

Centre Ecotox  
EPFL ENAC IIE-GE  
Station 2  
CH-1015 Lausanne

T +41 (0) 21 693 62 58  
F +41 (0) 21 693 80 35  
info@oekotoxzentrum.ch  
www.centreecotox.ch

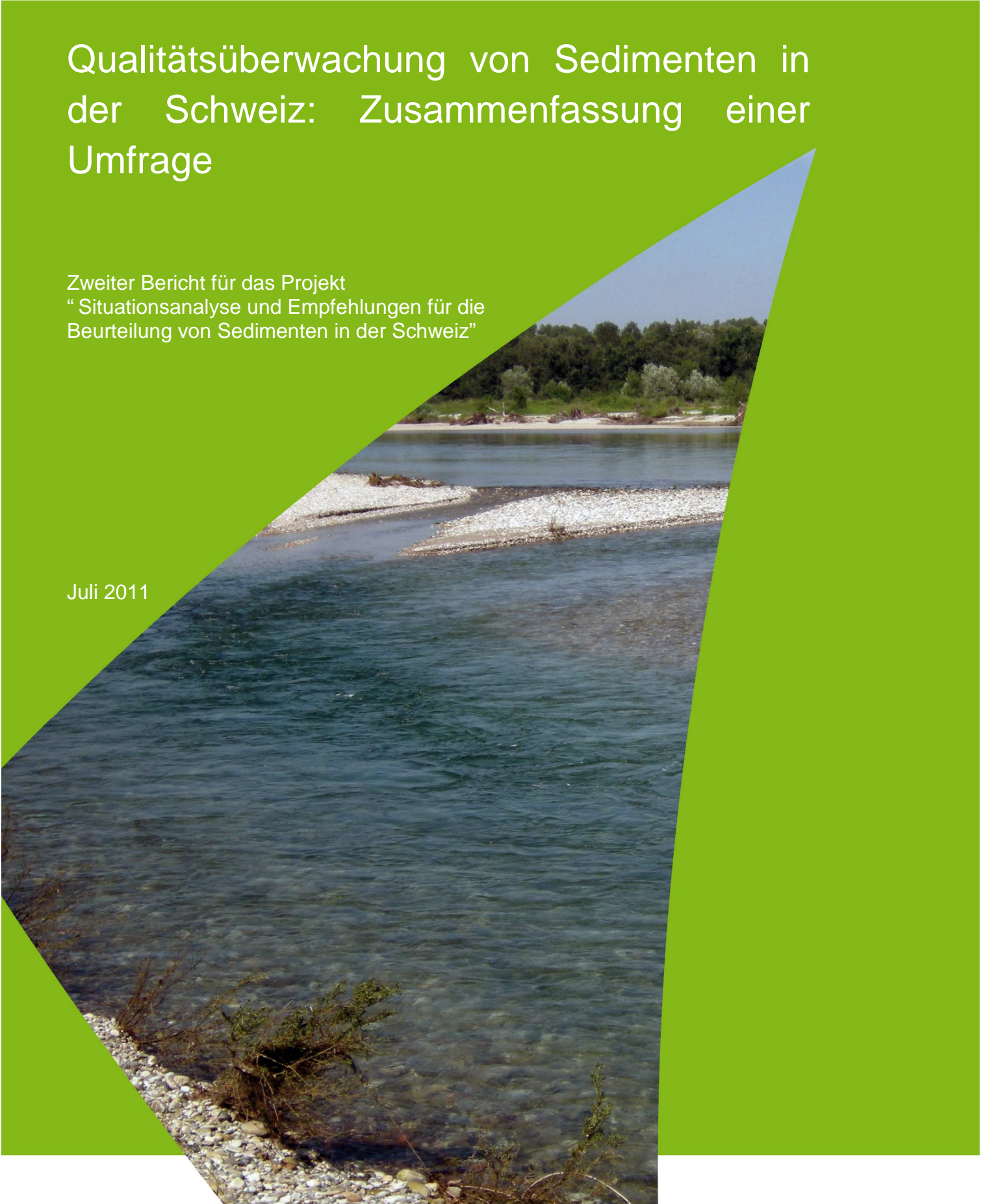


Centre Suisse d'écotoxicologie appliquée  
Eawag-EPFL

# Qualitätsüberwachung von Sedimenten in der Schweiz: Zusammenfassung einer Umfrage

Zweiter Bericht für das Projekt  
"Situationsanalyse und Empfehlungen für die  
Beurteilung von Sedimenten in der Schweiz"

Juli 2011





## Projektzeitraum

März 2010 – *laufend*

## Durchführung

### **R. FLÜCK**

Centre Suisse d'écotoxicologie appliquée Eawag/EPFL  
EPFL-ENAC-IIE-GE, Station 2 (GR B0 391). CH-1015 Lausanne  
+41 (0)21 693 37 85. rebecca.flueck@oekotoxzentrum.ch

### **S. CAMPICHE**

Centre Suisse d'écotoxicologie appliquée Eawag/EPFL  
EPFL-ENAC-IIE-GE, Station 2 (GR B0 391). CH-1015 Lausanne  
+41 (0)21 693 62 58. sophie.campiche@oekotoxzentrum.ch

## Beratung

### **N. CHÈVRE**

IMG-CAM - Faculté des Géosciences et de l'environnement  
Université de Lausanne, Anthropole 1124. CH-1015 Lausanne  
+41 (0)21 692 3557. nathalie.chevre@unil.ch

### **F. DE ALENCASTRO**

EPFL ENAC IIE GR-CEL GR A1 382 Station 2  
CH-1015 Lausanne  
+41 (0)21 693 27 29. felippe.dealencastro@epfl.ch

### **B. FERRARI**

Cemagref - Laboratoire d'écotoxicologie  
3 bis, quai Chauveau. F-69336 Lyon Cedex 9  
+33 (4)72 20 86 24. benoit.ferrari@cemagref.fr

### **S. SANTIAGO**

Soluval Santiago  
Rue Edouard-Dubied 2. CH-Couvet  
+41 (0)32 863 43 60. ssantiago@bluewin.ch

### **I. WERNER**

Schweizerisches Zentrum für angewandte Oekotoxikologie Ewag/EPFL  
Überlandstrasse 133, Postfach 611. CH-8600 Dübendorf  
+41 (0)58 765 5121. inge.werner@oekotoxzentrum.ch

# Qualitätsüberwachung von Sedimenten in der Schweiz: Zusammenfassung einer Umfrage

Zweiter Bericht für das Projekt "Bewertung der Schweizer Sedimentqualität"

## **Rahmen des Projektes**

Sedimente spielen eine wichtige Rolle im aquatischen Ökosystem. Sie dienen einerseits als Habitat und Laichplatz für zahlreiche Arten, andererseits sind sie auch ein Speicher und eine langfristige Quelle von Umweltschadstoffen – sowohl metallischer als auch organischer Art – da die Sedimentpartikel diese absorbieren. Bei Hochwasser und der damit verbundenen Remobilisierung der Sedimentoberfläche können Schadstoffe wieder in die Wassersäule freigesetzt werden und dort ein toxisches Risiko für die vorhandenen Organismen darstellen. Die Toxizität von Sedimenten wirkt direkt auf die Organismen, die in diesem Kompartiment (benthische Organismen) oder direkt darüber (epibenthische Organismen) leben, kann aber auch über die Nahrungskette auf höhere trophische Ebenen Einfluss nehmen. Diese Organismen nehmen wichtige Funktionen wahr (Nahrungsquelle, Rolle in der Zersetzung organischen Materials, ...). Es ist daher wichtig, ihre „Gesundheit“ zu erhalten, damit auch die Gesundheit der Organismen höherer trophischer Ebenen gesichert ist und damit der „gute Zustand“ des gesamten Ökosystems.

Die Schweizer Gewässerschutzverordnung (GSchV, 1998) legt fest, dass sich in den Sedimenten keine langlebigen Schadstoffe anreichern dürfen, um die aquatischen Organismen zu schützen. Allerdings gibt es keine Anforderungen an die Sedimentqualität. Auch Empfehlungen, wie eine Qualitätsbeurteilung durchgeführt werden soll, fehlen derzeit. Eine umfassende Sedimentstudie wäre notwendig, um belastete Standorte zu identifizieren und das von ihnen ausgehende Risiko zu bewerten.

In diesem Zusammenhang ist es das Ziel des Projektes „Qualitätsüberwachung von Sedimenten in der Schweiz“ des Oekotoxizentrums, einheitliche Empfehlungen für die Bewertung der ökotoxikologischen Qualität von Sedimenten zu erarbeiten und zur Verfügung zu stellen.

Um dieses Projekt erfolgreich durchzuführen, ist es wichtig, sich auf die in den Schweizer Kantonen verfügbaren Expertisen zu stützen. Mit Hilfe eines Fragebogens wurden daher die sechsundzwanzig Schweizer Kantone befragt. Die erhaltenen Antworten lieferten die Schlüsselinformationen für die Priorisierung der durchzuführenden Maßnahmen und die Erarbeitung von Empfehlungen.

Ziel der Umfrage (siehe unten) war es:

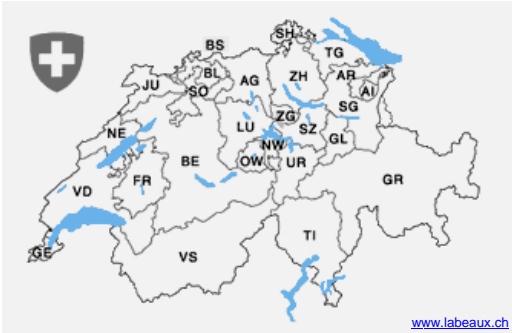
- die verschiedenen Methoden zur Untersuchung von natürlichen Sedimenten kennenzulernen, die gegenwärtig eingesetzt werden und/oder in den Kantonen verfügbar sind (chemische, biologische und ökotoxikologische Methoden)
- die Erarbeitung von Empfehlungen dadurch zu lenken, dass die Interessen und Erwartungen der Kantone berücksichtigt werden.
- Umweltdaten von den bereits in Sedimenten gemessenen Werten zu sammeln und dann den Einsatz von Sedimentqualitätskriterien in der Schweiz zu prüfen.

## **Der Fragebogen**

# Bewertung der ökotoxikologischen Qualität der *in situ* Sedimente: Empfehlungserstellung in der Schweiz

## Fragebogen

- Kanton -



Bitte geben Sie Ihre Adresse an:

.....

.....

.....

.....

- Bewertung der chemischen Qualität der Sedimente -

1. Analysieren Sie *in situ* Sedimente?

Ja, die Analysen machen wir selbst.

Ja, aber wir beauftragen ein externes Labor. Welches?

Nein, wir analysieren keine *in situ* Sedimente.

.....

.....

Bitte gehen Sie zur Frage 7.

2. Von wo stammen diese Sedimente? Können Sie bitte ein geographisches Beispiel zitieren?

Fluss.

z.B.:

.....

.....

.....

See / Staudamm.

z.B.:

.....

.....

.....

Abwasserbecken.

z.B.:

.....

.....

.....

Anderen.

z.B.:

.....

.....

.....

Bemerkungen:

.....

.....

3. Welche Fraktion(e) analysieren Sie?

<input type="checkbox"/> Gesamte Fraktion.	<input type="checkbox"/> Fraktion kleiner als 2 mm.	<input type="checkbox"/> Fraktion kleiner als 63 µm.	<input type="checkbox"/> Anderes: ..... .....
--	---	--	---

Bemerkungen (Entnahme und Siebung Methoden):

.....  
 .....  
 .....

4. Welche Schadstoffe messen Sie? Können Sie sie bitte auflisten?

<input type="checkbox"/> Metalle:	<input type="checkbox"/> PAKs / PCBs:	<input type="checkbox"/> Pestizide:	<input type="checkbox"/> Anderen:
..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... .....	..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... .....	..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... .....	..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... .....
Extraktionsverfahren und Messmethode:	Extraktionsverfahren und Messmethode:	Extraktionsverfahren und Messmethode:	Extraktionsverfahren und Messmethode:
..... ..... ..... ..... .....	..... ..... ..... ..... .....	..... ..... ..... ..... .....	..... ..... ..... ..... .....

5. Welche dieser Substanzen betrachten Sie als prioritär?

.....  
 .....  
 .....

6. Mit welchen Qualitätskriterien werden Ihre Messdaten verglichen?

<input type="checkbox"/> VVBo-Richtwerte <sup>1</sup> .
<input type="checkbox"/> Zielvorgaben der IKSR <sup>2</sup> .
<input type="checkbox"/> Schweizer Mittelwerte gemäss BAFU, 2003 <sup>3</sup> .

<sup>1</sup> Bundesamt für Umwelt, 1998. Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VVBo). No. RS 814.12. Berne, Suisse.  
<sup>2</sup> Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins. www.iksr.org.  
<sup>3</sup> Bundesamt für Umwelt, 2003. Micropolluants dans les sédiments. Métaux et micropolluants organiques dans les matières en suspension et sédiments superficiels des grands cours d'eau suisses. 2003, Nr. SRU-353-F.

- Grenz- und Orientierungswerte aus der Vollzugshilfe des BAFU „Die Baggerung von Sedimenten bei Hafenanlagen und Schifffahrtsrinnen“<sup>4</sup>.
- U und T Richtwerte für unverschmutztes und tolerierbares Aushubmaterial<sup>5</sup>.
- Andere Kriterien. Welche?  
.....

Bemerkungen (Vergleich Zu-/ Abstrom, Monitoring, usw.):

.....  
 .....  
 .....

**- Bewertung der ökologischen Qualität der Sedimente -**

7. Nützen Sie die Ergebnisse eines oder mehrerer der folgenden biologischen Indizes?:

- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| <input type="checkbox"/> IBCH, früher Makroindex gemäss Modul-Stufen-Konzept, BAFU. | <input type="checkbox"/> Indice Biologique Global Normalisé (IBGN - Afnor, 1992). | <input type="checkbox"/> Indice Oligochètes de Bioindication des Sédiments (IOBS - NF T90-390, 2002). | <input type="checkbox"/> Andere(n). <u>Welche?</u><br>.....<br>.....<br>..... |
|---|---|---|---|

Bemerkungen:

.....  
 .....  
 .....

**- Bewertung der ökotoxikologischen Qualität der Sedimente -**

7. Führen Sie ökotoxikologische Tests an Sedimenten durch?

- |   |   |   |
|---|---|---|
| <input type="checkbox"/> Ja, die Tests machen wir selbst. | <input type="checkbox"/> Ja, aber wir beauftragen ein externes Labor. <u>Welches?</u><br>.....<br>..... | <input type="checkbox"/> Nein.<br><br><p style="text-align: center;"><i>Bitte gehen Sie zur Frage 10.</i></p> |
|---|---|---|

<sup>4</sup> Bundesamt für Umwelt, 1998. Mitteilung zum Gewässerschutz n°19. Die Werte berufen sich nämlich auf der VVBo und TVA (Bundesamt für Umwelt, 1990. Technische Verordnung vom 10. Dezember 1990 über Abfälle. No. RS 814.600. Berne, Suisse).  
<sup>5</sup> Bundesamt für Umwelt, 1999. Richtlinie für die Verwertung, Behandlung und Ablagerung von Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial (Aushubrichtlinie). No. VU-3003-F. Berne, Suisse.

9. Welche Art von Proben testen Sie?

<input type="checkbox"/> Gesamtes Sediment. <u>Test(s):</u> ..... ..... ..... ..... .....	<input type="checkbox"/> Porenwasser. <u>Test(s):</u> ..... ..... ..... ..... .....	<input type="checkbox"/> Wässriger Extrakt. <u>Test(s):</u> ..... ..... ..... ..... .....	<input type="checkbox"/> Organischer Extrakt. <u>Test(s):</u> ..... ..... ..... ..... .....	<input type="checkbox"/> Andere. <u>Welche tests?:</u> ..... ..... ..... ..... .....
--	--	--	--	---

Bemerkungen (Siebung, Extraktionsverfahren, usw.):

.....  
 .....  
 .....

- Ihre Bedürfnisse -

10. Wie bewerten Sie die Bedeutung der folgenden Aussagen (auf die Schweiz bezogen)?

	Sehr wichtig	Wichtig	Wenig wichtig	Keine Meinung
Verwendung einheitlicher Qualitätskriterien für die Beurteilung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ökotoxikologische Tests zur Untersuchung an Sedimenten von benthischen Arten sollten entwickelt werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Empfehlung für die Verwendung geeigneter biologischer Indizes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eine Liste von prioritären Substanzen in Bezug auf die Analyse von Sedimenten soll festgelegt werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sampling- und Monitoringstrategien sollen harmonisiert werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Erstellung einer umfassenden Richtlinie für die ökotoxikologische Bewertung von Sedimenten (Triade aus Chemie, biologischer Index und Biotests), inkl. der Beschreibung der Probenahme.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



11. Wie würden Sie Ihr Interesse an folgenden Punkten bewerten?

	Sehr hoch	hoch	Weniger hoch	Keine Meinung
Verwendung einheitlicher Qualitätskriterien für die Beurteilung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ökotoxikologische Tests zur Untersuchung an Sedimenten von benthischen Arten sollten entwickelt werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Empfehlung für die Verwendung geeigneter biologischer Indizes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eine Liste von prioritären Substanzen in Bezug auf die Analyse von Sedimenten soll festgelegt werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sampling- und Monitoringstrategien sollen harmonisiert werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Erstellung einer umfassenden Richtlinie für die ökotoxikologische Bewertung von Sedimenten (Triade aus Chemie, biologischer Index und Biotests), inkl. der Beschreibung der Probenahme.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Allgemeine Bemerkungen:

.....

.....

.....

- Messdaten Umwelt -

Wären Sie bereit, Daten aus Sedimentuntersuchungen inkl. der Beschreibung der Methodik und, wenn vorhanden, die dazugehörigen biologischen bzw. ökotoxikologischen Untersuchungen, dem Ökotoxzentrum und der Diskussionsgruppe zur Verfügung zu stellen?

**Herzlichen Dank für ihre Mitarbeit.**

Rébecca Flück

## Ergebnisse und Diskussion

Alle Kantone haben die Fragebögen beantwortet. Ziel dieses Fragebogens war es, nur die natürlichen Sedimente zu untersuchen und nicht die ausgebaggerten Sedimente, über deren Entsorgung separat entschieden werden muss. Der Unterschied zwischen natürlichen und ausgebaggerten Sedimenten wurde allgemein berücksichtigt, allerdings lieferten 20% der Kantone zusätzliche Informationen über ausgebaggerte Sedimente.

### Bewertung der chemischen Qualität der Sedimente

Zunächst bezogen sich die Fragen auf die angewandten Methoden für die chemische Analyse der natürlichen Sedimente. Dazu gehörten Informationen über die Herkunft der Sedimente (Flüsse oder Seen), die Art der analysierten Fraktionen (Gesamtsediment oder Teilfraktion) und die analysierten Substanzen (Analysemethoden, Priorisierung der Substanzen, Anwendung von Qualitätskriterien).

Dreizehn Kantone (50 %) führen oder führten bereits mehr oder weniger regelmäßig chemische Untersuchungen von natürlichen Sedimenten durch (Abbildung 1). In 54% der Fälle werden diese Untersuchungen von den Kantonen selbst durchgeführt, während in 46% der Fälle externe Labors mit den Untersuchungen (oder ergänzenden Untersuchungen) beauftragt werden. Die Untersuchungen der chemischen Qualität der Sedimente erfolgen meist an Flüssen (13 /13 Kantone), aber auch an Seen (4/13 Kantone) (Abbildung 2). Eine kleinere Anzahl an Kantonen (4/13) hat zusätzlich angegeben, dass sie auch ausgebaggerte Sedimente von Hafenanlagen und Schifffahrtsrinnen untersucht.

Abbildung 1: Darstellung der Kantone, die Untersuchungen an natürlichen Sedimenten durchführen oder durchgeführt haben (■).

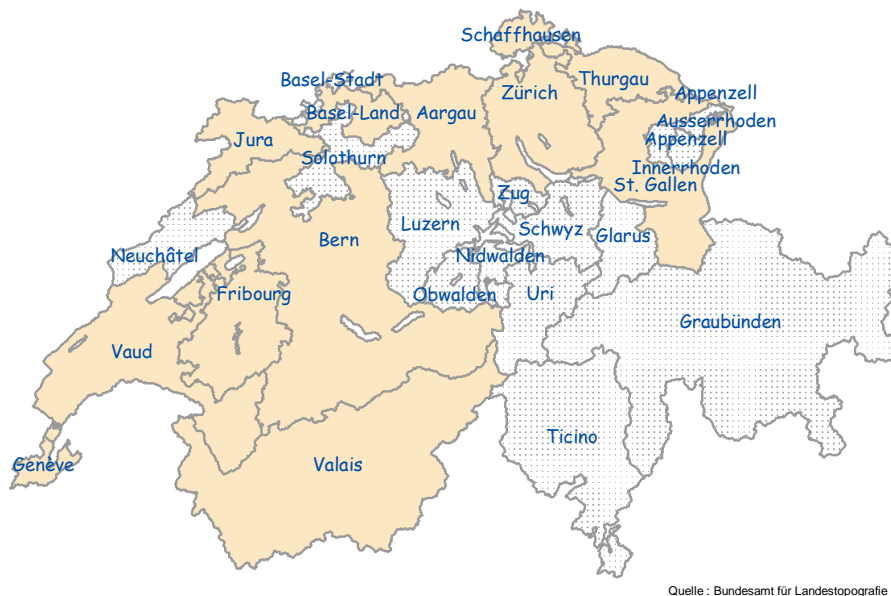
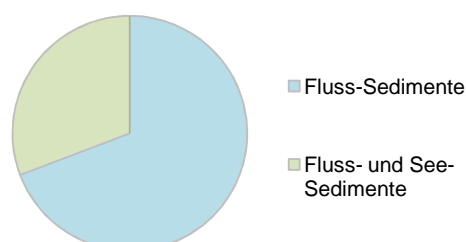
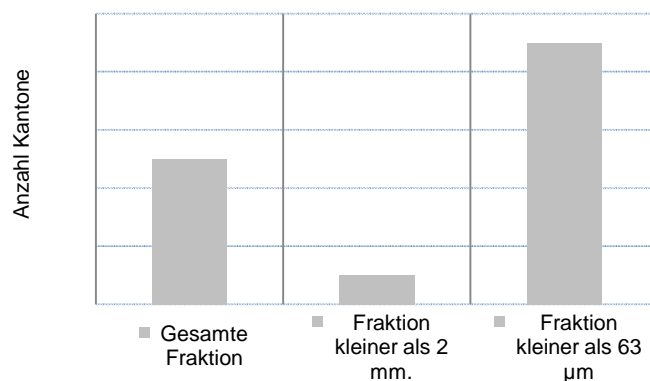


Abbildung 2: Herkunft der untersuchten natürlichen Sedimente (Antwort von 13 Kantonen).



Die Fraktionierung der Sedimente ist nicht einheitlich. Die meisten Kantone verwenden die Feinsedimentfraktion mit einer Partikelgrösse von maximal 63 µm für die chemische Analyse (Abbildung 3, Tabelle 1). Mehrere Kantone verwenden auch das Gesamtsediment. Nur ein Kanton analysiert die Fraktion < 2 mm. Zwei weitere Kantone analysieren zwei Fraktionen (Total- und Feinsediment). Ein Kanton verwendet die Gesamtfraktion, wenn es sich um Seesedimente handelt, während für Sedimente aus Flüssen nur die <63 µm Fraktion analysiert wird. Ein weiterer Kanton machte keine Angaben. Ansonsten wird für Untersuchungen von Seesedimenten generell die Gesamtfraktion verwendet. Allerdings ist die hier erhobene Fraktion eher fein.

Abbildung 3: Fraktion der untersuchten Sedimente.



In einigen Fällen erfolgte die Siebung, falls notwendig, direkt vor Ort (mit dem Wasser vor Ort) oder mit vom Erhebungsort entnommenem und ins Labor gebrachtem Wasser. Einer der Kantone informierte, dass vor Ort eine erste Siebung auf 5 mm erfolgt, aber letztendlich nur die feine Fraktion (<63 µm) für die Messung der Schadstoffe verwendet wird.

### Probenahmemethoden

Über die Probenahmemethoden (Tiefe, Material, Siebung) und die Vorbereitung der Proben konnten keine detaillierten Informationen erhalten werden (Tabelle 1).

Tabelle 1: Methoden der Probenahme und Vorbereitung von Sedimenten für ihre chemische Analyse in den Kantonen, die bereits Untersuchungen von natürlichen Sedimenten durchgeführt haben/durchführen (-- keine Angaben).

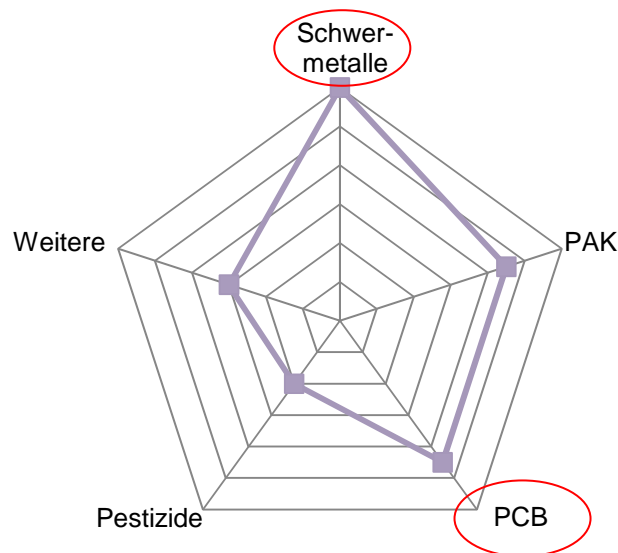
Kanton	AG	BL	BE	FR	GE	GL	JU	SG	SH	TG	VS	VD	ZH
Tiefe	--	--	--	--	--	--	--	Mitte Sedimentkerne	--	--	--	erste 5 cm	--
Entnahme-Werkzeug	--	--	--	--	--	--	--	Schaufel, Kernrohr, „Grabsampler“	--	--	--	Kernrohr	--
Siebung vor Ort	63 µm	63 µm	63 µm	--	Keine - Ges. Sedimente	--	63 µm	Nein	--	--	--	Keine -Ges. Sedimente	5 mm
Siebung im Labor	--	--	--	--	--	--	--	2 mm	--	--	--	--	63 µm
Stabilis. der Sedimente	--	--	1 Woche	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Trocknen	--	--	Ja	--	40 °C	--	--	40 °C vor Siebung	--	--	--	--	--

Bei den Methoden der Probenahme und Vorbereitung der Sedimente lassen sich Unterschiede erkennen, die die Ergebnisse der chemischen Messungen beeinflussen können. Tatsache ist, dass eine zu aggressive Behandlung der Sedimente die physikochemischen Eigenschaften der Sedimente und dadurch die Bioverfügbarkeit der vorhandenen Schadstoffe verändern kann. Dazu kommt, dass die Analyse der Feinsedimente (< 63 µm) eine höhere Konzentration von Schadstoffen ergeben könnte, als wenn die Konzentration auf das Volumen der Gesamtsedimente hochgerechnet wird.

Die Art der Körnung der untersuchten Sedimente sollte nicht vernachlässigt werden und es sollte eine Harmonisierung auf nationaler Ebene angestrebt werden. Einige Kantone arbeiten bereits zusammen. Die Kantone Basel Land, Bern und Jura haben bereits 2006 ein gemeinsames Programm verabschiedet, das für die Verfahren der Probenentnahme und -vorbereitung ein vereinheitlichtes Protokoll vorsieht. Im Rahmen des Projektes „PCB in Gewässern der Schweiz“ wird das BAFU in Zusammenarbeit mit EMPA und Eawag sowie mit den interessierten Kantonen eine Methode für die Probenahme, die Probenvorbereitung und die Untersuchung der Sedimente entwickeln, so dass die Analyseergebnisse vergleichbar sind (BAFU, 2010).

#### Untersuchte Chemikalien (Abbildung 4):

Abbildung 4: In den Kantonen untersuchte Substanzen. Rot eingekreist sind die Substanzgruppen, die am häufigsten als prioritär bezeichnet wurden.



Zwölf der dreizehn Kantone, die chemische Analysen durchführen, quantifizieren Metalle. In 70% der Kantone werden die Sedimente auf polychlorierte Biphenyle (PCBs, 6 bis 7 Indikator-Kongenere) sowie polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK, Summe von 16 Indikatoren<sup>1</sup>) untersucht. Vier Kantone untersuchen Pestizide (zum Beispiel, Mono-, Bi-, Tri- und Tetra-butyl, Di- und Tri-phenyl, Propiconazol, Pyrethronoid (Permethrin, Deltamethrin, usw)) in Flusssedimenten. Weitere Substanzen, die bereits untersucht werden, sind zum Beispiel der Gehalt anorganischem und inorganischem Kohlenstoff und Organozinnverbindungen .

Von den 13 Kantonen haben 6 Kantone prioritäre Substanzen festgelegt (Abbildung 4). Sie berücksichtigen bereits bekannte Probleme wie zum Beispiel die Belastung der Saane mit PCBs im Kanton Freiburg oder die Verschmutzung durch Kupfer in den Weinanbaugebieten des Thurgaus. Die restlichen 7 Kantone definieren die Priorität „von Fall zu Fall“.

<sup>1</sup> In den achtziger Jahren hat die EPA, die amerikanische Umweltagentur, 16 PAKs in die Liste der prioritären Schadstoffe aufgenommen. Seitdem werden diese 16 PAKs generell untersucht. Es wird davon ausgegangen, dass sie für die gesamte Klasse der PAK repräsentativ sind (Quelle: Informationsblatt, Bundesamt für öffentliche Gesundheit).

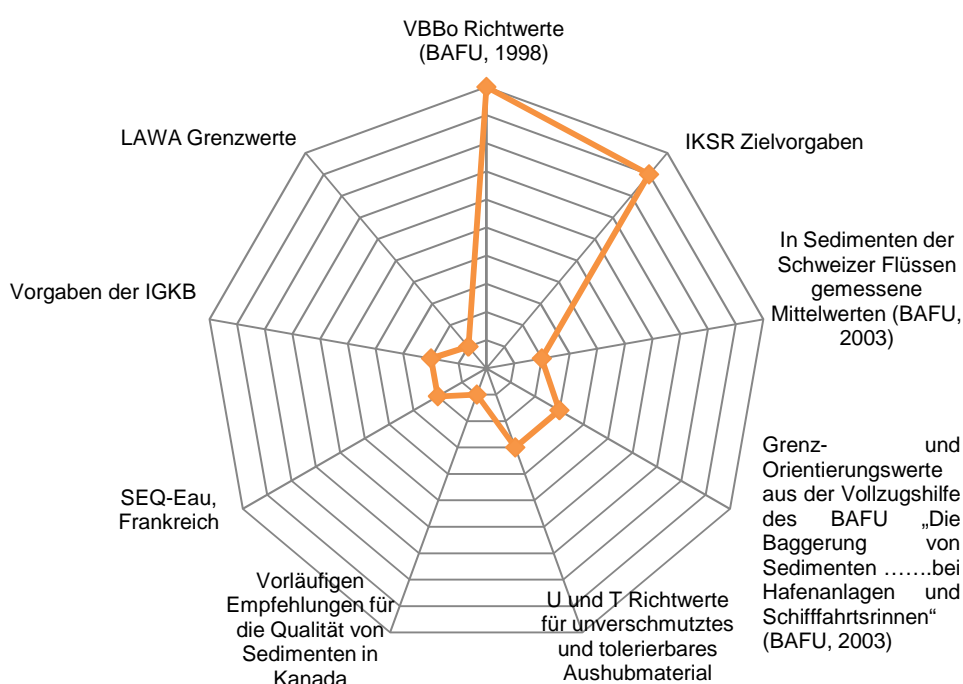
Interessant ist es festzustellen, dass die hauptsächlich untersuchten Substanzen denen entsprechen, die bereits in der Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBo) oder für ausgebagerte Sedimente für die Untersuchungen empfohlen werden. Hierfür sind die Untersuchungsmethoden bereits routinemäßig festgelegt.

### Qualitätskriterien

Die Ergebnisse der Umfrage zeigen auch, welche „Qualitätskriterien“ von den Kantonen für die untersuchten natürlichen Sedimente aus Flüssen oder Seen verwendet werden (Abbildung 5). Ein Qualitätskriterium ist ein Referenzwert, der zur Güteabschätzung der gemessenen Chemikalienkonzentrationen eingesetzt werden kann. Sind die Kriterien aus ökotoxikologischen Studien abgeleitet, so ermöglicht die Berechnung eines Quotienten zwischen dem gemessenen Wert und dem Qualitätskriterium die Bestimmung eines Risikoquotienten.

Zehn von 13 Kantonen, die natürliche Sedimente untersuchen, vergleichen die Ergebnisse ihrer chemischen Analysen mit den veröffentlichten Vorgaben der Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBo). Von diesen zehn Kantonen stellen sechs noch einen Vergleich mit den von der Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR, 2007) empfohlenen Zielvorgaben an, Vorgaben, die schlussendlich von 9 aus 13 Kantonen angewendet werden. Nur 3 von 13 Kantonen benutzen die Empfehlungen für ausgebagerte Sedimente in der Schweiz (Grenz- und Richtwerte für ausgebagerte Seesedimente aus Häfen und Schifffahrtswegen sowie U (unverschmutzte) und T (tolerierbare) Werte für Aushubmaterial). Gelegentlich werden die Umweltwerte auch mit den Vorgaben der IGKB (Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, vergleichbar mit den Werten der ISKR), den Werten von SEQ-Eau (Système global d'évaluation des cours d'eau, Frankreich) oder den in den Sedimenten der großen Schweizer Flüsse gemessenen Mittelwerten verglichen (BAFU, 2003). Nur in je einem einzigen Kanton werden die vorläufigen Empfehlungen für die Qualität von Sedimenten in Kanada sowie die Referenzkonzentrationswerte der LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Deutschland) herangezogen (Abbildung 5).

Abbildung 5: Verwendung der „Referenzwerte“ von den dreizehn Kantonen, die Untersuchungen von natürlichen Sedimenten durchgeführt haben/durchführen (ein Einteilungsgrad entspricht dem Vorhandensein des Kriteriums je Kanton)



Zwei Kantone haben hinzugefügt, dass sie auf Empfehlungen des Bundes warten, welche Werte für Sedimente aus Flüssen als „zufriedenstellend“ anzusehen sind. Zwischenzeitlich halten sich die Kantone mehrheitlich an die Verordnung über Belastungen des Bodens, auch wenn man sich durchaus bewusst ist, dass Sedimente nicht mit Boden gleichzusetzen sind, und dies trotz des Vorhandenseins von Schweizer Werten für ausgebagerte Sedimente. Die Werte aus der Verordnung über Bodenbelastungen werden oft zusammen mit den Werten der IKSR herangezogen, weil die Mehrheit der Schweizer Kantone im Zuflussgebiet des Rheins liegt. Die Werte der VBBo und die der IKSR unterscheiden sich nur geringfügig (Tabelle 2).

Tabelle 2: Indikative Werte der Verordnung über Belastungen des Bodens verglichen mit den Werten der IKSR am Beispiel von Schwermetallen

mg/kg Trocken-Sediment	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
VBBo (Fraktion < 2 mm)	0.80	40	50	50	150	0.50
IKSR (Fraktion < 63 µm)	1.00	50	50	100	200	0.50

Die beiden oben genannten Kriterien stützen sich hauptsächlich auf Werte geochemischen Ursprungs und nur in sehr geringem Ausmaß auf ökotoxikologische Informationen. 2003 hat das BAFU Mittelwerte für die Konzentration von Metallen wie HAPs und PCBs in den Feinsedimenten der großen Schweizer Flussläufe veröffentlicht. Diese Werte werden nur äußerst selten zum Vergleich herangezogen. Tatsächlich eignen sich die für große Flüsse definierten Werte nicht für die Bewertung der Qualität von Sedimenten aus kleinen Flussläufen. Man erhält jedoch einen Hinweis auf die „Grundkonzentration“ in der Schweiz, allerdings nur, wenn die Probenahme nicht an einer Stelle erfolgte, wo bekannte Verunreinigungen existieren. Man erhält jedoch in keinem Fall Aufschlüsse über ein potenzielles ökotoxikologisches Risiko.

Ab und zu verwenden die Kantone deutsche oder auch kanadische Werte, was aufgrund möglicher besonderer Gegebenheiten vor Ort problematisch sein kann.

Wichtig ist auch zu wissen, auf welche jeweilige Sedimentfraktion das eine oder andere Kriterium bezogen ist. Für die IKSR werden die Vorgaben für feine Sedimente definiert (Partikelgrösse <63 µm) (dies gilt auch für die IGKB), während die Richtwerte in der VBBo auf der Grundlage einer Gesamtheit von Partikelgrössen unter oder gleich 2 mm festgelegt werden. Noch wichtiger als die Sedimentfraktion ist das Extraktionsverfahren der Substanzen. Während es in der VBBo um eine pseudo-totale Extraktion (Salpetersäure) handelt, werden die kanadischen Werte nach einem teilweisen Angriff des Sediments abgeleitet (Extraktion durch eine schwache Säure), um den vermeintlich bioverfügbaren Teil zu extrahieren. Auch wenn sich die Schadstoffe an die feinsten Partikel binden, so ist es letztendlich wichtig, die gesamte Fraktion in Betracht zu ziehen, denn die Qualitätskriterien, die auf der Grundlage der tatsächlichen Werte definiert wurden, wurden durch ökotoxikologische Tests an Gesamtsedimenten erhalten (zum Beispiel TEC und PEC<sup>1</sup> Werte von MacDonald *et al.*, 2000). Leider wird die Extraktionsmethode der Substanzen oft nicht näher beschrieben, und ein Vergleich der Werte ist nur mit Einschränkungen möglich, wenn die Analysemethoden nicht vergleichbar sind.

<sup>1</sup> Die TEC (Threshold Effect Concentration) und PEC (Probable Effect Concentration) Werte wurden mit der Konsensusmethode erhalten. Im Fall der TEC handelt es sich um geometrische Mittelwerte der Effektkonzentrationen und im Fall der PEC um vorhergesagte Effektkonzentrationen. Die Werte berücksichtigen die ökotoxikologische Wirkung der Substanzen (8 Metalle, HAPs und PCBs) auf aquatische und benthische Organismen.

In diesem Abschnitt der Umfrage wurden die Kantone über ihre Bewertung der ökologischen Sedimentqualität mittels biologischer Indizes befragt.

Eine Literaturrecherche ergab, dass folgende Indizes angewendet werden:

- Indice Biologique Global Normalisé (IBGN - Afnor, 1992). Untersucht werden die Auswirkungen des Habitats und des Vorhandenseins von Schadstoffen auf Makroinvertebraten. Es handelt sich um einen Index, der sich nicht speziell auf Sedimente bezieht. Die Entnahme der Organismen erfolgt jedoch von der Sediment- bzw. Substratoberfläche und kann dadurch integrative Informationen über den ökologischen Zustand des untersuchten Standortes enthalten.
- Indice Biologique Suisse (IBCH, 2011 - <http://www.modul-stufen-konzept.ch/f/mzb-f.htm>) - entspricht dem IBGN, wie er für die Schweiz seit 2011 angewandt wird.
- Indice Oligochètes de Bioindication des Sédiments (IOBS - NF T90-390, 2002). Untersucht werden hier benthische Oligochaeten-Artengemeinschaften. Das prozentuelle Verhältnis der schadstoffempfindlichen bzw. -toleranten Arten gibt Aufschluss über den Verschmutzungsgrad des untersuchten Standorts.

Nur 16 % der Kantone (4 von 25) nutzen oder nutzten bereits biologische Indizes zur *direkten* Untersuchung der Auswirkung von kontaminierten Sedimenten auf die Biozönose. Diese Indizes beziehen sich auf Oligochaeten und Chironomidenlarven sowie zwei weitere benthische Makroinvertebratentaxa. Zwei Kantone führen Untersuchungen nach IOBS durch. Ein Kanton nutzt den Oligochaeten-Index (IOBS) in Seen (IOBL, Norme Française, 2005). Ein weiterer Kanton untersucht die Wiederansiedlung von Oligochaeten-Gemeinschaften und Chironomidenlarven in Sedimenten nach der „Belüftung“ von Seen.

Einige Kantone ergänzten ihre Antworten, indem sie die Indizes nannten, die sie für die Untersuchung von Oberflächenwasser anwenden. Hier lässt sich der mehrheitlich der Einsatz von IBGN/IBCH und in einem Fall der Analyse von Kieselalgen feststellen (beide Indizes sind als Module ins Modul-Stufen-Konzept integriert). Ein Kanton gibt an, den Spear-Index (Species at Risk, ein Index aus Bioindikatoren für die Untersuchung von Makroinvertebraten (Von der Ohe *et al.*, 2009)) zu verwenden und zwar in Verbindung mit einem selbst entwickelten Referenzsystem für die Untersuchung von Makroinvertebraten. Zwei Kantone untersuchen den Saprobiegrad<sup>1</sup> von Wasserläufen. Schließlich gibt es noch einen Kanton, der Metalle und organischen Substanzen in Bryophyten analysiert.

Untersuchungen nach IBGN, wie als Bioindikator in dieser Frage vorgeschlagen, wurden im Rahmen von Sedimentuntersuchungen nie verwendet. Folglich könnte die Verwendung eines Index, der die Gemeinschaft benthischer Makroinvertebraten in einem Wasserlauf zum Inhalt hat, wichtige Erkenntnisse über den Verunreinigungsgrad der untersuchten Sedimente geben.

Insgesamt werden Bioindikatoren noch relativ selten für die Bewertung der Sedimentqualität eingesetzt, auch wenn die Kantone über das notwendige Expertenwissen dafür verfügen. Einige der Werkzeuge dieser Methoden könnten folglich im Rahmen eines globalen Ansatzes für die ökotoxikologische Sedimentqualität leicht eingesetzt werden. In bestimmten Fällen werden im Kanton Genf bereits die Konzentrationen von Schadstoffen in den Sedimenten (Exposition) und die Artengemeinschaften von Oligochaeten (Effekt) parallel gemessen. Das Verknüpfen verschiedener Untersuchungsmöglichkeiten ist für die Untersuchung von ökotoxikologischen Risiken von Vorteil.

---

<sup>1</sup> Der Saprobiegrad ergibt sich aus der Untersuchung von Saprobien, also von Gemeinschaften von Süßwasserorganismen, die in Gewässern leben, die mehr oder weniger reich an organischen Substanzen sind. Das Ergebnis ist ein Index der Zersetzungsrate der organischen Substanz. Es handelt sich um eine Einteilung der Invertebraten nach ihrer Empfindlichkeit oder Resistenz gegenüber organischen Schadstoffen.

Nur zwei von 13 Kantonen haben mindestens einmal ökotoxikologische Tests durchgeführt. Bei den eingesetzten Biotests handelt es sich um Tests mit Daphnien (mit Sedimenten und in der Wassersäule), den Microtox® Test (direkter Kontakt mit Sedimenten) oder um Versuche mit Fischen. Im Fall von Fischen wurden die Tests im Labor (frühe Entwicklungsstadien von Zebrafischen), aber auch *in situ* (Forellenembryonen) durchgeführt. Ziel war es, die Unterschiede vor und nach einer Kläranlage zu testen. In diesen beiden Kantonen wurden private Forschungsinstitutionen oder Universitäten mit diesen Tests beauftragt. Standardisierte Biotests mit Chironomidenlarven oder Amphipoden (z. B. USEPA, 2000) wurden noch nie eingesetzt.

### Interessen und Prioritäten der Kantone

---

Mit Hilfe der letzten beiden Fragen sollten die Erwartungen der Kantone im Bereich der Qualitätsbewertung von Sedimenten erkannt werden. Diese beiden Fragen bezogen sich einerseits auf die Bedeutung, die bestimmten Elementen beigemessen wird, und andererseits auf das Interesse für diese Elemente. Die verschiedenen Elemente entsprechen Maßnahmen, die ins Auge gefasst werden sollten, um Fortschritte im Bereich der Bewertung der Sedimentqualität in der Schweiz (Tabelle 3, Abbildung 6) zu machen.

Tabelle 3: Achsen der für die Weiterentwicklung des Projektes „Sedimente“ vorgeschlagenen Priorisierung (Zeichenerklärung Abbildung 6).

Qualitäts-kriterien	Harmonisierung von Qualitätskriterien für die Beurteilung und Festlegung von Qualitätsklassen für Sedimente.
Harmonisierung	Harmonisierung von Probenahme- und Monitoringstrategien.
Biologische Indizes	Empfehlung für die Verwendung geeigneter biologischer Indizes.
Prioritäre Substanzen	Festlegung einer Liste von prioritären Substanzen in Bezug auf die Analyse von Sedimenten.
vollständige Richtlinie	Verfügbarkeit einer umfassenden Richtlinie für die ökotoxikologische Bewertung von Sedimenten in Form einer Triade (Chemie, biologischer Index und Biotests), inkl. der Beschreibung der Probenahme.
Ökotoxikologische Tests	Verfügbarkeit ökotoxikologischer Sedimenttests unter Einsatz benthischer Arten.

Aus den Antworten auf diese beiden Fragen lässt sich klar das Bedürfnis und das Interesse an Qualitätskriterien für Sedimente erkennen, um natürliche Sedimente nach ihrem ökotoxikologischen Risiko (Abbildung 6) einteilen zu können. Die Kantone wünschen sich „angemessene“ Werte zum Vergleich mit den in den chemischen Analysen erhaltenen Werten. Selbst wenn es möglich ist, den Grad der Verunreinigung abzuschätzen (Überschreiten von „gewöhnlich“ gemessenen Schwellenwerten), so fehlt doch ein Hinweis zur Auswirkung auf Flora und Fauna des untersuchten Standortes (insbesondere benthisch) und folglich eine Schwelle, ab wann man von einer Belastung<sup>1</sup> ausgehen kann (Cf. Erste Bericht über das Projekt „Sediment“<sup>2</sup>).

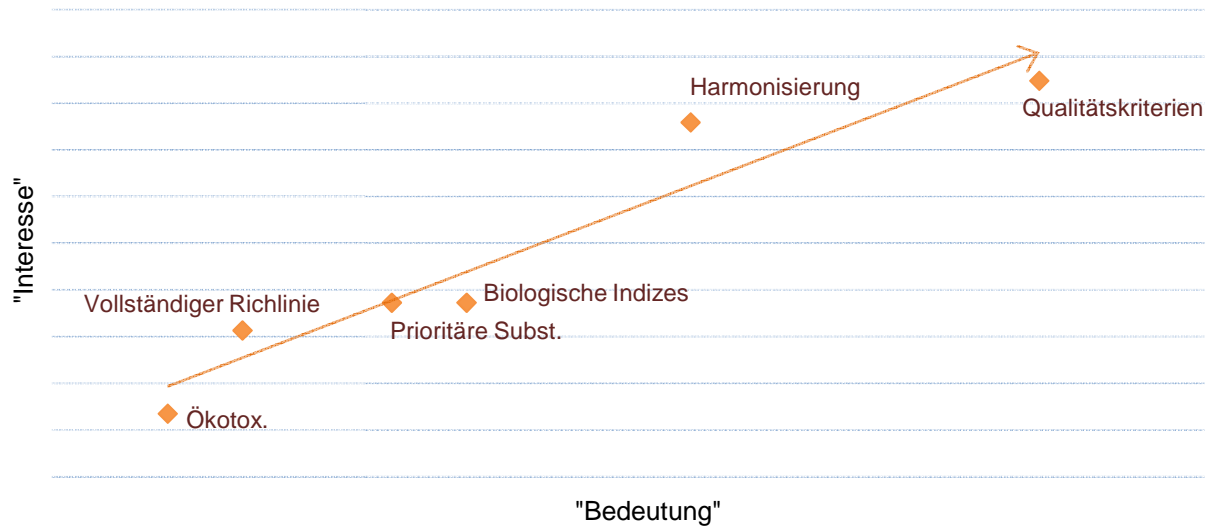
---

<sup>1</sup> Nach Chapman, 2007, spricht man von einer Verunreinigung, wenn in den Sedimenten chemische Substanzen nicht regelmässig gefunden werden oder ihre Konzentration nicht regelmässig so hoch ist, dass sie eine gesundheitsschädigende biologische Wirkung verursacht – in diesem Fall spricht man von einer Belastung.

<sup>2</sup> Use of sediment quality criteria for the assessment of sediment toxicity: Applicability to Switzerland. Draft Version. Centre Ecotox August 2010.



Abbildung 6: Darstellung der Antworten auf die Fragen sowie die entsprechende Relevanz für die Kantone und ihr Interesse.



Am zweitwichtigsten ist den Kantonen der Wunsch nach einer Harmonisierung der Strategien für die Probenahme (Sampling und Probenvorbereitung einschließlich der Nachweisgrenzen), ein Punkt, der bereits unter „Bewertung der chemischen Qualität der Sedimente“ diskutiert wurde.

Bezüglich der biologischen Indizes, der Definition von prioritären Substanzen und der Veröffentlichung von vollständigen Empfehlungen sind die Antworten der Kantone gemischt, und die Prioritäten werden im Verlauf des Projektes noch genauer festgelegt. Selbst wenn der Vorschlag, ökotoxikologische Tests durchzuführen, auf ein geringeres Interesse stößt, bzw. für weniger wichtig angesehen wird, so ist die Ökotoxikologie untrennbar mit dem Wunsch verbunden, Qualitätskriterien für Sedimente zusammenzustellen, um das ökotoxikologische Risiko der natürlichen Sedimente bewerten zu können.

### Daten über die in den Sedimenten gemessenen Konzentrationen

Es konnten mehrere Datensätze gesammelt werden. Karten über die Verunreinigung der Sedimente mit bestimmten Metallen sind in Vorbereitung.

## **Schlussfolgerungen und Aussichten**

Die Auswertung der Fragebögen ermöglichte es, die Methoden (besonders der chemischen Analyse) sowie die verwendeten Qualitätskriterien zu sammeln, die in den Kantonen verfügbar sind und eingesetzt werden, und die Bedürfnisse der Kantone zu erfassen. Das Interesse der Kantone an der Bewertung der Sedimentqualität wurde gezeigt und ihre Erwartungen sind zu berücksichtigen.

Es fehlt eindeutig ein Konsensus über den Einsatz von Qualitätskriterien für Sedimente, und die Methoden der Probenahme unterscheiden sich beträchtlich. Darüber hinaus gibt es nur wenige Kantone, die Bioindikatoren für die Untersuchung von Sedimenten einsetzen, und auch ökotoxikologische Tests sind noch sehr selten.

Folglich empfehlen wir anhand der Antworten aus den Kantonen aus der Umfrage:

- **Vereinheitlichung der Qualitätskriterien in der Schweiz**

Wir schlagen vor, den Einsatz von Kriterien für die Bewertung der Sedimentqualität in der Schweiz auf Qualitätskriterien zu vereinheitlichen, die sich auf ökotoxikologische Werte stützen, idealerweise bezogen auf benthische Organismen. Vorgeschlagen wird der Einsatz von TEC und PEC Werten (MacDonald *et al.*, 2000) oder ihre Anpassung mit Hilfe von in der Schweiz gemessenen Konzentrationswerten (zum Beispiel 10 Prozentperzentile der Werteverteilung), ergänzt durch neue Daten über die toxische Wirkung von Metallen auf benthische Organismen (Literaturrecherche und eventuell neue Biotests mit gespikten Sedimenten im Labor). So wäre es möglich, zwei Schwellenwerte vorzuschlagen: einen Schwellenwert für die Verunreinigung (Übertreten der „normalen“ Werte) und einen Schwellenwert für die Belastung (Risiko einer toxischen Wirkung auf benthische Organismen). Zunächst würden sich die Kriterien auf Substanzen beziehen, über die viele Informationen und eine ausreichend große Anzahl Daten verfügbar sind, d.h. Metalle und zwar speziell die am häufigsten untersuchten wie Cd, Pb, Ni, Hg und nicht zu vergessen Cu und Zn, die aufgrund ihrer häufigen Anwendung in der Schweiz als Schadstoffe stark verbreitet sind.

Wir schlagen des Weiteren vor, Karten über den Belastungsgrad der Sedimente in der Schweiz anzufertigen und die ausgewählten Qualitätskriterien für die Bewertung des (öko)toxischen Risikos anzuwenden, das für bestimmte Standorte bestehen könnte.

- **Harmonisierung der Sampling-Strategien**

Um vergleichbare Werte für das Gebiet der Schweiz zu erhalten, ist die Harmonisierung der Probenahmemethoden besonders wichtig. Einige Kantone arbeiten bereits zusammen und das BAFU sieht für die Untersuchungen mit PCBs harmonisierte Methoden vor. In diesem Zusammenhang könnten wir eine Arbeitsgruppe mit den Kantonen oder interessierten Personen zusammenstellen.

- **Langfristige Aussichten**

Eine erste Phase im Verlauf des Projektes „Sedimente“ des Oekotoxizentrums ist folglich die Empfehlung von Qualitätskriterien für Metalle. Als nächstes ist eine wichtige Arbeit über die Probenahmemethoden geplant. Dann werden wir eine Zusammenfassung der heute verwendeten ökotoxikologischen Tests für Sedimente vorstellen.

Der nächste Schritt ist die Erstellung eines Systems für die Einteilung der Sedimente anhand ihres ökotoxikologischen Potentials, wobei man sich zum Beispiel auf vergleichende Studien des Grads der Verunreinigung und der benthischen Invertebraten-Artengemeinschaften stützen könnte.

Schliesslich ermöglicht unsere Arbeit langfristig, eine Triade zur Bewertung der Sedimentqualität zu empfehlen, bestehend aus einem chemischen Teil - Vergleich der gemessenen Konzentrationen mit den Qualitätskriterien, einem biologischen Teil - Anwendung von biologischen Indizes, und einem ökotoxikologischen Teil – ökotoxikologische Sedimenttests.

## **Literatur:**

- ∞ Bundesamt für Umwelt, 1998. Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV). Nr. RS 814.201. Bern, Schweiz.
- ∞ Bundesamt für Umwelt, 1998. Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBo) Nr. RS 814.12. Bern, Schweiz.
- ∞ Bundesamt für Umwelt, 1998. Informationen zum Wasserschutz Nr. 19. Die Werte stammen von VBBo und VBA (Bundesumweltamt, 1990. Verordnung vom 10. Dezember zur Abfallbehandlung (VDA) Nr. RS 814.600. Bern, Schweiz.
- ∞ Bundesamt für Umwelt, 1999. Richtlinie für die Verwertung, Behandlung und Ablagerung von Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial (Aushubrichtlinie). No. VU-3003-F. Bern, Schweiz.
- ∞ Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern 2010 Schmid Peter et al. Polychlorierte Biphenyle (PCB) in Gewässern der Schweiz, Daten zur Belastung von Fischen und Gewässern mit PCB und Dioxinen, Situationsbeurteilung, Umweltwissen, Nr. 1002.BAFU, Bern, S. 104.
- ∞ Chapman, P. M., 2007. Determining when contamination is pollution - Weight of evidence determinations for sediments and effluents. *Environment International* 33(4): 492-501.
- ∞ Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR), 2007. Vergleich des Zustands des Rhein zwischen 1990 und 2004. Bericht Nr. 159 Kaiserin-Augusta-Anlagen 15, D 56068 Koblenz.
- ∞ MacDonald D., Ingersoll C. & Berger, T., 2000. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 39(1): 20-31.
- ∞ United States of America Environmental Protection Agency (USEPA, 2000). *Methods for Measuring the Toxicity and Bioaccumulation of Sediment-associated Contaminants with Freshwater Invertebrates*. Second Edition. Office of Research and Development Mid-Continent Ecology Division. Duluth, Minnesota 55804.
- ∞ von der Ohe, P. C., de Deckere, E., Prüß, A., Muñoz, I., Wolfram, G., Villagrasa, M., Ginebreda, A., Hejn, M., Brack, W., 2009. Towards an integrated risk assessment of the ecological and chemical status of European river basins. *Integrated Environmental Assessment and Management* 5 (1), 50-61.