

Ökotoxikologische Qualitätsbewertung von Sedimenten aus der Aare

Nike Maglaras

Bachelor-Thesis, Studienrichtung Umwelttechnologie

Oekotoxzentrum, Forschungsgruppe Sediment- und Bodenökotoxikologie

Expertin: Prof. Dr. Miriam Langer, FHNW

Verantwortliche: Dr. Carmen Casado-Martinez und Dr. Rébecca Beauvais, Oekotoxzentrum



Zusammenfassung

In dieser Bachelorarbeit wurde eine ökotoxikologische Beurteilung von Sedimenten aus der Aare durchgeführt.

- Dies geschah im Rahmen des Langzeitüberwachungsprogramms der Gewässerschutzämter der Kantone Aargau, Bern und Solothurn.
- Dabei wurden Sedimentproben aus der Aare mit chemischen und ökotoxikologischen Instrumenten, in Anlehnung an die kürzlich veröffentlichte "Strategie zur Bewertung der Sedimentqualität in der Schweiz" des Oekotoxzentrum, bewertet.
- Es wurden Sedimentproben an 13 Standorten entlang des unteren Abschnitts der Aare (Bielersee bis Felsnau) gesammelt und an einem Ostrakoden-Bioassays getestet, wobei der Endpunkt die Mortalität und die Wachstumsinhibition war (Abbildung 3).
- Im Jahr 2018 wurden an 9 Standorten des oberen Abschnitts vom regulierten Thunersee-Ausfluss bis Hagneck-Kanal, Sedimente gesammelt und an Ostrakoden getestet. Die Ergebnisse aus dem Jahr 2018 wurden zusätzlich in dieser Arbeit interpretiert, um eine umfassende ökotoxikologische Bewertung der gesamten Aare zu erhalten (Abbildung 6).
- Zusätzlich wurden die Konzentrationen der Metalle Pb, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni und Zn in den Sedimenten vom Gewässer und Bodenschutz Labor Bern für die beiden Kampagnen 2018 und 2022 zur Verfügung gestellt.
- Die Metallkonzentrationen wurden durch den Vergleich mit Schwellenwerten wie den Sediment-Qualitätskriterien (SQK) bewertet.
- Eine Überschreitung der Schwellenwerte zeigt an, dass ein potenzielles Risiko für benthische Organismen nicht ausgeschlossen werden kann.

Ergebnisse 2022

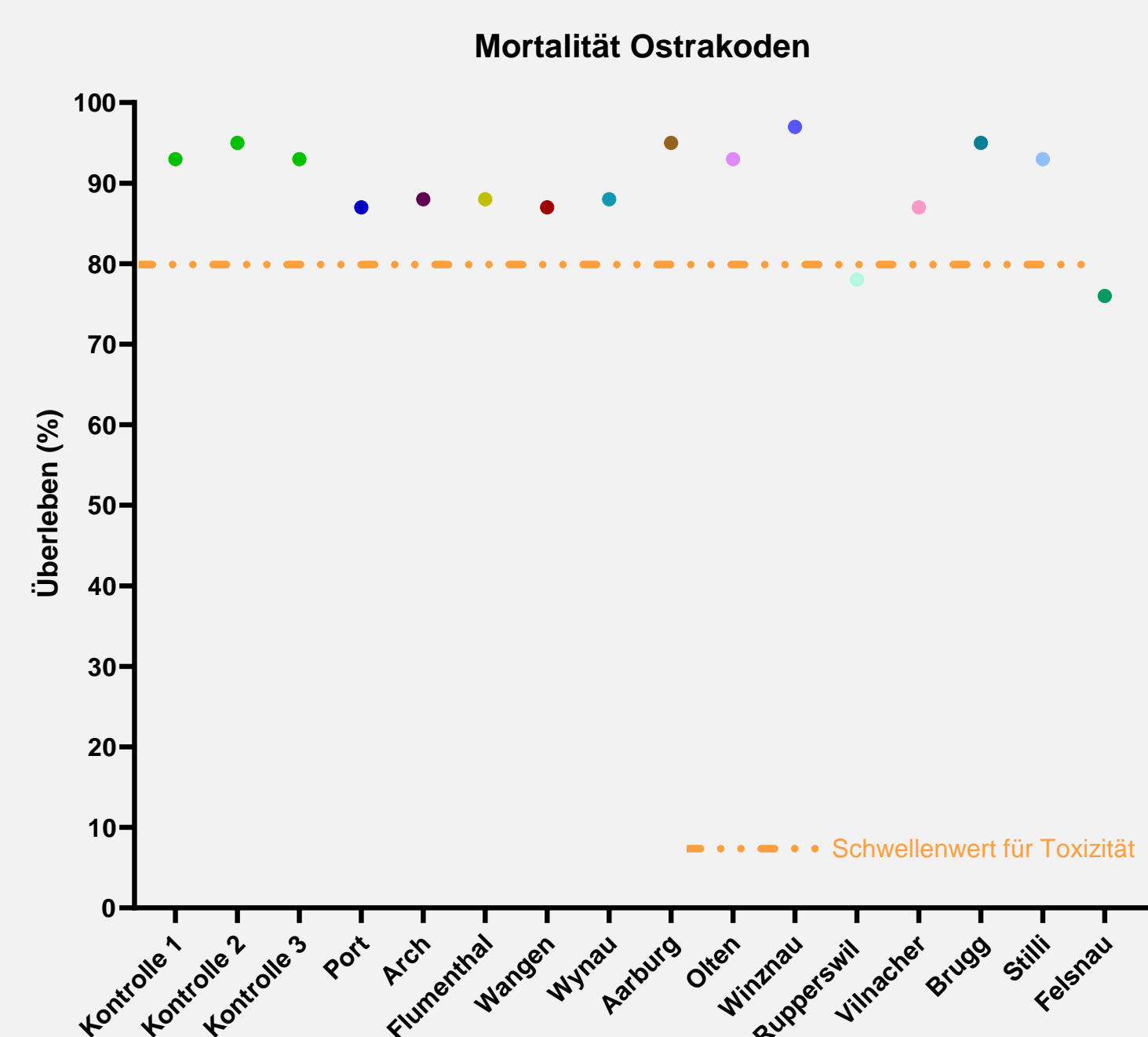


Abbildung 1: Durchschnittliche Überlebensrate von Ostrakoden aus 2022 und den Kontrollsedimenten %. Die orange Linie zeigt einen Effektquotienten EQ = 1, der 80% des Wachstums der Kontrolle entspricht (Toxizitätsschwelle von 20% der Mortalität).

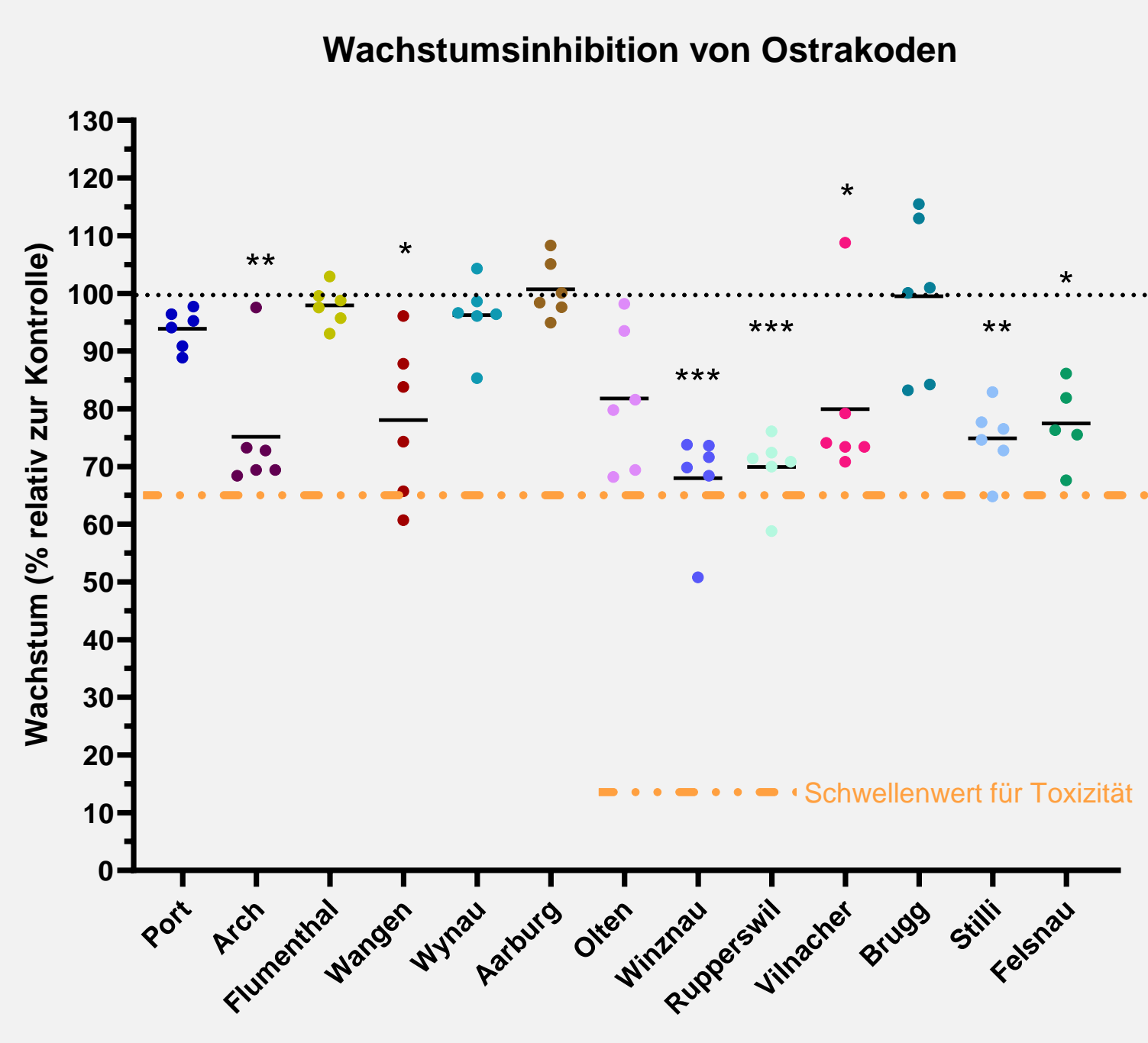


Abbildung 2: Wachstum von Ostrakoden, die den Sedimenten der Aare von 2022 ausgesetzt waren, ausgedrückt in % im Vergleich zum Wachstum der Ostrakoden im Referenzsediment (100%). Die orange Linie zeigt einen Effektquotienten EQ = 1, der 65% des Wachstums der Kontrolle entspricht (Toxizitätsschwelle von 35% der Wachstumsinhibition). * zeigt an, dass sich die Proben signifikant von der Kontrolle unterscheiden (Brown-Forsythe-Test ANOVA-Test*** p-Wert < 0,0001**p-Wert < 0,001, *p-Wert < 0,01, ns > 0,9999).

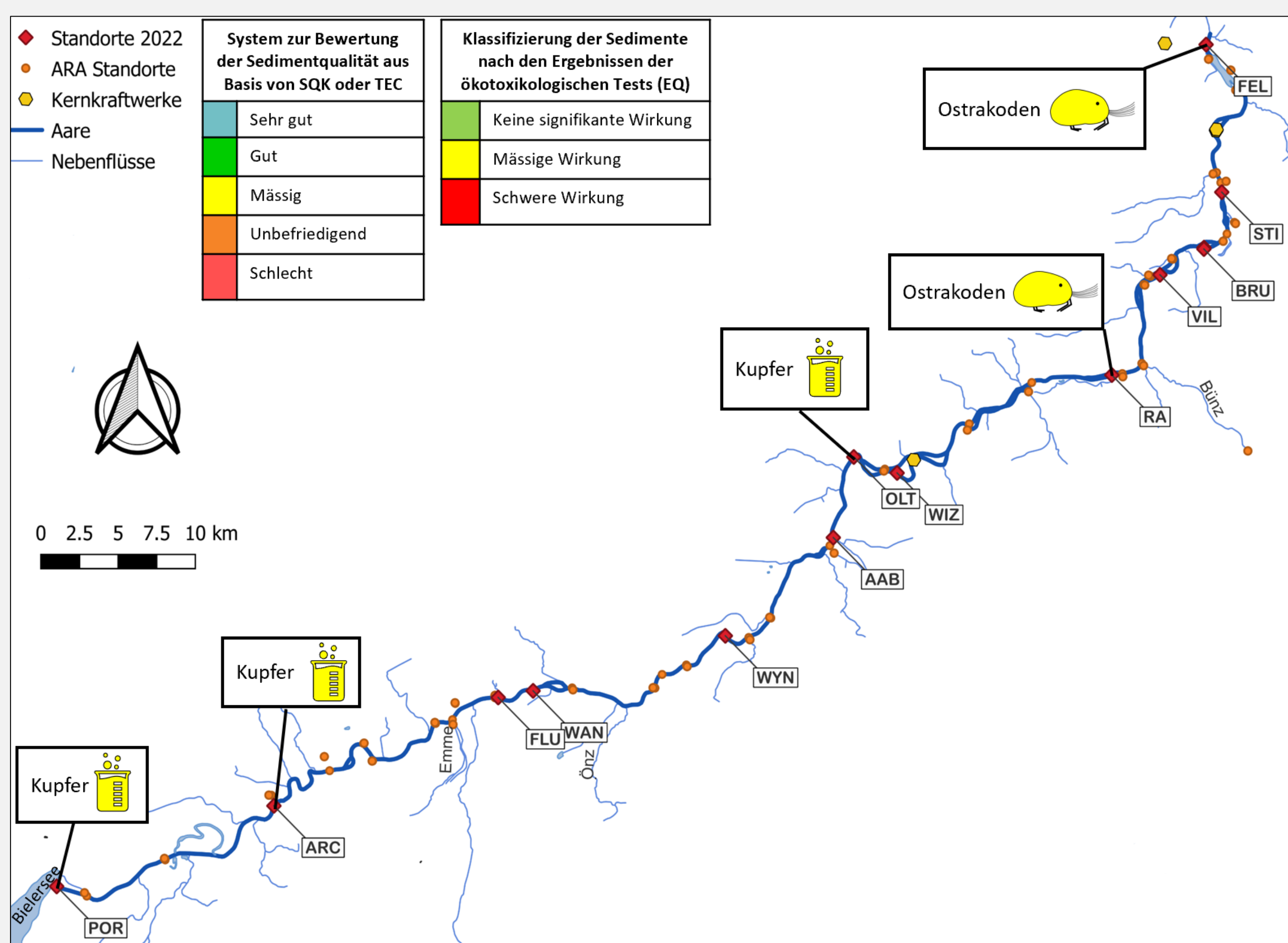


Abbildung 3: Chemische und ökotoxikologische Bewertung. Kartografische Darstellung; Bielersee bis Felsnau. Eigene Darstellung mittels QGIS.

Ergebnisse 2018

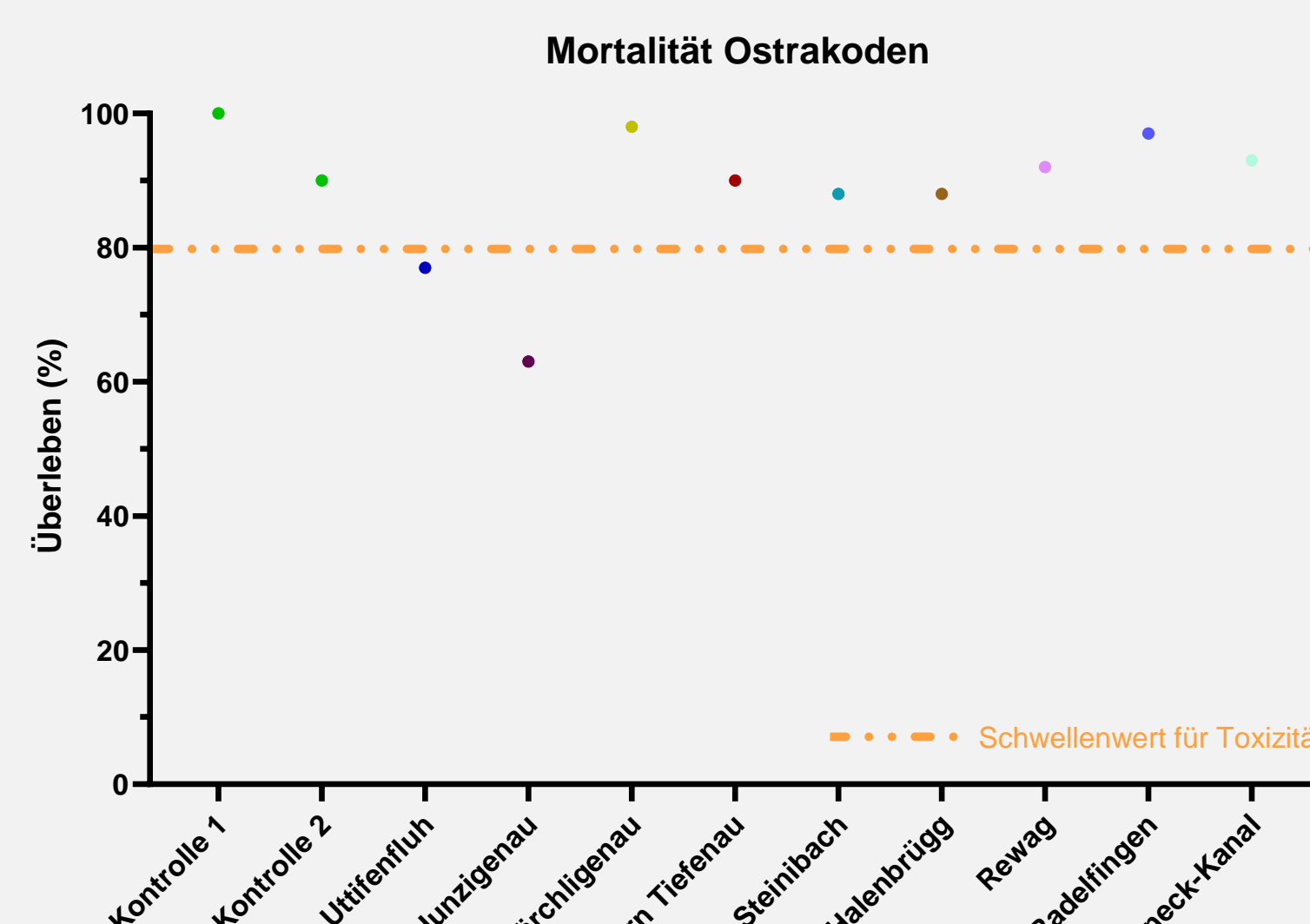


Abbildung 4: Durchschnittliche Überlebensrate von Ostrakoden aus 2018 und den Kontrollsedimenten %. Die orange Linie zeigt einen Effektquotienten EQ = 1, der 80% des Wachstums der Kontrolle entspricht (Toxizitätsschwelle von 20% der Mortalität).

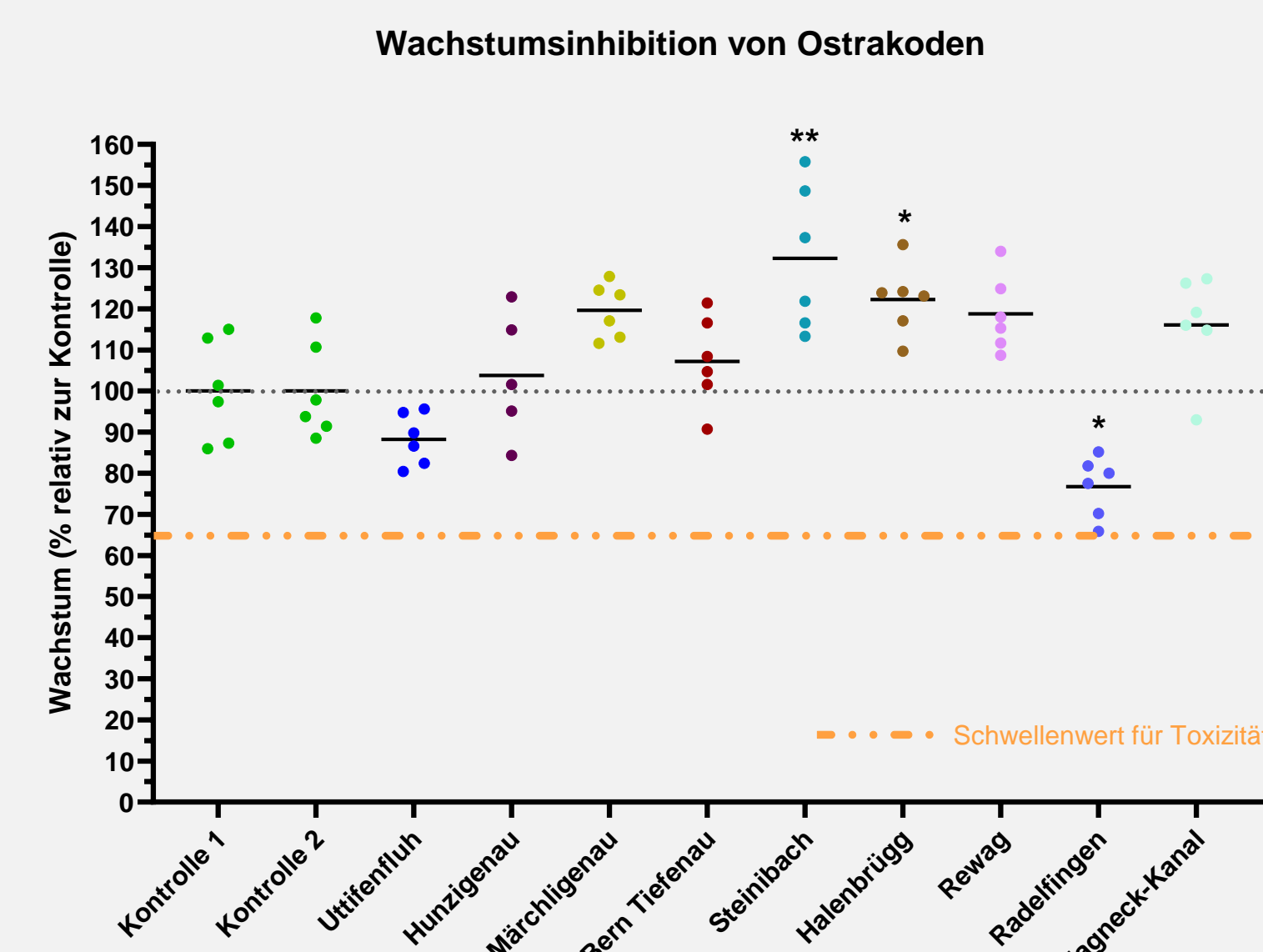


Abbildung 5: Wachstum von Ostrakoden, die den Sedimenten der Aare 2018 ausgesetzt waren, ausgedrückt in % im Vergleich zum Wachstum der Ostrakoden im Referenzsediment (100%). Die orange Linie zeigt einen Effektquotienten EQ = 1, der 65% des Wachstums der Kontrolle entspricht (Toxizitätsschwelle von 35%). Die mit * markierte Standorte unterscheiden sich nach dem Brown-Forsythe-Test ANOVA signifikant von der Kontrolle (**p-Wert < 0,01, *p-Wert < 0,05, ANOVA p-Wert < 0,001).

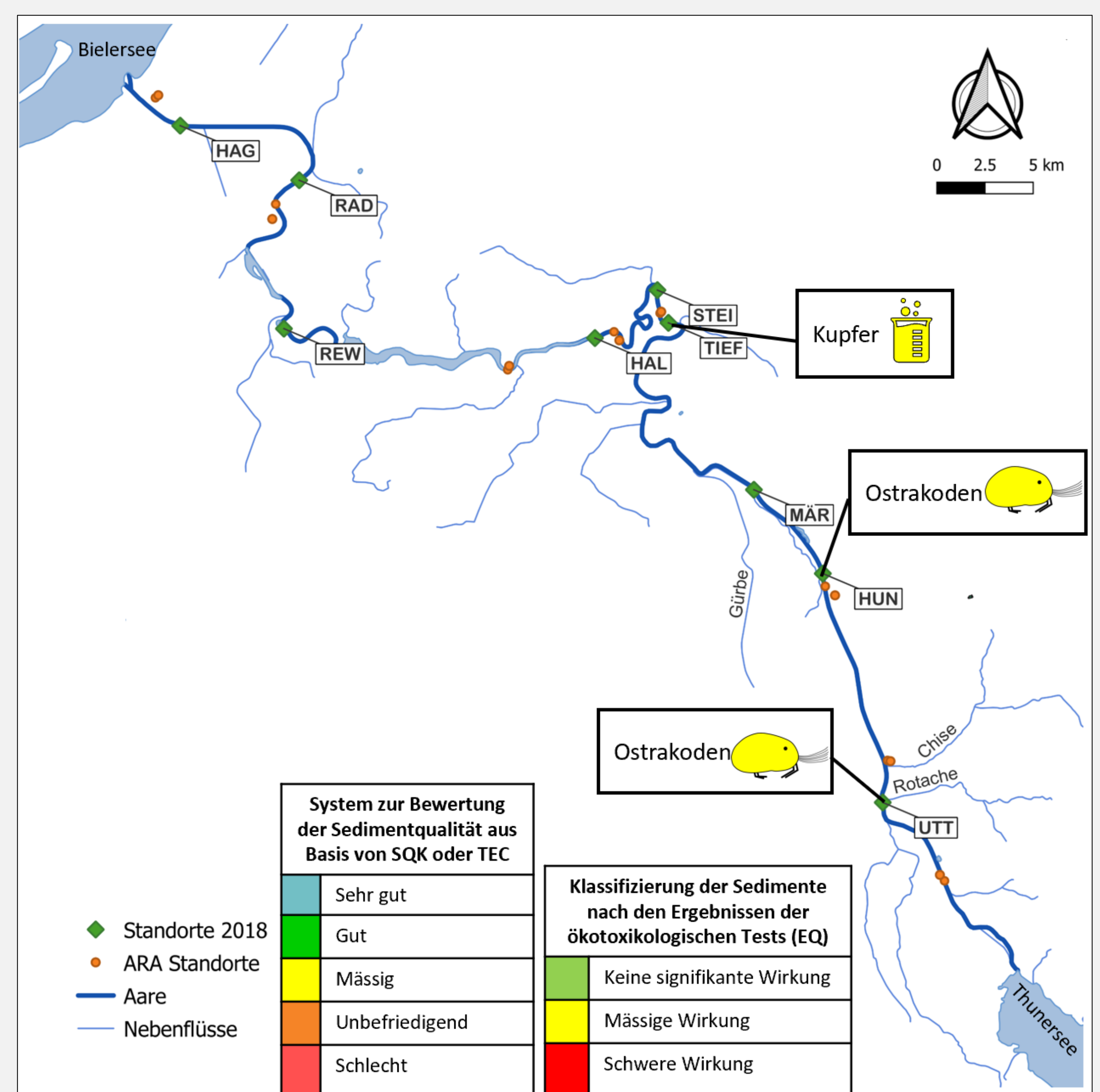


Abbildung 6: Chemische und ökotoxikologische Bewertung. Kartografische Darstellung; Thunersee-Ausfluss bis Hagneck-Kanal. Eigene Darstellung mittels QGIS.

Ergebnisse und Diskussion

- Die SQK von Kupfer wurde von den 22 untersuchten Standorten an 4 Standorten überschritten (TIEF, POR, ARC und OLT).
- Trotz des überschrittenen SQK konnten kein negativer Effekt auf die Testorganismen nachgewiesen werden.
- Die Standorte UTT, HUN, RA und FEL haben den Toxizitätsschwellenwert der Mortalität überschritten.
- Zur Erklärung dieser Überschreitungen werden genauere Analyse der Sedimente an diesen Standorten benötigt, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht durchgeführt werden konnten.
- Angesichts der vorgestellten Ergebnisse sind die Sedimente der Aare überwiegend in einem guten Zustand.
- Die Ergebnisse der ergänzenden physikalisch-chemischen Analysen der Sedimentproben der Universität Bern werden ein vollständiges Bild der chemischen Qualität der Sedimente liefern und dazu beitragen, mögliche Schadstoffe zu identifizieren, die für die in den Bioassays beobachteten toxischen Wirkungen verantwortlich sind.

Ökotoxikologische Qualitätsbewertung von Sedimenten aus der Aare

Bachelor-Thesis



Autorin: Nike Maglaras

Betreuung: Prof. Dr. Miriam Langer

Gutachterin: Dr. Carmen Casado-Martinez und Dr. Rébecca Beauvais

Institution: Oekotoxzentrum Lausanne

Ort, Datum Lausanne, 19. Juli 2022

Auftraggeber

Oekotoxzentrum
Schweizerisches Zentrum für angewandte Ökotoxikologie

Betreuerin

Prof. Dr. Miriam Langer

Gutachterinnen (Oekotoxzentrum)

Dr. Carmen Casado-Martinez
Dr. Rébecca Beauvais

Quelle der Illustration auf der Titelseite: Eigene Fotografie (März 2022)

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die von mir vorgelegte Arbeit selbstständig verfasst, die verwendeten Quellen, Internetquellen und Hilfsmittel vollständig angegeben und die Stellen der Arbeit - einschliesslich Tabellen, Karten und Abbildungen -, den anderen Werken oder dem Internet wörtlich oder sinngemäss entnommen sind, in jedem Fall als entlehnt gekennzeichnet und die Quelle angegeben habe.

30. Juli 2022, Bern

Ort, Datum



Unterschrift

Zusammenfassung

In dieser Bachelorarbeit wurde eine ökotoxikologische Beurteilung von Sedimenten aus der Aare durchgeführt. Dies geschah im Rahmen des Langzeitüberwachungsprogramms der Gewässerschutzämter der Kantone Aargau, Bern und Solothurn. Seit 2001 wird die Aare alle 10 Jahre im unteren Abschnitt (Bielersee bis Felsnau) und im oberen Abschnitt (Thunersee bis Bielersee) biologisch und chemisch untersucht. Zusätzlich zum biologischen Monitoring wurde im Rahmen dieser Bachelorarbeit, eine ökotoxikologische Bewertung der Sedimentproben aus der Aare mit chemischen und ökotoxikologischen Instrumenten in Anlehnung, an die kürzlich veröffentlichte "Strategie zur Bewertung der Sedimentqualität in der Schweiz" des Oekotoxizentrum, angestrebt.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Sedimentproben an 13 Standorten entlang des unteren Abschnitts der Aare (Bielersee bis Felsnau) gesammelt und mit dem 6-Tage-Bioassay mit Ostrakoden der Art *Heterocypris incongruens* getestet, wobei der Endpunkt dieses Bioassays die Mortalität und die Wachstumsinhibition war. Um die Analyse zu verfeinern, wurden Sedimentproben von ausgewählten Standorten mit dem 28-Tage-Toxizitätstest mit Chironomiden der Art *Chironomus riparius* weiter untersucht, wobei der Endpunkt die Emergenz der Organismen war. Die in den Bioassays gemessenen Auswirkungen wurden anhand eines Toxizitätsschwellenwerts für jeden Endpunkt bewertet.

Im Jahr 2018 wurden an 9 Standorten im oberen Aare-Abschnitt vom regulierten Thunersee-Ausfluss (mit Kraftwerk Thun) bis zum Hagneck-Kanal Sedimente beim Kanton Bern gesammelt und an Ostrakoden im Oekotoxizentrum untersucht. Die Ergebnisse der Sedimentproben aus dem Jahr 2018 wurden ebenfalls in dieser Arbeit interpretiert und für eine globale ökotoxikologische Bewertung der gesamten Aare verwendet. Zusätzlich wurden die Konzentrationen der Metalle (Pb, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni und Zn) in den Sedimenten (< 2-mm und 63-µm-Fraktion) vom Gewässer und Bodenschutz Labor Bern (GBL) für die beiden Kampagnen 2018 und 2022 zur Verfügung gestellt. Die Metallkonzentrationen wurden durch den Vergleich mit Schwellenwerten wie den Sediment-Qualitätskriterien (SQK) bewertet. Eine Überschreitung der Schwellenwerte zeigt an, dass ein potenzielles Risiko für benthische Organismen nicht ausgeschlossen werden kann.

Die Ergebnisse zeigen, dass von den 22 untersuchten Standorten der SQK für Kupfer an vier Standorten (Bern Tiefenau, Port, Arch und Olten) überschritten wurde. Zudem wurde an vier Standorten (Uttigenfluh, Hunzigenau, Ruppenswil und Felsnau) die Toxizitätsschwelle für die Mortalität der Ostrakoden überschritten. Im Emergenz Test für Chironomiden wurden keine Effekte beobachtet.

Die gemessenen Metallkonzentrationen erklären nicht die im Ostrakoden-Test beobachtete erhöhte Mortalität, so dass weitere Analysen der Sedimente notwendig sind, um die Ursachen der beobachteten Toxizität zu identifizieren. Die Ergebnisse dieser Studie und die von der Universität Bern durchgeführten Analysen von organischen Schadstoffen wie PCB (polychlorierte Biphenyle), PAK (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) oder Pestiziden werden ein umfassendes Bild der ökotoxikologischen und chemischen Qualität der Sedimente aus der Aare liefern. Sie soll auch dazu beitragen, die möglichen Ursachen für die beobachtete Toxizität zu klären.

Abstract

In this bachelor thesis, an ecotoxicological assessment of sediments from the Aare river was carried out using the framework of the long-term monitoring program of the water protection agencies of the cantons of Aargau, Bern and Solothurn. Since 2001, the Aare has been biologically and chemically analysed every 10 years in the lower section (Lake Biel to Felsnau) and in the upper section (Lake Thun to Lake Biel). In addition to the biological monitoring, the aim was to run ecotoxicological assessments of the sediment samples using chemical and ecotoxicological tools following the recently published "Strategy for assessing sediment quality in Switzerland".

In this work, sediment samples from 13 sites collected in 2022 along the lower section of the Aare (Lake Biel to Felsnau) were tested using the 6 days bioassay using ostracods of the species *Heterocypris incongruens*, with the endpoint's mortality and growth inhibition. To refine the analysis, sediment samples from selected sites were further tested using the 28 days toxicity test using chironomids of the species *Chironomus riparius*, with the endpoint being the emergence of the organisms. The effects measured in the bioassays were assessed using a toxicity threshold for each of the endpoints.

In 2018, sediments were collected from 9 sites along the upper section from the regulated Lake Thun outflow (with Thun power plant) to the Hagneck canal by the canton Bern and tested for ostracods by the Ecotox Centre. The results for the sediment samples from 2018 were also interpreted and used in this work to provide a global ecotoxicological assessment of the entire Aare river. In addition, the concentrations of the metals Pb, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, and Zn in the sediments (< 2 mm and 63 µm fraction) were provided by the Gewässer und Bodenschutz Labor Bern (GBL) for both campaigns 2018 and 2022. The metal concentrations were evaluated through comparison with threshold values such as sediment quality criteria (SQK). Exceedance of threshold values indicates that a potential risk to benthic organisms cannot be excluded.

The results show that, of the 22 sites investigated, the SQK for copper was exceeded at four sites (Bern Tiefenau, Port, Arch and Olten). In addition, the toxicity threshold for ostracod mortality was also exceeded at four sites (Uttigenfluh, Hunzigenau, Ruppertswil and Felsnau). No effects were observed in the chironomid emergence test.

The measured metal concentrations do not explain the increased mortality observed in the ostracod test, thus further analyses of the sediments are needed to identify the causes of the observed toxicity. The results of this study and the analysis of organic contaminants performed by the University of Bern such as PCBs (polychlorinated biphenyls), PAHs (polycyclic aromatic hydrocarbons) or pesticides will provide a comprehensive picture of the ecotoxicological and chemical quality of the sediments from the Aare. It should also help to clarify the possible causes of the observed toxicity.

Danksagung

Ich möchte mich bei Dr. Carmen Casado-Martinez, Dr. Rébecca Beauvais so wie Prof. Dr. Miriam Langer bedanken. Ihre grosse Unterstützung, ihre Hilfe und ihr Fachwissen haben diese Arbeit möglich gemacht und waren eine Inspiration während des Projekts und für meine Zukunft.

Mein Dank geht an das gesamte Oekotox-Team in Lausanne. Es war mir eine grosse Freude, in einem so engagierten, unterstützenden und freundlichen Team und Umfeld arbeiten zu dürfen.

Ferner möchte ich mich beim Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern bedanken, welche die rechtzeitige Analyse der Metalle überhaupt möglich machten.

Zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken. Insbesondere bei Daniel Rettenmund, Benjamin Sen, so wie meiner Schwester Alkmene Maglaras, welche mich während der gesamten Arbeit unermüdlich unterstützt haben.

Inhaltsübersicht

Verzeichnis der Abbildungen	iii
Liste der Tabellen	iv
1 Einführung	1
1.1 Bewertung der Sedimentqualität in der Schweiz	2
1.2 Koordinierte biologische Untersuchung an der Aare	3
1.3 Ziel dieses Projekt und Forschungsfrage	5
2 Materialien und Methoden	6
2.1 Verwendete Materialien	6
2.2 Kampagnen zur Probenahme	7
2.2.1 Kampagne 2018	7
2.2.2 Kampagne 2022	9
2.3 Probenahme von Sedimenten	10
2.4 Ökotoxikologische Bioassays	12
2.4.1 Toxizitätstest mit Süsswasser-Ostrakoden der Art <i>Heterocypris incongruens</i>	12
2.4.2 Erweiterter Toxizitätstest mit dem Dipteren-Insekt <i>C. riparius</i>	14
2.4.3 Daten und Statistische Analysen der Biotests	17
2.5 Physikalisch- chemische Analyse der Sedimente	18
2.5.1 Vergleich mit Qualitätskriterien	19
2.5.2 Bewertung der Sedimentqualität von Feinfraktionen	21
2.6 Kartographierung der Aare	21
3 Ergebnisse	22
3.1 Kampagne 2018	22
3.1.1 Überlebens- und Wachstumstest mit dem Ostrakoden <i>H. incongruens</i> gemäss ISO 14371	22
3.1.2 Korngrößenverteilung und TOC-Gehalt	23
3.1.3 Metallanalyse Gesamtsediment 2018	24
3.1.4 Metallanalyse Feinfraktion 2018	26
3.2 Kampagne 2022	28
3.2.1 Überlebens- und Wachstumstest mit dem Ostrakoden <i>H. incongruens</i> gemäß ISO 14371	28
3.2.2 Ergebnisse des chronischer Toxizitätstes mit <i>C. riparius</i>	29
3.2.3 Metallanalyse Gesamtfraktion 2022	31
3.2.4 Metallanalyse Feinfraktion 2022	33
3.3 Fazit der Sedimentanalyse und kartografische Darstellung der Aare	35
4 Diskussion	38
4.1 Gesamtbewertung der Ökotoxikologie der Sedimente der Aare	38
4.2 Bewertung der Sedimentqualität der 63-µm-Fraktion	40
4.3 Räumliche Analyse der Metallkontaminationen in der Aare	43

4.4	Schwachstellen der Studie und weitere Perspektiven	45
5	Schlussfolgerung und Antworten auf Forschungsfragen	47
6	Literaturverzeichnis	48
A	Anhang: Rohdaten Bioassay Ostrakoden	50
A.1	Rohdaten Wachstumsinhibition <i>H. incongruens</i> 2018	50
A.2	Rohdaten Mortalität <i>H. incongruens</i> 2018	51
A.3	Rohdaten Wachstumsinhibition <i>H. incongruens</i> 2022	52
A.4	Rohdaten Mortalität <i>H. incongruens</i> 2022	54
B	Anhang: Rohdaten Bioassays Chironomiden	55
B.1	Rohdaten <i>C. riparius</i> Emergenz 2022	55
B.2	Rohdaten <i>C. riparius</i> Wasserwerte 2022	56
B.3	Kumulative Emergenz von <i>C. riparius</i> nach Standort	57
C	Anhang: Korrelation	58
C.1	Korrelation Korngrößenverteilung 63- μm [%] mit Metallkonzentration 2018	58
C.2	Korrelation Metallkonzentration und Mortalität von Ostrakoden und 2018	59
C.3	Korrelation Metallkonzentration und Mortalität von Ostrakoden und 2022	60
D	Korrelation Σ RQ und EQ-Mortalität an Ostrakoden	61
D.1	Berechnete Σ RQ und EQ aus dem oberen Abschnitt der Aare 2018	61
D.2	Berechnete Σ RQ und EQ aus dem unteren Abschnitt der Aare 2022	61
E	Erweiterung der Analyse der Universität Bern auf organische Rückstände	62
F	Feldprotokolle unterer Abschnitt der Aare 2022	63

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Kontaminationsdynamik in den Sedimenten und in der Nahrungskette	2
Abbildung 2: Teststandorte 2018	7
Abbildung 3: Teststandorte 2022	9
Abbildung 4: Sedimententnahme im Feld	11
Abbildung 5: Sedimententnahme und Aufbereitung im Feld im März 2022	12
Abbildung 6: Homogenisierung der Sedimente	13
Abbildung 7: 4 g Sediment pro Vertiefung	13
Abbildung 8: Zugabe des standardisierten Wassers	13
Abbildung 9: Referenzsediment aus Ostracodtoxkit™ F	14
Abbildung 10: Längsmessung der Ostrakoden	14
Abbildung 11: Eiermasse von <i>C. riparius</i> welche sich zu Larven entwickeln	15
Abbildung 12: Homogenisierung und Abwägung der Sedimente	16
Abbildung 13: <i>C. riparius</i> . Links Larve, rechts Nymphe.	16
Abbildung 14: <i>C. riparius</i> , links erwachsenes Weibchen, Rechts erwachsenes Männchen	17
Abbildung 15: Durchschnittliche Überlebensrate von <i>H. incongruens</i> aus den Testgebieten 2018	22
Abbildung 16: Wachstum von <i>H. incongruens</i> , die den Sedimenten der Aare (Uttigenflut bis Hagneck-Kanal) ausgesetzt waren	23
Abbildung 17: Verteilung der in Sedimenten gemessenen Metallkonzentrationen aus der 2-mm-Sedimentfraktion von 2018	25
Abbildung 18: Verteilung der in Sedimenten gemessenen Metallkonzentrationen aus der 63- μ m-Sedimentfraktion von 2018	27
Abbildung 19: durchschnittliche Überlebensrate von <i>H. incongruens</i> aus den 2022 Testgebieten	28
Abbildung 20: Wachstum von <i>H. incongruens</i> , die den Sedimenten der Aare (Port bis Felsnau) ausgesetzt waren	29
Abbildung 21: Mittlere kumulative Anzahl der Emergenz <i>C. riparius</i> verschiedene Standorte von 2022	30
Abbildung 22: Emergenz von <i>C. riparius</i> , die den Sedimenten von 2022 der Aare ausgesetzt waren	30
Abbildung 23: Verteilung der in Sedimenten gemessenen Metallkonzentrationen aus der 2-mm-Sedimentfraktion von 2022	32
Abbildung 24: Verteilung der in Sedimenten gemessenen Metallkonzentrationen aus der 63- μ m-Sedimentfraktion von 2022	34
Abbildung 25: Chemische und ökotoxikologische Bewertung der Aare. Kartografische Darstellung ab Thunersee-Abfluss bis Bielersee	35
Abbildung 26: Chemische und ökotoxikologische Bewertung der Aare. Kartografische Darstellung ab Bielersee bis Felsnau	36
Abbildung 27: Austritt aus dem Thunersee mit Fliessrichtung Bern	43
Abbildung 28: Siedlungsgebiete in Umgebung der Aare	44
Abbildung 29: Scheurenmoos, ARA Orpund und Häni + Co sind dargestellt	45

Liste der Tabellen

Tabelle 1. Liste der verwendeten Testorganismen inkl. Hersteller	6
Tabelle 2. Liste der verwendeten Chemikalien inkl. Hersteller	6
Tabelle 3. Liste der verwendeten Programme inkl. Hersteller	6
Tabelle 4. Lage und Beschreibung der Probenahmestellen in der Aare zwischen Thunersee und Bielersee	8
Tabelle 5: Lage und Beschreibung der Probenahmestellen in der Aare zwischen Bielersee und Rhein	10
Tabelle 6: Zeitliche Aufteilung der Süsswassertoxizitätstests mit Ostrakoden für die Standorte 2022	13
Tabelle 7: Zeitliche Aufteilung des erweiterten Süsswasser-Toxizitätstests mit <i>C. riparius</i>	15
Tabelle 8. Toxizitätsschwellenwerte für <i>H. incongruens</i> und <i>C. riparius</i>	18
Tabelle 9. Klassifizierung der Sedimente nach den Ergebnissen der ökotoxikologischen Tests (Effektquotient)	18
Tabelle 10. System zur Bewertung der Sedimentqualität auf Basis von SQK (RQ = Risikoquotient)	20
Tabelle 11: Vorgeschlagene Schwellenwertkonzentrationen für die sieben wichtigsten Metalle	20
Tabelle 12: LAWA-Werte (LAWA, 1998)	21
Tabelle 13: Korngrößenverteilung und TOC-Gehalt der Gesamtfraktion [%] der Standorte 2018	24
Tabelle 14: Gemessene Konzentrationen für Metalle (mg/kg Trockengewicht) in den Sedimenten der Aare	37
Tabelle 15: Zusammenfassung der Qualitätsbewertung der Sedimente der Aare	40
Tabelle 16: Trendanalyse der 63-µm-Fraktion des Oberlaufs der Aare von 2008 (Rehberger, 2022) und 2018	42
Tabelle 17: Trendanalyse der 63-µm-Fraktion des Unterlaufs der Aare von 2012 (Rehberger, 2022) und 2022	43

1 Einführung

Sedimente sind mineralische und/oder organische Lockermaterialien, welche durch Erosion und Verwitterung zerkleinert werden und sich durch Diagenese in ariden oder limnischen Gebieten ablagern. Je nach Ursprungs- und Ablagerungsort setzen sich Sedimente unterschiedlich zusammen und können dadurch Auskunft über ihren Ursprungsort, aber auch ihren Transportweg geben (Hürlimann and Egli-Broz, 2012). Einer der Vorteile von Sedimenten bei der Bewertung des Umweltzustands ist, dass Umwelt-ereignisse getreu aufgezeichnet werden und eine zeitliche Dimension integrieren. Dies wiederum lässt Rückschlüsse auf räumliche und zeitliche Informationen zu. So fungieren Sedimente einerseits als Senke und können andererseits nach der Sedimentation durch veränderte Umweltbedingungen wie Druck, Temperatur oder Resuspensionsereignisse als Quelle fungieren (Yu et al., 2001). Für das aquatische Ökosystem, seine Wasserorganismen und seine Benthos hat die Sedimentqualität daher einen grossen Einfluss, und ihre Überwachung ist bedeutend, um ein vollständiges Bild von der Qualität des aquatischen Ökosystem zu erhalten (Birch, 2006).

Sedimente können Schadstoffe akkumulieren, die über verschiedene Quellen in das aquatische System gelangen, aber nicht alle Schadstoffe sind auf anthropogenen Ursprung zurückzuführen. Metalle beispielsweise sind von Natur aus in der Erdkruste vorhanden und können sich aufgrund geochemischer oder biochemischer Aktivitäten in Sedimenten in immer höheren Konzentrationen anreichern und durch Veränderungen der physikalisch-chemischen Eigenschaften z.B. veränderte pH-Werte, remobilisiert werden. Die wichtigsten Quellen sind jedoch anthropogener Natur und lassen sich auf Industrie, Müllverbrennungsanlagen, Landwirtschaft und Abwasserreinigungsanlagen (ARA) zurückführen (Schwedt, 1996).

Darüber hinaus können sich in den Sedimenten auch organische Chemikalien anthropogenen Ursprungs anreichern. Bei hydrophoben organischen Stoffen hängt die Anreicherung in den Sedimenten meist von der Hydrophobie eines Stoffes ab, die durch den jeweiligen $\log K_{oc}$ oder K_{ow} dargestellt wird. In erster Näherung gilt, dass Stoffe mit einem $\log K_{oc}$ oder $\log K_{ow} > 3$ wahrscheinlich an Sedimenten sorbieren. Stoffe mit einem $\log K_{oc}$ oder $\log K_{ow} < 3$ sind eher in der Wassermatrix zu finden (Dulio et al., 2010). Für andere Arten von Stoffen, die sich nicht wie hydrophobische organische Stoffe verhalten, gibt es weitere Einflüsse, die sich auf den Standort der Schadstoffe auswirken, wie z. B. die Ladung der Moleküle (Schwedt, 1996).

Wasserorganismen sind sowohl sedimentgebundenen Schadstoffen als auch in der Wassermatrix gelösten Substanzen ausgesetzt (Dulio et al., 2010). So können sich sowohl sedimentgebundene Schadstoffe als auch Schadstoffe in gelöster Form durch Biomagnifikation, Bioakkumulation oder direkten Kontakt in Organismen anreichern und diese negativ beeinflussen. Auch wenn einige Stoffe persistent sind und nicht biologisch abgebaut werden können, können sie durch biochemische Prozesse in eine veränderte Form umgewandelt werden, die ihre Bioverfügbarkeit verändern oder verbessern (Schwedt, 1996). Die Abbildung 1 stellt die Kontaminationsdynamik in den Sedimenten und in der Nahrungskette dar.

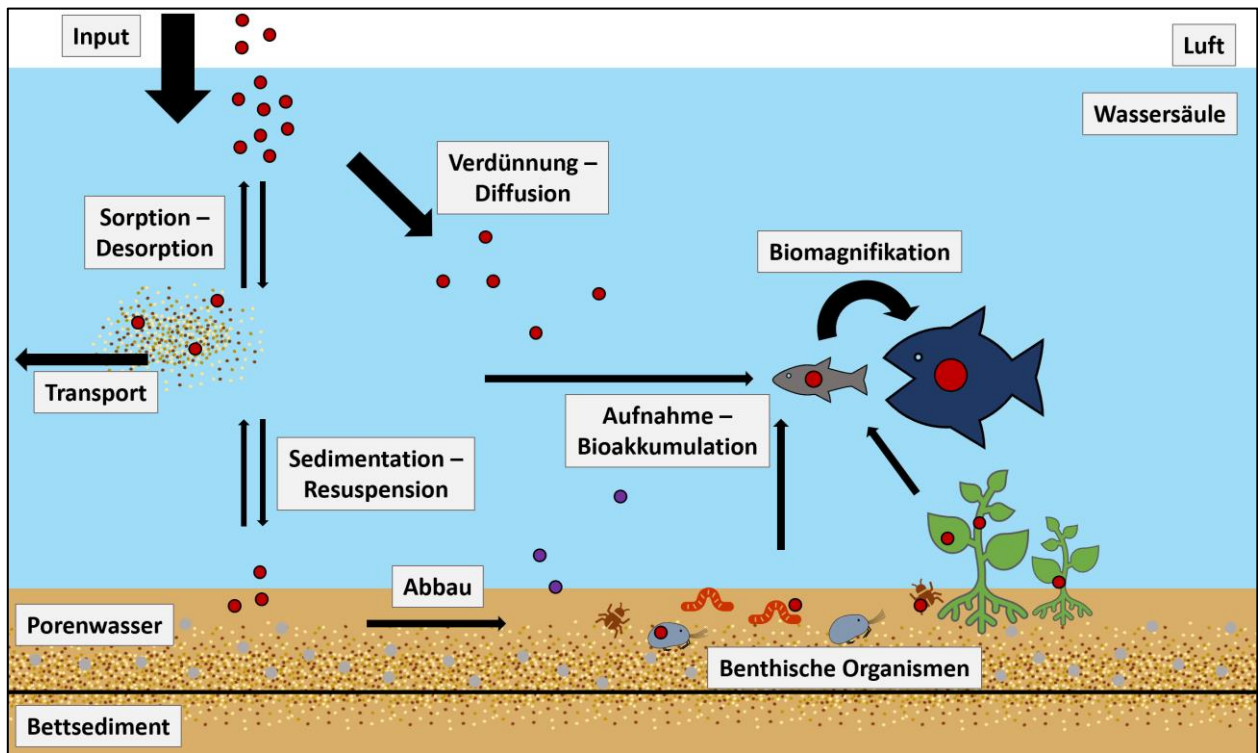


Abbildung 1: Kontaminationsdynamik in den Sedimenten, der Nahrungskette des aquatischen Ökosystems und Wasserorganismen und Benthos. Illustration adaptiert an (Casado et al., 2021).

1.1 Bewertung der Sedimentqualität in der Schweiz

In der Schweiz gehören Sedimente aus rechtlicher Sicht zu den Oberflächengewässern. Gemäss der Gewässerschutzverordnung (GSchV SR 814.201) soll die Wasserqualität der Oberflächengewässer so beschaffen sein, dass sich Stoffe, welche durch anthropogenen Einfluss die Gewässer belasten, nicht in Pflanzen, Organismen oder Sedimenten anreichern. Zudem sollen sie sich nicht negativ auf die Lebensgemeinschaften der aquatischen Organismen auswirken oder die Fortpflanzungs- und Stoffwechselfvorgänge der Organismen beeinträchtigen (Der Schweizerische Bundesrat, 2011).

Seit 2011 betreibt die Nationale Oberflächengewässerüberwachung (NAWA) ein gemeinsames Monitoringprogramm mit dem Bund und den Kantonen zur integralen Untersuchung des Gewässerzustands. Die zwischen 2011 und 2014 durchgeführten Untersuchungen ergaben laut NAWA ein differenziertes Bild der Schweizer Fließgewässer. Positiv zu vermerken ist, dass die Belastung durch gelöste und partikelgebundene Metalle seit den 1980er-Jahren tendenziell abgenommen hat, unter anderem dank verbesserter ARA Leistungen. Dennoch sind die Sedimente der Schweizer Fließgewässer nach wie vor mit Spurenmetallen durch anthropogenen Einfluss belastet. Deshalb sind weitere Massnahmen gefordert, um dem entgegen zu wirken (Kunz et al., 2016).

Eine Situationsanalyse des Schweizerischen Zentrums für angewandte Ökotoxikologie zur Umsetzung von Aktivitäten zur Bewertung der Sedimentqualität in der Schweiz ergab, dass die Überwachungsprogramme nicht landesweit einheitlich durchgeführt werden und dass es bis 2021 keine harmonisierten Empfehlungen oder Qualitätsstandards für die In-situ-Bewertung von Sedimenten gab (Casado-Martinez et al., 2016b). Dies führt zu einer Heterogenität bei der Untersuchung von Sedimentfraktionen sowie bei der Spurenmetallanalyse von Sedimenten. Aus diesem Grund hat das Ökotoxizentrum im Laufe der Jahre eine Strategie zur Beurteilung der Sedimentqualität in der Schweiz erarbeitet, mit dem Ziel, die Probenahme und die Qualitätsbeurteilung zu harmonisieren (Casado et al., 2021).

Die vorgeschlagene Strategie enthält Empfehlungen für die Vorbereitung von Sedimentbeprobungskampagnen, z. B. für die Auswahl von Probenahmestellen, die Wiederholung, die Qualitätssicherung und Qualitätskontrollmassnahmen und noch einige mehr. Darüber hinaus enthält die Strategie Empfehlungen für die Auswahl der Sedimentfraktion, die chemisch analysiert werden soll. Diese Empfehlungen sind abhängig von den Zielen der Studie und den Sedimenteigenschaften an den Untersuchungsstandorten. Für die ökotoxikologische Bewertung wird eine Sedimentfraktion von <2-mm (Gesamtfraktion) mit einem Feinanteil (<63- μ m) von mindestens 20% empfohlen (Casado et al., 2021). Dient die Sedimentüberwachung jedoch einer Trendanalyse, was in den meisten Monitoringprogrammen in der Schweiz der Fall ist (Kunz et al., 2016), so wird eine Fraktionsgrösse von <63- μ m (Feinfraktion) als Matrix empfohlen (Casado et al., 2021). Sedimente bestehen in der Regel aus einer Mischung aus Ton (<2- μ m Durchmesser), Schluff (2 bis 60- μ m Durchmesser) und/oder Sand (60 bis 2000- μ m Durchmesser). Die Grösse der Sedimentpartikel hat einen Einfluss auf den Metallgehalt, da sich Metalle hauptsächlich an der Oberfläche der Partikel binden. Je kleiner die Korngrösse des Partikels, desto grösser ist die gesamte Oberfläche der Partikel und desto grösser ist die Anzahl der Metallbindungsstellen. Haben die Sedimente einen zu hohen Sandanteil in der Gesamtfraction führt dies zu einer Verdünnung der Metallkonzentration. Solche Sedimente können sowohl die Ergebnisse der Metallanalyse als auch der ökotoxikologischen Untersuchung beeinträchtigen (Luoma, 2008).

Während die Kantone nur die häufigsten Spurenmetalle und einige zusätzliche hydrophobe organische Substanzen wie PAK (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) und PCB (polychlorierte Biphenyle) überwachen, enthält die vorgeschlagene Strategie eine Liste von 20 Substanzen, die für die Bewertung und Analyse von Sedimenten in der Schweiz vorgeschlagen werden. Die Liste umfasst vier Metalle (Kupfer, Zink, Blei, Quecksilber), die Gruppen PCB und PAK sowie weitere Stoffe, die traditionell nicht in Sedimenten überwacht werden, aber potenziell bedenklich sind, wie einige Pestizide und Arzneimittel. Bei der Auswahl der Stoffliste wurden Faktoren wie Hauptverschmutzungsquellen in der Schweiz, Vorkommen in ökotoxikologisch relevanten Konzentrationen, Potenzial zur Bioakkumulation und/oder Biomagnifikation berücksichtigt. Aus wirtschaftlicher und technischer Sicht ist es nicht möglich, alle Schadstoffe in den Sedimenten zu überwachen. Deshalb enthält die Liste Stoffe, die für die Risikobewertung auf nationaler Ebene von erhöhter Bedeutung sind. Datenerfassungskampagnen basierend auf der neuen Strategie werden dringend empfohlen (Casado et al., 2021).

Bei der Bewertung der Sedimentqualität wird ein mehrstufiger Ansatz vorgeschlagen, wobei die 1. Stufe in der chemischen Analyse der Stoffe besteht. Überschreitet der gemessene Wert die Sediment-Qualitätskriterien (SQK), können schädliche Wirkungen auf Benthos nicht ausgeschlossen werden, und es wird empfohlen weitere Verfeinerungen (2. Stufe) mit weiteren Instrumenten wie Bioassays, in-situ-Strukturen benthischer Gemeinschaften anzuwenden. Wenn die Konzentrationen im Bereich <63- μ m gemessen werden, sind die SQK nicht relevant, da sie unter Verwendung von Wirkungsdaten für die <2-mm-Fraktion abgeleitet wurden, und es gibt noch keine Einigung darüber, wie diese SQK für die Feinfraktion zu verwenden sind. Die Bewertung wird daher mit alternativen Werten durchgeführt. In Übereinstimmung mit der derzeitigen Praxis können die definierten LAWA-Zielwerte (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) verwendet werden (Casado et al., 2021).

1.2 Koordinierte biologische Untersuchung an der Aare

Die Aare ist mit 288 km der längste ganzheitliche Fluss der Schweiz. Sie entspringt im Unteraargletscher im Grimselgebiet im östlichen Berner Oberland und durchquert nacheinander die Kantone Bern, Solothurn, Aargau und mündet in den Rhein. Ihr Einzugsgebiet, welches von den Zentralalpen bis zum Jura reicht, entwässert ca. 43% der Schweizer Landesfläche (Wälti, 2019; Wohlfarth et al., 1993). Vom Unteraargletscher durchfließt sie den Brienersee, Thunersee und Bielersee. In ihrem Verlauf zwischen Thuner- und Bielersee welcher ca. 78 km umfasst, wurde die Aare in den letzten Jahrzehnten stark vom Menschen

verändert. Zum einen wurde sie aus Hochwasserschutzgründen korrigiert oder zur Energiegewinnung aufgestaut. Vom regulierten Thunersee-Abfluss (mit Kraftwerk Thun) bis zum Bielersee sind ca. 1/3 des Flusses staubeeinflusst und 1/5 sind Restwasserstrecken. Zudem wurden viele Abschnitte begradigt oder weitgehend bebaut. Auf dieser Strecke nimmt sie auch verschiedene Seitengewässer auf und es befinden sich ARAs an den Ufern, welche Abwasser einleiten. Trotz starker Eingriffe in die Flussdynamik der Aare ist etwa die Hälfte dieser Strecke ein freifliessender Abschnitt mit einer natürlichen Wasserführung (Mürle et al., 2009).

Die untere Aare, welche von Bielersee bis Rhein reicht, weist nur noch an drei Abschnitte mit einer Länge von ca. 15 km einen natürlichen Verlauf auf (Ortlepp, 2003). Der Rest des Abschnittes zeigt in ihrem heutigen Lauf keine natürlichen oder vom Menschen unbeeinflusste Abschnitte mehr. Die Ufer sind naturfremd und auf beiden Seiten stark beeinträchtigt. Sei es, durch die teilweise bis ans Wasser grenzende Landwirtschaft oder durch Siedlungsgebiete bebaute Zonen. Diese Art von Nutzung an den Ufern lässt keine natürliche Flussdynamik mehr zu, da die Ufer entweder verbaut sind, zurückversetzt wurden oder durch Dämme gesichert sind (Rey et al., 2013). Auch hier gibt es Wasserkraftwerke und Seitenflüsse, sowie diverse ARAs, die sich entweder direkt an der Aare, oder an den Seitenflüssen befinden. Zusätzlich befinden sich drei Kernkraftwerke (KKW) Gösgen, Beznau und Leibstadt an den Ufern der Aare, welche Wasser aus der Aare und/oder dem Rhein zu Kühlzwecken verwenden (Klemm et al., 2021).

Seit 2001/2002 finden an der gesamten Aare regelmässige kantonale Überwachungsprogramme zur Biologie statt. Im Rahmen dieses Monitoringprogramms werden koordinierte biologische Untersuchungen durchgeführt, um die biologische Besiedlung zu beobachten und die Veränderungen der Aare im Laufe der Zeit zu dokumentieren. Es handelt sich um ein langfristiges Monitoringprogramm in Zusammenarbeit der Gewässerschutzämter der Kantone Bern, Solothurn und Aargau. Hierbei wurde der untere Bereich der Aare untersucht, welcher vom Bielersee bis zur Rheinmündung reicht. Die Messstandorte wurden 2001/2002 festgelegt (Rey et al., 2013). Sie befinden sich in den Kantonen Bern (Port, Arch, Wangen und Wynau), Solothurn (Aarburg, Olten und Wiznau) und Aargau (Vilnacher Schachen, Brugg, Stili, Felsenau). Dieselben Untersuchungen wurden 2012 das zweite Mal durchgeführt. Die Untersuchungsstellen sind über die Jahre gleichgeblieben und werden alle 10 Jahre erneut beprobt. Bei der in dieser Studie, im März 2022, beprobten Stellen, handelt es sich um die gleichen Hauptkontrollstellen wie 2012. Jedoch wurden zwei Standorte aus dem Kanton Solothurn (Flumenthal) und Kanton Aargau (Ruperswil) hinzugefügt.

Ergänzend dazu wurde 2008 der Oberlauf der Aare von Thunersee bis Bielersee untersucht. Dabei wurden die folgenden 9 Probenahmestellen aus dem Kanton Bern definiert: Uttigen, Hunzigenau, Märchligenau, Bern Tiefenau, Steinibach, Halenbrügg, Rewag, Radelfingen und Hagneck Kanal (Mürle et al., 2009). Die Untersuchungen wurden im Jahr 2018 wiederholt. Die Hauptkontrollstellen aus 2008 sind dieselben wie im Jahr 2018 (Hesselschwerdt, 2018).

Zusätzlich zu den biologischen Untersuchungen wurden 2018 am oberen Aare-Abschnitt und 2022 am unteren Aare-Abschnitt Sedimentproben entnommen, welche für die ökotoxikologische und chemische Analyse verwendet wurden (Hesselschwerdt, 2018). Das Gewässer- und Bodenschutzlabor (GBL) in Bern führte eine chemische Analyse der Sedimente durch. Das GBL analysierte die Sedimente auf Metalle wobei Nickel, Blei, Chrom, Cadmium, Kupfer, Quecksilber und Zink im Fokus lagen. Die Ergebnisse des GBL wurden in diese Studie einbezogen. Die Universität Bern führt 2022 eine chemische Analyse der Sedimente durch, um organische Rückstände wie Pestizide zu analysieren. Zudem wird der TOC-Gehalt (Gesamtgehalt an organischem Kohlenstoff/Total Organic Carbon) und die Fraktionsgrösse der Sedimente durch die Universität Bern bestimmt. Aufgrund der zeitlichen Verfügbarkeit der Analyse konnten diese Daten nicht in diese Arbeit aufgenommen werden.

Die vorliegende Studie ist Teil dieser langfristigen Überwachung aus dem Jahr 2022. Sie befasst sich jedoch ausschliesslich mit der ökotoxikologischen Bewertung der Sedimente und der darin enthaltenen Metallkonzentrationen. Zudem werden die Ergebnisse der ökotoxikologischen Untersuchungen und die

der Metalle aus dem Jahr 2018 präsentiert, um ein globales Bild der Sedimentqualität der gesamten Aare darzustellen.

1.3 Ziel dieses Projekt und Forschungsfrage

In dieser Studie wurden zwei Toxizitätstests mit benthischen Organismen mit unterschiedlichen Ernährungs- und Lebensweisen durchgeführt um das ökotoxikologische Potential von Sedimenten zu Testen. Die relevante Matrix für diese Biotests sind Sedimente mit einer Fraktionsgrösse von 2-mm, welche frisch gesammelt wurden. Diese Matrix entspricht somit den im Feld vorhandenen Fraktionsgrössen am besten. Es gibt bis heute keine Empfehlungen für den am besten geeigneten Toxizitätstest für eine bestimmte Art von Belastung. Aus diesem Grund wurde eine Batterie von mehreren Biotests mit unterschiedlichen Testorganismen durchgeführt, welche verschiedene Empfindlichkeiten gegenüber Chemikalien und Umweltproben aufweisen und über diverse Expositionswege und -dauern verfügen. Somit können verschiedene Effekte und Expositionsverläufe auf benthische Organismen abgedeckt werden (Casado et al., 2021).

Zu Beginn wurde ein Süswasser Toxizitätstest mit Ostrakoden (Krebstiere) der Art *Heterocypris incongruens* durchgeführt. Dieser Test eignet sich optimal, um die Toxizität der Sedimente zu bestimmen, da Ostrakoden wichtige Mitglieder der Mesofauna sind, und kosmopolitisch in Süswassersedimenten vertreten sind. Zudem wird bei diesem Test die gesamte Toxizität der Sedimente gemessen, da die Organismen sowohl den gelöste aber auch nichtgelöste Schadstoffe in den Sedimenten exponiert sind (Cooman et al., 2015). Es handelt sich hierbei um einen subchronischen statischen Test, bei dem die Individuen 6 Tage den Sedimenten ausgesetzt wurden. Die Endpunkte waren Mortalität und/oder Wachstumshemmung. Dabei wurde ein Bioassay verwendet, der keine Kultivierung der Organismen erfordert (immobilisierte Zysten) (INTERNATIONAL STANDART ISO, 2012), da das Testkit direkt von MicroBioTests bezogen werden kann. Ausserdem handelt es sich um eine standardisierte Methode gemäss ISO 14371:2012(E).

Als Erweiterung wurde ein Süswassersediment-Toxizitätstest mit Chironomiden (nicht stechende Mücken) der Art *Chironomus riparius* gemäss AFNOR 90-339 durchgeführt. *Chironomus riparius* gehören zu den häufigsten Diptera-Arten im aquatischen Ökosystemen. Zum einen sind sie ein Teil der Nahrung für verschiedenen Wasser- aber auch Landorganismen, zum andern reagieren empfindlich auf Veränderungen der Wasser- und Sedimentbedingungen. Daher eignen sie sich hervorragend als Umweltindikatoren zur Bewertung aquatischer Veränderungen und der Auswirkungen von Schadstoffen (Martin-Folgar et al., 2021). Für den zweiten Test wurden ausschliesslich Standorte verwendet, welche im Ostrakoden-Test negative Ergebnisse aufzeigten. Die Endpunkte dieses Bioassay ist der Prozentsatz der Emergenz, sowie die benötigte Zeit der Emergenz (Association française de normalisation, 2004).

Im Hinblick auf die ökotoxikologische Bewertung werden in dieser Arbeit die folgenden Fragen behandelt:

- Sind in den Sedimenten Metallkonzentrationen vorhanden, die den SQK überschreiten und ein Risiko für benthische Organismen darstellen?
- Haben bestimmte Sedimente aus Testgebieten eine ökotoxikologische Wirkung auf die Testorganismen hinsichtlich:
 - Wachstumshemmung
 - Auffällige Sterblichkeitsraten
 - Inhibition der Emergenz

2 Materialien und Methoden

2.1 Verwendete Materialien

Tabelle 1. Liste der verwendeten Testorganismen inkl. Hersteller

Testorganismen	Hersteller
<i>Heterocypris incongruens Ostracodtoxit</i> TM F	MicroBioTests, Gent, Belgien
<i>Chironomus riparius</i> Eier	Eigene Kultivierung des Schweizerischen Zentrums für angewandte Ökotoxikologie

Tabelle 2. Liste der verwendeten Chemikalien inkl. Hersteller

Chemikalien	Artikelnummer	Hersteller
Lugolsche Lösung	62650-100ML-F	Sigma-Aldrich

Tabelle 3. Liste der verwendeten Programme inkl. Hersteller

Programme	Hersteller
GraphPad Prism 9	GraphPad Software
QGIS 3.22.4	QGIS Software
CellD-Software	Olympus, Hamburg, Deutschland
HQ Series Portable Meters	Hach Company

2.2 Kampagnen zur Probenahme

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, wurden verschiedene Standorte, welche im Jahr 2001 und 2008 von den entsprechenden Kantonen festgelegt wurden, regelmässig für biologische Untersuchungen beprobt (Rey et al., 2013). Entsprechend dazu wurden 2018 und 2022 Sedimentproben entnommen.

2.2.1 Kampagne 2018

Vom 27. Februar - 03. März 2018 wurden am Oberlauf der Aare an neun Probenahmestellen vom Thuner bis zum Bielersee Sedimentproben entnommen (Abbildung 2). Hierbei handelt es sich um dieselben Untersuchungsstellen wie im Jahr 2008 um zeitliche und räumliche Veränderungen des Gewässerzustandes zu erfassen. Die Sedimententnahme wurde vom Tauchteam HYDRA oder von Mitarbeitern des GBL an den Transekten aus dem Gewässergrund entnommen. Sedimente mit einer Fraktionsgrösse von 63- μ m und 2-mm wurden vom GBL auf Schwermetalle untersucht, um Informationen über mögliche Belastungen in den Sedimenten zu erlangen (Hesselschwerdt, 2018). Ein weiterer Teil der Sedimente (Fraktionsgrösse von 2-mm), wurde an das Oekotoxzentrum geliefert, welche eine ökotoxikologischen Toxizitätstest mit Ostrakoden durchführte.

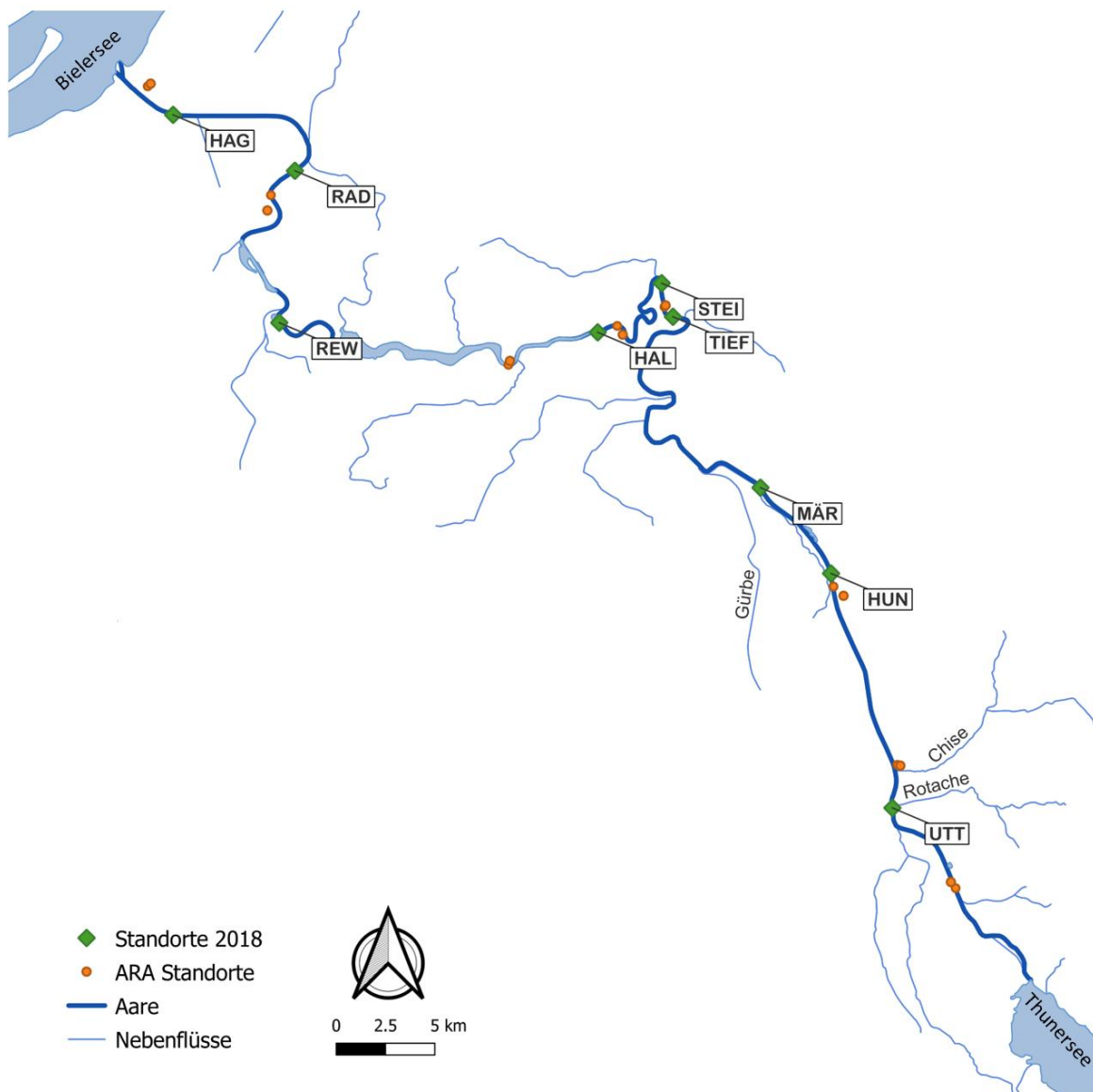


Abbildung 2: Teststandorte 2018 (eigene Darstellung mittels QGIS). Koordinaten stammen von (Hesselschwerdt, 2018). Die Standorte sind mittels Stellen-Code gemäss Tabelle 4 beschriftet.

Tabelle 4 beschreibt die beprobten Stellen, sowie die Lage und den Charakteren dieser Standorte (Hesselschwerdt, 2018).

Tabelle 4. Lage und Beschreibung der Probenahmestellen in der Aare zwischen Thunersee und Bielersee.

Stellen-Code	Probenahmestellen	Datum	Lage und Charakter
UTT	Uttigenfluh	27.02.2018	Naturnaher, freifliessender Bereich mit natürlicher Schotter-Steilwand am linken Ufer. Der Abfluss ist geregelt, ca. 4 km oberhalb leitet eine ARA ein.
HUN	Hunzigenau	28.02.2018	Freifliessender Abschnitt. 2006 wurde am rechten Ufer ein Seitengerinne angelegt, der zwischenzeitlich nur noch bei höheren Abflüssen benetzt ist.
MÄR	Märchligenau	01.03.2018	Kanalisierte Abschnitt mit Buhnen auf beiden Seiten.
TIEF	Bern-Tiefenau	05.03.2018	In Restwasserstrecke des KW Felsenau; Flusslauf grösstenteils naturnah; oberhalb ARA Worblental
STEI	Bern-Steinibach	05.03.2018	In Restwasserstrecke des KW Felsenau; naturnaher Flusslauf mit wechselseitigen Kiesbänken; ca. 700 m unterhalb ARA Worblental
HAL	Halenbrügg	06.03.2018	Vollabfluss; in Übergang der Fließstrecke zum Wohlensee (Stau KW Mühleberg).
REW	Rewag	04.03.2018	Vollabfluss; unterhalb des Wasserkraftwerkes und des KKM Mühleberg; kurz unterhalb der Kühlwassereinleitung des Kernkraftwerks Mühleberg (Wärmeeinleitung).
RAD	Radelfingen	03.03.2018	Restwasserstrecke des KW Niederried und staubeinflusst durch KW Aarberg; starker Schwall-Sunk aus der Saane (Saane-KW Schiffenen) und Niederried.
HAG	Hagneck-Kanal	02.03.2018	Kurze Fließstrecke zwischen Restwasserstrecke KW Aarberg und Stau KW Hagneck; kanalisierte Abschnitt; Schwall-Sunk u.a. durch KW Kallnach über Kallnach-Kanal.

2.2.2 Kampagne 2022

In dieser Studie wurden zwischen dem 07. - 18. März 2022 an 13 Probenahmestellen zwischen Bielersee und Rhein Sedimente gesammelt. Bei den beprobten Standorten handelte es sich um dieselben wie im Jahr 2012. Jedoch erweiterte der Kanton Solothurn das Monitoringprogramm mit dem Standort Flumenthal und der Kanton Aargau fügte den Standort Rupperswil hinzu (Abbildung 3). Da es sich um Probenahmen in den drei verschiedenen Kantonen handelt, waren die entsprechenden Gewässerschutzämter aus den Kantonen Aargau, Bern und Solothurn, sowie das Oekotoxzentrum bei der Entnahme der Proben beteiligt. Die Sedimente wurden durch das Tauchteam HYDRA oder durch die entsprechenden Mitarbeiter der Gewässerschutzämter an den Transekten entnommen und entsprechend aufbereitet. Tabelle 5 beschreibt die beprobten Stellen, sowie die Lage und den Charakteren dieser Standorte. Tabelle 5 beschreibt die beprobten Stellen, sowie die Lage und den Charakteren dieser Standorte.

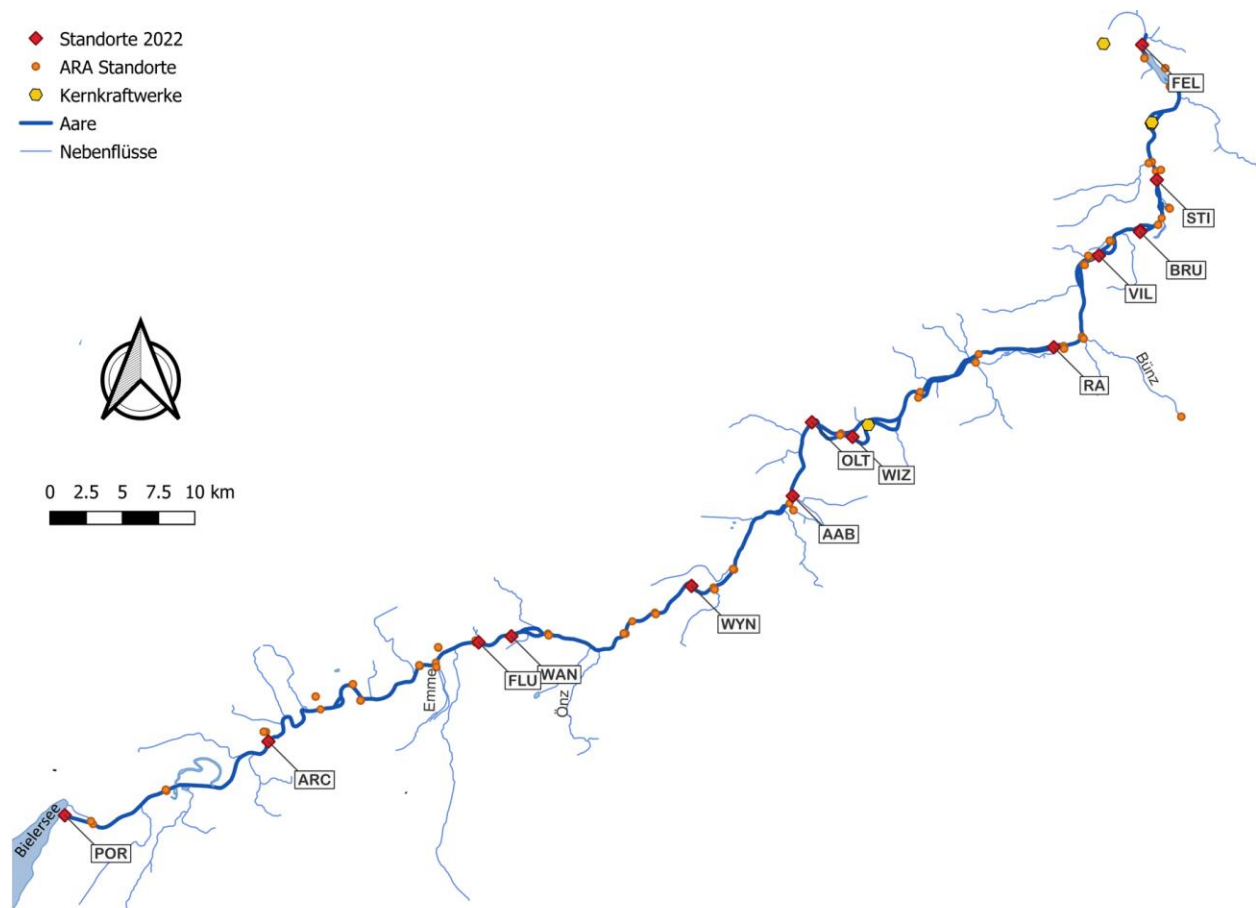


Abbildung 3. Teststandorte 2022. Oberer Abschnitt der Aare. Die Standorte sind mittels Stellen-Code gemäss Tabelle 5 beschriftet. (Eigene Darstellung mittels QGIS).

Tabelle 5: Lage und Beschreibung der Probenahmestellen in der Aare zwischen Bielersee und Rhein aus der aktuellen Studie 2022.

Stellen-Code	Probenahmestellen	Kanton	Datum	Lage und Charakter
POR	Port	BE	08.03.2022	Seeabfluss, geringes Gefälle, ausgebauter Kanal, Ufer befestigt, staubbeeinflusst (Kraftwerk Flumenthal)
ARC	Arch	BE/SO	08.03.2022	Seeausfluss, geringes Gefälle, wenig begradigt, mäandrierend, Ufer stellenweise stark verbaut, staubbeeinflusst (Kraftwerk Flumenthal)
FLU	Flumenthal	SO	07.03.2022	Unterhalb der Mündung der Siggern. Künftige Kiesaufschüttungen unterhalb des Kraftwerks Flumenthal.
WAN	Wangen	BE	07.03.2022	Bank fest verbaut, staubbeeinflusst (KW Bannwil)
WYN	Wynau	BE/SO	09.03.2022	Natürlicher Flusslauf mit abschnittsweisem Uferschutz, frei fließender Abfluss
AAB	Aarburg	SO/AG	10.03.2022	Regelmässiges Profil, staubbeeinflusst (Kraftwerk Gösgen), teilweise hart gebaute Uferbereiche
OLT	Olten	SO	11.03.2022	Natürlicher Flusslauf, frei fließend, voller Abfluss, Stadtseite mit hartem Uferschutz
WIZ	Winznau, Gösgen Schachen	SO	14.03.2022	Restwasserstrecke Gösger Schachen ("Alte Aare"), morphologisch vielfältig
RA	Rupperswil Auenstein	AG	15.03.2022	Bis 2025, Ersatzmaßnahmen: Restwasser und dynamischer Seitenarm
VIL	Villnacher Schachen	AG	16.03.2022	Restwasserstrecke Villnacher Schachen, morphologisch vielfältig
BRU	Brugg	AG	17.03.2022	Frei fließend, voller Abfluss, mäßig verbaut, abschnittsweise renaturiert
STI	Stilli	AG	17.03.2022	Frei fließend flussabwärts der Reuss und der Limmat, wenig verbaut (Steilufer).
FEL	Felsenau	AG	18.03.2022	Seeausfluss (Klingnauer Stausee), voller Abfluss, stark verbaute Ufer

2.3 Probenahme von Sedimenten

Nachfolgend werden die in dieser Studie und der Kampagne 2022 durchgeführten Sedimentprobenahmen zusammengefasst. Es wird davon ausgegangen, dass die Sediment-Beprobung im Jahr 2018 auf die gleiche Weise durchgeführt wurde wie im Jahr 2022, mit kleinen Änderungen.

In dieser Studie wurden die Sedimentproben nach den Empfehlungen und dem Feldprotokoll aus der Strategie "Strategie zur Beurteilung der Sedimentqualität in der Schweiz" (Casado et al., 2021) entnommen, der vom Oekotoxzentrum erstellt wurde (Anhang F). An jeder Probenahmestelle wurden die Koordinaten, die aktuellen Wetterbedingungen, eine Beschreibung der unmittelbaren Umgebung sowie der Zustand des Sediments (Geruch, Farbe, Art des Substrats) und der darin vorkommenden Organismen mit

Hilfe der Feldblätter erfasst. Darüber hinaus wurde eine grobe Skizze der Probenahmestelle angefertigt, auf der die Fliessrichtung (Uferseite) und die örtlichen Gegebenheiten festgehalten wurden. Zusätzlich wurden an jeder Stelle zum Zeitpunkt der Sedimententnahme pH-Wert, Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt und Temperatur mit dem Messgerät HQ Series Portable Meters gemessen.

Je nach Art der an den einzelnen Standorten gefundenen Sedimente wurden diese entweder in Ufernähe entnommen oder vom Hydra-Tauchteam geborgen. Damit die Sedimente die Kriterien für eine ökotoxikologische Bewertung erfüllten, durften diese nicht zu sandig sein. Gemäss der Strategie wird für die Gesamtfraktion (2-mm) ein Feinanteil von 20% empfohlen, da sich Schadstoffe vor allem an die feinkörnige Fraktion binden (Casado et al., 2021). Dies war je nach Standort schwierig, da die Aare eine starke Strömung aufweist und daher weniger Feinsedimente abgelagert werden. Deshalb wurden die Sedimente dort entnommen, wo die Fliessgeschwindigkeit der Wasserströmung gering war. Dies war oft in Ufernähe der Fall. Die Proben wurden an verschiedenen Stellen, mit einigen Metern Abstand, durch einer Metallkelle aus der Sedimentdeckschicht (ca. 10 cm) entnommen und in einen Metalleimer gegeben und gut durchmischt. Es wurde darauf geachtet, dass die Sedimente an Standorten entnommen wurden, welche mit Wasser bedeckt waren. Die homogenisierten Sedimente aus dem Metalleimer wurden anschliessend durch ein Metallsieb mit einer Maschenweite von 2-mm und 63- μm , im Feld gesiebt (Abbildung 4).



Abbildung 4: Sedimententnahme im Feld. Links, Metallkelle für Sedimententnahme mit Metalleimer. Rechts, Metallsiebe mit 63- μm Maschenweite und 2-mm Maschenweite. Eigene Aufnahme.

Je nach Feinanteil der Fraktion musste Wasser zugegeben werden, um das Sieben zu erleichtern. Zu diesem Zweck wurde das Wasser der Aare aus den jeweiligen Standorten verwendet. Zum Auffangen der gesiebten Sedimentfraktion wurde ein Plastikeimer mit einem Volumen von 5 Litern verwendet. Abbildung 5 zeigt die Sedimententnahme und Aufreinigung im Feld im März 2022.

Für die ökotoxikologische Analyse mit Ostrakoden wurden 50 ml der 2-mm-Fraktion entnommen und in ein Falcon-Röhrchen gefüllt. Für den Chironomiden Test wurden ebenfalls ca. 500 ml des Sediments unmittelbar nach dem Sieben der 2-mm-Fraktion abgefüllt. Beide Proben wurden zusammen bei 4°C in einer Kühlbox gelagert und anschliessend an das Oekotoxzentrum geliefert. Die restlichen Sedimente wurden nach dem Transport ebenfalls bei 4°C gelagert und zur Untersuchung auf Metalle und organische Rückstände an das GBL und die Universität Bern geliefert.



Abbildung 5: Sedimententnahme und Aufbereitung im Feld. Eigene Aufnahmen März 2022.

2.4 Ökotoxikologische Bioassays

Im folgenden Abschnitt wird beschrieben, wie die ökotoxikologischen Tests durchgeführt wurden. Die ausgewählten Bioassays umfassen zwei Toxizitätstests, bei denen Sedimente aus den Standorten vom 07. bis 18. März 2022 an benthischen Organismen mit unterschiedlicher Ernährung- und Lebensweisen getestet wurden. Für die Standorte 2018 wurde ausschliesslich der Ostrakoden-Test gemäss ISO 14713 durchgeführt.

2.4.1 Toxizitätstest mit Süswasser-Ostrakoden der Art *Heterocypris incongruens*

Wie in der Einleitung erwähnt, wurden Sedimentproben von den untersuchten Standorten, in Abbildung 3 dargestellt, an Ostrakoden untersucht. Es wurde ein Toxizitätstest mit Süswasser-Ostrakoden der Art *H. incongruens* gemäss der ISO 14713 Richtlinie durchgeführt. Sechs Replikate pro Testsediment/Standort wurden verwendet. Da nicht alle Proben auf einmal getestet werden konnten, wurden die Sedimente in drei separaten Testläufen untersucht (Tabelle 6). Für jeden Testlauf wurde eine individuelle Kontrolle angefertigt, wie in Kapitel 2.4.1.5 beschrieben.

Tabelle 6: Zeitliche Aufteilung der Süsswassertoxizitätstests mit Ostrakoden für die Standorte 2022

Test	Start	Ende	Geprüfte Standorte (Code)
Prüfung 1	24. 03.2022	30.03.2022	POR, ARC, FLU, WAN, WYN, AAB OLT
Prüfung 2	25.03.2022	31.03.2022	WIZ, RA, VIL, FEL
Prüfung 3	07.04.2022	13.04.2022	BRU, STI

2.4.1.1 Vorbereitung der Zysten

Die Inkubation der Ostrakoden begann 52 Stunden vor Beginn des Tests. Dazu wurde eine Partie Zysten aus dem Kühlschrank (4°C) entnommen und zusammen mit 10 ml Standard-Süsswasser in eine Petrischale gegeben. Die Petrischale mit den Zysten wurde für 48 Stunden bei 25°C in einen beleuchteten Inkubator (3000-4000 Lux) gestellt, damit die Zysten schlüpfen konnten. Nach 48 Stunden wurden die geschlüpften Ostrakoden aus dem Inkubator entnommen und unmittelbar mit Spirulina-Algen gefüttert. Zu diesem Zweck wurde die Spirulina-Suspension in die Petrischale gegeben. Die Organismen wurden für weitere vier Stunden bei 25°C in den beleuchteten Inkubator zurückgebracht. Diese Bebrütungszeit betrug 4 Stunden.

2.4.1.2 Längsschnittmessungen an geschlüpften *H. incongruens*

Nachdem die Organismen 52 Stunden lang bei 25°C exponiert waren, wurden 10 Organismen mit einer Glasmikropipette entnommen, auf einem Objektträger mit Lugolsche Lösung fixiert und mit der Software CellD (Olympus, Hamburg, Deutschland) vermessen. Die Daten dieser Messung waren wichtig, um zu überprüfen, ob die Validitätskriterien am Ende des Tests erfüllt waren. Weiter wurden diese Messungen zur Berechnung der durchschnittlichen Grösse der Ostrakoden für die Wachstumshemmung verwendet.

2.4.1.3 Aufbereitung des natürlichen Sediments

Die bei 4°C gelagerten Sedimente wurden aus den Behältern pro Standort entnommen und durch Rühren homogenisiert (Abbildung 6). Anschliessend wurden 4 g Testsedimente pro Vertiefung der 6-Well-Mikroplatten mit Hilfe des Messlöffels zugegeben, der im Ostrakoden-Testkit F enthalten ist (Abbildung 7). Nachdem die Sedimente in die Vertiefungen gegeben wurden, wurden 2 ml standardisiertes Wasser und 2 ml Algensuspension (*Scenedesmus spp.* in einer Konzentration von etwa $1,5 \times 10^7$ Zellen/ml, hergestellt mit Testmedium) hinzugefügt (Abbildung 8).



Abbildung 6: Homogenisierung der Sedimente (eigene Aufnahme)



Abbildung 7: 4 g Sediment pro Vertiefung (eigene Aufnahme)

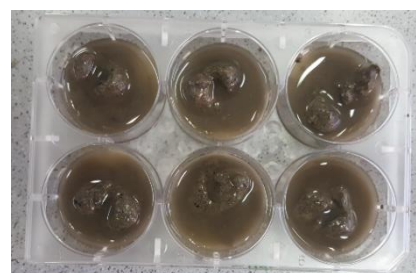


Abbildung 8: Zugabe des standardisierten Wassers (eigene Aufnahme)

2.4.1.4 Exposition gegenüber natürlichen Sedimenten

Die geschlüpften Ostrakoden, an denen zu einem späteren Zeitpunkt die Mortalität und die Wachstumshemmung gemessen wurden, wurden aus dem Inkubator entnommen und zu den Testsedimenten und den Kontrollsedimenten gegeben. Pro Vertiefung wurden 10 Ostrakoden beigegeben. Anschliessend wurde die Testplatte mit einem Stück Parafilm abgedeckt, mit dem Deckel verschlossen und in einer lichtundurchlässigen Box, während 6 Tagen, bei 25 °C im Inkubator im Dunkeln aufbewahrt.

2.4.1.5 Test mit Referenzsedimenten



Abbildung 9: Referenzsediment aus Ostracodtoxkit™ F (eigene Aufnahme)

Als Referenzsediment wurde der mit dem Ostracodtoxkit™ F MicroBioTests, Gent, Belgien, gelieferte Sand (>0,2mm) verwendet. Dabei handelt es sich um ein getrocknetes Sediment, das kaum Ablagerungen von Schadstoffen aufweist und einen Gehalt an organischen Substanzen < 1 % hat (sauberer Sand, Abbildung 9) (Casado-Martinez et al., 2016a).

2.4.1.6 Bergung der Ostrakoden

Nach der 6-tägigen Exposition wurden die Testplatten mit den Ostrakoden aus dem Inkubator genommen. Die Ostrakoden wurden mit einer Glasmikropipette und einem Präzisionsmikroskop direkt aus der Vertiefung der Platte entnommen und auf einen Objektträger gelegt. Anschliessend wurden einige Tropfen Lugolsche Lösung hinzugefügt, um die Organismen zu fixieren. Tote Ostrakoden konnten nicht geborgen werden, da sie in den Sedimenten versinken und visuell nicht erkennbar sind.

2.4.1.7 Bestimmung der prozentualen Wachstumsinhibition

Die Längenmessungen der Ostrakoden (Abbildung 10), ermöglicht einen Vergleich der Wachstumshemmung der Testorganismen mit den Organismen aus dem Kontrollsediment, um eine subletale Wirkung, Wachstumsinhibition, zu bewerten.

Nach ISO 14371 sollte die Wachstumsinhibition nur gemessen werden, wenn die prozentuale Mortalität im Testsediment unter 30% liegt. In dieser Studie wurde sowohl die Grösse der Ostrakoden als auch die prozentuale Sterblichkeit gemessen, unabhängig von der prozentualen Mortalität < 30%.

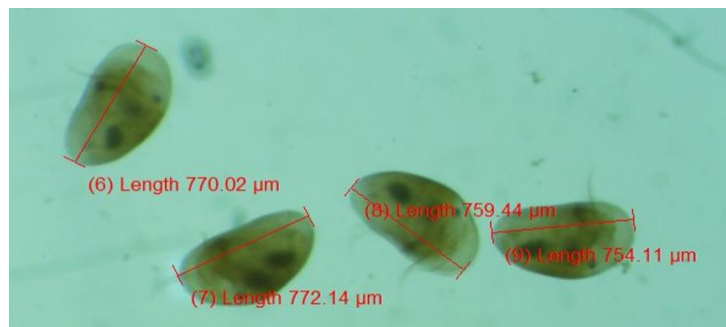


Abbildung 10: Längsmessung der Ostrakoden nach 6 Tage der Sedimentexposition (eigene Aufnahme).

2.4.1.8 Kriterien für die Gültigkeit

Die Kontrolle erfüllte die in der ISO-Norm 14371 geforderten Validitätskriterien (INTERNATIONAL STANDARD ISO, 2012).

2.4.2 Erweiterter Toxizitätstest mit dem Dipteren-Insekt *C. riparius*

Als erweiterte Prüfung wurde der Süswasser-Toxizitätstest mit dem nicht stechenden Dipteren Insekt *Chironomus riparius* nach AFNOR 90-339 durchgeführt, dessen Lebenszyklus grösstenteils in Sedimenten stattfindet. Mit diesem Test wird die Toxizität natürlicher Sedimente für die Chironomiden-Larven bis zur Emergenz über einen Zeitraum von maximal 28 Tagen untersucht.

Die verwendeten *C. riparius* stammen aus dem Oekotoxzentrum und wurden dort kultiviert. Der Test wurde nach AFNOR 90-339 durchgeführt, mit der Abweichung, dass 20 anstelle von 10 Organismen pro Replikat verwendet wurden (Association française de normalisation, 2004).

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, handelt es sich bei den getesteten Sedimenten um Standorte, welche beim Ostrakoden Bioassay, Auffälligkeiten in der Wachstumsinhibition und/oder Mortalität aufwiesen. Somit konnten verschiedene Effekte und Expositionswege der Sedimente besser überprüft werden. Verwendet wurden hierfür die Standorte Port, Olten, Winznau, Rapperswil und Felsnau.

Port ist der oberste Standort aus der Kampagne 2022. Olten und Winznau sind Standorte, welche sich zwischen ARAs befinden. Bei beiden Standorten war eine sehr geringe Mortalität vorhanden, jedoch war in Winznau eine erhöhte Wachstumsinhibition zu beobachten. Olten ist zudem von urbanen Einflüssen geprägt. Rapperswil wurde gewählt, da es zur Überschreitung des Mortalitätsschwellenwert kam, zudem war die Wachstumsinhibition auffällig. Felsnau ist der letzte Standort, bevor die Aare in den Rhein mündet und ist der am weitesten stromabwärts gelegene Standort. Von jedem Standort wurden 4 Replikate angefertigt. In Tabelle 7 ist die zeitliche Aufteilung des Süßwasser-Toxizitätstests mit Chironomiden für die ausgewählten Standorte 2022 beschrieben.

Tabelle 7: Zeitliche Aufteilung des erweiterten Süßwasser-Toxizitätstests mit *C. riparius* für ausgewählte Standorte 2022

Test	Start	Ende	Geprüfte Standorte (Code)
<i>C. riparius</i>	09.05.2022	07.07.2022	POR, OLT, WIZ, RA, FEL

Zur Vorbereitung der Organismen wurden 6 Tage vor Beginn des Tests ca. 20 Eimassen aus den Kulturen entnommen. Die gallertartige Masse bildet etwa 150-600 Eier (Durand, Cyrielle, Lucie, 2012). Für den Test wurden insgesamt 480 Larven benötigt. Die Massen wurden separat isoliert, um die Eimassen zu verwenden, die möglicherweise zu früh oder gar nicht geschlüpft waren (Abbildung 11). Synchronisierte Larven, die 3 Tage vor Testbeginn geschlüpft waren, wurden in eine Kristallschale mit etwa 100 mg Fischfutter (TetraMin®) und entchlortem Leitungswasser gegeben.

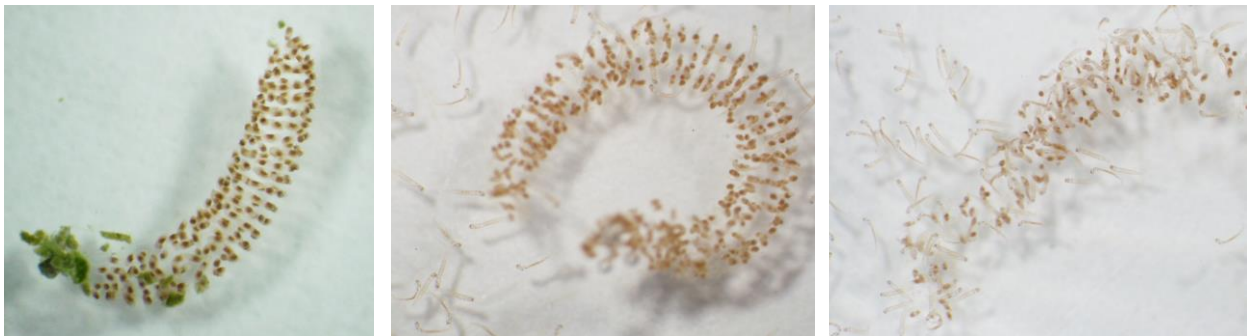


Abbildung 11: Eiermasse von *C. riparius* welche sich zu Larven entwickeln. Unveröffentlichte Bilder des Oekotoxzentrum.

2.4.2.1 Vorbereitung der Sedimente und Expositionsdauer

Drei Tage vor Testbeginn wurden die Prüfbecher mit jeweils 100 g Sediment aus dem jeweiligen Standort gefüllt. Es wurden 4 Replikate pro Standort erstellt. Die Sedimente wurden zuvor bei 4°C gelagert und homogenisiert (Abbildung 12). Anschliessend wurde 4/5 oxygeniertes und entchlortes Leitungswasser den Testbechern langsam beigelegt, damit die Sedimente nicht aufgewirbelt wurden. Dasselbe galt für das Referenzsediment (weisser Spielsand, Migros). Dieses wurde vor der Verwendung, mehrmals mit Leitungswasser gespült und eine Woche lang, vor Testbeginn, mit einer kleinen Schicht Wasser und Tetramin-Flocken zur Reifung belassen, mit dem Ziel, organische Substanzen in das Referenzsediment zu liefern.

Die 24 vorbereiteten Testbecher wurden mit Sauerstoff belüftet und mit Parafilm abgedeckt damit das Wasser nicht evaporierte. Zu Beginn und am Ende des Tests wurden die Lichtintensität, die Wasserhärte,

die Nitrat- und Ammoniumkonzentration in je einer Wiederholung pro Sediment gemessen, einschliesslich der Kontrolle. Ausserdem wurde die Leitfähigkeit, die Temperatur und der pH-Wert wöchentlich gemessen (Anhang B2).

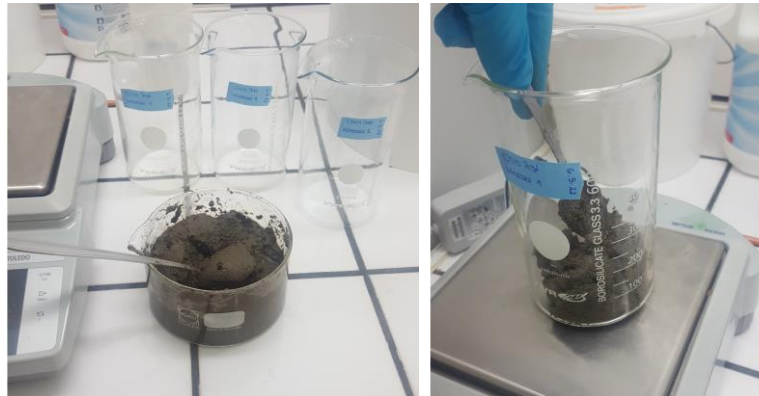


Abbildung 12: Homogenisierung und Abwägung der Sedimente für den Süsswassertoxizitätstest mit *C. riparius*. (Eigene Aufnahme)

Am 09.05.2022 (Tag 3) wurde pro Testbecher je 20 Larven, welche 2-3 Tage alten waren, den Sedimenten ausgesetzt. Die Testbehälter wurden durch eine Pasteurpipette aus Glas während des gesamten Tests belüftet. Die Fütterung erfolgte ab Tag 3-10 durch tägliche Zugabe von 300 mg fein gemahlenem Fischfutter (TetraMin), das in 30ml Leitungswasser aufgelöst war. In jedes Becherglas wurde 1 ml der Mischung gegeben (0,5 mg/Tag/ Larve) unter der Annahme das die Überlebensrate der Larven 100% betrug. Ab Tag 7-12 wurden die Larven täglich mit 1 mg/Tag/Larve gefüttert. Am Tag 13 des Versuchs, wurde ein Netz, anstelle vom Parafilm angebracht, da ab Tag 14 die Emergenz begann. Vom 14. bis zum 28. Tag verwandeln sich die Chironomiden-Larven in ein Nymphenstadium (Abbildung 13), bevor sie sich zu adulten Dipteren entwickeln (Abbildung 14).

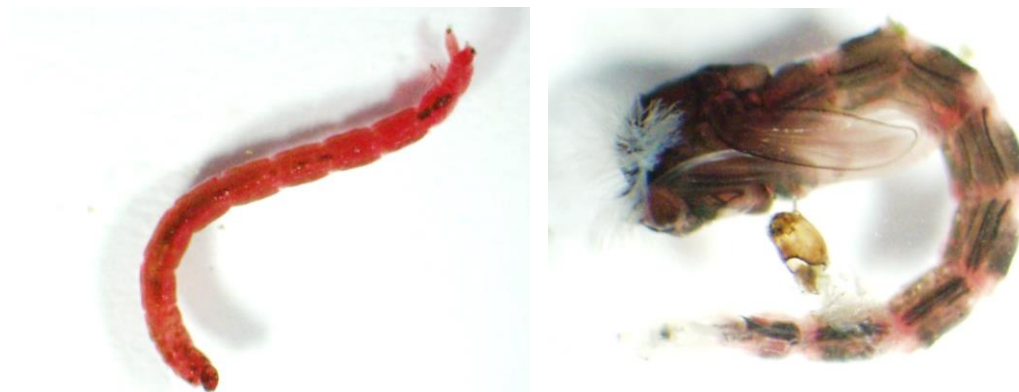


Abbildung 13. *C. riparius*. Links Larve, rechts Nymphe. Unveröffentlichte Bilder des Oekotoxizentrum.

Vom 14. bis zum 28. Tag wurden die Emergenz und das Geschlecht der fliegenden Adulten täglich überprüft. Das Geschlecht konnte anhand der Fühler bestimmt werden, da männliche Organismen im Vergleich zu den Weibchen gefiederte Fühler aufweisen (Abbildung 14). Die geschlüpften Organismen wurden aus den Testbechern entfernt. Der Test wurde nach 28 Tagen beendet.



Abbildung 14. *C. riparius*, links erwachsenes Weibchen. Rechts erwachsenes Männchen (Oekotoxzentrum unveröffentlichte Bilder).

Da die Aufzeichnung der Emergenz täglich stattgefunden hat, wurde die gesamte mittlere Emergenz, die mittlere Emergenzzeit der männlichen und die mittlere Emergenzzeit der weiblichen Tiere für jedes der Testsedimente pro Testbehälter, sowie für die Kontrollsedimente grafisch dargestellt (Anhang B1).

2.4.2.2 Kriterien für die Gültigkeit

Die Kontrolle erfüllte die der AFNOR-90-339 geforderten Validitätskriterien (Association française de normalisation, 2004).

2.4.3 Daten und Statistische Analysen der Biotests

Die statistischen Analysen wurden mit Prism GraphPad 9 durchgeführt. Die statistischen Unterschiede zwischen dem natürlichen Sediment und dem Kontrollsediment mit messbaren Endpunkten (Überleben, Wachstum und Emergenz) wurden durch Varianzanalysen (one-way Anova) durchgeführt. Die Ergebnisse beider Bioassays waren nicht parametrisch. Für den Vergleich der Mittelwerte wurde ein one-way Anova Brown-Forsythe-Test durchgeführt, da die Voraussetzungen für die Varianzhomogenität verletzt war. Ein signifikanter Unterschied zum Kontrollsediment bedeutet, dass das Sediment eine Wirkung auf die Organismen hat, aber nicht unbedingt, dass das Sediment ein toxisches Risiko darstellt (Casado et al., 2021). Um zu bestimmen, ob es sich bei den einzelnen Sedimentproben um toxische oder nicht toxische Sedimente handelt, wurde für die unterschiedlichen benthische Organismen ein Toxizitätsschwellenwert benutzt (Tabelle 8).

Bei den Ostrakoden liegt der Schwellenwert für die Mortalität 20%. Bei der Wachstumsinhibition 35% (Tabelle 8) (Casado-Martinez et al., 2019). Die Wachstumsinhibition wird nur dann als subletaler Effekt betrachtet, wenn die Mortalität <30 % ist (INTERNATIONAL STANDART ISO, 2012). Gemäss den ISO-Richtlinien wurden die messbaren Endpunkte für Wachstum in den entsprechenden Prozentsatz der Hemmung (I) für jedes Sediment im Vergleich zum Kontrollsediment mit der Formel 1 umgerechnet:

$$I(\%) = 100 - \frac{L_s \text{ oder } R_s}{L_c \text{ oder } R_c} * 100 \quad (1)$$

wobei L_s / R_s und L_c / R_c die Mittelwerte des Wachstums von Ostrakoden in den getesteten Sedimenten (S) bzw. dem Kontrollsediment (C) sind.

Für die Inhibition der Emergenz von *C. riparius* Larven, wurde der Toxizitätsschwelle von 32% verwendet (Tabelle 8) (Durand, Cyrielle, Lucie, 2012).

Tabelle 8. Toxizitätsschwellenwerte für *H. incongruens* und *C. riparius* (Casado-Martinez et al., 2019; Durand, Cyrielle, Lucie, 2012).

Testart	Organismus	Standard	Endpunkt	Toxizitätsschwelle
<i>H. incongruens</i>	Krustentier; Ostrakoden	ISO 14371	Wachstumsinhibition Mortalität	35% 20%
<i>C. riparius</i>	Insekt; Mücke	AFNOR 90-339	Inhibition Emergenz	32%

Mit den entsprechenden Toxizitätsschwellenwerten (Tabelle 8) wurde der Effektquotient (EQ) für die entsprechenden Organismen nach der Formel 2 berechnet (Beauvais et al., 2020):

$$EQ = \frac{\text{Effekt (\%)}}{\text{Toxizitätsschwellenwerte (\%)}}^{(2)}$$

Ist der EQ > 1 so sind die Sedimente toxisch. Umso toxischer die Sedimente sind, umso grösser wird der EQ. Dieser lässt sich in drei Kategorien gemäss Tabelle 9 einteilen.

Tabelle 9. Klassifizierung der Sedimente nach den Ergebnissen der ökotoxikologischen Tests (Effektquotient). Eigene Darstellung angelehnt an (Beauvais et al., 2020)

EQ	Kategorie
EQ < 1	Keine signifikante Wirkung
EQ 1-2	Mässige Wirkung
EQ > 2	Schwere Wirkung

2.5 Physikalisch- chemische Analyse der Sedimente

Das GBL analysierte die Oberflächensedimente aus den Jahren 2018 und 2022 auf Metalle mittels einer offenen mikrowellenunterstützten Extraktion und ICP-MS-Bestimmung (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry/ Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma). Dabei wurden Sedimente mit einer Fraktionsgrösse von 2-mm und 63-µm aufgeschlossen.

Die Proben wurden vorgängig bei 40°C (± 5°C) in einem Umluftofen bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Aufgrund des möglichen Gehaltes an Quecksilber, durften die Proben nicht über 80°C erhitzt werden (Gewässer- und Bodenschutzlabor, 2013). Anschliessend wurden 5 g der getrockneten Sedimentprobe in eine Bodenaufschlussröhre abgewogen und mit 30 ml Königswasser (3 Teile HCl, 1 Teil HNO₃) portionenweise versetzt. Danach wurden die Proben während 2h im Heizblock Schalterstellung bei ca. 130°C siedend belassen. Das Gemisch wurde zu Beginn und während der Erhitzung alle 30 Min. gut geschüttelt. Der Gesamtinhalt inklusiv Rückstand der aufgeschlossenen Probe wurde in einen 100 ml Messkolben überführt. Nach vollständiger Abkühlung wurde Reinstwasser bis zur 100 ml Marke beigegeben. Die Proben wurden durch einen Faltenfilter in ein Zentrifugenröhrchen filtriert und mit Reinstwasser verdünnt (Gewässer- und Bodenschutzlabor, 2020b). Bevor die Probe auf den ICP-MS gegeben wurde, wurde nochmals eine Verdünnung mittels matrixangepasster Verdünnungslösung durchgeführt. Hierfür wurde die Probe mittels der Blanklösung, oder einer matrixgleichen Lösung (1ml HNO₃/ 1ml HCL/100ml) 100-fach verdünnt. Diese wurden unmittelbar vor dem Gebrauch frisch hergestellt. Anschliessend konnten die Metalle mittels ICP-MS 7700 (Agilent Technologies) analysiert werden. Um spektrale Interferenzen z.B. Molybdän-ähnliche Komplexe zu beseitigen, wurde die Analyse mittels Helium als Kollisions- und Reaktionsgas durchgeführt. Als interner Standard für die Metallanalyse wurden seltene Erden den Proben beigegeben und gemessen (Gewässer- und Bodenschutzlabor, 2020a).

Die Korngrössencharakterisierung, sowie die Bestimmung des TOC-Gehalt in den Proben von 2018 wurde vom zentralen Umweltlabor der EPFL in Lausanne durchgeführt. Dies ist für die ökotoxikologische Bewertung notwendig, um punktuellen und räumliche Trends zu identifizieren (Casado et al., 2021). Für die

Proben von 2022 werden diese Untersuchungen an der Universität Bern durchgeführt und liegen erst Ende Jahr vor.

2.5.1 Vergleich mit Qualitätskriterien

Die gemessenen Metallkonzentrationen in Sedimenten werden anhand verschiedener Schwellenwertkonzentrationen bewertet. Die SQK dienen als Richtwert für Sedimente mit einer Fraktionsgrösse von 2-mm, bei deren Überschreitung negative Auswirkungen auf benthische Organismen nicht ausgeschlossen werden können. Das Oekotoxzentrum hat für 4 Metalle SQKs abgeleitet.

Liegen die SQK Werte vor, sollte als nächster Schritt die Qualitätsklasse der Sedimente berechnet werden. Hierfür gibt es ein Bewertungssystem zur Beurteilung, wobei der Risikoquotient (RQ) der entsprechenden Stoffe berechnet werden muss wie in Tabelle 10 dargestellt. Die Verwendung dieses Bewertungssystem ist nur für Stoffe möglich, welche über einen definierten SQK verfügen (Casado et al., 2021). Der Risikoquotient RQ einer Chemikalie wird mit der Formel 3 abgeleitet (Casado et al., 2021):

$$\text{Risikoquotient} = \frac{\text{Gemessene Umweltkonzentration (measured environmental concentration/MEC)}}{\text{SQK}} \quad (3)$$

Zu beachten ist, dass bei organischen Substanzen und Kupfer, der Gehalt von TOC einen Einfluss auf die Bioverfügbarkeit, und somit einen Einfluss auf die gemessene Umweltkonzentration ausübt. Liegt ein TOC-Gehalt in den Sedimenten zwischen 1-10% vor, ist es notwendig die gemessene Umweltkonzentration, entsprechend des TOC-Gehalts zu normalisieren, bevor der RQ berechnet werden kann. Liegt der Gehalt an TOC jenseits von 1-10%, ist die Normalisierung mit Unsicherheit behaftet. Liegt der TOC Gehalt unter 1%, werden die Konzentrationen nicht normalisiert, in der Annahme, dass der für 1% TOC abgeleitete SQK für das Worst-Case-Szenario sandiger Sedimente repräsentativ ist, in dem die Bioverfügbarkeit maximiert ist. Für die Normalisierung wird Formel 4 empfohlen (Casado et al., 2021):

$$\text{MEC}_{\text{norm}} = \frac{\text{MEC}}{f_{\text{TOC}}} \quad (4)$$

MEC_{norm} = Umweltkonzentration (MEC) normalisiert auf 1% TOC

MEC = Umweltkonzentration (nicht normalisiert)

f_{TOC} = Gesamtgehalt an organischem Kohlenstoff [%]

Liegt der RQ in den gemessenen Konzentrationen <1 , ist die Sedimentqualität «*sehr gut*» oder «*gut*». Liegt der $\text{RQ} \geq 1$, ist der Wert nicht tolerierbar und man spricht von einer «*mässigen*», «*unbefriedigten*» oder «*schlechten*» Sedimentqualität. Entsprechend dazu gibt es ein Klassifizierungsraster mit Farbcodes, welche den Zustand der Sedimente entsprechend der Tabelle 10 darstellen (Casado et al., 2021).

Tabelle 10. System zur Bewertung der Sedimentqualität aus Basis von SQK (RQ = Risikoquotient). Eigene Darstellung angelehnt an (Casado et al., 2021)

Klassifizierung	Bemerkung	Definition der Klasse (RQ = MEC/SQK)	Bedeutung
Sehr gut	Die gemessene Konzentration im Sediment ist mindestens 10-mal niedriger als das Qualitätskriterium (SQK).	$RQ < 0,1$	SQK eingehalten
Gut	Die gemessene Konzentration im Sediment ist zwischen 1- und 10-mal niedriger als das Qualitätskriterium (SQK).	$0,1 \leq RQ < 1$	
Mässig	Die gemessene Konzentration im Sediment ist niedriger als das Zweifache des Qualitätskriteriums (SQK).	$1 \leq RQ < 2$	SQK überschritten
Unbefriedigend	Die gemessene Konzentration im Sediment ist niedriger als das 10fache des Qualitätskriteriums (SQK).	$2 \leq RQ < 10$	
Schlecht	Die gemessene Konzentration ist gleich oder höher als das 10fache des Qualitätskriteriums (SQK).	$RQ \geq 10$	

Ist der SQK mit Unsicherheit behaftet, ist der anzuwendende Farbcode «*grau*», und steht für «nicht bewertbar» (Casado et al., 2021).

Für die übrigen Metalle, für die es keine SQKs gibt, wurden die gemessenen Konzentrationen anhand der von (MacDonald et al., 2000) wie in Tabelle 11 dargestellt abgeleiteten Threshold Effect Concentrations (TEC) und Probable Effect Concentrations (PEC) verglichen. Liegen die Messwerte der Sedimentproben unter dem TEC-Wert, gelten sie als von guter Qualität mit einem geringen toxischen Risiko. Der TEC-Wert hat eine ähnliche Bedeutung wie der SQK-Wert. Sedimentproben mit einer Konzentration oberhalb der PEC (Probable Effect Concentration), weisen auf ein toxisches Risiko hin.

Tabelle 11: Vorgeschlagene Schwellenwertkonzentrationen für die sieben wichtigsten Metalle die zur Sedimentüberwachung in der Schweiz vorgeschlagen werden (Casado et al., 2021; Casado-Martinez et al., 2016b).

Substanz	SQK	TEC	PEC
Cd		0,99	4,98
Cr		43,4	111
Cu	9,9 ^(a)	31,6	149
Hg	0,102 ^(b)	0,18	1,06
Ni		22,7	48,6
Pb	50,3	35,8	128
Zn	99,7 ^(b)	121	459

- ^(a) Der angegebene SQK für Kupfer ist für den ungünstigsten Fall von 1% TOC normalisiert worden. Liegt eine TOC-Konzentration zwischen 1-10 % vor, wird eine Normalisierung empfohlen (Formel 2).
- ^(b) Hinzugefügter Risikoansatz. Da Metalle in der Erdkruste vorzufinden sind, und somit natürlich vorhanden sein können, kann für Zn 17,9 mg/kg und Hg 0,016 mg/kg als natürliche Hintergrundkonzentration addiert werden.

Liegt kein SQK vor, kann alternativ der TEC-Wert für die Berechnung des Risikoquotienten wie in Formel 5 dargestellt verwendet werden und die Qualität gemäss Tabelle 10 (Casado et al., 2021).

$$\text{Risikoquotient} = \frac{\text{Gemessene Umweltkonzentration (measured environmental concentration/MEC)}}{\text{TEC}} \quad (5)$$

2.5.2 Bewertung der Sedimentqualität von Feinfraktionen

Die SQK-Werte werden anhand verschiedener ökotoxikologischen Wirkdaten abgeleitet welche sich auf die Fraktionsgrösse von 2-mm beziehen. Aus diesem Grund ist ihre Anwendung für die Bewertung der Feinfraktion mit Unsicherheit behaftet (Siehe Kapitel 2.5.1). Liegen Analysen der Feinfraktionen vor, können die LAWA-Werte welche in Tabelle 12 dargestellt sind, als Richtwerte verwendet werden (Casado et al., 2021). Diese Werte wurden 1998 für Schwebstoffe/Sedimente mit Pb, Cd, Cu, Cr, Ni, Hg, Zn festgelegt zum Schutz der oberirdischen Binnengewässer in Deutschland (LAWA, 1998). Die festgelegten Werte basieren jedoch nicht auf ökotoxikologische Wirkdaten und verfolgen nicht ausschliesslich des Schutzes benthischer Organismen. Daher kann die Bewertung bei der Anwendung der LAWA-Werte als «*eingehalten*» oder «*nicht eingehalten*» verwendet werden (Casado et al., 2021).

Tabelle 12: LAWA-Werte (LAWA, 1998)

Substanz	Einheit	Zielwert
Blei	mg/kg	100,0
Cadmium	mg/kg	1,5
Chrom	mg/kg	100,0
Kupfer	mg/kg	60,0
Nickel	mg/kg	50,0
Quecksilber	mg/kg	1,0
Zink	mg/kg	200,0

2.6 Kartographierung der Aare

Für die kartografische Darstellung der Aare, wurde das Open Source Programm QGIS 3.24.1 verwendet. Die Daten für die Gewässer stammen vom Topografische Landschaftsmodell TLM. Für die Darstellung der Siedlungsgebiete würden die Daten aus der Arealstatistik Schweiz verwendet. Für die Darstellung der einleitstellen von ARAs wurde ein, vom Bundesamt für Umwelt, zur Verfügung gestellter Vektordatensatz verwendet. Belastete Standorte wurden durch den Kataster belasteten Standorte des Kantons Bern dargestellt. Die vom Kanton Solothurn und Aargau open Source Daten, über belastete Standorte, verfügten über mangelnde Informationen der Belastungsart. Auch bei direkter Anfrage an die entsprechenden Ämter waren die Daten Mangelhaft. Daher konnten diese Daten nicht verwendet werden.

3 Ergebnisse

3.1 Kampagne 2018

Im folgenden Abschnitt sind die Ergebnisse aus dem Jahr 2018 aufgeführt. Es handelt sich um die Sedimente aus dem Oberlauf der Aare zwischen Thun und Biel (Kanton Bern). Die Bio-Assays wurden am Ökotoxizentrum durchgeführt, folglich werden diese Daten im folgenden Abschnitt präsentiert.

3.1.1 Überlebens- und Wachstumstest mit dem Ostrakoden *H. incongruens* gemäss ISO 14371

Die Ergebnisse der Kampagne 2018 für die ökotoxikologische Bewertung der Gesamtsedimente sind in Abbildung 15 und Abbildung 16 dargestellt. Die Kontrollen für alle Tests erfüllten die Validitätskriterien nach ISO 14371. Die Sterblichkeit der Kontrolle betrug weniger als 20% und die mittlere Länge (in μm) der Ostrakoden nahm mindestens um das 1,5-fache zu. Die Überlebensrate im Kontrollsediment betrug $95 \pm 5\%$. Die vollständigen Ergebnisse der ökotoxikologischen Bewertung sind im Anhang A1 und A2 zu finden. Die Standorte sind nach der Abflussrichtung der Aare geordnet. Uttigenfluh und Hunzigenau sind die ersten Standorte, die sich flussabwärts des Thunersees befinden.

In der Abbildung 15 ist die mittlere prozentuale Mortalität der Ostrakoden dargestellt. Der Teststandort Hunzigenau hat mit 37% und Uttigenfluh mit 27% den Toxizitätsschwelle von 20% überschritten. Die restlichen Standorte wiesen bei den Ostrakoden eine mittlere prozentuale Überlebensrate zwischen 87% und 98% auf, was auf einen geringen Effekt der Sedimente gegenüber den Ostrakoden hinweist.

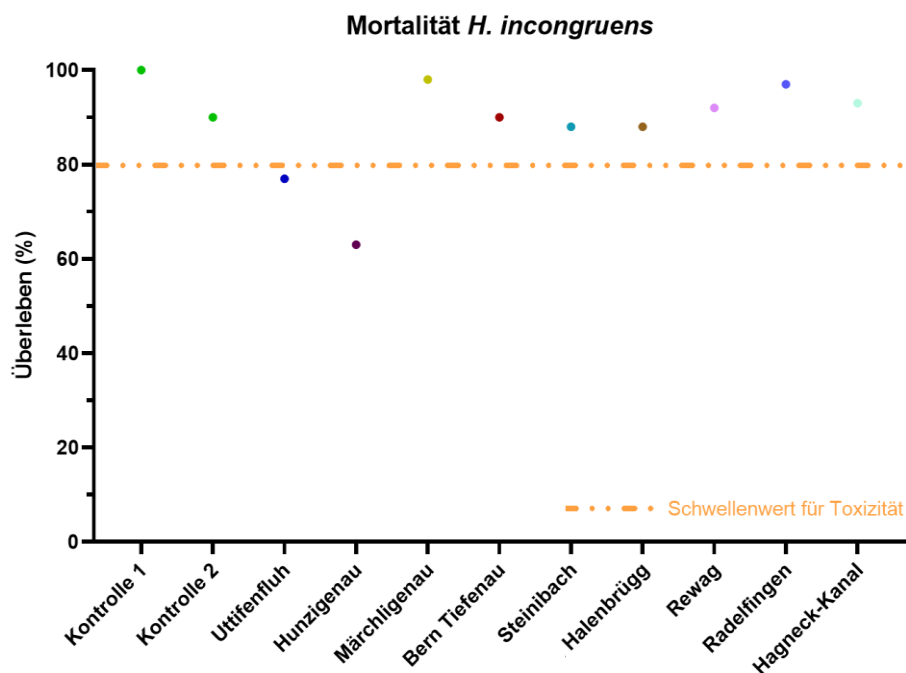


Abbildung 15: Durchschnittliche Überlebensrate von *H. incongruens* aus den Testgebieten 2018 und den Kontrollsedimenten %. Die orange Linie zeigt einen Effektquotienten EQ = 1, der 80% des Wachstums der Kontrolle entspricht (Toxizitätsschwelle von 20% der Mortalität).

Abbildung 16 zeigt den mittleren Prozentsatz der Wachstumshemmung im Vergleich zur Ostrakoden Kontrolle. Die Standorte Hunzigenau, Märchligenau, Bern Tiefenau, Bern Steinibach, Rewag und Hagneck-Kanal weisen im Vergleich zum Kontrollsediment eine Längenzunahme (in μm) von mehr als 100% auf, statistisch signifikant im Vergleich zur entsprechenden Kontrolle in Bern Halenbrügg (p -Wert < 0.05) und Steinibach p -Wert < 0.01). Auffallend ist die Wachstumshemmung in Uttigenfluh und Radelfingen, wobei sich nur der Standort Radelfingen signifikant von der Kontrolle unterscheidet (p -Wert < 0.05). Dennoch ist der Schwellenwert für die Toxizität der Wachstumshemmung von 35% an keinem der 2018 untersuchten Standorte aus dem Oberlauf der Aare überschritten worden.

Wachstumsinhibition von *H. incongruens*

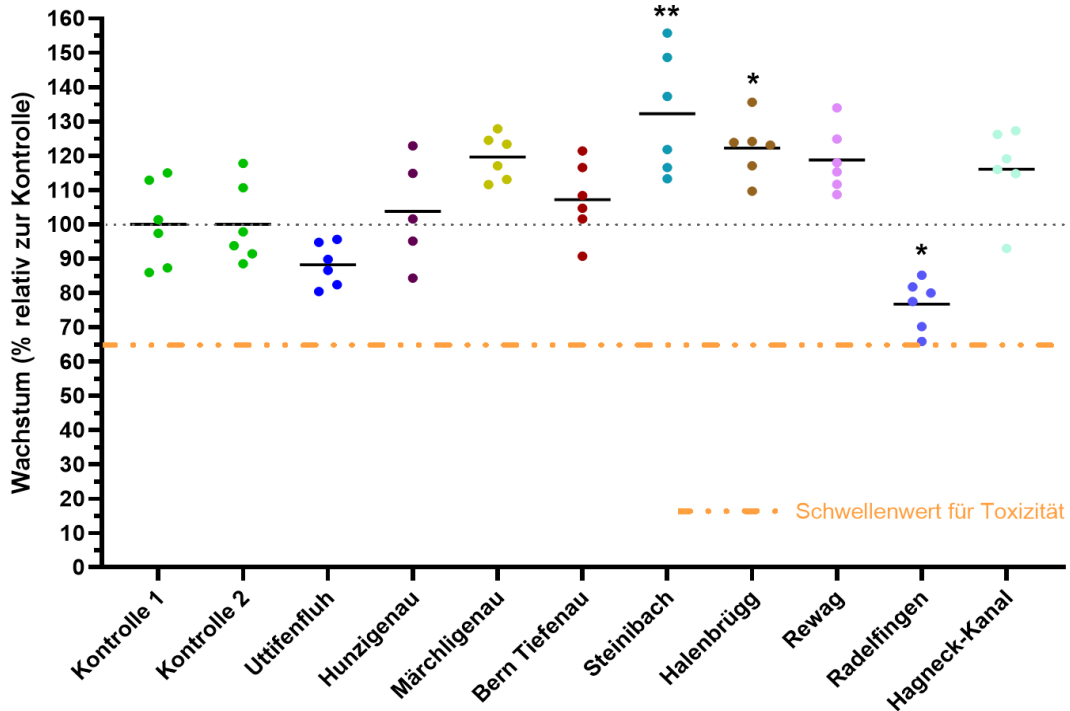


Abbildung 16: Wachstum von *H. incongruens*, die den Sedimenten der Aare (Uttigenflut bis Hagneck-Kanal) ausgesetzt waren, ausgedrückt in % im Vergleich zum Wachstum der *H. incongruens* im Referenzsediment (100%). Die orange Linie zeigt einen Effektquotienten EQ = 1, der 65% des Wachstums der Kontrolle entspricht (Toxizitätsschwelle von 35%). Die mit * markierte Standorte unterscheiden sich nach dem Brown-Forsythe-Test ANOVA signifikant von der Kontrolle (**p-Wert < 0,01, *p-Wert < 0,05, ANOVA p-Wert < 0,001). Kein Sediment verursachte bei *H. incongruens* eine Wachstumsinhibition oberhalb der Toxizitätsschwelle von 35%.

3.1.2 Korngrößenverteilung und TOC-Gehalt

In der Tabelle 13 ist die Korngrößenverteilung [%] und den TOC-Gehalt [%] der verschiedenen Standorte aus der Gesamtfraktion dargestellt.

Die Korngrößenverteilung in Radelfingen < Bern Steinibach < Rewag verfügen mit 1,2 – 6,7% über einen sehr geringen Anteil der Feinfraktion (63- μ m). Bern Tiefenau < Halenbrügg verfügen mit 12,7 – 13,4% über einen eher geringen Anteil der Feinfraktion. Die restlichen Standorte Märchigenau < Uttigenfluh < Hagneck-Kanal verfügen mit einer Spannweite von 20,8 – 24,2%, über einen angemessenen Anteil der Feinfraktion, gefolgt von < Hunzigenau welche über einen sehr hohen Feinanteil verfügt.

Die TOC-Konzentrationen in der 2-mm-Fraktion der Sedimente sind niedrig und liegen zwischen 0,0% und 0,55 %. Keine der Proben hat einen TOC-Gehalt zwischen 1% und 10%, was der Bereich ist, in dem eine Normalisierung des TOC-Gehalts für den Vergleich der Kupferkonzentrationen mit dem entsprechenden SQK empfohlen wird. Folglich ist eine Normalisierung nicht erforderlich.

Tabelle 13: Korngrößenverteilung und TOC-Gehalt der Gesamtfraktion [%] der Standorte 2018

Standorte 2018	<4 µm [%]	<63 µm [%]	<1 mm [%]	<2 mm [%]	TOC [%]
Uttigenfluh	0.3	21	54.4	100	0.008
Hunzigenau	1.7	85	100.0	100	0.109
Märchligenau	3.2	20.8	98.6	100	0.176
Bern Tiefenau	1.7	12.7	87.6	100	0.217
Steinibach	0.6	3.4	93.7	100	0.554
Halenbrügg	1.6	13.4	98.9	100	0.288
Rewag	1.1	6.7	98.6	100	0.165
Radelfingen	0.3	1.2	99.3	100	0.000
Hagneck-Kanal	3.3	24.2	99.6	100	0.593

3.1.3 Metallanalyse Gesamtsediment 2018

Die folgenden Grafiken (Abbildung 17) stellen die einzelnen Metallkonzentrationen dar, welche vom GBL aus der Gesamtfraktion analysiert wurden. Grün stellt den TEC-Wert (mg/kg TG) dar, rot den PEC-Wert (mg/kg TG) und bordeaux den SQK-Wert (mg/kg TG). Zu beachten ist, dass die SQK-Werte von 4 Metallen vorhanden sind. Die gemessenen Metallkonzentrationen in der Gesamtfraktion waren mehrheitlich gering.

Der Standort Bern-Tiefenau weist mit 10,6 mg/kg TG die höchste Konzentration an Blei auf. Auch die Cadmiumfracht ist in Tiefenau mit 0,11 mg/kg TG am höchsten, gefolgt vom Standort Hagneck-Kanal mit 0.10 mg/kg TG.

Die Chromfracht im Hagneck-Kanal erreicht mit 39 mg/kg TG fast den TEC-Wert, gefolgt vom Standort Bern Tiefenau mit 29 mg/kg TG. Bern Tiefenau überschreitet mit 11,9 mg/kg TG den SQK für Kupfer. Jedoch sind auch hier die anderen Standorte sehr nahe am SQK, wie etwa Uttigenfluh mit 9,1 mg/kg TG und Märchligenau mit 9,1 mg/kg TG.

Die Nickel Konzentration ist an allen Standorten gering, bemerkbar ist Hagneck-Kanal 16 mg/kg TG > Märchligenau 15 mg/kg TG > Bern Tiefenau 14 mg/kg TG > Halbenbrügg 13 mg/kg TG. Auch die Quecksilberkonzentrationen in Bern Tiefenau 0,03 mg/kg TG > Hagneck-Kanal 0.024 mg/kg TG Halenbrügg 0,023 mg/kg TG ist auffallend mit ihrem Peak. Die Zinkfracht ist generell im Vergleich zu den Schwellenwertkonzentrationen gering, jedoch sind auch hier die Standorte Bern Tiefenau 40 mg/kg TG > Hagneck-Kanal 36 mg/kg TG mit ihrer hohen Spitze auffällig. Die Standorte Rewag, Radelfingen, Steinibach sind im Allgemeinen auf die Metallbelastung der Gesamtfraktion eher unauffällig.

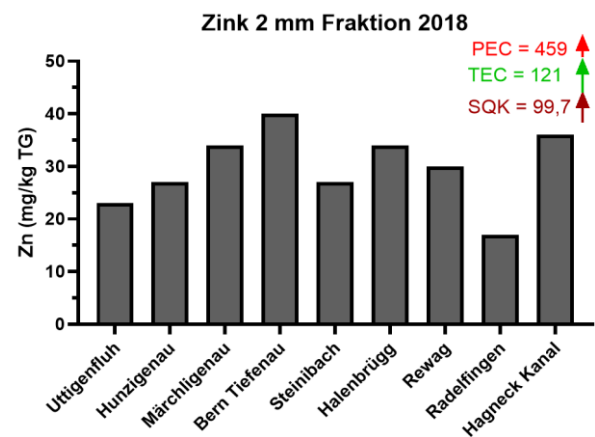
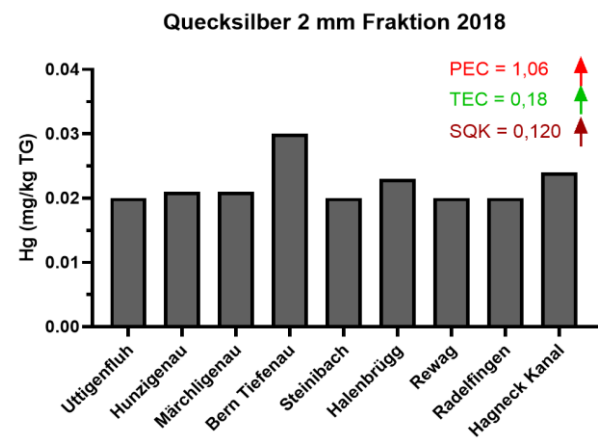
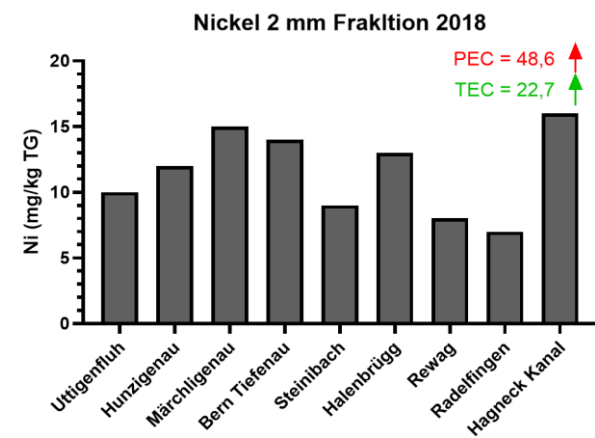
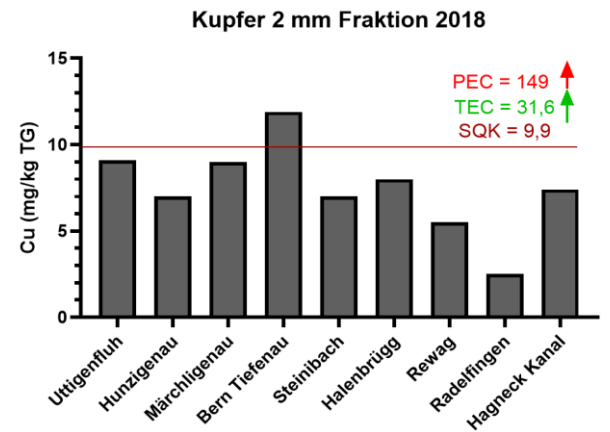
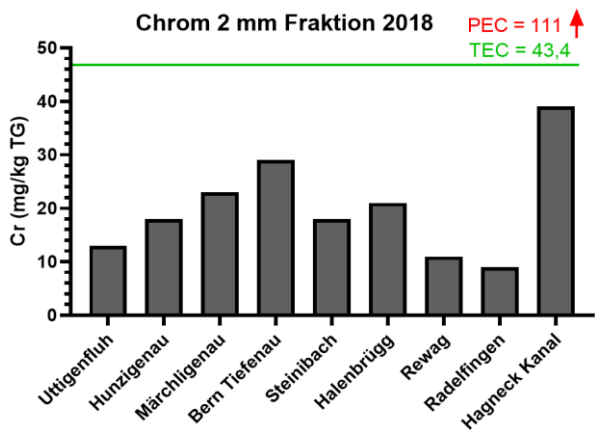
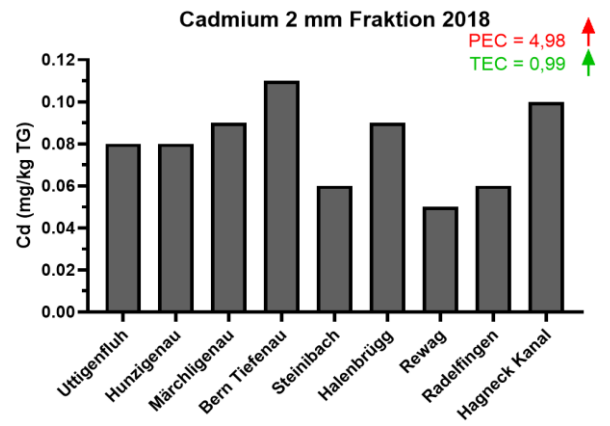
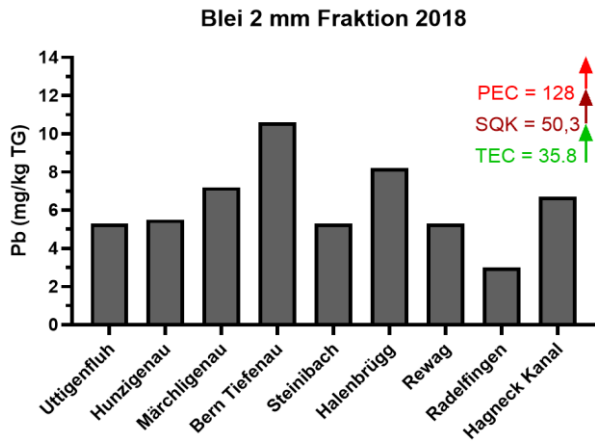


Abbildung 17: Verteilung der in Sedimenten gemessenen Metallkonzentrationen aus der 2-mm-Sedimentfraktion an 9 Untersuchungsstandorten an der Aare 2018. Die Kupferwerte wurden normalisiert. Die unterschiedlichen Schwellenwertkonzentrationen, welche es ermöglichen die Sedimente zu beurteilen, sind als Vergleichszweck beige beigefügt. TEC, SQK und PEC fallen teils aus der Achse heraus, damit sich die Y-Achse in einem Bereich befindet, welcher es ermöglicht, die Trends zwischen den Stichproben zu erkennen. Siehe Text in Grafiken für mehr Details.

3.1.4 Metallanalyse Feinfraktion 2018

Im folgenden Abschnitt (Abbildung 18) sind die Ergebnisse für die Feinfraktion dargestellt. In braun sind die LAWA-Werte (mg/kg TG) dargestellt. Die gemessenen Metallkonzentrationen in der Feinfraktion waren mehrheitlich gering. Die Metallkonzentration hat an keinem der untersuchten Standorte die LAWA-Werte überschritten.

Die Bleikonzentration ist in Uttigenfluh mit 51 mg/kg TG am höchsten. Gefolgt von Rewag 41 mg/kg TG > Bern Tiefenau mit 33 mg/kg TG. Die Cadmiumkonzentration ist am Standort Rewag 0,36 mg/kg TG > Uttigenfluh 0,35 mg/kg TG am höchsten. Bern Tiefenau, und Bern Steinibach weisen dieselbe Konzentration von 0,31 mg/kg TG auf. Die Chromkonzentration war an allen Standorten ähnlich hoch und befindet sich zwischen 43mg/kg TG und 61 mg/kg TG. Die Kupferfracht hat in Uttigenfluh mit 56 mg/kg TG > Rewag 55 mg/kg TG knapp den LAWA-Wert erreicht. Auch Bern Tiefenau ist mit 43 mg/kg TG Kuper eher hoch. Die Nickelkonzentration befindet sich an allen Standorten in einer analogen Konzentration zwischen 30 - 41 mg/kg TG. Die Quecksilberkonzentration in Rewag erreicht mit 0,405 mg/kg TG eine auffällige Spitzenkonzentration, gefolgt von Bern Tiefenau mit 0,194 mg/kg TG. Die Zinkkonzentration in Rewag erreicht mit 185 mg/kg TG fast den LAWA-Wert, aber auch Tiefenau mit 133 mg/kg TG ist auffällig hoch. Die Standorte Hunzigenau, Märchigenau, und Bern Halenbrügg sind generell unauffällig in Bezug auf die Metallbelastung der Feinfraktion.

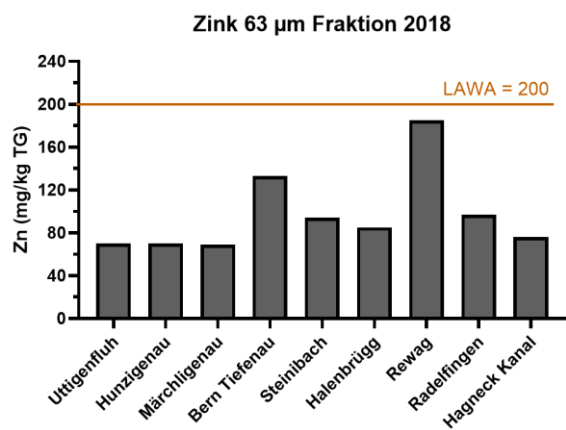
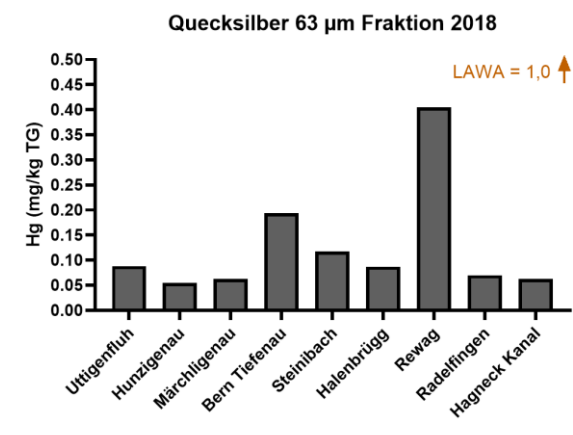
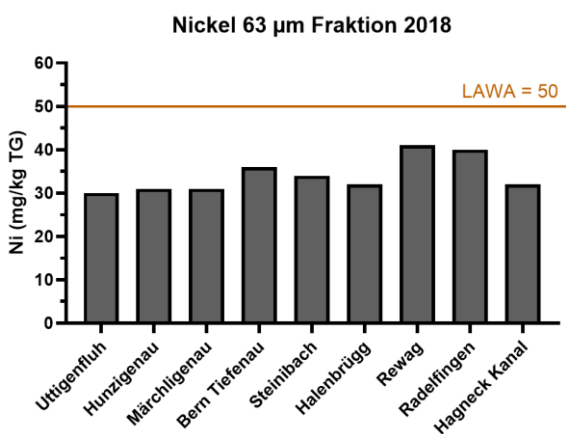
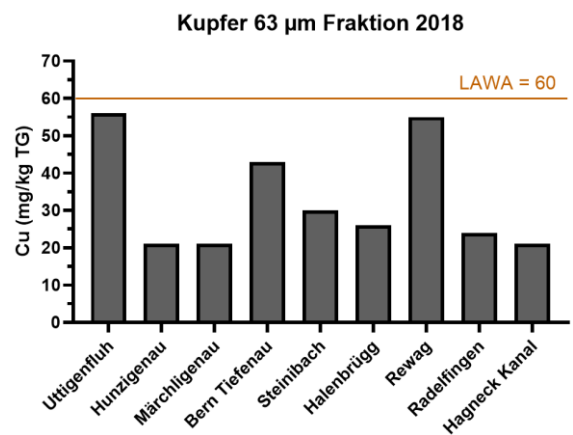
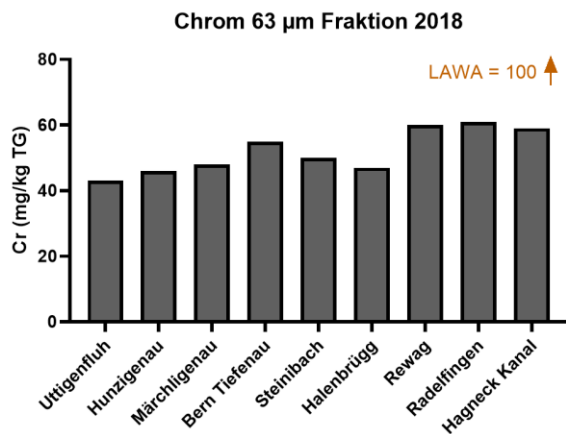
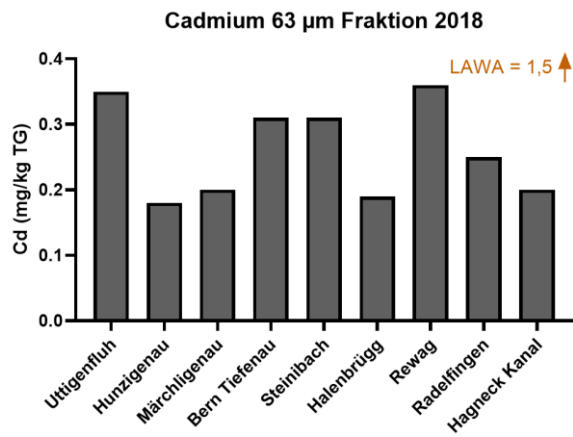
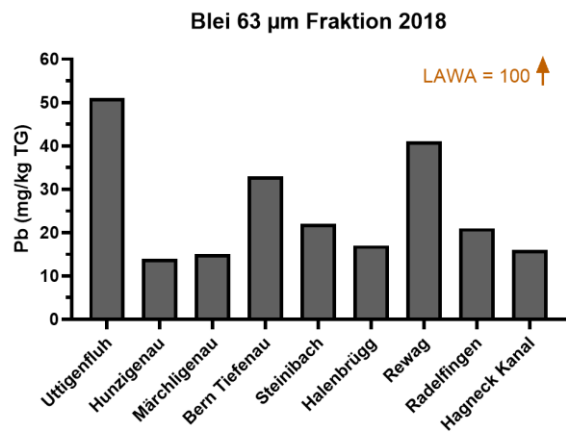


Abbildung 18: Verteilung der in Sedimenten gemessenen Metallkonzentrationen aus der 63-µm-Sedimentfraktion an 9 Untersuchungsstandorten an der Aare 2018. Die LAWA-Werte fallen teils aus der Achse heraus, da die Y-Achse sich in einem Bereich befindet, welche es ermöglicht, die Trends zwischen den Stichproben zu erkennen. Siehe Text in Grafiken für mehr Details.

3.2 Kampagne 2022

Im folgenden Abschnitt sind die Ergebnisse aus dem Jahr 2022 aufgeführt. Es handelt sich um die Sedimente aus dem unteren Abschnitt der Aare zwischen Bielersee und Rhein (Kantone Bern, Solothurn und Aargau). Aufgrund der zeitlichen Verfügbarkeit der Analyse der Universität Bern, konnten die Daten der Korngrößenverteilung sowie der TOC-Gehalt nicht in diese Arbeit aufgenommen werden.

3.2.1 Überlebens- und Wachstumstest mit dem Ostrakoden *H. incongruens* gemäss ISO 14371

Die Kontrollen erfüllten die Validitätskriterien nach ISO 14371. Die Sterblichkeit der Kontrolle betrug weniger als 20% und die mittlere Länge (in μm) der Ostrakoden nahm mindestens um das 1,5-fache zu. Die Überlebensrate im Kontrollsediment betrug $93,6\% \pm 1,4\%$. Die vollständigen Ergebnisse der ökotoxikologischen Bewertung mittels Süsswasser Ostrakoden sind im Anhang A3 und A4 zu finden.

In Abbildung 19 ist die mittlere prozentuale Sterblichkeit der Ostrakoden dargestellt. Die Standorte sind nach der Fliessrichtung der Aare flussabwärts (Bielersee bis Rhein) angeordnet. An den Teststandorten Felsnau (24%) und Rapperswil (22%) wurde der Toxizitätsschwellenwert der Mortalität von 20% überschritten. Die restlichen Standorte weisen eine prozentuale Sterblichkeit zwischen 87% und 97% auf.

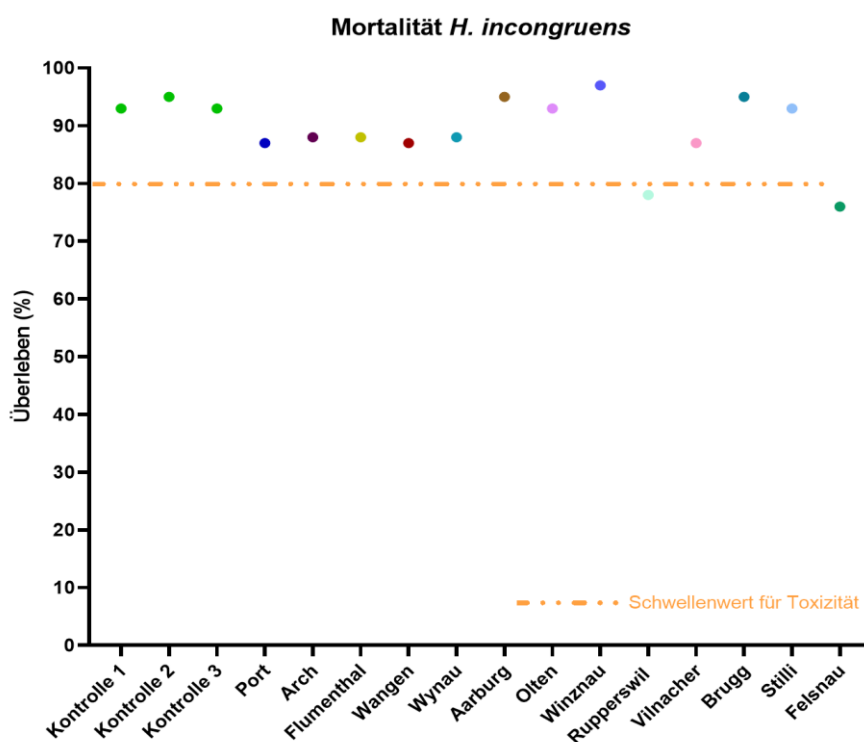


Abbildung 19: durchschnittliche Überlebensrate von *H. incongruens* aus den 2022 Testgebieten und den Kontrollsedimenten. Die orange Linie zeigt einen Effektquotienten EQ = 1, der 80% des Wachstums der Kontrolle entspricht (Toxizitätsschwelle von 20% der Mortalität).

In der Abbildung 20 ist der mittlere Prozentsatz der Wachstumsinhibition relativ zur Kontrolle dargestellt. Die Toxizitätsschwelle für die Wachstumshemmung von 35% wurde an keinem der Standorte überschritten. Die mit Stern gekennzeichneten Standorte, unterschieden sich im Ostrakoden-Test signifikant von der entsprechenden Kontrolle. Die Standorte Wangen, Vlnacher und Felsnau weisen einen Signifikanzwert (p -Wert) $< 0,01$ zur Kontrolle auf. Die Standorte Arch, und Stilli weisen einen p -Wert $< 0,001$ auf. Winznau und Rapperswil weisen einen p -Wert $< 0,0001$ auf. Winznau (31,9%) und Rapperswil (30,1%) sind die Standorte, an welchen die Wachstumsinhibition der Ostrakoden knapp unterhalb des Toxizitätsschwellenwerts von 35 % liegt.

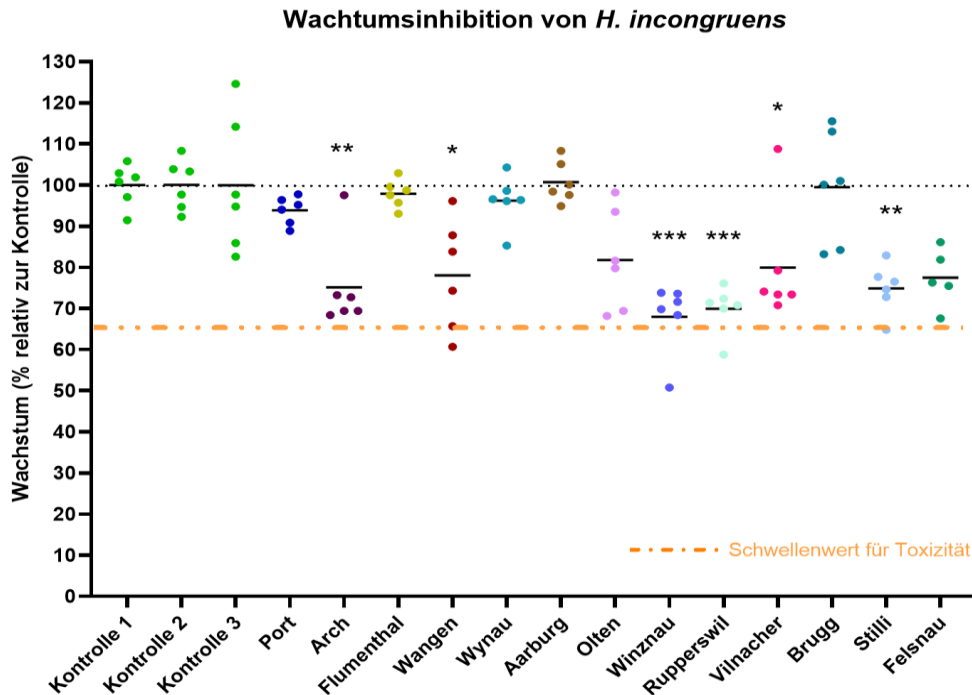


Abbildung 20: Wachstum von *H. incongruens*, die den Sedimenten der Aare (Port bis Felsnau) ausgesetzt waren, ausgedrückt in % im Vergleich zum Wachstum der *H. incongruens* im Referenzsediment (100%). Die orange Linie zeigt einen Effektquotienten EQ = 1, der 65% des Wachstums der Kontrolle entspricht (Toxizitätsschwelle von 35% der Wachstumsinhibition). * zeigt an, dass sich die Proben signifikant von der Kontrolle unterscheiden (Brown-Forsythe-Test ANOVA-Test*** p-Wert < 0,0001** p-Wert < 0,001, * p-Wert < 0,01, ns > 0,9999). Kein Sediment verursachte bei *H. incongruens* eine Wachstumshemmung oberhalb der Toxizitätsschwelle von 35%.

3.2.2 Ergebnisse des chronischer Toxizitätstest mit *C. riparius*

Im folgenden Abschnitt sind die Resultate des erweiterte Süßwassersediment-Wasser-Toxizitätstest mittels Chironomiden gemäss AFNOR 90-339 dargestellt. Für diesen Test wurden Sedimente aus den Standorten Port, Olten, Winznau, Ruppertswil und Felsnau verwendet.

Die Kontrolle erfüllte die AFNOR Validitätskriterien. Die prozentuale Emergenz im Kontrollsediment lag über 70% (Association française de normalisation, 2004). Die vollständigen Ergebnisse der ökotoxikologischen Bewertung mittels *C. riparius* inklusive Emergenz pro Standort entsprechend Replikate sind im Anhang B3 zu finden.

Die Ergebnisse aus dem Toxizitätstest zeigten keine Effekte gegenüber den Sedimenten aus den unterschiedlichen Teststandorten. In der Abbildung 21 ist die mittlere kumulative Anzahl der Emergenz der unterschiedlichen Teststandorte dargestellt. Die Kontrolle weist im Vergleich zu den restlichen Teststandorten die geringste Emergenz auf, gefolgt von Standort Port. Die Emergenz der Kontrolle stagnierte bereits nach dem 22. Testtag. Nach 25 Tagen stagnierte die Emergenz an allen Teststandorten.

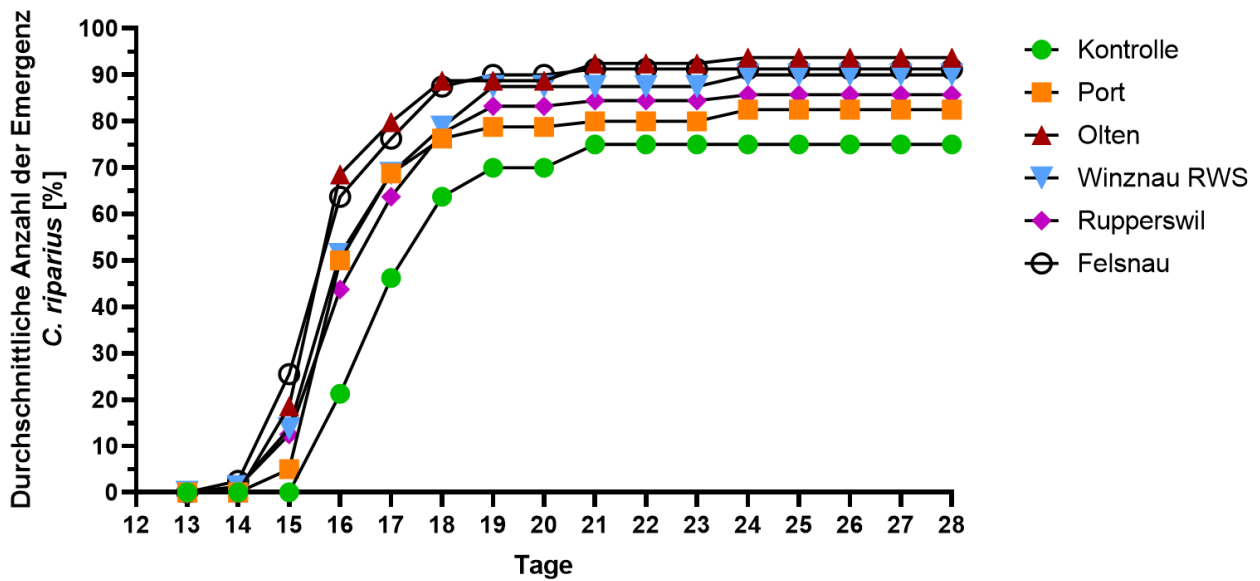


Abbildung 21: Mittlere kumulative Anzahl der Emergenz *C. riparius* verschiedene Standorte von 2022. Keine Signifikanz.

Abbildung 22 stellt die Emergenz pro Standort relativ zur Kontrolle dar. Die Standorte sind nach der Fließrichtung der Aare flussabwärts (Bielersee bis Rhein) angeordnet. An keinem der Standorte wurde eine Emergenz beobachtet, welche sich signifikant von derjenigen Kontrolle unterschied. Keiner der Standorte hat den Schwellenwert für die Emergenz von 32% überschritten.

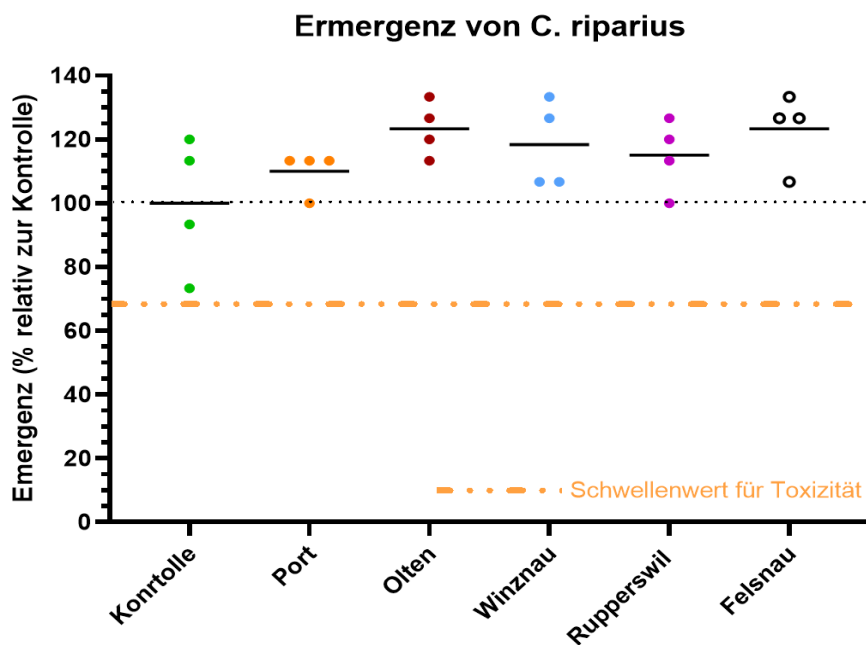


Abbildung 22: Emergenz von *C. riparius*, die den Sedimenten von 2022 der Aare ausgesetzt waren, ausgedrückt in % im Vergleich zur Emergenz der *C. riparius* im Referenzsediment (100%). Die orange Linie zeigt einen Effektquotient EQ = 1, der 68% der Emergenz (Toxizitätsschwelle 32% Emergenz-Inhibition). Nach Brown-Forsythe-Test sind die Standorte nicht Signifikant (ns) zur Kontrolle (ns > 0.9999 A-NOVA)

3.2.3 Metallanalyse Gesamtfraktion 2022

Die folgenden Grafiken (Abbildung 23) stellen die einzelnen Metallkonzentrationen der Gesamtsedimentfraktion (2-mm) der Strandorte zwischen Bielersee und Rhein (deren Probenahme Teil des Projekts war) dar, welche vom GBL aus der Gesamtfraktion analysiert wurde. Grün stellt den TEC-Wert (mg/kg TG) dar, rot den PEC-Wert (mg/kg TG) und bordeaux den SQK-Wert (mg/kg TG), dar. Die gemessenen Metallkonzentrationen in der Gesamtfraktion waren mehrheitlich gering. Zu beachten ist, dass die SQK Werte von 4 Metalle vorhanden sind.

Der Standort Port (10,05 mg/kg TG) verfügt über die höchste Bleikonzentration gefolgt von Felsnau, Olten und Arch, während die übrigen Standorte niedrigere Bleikonzentrationen zwischen 4 und 6 mg/kg TG aufweisen. Die Konzentrationen befinden sich dennoch strakt unter dem SQK und dem TEC-Wert, welcher sich unter dem SQK befindet. Der Standort Brugg weist im Vergleich zu den anderen Standorten mit 0,25 mg/kg eine auffällige Spitzenkonzentration von Cadmium auf, gefolgt von Arch, Wangen und Port, jedoch liegen die Werte weit unter dem TEC-Wert von 0,99 mg/kg TG.

Die Chromkonzentration ist an allen Standorten ähnlich hoch, jedoch verfügt Olten (21.32 mg/kg TG) über die höchste Konzentration gefolgt von Wangen > Arch > Rapperswil.

Der SQK-Wert für Kupfer (9,9 mg/kg TG) wurde in Port, Olten und Arch überschritten, aber die Konzentrationen lagen knapp über dem SQK. Die Nickelkonzentrationen sind an allen Standorten ähnlich, wobei die Standorte Olten > Wangen > Arch hier auffällig sind. Der Standort Arch erreicht mit 0.085 fast den SQK für Quecksilber, wobei die anderen Standorte eher unauffällig sind. Die Zinkkonzentration ist in Arch > Port > Olten, gefolgt von Rapperswil, Wangen und Felsnau höher als an den anderen Standorten, aber immer noch unauffällig, da keine Grenzwerte überschritten werden.

Die Gesamtfraktion aus den Standorten Wynau, Aarbrug und Vilnacher verfügen generell über eine geringe Belastung an Metallen, ebenso Brugg mit der Ausnahme der Cadmiumkonzentration.

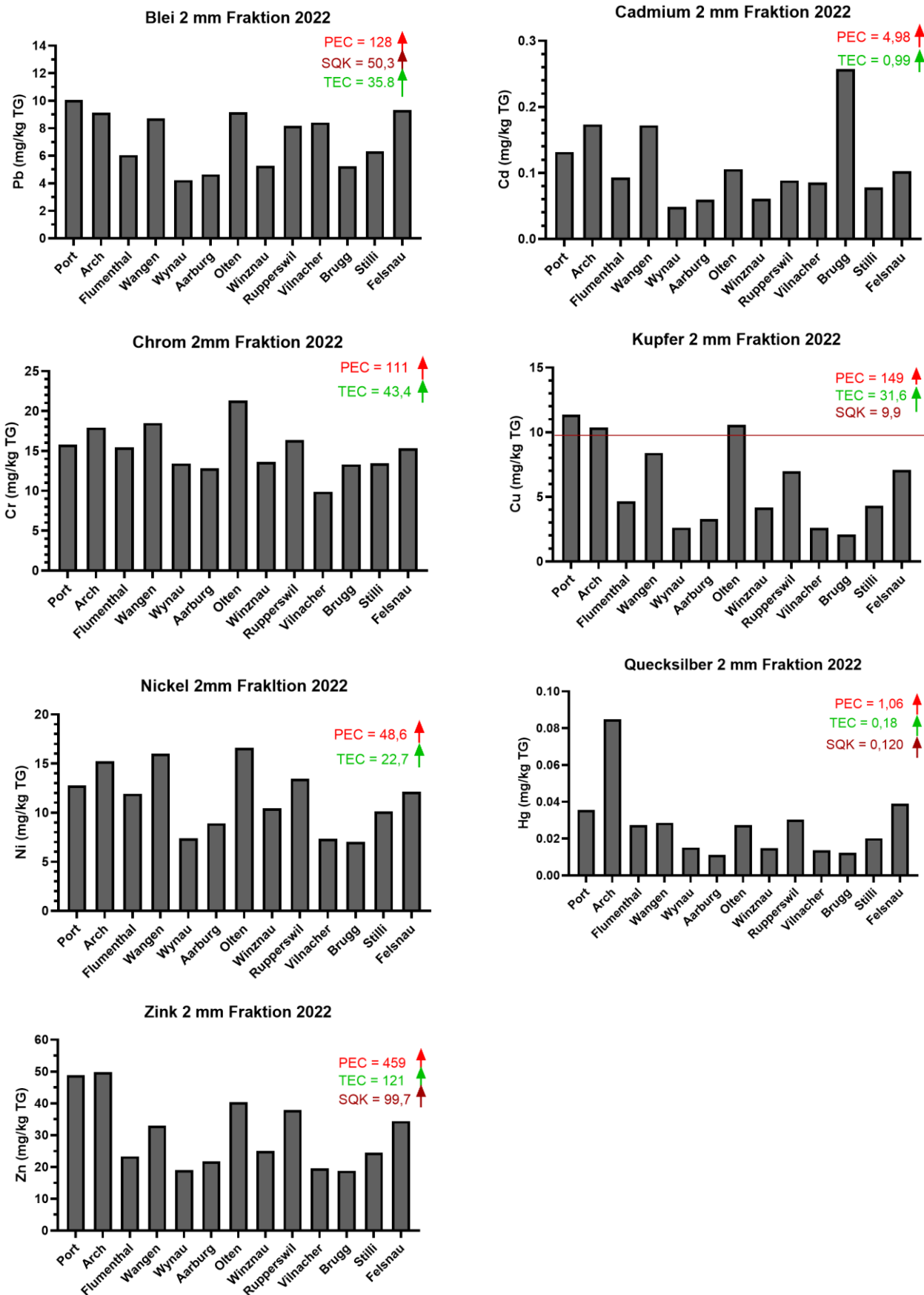


Abbildung 23: Verteilung der in Sedimenten gemessenen Metallkonzentrationen aus der 2-mm-Sedimentfraktion an 13 Untersuchungsstandorten an der Aare 2022. Die Kupferwerte wurden nicht normalisiert. Die unterschiedlichen Schwellenwertkonzentrationen, welche es ermöglichen die Sedimente zu beurteilen, sind als Vergleichszweck beigefügt. TEC, SQK und PEC fallen teils aus der Achse heraus, damit sich die Y-Achse in einem Bereich befindet, welcher es ermöglicht, die Trends zwischen den Stichproben zu erkennen. Siehe Text in Grafiken für mehr Details.

3.2.4 Metallanalyse Feinfraktion 2022

Im folgenden Abschnitt (Abbildung 24) sind die Ergebnisse für die Feinfraktion dargestellt. In braun sind die LAWA-Werte dargestellt. Die gemessenen Metallkonzentrationen in der Feinfraktion waren mehrheitlich gering. Die Metallkonzentration hat an keinem der untersuchten Standorte die LAWA-Werte überschritten.

Der Standort Felsnau weist mit 37,30 mg/kg TG die mit Abstand höchste Bleikonzentration auf, gefolgt vom Vilnacher mit 27,51 mg/kg TG und den übrigen Standorten mit ähnlichen Werten, mit Ausnahme von Brugg, das weit unter diesen Werten lag. Die Cadmiumkonzentration ist in Port > Arch > Stilli \geq Felsnau ähnlich hoch, wobei Olten, Aarbrug, Winznau und Brugg ähnliche Cadmiumwerte aufweisen wie Felsnau (0,24 - 0,27 mg/kg TG). In Olten wird eine Spitzenkonzentration an Chrom mit 44,48 mg/kg TG gemessen, gefolgt von Felsnau, Aarburg und Port. Die Kupferkonzentration ist in Arch 35,2 mg/kg TG > Felsnau 34,9 mg/kg TG und Port ähnlich hoch, aber auch Olten, Aarburg und Winznau sind ähnliche Konzentrationen vorhanden (29,8 - 31,7 mg/kg TG). Für Nickel sind die Werte eher homogen verteilt abgesehen vom Standort Brugg, wobei der Trend und die Variabilität sehr ähnlich wie für Chrom sind. Die Quecksilberbelastung erreicht in Felsnau mit 0,22 mg/kg TG eine auffällige Spitzenfracht, gefolgt vom Standort Flumenthal mit 0,18 mg/kg TG. Auch für die Zinkfracht hat der Standort Felsnau die höchste Konzentration (133,82 mg/kg TG) gefolgt vom Standort Olten (124,91 mg/kg TG), wobei die Standorte Port < Aarburg < Winznau und Arch sich in einem ähnlichen Bereich befinden. Die Standorte Wangen, Wynau und Brugg scheinen mehrheitlich für die Metallbelastung der Feinfraktion eher unauffällig zu sein.

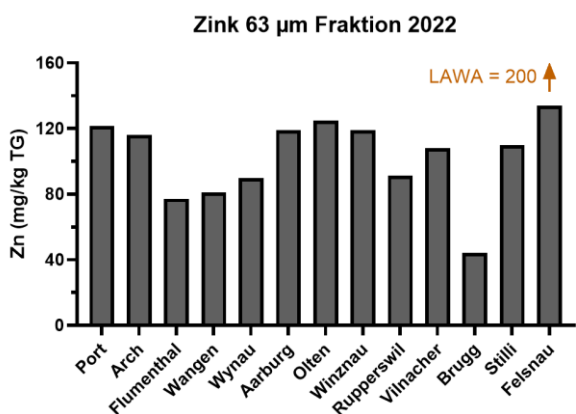
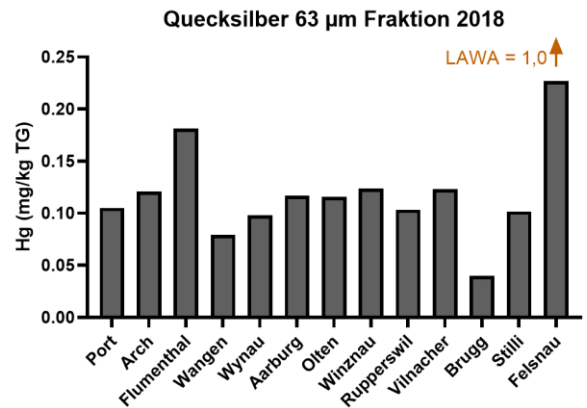
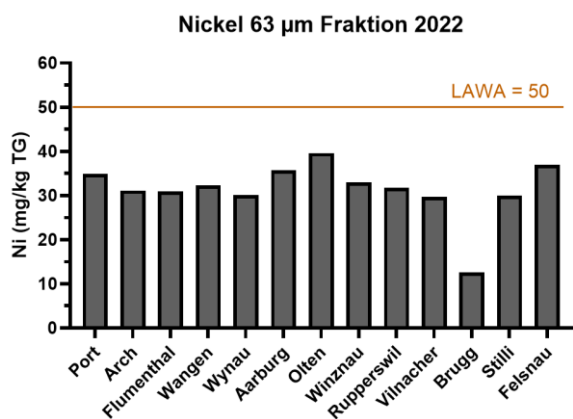
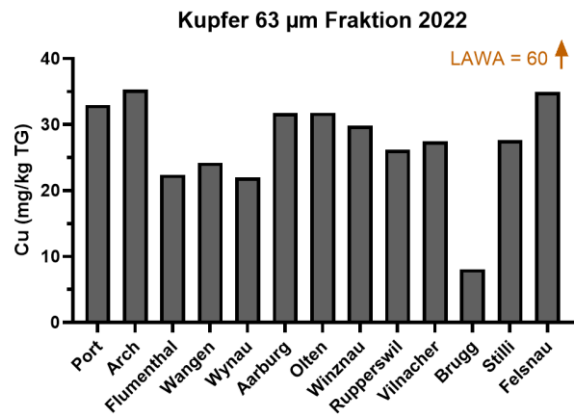
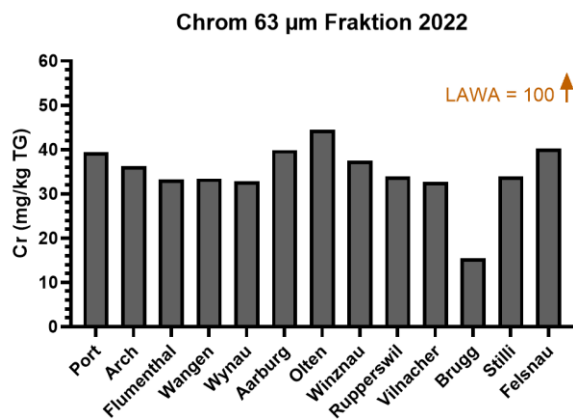
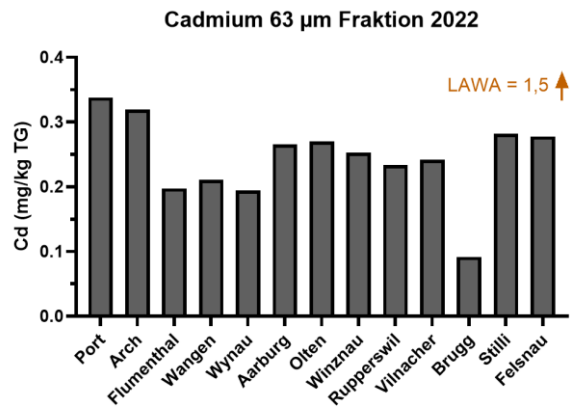
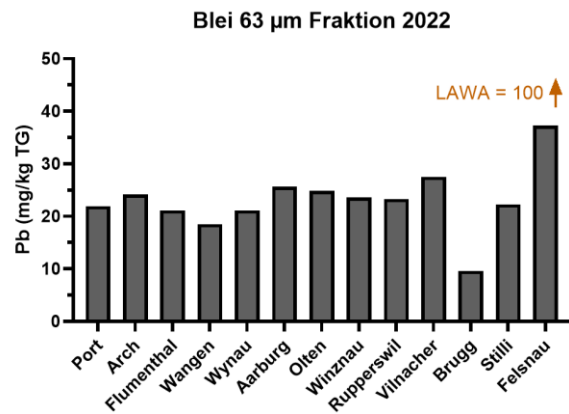


Abbildung 24: Verteilung der in Sedimenten gemessenen Metallkonzentrationen aus der 63-µm-Sedimentfraktion an 13 Untersuchungsstandorten an der Aare 2022. Die LAWA-Werte fallen teils aus der Achse heraus, da die Y-Achse sich in einem Bereich befindet, welche es ermöglicht, die Trends zwischen den Stichproben zu erkennen. Siehe Text in Grafiken für mehr Details.

3.3 Fazit der Sedimentanalyse und kartografische Darstellung der Aare

Abbildung 25 und Abbildung 26 stellen die Aare, ab dem regulierten Thunersee-Abfluss bis zum Felsnau kartografisch dar, zusammen mit den Standorten welche 2018 (Uttigenflu, Hunzigenau, Märchigenau, Bern Tiefenau, Steinibach, Halenbrügg, Rewag, Radelfingen, Hagneck Kanal) und 2022 (Port, Arch, Flumenthal, Wangen, Wynau, Aarburg, Olten, Winznau, Rapperswil, Vlnacher, Brugg, Stilli, Felsnau) beprobt wurden. Ferner sind die Einleitstellen der ARAs eingetragen, welche sich in der Nähe der Aare befinden. Zudem sind die Nebenflüsse, welche in die Aare münden eingezeichnet, welche zu Verdünnungen führen können. Standorte, welche einen Toxizitätsschwellenwert in den Bioassays überschritten haben, sind markiert, gemäss EQ berechnet (Tabelle 9) und mit dem entsprechenden Farbcode bewertet. Ebenfalls sind die Standorte welche Überschreitungen der Schwellenwertkonzentrationen von Metallen aufweisen, gemäss RQ berechnet (Tabelle 10) und mit dem entsprechenden Farbcode bewertet. Da in Anbetracht der Metallanalyse, nur der SQK von Kupfer überschritten wurden, wurden hinsichtlich der Metallkonzentrationen nur diese Standorte markiert.

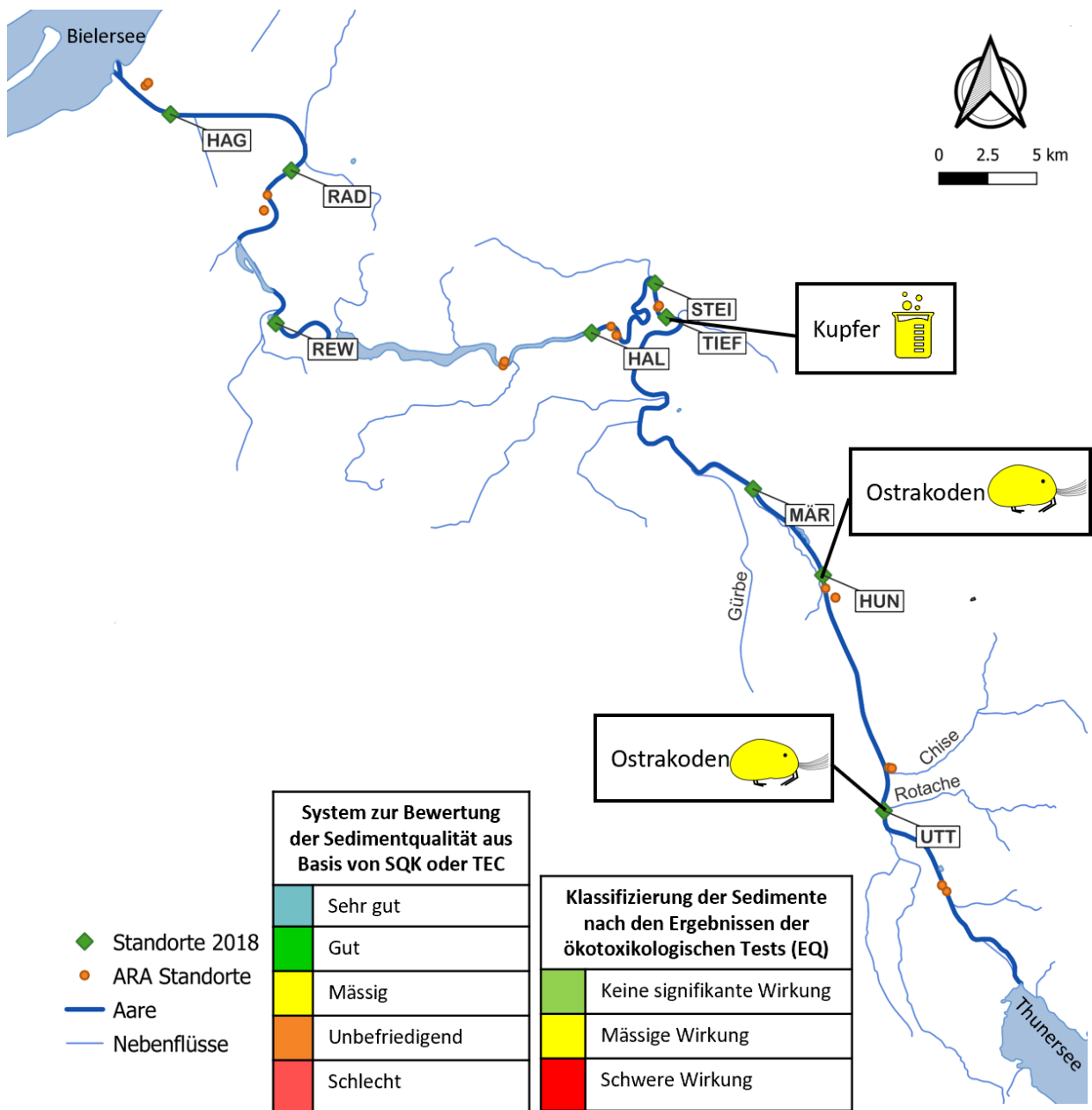


Abbildung 25: Chemische und ökotoxikologische Bewertung der Aare. Kartografische Darstellung ab Thunersee-Abfluss bis Bielersee. Eigene Darstellung mittels QGIS. Siehe Text in Grafiken für mehr Details.

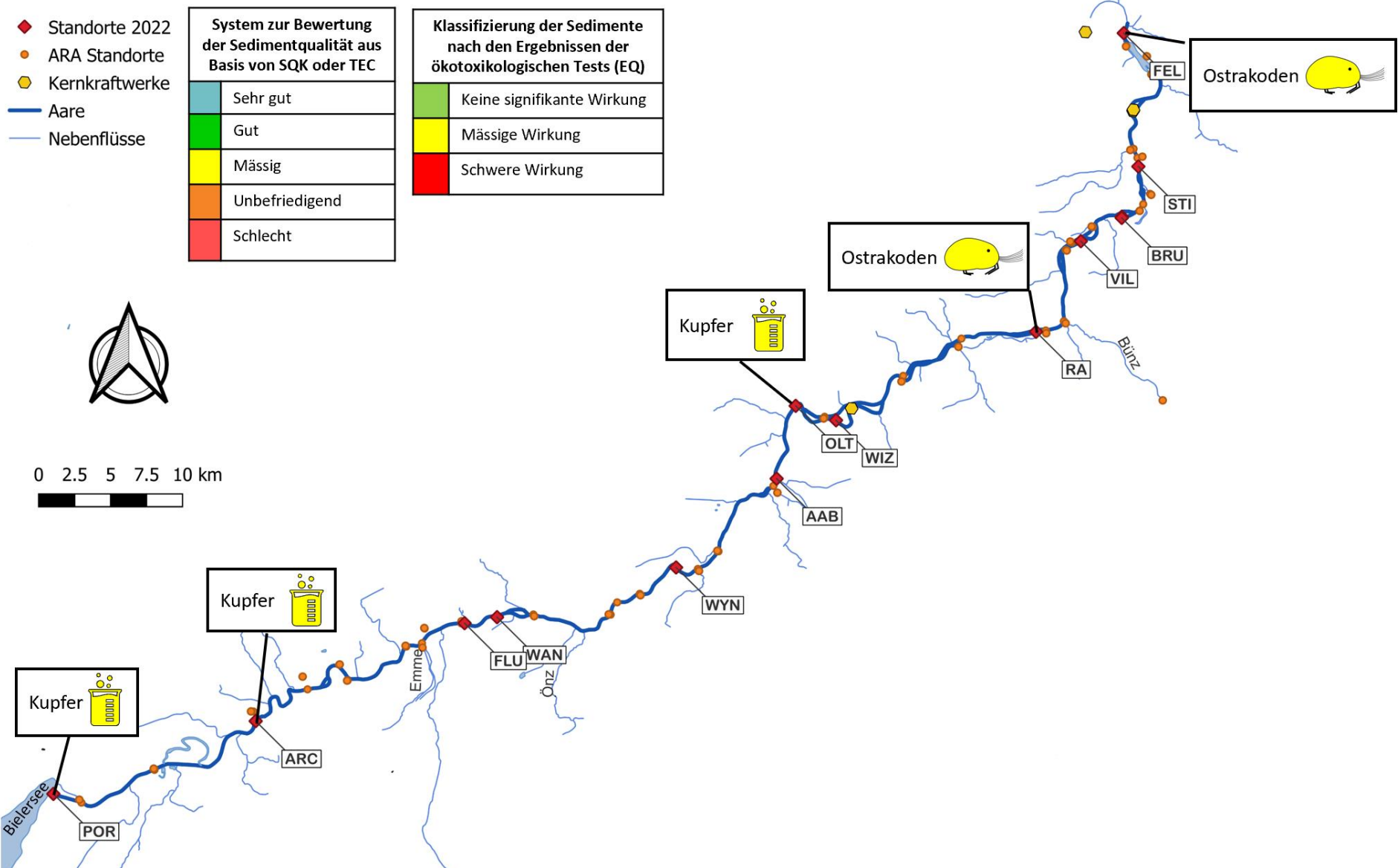


Abbildung 26: Chemische und ökotoxikologische Bewertung der Aare. Kartografische Darstellung ab Bielersee bis Felsnau. Eigene Darstellung mittels QGIS. Siehe Text in Grafiken für mehr Details.

Die Tabelle 14 stellt das Fazit der Interpretation der chemischen Analyse nach dem RQ für die Metalle dar. Dazu wurde die Farbskala verwendet wie in Tabelle 10 beschreiben. Parallel dazu ist die 63- μ m-Fraktion in weiss dargestellt. Die Ergebnisse stellen ein umfassendes Bild der chemischen Kontaminationen an den untersuchten Abschnitten dar, auf Grundlage der Stoffe, welche in dieser Studie analysiert wurden. Es wurden an vier Standorten (Bern Tiefenau, Port, Arch und Olten) höhere Konzentrationen von Metallen gemessen. Bei jedem dieser Standorte würde die SQK für Kupfer überschritten. Die Qualität für Cadmium ist an fast allen Standorten sehr gut. Auch die Konzentration der restlichen Metalle befindet sich, an allen anderen Standorten, in einem guten Bereich.

Tabelle 14: Gemessene Konzentrationen für Metalle (mg/kg Trockengewicht) in den Sedimenten der Aare. Die 2-mm-Fraktion ist nach dem RQ (siehe Tabelle 10 für Farbskala) eingeteilt. Parallel dazu ist die 63- μ m-Fraktion in weiss dargestellt.

Metalle	← Cu →		← Pb →		← Hg →		← Zn →		← Cd →		← Cr →		← Ni →	
	2 mm	63 μ m	2 mm	63 μ m	2 mm	63 μ m	2 mm	63 μ m	2 mm	63 μ m	2 mm	63 μ m	2 mm	63 μ m
2018 Standorte														
Uttigenfluh	9.1	56	5.3	51.0	0.02	0.088	23.0	70.0	0.08	0.35	13	43.00	10.0	30.0
Hunzigenau	7.0	21	5.5	14.0	0.021	0.055	27.0	70.0	0.08	0.18	18	46.00	12.0	31.0
Märchligenau	9.0	21	7.2	15.0	0.021	0.063	34.0	69.0	0.09	0.20	23	48.00	15.0	31.0
Bern Tiefenau	11.9	43	10.6	33.0	0.03	0.194	40.0	133.0	0.11	0.31	29	55.00	14.0	36.0
Bern Steinibach	7.0	30	5.3	22.0	0.02	0.117	27.0	94.0	0.06	0.31	18	50.00	9.0	34.0
Bern Halenbrügg	8.0	26	8.2	17.0	0.023	0.087	34.0	85.0	0.09	0.19	21	47.00	13.0	32.0
Rewag	5.5	55	5.3	41.0	0.02	0.405	30.0	185.0	0.05	0.36	11	60.00	8.0	41.0
Radelfingen	2.5	24	3.0	21.0	0.02	0.070	17.0	97.0	0.06	0.25	9.0	61.00	7.0	40.0
Hagneck Kanal	7.4	21	6.7	16.0	0.024	0.063	36.0	76.0	0.10	0.20	39	59.00	16.0	32.0
2022														
Port	11.4	33	10.1	22.0	0.036	0.105	48.9	121.5	0.13	0.34	15.8	39.41	12.8	34.9
Arch	10.4	35	9.1	24.2	0.085	0.121	49.8	115.9	0.17	0.32	17.9	36.29	15.2	31.1
Flumenthal	4.6	22	6.0	21.2	0.027	0.181	23.3	77.2	0.09	0.20	15.4	33.22	11.9	30.9
Wangen	8.4	24	8.7	18.5	0.029	0.079	33.0	81.0	0.17	0.21	18.5	33.43	16.0	32.3
Wynau	2.6	22	4.2	21.2	0.015	0.098	19.0	89.8	0.05	0.19	13.4	32.84	7.4	30.1
Aarburg	3.3	32	4.6	25.6	0.011	0.117	21.7	119.0	0.06	0.27	12.8	39.87	8.9	35.7
Olten	10.6	32	9.2	24.9	0.027	0.116	40.3	124.9	0.11	0.27	21.3	44.48	16.6	39.6
Winznau	4.2	30	5.3	23.6	0.015	0.124	25.0	118.8	0.06	0.25	13.6	37.46	10.4	33.0
Rupperswil	7.0	26	8.2	23.3	0.030	0.103	38.0	91.2	0.09	0.23	16.4	33.96	13.5	31.7
Vilnacher	2.6	27	8.4	27.5	0.014	0.123	19.6	108.0	0.09	0.24	9.9	32.72	7.3	29.7
Brugg	2.1	8	5.2	9.6	0.012	0.040	18.8	44.1	0.26	0.09	13.3	15.50	7.0	12.6
Stilli	4.3	28	6.3	22.3	0.020	0.102	24.5	109.8	0.08	0.28	13.4	33.96	10.1	30.0
Felsnau	7.1	35	9.3	37.3	0.039	0.227	34.4	133.8	0.10	0.28	15.4	40.25	12.1	36.9
SQK	9.9		50.3		0.102		99.7							
TEC									0.99		43.4		22.7	
LAWA		60		100		1.0		200		1.5		100		50

4 Diskussion

Ziel dieser Studie war eine Bewertung der Qualität von Sedimenten aus der Aare gemäss der «Strategie zur Bewertung der Sedimentqualität in der Schweiz» (Casado et al., 2021). Gemäss dieser Strategie sieht die erste Stufe die chemische Analyse und einen Vergleich mit den SQK vor. Im Falle einer Überschreitung wird die Bewertung auf Stufe 2 fortgesetzt, in der eine Verfeinerung der Analyse mittels ökotoxikologischen Tests durchgeführt wird. Diese Biotests ermöglichen, potenzielle Auswirkungen auf benthische Organismen zu bewerten. In dieser Studie wurden Sedimente an 22 Standorten ab dem regulierten Thunersee-Abfluss (mit Kraftwerk Thun) bis Felsnau entnommen. Die Sedimente aus der Aare wurden hinsichtlich des Metallgehalts in der 2-mm-Fraktion und der <63-µm-Fraktion charakterisiert. Die 2-mm-Fraktion, die als Gesamtfraktion betrachtet wird, wurde mit dem SQK-Wert (falls vorhanden) oder alternativ mit den Schwellenwerten (TEC) verglichen, um das potenzielle Risiko von Auswirkungen auf benthische Organismen zu bewerten. Darüber hinaus wurde die 2. Stufe als Verfeinerung der Bewertung auf der Grundlage der chemischen Sedimentanalyse durchgeführt. Hierfür wurden standardisierte ökotoxikologische Tests im Labor mit Organismen *H. incongruens* (ISO 14371) und an einigen ausgewählten Standorten mit *C. riparius* (AFNOR 90-339) bewertet. Parallel dazu wurden die Metallkonzentrationen in der <63-µm-Fraktion gemessen, die traditionell zur Überwachung der Metallkontamination in Sedimenten verwendet wird. Insbesondere um zeitliche und räumliche Trends der Kontamination zu bewerten. Da die Daten von 2018 für die Korngrößenverteilung und den TOC-Gehalt vorhanden waren, konnten diese für die chemische Interpretation verwendet werden. Aufgrund der zeitlichen Verfügbarkeit der Analyse konnten diese Daten für 2022 nicht verwendet werden.

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse diskutiert. Zum einen wird der Zustand der Aare mit anderer Literatur und anderen Gewässern in der Schweiz verglichen. Zum anderen werden die Metallkonzentrationen der Feinfraktion aus den letzten Jahren verglichen, um so ein globales Bild des aktuellen Zustandes zu erhalten.

4.1 Gesamtbewertung der Ökotoxikologie der Sedimente der Aare

Die Tabelle 15 zeigt die Gesamtbeurteilung der Sedimentqualität der Aare, aus den letzten Kampagnen (2018 und 2022). Für die ökotoxikologische Bilanzierung durch Vergleich der gemessenen Metallkonzentrationen mit dem SQK wurde der Farbcode in Tabelle 10 übernommen. Zusätzlich wurde das Effektivverhältnis anhand des ökotoxikologischen Risikos aus den ökotoxikologischen Tests berechnet, wie in Tabelle 9 beschrieben.

Der Vergleich, der in der 2-mm-Fraktion gemessenen Metallkonzentrationen mit dem entsprechenden SQK ergab an vier Standorten (Bern Tiefenau, Port, Arch und Olten) eine mässige Qualität, wobei alle vier, den entsprechenden SQK für Kupfer überschritten.

Vergleicht man die Metallanalyse der Gesamtfraktion der Aare, mit den Konzentrationen, die in dieser Fraktion in anderen Gewässertypen in der Schweiz gemessen wurden, so stellt man fest, dass die Konzentrationen der Metalle in der Aare relativ niedrig sind. Die Konzentrationen in den Sedimenten sind viel niedriger als die im Stockalperkanal und im Canal du Bras Neuf im Wallis (Beauvais et al., 2020). Es ist deutlich, dass diese Kanäle viel höhere Konzentrationen an Kupfer, Nickel und Zink aufweisen und deshalb als "unbefriedigender" eingestuft werden. Die Aare weist auch im Vergleich zu den landwirtschaftlich genutzten Bächen geringere Metallkonzentrationen auf. Die Konzentrationen einiger Metalle in den fünf untersuchten Bächen (Le Bainoz, Chrümmlisbach, Weierbach, Hoobach und Eschelisbach) waren doppelt so hoch wie jene der Aare (Casado-Martinez et al., 2019).

Gemäss der Strategie wird bei einer Überschreitung der SQK eine Verfeinerung der Bewertung vorgeschlagen, zum Beispiel mit ökotoxikologischen Bioassays. In den Bioassays welche an Ostrakoden und Chironomiden durchgeführt wurden, konnte jedoch keine Toxizität nachgewiesen werden. Im Gegenteil zu den

Sedimenten der Standorte Uttigenfluh, Hunzigenau, Winznau und Felsnau, welche einen Anstieg der Mortalität oberhalb der Toxizitätsschwelle von 20% bei Ostrakoden verursachten, was farblich in der Tabelle 15 mit einem EQ > 1 hervorgehoben wird. Diesbezüglich kommt es nicht zu einer Übereinstimmung zwischen der Bewertung der Sedimentqualität anhand der Metallkonzentrationen und dem Vergleich mit den SQK/TEC-Werten und den Ergebnissen der Toxizitätstests im Labor. Dieses, im Prinzip widersprüchliche Ergebnis, lässt sich durch mehrere Gründe erklären.

Erstens sind die SQK absichtlich konservativ abgeleitet. Wenn die SQK nicht überschritten werden, ist der Stoff unbedenklich und es werden keine Auswirkungen auf die Testorganismen erwartet. Eine Überschreitung der gemessenen Konzentration bedeutet nicht, dass eine Wirkung eintreten wird, da dies von vielen Faktoren abhängt. Einer dieser Faktoren ist die Bioverfügbarkeit. Für Kupfer werden Bioverfügbarkeitskorrekturen für TOC-Konzentration berücksichtigt. Die SQK wurden für ein Worst-Case-Szenario von 1% TOC abgeleitet; wenn der TOC-Wert höher als 1% ist, sollte eine Korrektur/Normalisierung vorgenommen werden, wodurch sich die Bioverfügbarkeit von Kupfer und der RQ verringern (Casado-Martinez et al., 2016a). Hier wurde der RQ für Kupfer an allen Standorten unter der Annahme von 1% TOC (Worst-Case-Szenario) berechnet. Während für die Standorte 2018 die Bioverfügbarkeit bereits berücksichtigt ist, da die Standorte alle einen TOC-Gehalt <1% hatten, fehlen für die Standorte 2022 die TOC-Daten.

Hunzigenau und Uttigenfluh überschritten bei keinem der in der Studie berücksichtigten Metalle den SQK oder TEC, zeigten aber eine Toxizität für Ostrakoden. Chemische Analysen ermöglichen es, das Ausmass der Schadstoffexposition von benthischen Organismen gegenüber einzelnen chemischen Substanzen abzuschätzen. In Anbetracht der Tatsache, dass in der Umwelt eine Mischtoxizität auftritt, die die Toxizität der einzelnen Stoffe verstärkt oder abschwächt (Junghans et al., 2013), sind ökotoxikologische Tests gut geeignet, um die Sedimentqualität zu bewerten. Das heisst, ökotoxikologische Tests bewerten die Auswirkungen, die das gesamte in den Sedimenten vorhandene Chemikaliengemisch, auf die verwendeten benthischen Organismen hat. Unter der Hypothese einer Additivität der Auswirkungen von Metallen auf Organismen kann die Summe der Risikoquotienten berechnet werden wie in Tabelle 15 dargestellt. Betrachtet man die Summe der RQ, so befinden sich die meisten Standorte, gemäss dem Farbcode orange, in einem »unbefriedigenden« Zustand. Selbst die Sedimente mit den höchsten RQ zeigten in den Bioassays keine Auswirkungen. Zudem fanden wir keine Korrelation zwischen der Summe der RQ und den Effektquotienten (Anhang C und D).

Hunzigenau hat mit 85 % den höchsten Anteil an der <63-µm-Fraktion im Vergleich zu den übrigen Standorten aus dem Jahr 2018. Auch Uttigenfluh weist mit 21% einen relativ hohen Anteil der <63-µm-Fraktion im Vergleich zu den übrigen Standorten der Kampagne 2018 auf. Es ist möglich, dass die toxischen Wirkungen an diesen Standorten darauf zurückzuführen sind, dass diese Sedimente neben den Metallen weitere Schadstoffe enthalten, die sich ebenfalls bevorzugt an die Feinfraktion der Sedimente binden. Die chemische Analyse auf organische Mikroverunreinigungen für die Standorte aus dem Jahr 2022 läuft noch und könnte dazu beitragen, die für die Ostrakoden beobachteten toxischen Wirkungen zu erklären.

Tabelle 15: Zusammenfassung der Qualitätsbewertung der Sedimente der Aare. Gemessene Konzentrationen (mg/kg TG) der 2-mm-Fraktion für Metalle in den Sedimenten (ökotoxikologische Ergebnisse). Risikobewertung nach den SQK (Oekotoxzentrum)/ RQ (siehe Tabelle 10 für Farbskala). Zudem ist die Bilanz der Interpretation der ökotoxikologischen Tests nach EQ (siehe Tabelle 9 für die Farbskala) dargestellt. EQ M = Effektivquotient Mortalität bei Ostrakoden, EQ WI= Effektivquotient Wachstumsinhibition bei Ostrakoden EQ E = Effektivquotient Emergenz bei Chironomiden.

2018	Standorte	Cu	Pb	Hg	Zn	Cd	Cr	Ni	Σ RQ	EQ M	EQ WI	EQ E
	Uttigenfluh											
	Hunzigenau											
	Märchligenau											
	Bern Tiefenau											
	Bern Steinibach											
	Bern Halenbrügg											
	Rewag											
	Radelfingen											
	Hagneck-Kanal											
2022	Port											
	Arch											
	Flumenthal											
	Wangen											
	Wynau											
	Aarburg											
	Olten											
	Winznau											
	Rupperswil											
	Vilnacher											
	Brugg											
	Stilli											
	Felsnau											

Interessant ist, dass die Sedimente von Port, Olten, Rupperswil, Winznau und Felsnau im Vergleich zu den übrigen Standorten eine gewisse Wachstumsinhibition bei Ostrakoden verursachten (Abbildung 20) und zusätzlich mit einem weiteren Bioassay, dem Toxizitätstest mit *C. riparius* untersucht wurden. Die Erweiterung des Tests mit Chironomiden diene als weitere Verfeinerung der ökotoxikologischen Bewertung der Sedimente, um die Bandbreite unterschiedlicher Empfindlichkeiten (unterschiedliche Expositionspfade, Lebenszyklen mit unterschiedlichen Endpunkten) abzudecken (Casado-Martinez et al., 2015). In den Ergebnissen dieses Tests wurden keine Auswirkungen auf die Emergenz an diesen Standorten festgestellt. Dies kann auf die unterschiedliche Ernährungs- und Lebensweise und damit auf die Exposition gegenüber Verunreinigungen sowie auf artspezifische Unterschiede in der Empfindlichkeit gegenüber bestimmten Arten von Verunreinigungen zurückgeführt werden. Allerdings zeigt die Erfahrung am Oekotoxzentrum, dass Ostrakoden oft eine höhere Empfindlichkeit aufweisen als Chironomiden (Casado-Martinez et al., 2019) obwohl toxische Wirkungen für Chironomiden auch an Standorten beobachtet werden können, die keine Auswirkungen auf Ostrakoden haben (Casado-Martinez et al., 2019; Casado-Martinez et al., 2016c).

4.2 Bewertung der Sedimentqualität der 63-µm-Fraktion

Parallel zur ökotoxikologischen Bewertung auf der Grundlage von SQK-TEC-Überschreitungen und Labortoxizitätstests der 2-mm-Fraktion wurden die Metallkonzentrationen in der <63-µm-Fraktion gemessen, die traditionell zur Überwachung der Sedimentkontamination in der Aare verwendet wird. In der Situationsanalyse "Spurenmehalle in Sedimenten der Schweiz Situationsanalyse und Empfehlungen" (Casado-Martinez et al., 2016b) hat das Oekotoxzentrum Daten von chemischen Analysen von Sedimenten in der Schweiz im Zeitraum zwischen 1990 und 2011 zusammengestellt. Dabei beziehen sich 82% der Daten auf die Feinfraktion. Dies ist damit zu begründen, dass sich die Feinfraktion besser für die Trendanalyse

eignet, was eines der Ziele von Sedimentüberwachungskampagnen der Kantone ist. Im Allgemeinen erhöht eine chemische Analyse der Feinfraktion die statistische Aussagekraft für die Identifizierung von Trends aufgrund der höheren Metallkonzentrationen und der Normalisierung der Änderungen der chemischen Eigenschaften der Sedimente, z. B. der Korngrößenverteilung (Casado et al., 2021).

Die in dieser Studie durchgeführten chemischen Analysen zeigten, dass die Konzentrationen der Metalle in der Feinfraktion, bis das 10-fache höher waren als diejenigen in der 2-mm-Fraktion. Die LAWA-Grenzwerte für Feinsedimente und Schwebstoffe wurden jedoch an keinem der Standorte überschritten, was auf eine gute Qualität der Standorte hindeutet. Die Konzentrationen der Feinfraktion stimmten auch gut mit dem Median der Konzentrationen in den grossen Schweizer Flüssen überein (Casado-Martinez et al., 2016b). So sind die Konzentrationen in der Aare oft ähnlich hoch wie in den meisten grossen Flüssen der Schweiz oder sogar geringer. So beträgt der Median der Bleikonzentration der grossen Flüsse in der Schweiz 26.7 mg/kg TG und der Median der Kupferkonzentration 34,0 mg/kg TG, während die Aare über einen Median der Bleikonzentration von 22,3 mg/kg TG verfügt und eine Kupferkonzentration von 27.54 mg/kg TG aufweist. Die einzige auffällige Konzentration ist die Chromkonzentration der Aare (Median 40.1 mg/kg TG) verglichen mit dem Median der grossen Flüsse der Schweiz (32,2mg/kg TG). Dieser Wert ist für die Aare leicht erhöht. Vergleicht man die Mediane mit allen Schweizer Fliessgewässern, so ist die Aare in allen Bereichen der Metallanalyse unter den Schweizweiten Werten, mit Ausnahme von Quecksilber, das denselben Median aufweist. Hier muss jedoch beachtet werden, dass die Mediane der Schweizer Sedimentkonzentrationen niemals die LAWA-Werte überschreiten, was wiederum auf eine durchschnittlich gute Qualität der Gewässer hindeutet (Casado-Martinez et al., 2016b).

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, wurde die erste koordinierte biologische Untersuchung des oberen Abschnittes der Aare 2008 durchgeführt. Anschliessend wurde eine Metallanalyse der Feinfraktion durch die GBL durchgeführt. Die Resultate dieser Untersuchung sind in der Tabelle 16 dargestellt. Berücksichtigt man, dass einige Daten fehlen, wie z.B. die Werte des Standorts Bern Tiefenau oder die Cadmiumkonzentration aus dem Jahr 2008, so zeigt sich, dass an keinem der Standorte die LAWA-Werte überschritten werden. Es zeigt sich jedoch, dass Blei, Kupfer, Nickel und Zink im Jahr 2018 in höheren Konzentrationen vorhanden sind. Bei näherer Betrachtung der Bleikonzentration, fällt vor allem der Standort Uttigenfluh auf, mit der 4-fach höheren Konzentration. Auch Rewag, Radelfingen und Hagnek-Kanal fallen mit erhöhten Bleiwerten auf. Entsprechend dazu sind ebenfalls die Zinkkonzentrationen in Uttigenfluh, Rewag und Radelfingen in den letzten 10 Jahren gestiegen. Die Chrom- und Nickelkonzentrationen sind an allen Standorten im Jahr 2018 höher als im Jahr 2008. Dies ist eher überraschend, da in den letzten Jahrzehnten schweizweit Anstrengungen unternommen wurden, die Metallbelastung in den Gewässern zu reduzieren, z.B durch den Ausbau einer vierten Reinigungsstufe in den Kläranlagen (Chaix et al., 2006). Mögliche Ursachen für die höheren Werte im Jahr 2018 bei den Metallen Chrom und Nickel könnten Unterschiede bei der Probenahme und/oder der Analysemethode sein. Änderungen bei den chemischen Analyseprotokollen des GBL von 2008 bis 2018 könnten ebenfalls diese Unterschiede erklären. Möglich wären aber auch anthropogenen Hot Spots an den Standorten Uttigenfluh, Rewag und Radelfingen welche noch genauer analysiert werden müssten.

Wie bereits erwähnt wurden im Jahr 2012 ebenfalls Sedimente der Feinfraktion aus dem Unterlauf der Aare entnommen. Aus diesem Grund konnten die Metallkonzentrationen von 2012 mit den Messwerten von 2022 verglichen werden (Tabelle 17). Von den Standorten Flumenthal und Rapperswil liegen keine Daten aus dem Jahr 2012 vor, da diese Standorte erstmals im Jahr 2022, also in der vorliegenden Studie, untersucht wurden. Keiner der Standorte überschritt 2012 und 2022 den LAWA-Grenzwert und die Trendanalyse zeigt keine signifikanten Unterschiede in den Metallkonzentrationen an den einzelnen Standorten mit Ausnahme von Brugg. Dieser Standort weist bei allen Metallen die niedrigste Metallkonzentration in der Feinfraktion auf. Dies ist bemerkenswert, da bei der Analyse der Feinfraktion eine Normalisierung durchgeführt wird, wobei es zu keiner Verzerrung der Analyse durch Sand kommen sollte. Die auffallend tiefen Werte in Brugg können auf das nicht fachgerechte Sieben im Feld oder auf die Beschaffenheit der

Sedimente zurückgeführt werden. Denn die gemessene Metallkonzentration in Brugg ist für alle untersuchten Metalle mit Ausnahme von Cadmium geringer als die natürlichen Hintergrundkonzentrationen in Bern.

Die weiteren Standorte weisen insgesamt für Cadmium, Quecksilber, Nickel und Chrom eine ähnlich niedrige Konzentration auf. Mögliche Ursachen für die ähnlichen Konzentrationen an den übrigen Standorten könnten die natürlichen Hintergrundkonzentrationen an der Aare sein. Aufgrund dieser geochemischen Unterschiede kann der natürliche Beitrag zu den Metallkonzentrationen in den Sedimenten der verschiedenen Standorte variieren (Wildi and Casado-Martinez, 2021) jedoch im Laufe der Zeit ähnlich bleiben, da sie hauptsächlich von natürlichen geochemischen Ereignissen abhängen. Im Vergleich zu dem 10% Quantilen der Metallkonzentrationen (Tabelle 17) in der historischen Datenbank des Kantons Bern, das als Näherungswert für die natürlichen Hintergrundkonzentrationen verwendet werden könnte (Casado-Martinez et al., 2016b), lagen die gemessenen Konzentrationen in den Jahren 2008 und 2018 über diesen Werten. Mit Ausnahme der Bleikonzentration in 2008 und der Quecksilberkonzentration an einigen Standorte in 2008 und 2018. In der Analyse von 2012 und 2022 lassen sich dennoch anthropogene Belastungsquellen finden. Einerseits sind Blei, Kupfer, Chrom, Zink und Nickel in der Trendanalyse 2012 und 2022 ähnlich hoch, andererseits liegen alle Konzentrationen über dem 10% Quantil der Metallanalyse des Kantons Bern (R. Ryser persönliche Mitteilung zitiert in Casado-Martinez et al., 2016b).

Tabelle 16: Trendanalyse der 63-µm-Fraktion des Oberlaufs der Aare von 2008 (Rehberger, 2022) und 2018. Blau stellt die Metallkonzentration der Sedimente aus dem Jahr 2008 dar. Grün stellt die Metallkonzentration der Sedimente aus dem Jahr 2018 dar.

Feinfraktion 63 µm mg/kg TG														
Standorte	Pb 2008	Pb 2018	Cd 2008	Cd 2018	Cr 2008	Cr 2018	Cu 2008	Cu 2018	Hg 2008	Hg 2018	Ni 2008	Ni 2018	Zn 2008	Zn 2018
	Uttigenfluh	10.7	51.0	<A	0.4	20.8	43.0	24.1	56.0	0.09	0.09	22.2	30.0	55.3
Hunzigenau	11.7	14.0	<A	0.2	20.2	46.0	26.3	21.0	0.08	0.06	21.1	31.0	99.1	70
Märchligenau	12.3	15.0	<A	0.2	19.8	48.0	24.2	21.0	0.10	0.06	21.8	31.0	85.4	69
<i>Bern Tiefenau</i>		33.0		0.3		55.0		43.0		0.19		36.0		133
Bern-Steinibach	27.9	22.0	<A	0.3	24.1	50.0	39.7	30.0	0.17	0.12	22.0	34.0	177.9	94
Bern-Halenbrügg	15.7	17.0	<A	0.2	21.9	47.0	27.0	26.0	0.11	0.09	22.2	32.0	89.3	85
Rewag	21.9	41.0	<A	0.4	23.4	60.0	27.2	55.0	0.19	0.41	22.5	41.0	151.5	185
Radelfingen	12.7	21.0	<A	0.3	26.8	61.0	17.9	24.0	0.05	0.07	24.3	40.0	72.1	97
Hagneck-Kana	12.5	16.0	<A	0.2	28.2	59.0	20.1	21.0	0.07	0.06	24.7	32.0	86.4	76
LAWA Werte	100		1.5		100		60.0		1.0		50		200	

Tabelle 17: Trendanalyse der 63- μ m-Fraktion des Unterlaufs der Aare von 2012 (Rehberger, 2022) und 2022. Blau stellt die Metallkonzentration der Sedimente im Jahr 2012 dar. Grün stellt die Metallkonzentration in den Sedimenten im Jahr 2022 dar. 10% Quantil aus dem Kanton Bern (Casado-Martinez et al., 2016b)

Standorte	Fraktion 63 μ m mg/kg TG													
	Pb 2012	Pb 2022	Cd 2012	Cd 2022	Cr 2012	Cr 2022	Cu 2012	Cu 2022	Hg 2012	Hg 2022	Ni 2012	Ni 2022	Zn 2012	Zn 2022
Port	23.4	22.0	0.33	0.34	44.0	39.4	32.3	33.0	0.11	0.11	28.8	34.9	116	121
Arch	27.8	24.2	0.30	0.32	52.2	36.3	38.2	35.3	0.14	0.12	38.2	31.1	127	116
Flumenthal		21.2		0.20		33.2		22.4		0.18		30.9		77
Wangen	18.8	18.5	0.20	0.21	43.0	33.4	23.6	24.2	0.07	0.08	34.2	32.3	79.5	81
Wynau	37.1	21.2	0.29	0.19	52.5	32.8	29.5	22.0	0.13	0.10	47.7	30.1	142	90
Aarburg	33.7	25.6	0.24	0.27	45.2	39.9	33.7	31.7	0.10	0.12	33.7	35.7	124	119
Oltén	26.6	24.9	0.57	0.27	49.6	44.5	32.9	31.8	0.09	0.12	34.6	39.6	128	125
Winznau	26.6	23.6	0.24	0.25	49.2	37.5	29.1	29.8	0.09	0.12	36.1	33.0	111	119
Rupperswil		23.3		0.23		34.0		26.2		0.10		31.7		91
Villachen	23.5	27.5	0.26	0.24	46.3	32.7	29.6	27.4	0.09	0.12	33.4	29.7	112	108
Brugg	30.0	9.6	0.24	0.09	44.0	15.5	29.5	8.1	0.09	0.04	31.5	12.6	107	44
Stilli	24.1	22.3	0.23	0.28	43.0	34.0	30.4	27.7	0.11	0.10	31.7	30.0	104	110
Felsenau	25.9	37.3	0.24	0.28	40.7	40.2	31.2	35.0	0.11	0.23	30.5	36.9	114	134
LAWA Werte	100		1.5		100		60.0		1.0		50		200	
Kanton Bern 10% Quantil	13		0.4		20		18		0.1		19		67	

4.3 Räumliche Analyse der Metallkontaminationen in der Aare

Im folgenden Abschnitt werden mögliche räumliche Ursachen der Sedimentqualität in der Aare anhand des Katasters der belasteten Standorte des Kantons Bern, der ARA Einleitstellen und der urbanen Einflüsse diskutiert, um mögliche Quellen für Spitzenwerte der Metalle und/oder Überschreitungen des Mortalitätsschwellenwerts bei Ostrakoden, aufzuklären.

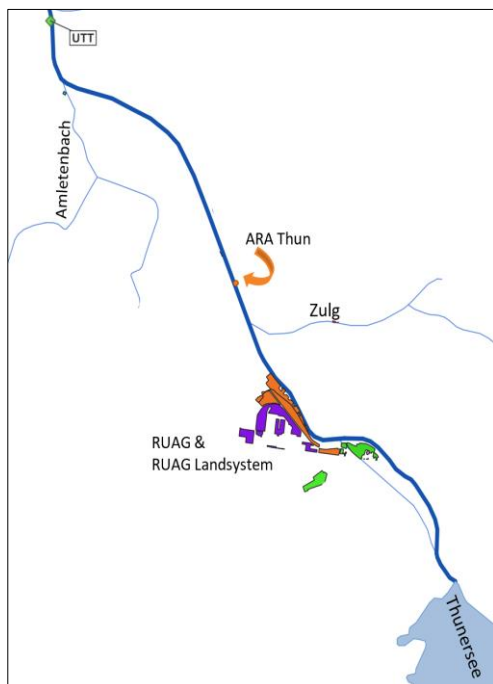


Abbildung 27: Austritt aus dem Thunersee mit Fliessrichtung Bern. Eigene Kartographische Darstellung der Aare mittels GIS.

Die Standorte Uttigenfluh und Hunzigenau sind die ersten Standorte flussabwärts nach dem regulierten Thunersee-Abfluss. Die chemische Analyse der 2-mm-Fraktion zeigte bei keinem der Metalle an diesen Standorten einen Spitzenwert. Dennoch wurde an beiden Standorten die Toxizitätsschwelle von 20% bei den Ostrakoden überschritten, was auf andere Schadstoffe hindeuten muss. Bei der Analyse der 63- μ m-Fraktion zeigte der Standort Uttigenfluh jedoch bei Blei, Cadmium und Kuper Spitzenwerte. Hunzigenau blieb jedoch bei der 63- μ m-Fraktion unauffällig (Abbildung 18).

Abbildung 27 zeigt, wie die Aare aus dem Thunersee in Richtung Bern fliesst. Die ehemalige Selve AG (Schweizerische Metallwerke) ist in Ufernähe grün dargestellt. Dies könnte die möglichen Spitzenwerte der 63- μ m-Fraktion für Uttigenfluh erklären (Abbildung 18). Weitere mögliche Kontaminationsquellen könnten die ARA Thun sowie die Nebenflüsse Zulg und Amletenbach darstellen, die alle vor dem Standort Uttigenfluh in die Aare münden. Ebenfalls in dieser Umgebung befinden sich die RUAG in orange mit dem Hin-

weis "Kohlenwasserstoffe, Metalle, Schwermetalle, Sonderabfälle" sowie RUAG Landsystem in lila mit dem Hinweis "Sonderabfälle". Dies könnten potenzielle Quellen für organische Stoffe sein, welche die Überschreitung des Toxizitätsschwellenwerts bei den Ostrakoden für Uttigenfluh und Hinzigenau erklären könnten. Diese Daten stammen aus dem Kataster der belasteten Standorte des Kantons Bern. Wie bereits erwähnt, können nur Vermutungen angestellt werden. Die formulierten Hypothesen müssten weiter erforscht werden, um mögliche Ursachen für die Überschreitung der Mortalitätsschwelle für Ostrakoden zu belegen oder zu widerlegen.

Der Standort Rewag (Abbildung 25), ist der drittletzte Standort vor der Mündung der Aare in den Bielersee. Er befindet sich nach dem Wohlensee. Rewag zeigte bei der 63- μm -Fraktion für Cadmium, Kupfer, Quecksilber und Zink Spitzenwerte (Abbildung 18). Im Kataster der belasteten Standorte des Kantons Bern, konnten keine belasteten Standorte gefunden werden.

Der Standort Hagneck-Kanal ist der letzte Standort vor der Mündung in den Bielersee. Er weist bei der 2-mm-Fraktion Spitzenwerte für Cadmium, Chrom, Nickel und Zink auf (Abbildung 17). Auch hier konnten keine belasteten Standorte gefunden werden.

Mögliche Ursachen für die hohen Kupferbelastungen in Bern Tiefenau, Port, Arch und Olten können in der Nähe zu Siedlungsgebieten liegen (Abbildung 28). Eigene Darstellung mittels QGIS. Die grossflächige Verwendung von Kupfer für Dachrinnen, Verkleidungen und Abdeckungen im Dachbau kann dazu führen, dass Kupfer in Gewässer gelangt. Das Metall wird ausgewaschen und gelangt über die Siedlungsentwässerung in Bäche und Flüsse, wo es sich in den Sedimenten ablagern kann (Jordi, 2008).

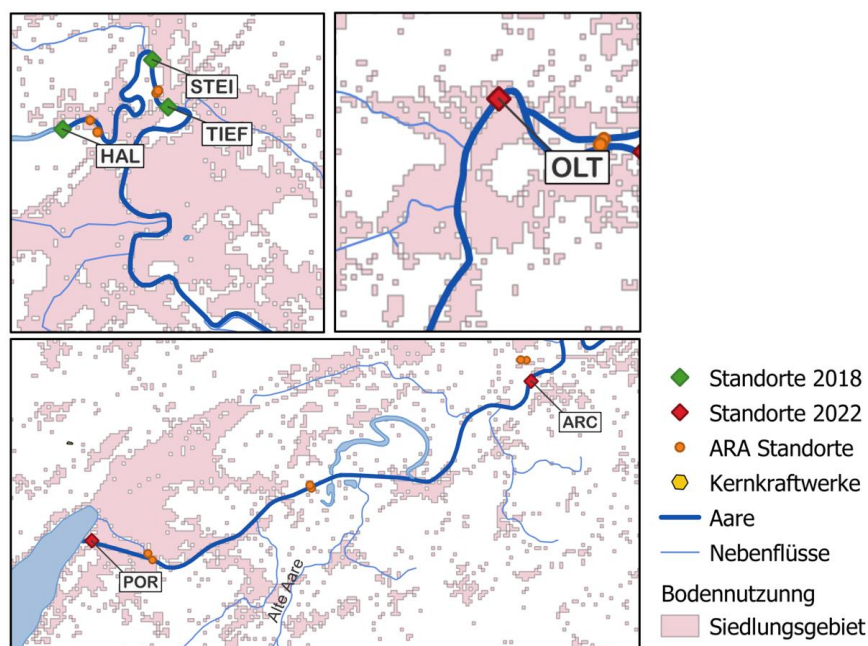


Abbildung 28: Siedlungsgebiete in Umgebung der Aare. Eigene Darstellung mittels QGIS.

Abgesehen von Arch befinden sich diese Standorte in sehr dicht besiedelten Gebieten. Nachdem die Aare aus dem Bielersee in Richtung Port fliesst, ist der nächste Standort Arch (Abbildung 26). Dabei fliesst sie am Scheurenmoos vorbei, einem belasteten Standort mit dem Hinweis «Bauschutt, Chemikalien, PAK und Schwermetalle». Zudem befinden sich die ARA Biel Regio und die ARA Orpund zwischen den Standorten Port und Arch. In Arch befindet sich zudem die Häni + Co. AG mit dem Hinweis «CKW (Chlorkohlenwasserstoffe), Mineralöl und Schwermetalle» (Abbildung 29). Dies könnten alles Mögliche Quellen für Kupfer, aber auch für Zink und Quecksilber sein, da diese Werte in Arch in der 2-mm-Fraktion ebenfalls Spit-

zenwerte zeigten (Abbildung 23). Es ist jedoch zu erwähnen, dass es Standorte gibt, an denen sich mehrere ARAs befinden, ohne dass ein Anstieg der Metallkonzentration oder der Mortalitätsrate bei Ostrakoden zu erkennen ist, wie etwa bei den Standorten Flumenthal, Wynau oder Aarburg.

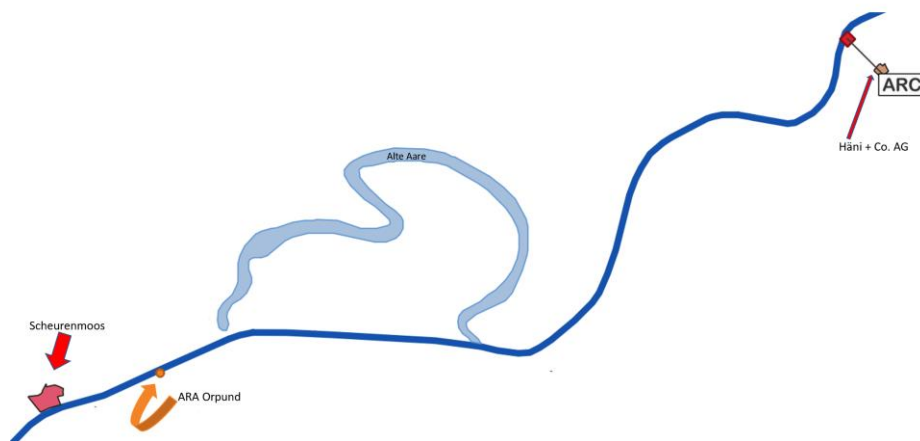


Abbildung 29: Scheurenmoos, ARA Orpund und Häni + Co sind dargestellt. Eigene Darstellung mittels QGIS

An den Standorten Rupperswil und Felsnau wurde der Mortalitätsschwellenwert von 20% bei Ostrakoden überschritten. Bis auf eine Kläranlage, die sich flussaufwärts befindet, gibt es keine Hinweise über das Vorhandensein von möglichen belasteten Standorten welche mögliche Quellen darstellen könnten. Die Spitzenwerte für Blei, Kupfer, Quecksilber und Zink in der Feinfraktion am Standort Felsnau, im Vergleich zu dem etwas weiter flussaufwärts gelegenen Standort Rupperswil, deuten jedoch auf eine Verschmutzungsquelle hin. Die hohen Werte könnten auch auf diffuse Verschmutzungsquellen zurückzuführen sein, wie z.B. Drainagen aus mit Pestiziden behandelten landwirtschaftlichen Flächen oder Abwasser von Verkehrswegen (Schweizer Bundesrat, 2012).

4.4 Schwachstellen der Studie und weitere Perspektiven

Auf der Grundlage der vorhandenen Daten zu den Metallen ist es nicht möglich, Ursachen für die Überschreitung der Mortalitätsschwelle der Ostrakoden zu ermitteln. Da die Tests nach ISO- 14371 (*H. incongruens*) und AFNOR-90-339 (*C. riparius*) durchgeführt wurden und die Validitätskriterien der Tests erfüllt wurden, müssen die Ursachen weiter untersucht werden.

Zum einen fehlen Daten zur Verfeinerung der Aussagen zur unterschiedlichen Bioverfügbarkeit aufgrund unterschiedlicher Eigenschaften der Sedimente, wie z.B. der TOC-Gehalt und die Korngrößenverteilung aus dem Jahr 2022. Diese Daten würden weitere Informationen für die Normalisierung der chemischen Konzentrationen, z. B. von Kupfer sowie für die Risikobewertung liefern.

Des Weiteren fehlen Informationen über organische Verunreinigungen. Der Einfluss dieser Art von Verunreinigungen auf die beobachtete Toxizität muss daher weiter erforscht werden. Es können nur Vermutungen angestellt werden. Es gibt jedoch mehrere Möglichkeiten, die in Betracht gezogen werden können. PCB und PAK sind herkömmliche Schadstoffe, die in Sedimenten vorkommen, und in erhöhten Konzentrationen im Stockalperkanal und im Canal du Bras Neuf im Wallis (Beauvais et al., 2020) aber auch in kleinen Bächen wie Le Bainoz, Chrümmelisbach, Weierbach, Hoobach und Eschelisbach gemessen wurden und bei ökotoxikologischen Test mit Ostrakoden eine erhöhte Mortalität aufwiesen (Casado-Martinez et al., 2015; Beauvais et al., 2020).

Andere Schadstoffe, die über kommunale oder diffuse Quellen in den Wasserkörper gelangen und sich in den Sedimenten anreichern, z. B. Pestizide, Arzneimittel oder Körperpflegeprodukte, (Casado-Martinez et al., 2016b) könnten ebenfalls als Ursache für die Überschreitung der Mortalitätsschwelle bei den Ostrakoden in Betracht gezogen werden. Weil nur wenige Daten über diese Stoffe vorliegen, beschränkt sich diese Arbeit ausschliesslich auf die ökotoxikologische Bewertung der Metallanalyse.

Der Vergleich mit den gemessenen Umweltkonzentrationen in der 2-mm-Fraktion von Sedimenten aus anderen Fließgewässern in der Schweiz ist ebenfalls schwierig, da die meisten Kantone in der Schweiz die 63- μm -Fraktion für die chemische Analyse bevorzugen. Darüber hinaus wird die 2. Stufe der Verfeinerung mittels ökotoxikologischen Tests nur selten oder gar nicht durchgeführt. Die Umsetzung der harmonisierten Richtlinien "Strategie für die Beurteilung der Sedimentqualität in der Schweiz" (Casado et al., 2021) des Oekotoxizentrum wird in Zukunft den Vergleich der Sedimentqualität auf nationaler Ebene erleichtern.

Die Erweiterung der vorliegenden Studie mit der Analyse der Universität Bern auf organische Rückstände (Anhang E) könnte ein umfassenderes Bild der ökotoxikologischen sowie der chemischen Bewertung der Sedimente aus der Aare liefern.

5 Schlussfolgerung und Antworten auf Forschungsfragen

In dieser Arbeit wurden Sedimente aus 22 Standorten der Aare das erste Mal ökotoxikologisch bewertet. Im Jahr 2018 wurden Sedimente aus dem oberen Abschnitt (Thun bis Bielersee) entnommen und an Ost-rakoden getestet. Parallel dazu wurde im Rahmen dieser Studie im Jahr 2022 im unteren Abschnitt der Aare (Bielersee bis Rhein) an 13 Standorten Sedimente für die ökotoxikologische Bewertung entnommen. Anschliessend wurden zwei Toxizitätstests mit benthischen Organismen mit unterschiedlichen Ernäh-rungs- und Lebensweisen durchgeführt. Die relevante Matrix für dies Biotests waren Sedimente, mit einer Fraktionsgrösse von 2-mm, welche frisch gesammelt wurden. Zudem wurde eine Metallanalyse der Ge-samt- und der Feinfraktion durchgeführt, die mögliche Hinweise für Überschreitungen der Schwellen-werte lieferten.

Anhand der durchgeführten ökotoxikologischen Tests sowie den erhaltenen Resultaten der Analyse der unterschiedlichen Sedimentfraktionen konnten die Forschungsfragen aus der Einleitung entsprechend beantwortet werden:

- *Sind in den Sedimenten Metallkonzentrationen vorhanden, die den SQK überschreiten und ein Risiko für benthische Organismen darstellen (erhöhte Mortalität oder als subletale Wirkung; Wachstums-hemmung)?*

Die SQK von Kupfer wurde von den 22 untersuchten Standorten an 4 Standorten überschritten (Bern Tiefenau, Port, Arch und Olten). Trotz des überschrittenen SQK konnten kein negativer Effekt auf die Testorganismen nachgewiesen werden. Die Überschreitung des SQK ist in Port, Arch und Olten mit Unsicherheit behaftet, da der TOC-Gehalt aus dem Jahr 2022 nicht vorhanden ist. Für die restlichen Metalle wurde an keinem Standort der SQK oder der TEC-Wert überschritten.

- *Haben bestimmte Sedimente aus Testgebieten eine ökotoxikologische Wirkung auf die Testorganismen.*
 - *Wachstumshemmung:* Keiner der Standorte hat den Toxizitätsschwellenwert der Wachstumshemmung überschritten.
 - *Auffällige Sterblichkeitsraten:* Die Standorte Uttigenfluh, Hunzigenau, Rapperswil und Felsenau haben den Toxizitätsschwellenwert der Mortalität überschritten. Zur Erklärung dieser Überschreitungen werden genauere Analyse der Sedimente an diesen Standorten benötigt, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht durchgeführt werden konnten.
 - *Emergenz:* Im *C. riparius* Test konnte kein Effekt auf die Emergenz der ausgewählten Standorte nachgewiesen werden.

Angesichts der hier vorgestellten Ergebnisse sind die Sedimente der Aare überwiegend in einem guten Zustand. Die Ergebnisse der ergänzenden physikalisch-chemischen Analysen der Sedimentproben werden ein vollständiges Bild der chemischen Qualität der Sedimente liefern und dazu beitragen, mögliche Schadstoffe zu identifizieren, die für die in den Bioassays beobachteten toxischen Wirkungen verantwortlich sind. Die parallel zu dieser Studie durchgeführten biologischen Untersuchungen sollen Hinweise auf Veränderungen aufgrund Sedimentverschmutzung liefern, die unter Feldbedingungen aufgetreten sein könnten.

6 Literaturverzeichnis

- Association française de normalisation, 2004. Qualité de l'eau Détermination de la toxicité des sédiments d'eau douce via-avis *Chironomus riparius*. sédiments naturels. Afnor (5 June 2022).
- Beauvais, R., Vivien, R., Ferrari, Benoît, J. D., Casado-Martinez, C., 2020. Évaluation de la qualité des sédiments des canaux Stockalper, du Bras-Neuf et des îles (Valais, Suisse) basée sur une approche de type triade.
- Birch, G., 2006. Determination of sediment metal background concentrations and enrichment in marine environments – A critical review, NSW, Australia.
- Casado, C., Wildi, M., Ferrari, B.J.D., Werner, I., 2021. Strategie zur Bewertung der Sedimentqualität in der Schweiz. Studie im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, Lausanne.
- Casado-Martinez, C., Burga-Pérez, K., Bebon, R., Féraud, J.-F., Vermeirssen, E., Werner, I., 2016a. The sediment-contact test using the ostracod *Heterocypris incongruens*: Effect of fine sediments and determination of toxicity thresholds, Lausanne.
- Casado-Martinez, C., Ferrari, B.J.D., Vermeirssen, E., Werner, I., 2016b. Trace metals in sediments from Switzerland Situation analysis and recommendations, Lausanne.
- Casado-Martinez, C., Molano-Leno, L., Grandjean, D., Alencastro, L.F. de, Werner, I., Benoit, J.D., 2016c. IMPACT DES SÉDIMENTS SUR LA QUALITÉ DE L'EAU. SURVEILLANCE ÉCOTOXICOLOGIQUE DE LA QUALITÉ DE LA RIVIÈRE VENOGÉ.
- Casado-Martinez, C., Schneeweiss, A., Thiemann, C., Dubois, N., Pintado-Herrera, M., Ferrari, B.J.D., Werner, I., 2019. ÉCOTOXICITÉ DES SÉDIMENTS DE RUISSEAUX. LES PESTICIDES PRÉSENTS DANS LES SÉDIMENTS ONT DES EFFETS SUR LES ORGANISMES BENTHIQUES.
- Casado-Martinez, C., Werner, I., Benoit, J.D., 2015. RISIKOBEWERTUNG VON SEDIMENTEN, Lausanne.
- Chaix, O., Schweizer, J., Haltmer, T., Panchaud, K., 2006. Regierungsratskonferenz Nordwestschweiz. Massnahmenkatalog mit Kosten und Prioritäten.
- Cooman, W. de, Blaise, C., Janssen, C., Detemmerman, L., Elst, R., Persoone, G., 2015. History and sensitivity comparison of two standard whole-sediment toxicity tests with crustaceans: the amphipod *Hyalella azteca* and the ostracod *Heterocypris incongruens* microbiotest. Direct contact” Toxicity Test for Freshwater Sediments.
- Dulio, V., Carere, M., Hanke, G., Polesello, S., David, M., Sollazzo, C., 2010. COMMON IMPLEMENTATION STRATEGY FOR THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE (2000/60/EC). GUIDANCE ON CHEMICAL MONITORING OF SEDIMENT AND BIOTA UNDER THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE. Guidance Document No. 25, Luxembourg.
- Durand, Cyrielle, Lucie, 2012. Développement d'une batterie de mesures biologiques pour l'évaluation du risque associé aux sédiments contaminés, Lothringen.
- Gewässer- und Bodenschutzlabor, 2013. Trocknen und Glühen. Qualitätsmanagement (10 June 2022).
- Gewässer- und Bodenschutzlabor, 2020a. ICP-MS Agilent. Qualitätsmanagement (10 June 2022).
- Gewässer- und Bodenschutzlabor, 2020b. Königwasseraufschluss Festproben offener Aufschluss. Qualitätsmanagement (8 June 2022).
2011. Gewässerschutzverordnung (SR 814.201). GSchV.
- Hesselschwerdt, J., 2018. Biologische Untersuchungen an der Aare zwischen Thunersee und Bielersee. Fachbericht: Makroinvertebraten Untersuchungen 2018, Bern.
- Hürlimann, R., Egli-Broz, H., 2012. Naturgeografische Bausteine A: Geologie/ Geomorphologie, Zürich.
- INTERNATIONAL STANDART ISO, 2012. Water quality — Determination of fresh water sediment toxicity to *Heterocypris incongruens* (Crustacea, Ostracoda), Switzerland (22 May 2022).
- Jordi, B., 2008. Die Birs. KOORDINIERTE UNTERSUCHUNG DER WASSERQUALITÄT 2005/2006.
- Junghans, M., Werner, I., Kunz, P., 2013. TOXIZITÄT VON MISCHUNGEN. AKTUELLE, PRAXISORIENTIERTE ANSÄTZE FÜR DIE BEURTEILUNG VON GEWÄSSERPROBEN.
- Klemt, E., Putyrskaya, V., Rollin, S., Corcho-Alvarado, J., 2021. Radionuclides in sediments of the Aare and Rhine river system: Fallouts, discharges, depth-age relations, mass accumulation rates and transport along the river, Switzerland.

- Kunz, M., Schindler Wildhaber, Y., Dietzel, A., Wittmer, I., Lieb, V., 2016. Zustand der Schweizer Fließgewässer. Ergebnisse der Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA) 2011–2014, Bern.
- LAWA, 1998. Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer, 2nd ed., Berlin.
- Luoma, N.S. (Ed.), 2008. Metal Contamination in Aquatic Environment, UK Cambridge.
- MacDonald, D., Ingersoll, C., Berger, T.A., 2000. Development and Evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems.
- Martin-Folgar, R., Esteban-Arranz, A., Negri, V., Morales, M., 2021. Toxicological effects of three different types of highly pure graphene oxide in the midge *Chironomus riparius*.
- Mürle, U., Ortlepp, J., Rey, P., Ryser, R., 2009. Biologische Untersuchungen an der Aare zwischen Thunersee und Bielersee. Untersuchungen 2008.
- Ortlepp, J., 2003. Biologische Untersuchungen an der Aare zwischen Bielersee und Rhein. Fachbericht: Makroinvertebraten Untersuchungen 2001/ 2002.
- Rehberger, K., 2022. Metallanalysen Vergangenen Kampagnen 2008 und 2012. E-Mail, Bern (20 June 2022).
- Rey, P., Ortlepp, J., Werner, S., u, 2013. Koordinierte biologische Untersuchungen an der Aare zwischen Bielersee und Rhein 2011 - 2013. Gewässerschutz- und Fischereifachstellen der Kantone Aargau, Bern und Solothurn.
- Schwedt, G., 1996. Taschenatlas der Umweltchemie. Chemie, Analytik, Umwelt. aprinta, Wemding, Stuttgart.
- Schweizer Bundesrat, 2012. Massnahmen an der Quelle zur Reduktion der Mikroverunreinigungen in den Gewässern. Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulats 12.3090 Hêche vom 7. März 2012.
- Wälti, S., 2019. Die Aare. Flussgeschichte der Aare. <https://aarelauf.ch/flussgeschichte-der-aare/#1549279850645-27febd72-9360> (10 June 2022).
- Wildi, M., Casado-Martinez, C., 2021. EQSsed – Proposal by the Ecotox Centre for: Copper (Cu). Proposed EQSsed for Copper, Lausanne.
- Wohlfarth, B., Schwalb, A., Schneider, A.M., 1993. Seen- und Flussgeschichte im Westschweizer. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern.
- Yu, K.-C., Tsai, L.-J., Chen, S.-H., Ho, S.-T., 2001. Chemical binding of heavy metals in anoxic river sediments, Tainan 717, Taiwan.

A.2 Rohdaten Mortalität *H. incongruens* 2018

Test 1																																				
Replicate	Control sediment						AC18/23 Radelfingen						AB05 Uttigenfluh						AB19 Hunzigenau						AB30 Märchligenau						AC21 Hagneck-Kana					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Number of living ostracods, <i>nA</i>	10	10	10	10	10	10	8	10	10	10	10	10	7	7	8	9	7	8	8	7	10	5	8	0	10	10	9	10	10	10	9	10	10	8	10	9
Number of dead ostracods, 10- <i>nA</i>	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	3	3	2	1	3	2	2	3	0	5	2	10	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2	0	1
Mean number of dead ostracods for all replicates	0.0						0.3						2.3						3.7						0.2						0.7					
Mean percentage mortality	0						3						23						37						2						7					
Test 2																																				
Replicate	Control sediment						AAr026 Bern-Tiefenau						22 Bern-Steiniba						AC06 Rewag						AC16 Bern-Halenbrügg											
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6						
Number of living ostracods, <i>nA</i>	8	10	8	10	8	10	9	9	8	8	10	10	8	8	9	10	8	10	10	9	9	9	8	10	10	7	8	9	10	8						
Number of dead ostracods, 10- <i>nA</i>	2	0	2	0	2	0	1	1	2	2	0	0	2	2	1	0	2	0	0	1	1	1	2	0	0	3	2	1	0	2						
Mean number of dead ostracods for all replicates	1.0						1.0						1.2						0.8						1.3											
Mean percentage mortality	10						10						12						8						13											

Test 3. 05.04.2022-13.04.2022																					
Replicate	Test organism	Control						Viinacher RW						Brugg							
		Length	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
1		202.05	1051.36	779.97	569.19	802.75	832.68	796.04	780.75	573.92	582.39	597.55	561.89	552.03	826.32	756.68	645.34	602.5	795.85	600.37	
2		198.22	844.41	628.84	582.96	631.32	834.48	632.43	761.67	568.16	575.75	572.26	580.69	574.53	619.65	794.57	815.6	585.63	783.54	578.22	
3		204.32	841.32	616.42	763.6	634.3	831.15	792.99	739.8	579.23	556.89	589.79	577.79	569.2	800.93	770.8	806.11	604.79	793.68	612.16	
4		168.69	799.05	627.89	732.62	646.83	848.03	613.99	753.72	587.97	591.48	581.01	578.93	581.96	580.16	792.92	773.73	602.39	802.92	598.67	
5		192.68	821.3	612.61	608.01	603.53	847.98	802.66	763.42	569.96	583.09	790.5	426.24	569.85	593.81	767.56	596.6	595	790.93	585.9	
6		194.76	667.89	604.98	572.21	579.78	806.11	794.71	779.76	564.36	583.87	583.81	564.85	587.99	603.3	784.77	609.78	755.46	797.61	594.01	
7		196.17	630.96	623.67	617.18	832.82	842.13	613.93	724.29		579.42	588.03	566.36	572.93	794.68	785.51	780.79	590.8	759.81	583.96	
8		198.22	680.74	613.58	593.64	752.19	864.48	624.37			575.67	574.78	604.92	577.85	799.82	781.95	588.26	582.32	816.49	783.72	
9		190.19	839.6	491.45	608.01		857.17	634.82			574.49	579.43	582.07	568.88	758.11	777.96	789.51	592.4		587.75	
10		206.78	673.83		746.82		828.67						584.51	563.71	582.85	799.15	783.01		744.28	775.53	
														572.37	575.3	786.67					
mean length at start, <i>L_{start}</i>		195												576.16							
mean length of ostracods per replicate			785	622	639	685	839	701	758	574	578		604	561	574	718	780	712	626	793	630
mean length of ostracods for all replicates, <i>L_{end}</i>			712						608						710						
mean growth for each replicates (<i>L_{end}-L_{start}</i>)			590	427	444	490	644	505	562	379	383	409	366	379	522	584	517	430	597	435	
mean growth for all replicates (<i>L_{end}-L_{start}</i>)			517						413						514						
Mean percentage of growth inhibition in the test sediment									20.1						0.5						

A.4 Rohdaten Mortalität *H. incongruens* 2022

Test 1. 22.03.2022																																																						
Replicate	Control sediment						Flumenthal						Wangen						Nidau/Port						Arch						Wynau						Aarburg						Olten											
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6						
Number of living ostracods, <i>nA</i>	1	1				1	8	8	0	9	9	9	8	0	8	0	8	8	1		1		1		1		1		1		1		1		1		1	1	1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1
Number of dead ostracods, 10- <i>nA</i>	0	0	1	3	1	0	2	2	0	1	1	1	2	0	2	0	2	2	0		4	0	1	0	3	0	2	2	0	2	1	3	2	0	1	1	0	0	0	0	3	0	0	0	1	1	0	2	0					
Mean number of dead ostracods for all replicates	0.8						1.2						1.3						1.3						1.2						1.2						0.5						0.7											
Mean percentage mortality	7						12						13						13						12						12						5						7											

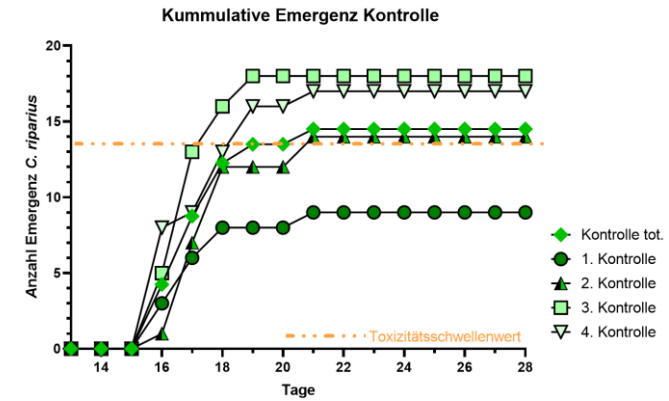
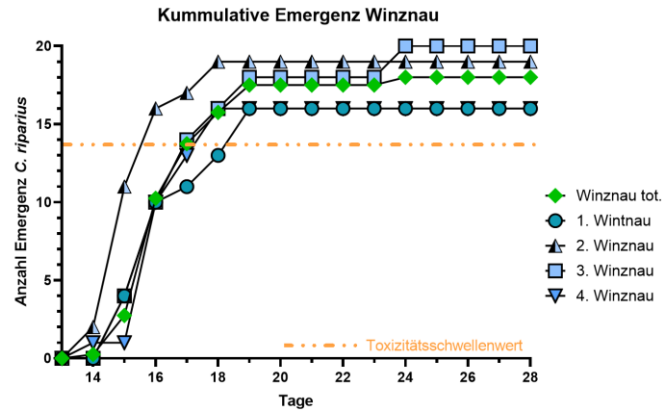
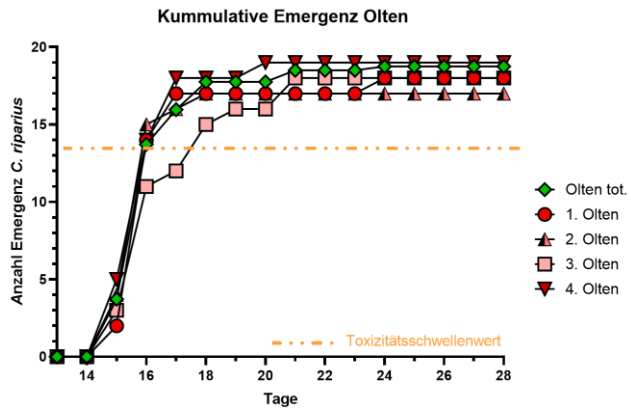
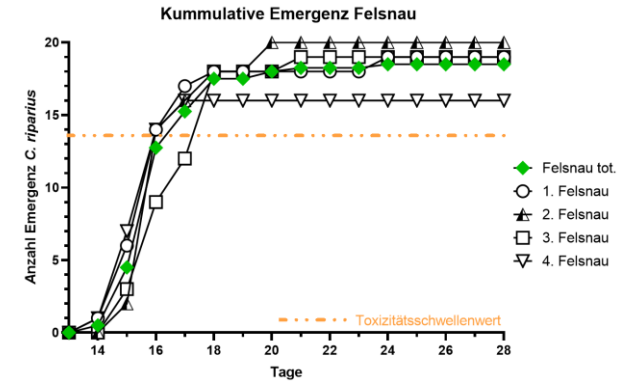
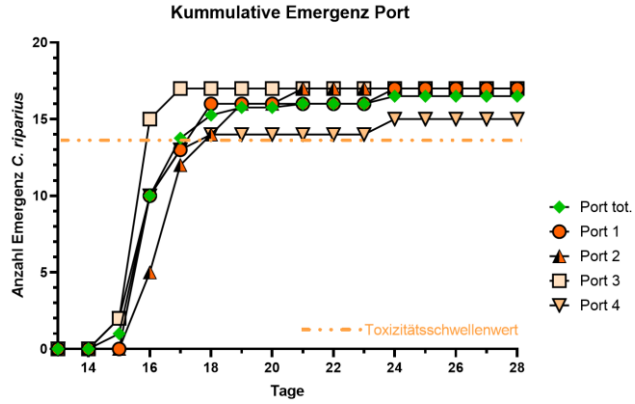
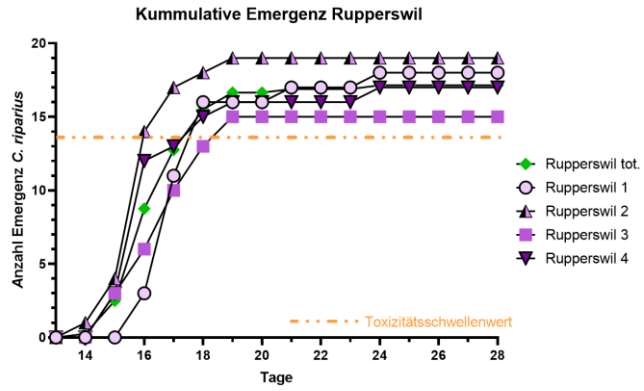
Test 2. 23.03.2022																														
Replicate	Control sediment						Winznau RW						Rupperswil RW						Stilli						Felsnau					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	
Number of living ostracods, <i>nA</i>	9	0	9	0	9	0	1	1	1		1		9	9	7	5	7	9	0	1	1	1				1	1	1		
Number of dead ostracods, 10- <i>nA</i>	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	3	5	3	1	0	0	0	0	2	1	1	1	1	1	6	3	
Mean number of dead ostracods for all replicates	0.5						0.3						2.2						0.7						2.4					
Mean percentage mortality	5						3						22						7						24					

Test 3. 05.04.2022																			
Replicate	Control sediment						Vilnacher RW						Brugg						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Number of living ostracods, <i>nA</i>	1		1		1		7	6	9	0	0	0	1	1	1		1	1	
Number of dead ostracods, 10- <i>nA</i>	0	1	0	2	0	1	3	4	1	0	0	0	0	0	1	0	2	0	
Mean number of dead ostracods for all replicates	0.7						1.3						0.5						
Mean percentage mortality	7						13						5						

B.2 Rohdaten *C. riparius* Wasserwerte 2022

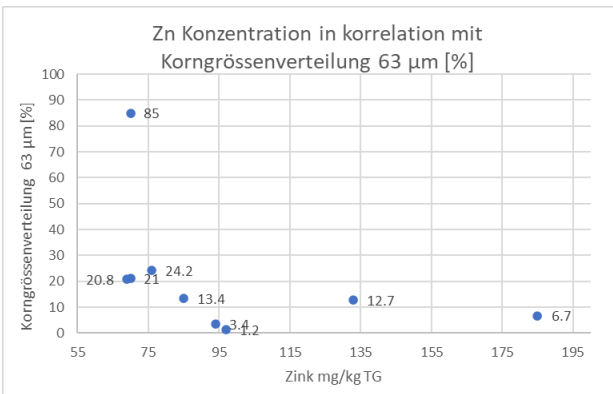
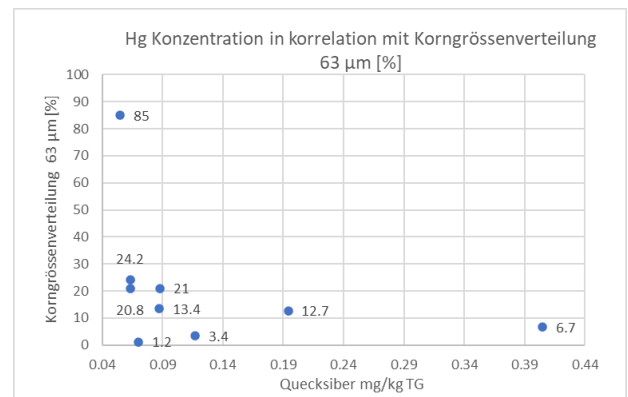
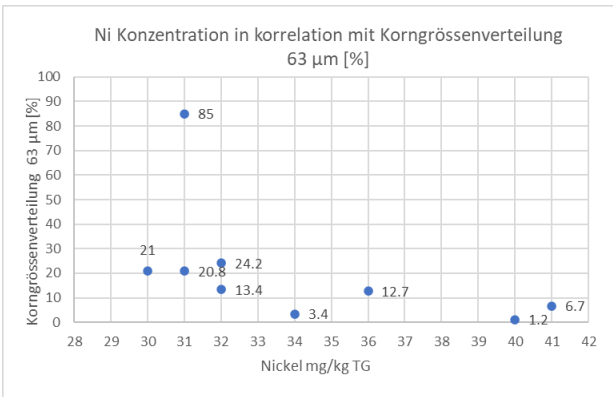
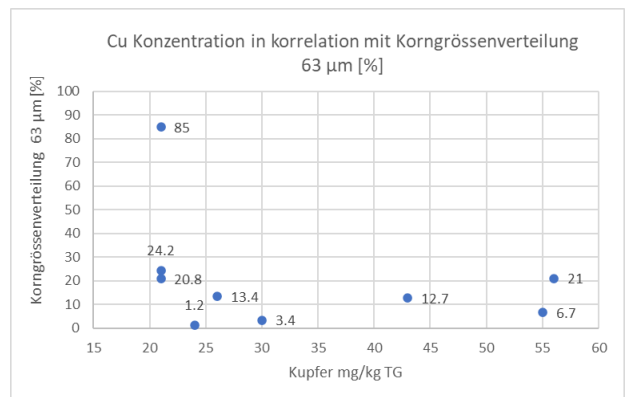
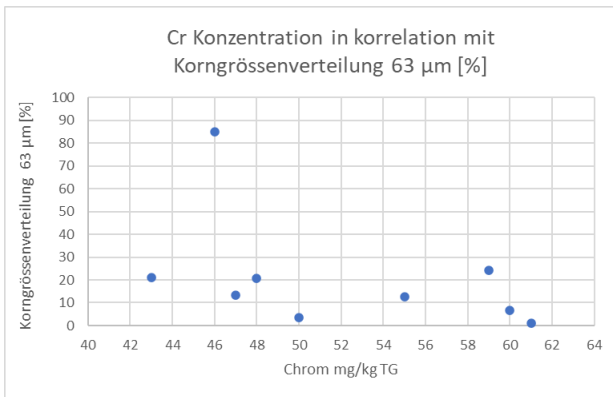
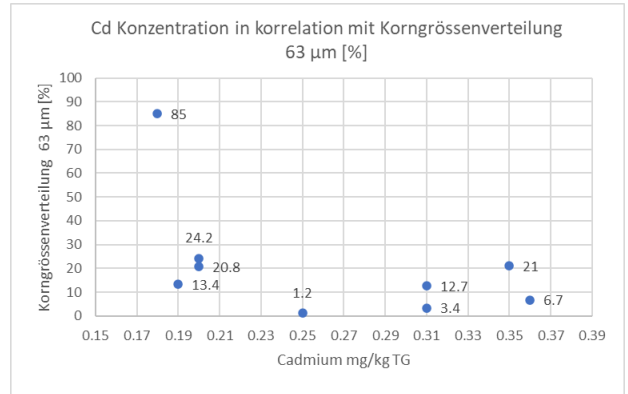
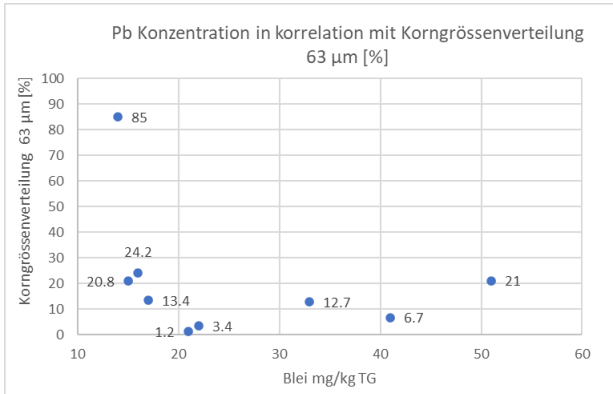
Date	Sediment	CaCO3 (> mg/L)	NO2- (mg/L)	NH4+ (mg/L)	pH	T	Cond	O2 (%)	O2 (mg/L)	Comments
09.05.2022	sed1 (Rupperswil)	10°	0,4mg/L	0,4 mg/L	7,45	21.0°C	389 µS/cm	98,1 %	8,34mg/l	
16.05.2022	sed1 (Rupperswil)				7.17	21.0°C	575	70.10%	6.03mg/L	The oxygen supply may have been blocked 3rd replica was measured instead of the 1st.
16.05.2022	sed3 (Rupperswil)					20.9°C		101.20%	8.72mg/L	
23.05.2022	sed1 (Rupperswil)				7.8	21.2°C	613	100.40%	8.45mg/L	
30.05.2022	sed1 (Rupperswil)				7.88	20.1°C	711	100.70%	8.64mg/L	
07.06.2022	sed1 (Rupperswil)	15°	0mg/L	0.15mg/L	7.95	20.7°C	761	103.80%	8.95mg/L	
09.05.2022	sed1 (Port)	10°	0,4mg/	0,4mg/L	7.61	21.1°C	384	96,4%	8,25 mg/L	
16.05.2022	sed1 (Port)				7.34	20.0°C	416	94.10%	8.11mg/L	
23.05.2022	sed1 (Port)				7.18	21.2°C	474	94.40%	7.97mg/L	
30.05.2022	sed1 (Port)				7.85	20.0°C	584	101.30%	8.68mg/L	
07.06.2022	sed4 (Port)	15°	0mg/L	0.075mg/L	7.94	20.7°C	631	101%	9.05mg/L	
09.05.2022	sed1 (Winznau)	10°	0,2mg/	0,4mg/l	7,45	21.0°C	435	95,1%	8,14 mg/L	
16.05.2022	sed1 (Winznau)				7.19	20.8°C	430	87.70%	7.55mg/L	
23.05.2022	sed1 (Winznau)				7.38	21.1°C	437	101.40%	8.55mg/L	
30.05.2022	sed1 (Winznau)				7.76	20.2°C	474	101.00%	8.55mg/L	
07.06.2022	sed1 (Winznau)	10°	0mg/L	0.025mg/L	7.76	20.7°C	455	103.40%	8.90mg/L	
09.05.2022	sed1 (Control)	5°	1,0mg/L	0,4mg/L	7.57	21.0°C	347	98,1%	8,39mg/L	
16.05.2022	sed1 (Control)				7.19	20.9°C	369	95.60%	8.22mg/L	
23.05.2022	sed1 (Control)				7.12	21.0°C	465	102.5°C	8.66mg/L	
30.05.2022	sed1 (Control)				7.51	19.9°C	466	103.20%	8.83mg/L	
07.06.2022	sed1 (Control)	10°	0.1mg/L	0mg/L	7.65	20.7°C	492	104%	8.96mg/L	
09.05.2022	sed1 (Felsnau)	10°	0,6mg/L	0,4mg/L	7,60	21,0°C	386	98,1%	8,42mg/L	
16.05.2022	sed1 (Felsnau)				7.3	20.9°C	403	92.80%	7.98mg/L	
23.05.2022	sed1 (Felsnau)				7.6	21.9°C	468	103%	8.61mg/L	
30.05.2022	sed1 (Felsnau)				7.5	20.7°C	564	100.80%	8.58mg/L	
07.06.2022	sed4 (Felsnau)	15°	0mg/L	0mg/L	7.9	20.9°C	603	105.60%	9.06mg/L	
09.05.2022	sed1 (Olten)	10°	1,0 mg/L	0,4mg/L	7,54	21.0°C	403	95,1 %	8,21 mg/L	
16.05.2022	sed1 (Olten)				7.35	21.0°C	428	88.70%	7.61mg/L	
23.05.2022	sed1 (Olten)				7.72	21.3°C	467	99.00%	8.32mg/L	
30.05.2022	sed1 (Olten)				7.94	20.6°C	662	100%	8.52mg/L	
07.06.2022	sed1 (Olten)	10°	0ml/L	0mg/L	7.46	21°C	484	105.90%	9.06mg/L	
Comments										
09.05.2022	Lux in the dark		787							
09.05.2022	Lux when working in the laboratory		1015							
25.05.2022	changed Wather for control 2, 3, 4									

B.3 Kumulative Emergenz von *C. riparius* nach Standort

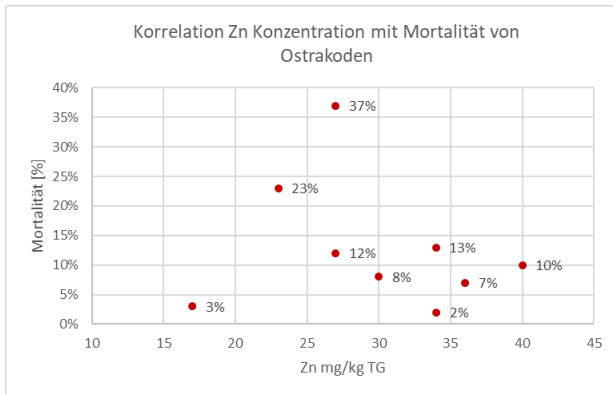
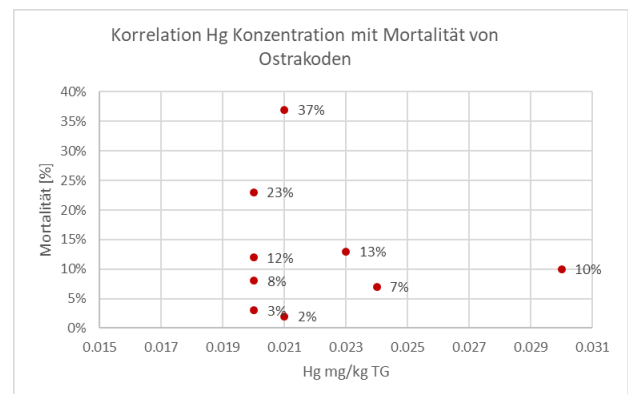
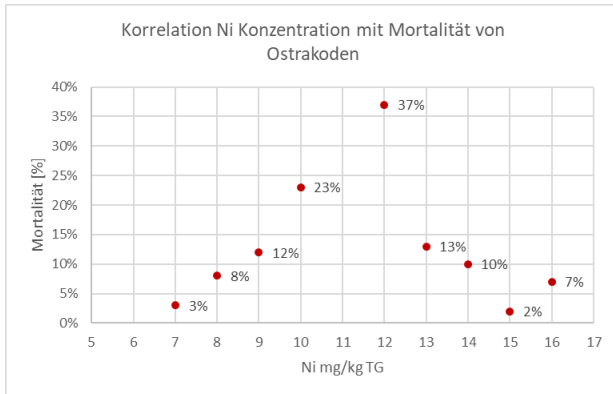
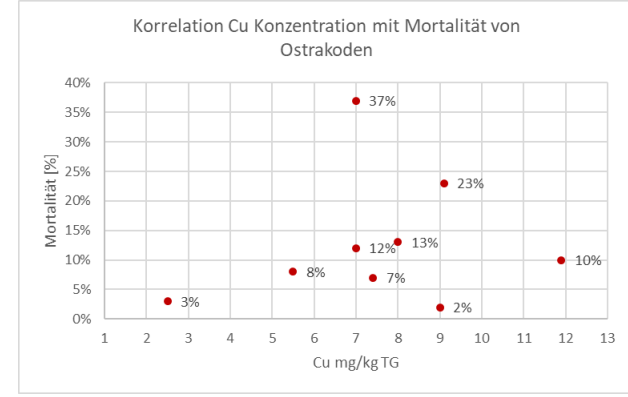
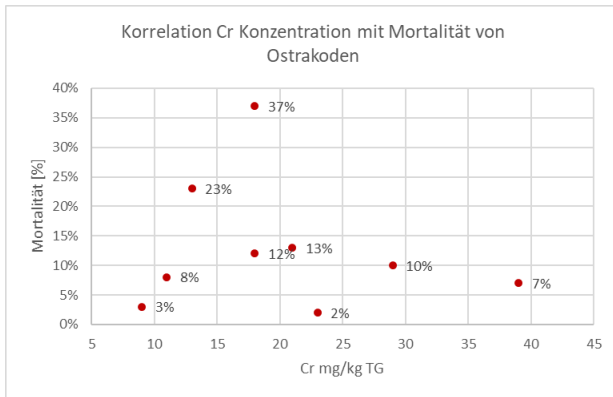
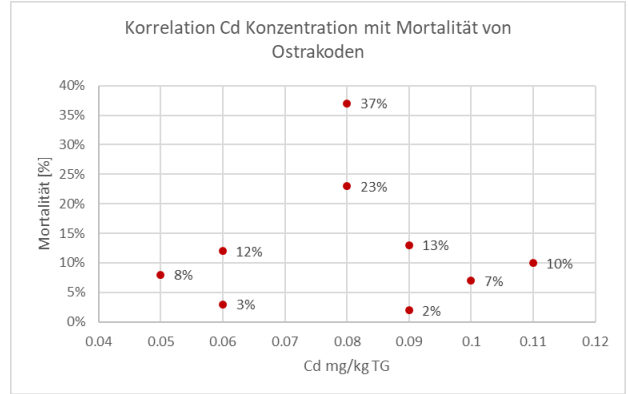
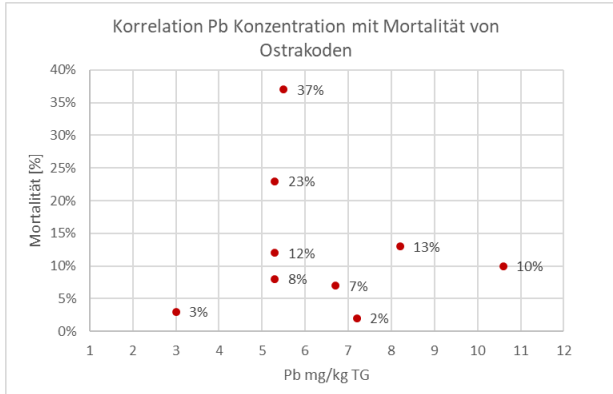


C Anhang: Korrelation

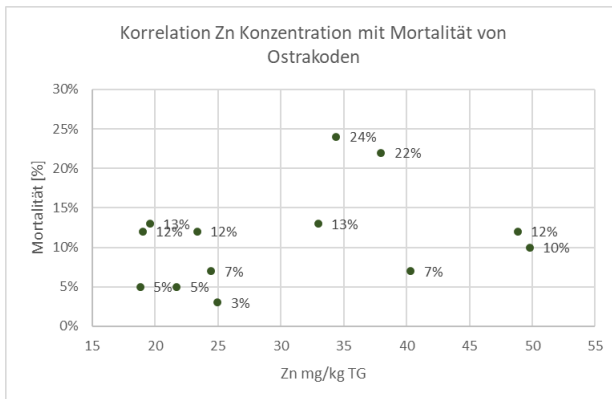
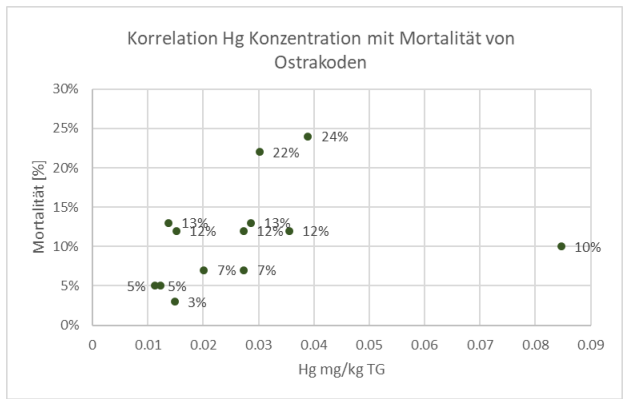
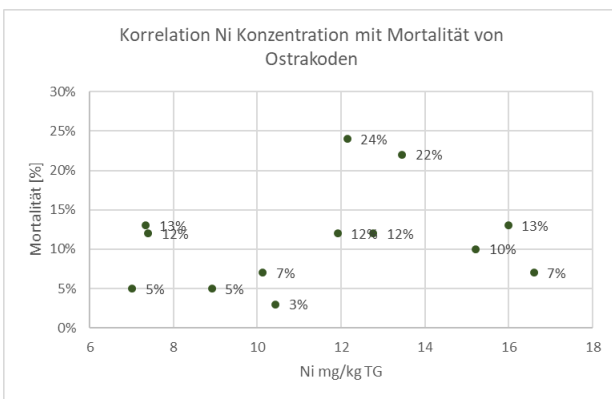
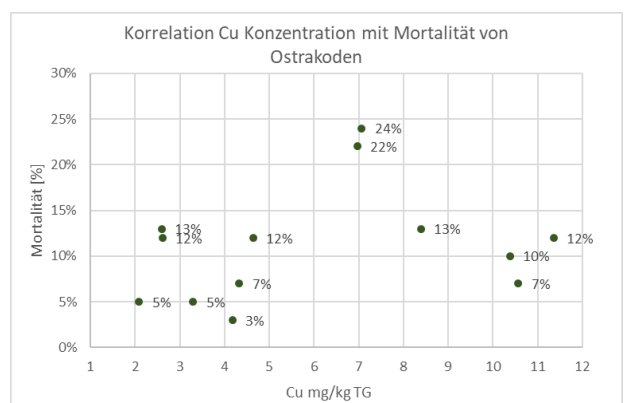
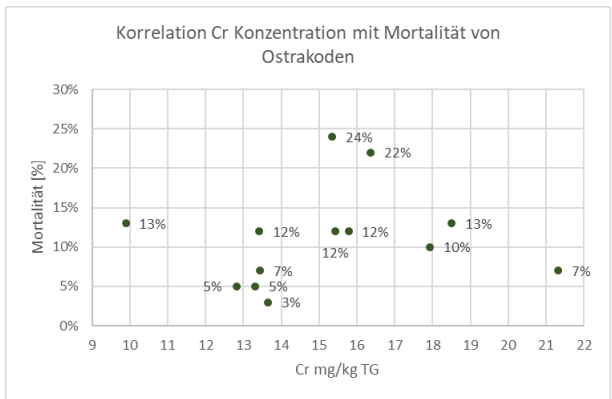
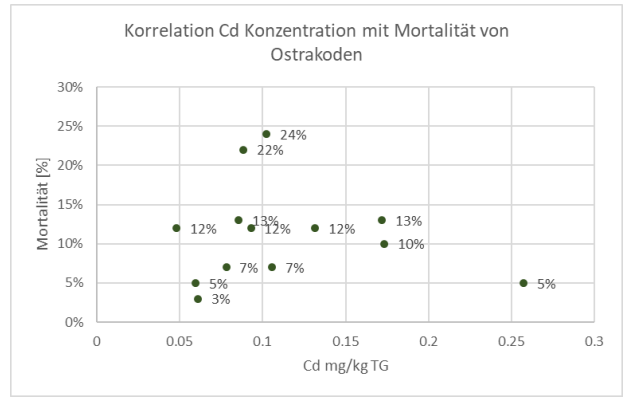
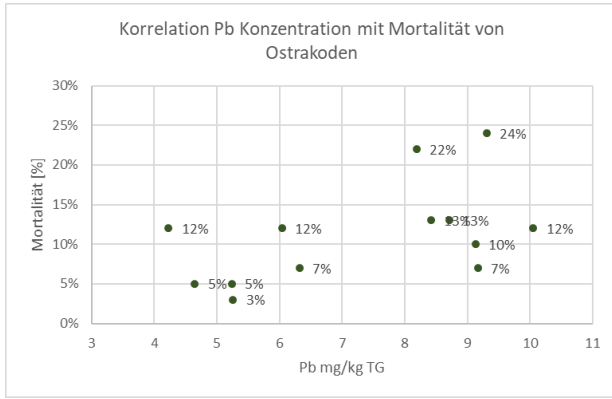
C.1 Korrelation Korngrößenverteilung 63-µm [%] mit Metallkonzentration 2018



C.2 Korrelation Metallkonzentration und Mortalität von Ostrakoden und 2018

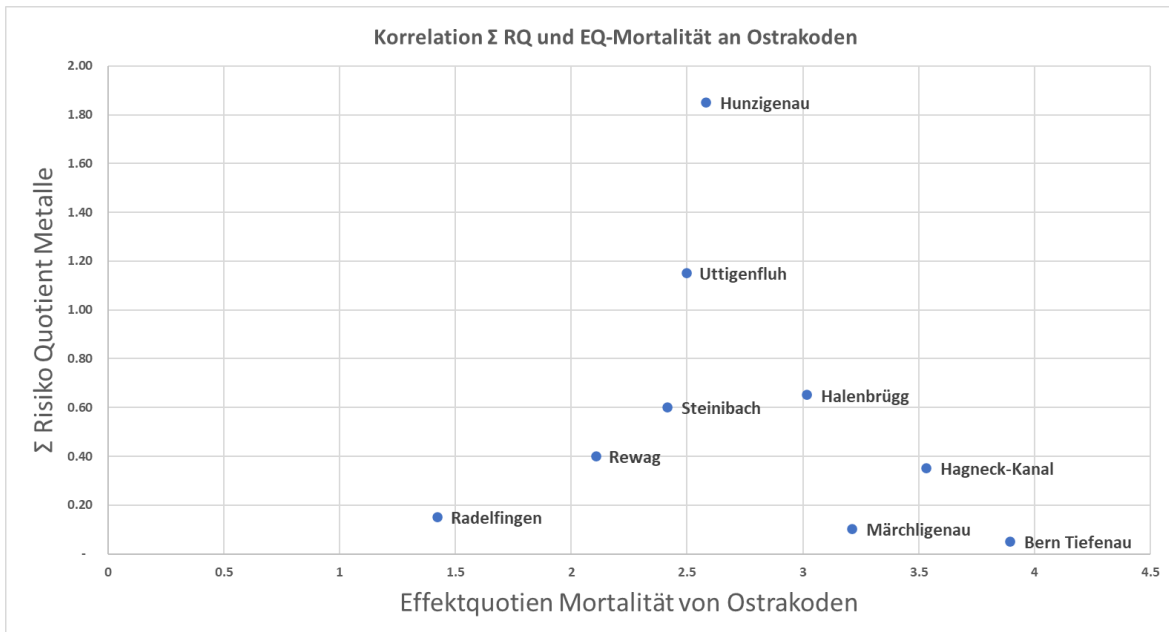


C.3 Korrelation Metallkonzentration und Mortalität von Ostrakoden und 2022

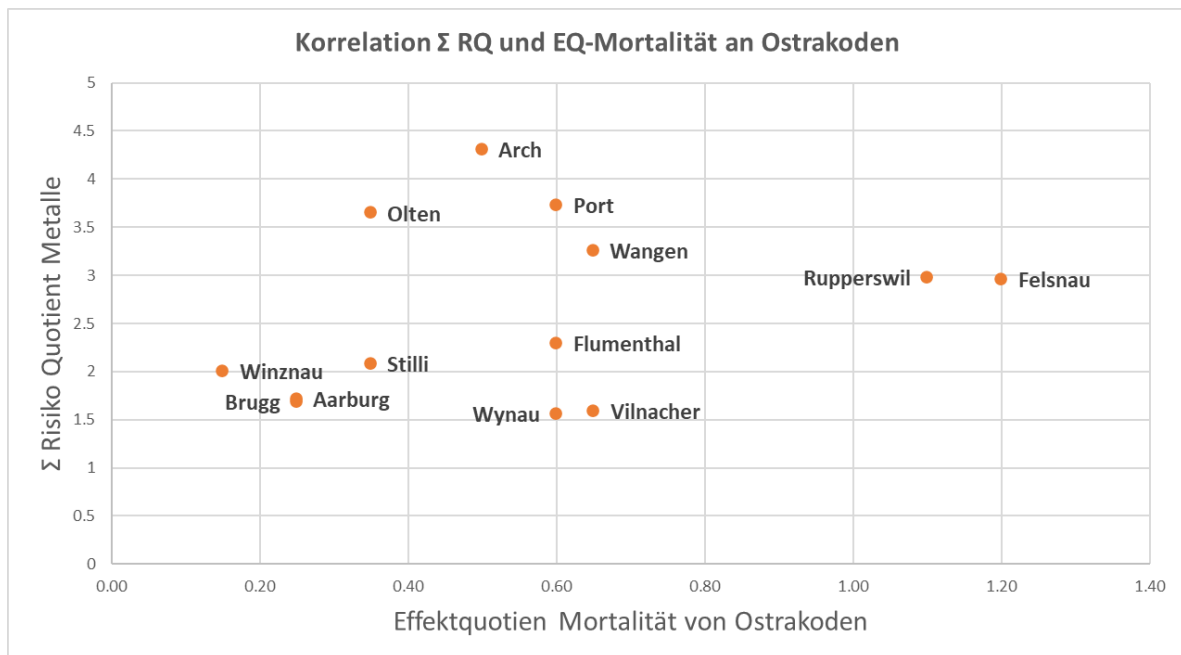


D Korrelation Σ RQ und EQ-Mortalität an Ostrakoden

D.1 Berechnete Σ RQ und EQ aus dem oberen Abschnitt der Aare 2018



D.2 Berechnete Σ RQ und EQ aus dem unteren Abschnitt der Aare 2022



E Erweiterung der Analyse der Universität Bern auf organische Rückstände

Chemikalien	Chemikalien	Chemikalien
2,4-Dichlorophenoxyacetic acid	Deltamethrin	lambda-cyhalothrin
2,6-Dichlorobenzamide	Deltamethrin II	Lindane (γ-HCH)
2OHBP	DEP Diethyl Phthalate	Linuron
3OHBP	<i>Dibenz[a,h]anthracene</i>	Metalaxyl
4MBC	Dieldrin	Methoxychlor
4OHBP	Difeconazole	Methyl Triclosan
<i>Acenaphthene</i>	Difenoconazole	Metolachlor
Acenaphthene d10	Diflufenican	Muscone
<i>Acenaphthylene</i>	Dinoseb	Musk ambrette
Alachlor	Diphennyl TolyI Isomer 1	Musk ketone
Ametryn	Diphenyl TolyI Isomer 2	Musk moskene
<i>Anthracene</i>	Diuron	Musk R1
Atraton	DMP Dimethyl Phthalate	Musk tibetene
Atrazine	DnBP Di-n-butyl Phthalate	Musk xylene
Avobenzone	DnOP Di-n-octyl Phthalate	<i>Naphthalene</i>
Azoxystrobin	EHDPP	Napropamide
BBzP Butyl benzyl Phthalate	EHMC	<i>Nonylphenol</i>
<i>Benz[a]anthracene</i>	EHS	Octocrylene
<i>Benz[b+k]Fluoranthene</i>	Endosulfan alpha	<i>Octylphenol</i>
<i>Benzo(a)pyrene</i>	Endosulfan beta	ODPABA
<i>Benzo[g,h,i]perylene</i>	Endosulfan-sulfate	Orbencarb
Benzophenone 3	Endrin	Oryzalin
Benzophenone-1	Endrin ketone	OTNE
Benzophenone-10	Endrin-aldehyde	p,p'-DDD
Benzyl salicylate	Epoxiconazole	p,p'-DDE
Bifenthrin	Estrone	p,p'-DDT
Bisphenol A	ETHION	Parathion
Carbendazim	Fenpropidin	PBB 1
Carbofuran	Fenpropimorph	PBB 10
Carbophenothion	Fenvalerate I	PBB 101
Cashmeran	Fenvalerate II	PBB 103
Celestolide	Fipronil	PBB 15
Chloridazon	Fluazinam	PBB 153
<i>Chlorpyrifos</i>	Fludioxonil	PBB 155
<i>Chrysene</i>	Flufenacet	PBB 18
Chrysene d12	Fluopicolide	PBB 2
<i>Ciprofloxacin</i>	Fluopyram	PBB 26
Cis-Chlordane	<i>Fluoranthene</i>	PBB 29
cis-Permethrin	Fluoranthene d10	PBB 3
Cyfluthrin I	<i>Fluorene</i>	PBB 30
Cyfluthrin II	Flusilazole	PBB 31
Cyfluthrin III	Fluxapyroxad	PBB 38
Cyfluthrin IV	Galaxolide	PBB 4
<i>Cypermethrin I</i>	Helvetolide	PBB 49
<i>Cypermethrin II</i>	Heptachlor	PBB 52

<i>Cypermethrin III</i>	Heptachlor epoxide	PBB 53
<i>Cypermethrin IV</i>	Homosalate	PBB 7
Cyproconazole	<i>Indeno[1,2,3-cd]pyrene</i>	PBB 80
Cyprodinil	Ioxynil	PBB 9
DEET	Irgarol	PBDE 15
DEHP Bis(2-ethylhexyl) phthalate	Isoproturon	<i>PBDE 153</i>

Chemikalien	Chemikalien	Chemikalien
PBDE 154	Phenothrin	<i>TEHP Tris(2-ethylhexyl)phosphate</i>
PBDE 183	Phenothrin2	<i>Tembotrione</i>
PBDE 197	Prochloraz	<i>Terbutylazine</i>
PBDE 28	PROMETON	<i>Terbutylazine-2-hydroxy</i>
PBDE 47	Prometryn (Caparol)	<i>Terbutryn</i>
PBDE 99	PROPAZINE	<i>Terbutylazine</i>
PCB 101	Propiconazole	<i>Thiamethoxam</i>
PCB 138	Prosulfocarb	<i>TIBP Triisobutyl phosphate</i>
PCB 153	Pyrene	<i>TNBP Tri-n-butyl phosphate</i>
PCB 180	Secbumeton	<i>Tonalide</i>
PCB 187	SIMAZINE	<i>TPP Triphenyl phosphate</i>
PCB 28	Simetryn	<i>Trans-Chlordane</i>
PCB 52	S-Metolachlor	<i>Trans-Nonachlor</i>
Pendimethanil	TCEP Tris(2-chloroethyl) phosphate	<i>Trans-Permethrin</i>
Phantolide	TCPP Tri-(2-Chloroisopropyl) Phosphate	<i>Traseolide</i>
Phenanthrene	Tebuconazole	<i>Triclosan</i>

F Feldprotokolle unterer Abschnitt der Aare 2022



Feldprotokoll - Probenahme von Sediment

Name des Bearbeiters : Nike Maglaris

Organisation : BE, SO, AG

Tel./ Email : _____

Datum/ Uhrzeit : 7.03.22 10:20 - 11:30

Gewässer : Aare

Koordinaten 261 2960 125 1191

Ortsname : Flumenthal JO

Stationscode : FLU

Ziel der Probennahme

Sedimententnahme

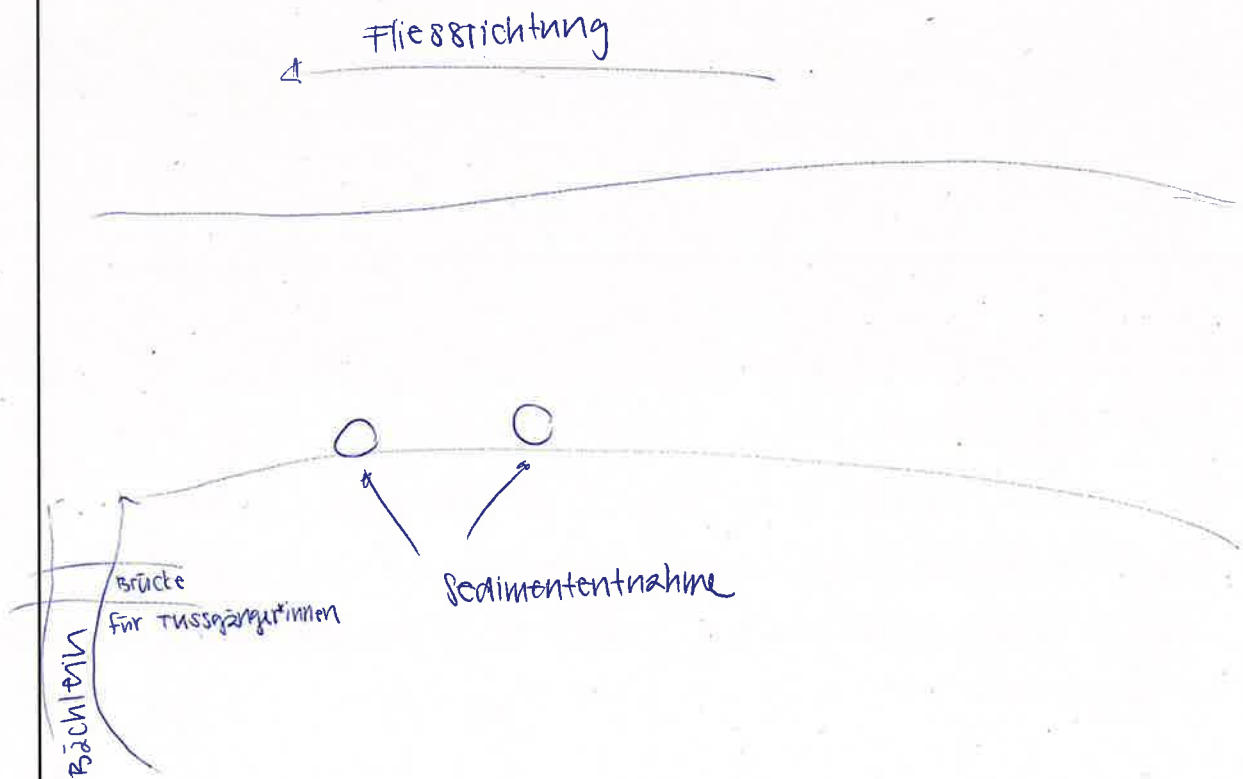
Schema der Probenahmestelle

Länge des Gewässerabschnitts : _____

Gewässerbreite : _____



Präzisieren Sie die Richtung des Flusslaufs, die Anzahl und die Lokalisation der Entnahmepunkte :





Flumenthal 00

Tätigkeiten in der Umgebung :

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Naturgebiet | <input type="checkbox"/> Felder |
| <input type="checkbox"/> Erholungsgebiet | <input type="checkbox"/> Pflanzenart : |
| <input type="checkbox"/> Wohngebiet | <input type="checkbox"/> Industriegebiet |
| <input type="checkbox"/> Regenüberlauf | <input type="checkbox"/> Industriebranche : |
| <input type="checkbox"/> Garten | <input type="checkbox"/> Regenüberlauf |
| <input type="checkbox"/> Landwirtschaftliches Gebiet | <input type="checkbox"/> Mülldeponie |
| <input type="checkbox"/> Weide | <input type="checkbox"/> Belasteter Standort |
| <input type="checkbox"/> Viehweide | <input checked="" type="checkbox"/> Ufer |
| <input type="checkbox"/> Zuströmbereich | <input checked="" type="checkbox"/> Natürliches Ufer |
| | <input type="checkbox"/> Künstliches Ufer |

Wetterbedingungen

- | | |
|---|---|
| Tag der Probenahme | Tage vor der Probenahme |
| <input checked="" type="checkbox"/> Sonnig | <input checked="" type="checkbox"/> Sonnig |
| <input checked="" type="checkbox"/> Wind (1 leicht-> 3 stark) | <input checked="" type="checkbox"/> Wind (1 leicht-> 3 stark) |
| <input type="checkbox"/> Bewölkt (1 leicht -> 3 stark) | <input type="checkbox"/> Bewölkt (1 leicht -> 3 stark) |
| <input type="checkbox"/> Nebel | <input type="checkbox"/> Nebel |
| <input type="checkbox"/> Temperatur : 2°C | <input type="checkbox"/> Temperatur : 2°C |

In situ Messungen

- | | |
|--------------------------------|-----------------------|
| Leitfähigkeit (µS/cm) | Wassertemperatur (°C) |
| 414 µS/cm | 6,3°C |
| Gelösten Sauerstoffs (mg/L; %) | Wasserführung (m³/s) |
| 97% 11,39 mg/L | |
| pH | Anderes |
| 8,217 | |

Beschreibung des Sediment

- | | |
|--|---|
| Farbe und Intensität
(Braun, Grau, Schwarz, Gelb, etc.) | Die Art der Substrat
(sandig, quarzig, feine, schlammig) |
| Dunkelgrau | Sandig - schlammig |
| Geruch und Intensität
(schwefel, chlor, benzene, amoniak, eisern) | Lebende Organismen
(Krebstiere, Insekten, etc.) |
| neutral | Muscheln, Würmer, Chironomus (rot)
Wasserpflanzen |



Feldprotokoll - Probenahme von Sediment

Name des Bearbeiters: Nike Maglaras Organisation: GIBL

Tel./ Email : _____

Datum/ Uhrzeit : 7.03.22 / [Signature]
12:20 - 13:07

Gewässer : Azre

Koordinaten : 261522 1 12316 11

Ortsname : Wangen BE

Stationscode : WAN

Ziel der Probennahme

Sedimententnahme durch GIBL

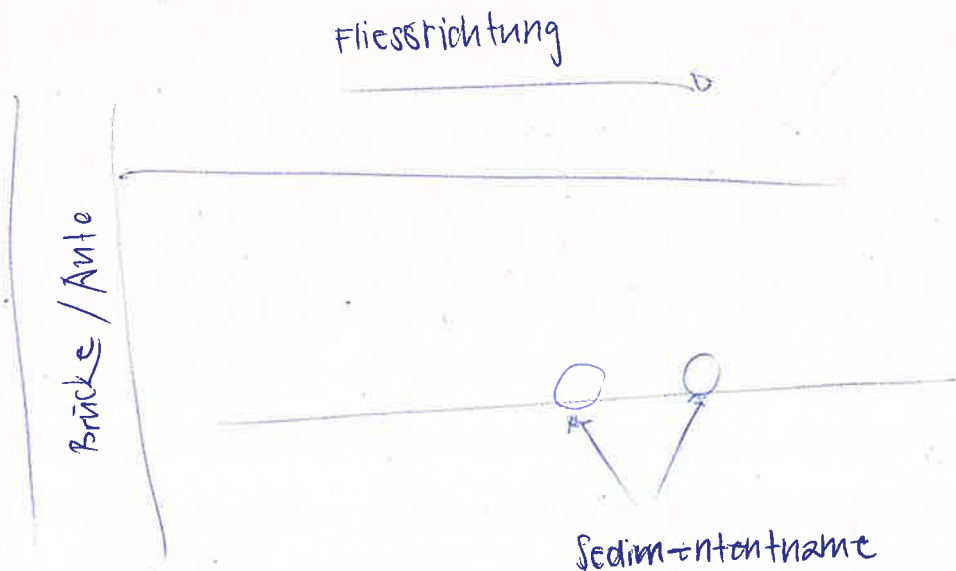
Schema der Probenahmestelle

Länge des Gewässerabschnitts:

Gewässerbreite :



Präzisieren Sie die Richtung des Flusslaufs, die Anzahl und die Lokalisation der Entnahmepunkte :



1x Felcon 50ml
2x Konfi 400ml



Tätigkeiten in der Umgebung :	
<input type="checkbox"/> Naturgebiet <input type="checkbox"/> Erholungsgebiet <input type="checkbox"/> Wohngebiet <input type="checkbox"/> Regenüberlauf <input type="checkbox"/> Garten <input checked="" type="checkbox"/> Landwirtschaftliches Gebiet <input type="checkbox"/> Weide <input type="checkbox"/> Viehweide <input type="checkbox"/> Zuströmbereich	<input type="checkbox"/> Felder <input type="checkbox"/> Pflanzenart : <input type="checkbox"/> Industriegebiet <input type="checkbox"/> Industriebranche : <input type="checkbox"/> Regenüberlauf <input type="checkbox"/> Mülldeponie <input type="checkbox"/> Belasteter Standort <input checked="" type="checkbox"/> Ufer <input checked="" type="checkbox"/> Natürliches Ufer <input type="checkbox"/> Künstliches Ufer
Wetterbedingungen	
Tag der Probenahme <input checked="" type="checkbox"/> Sonnig <input checked="" type="checkbox"/> Wind (1 leicht-> 3 stark) <input type="checkbox"/> Bewölkt (1 leicht -> 3 stark) <input type="checkbox"/> Nebel <input type="checkbox"/> Temperatur : 4°C	Tage vor der Probenahme <input checked="" type="checkbox"/> Sonnig <input type="checkbox"/> Wind (1 leicht-> 3 stark) <input type="checkbox"/> Bewölkt (1 leicht -> 3 stark) <input type="checkbox"/> Nebel <input type="checkbox"/> Temperatur : 3°C
In situ Messungen	
Leitfähigkeit (µS/cm) 416 µS/cm	Wassertemperatur (°C) 5,5°C
Gelösten Sauerstoffs (mg/L; %) 107.8%	Wasserführung (m³/s)
pH 8,2	Anderes
Beschreibung des Sediment	
Farbe und Intensität (Braun, Grau, Schwarz, Gelb, etc.) Grau	Die Art der Substrat (sandig, quarzig, feine, schlammig) sandig
Geruch und Intensität (schwefel, chlor, benzene, amoniak, eisern) neutral	Lebende Organismen (Krebstiere, Insekten, etc.) Würmer (chironomus (rot))



Feldprotokoll - Probenahme von Sediment

Name des Bearbeiters : Nike Maglaras

Organisation : GBL, Hydrz

Tel./ Email : _____

Datum/ Uhrzeit : 8.03.22 10:30-12:15

Gewässer : Azre

Koordinaten : 2584573 1219230

Ortsname : Nidari / Port BE

Stationscode : POZ

Ziel der Probennahme

Sedimententnahme durch Hydrz

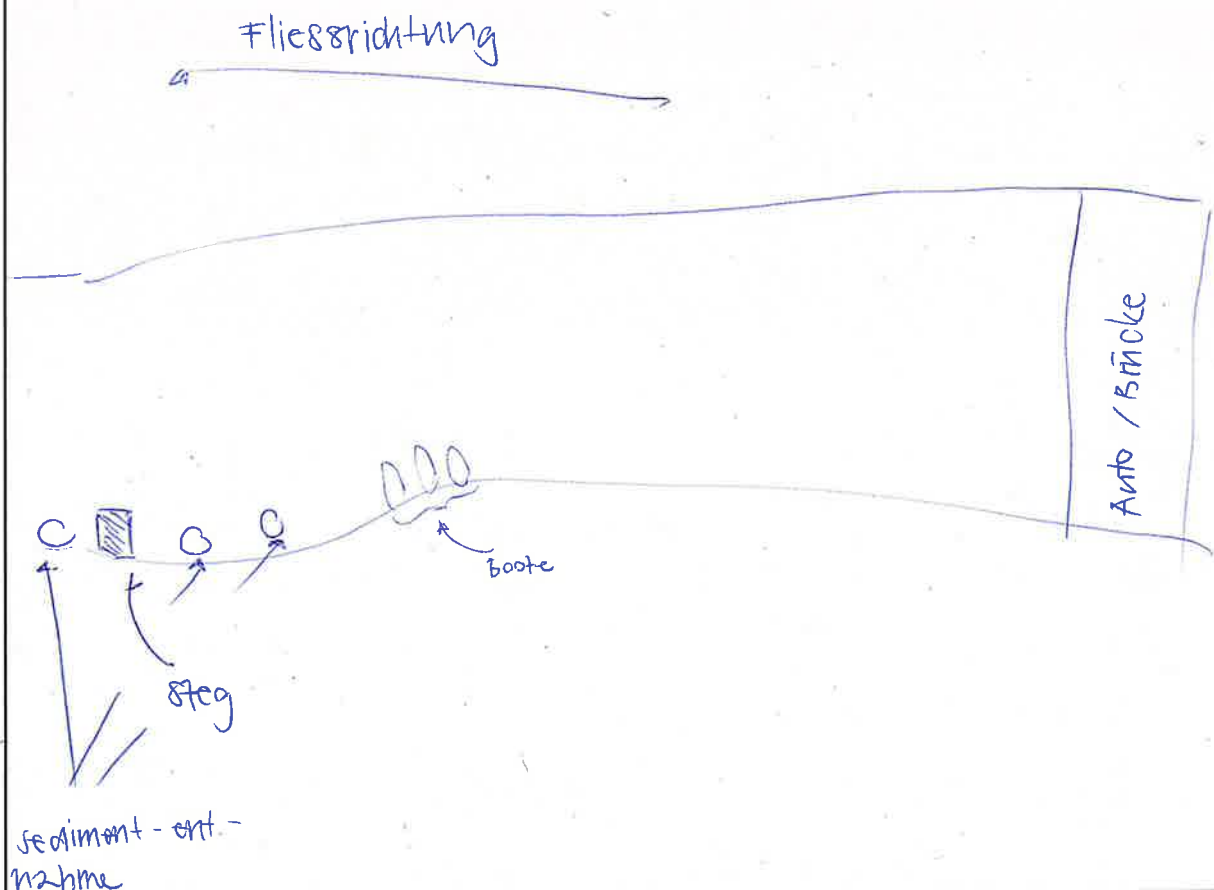
Schema der Probenahmestelle

Länge des Gewässerabschnitts: _____

Gewässerbreite : _____



Präzisieren Sie die Richtung des Flusslaufs, die Anzahl und die Lokalisation der Entnahmepunkte :



1x Felcon 50ml

1x Konfiglas, konnte
knapp gefüllt werden



Tätigkeiten in der Umgebung :

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Naturgebiet | <input type="checkbox"/> Felder
<input type="checkbox"/> Pflanzenart : |
| <input type="checkbox"/> Erholungsgebiet | <input type="checkbox"/> Industriegebiet
<input type="checkbox"/> Industriebranche :
<input type="checkbox"/> Regenüberlauf |
| <input checked="" type="checkbox"/> Wohngebiet
<input type="checkbox"/> Regenüberlauf
<input type="checkbox"/> Garten
<input checked="" type="checkbox"/> Anlage Stelle für Boote | <input type="checkbox"/> Mülldeponie
<input type="checkbox"/> Belasteter Standort |
| <input type="checkbox"/> Landwirtschaftliches Gebiet | |
| <input type="checkbox"/> Weide
<input type="checkbox"/> Viehweide
<input type="checkbox"/> Zuströmbereich | <input checked="" type="checkbox"/> Ufer
<input type="checkbox"/> Natürliches Ufer
<input checked="" type="checkbox"/> Künstliches Ufer |

Wetterbedingungen

- | | |
|---|--|
| Tag der Probenahme | Tage vor der Probenahme |
| <input checked="" type="checkbox"/> Sonnig | <input checked="" type="checkbox"/> Sonnig |
| <input checked="" type="checkbox"/> Wind (1 leicht-> 3 stark) | <input type="checkbox"/> Wind (1 leicht-> 3 stark) |
| <input type="checkbox"/> Bewölkt (1 leicht -> 3 stark) | <input type="checkbox"/> Bewölkt (1 leicht -> 3 stark) |
| <input type="checkbox"/> Nebel | <input type="checkbox"/> Nebel |
| <input checked="" type="checkbox"/> Temperatur : 2°C | <input type="checkbox"/> Temperatur : |

In situ Messungen Hydr

- | | |
|--|--------------------------------|
| Leitfähigkeit (µS/cm)
128 µS/cm
384 µS/cm | Wassertemperatur (°C)
5,9°C |
| Gelösten Sauerstoffs (mg/L; %)
12,8 mg/L 101,9% | Wasserführung (m³/s) |
| pH
8,2 | Anderes |

Beschreibung des Sediment

- | | |
|---|---|
| Farbe und Intensität
(Braun, Grau, Schwarz, Gelb, etc.)
Hauptsächlich nur Muscheln
↳ azurblaue | Die Art der Substrat
(sandig, quarzig, <u>feine</u> , schlammig) |
| Geruch und Intensität
(schwefel, chlor, benzene, amoniak, eisern)
fanlig | Lebende Organismen
(Krebstiere, Insekten, etc.)
Blätter, Muscheln (Sehr viele!) |

Schwierige Sedimententnahme,
da fast nur Muscheln vorhanden waren



Feldprotokoll - Probenahme von Sediment

Name des Bearbeiters: Nike Maglaras Organisation: BE, Hydraz
Tel./ Email: _____ Datum/ Uhrzeit: 8.03.22 / 14:30
Gewässer: Aare Koordinaten: 2598439 1224331
Ortsname: Arch BE/SG Stationscode: ARC

Ziel der Probennahme
Sedimententnahme ^{durch} → GBL

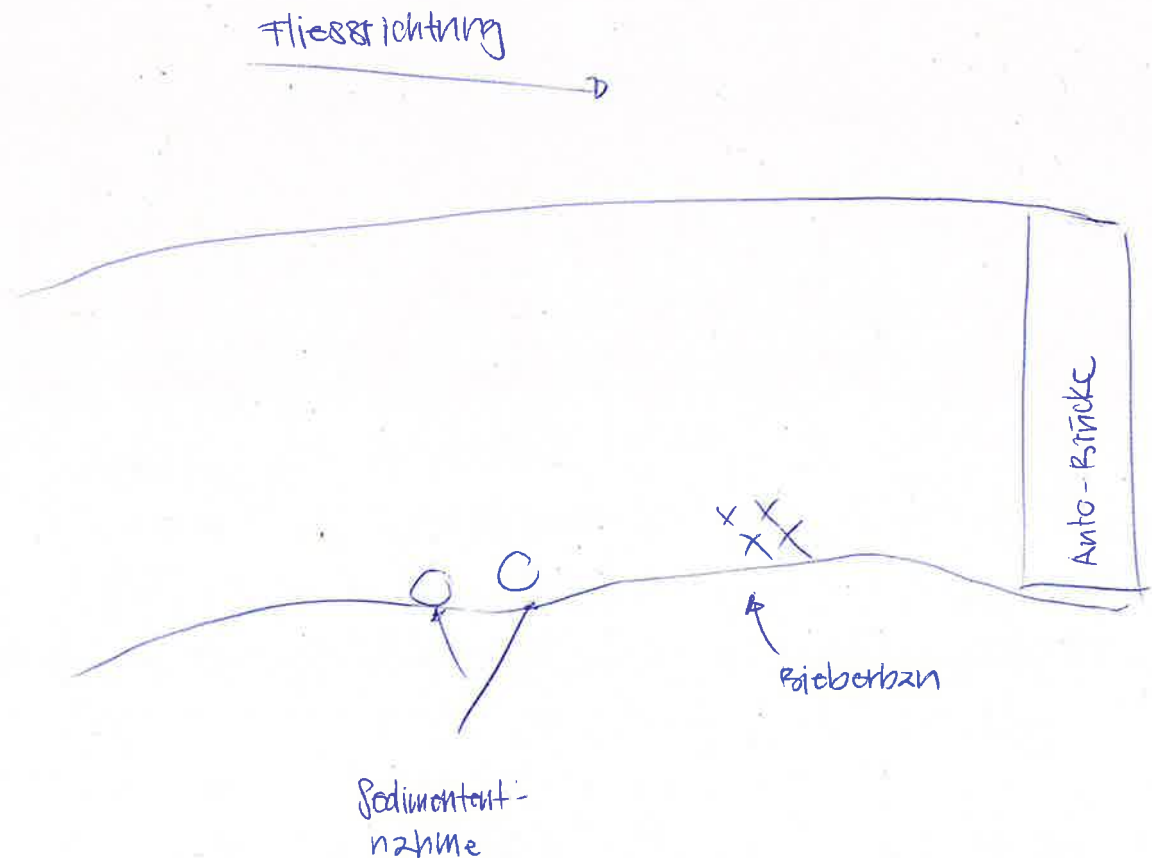
Schema der Probenahmestelle

Länge des Gewässerabschnitts:

Gewässerbreite:



Präzisieren Sie die Richtung des Flusslaufs, die Anzahl und die Lokalisation der Entnahmepunkte:



1x Falcon 50ml
2x Konfiglas 400ml



Tätigkeiten in der Umgebung :

- | | |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Naturgebiet | <input type="checkbox"/> Felder
<input type="checkbox"/> Pflanzenart : |
| <input type="checkbox"/> Erholungsgebiet | <input type="checkbox"/> Industriegebiet
<input type="checkbox"/> Industriebranche :
<input type="checkbox"/> Regenüberlauf |
| <input type="checkbox"/> Wohngebiet
<input type="checkbox"/> Regenüberlauf
<input type="checkbox"/> Garten | <input type="checkbox"/> Mülldeponie
<input type="checkbox"/> Belasteter Standort |
| <input checked="" type="checkbox"/> Landwirtschaftliches Gebiet | |
| <input type="checkbox"/> Weide
<input type="checkbox"/> Viehweide
<input type="checkbox"/> Zuströmbereich | <input checked="" type="checkbox"/> Ufer
<input checked="" type="checkbox"/> Natürliches Ufer
<input type="checkbox"/> Künstliches Ufer |

Wetterbedingungen

Tag der Probenahme

- Sonnig
- Wind (1 leicht -> 3 stark)
- Bewölkt (1 leicht -> 3 stark)
- Nebel

Temperatur : 5°C

Tage vor der Probenahme

- Sonnig
- Wind (1 leicht -> 3 stark)
- Bewölkt (1 leicht -> 3 stark)
- Nebel
- Temperatur :

In situ Messungen

Leitfähigkeit ($\mu\text{S}/\text{cm}$) :

385 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Gelösten Sauerstoffs (mg/L; %)

15 mg/L 127,4 %

pH

8,4

Wassertemperatur ($^{\circ}\text{C}$)

6,2 $^{\circ}\text{C}$

Wasserführung (m^3/s)

Anderes

Beschreibung des Sediment

Farbe und Intensität

(Braun, Grau, Schwarz, Gelb, etc.)

Dunkelgrün

Geruch und Intensität

(schwefel, chlor, benzene, amoniak, eisern)

Agergeruch

Die Art der Substrat

(sandig, quarzig, feine, schlammig)

Lebende Organismen

(Krebstiere, Insekten, etc.)

Wärmer, Muscheln, Schnecken



Feldprotokoll - Probenahme von Sediment

Name des Bearbeiters: Nike Maglarat Organisation: GBL, Hydrax
Tel./ Email: _____ Datum/ Uhrzeit: 9.05.22 10:41
Gewässer: Aare Koordinaten: 26 27668 123 5095
Ortsname: Wynen BE/JO Stationscode: WYN

Ziel der Probennahme

Sedimententnahme durch GBL

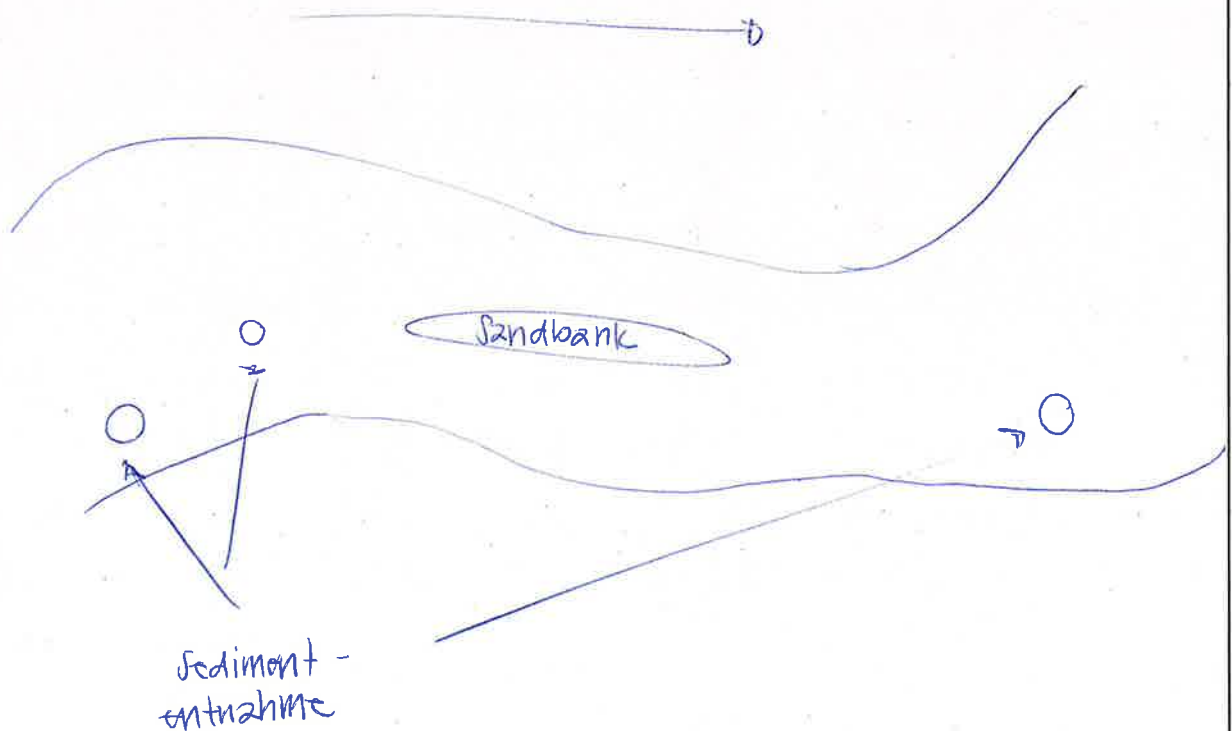
Schema der Probenahmestelle

Länge des Gewässerabschnitts:

Gewässerbreite:



Präzisieren Sie die Richtung des Flusslaufs, die Anzahl und die Lokalisation der Entnahmepunkte:



1x Falcon 50ml
2x Konfi 400ml



Tätigkeiten in der Umgebung :	
<input type="checkbox"/> Naturgebiet <input type="checkbox"/> Erholungsgebiet <input type="checkbox"/> Wohngebiet <input type="checkbox"/> Regenüberlauf <input type="checkbox"/> Garten <input checked="" type="checkbox"/> Landwirtschaftliches Gebiet <input type="checkbox"/> Weide <input type="checkbox"/> Viehweide <input type="checkbox"/> Zuströmbereich	<input type="checkbox"/> Felder <input type="checkbox"/> Pflanzenart : <input type="checkbox"/> Industriegebiet <input type="checkbox"/> Industriebranche : <input type="checkbox"/> Regenüberlauf <input type="checkbox"/> Mülldeponie <input type="checkbox"/> Belasteter Standort <input checked="" type="checkbox"/> Ufer <input checked="" type="checkbox"/> Natürliches Ufer <input type="checkbox"/> Künstliches Ufer
Wetterbedingungen	
Tag der Probenahme <input checked="" type="checkbox"/> Sonnig <input type="checkbox"/> Wind (1 leicht-> 3 stark) <input type="checkbox"/> Bewölkt (1 leicht -> 3 stark) <input type="checkbox"/> Nebel <input checked="" type="checkbox"/> Temperatur : 4.5°C	Tage vor der Probenahme <input type="checkbox"/> Sonnig <input type="checkbox"/> Wind (1 leicht-> 3 stark) <input type="checkbox"/> Bewölkt (1 leicht -> 3 stark) <input type="checkbox"/> Nebel <input type="checkbox"/> Temperatur : 4°C
In situ Messungen	
Leitfähigkeit (µS/cm) 416 µs/cm Gelösten Sauerstoffs (mg/L; %) 13,2 mg/L 109,9 % pH 8,3	Wassertemperatur (°C) 5,4°C Wasserführung (m³/s) Anderes
Beschreibung des Sediment	
Farbe und Intensität (Braun, Grau, Schwarz, Gelb, etc.) Hellere braun	Die Art der Substrat (sandig, quarzig, feine, schlammig) Sandig, fein
Geruch und Intensität (schwefel, chlor, benzene, amoniak, eisern) kein Geruch	Lebende Organismen (Krebstiere, Insekten, etc.) Muscheln, chironomus, Gammariden



Feldprotokoll - Probenahme von Sediment

Name des Bearbeiters: Nike Maglaras Organisation: AG, Hydra, DC
Tel./ Email: _____ Datum/ Uhrzeit: 10.08.22 9:34-11:55
Gewässer: Aare Koordinaten: 2634659 1241314
Ortsname: Aarburg DO/AG Stationscode: AAB

Ziel der Probennahme

Sedimententnahme

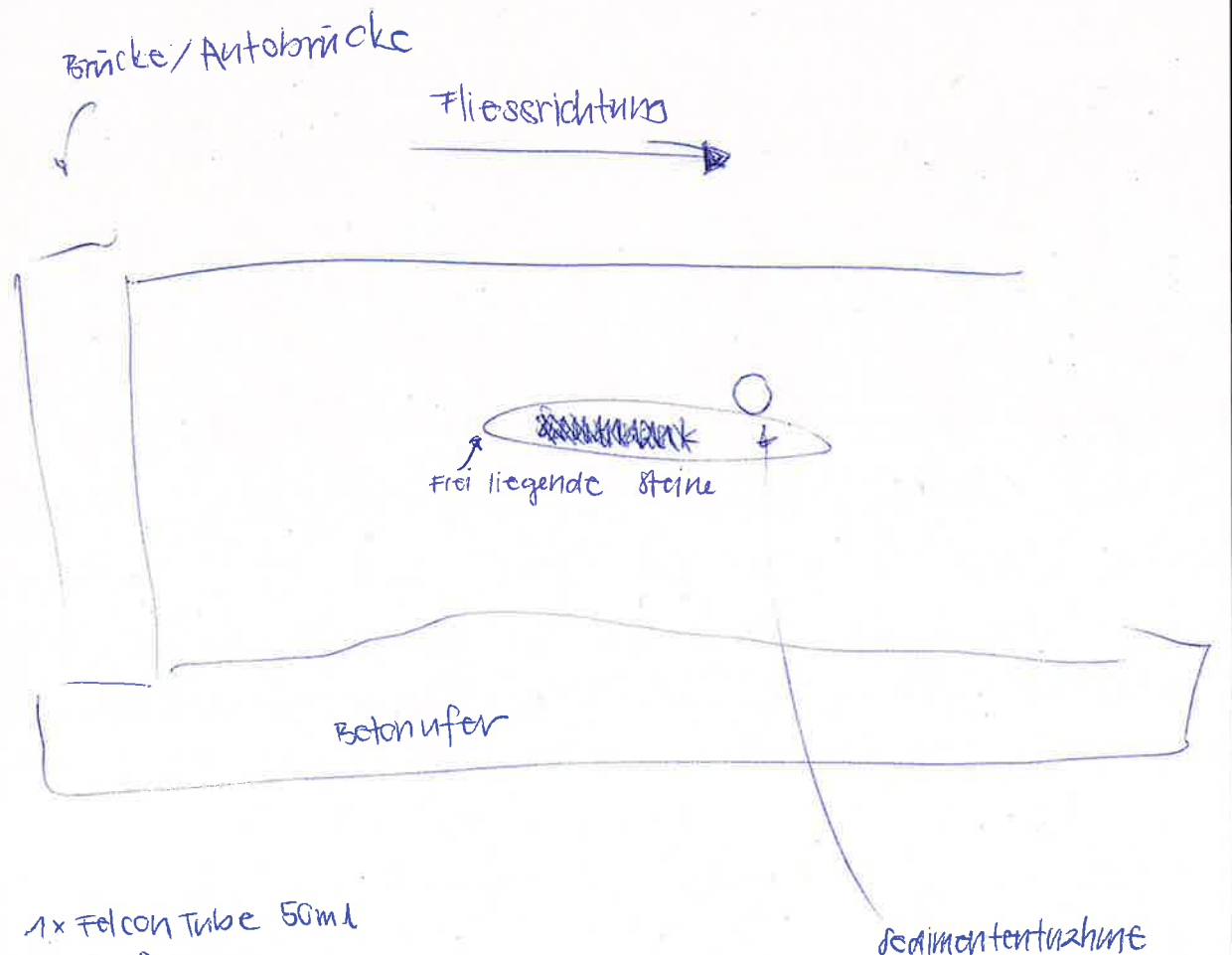
Schema der Probenahmestelle

Länge des Gewässerabschnitts:

Gewässerbreite:



Präzisieren Sie die Richtung des Flusslaufs, die Anzahl und die Lokalisation der Entnahmepunkte:





Tätigkeiten in der Umgebung :

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Naturgebiet | <input type="checkbox"/> Felder
<input type="checkbox"/> Pflanzenart : |
| <input type="checkbox"/> Erholungsgebiet | <input type="checkbox"/> Industriegebiet
<input type="checkbox"/> Industriebranche :
<input type="checkbox"/> Regenüberlauf |
| <input checked="" type="checkbox"/> Wohngebiet
<input type="checkbox"/> Regenüberlauf
<input type="checkbox"/> Garten
<input checked="" type="checkbox"/> Parkplatz | <input type="checkbox"/> Mülldeponie
<input type="checkbox"/> Belasteter Standort |
| <input type="checkbox"/> Landwirtschaftliches Gebiet | |
| <input type="checkbox"/> Weide
<input type="checkbox"/> Viehweide
<input type="checkbox"/> Zuströmbereich | <input checked="" type="checkbox"/> Ufer
<input type="checkbox"/> Natürliches Ufer
<input checked="" type="checkbox"/> Künstliches Ufer |

Wetterbedingungen

- | | |
|---|---|
| Tag der Probenahme | Tage vor der Probenahme |
| <input checked="" type="checkbox"/> Sonnig | <input checked="" type="checkbox"/> Sonnig |
| <input checked="" type="checkbox"/> Wind (1 leicht-> 3 stark) | <input checked="" type="checkbox"/> Wind (1 leicht-> 3 stark) |
| <input type="checkbox"/> Bewölkt (1 leicht -> 3 stark) | <input type="checkbox"/> Bewölkt (1 leicht -> 3 stark) |
| <input type="checkbox"/> Nebel | <input type="checkbox"/> Nebel |
| <input checked="" type="checkbox"/> Temperatur : 7°C | <input type="checkbox"/> Temperatur : 5°C |

In situ Messungen

- | | |
|---|------------------------------|
| Leitfähigkeit (µS/cm)
428 µS/cm | Wassertemperatur (°C)
6°C |
| Gelösten Sauerstoffs (mg/L; %)
13, 13 µg/L 109, 1% | Wasserführung (m³/s) |
| pH
8.28 | Anderes |

Beschreibung des Sediment

- | | |
|---|---|
| Farbe und Intensität
(Braun, Grau, Schwarz, Gelb, etc.)
Grün | Die Art der Substrat
(sandig, quarzig, feine, schlammig)
sandig |
| Geruch und Intensität
(schwefel, chlor, benzene, amoniak, eisern)
neutral | Lebende Organismen
(Krebstiere, Insekten, etc.)
würmer, Blätter |



Feldprotokoll - Probenahme von Sediment

Name des Bearbeiters : Veronique Schifferle Organisation : SO, GBL, Hydrix
Tel./ Email : _____ Datum/ Uhrzeit : 11.03.2022/10:50
Gewässer : Aare Koordinaten : 2685984 1246414
Ortsname : Olten / Trimbach SO Stationscode : OLT

Ziel der Probennahme

Sedimententnahme

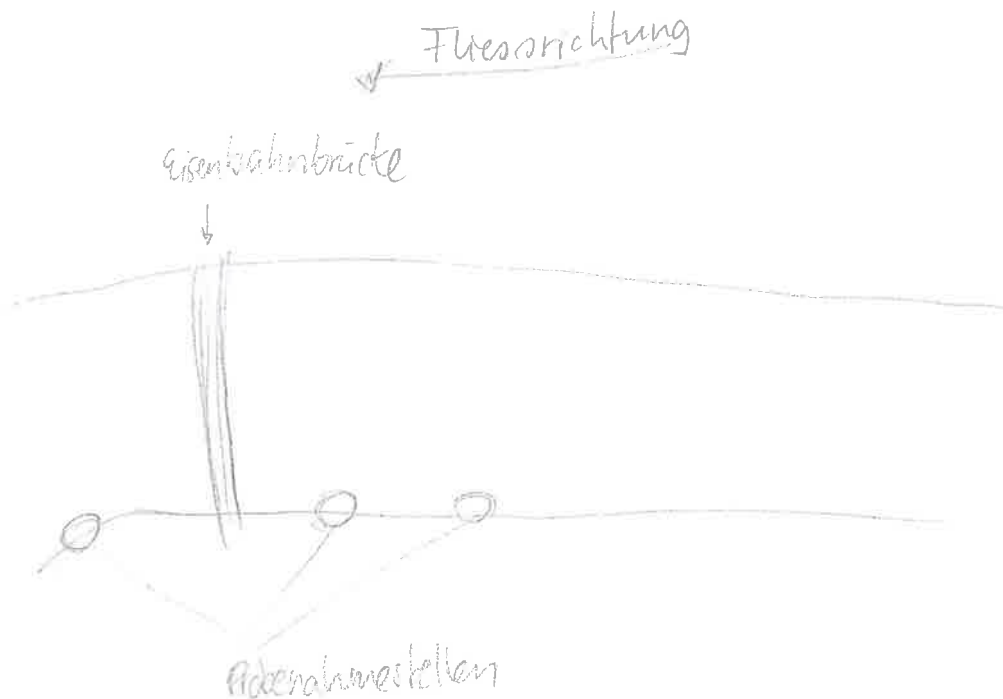
Schema der Probenahmestelle

Länge des Gewässerabschnitts:

Gewässerbreite :



Präzisieren Sie die Richtung des Flusslaufs, die Anzahl und die Lokalisation der Entnahmepunkte :



1x Felcon
1x Konfigkz



Tätigkeiten in der Umgebung :

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Naturgebiet | <input type="checkbox"/> Felder |
| | <input type="checkbox"/> Pflanzenart : |
| <input type="checkbox"/> Erholungsgebiet | <input checked="" type="checkbox"/> Industriegebiet |
| | <input type="checkbox"/> Industriebranche : |
| <input type="checkbox"/> Wohngebiet | <input type="checkbox"/> Regenüberlauf |
| <input type="checkbox"/> Regenüberlauf | <input type="checkbox"/> Mülldeponie |
| <input type="checkbox"/> Garten | <input type="checkbox"/> Belasteter Standort |
| <input type="checkbox"/> Landwirtschaftliches Gebiet | |
| <input type="checkbox"/> Weide | <input type="checkbox"/> Ufer |
| <input type="checkbox"/> Viehweide | <input type="checkbox"/> Natürliches Ufer |
| <input type="checkbox"/> Zuströmbereich | (<input checked="" type="checkbox"/> Künstliches Ufer) |

gradlinig aber mit Bäumen

Wetterbedingungen

Tag der Probenahme

- Sonnig
- Wind (1 leicht-> 3 stark)
- Bewölkt (1 leicht -> 3 stark)
- Nebel
- Temperatur :

12°C

Tage vor der Probenahme

- Sonnig
- Wind (1 leicht-> 3 stark)
- Bewölkt (1 leicht -> 3 stark)
- Nebel
- Temperatur :

10°C

In situ Messungen

Leitfähigkeit (µS/cm)

439

Wassertemperatur (°C)

5,9°C

Gelösten Sauerstoffs (mg/L; %)

12,4 mg/L 103,9%

Wasserführung (m³/s)

pH

8,1

Anderes

Beschreibung des Sediment

Farbe und Intensität

(Braun, Grau, Schwarz, Gelb, etc.)

grau, schwarz (etw. braun)

Die Art der Substrat

(sandig, quarzig, feine, schlammig)

schlammig, sandig

Geruch und Intensität

(schwefel, chlor, benzene, amoniak, eisern)

kein.

Lebende Organismen

(Krebstiere, Insekten, etc.)

Muscheln, Röhrenwürmer, Chironomiden



Feldprotokoll - Probenahme von Sediment

Name des Bearbeiters : Nike Maglaras

Organisation : JO, GBL (EKG), HPA

Tel./ Email : _____

Datum/ Uhrzeit : 14.03.22 9:45 - 12:00

Gewässer : Azre

Koordinaten : 2638789 1245405

Ortsname : Winzenau, Göschen JO

Stationscode : WIZ

Ziel der Probennahme

Sedimententnahme ^{für} → Ostrakodan-Test

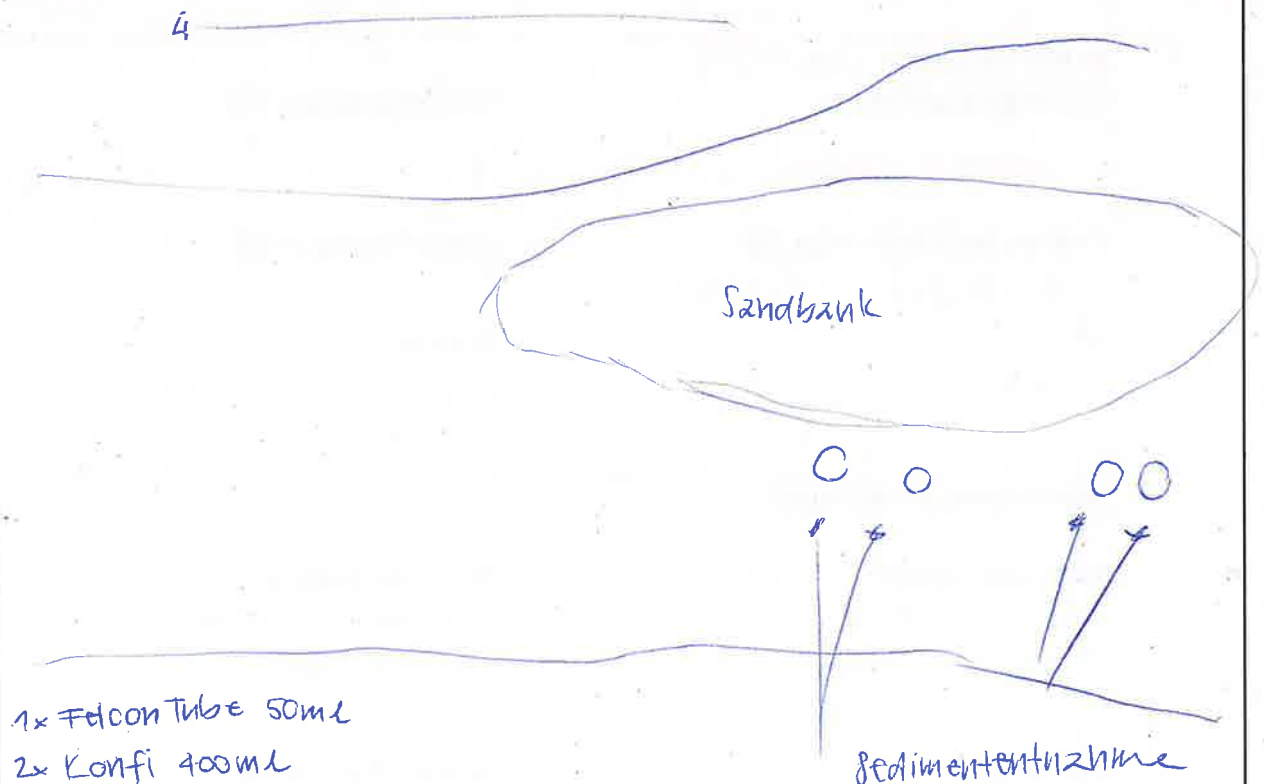
Schema der Probenahmestelle

Länge des Gewässerabschnitts: _____

Gewässerbreite : _____



Präzisieren Sie die Richtung des Flusslaufs, die Anzahl und die Lokalisation der Entnahmepunkte :





Tätigkeiten in der Umgebung :

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Naturgebiet | <input type="checkbox"/> Felder
<input type="checkbox"/> Pflanzenart : |
| <input type="checkbox"/> Erholungsgebiet | <input type="checkbox"/> Industriegebiet
<input type="checkbox"/> Industriebranche :
<input type="checkbox"/> Regenüberlauf |
| <input type="checkbox"/> Wohngebiet
<input type="checkbox"/> Regenüberlauf
<input type="checkbox"/> Garten | <input type="checkbox"/> Mülldeponie

<input type="checkbox"/> Belasteter Standort |
| <input checked="" type="checkbox"/> Landwirtschaftliches Gebiet | |
| <input type="checkbox"/> Weide
<input type="checkbox"/> Viehweide
<input type="checkbox"/> Zuströmbereich | <input checked="" type="checkbox"/> Ufer

<input checked="" type="checkbox"/> Natürliches Ufer
<input type="checkbox"/> Künstliches Ufer |

Wetterbedingungen

- | | |
|--|--|
| Tag der Probenahme | Tage vor der Probenahme |
| <input checked="" type="checkbox"/> Sonnig | <input checked="" type="checkbox"/> Sonnig |
| <input type="checkbox"/> Wind (1 leicht-> 3 stark) | <input type="checkbox"/> Wind (1 leicht-> 3 stark) |
| <input type="checkbox"/> Bewölkt (1 leicht -> 3 stark) | <input type="checkbox"/> Bewölkt (1 leicht -> 3 stark) |
| <input type="checkbox"/> Nebel | <input type="checkbox"/> Nebel |
| <input type="checkbox"/> Temperatur : 10°C | <input type="checkbox"/> Temperatur : 8°C |

In situ Messungen von 11.12

- | | |
|--|--------------------------------|
| Leitfähigkeit (µS/cm)
419 µS/cm | Wassertemperatur (°C)
7.9°C |
| Gelösten Sauerstoffs (mg/L; %)
14.2 mg/L 123,5% | Wasserführung (m³/s) |
| pH
8.4 | Anderes |

Beschreibung des Sediment

- | | |
|---|--|
| Farbe und Intensität
(Braun, Grau, Schwarz, Gelb, etc.)
Grau, eher dunkel | Die Art der Substrat
(sandig, quarzig, feine, schlammig)
Sandig, fein |
| Geruch und Intensität
(schwefel, chlor, benzene, amoniak, eisern)
Algig | Lebende Organismen
(Krebstiere, Insekten, etc.)
Chironomus, Muscheln, Rätter |



Feldprotokoll - Probenahme von Sediment

Name des Bearbeiters: Nike Maglarow

Organisation: IC, AG, Hydria

Tel./ Email: _____

Datum/ Uhrzeit: 15.03.22 9:30 - 11:30

Gewässer: Aare

Koordinaten: 2652692 125 1603

Ortsname: Ruppertswil Auenstein AG

Stationscode: RA

Ziel der Probennahme

Sedimententnahme ^{für} → Ostracodenz Test

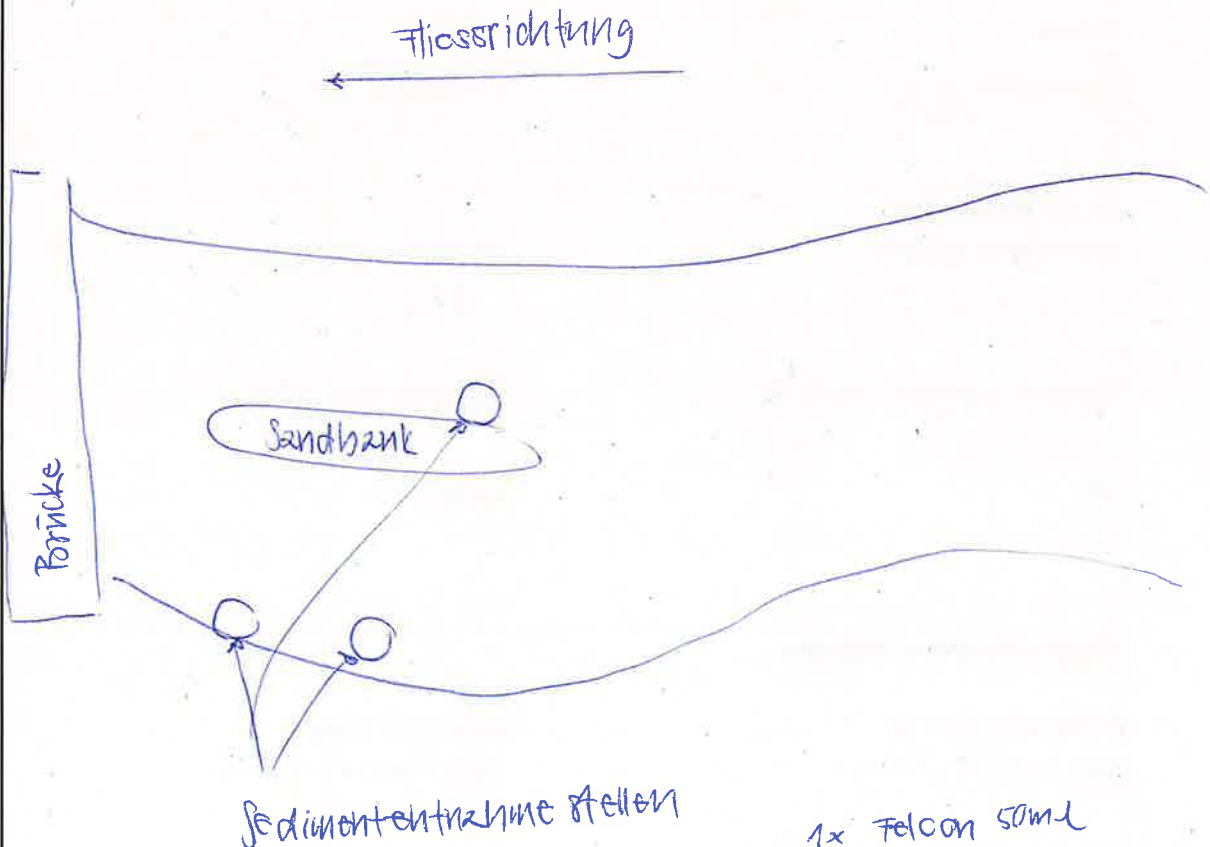
Schema der Probenahmestelle

Länge des Gewässerabschnitts: _____

Gewässerbreite: _____



Präzisieren Sie die Richtung des Flusslaufs, die Anzahl und die Lokalisation der Entnahmepunkte:



1x Felcon 50ml
2x Konfi 400ml



Tätigkeiten in der Umgebung :	
<input checked="" type="checkbox"/> Naturgebiet <input type="checkbox"/> Erholungsgebiet <input type="checkbox"/> Wohngebiet <input type="checkbox"/> Regenüberlauf <input type="checkbox"/> Garten <input type="checkbox"/> Landwirtschaftliches Gebiet <input type="checkbox"/> Weide <input type="checkbox"/> Viehweide <input type="checkbox"/> Zuströmbereich	<input type="checkbox"/> Felder <input type="checkbox"/> Pflanzenart : <input type="checkbox"/> Industriegebiet <input type="checkbox"/> Industriebranche : <input type="checkbox"/> Regenüberlauf <input type="checkbox"/> Mülldeponie <input type="checkbox"/> Belasteter Standort <input checked="" type="checkbox"/> Ufer <input checked="" type="checkbox"/> Natürliches Ufer <input type="checkbox"/> Künstliches Ufer
Wetterbedingungen	
Tag der Probenahme <input type="checkbox"/> Sonnig <input type="checkbox"/> Wind (1 leicht-> 3 stark) <input checked="" type="checkbox"/> Bewölkt (1 leicht -> 3 stark) <u>2</u> <input type="checkbox"/> Nebel <input checked="" type="checkbox"/> Temperatur : <u>6°C</u>	Tage vor der Probenahme <input type="checkbox"/> Sonnig <input type="checkbox"/> Wind (1 leicht-> 3 stark) <input type="checkbox"/> Bewölkt (1 leicht -> 3 stark) <input type="checkbox"/> Nebel <input type="checkbox"/> Temperatur : <u>10°C</u>
In situ Messungen	
Leitfähigkeit ($\mu\text{S}/\text{cm}$) <u>433 $\mu\text{S}/\text{cm}$</u>	Wassertemperatur ($^{\circ}\text{C}$) <u>8°C</u>
Gelösten Sauerstoffs (mg/L; %) <u>12,1 mg/L 105,3%</u>	Wasserführung (m^3/s)
pH <u>8,3</u>	Anderes
Beschreibung des Sediment	
Farbe und Intensität (Braun, Grau, Schwarz, Gelb, etc.) <u>Braun</u>	Die Art der Substrat (sandig, quarzig, feine, schlammig) <u>fein, sandig</u>
Geruch und Intensität (schwefel, chlor, benzene, amoniak, eisern) <u>Algig</u>	Lebende Organismen (Krebstiere, Insekten, etc.) <u>Würmer, Muscheln</u>



Feldprotokoll - Probenahme von Sediment

Name des Bearbeiters: Nike Maglaras Organisation: Solothurn, Hydrz
Tel./ Email: _____ Datum/ Uhrzeit: 16.3.22 9:30 - 11:30
Gewässer: Aare Koordinaten: 2655810 1257950
Ortsname: Vilzacher Schachen AG Stationscode: VIL

Ziel der Probennahme

Sedimententnahme ^{für} → Ostracodz Test

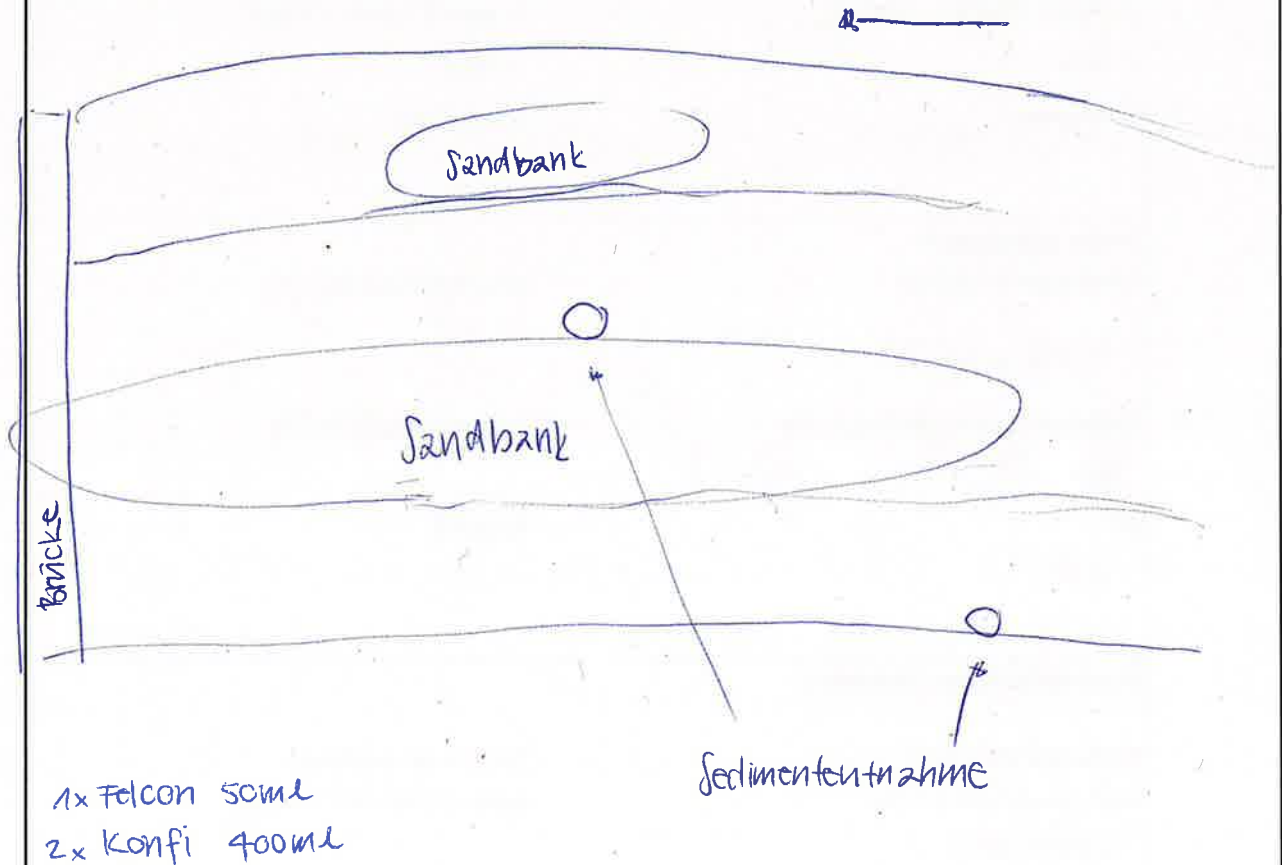
Schema der Probenahmestelle

Länge des Gewässerabschnitts:

Gewässerbreite:



Präzisieren Sie die Richtung des Flusslaufs, die Anzahl und die Lokalisation der Entnahmepunkte:





Tätigkeiten in der Umgebung :	
<input checked="" type="checkbox"/> Naturgebiet <input type="checkbox"/> Erholungsgebiet <input type="checkbox"/> Wohngebiet <input type="checkbox"/> Regenüberlauf <input type="checkbox"/> Garten <input type="checkbox"/> Landwirtschaftliches Gebiet <input type="checkbox"/> Weide <input type="checkbox"/> Viehweide <input type="checkbox"/> Zuströmbereich	<input type="checkbox"/> Felder <input type="checkbox"/> Pflanzenart : <input type="checkbox"/> Industriegebiet <input type="checkbox"/> Industriebranche : <input type="checkbox"/> Regenüberlauf <input type="checkbox"/> Mülldeponie <input type="checkbox"/> Belasteter Standort <input checked="" type="checkbox"/> Ufer (<u>Restalzsäurefremde</u>) <input checked="" type="checkbox"/> Natürliches Ufer <input type="checkbox"/> Künstliches Ufer
Wetterbedingungen	
Tag der Probenahme <input type="checkbox"/> Sonnig <input type="checkbox"/> Wind (1 leicht-> 3 stark) <input checked="" type="checkbox"/> Bewölkt (1 leicht -> 3 stark) <u>2</u> <input type="checkbox"/> Nebel <input type="checkbox"/> Temperatur : <u>10°C</u>	Tage vor der Probenahme <input type="checkbox"/> Sonnig <input type="checkbox"/> Wind (1 leicht-> 3 stark) <input type="checkbox"/> Bewölkt (1 leicht -> 3 stark) <input type="checkbox"/> Nebel <input type="checkbox"/> Temperatur : <u>12°C</u>
In situ Messungen	
Leitfähigkeit ($\mu\text{S/cm}$) <u>444 $\mu\text{S/cm}$</u> Gelösten Sauerstoffs (mg/L; %) 13,6 <u>13,6 mg/L 118,0%</u> pH <u>8.5</u>	Wassertemperatur ($^{\circ}\text{C}$) <u>7.9°C</u> Wasserführung (m^3/s) Anderes
Beschreibung des Sediment	
Farbe und Intensität (Braun, Grau, Schwarz, Gelb, etc.) <u>Dunkelbraun</u>	Die Art der Substrat (<u>sandig</u> , quarzig, feine, schlammig)
Geruch und Intensität (schwefel, chlor, benzene, amoniak, eisern) <u>sehr alzig</u>	Lebende Organismen (Krebstiere, Insekten, etc.) <u>Maden, Larven, Chironomiden, Lzo</u>



Feldprotokoll - Probenahme von Sediment

Name des Bearbeiters: Nike Maglaras Organisation: Aargau, (Hydriz)
Tel./ Email: _____ Datum/ Uhrzeit: 17.03.22 13:30 - 15:00
Gewässer: Aare Koordinaten: 2659839 1263182
Ortsname: Stilli AG Stationscode: STI

Ziel der Probennahme

Sedimententnahme

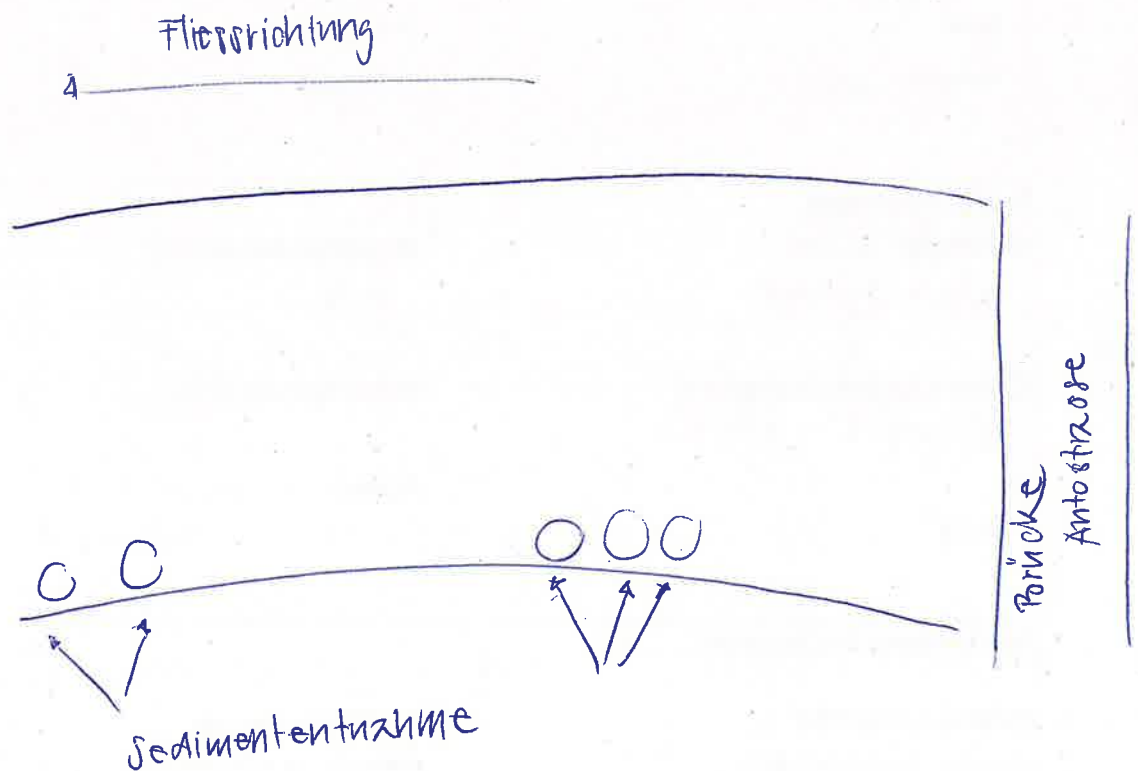
Schema der Probenahmestelle

Länge des Gewässerabschnitts:

Gewässerbreite:



Präzisieren Sie die Richtung des Flusslaufs, die Anzahl und die Lokalisation der Entnahmepunkte:



1x Falcon 50ml
2x Konfi 400ml



Tätigkeiten in der Umgebung :	
<input type="checkbox"/> Naturgebiet <input type="checkbox"/> Erholungsgebiet <input type="checkbox"/> Wohngebiet <input type="checkbox"/> Regenüberlauf <input type="checkbox"/> Garten <input type="checkbox"/> Landwirtschaftliches Gebiet <input type="checkbox"/> Weide <input type="checkbox"/> Viehweide <input type="checkbox"/> Zuströmbereich	<input type="checkbox"/> Felder <input type="checkbox"/> Pflanzenart : <input type="checkbox"/> Industriegebiet <input type="checkbox"/> Industriebranche : <input type="checkbox"/> Regenüberlauf <input type="checkbox"/> Mülldeponie <input type="checkbox"/> Belasteter Standort <input checked="" type="checkbox"/> Ufer <input checked="" type="checkbox"/> Natürliches Ufer <input type="checkbox"/> Künstliches Ufer
Wetterbedingungen	
Tag der Probenahme <input checked="" type="checkbox"/> Sonnig <input checked="" type="checkbox"/> Wind (1 leicht-> 3 stark) <input checked="" type="checkbox"/> Bewölkt (1 leicht -> 3 stark) <input type="checkbox"/> Nebel <input type="checkbox"/> Temperatur : 13°C	Tage vor der Probenahme <input type="checkbox"/> Sonnig <input type="checkbox"/> Wind (1 leicht-> 3 stark) <input type="checkbox"/> Bewölkt (1 leicht -> 3 stark) <input type="checkbox"/> Nebel <input type="checkbox"/> Temperatur :
In situ Messungen	
Leitfähigkeit (µS/cm) 391 µS/cm	Wassertemperatur (°C) 8,8
Gelösten Sauerstoffs (mg/L; %) 13,3 mg/L 117,9%	Wasserführung (m³/s)
pH 8,4	Anderes
Beschreibung des Sediment	
Farbe und Intensität (Braun, Grau, Schwarz, Gelb, etc.) Braun-graue Oberfläche untergrund schwarz	Die Art der Substrat (sandig, quarzig, feine, schlammig) Sandig
Geruch und Intensität (schwefel, chlor, benzene, amoniak, eisern) eisern	Lebende Organismen (Krebstiere, Insekten, etc.) Muscheln (Corbicula)



Feldprotokoll - Probenahme von Sediment

Name des Bearbeiters : Nike Maglaraj

Organisation : Aziqa; Hydra

Tel./ Email : _____

Datum/ Uhrzeit : 17.03.22 10:00 - 12:30

Gewässer : Aare

Koordinaten : 2658653 12595801re
2658660 12596681i

Ortsname : Brugg Kanton AG

Stationscode : BRLI

Ziel der Probennahme

Sedimententnahme

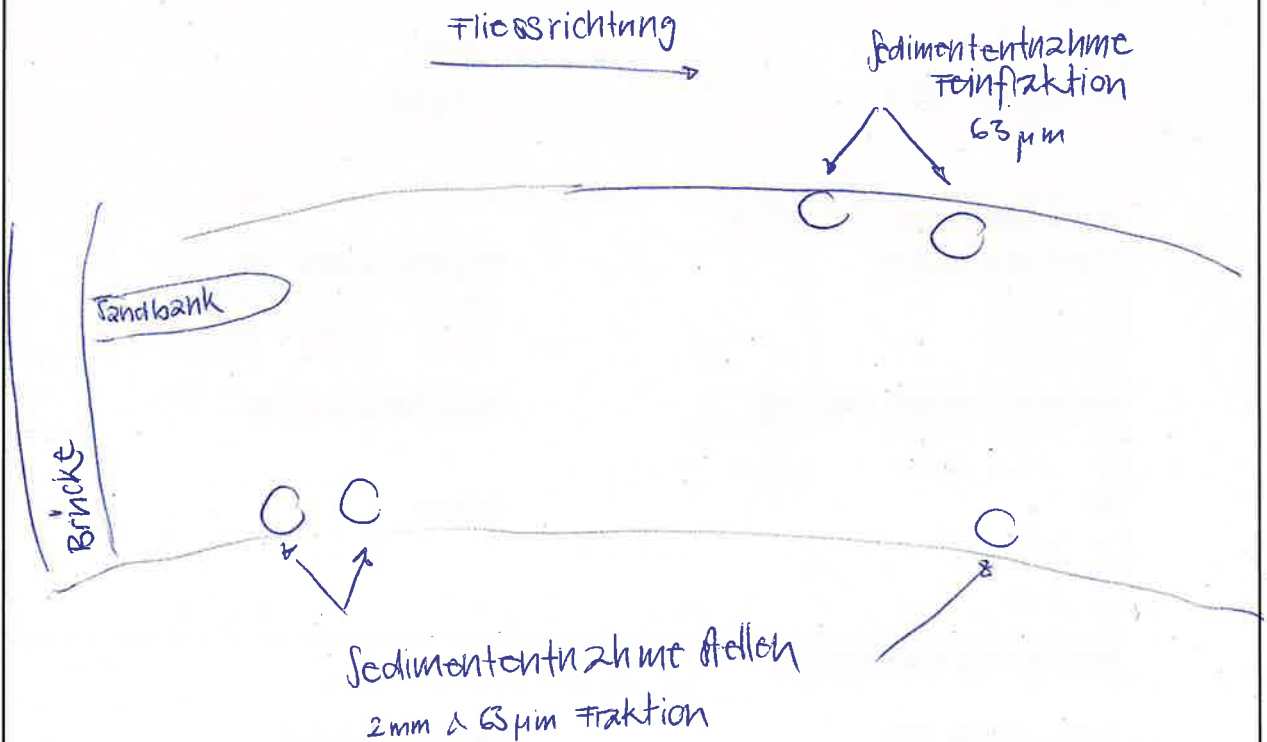
Schema der Probenahmestelle

Länge des Gewässerabschnitts: _____

Gewässerbreite : _____



Präzisieren Sie die Richtung des Flusslaufs, die Anzahl und die Lokalisation der Entnahmepunkte :



1 x Falcon 50ml
2 x Konfi 400ml } Sehr sandig, kaum
Sediment vorhanden



Tätigkeiten in der Umgebung :	
<input type="checkbox"/> Naturgebiet <input type="checkbox"/> Erholungsgebiet <input type="checkbox"/> Wohngebiet <input type="checkbox"/> Regenüberlauf <input type="checkbox"/> Garten <input type="checkbox"/> Landwirtschaftliches Gebiet <input type="checkbox"/> Weide <input type="checkbox"/> Viehweide <input type="checkbox"/> Zuströmbereich	<input type="checkbox"/> Felder <input type="checkbox"/> Pflanzenart : <input type="checkbox"/> Industriegebiet <input type="checkbox"/> Industriebranche : <input type="checkbox"/> Regenüberlauf <input type="checkbox"/> Mülldeponie <input type="checkbox"/> Belasteter Standort <input checked="" type="checkbox"/> Ufer <input type="checkbox"/> Natürliches Ufer <input checked="" type="checkbox"/> Künstliches Ufer
Wetterbedingungen	
Tag der Probenahme <input type="checkbox"/> Sonnig <input type="checkbox"/> Wind (1 leicht-> 3 stark) <input checked="" type="checkbox"/> Bewölkt (1 leicht -> 3 stark) <input type="checkbox"/> Nebel <input type="checkbox"/> Temperatur : 12°C	Tage vor der Probenahme <input type="checkbox"/> Sonnig <input type="checkbox"/> Wind (1 leicht-> 3 stark) <input checked="" type="checkbox"/> Bewölkt (1 leicht -> 3 stark) <input type="checkbox"/> Nebel <input type="checkbox"/> Temperatur : 9°C
In situ Messungen von Hydraz	
Leitfähigkeit (µS/cm) R: 438 L: 391 Gelösten Sauerstoffs (mg/L; %) R: 13,4 mg/L 117,0 % L: 13,3 mg/L 117,9 % pH R: 8,3 L: 8,4	Wassertemperatur (°C) rechte Seite: 8,1°C linke Seite: 8,8°C Wasserführung (m³/s) Anderes
Beschreibung des Sediment	
Farbe und Intensität (Braun, Grau, Schwarz, Gelb, etc.) Dunkelgrün	Die Art der Substrat (sandig, quarzig, feine, schlammig) Sandig
Geruch und Intensität (schwefel, chlor, benzene, amoniak, eisern) — leicht Algig	Lebende Organismen (Krebstiere, Insekten, etc.) Gammariden, Chironomus (rot) Blätter



Feldprotokoll - Probenahme von Sediment

Name des Bearbeiters : Nike Maglaras

Organisation : Hydr2, Solothurn

Tel./ Email : _____

Datum/ Uhrzeit : 18.03.22 10:00 - 11:30

Gewässer : Aare

Koordinaten : 265879S 127252G

Ortsname : Felsenan Kanton AG

Stationscode : FEL

Ziel der Probennahme

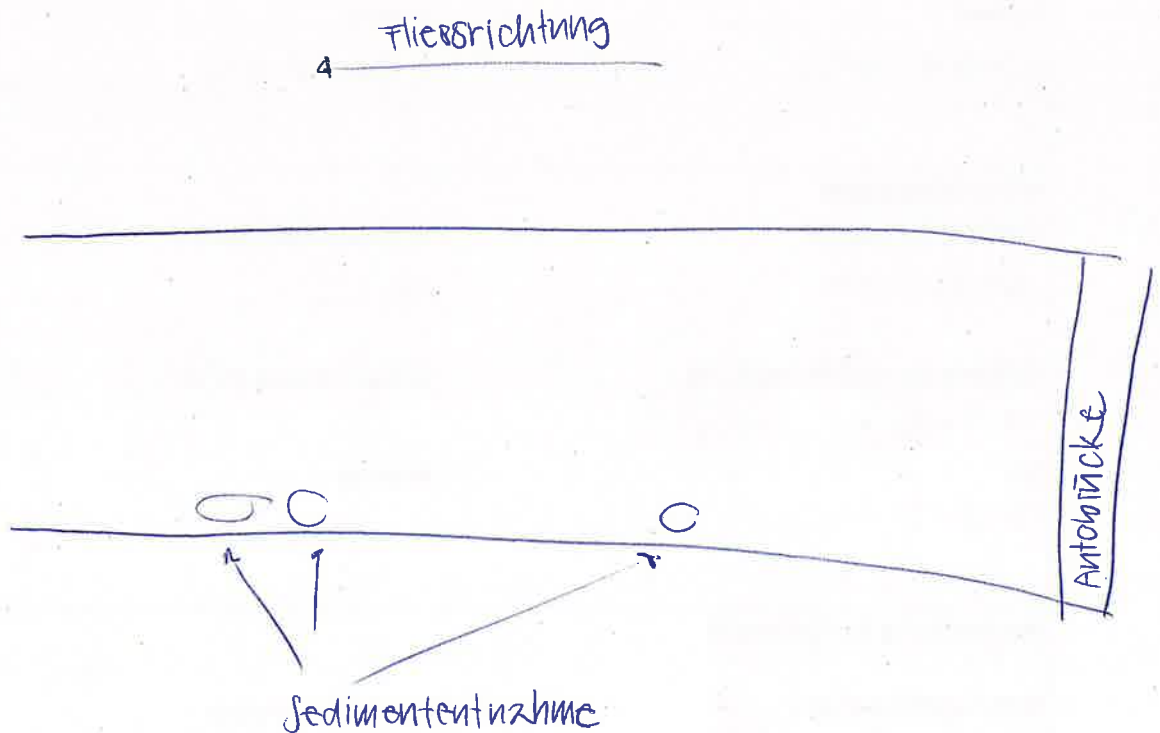
Schema der Probenahmestelle

Länge des Gewässerabschnitts:

Gewässerbreite :



Präzisieren Sie die Richtung des Flusslaufs, die Anzahl und die Lokalisation der Entnahmepunkte :



1x Felcan 50ml
2x Lonfi 400ml



Tätigkeiten in der Umgebung :	
<input type="checkbox"/> Naturgebiet <input checked="" type="checkbox"/> Erholungsgebiet <input type="checkbox"/> Wohngebiet <input type="checkbox"/> Regenüberlauf <input type="checkbox"/> Garten <input type="checkbox"/> Landwirtschaftliches Gebiet <input type="checkbox"/> Weide <input type="checkbox"/> Viehweide <input type="checkbox"/> Zuströmbereich	<input type="checkbox"/> Felder <input type="checkbox"/> Pflanzenart : <input type="checkbox"/> Industriegebiet <input type="checkbox"/> Industriebranche : <input type="checkbox"/> Regenüberlauf <input type="checkbox"/> Mülldeponie <input type="checkbox"/> Belasteter Standort <input checked="" type="checkbox"/> Ufer <input type="checkbox"/> Natürliches Ufer <input checked="" type="checkbox"/> Künstliches Ufer
Wetterbedingungen	
Tag der Probenahme <input type="checkbox"/> Sonnig <input checked="" type="checkbox"/> Wind (1 leicht-> 3 stark) <u>2</u> <input checked="" type="checkbox"/> Bewölkt (1 leicht -> 3 stark) <u>2</u> <input type="checkbox"/> Nebel <input type="checkbox"/> Temperatur : <u>8°C</u>	Tage vor der Probenahme <input type="checkbox"/> Sonnig <input type="checkbox"/> Wind (1 leicht-> 3 stark) <input type="checkbox"/> Bewölkt (1 leicht -> 3 stark) <input type="checkbox"/> Nebel <input type="checkbox"/> Temperatur : <u>10°C</u>
In situ Messungen	
Leitfähigkeit (µS/cm) <u>395 µS/cm</u>	Wassertemperatur (°C) <u>10,2°C</u>
Gelösten Sauerstoffs (mg/L; %) <u>11,7 mg/L 105,7%</u>	Wasserführung (m³/s)
pH <u>8,2</u>	Anderes
Beschreibung des Sediment	
Farbe und Intensität (Braun, Grau, Schwarz, Gelb, etc.) <u>Dunkelbraun</u>	Die Art der Substrat (sandig, quarzig, feine, schlammig) <u>Sandig, fein</u>
Geruch und Intensität (schwefel, chlor, benzene, amoniak, eisern) <u>Sehr alzig</u>	Lebende Organismen (Krebstiere, Insekten, etc.) <u>Gammaziden, Körbchenmuscheln</u>