diesem Sinne wird die Umweltbeobachtung im Land Vorarlberg fortgeführt. Dabei wird sich das Spektrum der untersuchten Schadstoffe und der Analysenmethodik an den jeweils neuesten Erkenntnissen orientieren.

7 Literatur

Im Falle der digitalen Fassung des Berichts führen die Links (in blauer Farbe und unterstrichen dargestellt) direkt zu den Originalseiten und –dokumenten.

- [1] Frank Wania, Donald Mackay; „Tracking the distribution of persistent organic pollutants“; Environmental Science & Technology Vol. 30 Nr. 9; 1996
- [2] Frank Wania; „On the origin of elevated levels of persistent chemicals in the environment“; Environ. Sci. & Pollut. Res. 6 (1) 11-19; 1999
- [3] Frank Wania, Donald Mackay; „Global fractionation and cold condensation of low volatility organochlorine compounds in polar regions“; Ambio Vol. 22 No. 1; 1993
- [4] [United Nations Environment Programme \(UNEP\); „Stockholm Convention on persistent organic pollutants \(POPs\)“; 2001](#)
- [5] United Nations Environment Programme ([UNEP](#)); „Regionally Based Assessment of Persistent Toxic Substances“; 1999
- [6] [Peter Weiss; „Persistente Organische Schadstoffe in Hintergrund-Waldgebieten Österreichs“; Umweltbundesamt Wien, Monographien Band 97; 1998](#)
- [7] Rudolf Hofer, Reinhard Lackner et al.; „Organochlorine and metal accumulation in fish along a north-south transect in the alps“; Water, Air, and Soil Pollution 125, 189-200; 2001
- [8] Britta Grillitsch, Andreas Chovanec; „Heavy metals and pesticides in anuran spawn and tadpoles, water, and sediment“; Toxicological and Environmental Chemistry, Vol 50, 131-155; 1995
- [9] [Elli Seidl; „Dauergifte in den Alpen“; Greenpeace Österreich; 2000 und \[Manfred Krautter, Elli Seidl; „Dauergifte – Bedrohung für das Leben in den Alpen“; Greenpeace Österreich; 2002\]\(#\)](#)
- [10] [Römpp Lexikon Chemie; CD-ROM Version 2.0; Georg Thieme Verlag; 1999](#)
- [11] [Walter Maderner, Gerhard Hobiger; „PCB-Stoffbilanz Österreich“; Umweltbundesamt Wien, Monographien Band 79; 1996](#)
- [12] Jules M. Blais et al; „Accumulation of persistent organochlorine compounds in mountains of western Canada“; Nature Vol. 395; 1998
- [13] [D. R. Dietrich; „Status und Strategiebericht Schadstoffe und ihre ökotoxikologische Relevanz für den Bodensee“; Euregio Ökotoxikologie Service Labor im Auftrag der IGKB; 2002](#)
- [14] Jochen Müller; „Diffuse Quellen von PCB in der Schweiz“; [BUWAL](#), Schriftenreihe Umwelt Nr. 229; 1994
- [15] [Oliver Gans, Sigrid Scharf, Peter Seif; „PAH in der Umwelt“; Umweltbundesamt Wien, Reports 153; 1999](#)
- [16] Hetzenauer, Müller, Roßknecht; „Polychlorierte Biphenyle und Chlorpestizide in Fischen aus baden-württembergischen Seen und dem Bodensee“; Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg; 2002

- [17] [R. Philippitsch, J. Grath; „Wassergüte in Österreich, Jahresbericht 2000“; Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft; 2001](#)
- [18] Henno Roßknecht; „Chemische Untersuchungen des Wassers und der Sedimente von 44 Seen in Baden-Württemberg; Umweltministerium Baden-Württemberg; 1992
- [19] ÖNORM L1075, „Anorganische Schadelemente in landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden“; Österreichisches Normungsinstitut, Wien; 1993
- [20] [Wilfried Eilmsteiner, Gundi Lorbeer; „Pestizide, Chlorkohlenwasserstoffe und Anorganische Inhaltsstoffe im Niederschlag“; Umweltbundesamt Wien, Reports-96-126; 1996](#)
- [21] Günter Humer, Wilfried Eilmsteiner, Gundi Lorbeer, „Lindan im Niederschlag“; Umweltbundesamt Wien, Berichte BE-010; 1994
- [22] Pilar Fernandez, Rosa M. Vilanova, Joan O. Grimalt; „Sediment Fluxes of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in European High Altitude Mountain Lakes“; Environ. Sci. Technol. 33, 3716-3722; 1999
- [23] Joan O. Grimalt et al; „Selective Trapping of Organochlorine Compounds in Mountain Lakes of Temperate Areas“; Environ. Sci. Technol. 35, 2690-2697; 2001
- [24] F. Braun et al.; „Neue Untersuchungen zur Analytik und Verbreitung von Polychlorbiphenylen und Pflanzenbehandlungsmitteln“; Bayerische Landesanstalt für Wasserforschung, München; 1990
- [25] Carrera et al.; „Persistent organic pollutants in snow from European high mountain areas“; Atmospheric environment 35, 245-254; 2001
- [26] [Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee \(IGKB\)](#); „Der Bodensee – Zustand, Fakten, Perspektiven“, noch nicht publiziert
- [27] Umweltinstitut des Landes Vorarlberg; Untersuchungen von Hafensedimenten und Referenzstellen; 2000/2001; noch nicht publiziert
- [28] [The MOLAR Water Chemistry Group](#); „The MOLAR Project: atmospheric deposition and lake water chemistry“; J. Limnol., 58(2), 88-106; 1999
- [29] [Joan O. Grimalt](#); Persönliche Mitteilung bzw. Übermittlung von Daten; 12.5.2003
- [30] Guillem Carrera, Pilar Fernandez, Rosa Vilanova, Joan O. Grimalt; „Analysis of trace polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine compounds in atmospheric residues by solid-phase disk extraction“; Journal of Chromatography A; 823, 189-196; 1998
- [31] Handbuch Boden; „Ermittlung atmosphärischer Stoffeinträge in den Boden; Fachgespräch“; Landesanstalt für Umweltschutz Baden Württemberg, ISBN 3-88251-254-7; 1997
- [32] Niederschlagsuntersuchungen in Bürs 1994 & 1995; Umweltbundesamt Wien; Datenübermittlung an Dr. Richard Werner, Umweltinstitut

[33] Niederschlagsmessungen mit WADOS in Thüringerberg, Vorarlberg vom 30.9.1990 bis 4.8.1991; Umweltbundesamt Wien; Datenübermittlung an Dr. Richard Werner, Umweltinstitut

[34] Okitsugu Watanabe et. al.; „First results from Himalayan Glacier boing project in 1981-1982“; Glacial Studies in Langtang Valley; Data Center for Glacier Research, Japanese Society of Snow and Ice; 1984

[35] Wolfgang Calmano; „Untersuchung und Bewertung von Sedimenten“; Springer Verlag; 2001

[36] Guillem Carrera et al; „Atmospheric Deposition of Organochlorine Compounds to Remote High Mountain Lakes of Europe“; Environ. Sci. Technol. 36, 2581-2588; 2002

[37] „Verordnung der Landesregierung über die Ausbringung von Klärschlamm“; Vorarlberger Landesgesetzblatt Nr.75/1997, 27/2002

[38] [EMERGE Projekt](#); Project of the European Commission Framework Programme V: Energy, Environment and Sustainable Development, Sub-Programme Environment and Sustainable Development (<http://www.mountain-lakes.org>)

[39] F. Thalmann et al; „Geochemischer Atlas der Republik Österreich“;

Geologische Bundesanstalt; ISBN 3-900312-62-1; 1989

[40] Georg Husz; Bodenzustandserhebung Vorarlberg 1986“; Schriftenreihe Lebensraum Vorarlberg Band 2; Amt der Vorarlberger Landesregierung

[41] Edgar Gärtner; „Modellfall der Risikobewertung“; Chemische Rundschau; Juni 2003

[42] M. Mrauss, W. Wilcke, W. Zech; „Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in forest soils: depth distribution as indicator of different fate“; Environmental Pollution 110, 79-88; 2000

[43] Walter Giger et al; “Organische Inhaltsstoffe in nassen atmosphärischen Depositionen“; Ergebnisse aus dem nationalen Forschungsprogramm NFP 14, “Luftschadstoffe und ihre Erfassung“; ISBN 3-7281-1778-1; 1991

[44] „[Ermittlung atmosphärischer Stoffeinträge in den Boden](#)“; Landesanstalt für Umweltschutz Baden Württemberg, ISSN 0949-0280; 1999

[45] UNEP; Persistent Organic Pollutants Global Monitoring Program; MONARPOP <http://www.chem.unep.ch/gmn/NatProjects/projcountryPage2.htm>

8 Anhang

8.1 Probenahme

8.1.1 Probenahme Sedimente

Aus dem Uferbereich der Seen wurden 20 - 30 Einzelproben der obersten Schicht (0-5 cm) mit einem Plexiglas-Stechzylinder entnommen. Die Einzelproben wurden zu einer Mischprobe vereinigt. Die Schlufffraktion wurde unter Wasser abgesiebt ($< 63 \mu\text{m}$) und gefriergetrocknet.

8.1.2 Probenahme Boden

An 2 - 3 Stellen im Bereich der See-Einzugsgebiete wurden zur Bodenansprache kleine Profilgruben bis zum anstehenden C_v -Horizont gegraben. Aus der obersten Bodenschicht (0-5 cm) wurden repräsentative Mischproben für die Analysen entnommen. Die Proben wurden gefriergetrocknet, gemahlen und gesiebt ($< 0,25 \text{ mm}$) und zu einer Gesamtmischprobe vereinigt.

8.1.3 Probenahme Firn

Die drei untersuchten Firnmischproben entsprechen drei Tiefenstufen: 0-92 cm, 92-176 cm und 176-241 cm. Für jede Tiefenstufe wurden jeweils fünf Doppelproben mit einem Metallrohr abgestochen und zu je einer Mischprobe vereinigt. Ab 241 cm wird die gelbe Schicht des Horizonts des Vorjahres sichtbar. Die Firnmenge entspricht einer Niederschlagsmenge von 1400 l/m^2 .

Name	Sedimente	Boden	Firn
Brüllender See	10.10.2001	10.10.2001	
Ganda See	17.10.2001	07.06.2001	
Herz See	05.11.2001	25.07.2001	
Silvretta See	10.10.2001	07.06.2001	
Vermuntgletscher			04.07.2001

Tabelle 3: Probenahmedaten

8.2 Parameter und Prüfanweisungen

Die für die chemischen und physikalischen Analysen verwendeten Prüfanweisungen, sowie die im Text und den Ergebnistabellen verwendeten Abkürzungen sind in den folgenden Tabellen angegeben.

Symbol	Name	Methode	Norm
Lf	Leitfähigkeit	Konduktometrisch	ISO 7888
pH	pH-Wert	Potentiometrisch	DIN 48404-C5
TR	Trockenrückstand	Trockenschrank 105°C	DIN 38414-S2
GV	Glühverlust	Tiegelofen 550°C	DIN 38414-S3
N-ges	Gesamtstickstoff	Chemolumineszenz	DIN 38409-F27
TOC	Organischer Kohlenstoff	Verbrennung, IR	EN 1484
KW	Kohlenwasserstoffe	IR	DIN 38409-H18
P	Gesamtphosphor	ICP-OES	EN ISO 11885
NH4	Ammonium	Photometrisch	ISO 7150
Cl	Chlorid	HPLC-Leitfähigkeit	DIN 38405-D20
NO3	Nitrat	HPLC-Leitfähigkeit	DIN 38405-D20
PO4	Phosphat	HPLC-Leitfähigkeit	DIN 38405-D20
SO4	Sulfat	HPLC-Leitfähigkeit	DIN 38405-D20
Al	Aluminium	ICP-OES	EN ISO 11885
Ca	Calcium	ICP-OES	EN ISO 11885
Fe	Eisen	ICP-OES	EN ISO 11885
K	Kalium	ICP-OES	EN ISO 11885
Mg	Magnesium	ICP-OES	EN ISO 11885
Mn	Mangan	ICP-OES	EN ISO 11885

Tabelle 4: Allgemeine und anorganische Parameter

Symbol	Parameter	Methode	Norm Sedimente	Norm Firn
α -HCH	α -Hexachlorcyclohexan	GC-ECD	gemäß UBA-Wien [6]	DIN 38409-F2 mod.
γ -HCH	γ -Hexachlorcyclohexan	GC-ECD	gemäß UBA-Wien [6]	DIN 38409-F2 mod.
HCB	Hexachlorbenzol	GC-ECD	gemäß UBA-Wien [6]	DIN 38409-F2 mod.
PCB	Polychlorierte Biphenyle	GC-ECD	gemäß UBA-Wien [6]	DIN 38409-F2 mod.
BaP	Benzo(a)pyren	HPLC	DIN 38414-S21	
BbF	Benzo(b)fluoranthen	HPLC	DIN 38414-S21	
BkF	Benzo(k)fluoranthen	HPLC	DIN 38414-S21	
BP	Benzo(g,h,i)perylene	HPLC	DIN 38414-S21	
F	Fluoranthen	HPLC	DIN 38414-S21	
IP	Indeno(1,2,3,c,d)pyren	HPLC	DIN 38414-S21	

Tabelle 5: Organische Parameter

Symbol	Parameter	Methode Sedimente / Firn	Norm Sedimente	Norm Firn
As	Arsen	ICP-OES / η -AAS	EN ISO 11885	
Pb	Blei	ICP-OES / η -AAS	EN ISO 11885	DIN 38406-E6-2
Cd	Cadmium	η -AAS	DIN 38406-E19-2	DIN 38406-E19-2
Co	Cobalt	ICP-OES / η -AAS	EN ISO 11885	DIN 38406-E24-2
Cr	Chrom	ICP-OES / η -AAS	EN ISO 11885	DIN 38406-E10-2
Cu	Kupfer	ICP-OES / η -AAS	EN ISO 11885	DIN 38406-E7-2
Hg	Quecksilber	Kaltdampf-AAS	ISO 5666	ISO 5666
Mo	Molybdän	ICP-OES / η -AAS	EN ISO 11885	
Ni	Nickel	ICP-OES / η -AAS	EN ISO 11885	DIN 38406-E11-2
V	Vanadium	ICP-OES / η -AAS	EN ISO 11885	
Zn	Zink	ICP-OES / η -AAS	EN ISO 11885	

η -AAS entspricht Graphitrohr-AAS

Tabelle 6: Schwermetalle

8.3 Ergebnistabellen

8.3.1 Allgemeine Vorbemerkungen

In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse der Untersuchungen dargestellt. Für eine übersichtliche Darstellung wurde folgende Farbcodierung gewählt:

Sedimentproben blau

Bodenproben hellgrün

Firnproben türkis

Einige Ergebnisse konnten nicht quantifiziert werden, da sie unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen. Für eine allfällige Summenbildung wurde daher die Darstellung als Intervall (Minimum – Maximum) gewählt.

Für eine leichtere Bewertung der erhaltenen Werte wurden, so weit auffindbar, literaturbekannte Referenzwerte (in eckigen Klammern) ebenfalls mit in die Tabellen aufgenommen. In Ermangelung ausreichender, passender Vergleichswerte mussten Kompromisse eingegangen werden. Die Referenzwerte wurden oft unter anderen Bedingungen (Andere Probenmatrix, Probenahme, Messungen) erhalten. Daher geben die Referenzwerte oft nur die Größenordnung wieder.

In den Tabellen sind bei einigen Referenzstellen Höhenangaben und Länderkennzeichen in Klammern angegeben.

8.3.2 Ergebnistabellen

Tabelle 7: Ergebnisse der Sediment- und Bodenuntersuchungen; Allgemeine Parameter

Probenstelle	TR	GV	N-ges	TOC	KW	P	Cl (Eluat)	NO3 (Eluat)	SO4 (Eluat)	
	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	[mg/kg]	[Gew. %]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	
Sediment	Brüllender See	36	10	0,49	5,9	80	0,16	2,0	< 1,0	6,2
	Ganda See	19	14	0,95	18	79	0,13	2,8	< 0,10	14
	Herz See	23	12	0,60	6,0	95	0,13	2,8	< 1,0	9,8
	Silvretta See	83	0,7	0,01	0,1	8,7	0,18	14	< 0,10	6,7
Boden	Brüllender See		28	0,78	12	94	0,11	8,2	< 0,10	14
	Ganda See		26	1,0	18	64	0,07	4,1	< 0,10	10
	Herz See		22	0,89	12	36	0,12	7,7	< 0,10	8,8
	Silvretta See		61	1,4	25	92	0,14	13	< 1,0	14

Tabelle 8: Ergebnisse der Sediment- und Bodenuntersuchungen; Metalle

Probenstelle	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	
	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	
Sediment	Brüllender See	3,4	0,91	5,2	0,39	1,6	0,10
	Ganda See	3,6	0,95	4,9	0,14	1,6	0,062
	Herz See	2,2	0,53	3,6	0,26	1,2	0,028
	Silvretta See	1,7	1,6	2,6	0,26	0,86	0,047
Boden	Brüllender See	1,9	0,44	3,5	0,18	0,84	0,049
	Ganda See	1,7	0,70	2,6	0,17	0,78	0,040
	Herz See	2,1	0,42	3,6	0,23	1,1	0,032
	Silvretta See	0,76	0,16	0,84	0,11	0,12	0,011

Tabelle 9: Ergebnisse der Sediment- und Bodenuntersuchungen; PCB, HCB und HCH

Probenstelle		HCB	α -HCH	γ -HCH	PCB28	PCB52	PCB101	PCB138	PCB153	PCB180	Σ PCB (6)	
		[$\mu\text{g}/\text{kg}$]										
Sedimente	Brüllender See	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40	1,1	0,46	< 0,40	< 0,40	1,6 - < 3,2	
	Ganda See	< 0,40	< 0,40	0,58	< 0,40	< 0,40	0,65	0,73	< 0,40	< 0,40	1,4 - < 3,0	
	Herz See	0,68	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40	0,97	0,93	0,42	< 0,40	2,3 - < 3,5	
	Silvretta See	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40	0,82	< 0,40	< 0,40	< 0,40	0,8 - < 2,8	
	Gebirgsseen Westeuropa [23, 29]	0,78			0,27	0,35	0,61	0,83	0,78	0,53	3,4	
	Schwarzsee (2799 m), (A) [23, 29]	0,38			0,21	0,67	1,5	2,13	1,8	1,4	7,7	
	Gossenköllesee (2413 m), (A) [23, 29]	0,19			0,16	0,33	0,70	2,5	2,3	1,3	7,3	
	Bodensee (A) [27]	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	0 - < 12
	Bodensee (D) [13, 18]			< 0,10								6
	Bodensee (D) [16]											33
	Seen in Baden Württemberg (D) [16]											13 - 2714
	Genfer See (CH) [14]											47
	Hamburger Hafen [35]	25	2,0	1,0	3,0	1,0	1,0	12	13	8,0		38
Feuchtgebiete Ostösterreich [8]			0,23									
Boden	Brüllender See	< 0,40	< 0,40	0,53	< 0,40	< 0,40	1,3	0,97	< 0,40	< 0,40	2,3 - < 3,8	
	Ganda See	< 0,40	< 0,40	0,45	< 0,40	< 0,40	1,2	1,3	< 0,40	< 0,40	2,5 - < 4,1	
	Herz See	< 0,40	< 0,40	0,56	< 0,40	< 0,40	1,2	0,81	< 0,40	< 0,40	2,0 - < 3,6	
	Silvretta See	< 0,40	< 0,40	1,0	< 0,40	0,61	1,3	1,6	0,50	0,47	5,5 - < 5,9	
	Auflagehumus Hintergrund-Waldgebiete (A); Bereich [6]	0 - 1,9		0,6 - 3,4								0,2 - 7,5
	Auflagehumus Hintergrund-Waldgebiete (A); Median [6]	0,5		2,2								3,3
	Waldböden in Nordbayern (0-5cm) (D) [42]											1,7*
	Waldböden in Nordbayern (Organ. Auflagen) (D) [42]											30*

* Summe 12 PCB (Congenere 8,20,28,52,101,118,138,153,180,199,206,209)

Tabelle 10: Ergebnisse der Sediment- und Bodenuntersuchungen; PAK

Probenstelle		PAK-F	PAK-BbF	PAK-BkF	PAK-BaP	PAK-BP	PAK-IP	Σ 6 PAK (DIN)	Σ 15 PAK *
		[µg/kg]	[µg/kg]	[µg/kg]	[µg/kg]	[µg/kg]	[µg/kg]	[µg/kg]	[µg/kg]
Sediment	Brüllender See	<10	16	19	<10	<10	<10	35 - < 85	< 150
	Ganda See	20	27	12	<10	<10	20	79 - < 99	< 180
	Herz See	<10	<10	<10	<10	<10	<10	0 - < 60	< 100
	Silvretta See	<10	<10	<10	<10	<10	<10	0 - < 60	< 100
	Gebirgsseen West & Zentraleuropa [22]	16 - 86	13 - 190	9,2 - 82	4,6 - 38	11 - 85	14 - 94	68 - 575	122 - 1035
	Schwarzsee, Sölden (2799 m), (A) [22]	85	110	68	38	78	94	473	850
	Gebirgsseen in der Tatra (Pl, Sk) [22]	1400 - 1950	1800 - 2600	950 - 1600	470 - 770	1200 - 1350	1400 - 1900	7220 - 10170	
	Bodensee [27]	< 25 - 61	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	0 - < 186	
	Bodensee [26]							1200	
	Seen in Baden Württemberg [18]							4000	
	Flußsedimente Oberösterreich [15]	5,5 - 22	32 - 94	14 - 38	20 - 61	24 - 57	22 - 55	118 - 327	210 - 590
	Sedimente Arktis [22]								260
	Hamburger Hafen [35]								4080
	Beurteilung Holoubek [15]: nicht verunreinigt								< 100
	leicht verunreinigt								< 500
	verunreinigt								< 5000
stark verunreinigt								< 10000	
sehr stark veunreinigt								> 10000	
Boden	Brüllender See	13	11	<10	<10	36	13	73 - < 93	< 170
	Ganda See	18	13	<10	<10	<10	15	46 - < 76	< 140
	Herz See	47	31	13	19	<10	25	135 - < 145	< 260
	Silvretta See	<10	<10	<10	<10	<10	<10	0 - < 60	< 100
	Auflagehumus öst. Hintergrund-Waldgebiete [6]	39	43	9,1	14	12	22	139	210
	Boden Maßnahmschwellenwert; LAWA (D) [15]								10000
	Hintergrundwert Mineralboden (BaWü) [15]				100				1000
	Hintergrundwert Org. Auflagen (BaWü) [15]				160				3000
Waldböden in Nordbayern (0-5 cm) (D) [42]								666 [#]	

* Σ 15 PAK (EPA): geschätzt (Σ 6 PAK * 1,8)

[#] Summe 20 PAK's

Tabelle 11: Ergebnisse der Sediment- und Bodenuntersuchungen; Schwermetalle

Probenstelle		As	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	V	Cd	Hg	Zn
		[mg/kg]										
Sedimente	Brüllender See	< 1,0	27	49	46	7,3	40	46	130	0,18	0,04	160
	Ganda See	130	28	71	53	2,9	43	48	96	0,26	0,04	160
	Herz See	46	15	68	31	4,6	45	96	84	0,26	0,04	200
	Silvretta See	20	14	41	30	1,7	23	14	64	0,09	0,01	78
	Beurteilung Sediment nach "Müller" [17]: unbelastet	16		53	53		48	48		0,75	0,29	165
	"Ö-Background" Fließgewässer [17]	12		39	40		36	36		0,5	0,22	124
	Bodensee Flachwasserzone [27]			32	20		23	27		0,20	0,07	91
	Seen in Baden Württemberg [18]	20		56	23			61		1,0	0,26	126
Boden	Brüllender See	1,7	14	33	31	2,7	23	43	84	0,17	0,09	67
	Ganda See	29	11	42	20	1,1	26	35	55	0,28	0,07	99
	Herz See	33	15	56	26	3,7	35	79	76	0,47	0,07	170
	Silvretta See	3,5	2,3	17	14	2,0	7,4	43	16	0,24	0,14	40
	Richtwerte ÖNORM L1075 [19]	20	50	100	100	5	60	100	50	1	1	300
	Bodengrenzwerte Klärschlamm-VO (Vlbg) [37]			100	100		60	100		2	1	300
Mittelwerte Vorarlberger Oberböden [40]	11	12	44	23	1,5	33	31	38	0,53	0,14	117	

Sedimente: Bei Überschreitung des Beurteilungswertes „unbelastet“ werden die Werte mit dunkelblauem Hintergrund dargestellt.

Boden: Bei Überschreitung des Richtwertes gemäß ÖNORM L1075 werden die Werte mit gelbem Hintergrund dargestellt.

Tabelle 12: Ergebnisse der Firnuntersuchungen; Allgemeine Parameter

Probenstelle	Lf	pH	NH4	Cl	NO3	PO4	SO4
	[µS/cm]		[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Vermuntgletscher, Firn, Tiefe 0 - 92 cm	3	7,3	0,03	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Vermuntgletscher, Firn, Tiefe 92 - 181 cm	3	6,2	0,02	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Vermuntgletscher, Firn, Tiefe 181 - 250 cm	2	6,0	0,02	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Niederschlag Gossenköllesee (2413 m), (A) [28]	8	5,0	0,23	0,1	0,8		2,4
Niederschlag Sonnblick (3106 m), (A) [20]		< 5 - 6			0,28 - 1,3		0,25 - 2,1
Niederschlag Bürs [32] (A)	11	4,9		0,3	1,5		1,1
Niederschlag Thüringerberg (A) [33]	18	5,1	1,0	0,4	2,4		1,8
Gletscher, Himalaya (5400 m) [34]			0,1	0,35	1,3		0,23

Tabelle 13: Ergebnisse der Firnuntersuchungen; Schwermetalle

Probenstelle	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
Vermuntgletscher, Firn, Tiefe 0 - 92 cm	< 0,10	< 1,0	7,1	< 4,0	< 0,020	< 5,0	< 1,0	< 30
Vermuntgletscher, Firn, Tiefe 92 - 181 cm	< 0,10	< 1,0	< 5,2	< 4,0	< 0,020	< 5,0	< 1,0	< 30
Vermuntgletscher, Firn, Tiefe 181 - 250 cm	< 0,10	< 1,0	< 5,2	< 4,0	< 0,020	< 5,0	< 1,0	< 30
Niederschlag (A) (Ausreißerbereinigt) [20]	0,27		< 0,25 - 7		< 0,5	> 10	1,4 - 4,5	
Niederschlag Sonnblick (3106 m), (A) [20]						74	1,4	
Niederschlag Bürs [32]	0,1		1,3	2,5		9,7	2,2	50

Tabelle 14: Ergebnisse der Firnuntersuchungen; PCB, HCB und HCH

Probenstelle	HCB	α -HCH	γ -HCH	Σ HCH ($\alpha+\gamma$)	PCB28	PCB52	PCB101	PCB138	PCB153	PCB180	Σ PCB (6)
	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]
Vermuntgletscher, Firn, Tiefe 0 - 92 cm	< 1,0	< 1,0	1,5	0 - < 2,5	1,0	1,7	< 1,0	< 1,0	1,2	< 1,0	3,9 - < 6,9
Vermuntgletscher, Firn, Tiefe 92 - 181 cm	< 1,0	< 1,0	< 1,0	0 - < 2,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	0 - < 6,0
Vermuntgletscher, Firn, Tiefe 181 - 250 cm	< 1,0	< 1,0	< 1,0	0 - < 2,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	0 - < 6,0
Schnee Gossenköllesee(2413 m), (A) [25]				1,1							0,73
Niederschlag Gossenköllesee [36]	0,025	0,3	2,3								2,8
Schnee Redo, Pyrenäen (2240 m), (E) [30]	< 0,001	0,5	0,4	0,9			0,13	0,35	0,36		0,8
Schnee Rocky Moutains (CDN) [12]		0,2	0,1	0,3							0,3 - 2,2
Schnee Antarktis [25]				2,3 - 4,9							0,16 - 1,0
Schnee Arktis [25]				0,7 - 2,6							0,02 - 5
Niederschlag Bizau (A)			4,1		< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	0 - < 12
Niederschlag Bürs [32]	< 1,0	1,4	14	15	< 3,0	< 7,5	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	0 - < 22,5
Niederschlag Sonnblick (3106 m), (A) [20]		2 - 3	4 - 30	6 - 33							
Niederschlag. Div. Standorte in (A) [20, 21]		1 - 9	4 - 95	5 - 104							0 - 51
Niederschlag Typische Werte (D) [44]		0,1 - 5	0,1 - 150								0,1 - 5
Niederschlag Bayern (D) 1990 [24]	0 - 20	0 - 45	2 - 420	2 - 465							8 - 160
Niederschlag Ostsee (D) [31]	0,13 - 0,90	0,13 - 5,6	0,13 - 20	0,26 - 25,6							0,13 - 7,6
Niederschlag Dübendorf (CH) [43]		1,5 - 15	0,15 - 32								
Niederschlag Nordsee (D) [31]	0,13 - 1,7	0,13 - 7,6	0,13 - 80	0,26 - 87,6							

8.4 Bodenbeschreibung der Probenahmestandorte

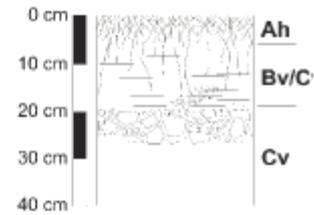
8.4.1 Einzugsgebiet Ganda See



Standort 1

Am flachen Seezulauf von N, grobblockiger Schutt aus vorwiegend feingeschichteten Paragneisen mit Amphibolit, z.T. von groben Quarzadern durchbrochen.

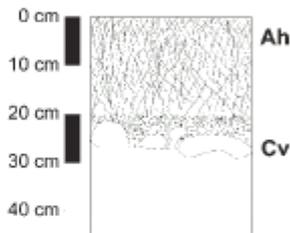
0 – 10 cm: sandiger Schluff, sehr starke Durchwurzelung, kontinuierlich abnehmend;
10 – 20 cm: schluffiger Sand; darunter Feinkies und –grus aus Kristallingesteinen. Der Oberboden ist stark humos (Mull), die Übergänge erfolgen fließend auf etwa 5 cm. Frisches Ausgangssubstrat etwa ab 20 cm mit welligem Übergang auf ca. 2 cm.



Standort 2

Am N-Ufer des Sees an einem steileren Hangbereich, ca. 10 m oberhalb des Sees. Bewuchs mit Legföhren, Alpenrose, Zwergwacholder, Preiselbeere, Moosbeere usw.

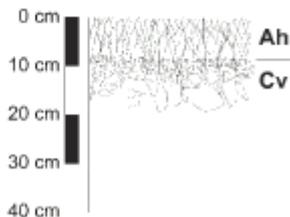
0 – 10 cm: lehmigsandiger Schluff mit fast schwarzem Mullhumus;
10 – 30 cm: Steine bis 5 cm Größe, stark verwittert, mit sandig-lehmigem Schluff. Stellenweise hoher Humusanteil.
Unter 30 cm schwarzer Humus (alter A-Horizont, überschüttet)
Die Steine im Bv/Cv-Horizont sind stark verwittert, ab 40 cm Tiefe nur noch schwach.



Standort 3

Auf einer sehr flach geneigten alluvialen Ebene am westlichen Seezulauf. Die Ebene weist Spuren intensiver Beweidung auf. Bewuchs mit alpinen Gräsern, Hahnenfuß, Eisenhut, Ampfer.

0 – 5 cm: sandiger Schluff;
5 – 10 cm: schluffiger Sand, darunter sandiger Kies. Der Ah-Horizont ist fast schwarz und mit hellgraubraunem Sand gemischt.
Bis ca. 10 cm erfolgt ein fließender Übergang zu schwach humosem, schluffigem Sand; dieser geht fließend über in kiesigen Sand, sandigen Kies, Kies → Ausgangsmaterial.



8.4.2 Einzugsgebiet Herz See



Standort 1

Westlich des Herz Sees am dortigen Hangzufluss. Relativ tiefgründige Hangbraunerde mit ca. 5 cm Ah-Horizont, ca. 25 cm schluffig-lehmigem Bv-Horizont. Ab ca. 30 cm Tiefe Übergang zu mäßig grobem Hangschutt/Moränen-Material.



Standort 2

Östlich des Herz Sees; deutlich weniger tiefgründig als bei Standort 1. Steinanteile im gesamten Profil, dominant ab 15 – 20 cm Tiefe (Cv-Horizont). Bodentyp: Ranker. Gesteinskomponenten: vorwiegend Gneise, Amphibolit, Glimmerschiefer.



Standort 3

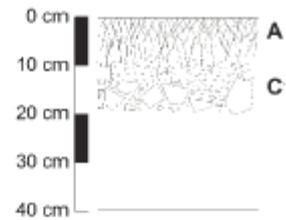
Südwestlich oberhalb des Schwarsees. Das Bodenprofil zeigt unter einem geringen Ah-Horizont (ca. 5 cm) einen ganz schwach gebleichten, tonig-lehmigen Ae/Bv-Horizont (ca. 5 cm). Darunter erfolgt ein schneller Übergang zu rostig verwitterndem Bv/Cv-Horizont mit groben Gesteinskomponenten (Amphibolite, Glimmerschiefer, Gneise).

8.4.3 Einzugsgebiet Silvretta See

**Standort 1**

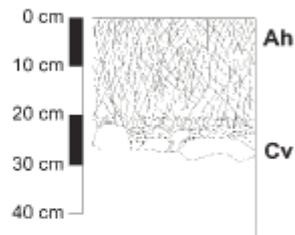
Stark humoser Ah-Horizont, direkt übergehend in Cv-Horizont mit Glimmerschiefer und glimmerführenden Quarzphylliten. In Ah sehr starker Wurzelfilz, nach unten zunehmend glimmriger Sand.

Lage: Auf der glazialen Terrasse am Ausgang des Klostertales, nördlich des Klostertalbaches. Das grobe Blockwerk in der Umgebung des Probenahmestandes wird aus Zweiglimmergneisen, Glimmerschiefern, feingeschichteten Paragneisen und Amphiboliten gebildet. Sehr feucht.

**Standort 2**

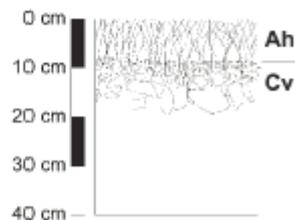
0 - 20 cm: fast schwarzer, stark humoser A-Horizont, sandiger Schluff. In 20 cm Tiefe scharfer Übergang zu schwach humosem schluffigem Sand, darunter grobe Steine (>5, > 10 cm): Glimmerschiefer, Quarzphyllite, Amphibolite. Humus des A-Horizontes z.T. torfähnlich.

Lage: Auf der Nordseite des Klostertalbaches, ca. 100 m taleinwärts von Standort 1. Ca. 20 m nördl. des Baches. Leichte Exposition nach S, am Rand einer nassen Mulde mit Seggen und Binsen.

**Standort 3**

Ah-Horizont aus fast schwarzem Mullhumus. Scharfer Übergang zu grauem bis gelb- und rotbraunem schluffigem Sand. Im Übergang zu Cv sehr mürbe verwitterte Gesteinsbrocken fließend übergehend zu nicht verwitterten Gesteinsbrocken, vorwiegend aus Amphibolit und Glimmerschiefer.

Lage: Auf der südlichen Seite des Klostertalbaches, auf der Glazial-Terrasse; eben. In nächster Umgebung treten glatte Gletscherschliffe zutage, die das Ausgangsmaterial der Bodenbildung darstellen, möglicherweise mit Anteilen von Moränenmaterial.



8.4.4 Einzugsgebiet Brüllender See



Standort 1

Westlich des Brüllenden Sees auf dem den See umgebenden Moränenwall. Ca. 10 - 15 cm tonig-lehmiger, schwach humoser A-Horizont, darunter ca. 15 cm sandig-kiesiger, rostig verwitternder Bv/Cv-Übergangshorizont, darunter deutlich helleres, kiesigeres Cv-Material (Amphibolite, Biotitschiefer, Quarzphyllite).

Standort 2: Östlich des Brüllenden Sees am Hangzufluss. Das Bodenprofil ist weniger rostig und deutlich schluffiger, offenbar ist der alluviale Einfluss stärker als der Einfluss der Grundmoräne.

Schriftenreihe „Lebensraum Vorarlberg“

Bisher erschienene Bände

Information und Bestelladresse:

Umweltinstitut des Landes Vorarlberg, Montfortstr. 4, A-6901 Bregenz

Elisabeth Marxer, Tel. 0043 / (0)5574 / 511- 42027

e-mail: elisabeth.marxer@vorarlberg.at

Band 56 (2003)

Umweltanalytik

Untersuchung schwer abbaubarer Schadstoffe
in hochalpinen Regionen Vorarlbergs

Band 55 (2003)

Der Waldboden im Pfändergebiet

Zustand und Stoffdynamik

Band 54 (2003)

Grundwassergüte in Vorarlberg

Bericht 2002, Bestandsaufnahme 1990-2001

Band 53 (2002)

Fließgewässer in Vorarlberg - Gewässerinventar

Teil 2: Strukturgüte der Fließgewässer im
südlichen Vorarlberg, Stand 2001

Band 52 (2002)

Fließgewässer in Vorarlberg

Vorkommen und Verbreitung von
Flusskrebse in Vorarlberg

Band 51 (2001)

Aufweitung der Bregenzerach im Bereich Schnepfau - Mellau

Flussmorphologische und
gewässerökologische Beweissicherung

Band 50 (2001)

Ozonimmissionen in Vorarlberg

Messergebnisse der Sommer 1999 und 2000

Band 49 (2001)

Luftdatendokumentation 2000

Band 48 (2001)

Emissionsmessungen an modernen Kachelöfen

Band 47 (2001)

Fließgewässer in Vorarlberg - Gewässerinventar

Teil 1: Strukturgüte der Fließgewässer des Vorarlberger
Rheintals - Stand 1999

Band 46 (2000)

Luftdatendokumentation 1999

Band 45 (1999)

Luftdatendokumentation 1998

Band 44 (1999)

Fließgewässer in Vorarlberg

Gewässergüte und Wasserbeschaffenheit 1998

Band 43 (1998)

Luftdatendokumentation 1996 - 1997

Band 42 (1998)

Ozonimmissionen in Vorarlberg

Messergebnisse der Sommer 1997
und 1998

Band 41 (1998)

25 Jahre Heizungsüberwachung in Vorarlberg

Band 40 (1998)

Erhaltung und Gestaltung naturnaher Landschaften in Vorarlberg. Chancen einer Lebensraumpartnerschaft

Tagungsband zum gleichnamigen
Symposium am 22. Jänner 1998 in Bregenz

Band 39 (1998)

Klärschlammbericht Vorarlberg

Untersuchungsergebnisse 1991 - 1997

Band 38 (1998)

Die Überprüfung automatisch beschickter Holzheizungen

Band 37 (1998)

Fließgewässer in Vorarlberg

Renaturierung des Schwarzbachs
in Bludesch/Gais - Erfolgskontrolle

Band 36 (1997)

Ozonimmissionen in Vorarlberg

Meßergebnisse der Sommer 1995 und 1996
Vergleich der Sommer 1990 bis 1996

Band 35 (1997)

Emissionskataster Vorarlberg 1994

Band 34 (1997)

Trinkwasser in Vorarlberg

Wasserhärten im Überblick

Band 33 (1996)

Fließgewässer in Vorarlberg

Gewässerstrukturen. Erfassen - Bewerten - Darstellen. Ein
Konzept (vergriffen)

Band 32 (1996)

Naturschutzgebiet Matschels

Untersuchungen zum Bodenaufbau und
zur Nährstoffversorgung im Unterried

Band 31 (1996)

Luftdatendokumentation 1995 (vergriffen)

Band 30 (1996)

Bodenzustand und Bewirtschaftungspraxis der Vorarlberger Hausgärten

Erhebung 1993/94 (vergriffen)

Band 29 (1995)

Fließgewässer in Vorarlberg. Wassergüteehebung an den Hauptflüssen

Aufnahmen 1992 - 1994 (vergriffen)

Band 28 (1995)

Chemisch-bakteriologische Überprüfung der Freibecken- und Hallenbäder in den Jahren 1993 und 1994 (vergriffen)

Band 27 (1995)

Tagungsband Naturschutz-Symposium (vergriffen)

Band 26 (1995)
**Eine Akzeptanzstudie zum Natur-
und Landschaftsschutz im Vorarlberger Rheindelta**
(vergriffen)

Band 25 (1995)
**Entwicklungskonzept für die Kernzone des
Lauteracher Riedes**

Band 24 (1995)
**EDTA - ein schwer abbaubarer/eliminierbarer Stoff in
den Gewässern Vorarlbergs**

Band 23 (1995)
Luftdatendokumentation 1994

Band 22 (1995)
**Einfluß von Entwässerungen auf Boden, Vegetation
und Fauna im Naturschutzgebiet Rheindelta** (vergriffen)

Band 21 (1995)
**Grundlagen für ein Entwicklungskonzept
Naturschutzgebiet Rheindelta**

Band 20 (1994)
**Die Häufigkeit der Ausbreitungsklassen im
Nordteil des Vorarlberger Rheintales**
Zur Verdünnung in der bodennahen
Atmosphäre

Band 19 (1994)
Ozonimmissionen in Vorarlberg
Meßergebnisse Sommer 1994

Band 18 (1994)
**Radioaktive Belastung von Böden
in Vorarlberg**

Band 17 (1994)
Luftdatendokumentation 1993

Band 16 (1993)
**Projekt „Waldökosystemforschung -
Waldbodensanierung“** Abschließender Bericht

Band 15 (1993)
Ozonimmissionen in Vorarlberg
Meßergebnisse Oktober 1992 - September 1993

Band 14 (1993)
Luftdatendokumentation 1992 (vergriffen)

Band 13 (1993)
Fließgewässer in Vorarlberg
Gütezustand 1992. Aufnahmen 1989-1992

Band 12 (1993)
Ozonimmissionen in Vorarlberg
Meßergebnisse Oktober 1991 - September 1992
Vergl. der Sommer 1990-1991-1992 (vergriffen)

Band 11 (1992)
Schwermetalldepositionen in Vorarlberg
(vergriffen)

Band 10 (1993)
Stickstoffdioxid-Immissionen in Vorarlberg
Meßergebnisse Oktober 1991 - September 1992
Vergleich der Sommer 1990-1991-1992
(vergriffen)

Band 9 (1992)
Luftdatendokumentation 1990 - 1991
(vergriffen)

Band 8 (1991)
Ozonimmissionen in Vorarlberg
Bericht über die Meßergebnisse von
April 1990 bis September 1991 (vergriffen)

Band 7 (1991+1992)
Badequalität der Vorarlberger Gewässer
Die Ergebnisse der Kontrolluntersuchungen
für die Badesaison 1990 sowie als Beilage
die aktuell verfügbaren Untersuchungs-
ergebnisse aus dem Jahr 1992 (vergriffen)

Band 6 (1991)
Jahresbericht
Immissionsmessungen von Luftschadstoffen
von April 1989 bis März 1990 in Vorarlberg

Band 5 (1993)
Fließgewässerinventur Vorarlberg (vergriffen)

Band 4 (1992)
Der Wald im Naturschutzgebiet Gadental

Band 3 (1989)
Waldforschung in Vorarlberg

Band 2 (1986)
Bodenzustandserhebung Vorarlberg

Band 1 (1986)
Sanierung von Baggerseen im Walgau