

11/2016

Methode zur Untersuchung und Beurteilung grosser Fließgewässer

Teil 1: Erhebungsmethode Makroinvertebraten Hochrhein



27. November 2016

Methode zur Untersuchung und Beurteilung grosser Fließgewässer

Teil 1: Erhebungsmethode Makroinvertebraten Hochrhein

Impressum:

Autor: HYDRA

Bearbeiter: Johannes Ortlepp, Uta Mürle, Peter Rey, John Hesselschwerdt

Begleitung: Sabine Zeller, BAFU

HYDRA AG, Lukassstr. 29, 9008 St.Gallen

Zitierung:

HYDRA (2017): Methode zur Untersuchung und Beurteilung grosser Fliessgewässer Teil 1:
Erhebungsmethode Makroinvertebraten Hochrhein.

Inhalt

1. Einleitung	2
1.1 Bisherige Methoden zur Untersuchung und Bewertung des Makrozoobenthos	2
1.2 Entwicklung und Ziel einer neuen Methode.....	2
1.3 Koordinierte biologische Untersuchungen am Hochrhein.....	3
2. Erhebungsmethode Makroinvertebraten Hochrhein.....	5
2.1 Planung der Untersuchung: Untersuchungsbereiche und Untersuchungstermine	5
2.2 Probenahmetechnik	9
2.4 Probenbearbeitung vor Ort	12
2.5 Weitere Aspekte der Probenahme und Probenauswertung am Hochrhein.....	16
3. Anmerkungen zur Probenbearbeitung und Auswertung der Proben	19
3.1 Probenbearbeitung im Labor.....	19
3.2 Anmerkungen zur Auswertung der Proben.....	19
4. Konservierung und Archivierung der Proben	20
4.1 «Richtlinien zur Archivierung von Makrozoobenthos-Proben»	20
4.2 Weitergehende Überlegungen zur Zusammenfassung von Einzel- und Teilproben	22
4.3 Vorgehensweise bei den Hochrhein-Benthosproben	24
5. Datenhaltung und Datenlieferungen.....	25
6. Fazit	28
6.1 Zielsetzung benthosbiologischer Untersuchungen grosser Flüsse.....	28
6.2 Planung der Untersuchung	29
6.3 Probenahmetechnik	32
6.4 Bearbeitung und Auswertung	33
7. Literatur.....	35
8. Anhang.....	41
Berücksichtigte Untersuchungen an grossen Fließgewässern	41
Übersicht über die bisher angewandte Untersuchungsmethodik Hochrhein	43
Aufwand & Kosten	44

1. Einleitung

1.1 Bisherige Methoden zur Untersuchung und Bewertung des Makrozoobenthos

Die Schweizerische Gewässerschutzverordnung verlangt eine typspezifische Gewässerbeurteilung. Dementsprechend erfordern die Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer in der Schweiz (Modul-Stufen-Konzept MSK) eine Zuordnung der untersuchten Gewässer nach Gewässertypen. Bei den Modulen Makrozoobenthos und Fische sind bisher nur Erhebungsmethoden für Fließgewässern ausgearbeitet, die in gesamter Breite bewatbar sind. Das Modul «Makroinvertebraten Stufe F» [STUCKI 2010] hat sich in watbaren Gewässern seit mehreren Jahren bewährt. Durch eine repräsentative Probenahme der dominierenden Kleinlebensräume (Multihabitat-sampling) kann dabei das biologische Inventar adäquat erfasst und ein guter Überblick über die jeweilige Biozönose und ihre qualitativen und quantitativen Eigenschaften gewonnen werden. Ein grossräumiger Vergleich ist sowohl hinsichtlich der Gewässer-Inventare als auch der biologisch indizierten Gewässergüte möglich.

Bereits seit über 25 Jahren wurden entsprechende Untersuchungen aber auch in vielen grösseren, tieferen und damit methodisch anspruchsvolleren Flüssen der Schweiz durchgeführt. Die Untersuchungen wurden dabei auf die jeweiligen Rahmenbedingungen zugeschnitten (z.B. Hochrhein [REY et al. 2015], Aare [REY et al. 2013], Rhone [BAUMANN 2004], Limmat [AQUAPLUS 2011], Reuss [AQUAPLUS & HYDRA 2011], Alpenrhein [REY & HESSELSCHWERDT 2016]). Eine Standardisierung solcher Methoden für grosse Fließgewässer liegt jedoch noch nicht vor. Relativ weit gediehen ist die Entwicklung einer Methode zur Erfassung der Makrophytenbesiedlung, (AquaPlus, Makrophyten, hier ist derzeit seitens BAFU eine Methode in der Entwicklung).

Bei grossen und/oder über hüfttiefen Flüssen repräsentieren die bewatbaren, meist ufernahen Flächen nicht mehr den biologischen Gesamtcharakter des Gewässers. Um hier ebenfalls eine entsprechende Klassifizierung anhand benthosbiologischer Aufnahmen zu ermöglichen bedarf es einer separaten Methode. Eine gute methodische Grundlage hierfür bieten die bisherigen Ansätze der Langzeit-Monitoringprogramme am Hochrhein und an der Aare [z.B. REY et al. 2015]. Auch können die Erfahrungen der EU-Rheinanliegerstaaten zu Rate gezogen werden, in denen bereits Methoden und Bewertungssysteme existieren, die auf grössere Flüsse anwendbar sind (z.B. Deutschland: Potamon-Typie-Index [SCHÖLL & HAYBACH 2001]; Österreich: Arbeitsanweisung Fließgewässer – A2-01a. Qualitätselement Makrozoobenthos [BMLFUW 2006]).

1.2 Entwicklung und Ziel einer neuen Methode

Die hier vorliegende auf zwei Teile projektierte Studie enthält erste Schritte zur Entwicklung einer «Methode zur Untersuchung und Beurteilung grosser Fließgewässer» für das Modul Makrozoobenthos.

Der Auftrag gliedert sich in 2 Teile:

- Teil 1: Erhebungsmethode Makroinvertebraten Hochrhein
- Teil 2 (Hauptteil): Evaluation und Konzeptvorschlag für eine MSK-Bewertungsmethode Makroinvertebraten in grossen Flüssen

An die im vorliegenden Teil 1 vorgestellte Methode am Hochrhein soll sich der spätere Konzeptvorschlag anlehnen, da am Hochrhein bereits seit 1990 umfassende methodischen Erfahrungen an einem grossen Fließgewässer gesammelt wurden.

Mit einer neuen Methode wird eine nachvollziehbare Bewertung des biologischen Gewässerzustands angestrebt, wobei die Vergleichbarkeit mit bisherigen Untersuchungen gewährt bleiben und ein Vergleich mit anderen Methoden im europäischen Rahmen möglich sein soll. Bei allem dürfen die bisherigen Standards nicht aufgegeben werden, die sich im Rahmen bereits laufender Langzeitmonitoringprogramme etabliert haben. Andernfalls würde dies zu einem Verlust von Verwertbarkeit der Daten über biologische Veränderungen in den Hauptachsen unserer Fließgewässersysteme führen.

Bei den meisten grossen Fließgewässern der Schweiz handelt es sich um Flüsse, die durch mehrere Staaten fließen (z.B. Rhein, Alpenrhein, Rhône, Ticino, Inn, Doubs) oder zumindest in solche einmünden (Aare, Reuss, Limmat usw.) sind die so erfassten Daten auch von internationaler Bedeutung. Die neue Methode muss zumindest mit den Methoden der EU-Wasserrahmenrichtlinie soweit kompatibel sein, dass sie besser als bisher in einer international vergleichbaren Form erfasst und aufgearbeitet werden kann (z.B. für eine koordinierte Auswertung der Rheindaten durch die Internationale Rheinschutzkommission (IKSR)). Auf der anderen Seite soll sie auch dazu dienen, die «Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität» (NAWA) auf grössere Fließgewässer ausdehnen zu können.

Im Rahmen der Methodenevaluation soll diskutiert werden, inwieweit eine solche neue Methode erarbeitet und wie sie in den Kontext kantonaler und z.T. auch international koordinierter Messprogramme und Langzeitmonitorings gestellt werden kann. Auftrag und Inhalte zur Evaluation der neuen Methode wurde im Pflichtenheft «Methode Makroinvertebraten grosse Flüsse: Vorgehen Erhebungen Hochrhein und MSK-Beurteilungskonzept» [ZELLER 2016] umrissen.

1.3 Koordinierte biologische Untersuchungen am Hochrhein

Seit 1990 werden am Hochrhein im 5- resp. 6-Jahresturnus koordinierte biologische Untersuchungen mit Beteiligung der zuständigen Fachstellen des Bundes, der Rheinanliegerkantone und Baden-Württembergs durchgeführt. Das Programm beinhaltete bisher jeweils Bestandsaufnahmen der wirbellosen Kleinlebewesen, der Aufwuchsalgen und der im Wasser freischwebenden Algen. Die Ergebnisse bilden einen wichtigen Beitrag zu den gesamtrheinischen biologischen Messprogrammen im Rahmen der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR).

Die als Langzeitmonitoring konzipierten Untersuchungen sollen es ermöglichen, Einflüsse der Veränderungen der Flussstruktur, der Wasserqualität und anderer Umgebungsfaktoren auf die Lebewelt im Hochrhein zu erkennen. Die Ergebnisse der Untersuchungen von 1990 bis 2012 sind in verschiedenen Publikationen des Bundesamtes für Umwelt veröffentlicht (Schriftenreihen Nr. SRU 190, 191, 196, 197, 282, 283, 345, 375, UW 0822 und UZ 1522).

Die Zielsetzungen des Programms der «koordinierten biologischen Untersuchungen am Hochrhein» lauten:

- Leistung des erforderlichen Beitrags zum Rhein-Messprogramm Biologie 2011/12 entlang des gesamten Rheins im Rahmen der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins
- Beschreibung des biologischen Zustands des Rheins durch einheitlich durchgeführte Untersuchungen anhand der biologischen Qualitätskomponenten (Phytoplankton, Benthische Diatomeen, Makrophyten, Makrozoobenthos und Fischfauna)
- Ergänzung der biologischen Kenntnisse über den Rhein
- Gewährleistung der Kontinuität der seit 1990 im 5- resp. 6-Jahresturnus durchgeführten biologischen Gewässerüberwachung am Hochrhein

Im Rahmen der koordinierten biologischen Untersuchungen Hochrhein nimmt das Makrozoobenthos (Lebensgemeinschaft der Makroinvertebraten) als guter und schnell auf veränderte Umwelteinflüsse reagierender Indikator einen besonderen Stellenwert ein. Seit 1990 erfolgt die Makrozoobenthos-Probenahme auf neun repräsentativen Flussquerschnitten des Hochrheins zwischen Bodensee und Basel. Nachdem ein umfassender Überblick über das Arteninventar und eine biologische Charakterisierung der unterschiedlichen Gewässerabschnitte gewonnen werden konnte, lag der Schwerpunkt der folgenden Untersuchungskampagnen darauf, die Entwicklung und Veränderungen dieses Organismenbestands zu dokumentieren. Dabei sollten sowohl die Auswirkungen grossräumiger Einflüsse (Klimawechsel) wie auch kleinräumiger Veränderungen (Nutzungsänderungen, Revitalisierungen) diskutiert werden.

2. Erhebungsmethode Makroinvertebraten Hochrhein

Ausgehend von den Erfahrungen aus den bisherigen Untersuchungskampagnen am Hochrhein wird im Folgenden die Erhebungsmethode Makroinvertebraten Hochrhein vorgestellt. Sie dient als Basis für die weitergehenden Evaluationen und Methodenvorschläge im Berichtsteil 2, in dem ein Konzeptvorschlag für eine MSK-Bewertungsmethode Makroinvertebraten in grossen Flüssen erfolgt.

- Planung der Untersuchung: Untersuchungsbereiche und Untersuchungstermine
- Probenahmetechnik
- Probenbearbeitung vor Ort
- Weitere Aspekte der Probenahme und Probenauswertung am Hochrhein

2.1 Planung der Untersuchung: Untersuchungsbereiche und Untersuchungstermine

Hochrheinabschnitte und nutzungsgeprägte Flussbereiche

Zur Charakterisierung des Gewässerzustandes des Hochrheins wurden Gewässerabschnitte definiert, die sich durch Lage im Gewässerkontinuum (Seeabfluss), hydrologische Eigenheiten (Wasserführung, Zuflüsse), morphologische Eigenheiten (Querschnitt, Gefälle) sowie Nutzung und Verbau unterscheiden. Die Unterschiede können sich auf die Gewässersohle oder die Ufer beschränken aber auch beide betreffen. Innerhalb dieser Abschnitte wurden zusätzlich Bereiche berücksichtigt, die aufgrund ihrer Nutzung spezielle Eigenheiten aufweisen wie Staubereiche oder Abschnitte, die von der Grossschifffahrt genutzt werden.

Tab. 2.1: Hochrheinabschnitte und Untersuchungstransecte zu Abb. 2.1.

Abschnitt	Abschnittscharakter
Abschnitt A Seeabfluss :	<ul style="list-style-type: none"> • freifliessender Seeabfluss (Hemishofen)
Abschnitt B zwischen Rheinfall und Aaremündung:	<ul style="list-style-type: none"> • gestauter Restwasserabfluss (Rheinau) • freifliessender, geschiebearmer Rhein (Ellikon) • eingestauter Rhein unterhalb Thurzufluss (Tössegg) • freifliessender Rhein oberhalb Aarezufluss (Rietheim)
Abschnitt C unterhalb Aarezufluss, stark verbaute Ufer:	<ul style="list-style-type: none"> • gut durchströmte Stauwurzel (Waldshut) • Staubereich mit monotonem Profil (Sisseln)
Abschnitt D stark ausgebauter Abschnitt mit Grossschifffahrt:	<ul style="list-style-type: none"> • Staubereich, monotones Profil (Schweizerhalle) • freifliessender Bereich (Basel)

Anmerkung: Abschnitt D war zunächst mit Abschnitt C zusammengefasst, aufgrund der besonderen Exposition hinsichtlich der Neozoenbesiedlung wurde er als eigener Abschnitt abgetrennt

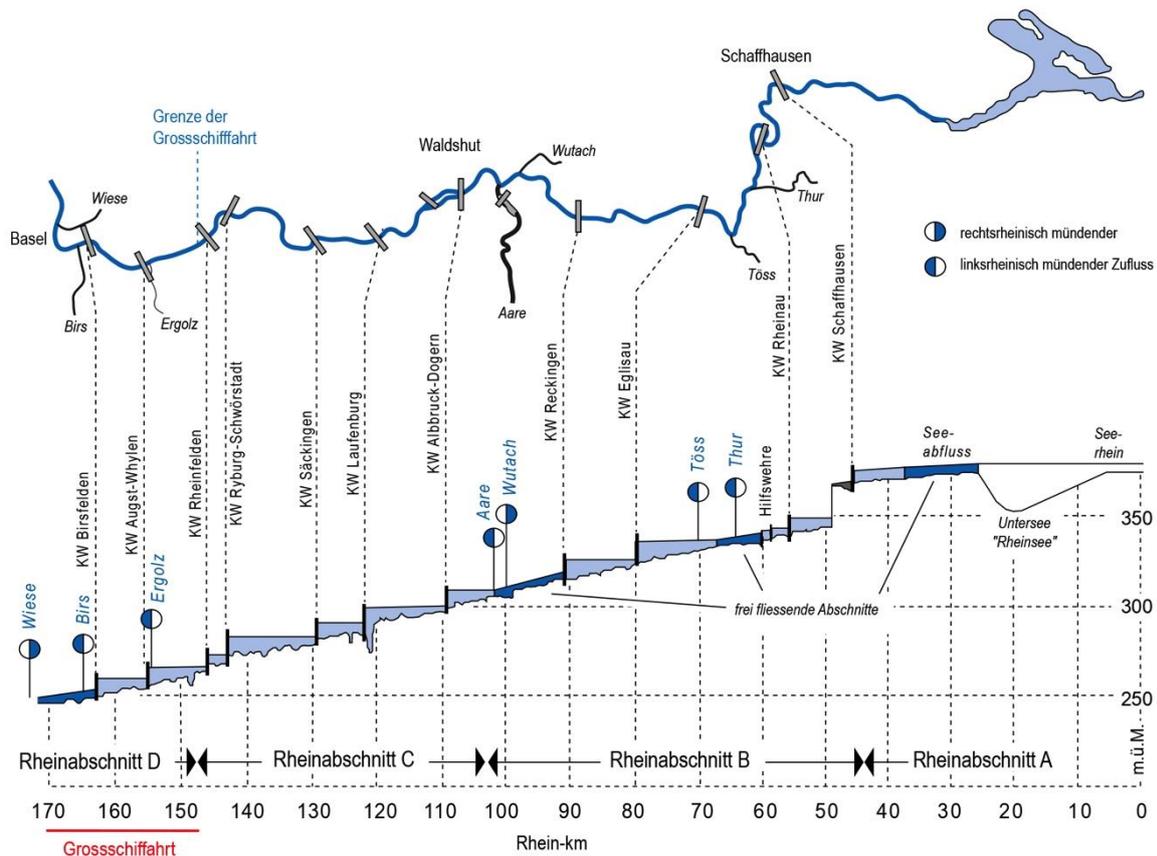


Abbildung 2.1: Hochrhein, Kraftwerkstufen unterschiedliche Abschnittseinteilungen Schweiz-EU Wasserrahmenrichtlinie und Lage der Probenahmestellen für die unterschiedlichen Untersuchungsinhalte.

Untersuchungstranekte

Die in Tab. 2.1 und Abb. 2.1 vorgestellten Hochrheinabschnitte sind in den Benthosuntersuchungen zumindest mit einem, meist mit mehreren Untersuchungstranekten (Flussquerschnitten) vertreten. Die einzelnen Probenahmestellen innerhalb eines solchen Querschnitts können je nach Gewässermorphologie, Zuflussverhältnissen und Zugänglichkeit mehrere 100 m gegeneinander versetzt liegen (z.B. bei Waldshut und Basel).

Probenahmestellen innerhalb der Tranekte

In einem grossen Fließgewässer sollte ein Probenstranekt zumindest die Gewässersohle wie auch beide Gewässerufer enthalten. Anders als in einem wabaren Gewässer weisen Gewässersohle und die beiden Ufer oft völlig unterschiedliche Habitatausstattungen auf. Durch die Untersuchung von gegenüberliegenden Ufern durch 2 Probestellen werden auch unterschiedliche Ufertypen bzw. Strömungsverhältnisse erfasst (Prallhang/Gleithang) aber auch unterschiedliche Zufluss- oder Einleitersituationen. An der Gewässersohle werden durch 3 weitere Probestellen Flachwasserbereich, Hang und Gewässerrinne repräsentiert. Bei den ersten Untersuchungen wurde noch angestrebt, auch die tiefsten Sohlbereiche zu beproben, was sich zumindest bei höheren Abflüssen aufgrund der starken Strömungen als nicht machbar erwies.

Jede Probestelle im Transekt umfasst mindestens 3 Teilproben, welche die unterschiedlichen Substrat- und Strömungsverhältnisse repräsentieren. Die Probenahme erfolgt somit nach dem Prinzip des Multi-Habitat-Samplings mit mindestens 9 Teilproben von der Sohle und 6 Teilproben vom Ufer pro Flussquerschnitt. Zusätzliche Proben von Sonderhabitats (z.B. Makrophytenpolster, Fels u.a.), von seltenen oder nicht flächenbezogen erfassbare Organismen (z.B. Grosskrebse, Grossmuscheln, Schwämme, Kolonien von Polypen oder Moostierchen) werden gesondert und qualitativ beprobt.

Um geeignete Probestellen im Flussquerschnitt auswählen zu können, wurden typische Flussprofile aufgenommen (Abb. 2.2). Damit lässt sich auch abschätzen, welcher Anteil des Querprofils durch welche Probestelle repräsentiert wird. Ergänzend zu dieser Überlegung sind Luftbilder bei trübungsarmen Abflussverhältnissen hilfreich.

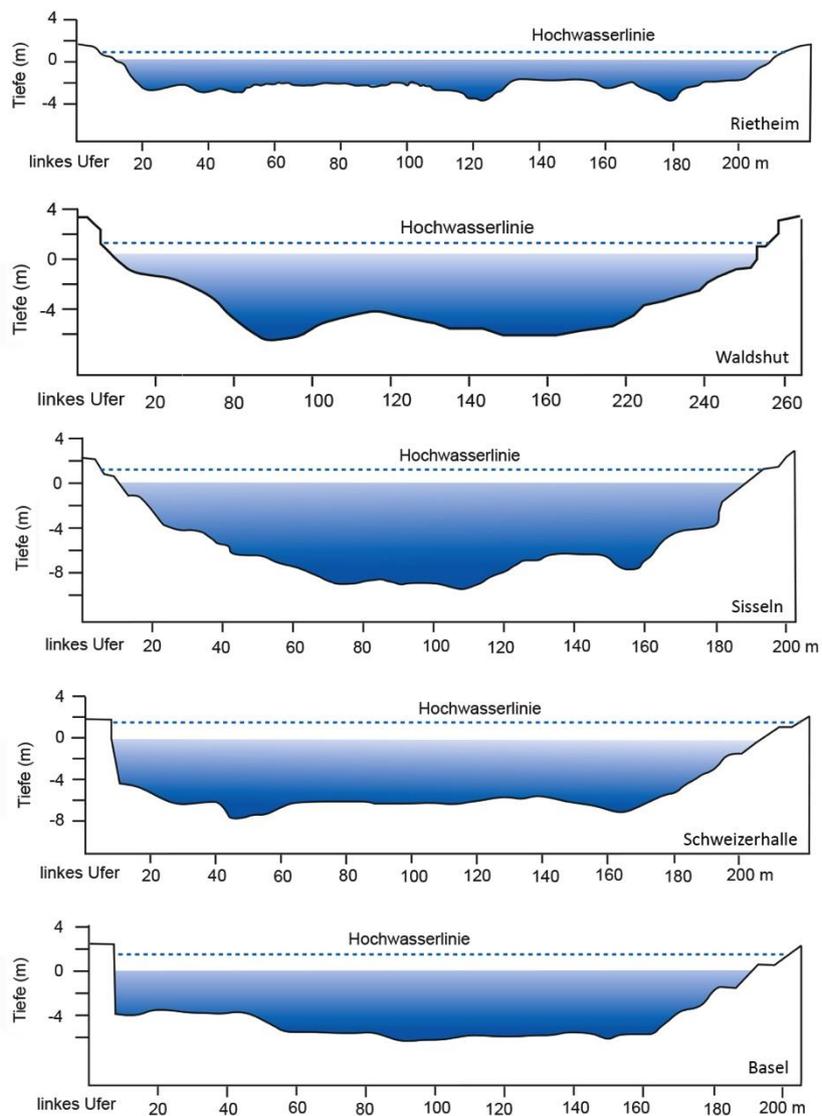


Abbildung 2.2: Exemplarische Querprofile des Hochrheins im Bereich der Probenahmestellen. In Kenntnis der Tiefenstrukturen und unterschiedlichen Strömungsverhältnisse und in Abhängigkeit der jeweils herrschenden Abflüsse wurden für die verschiedenen Kampagnen die Positionen der Probenahmeeflächen ausgewählt.

Untersuchungstermine

Die Benthosorganismen weisen in der Regel ein ausgeprägtes saisonales Vorkommen auf. Ein sauberer Vergleich der Untersuchungsergebnisse verschiedener Jahre ist nur dann möglich, wenn die Untersuchungen jeweils zu ähnlichen Terminen im Jahresverlauf durchgeführt wurden. Auch um ein umfassendes Bild der faunistischen Besiedlung zu bekommen sind mehrere Probenahmeterminale im Jahr erforderlich. Aufgrund dieser Überlegungen wurden zunächst drei Probekampagnen - im Winter, Sommer und Herbst - durchgeführt. Besonders im Sommer wurden dabei häufiger problematische Abflussbedingungen angetroffen (Abb. 2.3), welche die Probenahme stark erschwerten oder unmöglich machten. In späteren Untersuchungskampagnen wurde jeweils versucht, einen Kompromiss zwischen der phänologisch günstigsten Untersuchungszeit (spätes Frühjahr) und einer möglichst stabilen Abflusssituation (vor der Schneeschmelze) zu finden. Die Sommerkampagne wurde ganz gestrichen da hier mit beträchtlichem Aufwand nur wenig zusätzliche Informationen zu erhalten waren, auch wenn dadurch das Vorkommen einiger Sommerarten nicht mehr erfasst wird. Auch die Reihenfolge der beprobten Transekte richtete sich nach dem Hochwasserrisiko, welches unterhalb des Aarezuflusses deutlich höher einzuschätzen ist als oberhalb.

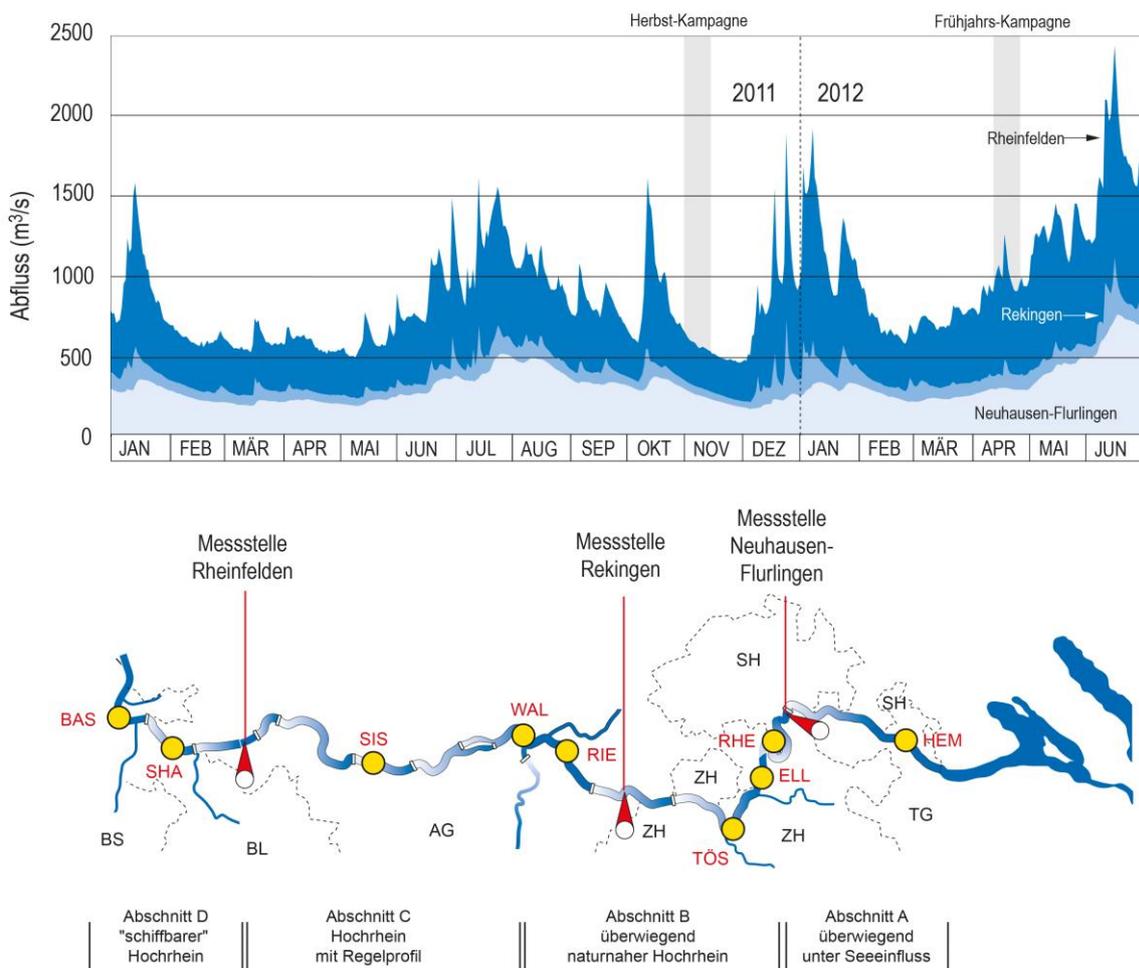


Abbildung 2.3: Abflussverlauf des Hochrheins an verschiedenen Messstationen und zeitliche Einordnung der Probenahmekampagnen [Rey & al 2015].

2.2 Probenahmetechnik

Im Folgenden wird zunächst die Probenahme von der Gewässersohle besprochen, anschliessend wird auf die ufernahe Probenahme eingegangen.

Die Probenahme soll sowohl flächenbezogen erfolgen, als auch repräsentativ für den untersuchten Flussabschnitt bzw. den untersuchten Transekt sein. Dies erfordert das quantitative Absammeln definierter Flächen, als auch die Erfassung der typischen Choriotope zur Besammlung.

Probenahme von der Gewässersohle

Zur Durchführung einer repräsentativen Probenahme von der Gewässersohle sind folgende Schritte erforderlich:

- Aufnahme des Habitatangebotes (unter Berücksichtigung von Substrat, Bewuchs und Strömung)
- Auswahl typischer Habitate
- Dokumentation der typischen Habitate
- Besammeln definierter Flächen der typischen Habitate

Eine repräsentative, *flächenbezogene* Probenahme erfolgt durch Absammeln einer definierten Fläche wobei sowohl freie Organismen als auch Substrat mit anhaftenden Organismen erfasst werden.

Diese unterschiedlichen Schritte wurden durch einen Taucher durchgeführt. Der Taucher kann Sohlbeschaffenheit, Bewuchs und Strömung vor Ort feststellen und geeignete Flächen für die Probenentnahme auswählen. Er kann zudem Sonderhabitate und zusätzliche (seltene) Organismen auffinden, einsammeln und/oder fotografisch dokumentieren.

Die ursprüngliche Probenahmetechnik wird in REY et al. [1992] ausführlich beschrieben. Seither gab es mehrere methodischen Anpassungen. Aktuell wird folgendes Vorgehen empfohlen:

Schritt 1: Auswahl der *Probstellen* an der Gewässersohle

Während der ersten Kampagne werden/wurden die Flussprofile mit Hilfe eines Echolots aufgezeichnet (Abb. 2.2). Zusammen mit Informationen zur Abflussgeschwindigkeit und Substratbeschaffenheit werden nun drei Probenahmestellen A, B und C im Flussquerschnitt festgelegt. Die Probstellen sollen in Bezug auf die Wassertiefe, Strömung und Substratzusammensetzung möglichst unterschiedlich ausgeprägte Standorte im Querprofil repräsentieren. In der Regel kam so die Probstelle A in einen Bereich im flachem Wasser, die Probstelle B in einen mittleren Tiefenbereich (Hang) und die Probstelle C in den tiefsten Bereich (wenn möglich, in oder nahe der die Stromrinne) zu liegen.

Schritt 2: Taucheinsatz und Informationen über die Sohlbeschaffenheit

Der Taucheinsatz erfolgt entweder schiffsgestützt mit einem über der Tauchstelle verankerten Boot (Abb. 2.4, Abb. 2.5 a) oder landgestützt, wobei der Taucher – gesichert mit 2 Seilen und einer Laufleine – vom Ufer aus die Probstelle antaucht (Abb. 2.5 i). Bei einem Bootseinsatz kann der Taucher auch mit einem Tauchtelefon ausgerüstet werden (Abb. 2.5 d) Auf diese Weise kann er analog Beobachtungen von der Stromsohle und Messergebnisse (z.B. Strömungsmessungen) an Bord

weitergeben. Die Substratzusammensetzung im Umfeld der Probestelle wird analog (Telefon) oder direkt nach der Probenahme zu Protokoll gegeben. Hierzu werden Feldprotokolle verwendet, die folgenden Angaben zur qualitativen und quantitativen (Flächenanteile in %) Sohlbeschaffenheit festhalten:

- Substratzusammensetzung
- Substratbedeckung: Falllaub/Holz/Baumwurzeln/Muschelschalen
- Kolmatierung der Flusssohle: Steine locker/ankleidend
- Material unter der Deckschicht
- Kiesel- und Fadenalgenaufwuchs
- Makrophytenbewuchs

Schritt 3: Auswahl der Teilprobenflächen und Probenahme

Entsprechend der Anteile der vorhandenen Substrattypen erfolgt für jede Probestelle die Auswahl von 3–5 Teilflächen, die besammelt werden und deren Proben anschliessend zu einer Sammelprobe vereinigt werden. Das dabei berücksichtigte Areal sollte in etwa eine Fläche von 40 m² umschliessen.

Als **Probenahmegerät** hat sich ein runder, 25 kg schwerer und oben geschlossener Unterwasser-Sampler bewährt (Abb. 2.4, 2.5 a und Titelbild). Das Gerät mit einer kreisförmigen Grundfläche von 0,07 m² wird vom Taucher mit Hilfe zweier seitlicher Griffe 5–10 cm in den Boden gedreht, sodass die Wassereintrömöffnung gegen die Strömungsrichtung zeigte. Auf der gegenüber liegenden Seite befindet sich eine Öffnung mit Stülprand, an dem Wechselnetze befestigt und nach der Probenahme leicht wieder entfernt werden können. Durch eine abgedichtete Handöffnung an der Oberseite kann das Substrat innerhalb der abgeschlossenen Fläche in den Wechselsack befördert werden. Durch ein daneben angebrachtes Sichtfenster wird die Arbeit kontrolliert.

Schritt 4: Dokumentation und UW-Messungen

Vor oder direkt nach der Probenahme wird das beprobte Areal sowie Besonderheiten in der näheren Umgebung fotografisch dokumentiert (Übersichts- und Detailaufnahmen). Die Substrataufnahmen, die von jedem Probenahmebereich gemacht werden, können neben einem DIN A 4 Raster als Grössenbezug auch die genaue Tauchtiefe, Datum, Zeit sowie die Wassertemperatur anzeigen (Abb. 2.6). So können – zusammen mit den protokollierten Unterwasser-Beobachtungen – die Flächenanteile der Substrate für die einzelnen Probestellen verifiziert werden.

Mithilfe eines Strömungsmessgeräts (Abb. 2.5 f) kann der Taucher die Fließgeschwindigkeiten über Grund messen; während die Ablesung der Werte an Land erfolgt. Ist der Einsatz des Messflügels an der Probestelle nicht möglich, erfolgt eine Abschätzung der Fließgeschwindigkeiten mit der Driftkörpermethode, die dann allerdings nur die Oberflächengeschwindigkeit wiedergibt.

Wasserproben zur Ermittlung der physikalisch-chemischen Parameter Sauerstoffgehalt und Sauerstoffsättigung, Wassertemperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit kann der Taucher an jeder der drei

Probstellen mit einer Durchflussflasche direkt über Grund entnehmen (Abb. 2.4 und Abb. 2.5 b). Zwischenzeitlich wurden diese Direktmessungen aufgegeben und Ergebnisse zur Wasserchemie aus nahegelegenen Messstellen des Bundes oder der Kantone übernommen.

Tauchereinsatz

Die bootsgestützten Tauchgänge wurden am Hochrhein seit 2006 durch ufergestützte Tauchgänge ersetzt. Der Vorteil der bootsgestützten Tauchgänge war der einfache Transport des benötigten Materials zur Tauchstelle. Dieser konnte durch einen Transport mit Schwimmkörpern an einer Leine weitgehend ersetzt werden. Der landgestützte Tauchereinsatz war insgesamt logistisch wesentlich weniger aufwändig, Bootstransport an Land oder Überführung auf dem Wasser entfielen ebenso wie die Suche nach Wässerungsstellen. Aufwändiger wurde allerdings in Einzelfällen das Aufsuchen von Tauchpunkten, die beidseitig der Hauptströmung verteilt waren.

Der Einsatz von Tauchern ist auch dort zu empfehlen, wo die Proben noch watend durch Kicksampling gewonnen werden können, jedoch aufgrund von Tiefe, Trübung oder Turbulenz eine Sichtkontrolle der Sohlverhältnisse nicht möglich ist.

2.3 Ufernahe Probenahme

In den ufernahen Gewässerbereichen sind eine Vielzahl von Organismen vertreten, die im tieferen Wasser seltener oder gar nicht vorkommen. Das ist nicht nur eine Folge der oft strömungsärmeren Habitate, sondern auch der Ufermorphologie (senkrechte Strukturen, Kolke, Aushöhlungen) oder gar einer semiaquatischen Lebensweise (viele Egel). Andererseits fehlen im Uferbereich oft Arten, die auf eine ständige Benetzung angewiesen sind, also vorwiegend sessile oder wenig bewegliche Arten. Letztere werden dann mit den Sohlbeprobungen erfasst und müssen daher bei der ufernahen Probenahme nicht separat berücksichtigt werden.

Die ufernahe Probenahme soll sowohl Flachwasserbereiche repräsentieren als auch den Land-Wasser-Übergangsbereich. Die Probeflächen liegen somit nicht topographisch fest, sondern folgen mit wechselndem Wasserstand der Uferlinie. Bei Niedrigwasserproben werden somit auch die Organismen erfasst, die auf ständige (oder langfristige) Benetzung der Probestelle angewiesen sind, d.h. insbesondere sessile oder wenig bewegliche Arten. Bei hohem Wasserstand können solche Organismen in den Uferproben fehlen.

Die ufernahe Probenahme erfolgt am rechten und linken Ufer getrennt. Hierbei werden jeweils drei möglichst repräsentative Bereiche für Teilproben à 0,1 m² ausgesucht. Die Probenahme selbst wird in Anlehnung an die Untersuchung watbarer Gewässer [STUCKI 2010] durchgeführt.

2.4 Probenbearbeitung vor Ort

Die gesamte Probe von einer Probestelle wird – evtl. mithilfe einer Sortierrinne (Abb. 2.5. c) von grobem Material befreit, durch Sieben in Fraktionen gleicher Korngrößenklassen geteilt und die Benthosorganismen (und weiteres organisches Material) durch Aufschwemmen, Abgiessen und Absieben zur Konservierung abgetrennt. Der überwiegend anorganische Rest enthält dann immer noch Organismen in Köchern und Schale, die nun entweder vollständig oder zu einem definierten Anteil ausgelesen werden. Bei sehr umfangreichen Proben kann auch eine – genau zu dokumentierende - Teilung der gesamten Probe erfolgen.

Die vorsortierten Proben werden in 96%-igem Ethanol fixiert. Aus Tierschutzgründen, aber auch im Interesse einer möglichst guten Bestimmbarkeit, sollten grosse und/oder unempfindlichere Organismen vor der Fixierung ausgelesen und mit CO₂ oder durch ein kurzes Bad in kochendem Wasser (Gaskocher) abgetötet werden.

Probenbearbeitung vor Ort

- Vorsortierung (entfernen von grobem anorganischem Material, Detritus und Pflanzen) durch Dekantieren oder Einsatz einer Fließrinne (Abb. 2.5 c)
- eventuell Probenteilung
- Sieben - einfachere Trennung von Benthosorganismen und übrigem Material (Abb. 2.5 g)
- Ausschwemmen und Auffangen von organischem Material -> Konservierung
- Auslesen von Köchern oder Gehäusen -> Konservierung

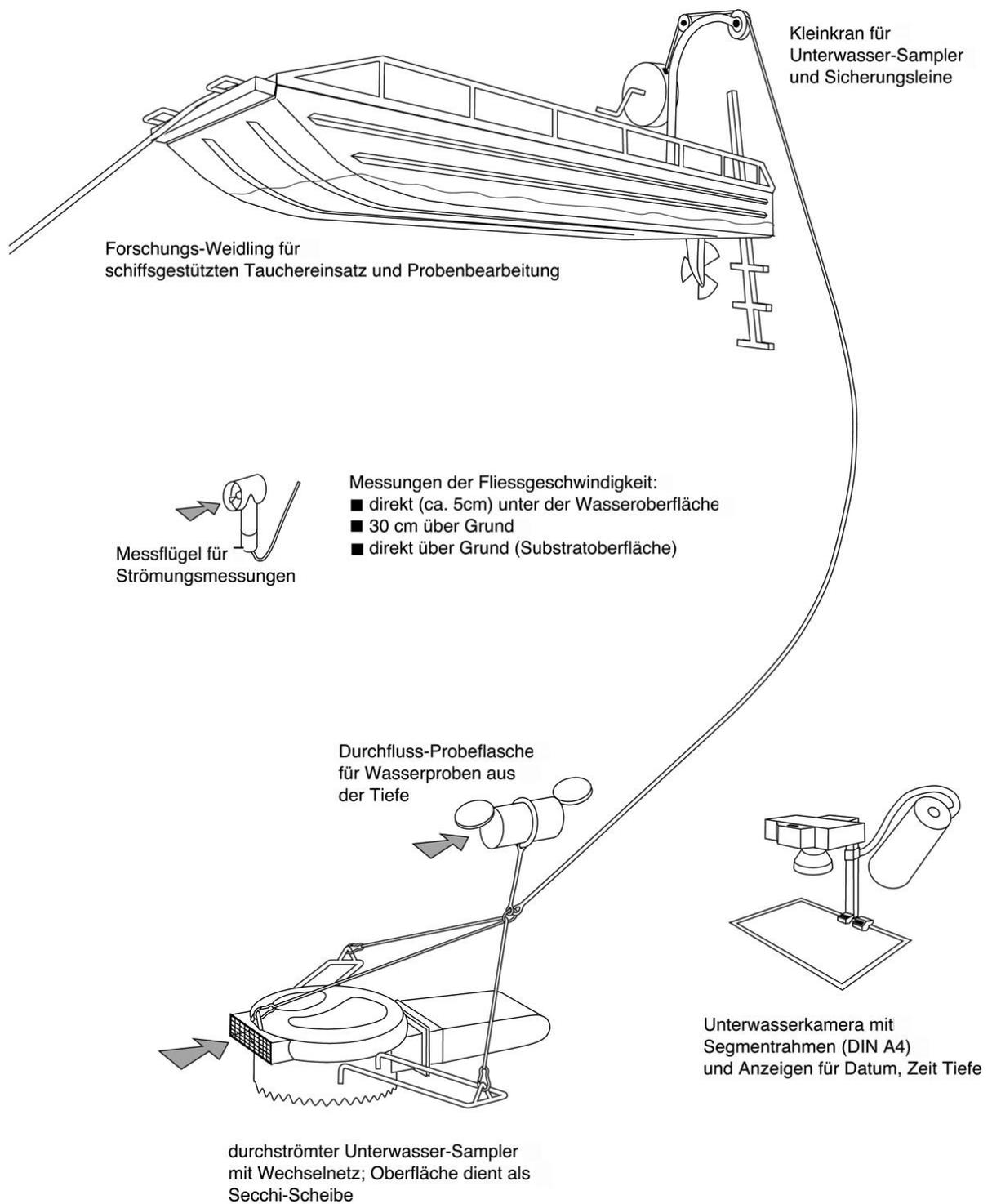


Abbildung 2.4: Ursprüngliches Equipment zur Beprobung der Hochrheinsohle mittels Taucher. Aufgrund zu hohen apparativen Aufwands wurde der Einsatz eines Bootes ab 2006/07 zugunsten einer ufergestützten Probenahme aufgegeben [Rey et al. 1992].



Abbildung 2.5: Verschiedenes technisches Equipment für die Koordinierten biologischen Untersuchungen der Makroinvertebraten im Hochrhein. a) Einsatzboot mit Kran für Unterwassersammler BUDA für die schiffsgestützte Taucherprobenahme. b) Wasserprobenahme zur Analyse der fotometrisch bestimmbarer Standardparameter (bis 2000). c) Durchflossene Säuberungs- bzw. Sortierrinne für die Makroinvertebratenproben (bis 2006); d) Tauchertelefon. e) Echolot mit Schreiber. f) Fließgeschwindigkeitsmesser. g) Siebsatz zur Probensortierung. h) Equipment zur fotografischen Dokumentation von Lebendproben. i) Sicherungssysteme für die landgestützte Taucherprobenahme. j) Equipment zur Vorauslesung der Makroinvertebratenproben.



Abbildung 2.6: Dokumentation beprobter Flächen der tiefen Hochrheinsohle. Der auf den Fotos erkennbare Rahmen lässt einen Flächenbezug des Bewuchses, der Besiedlung mit sessilen Organismen und der Korngröße der Sohlensubstrate zu. Daneben wird die Tauchtiefe, die Uhrzeit und die Wassertemperatur angegeben.

2.5 Weitere Aspekte der Probenahme und Probenauswertung am Hochrhein

Repräsentativität

Um die Repräsentativität der festgelegten neun Probequerschnitte des Programms zu überprüfen, wurde im Rahmen der Kampagne im Jahr 2000 eine ergänzende faunistische Erfassung des Arteninventars an rund 80 zusätzlichen Probestellen durchgeführt (REY & ORTLEPP 2002). Da sich diese Untersuchungen über das gesamte Jahr erstreckten konnten sowohl geographische wie auch saisonale Lücken bei der Erfassung der Benthosfauna verkleinert werden.

Begleitende und zusätzliche Untersuchungen

Die Makrozoobenthosuntersuchungen am Hochrhein erforderten stets einen größeren zeitlichen und personellen Aufwand. Durch das Personal vor Ort, das nicht permanent mit der Probennahme befasst war, konnten weitere Untersuchungen und Probenahmen durchgeführt werden. Hierzu gehörten vor allem:

- Probenahme Diatomeen und Planktonalgen
- Qualitative Probenahme der Makrophyten
- Elektrofischungen zum ufernahen Jungfischvorkommen

Im Rahmen anderen Untersuchungsprojekten (z.B. Aare, Alpenrhein) wurden darüber hinaus spezielle Uferbiotope, Restwasserstrecken und Auengewässer untersucht. Hier waren jedoch sowohl speziell angepasste Untersuchungsmethoden, -stellen wie auch -termine erforderlich, so dass diese Untersuchungen eher als separate Projekte anzusehen sind.

Bestimmung der biologischen Gewässergüte

Eine Bewertung der biologischen Gewässergüte und einzelner Belastungsaspekte mithilfe von Bioindices stiess am Hochrhein häufig auf Probleme. Anhand der Bestandsentwicklung einzelner Arten liessen sich die Änderungen des biologischen Gewässerzustands und ablaufender Prozesse – z.B. grundlegende Veränderungen in der Artenzusammensetzung - gut nachverfolgen. Die meist für kleinere Gewässer entwickelten Bewertungs- und Charakterisierungsindices bildeten diese Entwicklungen für den Hochrhein jedoch nicht oder nicht adäquat ab. Wir führen dies u.a. auf die biologischen Besonderheiten grosser Fließgewässer zurück: Durch sein Habitatangebot und den Einfluss seiner Zuflüsse besitzt der Hochrhein (wie die meisten grossen Fließgewässer) auch innerhalb degraderter Abschnitte noch ein Arteninventar, das grösser ist als das unbelasteter kleinerer Fließgewässer. Auch wenn anspruchslose Arten (z.B. auch die zwischenzeitlich allgegenwärtigen neozoischen Arten) die Biozönose dominieren, enthalten viele Proben noch Arten, auf die entsprechende Bewertungsmethoden (z.B. der IBCH) positiv reagieren und eine gute oder gar sehr gute biologische Gewässergüte indizieren. Mit den bisher getesteten Indices konnten daher belastete und unbelastete Hochrheinabschnitte nicht plausibel abgegrenzt werden. In den letzten Untersuchungskampagnen wurde daher auf den Einsatz von Bewertungsindices verzichtet. Die Unterscheidung nach funktionellen Gruppen (z.B. Ernährungstypen, Rheotypen etc.) erbrachte bessere Ergebnisse und wurde beibehalten.

Biomassebestimmungen

Bei der Auswertung der Ergebnisse wurde in einzelnen Kampagnen auch die Biomasse einzelner Proben abgeschätzt. Die zusätzliche Nutzung der für eine faunistisch-ökologische Beurteilung erhobenen Proben blieb methodisch unbefriedigend und führte zu nur sehr eingeschränkt nutzbaren Ergebnissen. Zudem stellte diese 'angehängte' Biomassenbestimmung einen beträchtlichen Mehraufwand dar, der aufgrund der unzuverlässigen Ergebnisse nicht gerechtfertigt ist. Eine realistischere Biomasse-Erhebung erfordert eine abweichende Probenahme, Behandlung und Konservierung der Proben.

Einbindung der Untersuchungen in internationale Programme

Die Untersuchungen am Hochrhein sind mit Untersuchungen der übrigen Rheinanliegerländer koordiniert. Die Koordination wurde von einer Arbeitsgruppe der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheines (IKSR) übernommen. Dies betraf vor allem Untersuchungstermine und -häufigkeiten, wohingegen die Probenahmemethodik den Bedingungen der einzelnen Rheinabschnitte angepasst wurde. Auch wurde ein Mindestniveau für die Bestimmungstiefe vorgegeben. Besonders intensiv war am Hochrhein die Zusammenarbeit mit der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg LfU (heute Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg LUBW). Ein Teil der Uferprobestellen liegt auf deutschem Gebiet und wurde zunächst auch von Bearbeitern der LfU bearbeitet. Dies stellte sich allerdings als übermässig aufwändig heraus, insbesondere die zeitliche Koordination aber auch die Abstimmung der Probenahmetechnik und -geräte bedeuteten einen erheblichen zeitlichen Mehraufwand. Die letzten Untersuchungskampagnen für das Zoobenthos wurden daher durchgehend vom BAFU/BUWAL organisiert während die LfU/LUBW thematisch eigene Bereiche bearbeitete (Diatomeen, Makrophyten).

Für die Baden-Württembergischen Probestellen wurden die gewonnenen Benthosdaten in ein eigenes, von der LUBW zur Verfügung gestelltes Datensystem (PERLA/Asterics) eingegeben, welches eine automatische Auswertung der Daten ermöglicht.

Seitens des BAFU (ehemals BUWAL) werden seit der ersten Untersuchungskampagne 1990 jeweils Ergebnisse in Datenform und die fertigen Berichte zu den Koordinierten biologischen Untersuchungen am Hochrhein an das Sekretariat der IKSR in Koblenz geschickt. Sie finden Eingang in die Berichterstattung der IKSR und werden – zusammen mit den Untersuchungsdaten der anderen Rheinanliegerstaaten und -länder (Baden-Württemberg (D), Dep. Haut-Rhin und Bas-Rhin (F), Rheinland-Pfalz (D), Hessen (D), Nordrhein-Westfalen (D), Niederlande – zu einem gemeinsamen vergleichenden Bericht über die Entwicklungen der Makroinvertebratenbesiedlung im Rhein zusammengestellt.

Aufwand und Kosten

Im Laufe der aufeinander folgenden Untersuchungskampagnen wurden viele Überlegungen darauf verwandt, inwieweit das Programm aus Gründen der Kostenersparnis vereinfacht und reduziert werden kann, ohne dass wesentliche Inhalte aufgegeben werden müssen.

Der etwa 5-jährige Turnus ist durch die internationale Koordination vorgegeben und hat sich auch als sinnvoll erwiesen, zumal sich seit den 1990er Jahren durch die Einschleppung neuer Arten innerhalb

kurzer Zeiträume erhebliche Änderungen in der Benthosbesiedlung des Hochrheins ergaben. Hier wurden sogar zusätzliche Untersuchungsprogramme zur Beobachtung dieser Veränderungen erforderlich.

Seit dem Jahr 2000 werden in einem Untersuchungszeitraum nur noch 2 Kampagnen durchgeführt. Die Sommerkampagne wurde aufgegeben, zumal hier oftmals die Arbeitsbedingungen aufgrund heftiger Hochwasser erschwert waren. Hiermit fiel allerdings auch das sommerliche Artenspektrum aus dem Beobachtungsrahmen und ein Teil der gesammelten Arten wurde nur noch selten als bestimmbares Entwicklungsstadium erfasst.

Eine weitere Aufwandsersparnis ergab sich durch die Umstellung der Tauchprobenahmen von bootsgestütztem auf landgestützten Tauchereinsatz.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich jede weitere Reduktion des Untersuchungsaufwandes zunehmend negativ auf Umfang und Qualität der Untersuchungsergebnisse auswirken wird. Schon jetzt wären für einige Fragestellungen zusätzliche Untersuchungen wünschenswert.

3. Anmerkungen zur Probenbearbeitung und Auswertung der Proben

3.1 Probenbearbeitung im Labor

Die Probenbearbeitung richtet sich nach den Erfordernissen der Fragestellung(en) und unterscheidet sich nicht von der Bearbeitung der Proben aus bewatbaren Gewässern.

Die Proben werden in der Regel vollständig ausgelesen und nur bei sehr grossem Probenumfang werden die Proben – vor dem Auslesen – geteilt. Um auch seltene Taxa zu erfassen wird allerdings der ausgeschiedene Probenteil inspiziert und eventuelle zusätzliche Taxa werden bei Angaben zur faunistischen Zusammensetzung berücksichtigt.

- beim Auslesen der Organismen sollen alle Taxa und Grössen in einem bestimmten und angegebenen Range erfasst werden
- werden nur Teilproben ausgelesen, so ist dies deutlich zu dokumentieren
- die unterschiedlichen Entwicklungsstadien eines Taxons (Larve, Puppe, Imago) werden getrennt erfasst
- je nach Fragestellung ist es erforderlich die verschiedenen Grössenklassen eines Taxons getrennt zu erfassen

3.2 Anmerkungen zur Auswertung der Proben

Im Hochrhein mit seiner artenreichen Benthosbesiedlung wird weitgehend auf eine genaue Bestimmung der aufwendig zu bearbeitenden Chironomiden und Oligochaeten verzichtet. Dies ist bei Vergleichen mit Proben vom Mittel- oder gar vom Niederrhein zu beachten, wo diese Gruppen sehr weit bestimmt werden, da andere Gruppen eher selten auftreten.

Wesentlich für eine Vergleichbarkeit der Daten und ihre Verwendbarkeit für weitergehende Fragestellungen setzt eine Dokumentation der festgestellten Abundanzen (mit Flächenbezug) voraus. Die ausschliessliche Angabe von Häufigkeitsklassen oder prozentualen Besiedlungsanteilen besitzt gerade bei einem massenhaften Auftreten invasiver Arten nur einen geringen Wert für weitere Interpretation und Verwertung.

Bei Vergleichen zwischen den Ergebnissen aus den einzelnen Untersuchungsjahren ist unbedingt die meist recht unterschiedliche Ausgangssituation zu berücksichtigen. So führen unterschiedliche saisonale Häufigkeit der Probenahmen (frühe Untersuchungen 3 Jahreszeiten, später nur 2) natürlich zu abweichenden faunistischen Ergebnissen, aber auch die Weiterentwicklung der Bestimmbarkeit schwieriger Arten und das Auftreten neu eingeschleppter Arten muss kritisch diskutiert und vor allem klar dokumentiert werden.

4. Konservierung und Archivierung der Proben

Die Konservierung und Archivierung der *bearbeiteten Benthosproben* erfolgt weitgehend nach den «Richtlinien zur Archivierung von Makrozoobenthos-Proben» des Musée de Zoologie de Lausanne/Aquabug/CSCF. In diesen Richtlinien werden Angaben zur Archivierung Kantonalen IBCH-Proben sowie zur Archivierung kantonaler Rote Liste Projekte gegeben.

Auszug von der Webseite zur Archivierung von Makrozoobenthos-Proben:

Referenzsammlung und Archivierung CSCF

http://www2.unine.ch/cscf/page-46765_de_CH.html

... Für das Archivieren von Probematerial in einem Museum werden bestimmte Anforderungen gestellt. In den «**Richtlinien zur Archivierung von Makrozoobenthos-Proben**» sind alle nützlichen Informationen zur Aufbewahrung der aquatischen Wirbellosen enthalten.

Richtlinien zur Archivierung von Makrozoobenthos-Proben — Musée de zoologie de Lausanne-Aquabug-CSCF. Rapport, 4 pp.

http://www2.unine.ch/files/content/sites/cscf/files/shared/MZB/MZB_ArchivageMat%C3%A9riel_MZL-CSCF_D_20120120.pdf

Directives pour la conservation de matériel macrozoobenthos (MZB). — Musée de zoologie de Lausanne-Aquabug-CSCF. Rapport, 4 pp.

http://www.cscf.ch/files/content/sites/cscf/files/shared/MZB/MZB_ArchivageMat%C3%A9riel_MZL-CSCF_F_20120120.pdf

4.1 «Richtlinien zur Archivierung von Makrozoobenthos-Proben»

Festgelegt wird in den Richtlinien zur Archivierung von Makrozoobenthos-Proben:

- Konservierungsmedium: 80 % Alkohol undenaturiert
- Gefässe zur Aufbewahrung der Einzelproben bzw. Taxa
- Inhalt der Einzelgefässe
- Zusammenfassung von Einzelgefässen zu grösseren Gebinden
- Beschriftung der Einzelgefässe
- Beschriftung der Gebinde

Die Einzelgefässe sind Glasgefässe mit rundem Boden deren Grösse passend zur Grösse der zu konservierenden Objekte gewählt wird. Diese Einzelgefässe werden mit dem Objekt und Alkohol gefüllt und mit einem Wattebausch verschlossen. Mehrere dieser Einzelgefässe werden – je nach thematischer Zusammengehörigkeit – gemeinsam in grösseren verschliessbaren Plastikflaschen zusammengefasst, welche ebenfalls mit Alkohol aufgefüllt werden. Typ und Grössen der zulässigen Flaschen und Verschlüsse sind der Richtlinie zu entnehmen.

Die Einzelproben werden jeweils durch *eingelegte Zettel* zumindest mit den Informationen versehen, die nicht anhand der konservierten Objekte erschlossen werden können:

- Projektzugehörigkeit
- Probenahmedatum
- geographische Angaben
 - Identifikationscode des Standortes ID
 - Gewässername
 - Lage am Gewässer
 - geographische Koordinaten (*hier wäre ein verbindliches Format wünschenswert*)
 - Höhenlage

Projektzugehörigkeit, Probenahmedatum und *Identifikationscode* ermöglichen die Verknüpfung mit zugehörigen Protokollen und Berichten. Die Angaben zu *Probenahmemethode, Probenahmedatum* und *geographische Koordinaten* sind für eine spätere ökologische Bewertung und Einordnung der Probe eigentlich ausreichend, wobei die übrigen geographischen Angaben eine zusätzliche Sicherheit gegenüber Eingabefehlern bieten und die Objektsuche im Archiv deutlich erleichtern. Die Angabe des *Datenmellers* vereinfacht Nachfragen ohne die Sichtung der zugehörigen Berichte.

Bei taxonomisch bearbeiteten Proben werden auf einem zusätzlichen eingelegten Zettel Taxon und Bestimmer/in angegeben (Abb. 4.1).

Helvetia APR BAS-Sohle Rhein, Basel (BS) 611000/268620 245 m ü.M. leg. B. Unger 13.04.2012	<i>Baetis rhodani</i> <i>(Pictet, 1843)</i> det U. Mürle
--	--

Abbildung 4.1: Beispiel für eine Proben-Beschriftung (links) und eine Taxon-Beschriftung (rechts).

Bei der Aufarbeitung der Hochrhein-Benthosproben 1990 bis 2012 wurden die Taxa-Gefässe mit nur einem Zettel der sämtliche Angaben enthält versehen (Abb. 4.2). So konnten die bereits bestehenden Druckdateien genutzt werden. Dieser Zettel enthält sämtliche nach der Richtlinie erforderlichen Angaben. Bei zukünftigem Probenmaterial werden die Angaben dann entsprechend der Richtlinie auf zwei separate Zettel gesplittet.

AP Rhein - 13.04.2012
Rhein, Basel (BS)
BAS - Ufer li
x 612174 y 267171 ; 245 m ü.M.
<i>Baetis rhodani</i> <i>(Pictet, 1843)</i>
leg. J. Ortlepp, det. U. Mürle

Abbildung 4.2: Beispiel für einen kombinierten Proben- und Taxon-Zettel.

4.2 Weitergehende Überlegungen zur Zusammenfassung von Einzel- und Teilproben

Je nach Projekt und Untersuchungsmethode können unterschiedliche Modi der Befüllung der Einzelgefässe vor allem aber auch der Sammelgefässe gewählt werden.

Hierbei sind mehrere Punkte zu bedenken:

- welche Informationen bei der Zusammenfassung verschiedener Objekte verloren gehen
- welche Kriterien bei der Objektsuche im Museumsmaterial üblich sind
- wie ein unnötig hoher Sortier-, Material- und Lageraufwand vermieden wird

Hierzu einige Überlegungen, die vor allem im Zusammenhang mit der Archivierung der Benthosproben vom Hochrhein, der Aare und Reuss angestellt wurden und an denen neben den Bearbeitern von Hydra vor allem Herr Michel Sartori (Musée zool. Lausanne), Herr Christof Angst (CSCF) und Herr Arnold Stöckli (BVU AFU AG) beteiligt waren.

Informationen zu den Proben bei der Probenahme

Die vorkonservierten Proben der Sammelkampagnen am Hochrhein enthalten bereits bei der Probenahme vor Ort folgende Informationen:

- Projektzugehörigkeit (Aktionsprogramm Rhein)
- Probenahmedatum
- Zugehöriges *Untersuchungstransect* (9 Transecte je Kampagne)
- Lage der *Probestelle* im Flussquerschnitt (2 Uferstellen, 3 Sohlstellen)
- Bereits in diesem Stadium wird auf eine Zuordnung zu einem bestimmten Habitat-/Choriotyp verzichtet, da hierbei sowohl Sammelaufwand, wie auch Bearbeitungsaufwand unverhältnismässig ansteigen würden. Zudem sind die Habitatansprüche der einzelnen Taxa aus der Literatur recht gut bekannt.

Diese Informationen werden in einem Protokoll und einem Zettel im Probengefäss festgehalten. Im Protokoll können weitere Besonderheiten zu den einzelnen Proben oder Teilproben vermerkt werden.

Aufteilung der Proben auf einzelne Taxa im Zuge der Bestimmung

Bei der taxonomischen Bearbeitung der Benthosproben werden die einzelnen Taxa einer Probestelle (Arten, Gattungen, z.T. Familien) auf einzelne Glasgefässe verteilt. So wird die Probe einer Untersuchungsstelle auf bis zu 80 Gläschen aufgeteilt, im Durchschnitt auf etwa 50 Gläschen. Bei 5 Probestellen im Transect, 9 Transecten und 2 Untersuchungskampagnen kommen somit ca. 4500 Einzelgefässe zusammen.

Zusammenfassung der Taxa-Proben

Es stellt sich die Frage, wie die Zahl dieser Gefässe ohne übermässigen Informationsverlust reduziert werden kann und wie die Einzelgefässe sinnvoll in grösseren Einheiten zusammengefasst werden können:

- *Einzelgefässe*: Die Besiedlung von Ufer und Sohle – aber auch die der beiden Ufer – ist in grossen Flüssen – anders als in wasserreichen kleineren Fließgewässern häufig sehr unterschiedlich. Zudem gehören am Hochrhein die beiden Flussufer fast durchgehend zwei verschiedenen Staaten an, welche die Untersuchungsergebnisse nicht immer nach den gleichen Kriterien auswerten wollen. Daher werden die Benthosproben eines Transekts separat nach rechtem Ufer, linkem Ufer und aggregierter Probe der drei Sohleproben aufbewahrt.
- *Sammelgefässe*: Da die Benthosproben taxonomisch sehr weit bearbeitet sind, wird das Gesamtmaterial nach taxonomischen Kriterien zu grösseren Einheiten zusammengefasst. Dabei werden sämtliche einem Taxon zugehörigen Proben aller Transekte und aller Untersuchungskampagnen einer Untersuchungsperiode in einem (oder meist mehreren) Sammelgefäss zusammengefasst.

Mögliche weitere Reduktion des Archivmaterials

Bei einer erforderlichen Reduktion des Archivierungsaufwandes empfehlen sich folgende Überlegungen:

- *Zusammenfassen der Proben eines Transektes*: Bei nationalen Projekten – und bei einheitlicher Auswertung aller Proben – brauchen die Proben eines Transektes i.d.R. nicht getrennt archiviert werden, es sei denn, spezielle Fragestellungen verlangen dies. In der Regel wird bei der Auswertung die unterschiedliche Besiedlung der einzelnen Probestellen eines Transektes festgehalten. Verloren geht allerdings die Möglichkeit diese Verteilung für unzureichend bearbeitete Gruppen nachträglich zu untersuchen. Zusätzlich ist zu bedenken, dass die Vereinigung der separat bearbeiteten Proben zu einer einzigen Archivprobe einen nicht zu unterschätzenden zusätzlichen Arbeitsaufwand bedeutet.
- *Beschränkung der Archivierung auf eine Organismenauswahl*: Eine Reduzierung des Archivierungsaufwandes kann durch die Beschränkung der Archivierung auf eine Auswahl von Organismen erzielt werden. Die Auswahl kann nach verschiedenen Kriterien erfolgen. Ist das Gewässer bereits durch eine umfangreiche repräsentative Sammlung vertreten, so kann die Archivierung im Folgenden auf *seltene, schwierige und neue Taxa* begrenzt werden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die taxonomisch weniger intensiv bearbeiteten Taxa im Archiv ausführlicher vertreten sein sollten, als die intensiv bearbeiteten oder einfach zu erkennenden Taxa. Bei Taxa mit hoher Abundanz kann die Archivierung auf eine repräsentative Auswahl beschränkt werden. Hierbei muss man sich im Klaren sein, dass dabei mit hoher Wahrscheinlichkeit die Alters- bzw. Grössenzusammensetzung nicht mehr wiedergegeben wird.
- *Erstellen einer Liste von potenziellen Sammelarten*

Um bei einer weitgehenden Reduktion des Archivmaterials ein ausreichendes Quantum an «schwierigen» Arten für eine spätere Bearbeitung zu sichern, kann eine Liste mit Taxa erstellt werden, die unzureichend bekannt sind oder die als potenzielle «Sammelarten» gelten. Diese sollten bei der Archivierung ausreichend berücksichtigt werden.

4.3 Vorgehensweise bei den Hochrhein-Benthosproben

Zur Darstellung der Vorgehensweise bei der Archivierung der Hochrheinproben folgt hier ein Auszug aus der Korrespondenz zu diesem Thema:

«...Vom Museum wird eine **taxonomische Sortierung** gewünscht. Die Tiere eines Taxons werden nach Probenahmetermin und Probestelle getrennt in MZL-Glasröhrchen aufbewahrt, dann kommen alle MZL-Röhrchen dieses Taxons zusammen in eine mit Alkohol befüllte, braune Archivierungsflasche (Volumen je nach Anzahl der Röhrchen).

2006/2007 bzw. 2011/2012 werden jeweils als eine Kampagne bearbeitet, d.h. alle MZL-Röhrchen eines Taxons vom Herbst 2006 und Frühjahr 2007 bzw. Herbst 2011 und Frühjahr 2012 werden zusammen in die entsprechende braune Archivierungsflasche gesteckt.

Von jeder Probenahme gibt es pro Transekt 2 Uferproben und 3 Taucherproben. Die drei Taucherproben werden zusammengefasst, d.h. alle Tiere eines Taxons aus diesen 3 Taucherproben werden zusammen in 1 MZL-Röhrchen (angeschrieben als z.B. „Baetis rhodani, RIE Taucher li/mi/re, 08.11.2006...Koordinaten, Meereshöhe...“) gesteckt.

Alle MZL-Röhrchen mit sicher bestimmten Arten kommen in die entsprechenden braunen Archivierungsflaschen (Grösse der Flasche je nach Anzahl der MZL-Röhrchen). BEISPIEL: alle MZL-Röhrchen mit Baetis rhodani von allen Probestellen 2006 und 2007 sind zusammen in einer Flasche.

Alle nicht zur Art bestimmten bzw. nicht sicher bestimmten Tiere werden in „Gattungs- oder Familien-Flaschen“ zusammengefasst. BEISPIEL: Flasche mit „diverse Oligochaeta“, darin alle nicht zur Art bestimmten Oligochaeta – in der Flasche sind alle Tiere getrennt nach Probestelle und Termin in den MZL-Röhrchen – auf den Etiketten steht jeweils das bestimmte Taxon BEISPIEL: „Lumbriculidae“, „Oligochaeta indet.“ etc... Die Flasche wird aussen mit „diverse Oligochaeta“ angeschrieben.

Mit den Proben wird eine Liste geschickt, aus der die Sortierung der Proben in den braunen Archivierungsflaschen ersichtlich wird...»

Diese Art der Probenarchivierung ist sehr aufwändig und wohl nur bei übernationalen Projekten zu vertreten. Das Anlegen einer ausführlichen Sammlung erscheint zudem für bislang nur wenig dokumentierter Gewässer sinnvoll, wohingegen der Aufwand bei Folgeuntersuchungen dann reduziert werden kann. Die vollständige Archivierung der Proben hat einige Vorteile, die bei einer Reduktion des Archivmaterials mehr oder weniger verloren gehen:

- Größen- und Altersstruktur kann nachträglich rekonstruiert werden
- Biomassenberechnungen bleiben möglich
- das Vorkommen übersehener oder bislang nicht erkannter Arten kann nachträglich überprüft werden
- Taxa, die nur oberflächlich bearbeitet wurden (oftmals z.B. Chironomiden, Oligochaeten) können nachträglich bearbeitet werden

5. Datenhaltung und Datenlieferungen

Auszug aus den Angaben zur Datenbank MIDAT auf der Infoseite des CSCF.

Datenbank MIDAT

http://www2.unine.ch/cms/lang/de_CH/pid/46495#Datenbank_MIDAT

Die indizesbezogene Datenbank MIDAT (Makroinvertebraten-Datenbank) umfasst Daten der kantonalen und nationalen Makrozoobenthos-Untersuchungen in Fließgewässern und wird für den Bund und die Kantone verwaltet. Die Datenbank erleichtert den Austausch der Daten zwischen den Kantonen, stellt Verwaltungen ohne eigene Datenbank ein geeignetes Werkzeug zur Verfügung und liefert einen Überblick über die aktuelle und frühere Gewässerqualität im Untersuchungsnetz der Schweiz.

Für ältere Daten werden Makro- und SPEAR-Index, für neuere Daten IBCH und SPEAR-Index berechnet.

Die gemäss Methode Modulstufenkonzept Makrozoobenthos (IBCH) erhobenen Daten können mittels der standardisierten Protokolle direkt in MIDAT importiert werden. Diese umfassen das Laborprotokoll (IBCH) für die Faunaliste, ein Raster der beprobten Habitate und die Beurteilung des Äusseren Aspektes und der Ökomorphologie. Faunistische Daten mit tieferem Bestimmungsniveau (Gattung und Art) und ältere Daten werden im Tabellenformat in MIDAT erfasst (s. Download der «Taxaliste – Datenimport MIDAT» in der rechten Spalte).

Ausgefüllte Protokolle können per E-Mail <nadine.remund@unine.ch> an Info Fauna (CSCF/SZKF) gesendet werden, um sie in MIDAT zu integrieren.

Kontakt:

Nadine Remund
 Email : nadine.remund@unine.ch
 Tel: +41 (0) 32 725 72 43

Info fauna CSCF

Passage Maximilien-de-Meuron 6
 CH-2000 Neuchâtel

MIDAT: Fließgewässer

Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer (Bericht und Protokolle)

<http://www.modul-stufen-konzept.ch/fg/module/mzb/index>

Taxaliste - MIDAT Import (Excel)

http://www2.unine.ch/files/content/sites/cscf/files/shared/MZB/MIDAT_Datenerfassung_20161107.xlsx

Die Datenbank MIDAT besteht erst wenige Jahre. Die Ergebnisse der Benthosuntersuchungen an den grossen Flüssen der Schweiz wurden bislang als Excelfiles mit bereits ähnlicher Datenstruktur an das CSCF übermittelt.

Die bisher an das CSCF übermittelten Daten weichen von diesem Raster vor allem in der Anordnung der Felder ab. So werden die Angaben zur Probestelle und -datum in den ersten Zeilen aufgeführt, darunter dann die Angaben zu den Abundanz der einzelnen Taxa.

Die Spalten enthalten somit in den oberen Zellen alle Angaben zu je einer Untersuchungsstelle zu einem bestimmten Termin, darunter die Abundanz sämtlicher Taxa. Die Abfolge der Untersuchungsstellen kann nach Lage im Flusslauf oder auch nach Zeitpunkt der Untersuchung gewählt werden. Dies erlaubt es, die Ergebnisse für eine grosse Zahl von Untersuchungsstellen in einer einzigen Liste zusammenzufassen. Diese Anordnung erlaubt zudem einen ersten Überblick über die Verbreitung eines Taxons entlang eines Gewässers oder im zeitlichen Verlauf.

Mit den Ergebnistabellen der Benthosuntersuchungen wurden gleichzeitig die Berichte zu den Untersuchungen übermittelt. Dies ist wesentlich um die *Untersuchungsmethodik* nachvollziehen zu können, was unabdingbare Voraussetzung für eine weitere Verrechnung und Interpretation der Daten (Indices, Fehlen von Taxa) ist. Eventuell lässt sich die Untersuchungsmethodik auch tabellarisch erfassen, wie es in der «Perla»/Asterics-Datenbank von Baden-Württemberg versucht wird.

Tabelle 5.1: Datenstruktur der Datenbank MIDAT. Die einzelnen Taxa und ihre Abundanz werden jeweils in einer Zeile angegeben.

Spaltentitel	Erläuterung
TAXON_SUP	Höheres Taxon
FAMILLE	Familie
GENRE	Gattung
ESPECE	Art
FREQ1	Häufigkeit
STADE	Stadium (Larve, adult, etc.)
NO_ECHANTILLON	Probenummer
COURS_EAU	Gewässername
LOC	Flurname/Ortsname
CODE_LIEU	Probenstellen NR
J	Tag
M	Monat
A	Jahr
CX	x-Koordinate
CY	y-Koordinate
ALT	Höhe ü.M.
OBSERVATEUR	Bearbeiter/Bearbeiterin
PROJET	Projektname
REPORT	Bericht (falls vorhanden)

Im Anschluss ist ein Beispiel für die bisher verwendete Excel-Datei-Struktur aufgeführt (Tab. 5.2). Die Angabe der beprobten Fläche ermöglicht eine problemlose Umrechnung von Besiedlungsdichten und tatsächlich nachgewiesener Anzahl eines Taxons.

Tabelle 5.2: Beispiele für die Datenaufnahme bzw. Datenstruktur im Rahmen bisheriger Untersuchungen grosse Schweizer Flüsse. Hochrhein [MÜRLE et al. 2008].

Ind./Probe						
Datum	08.11.06	08.11.06	08.11.06	08.11.06	08.11.06	08.11.06
Gewässer	Hochrhein	Hochrhein	Hochrhein	Hochrhein	Hochrhein	Hochrhein
Rhein-km	28,5	27,7	27,7	27,7	27,8	27,7
Transekt	Hemishofen	Hemishofen	Hemishofen	Hemishofen	Hemishofen	Hemishofen
Proben	Ufer links	Taucher 01	Taucher 02	Taucher 03	Ufer rechts	diverse
Bezeichnung	HEM U li	HEM 01	HEM 02	HEM 03	HEM U re	HEM
Lage	Rheinklingen, Ende Strasse	Schwimmbad Hemishofen	Schwimmbad Hemishofen	Schwimmbad Hemishofen	Schwimmbad Hemishofen	fotografierte Tiere
Kanton/Land	TG	TG	TG	TG	TG	TG
R-Wert (SwissGrid 1903)	703 688	704 450	704 450	704 450	704 350	704 450
H-Wert (SwissGrid 1903)	281 561	281 390	281 390	281 390	281 440	281 390
Wassertiefe (m)	0,1-1	4,0	3,0	2,0	0,3-0,5	
Substrat	Steine auf Sand	Steine, Grobkies, z.T. Dreissena	Steine, z.T. Fadenalgen, Dreissena	Steine, Dreissena, Makrophyten	Grobkies, Steine auf Sand	
det	UM	UM	UM	BW	UM	UM
beprobte Fläche (m ²)	0,30	0,21	0,21	0,21	0,30	Einzeltiere
...
Elmidae						
Elmis spec. La						
Elmis cf. aenea La						
Elmis cf. maugetii La						
Elmis cf. rietscheli La						
Elmis spec. Im						
Esolus spec. La	1					
Esolus cf. angustatus La						
Esolus spec. Im	1					
Esolus cf. angustatus Im						
Esolus angust./parallel. Im						
Limnius spec. La				102		
Limnius spec. Im				1		
Limnius cf. volckmari La	115	73	122		87	
Limnius cf. volckmari Im	14		5		2	
Oulimnius spec. La						
Oulimnius cf. tuberculatus La					1	
Oulimnius spec. Im					1	
Riolus spec. La						
Riolus cf. cupreus La						
Riolus spec. Im						
Stenelmis spec. La						
Stenelmis canaliculata La						
Stenelmis cf. canaliculata Im						
Gyrinidae						
Orectochilus villosus La	2					

6. Fazit

6.1 Zielsetzung benthosbiologischer Untersuchungen grosser Flüsse

Benthosbiologische Untersuchungen von grossen und kleinen Fließgewässern können unter sehr unterschiedlichen Fragestellungen durchgeführt werden.

Prinzipiell lassen sich zwei Typen von Fragestellungen unterscheiden:

- gewässerökologische Fragestellungen
 - Indikation von Wasserqualität oder Gewässerqualität (Ökomorphologie)
 - Charakterisierung eines Gewässers oder Gewässerabschnittes
- faunistische Fragestellungen
 - Artenbestand eines Gewässers oder Gewässerabschnittes
 - gefährdete oder Rote-Liste-Arten
 - Änderungen des Artenbestandes (Rückgang von Arten, neozoische Arten)

Beide Fragestellungen können sowohl lokal, als auch mit Bezug auf das gesamte Gewässersystem oder aber als Vergleich gewässersystemübergreifender Gebietseinheiten durchgeführt werden.

Beide Fragestellungen können darüber hinaus zur Darstellung des momentanen Zustands (z.B. nach Schadensfällen), des aktuellen Zustands unter Berücksichtigung der saisonalen Veränderungen oder im Rahmen eines Langzeitmonitorings bearbeitet werden.

Je nach Fragestellung, räumlichem und zeitlichem Rahmen sind sehr unterschiedliche Aspekte bei der Auswahl geeigneter Untersuchungsstellen, Untersuchungstermine und der Untersuchungstechnik zu berücksichtigen.

Tab. 6.1: Häufige Fragen bei benthosbiologischen Untersuchungen.

Häufige Fragestellungen bei benthosbiologischen Untersuchungen				
Bezugsrahmen (zeitlich)	<ul style="list-style-type: none"> • temporärer Zustand (z.B. nach Schadensfall) 	<ul style="list-style-type: none"> • aktueller Zustand: Einbezug saisonaler Aspekte 	<ul style="list-style-type: none"> • Langzeitmonitoring 	
Bezugsrahmen (geographisch)	<ul style="list-style-type: none"> • lokale Aspekte • regionale Aspekte (Gewässersystem) • Vergleichende Aspekte, gewässersystemübergreifend 	<p>gewässerökologische Aspekte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Indikation von Wasserqualität oder Gewässerqualität (Ökomorphologie) • Charakterisierung eines Gewässers oder Gewässerabschnittes 	<p>faunistische Aspekte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Artenbestand eines Gewässers oder Gewässerabschnittes • gefährdete oder Rote-Liste-Arten • Änderungen des Artenbestandes (Rückgang von Arten, neozoische Arten) 	

Untersuchungsmethodik und Untersuchungsaufwand müssen sich in erster Linie nach der zugrundeliegenden Fragestellung richten. Sind Methodik und Aufwand der Fragestellung nicht adäquat, so erübrigt sich die Untersuchung. Es hat sich immer wieder gezeigt, dass z.B. von grösseren Monitoringprogrammen die Beantwortung von speziellen Fragen erwartet wird, zu deren

Beantwortung diese Programme nicht konzipiert wurden. Daher ist oft keine seriöse Antwort erwartet möglich. Selbst eine – im Prinzip mögliche – Kombination verschiedener Untersuchungsmethoden zur Beantwortung verschiedener Fragestellungen kann zu Lasten der Qualität der Bearbeitung der einzelnen Fragen gehen. Ursächlich sind dabei Kompromisse in der Auswahl der Probestellen/-zeitpunkte, in der Probenahmemethodik, im Probenumfang oder in der Probenfrequenz, die den Arbeitsaufwand senken sollen, dabei aber die Qualität der Bearbeitung der einzelnen Fragestellungen verringern können.

Vor der Planung von benthosbiologischen Untersuchungen an grossen Flüssen sollte die Zielsetzung dieser Untersuchungen eingehend diskutiert und deutlich formuliert werden. Hilfreich ist dabei eine Abgrenzung von Fragestellungen welche nicht – oder zumindest nicht vorrangig – im Rahmen dieser Untersuchungen zu bearbeiten sind.

6.2 Planung der Untersuchung

Ausgehend von der Fragestellung sollten bei der Planung benthosbiologischer Untersuchungen zunächst die möglichen Untersuchungsmethoden und der erforderliche zeitliche und räumliche Untersuchungsaufwand dargestellt werden. Der zu erwartende Verlust an Umfang, Tiefe und Sicherheit der erwarteten Ergebnisse bei einer Reduktion des Programms ist deutlich darzustellen.

In die Planung der Untersuchung sollte neben der Berücksichtigung von gewünschtem Umfang und Qualität der Aussagen hinsichtlich der aktuellen Fragestellung auch die *Vergleichbarkeit* der neuen Ergebnisse mit bereits vorhandenen Daten oder laufenden bzw. geplanten Datenerhebungen in die Planung der Untersuchung einfließen.

Bei der Planung der Untersuchung an grossen Flüssen empfiehlt es sich, eine Reihe von Faktoren besonders zu beachten:

Untersuchungsstellen

Bei der Auswahl der Untersuchungsstellen können – je nach Fragestellung – sehr unterschiedliche Kriterien anzuwenden sein:

- **Erreichbarkeit:** Die Erreichbarkeit sollte i.d.R. über einen längeren Zeitraum gewährleistet sein. Dabei sollen sowohl saisonale Aspekte (Nutzungen zu verschiedenen Jahreszeiten, Erreichbarkeit bei verschiedenen Wetterbedingungen), wie auch die langjährige Erreichbarkeit aber auch hydrologische Aspekte (Hoch-, Niedrigwasser) berücksichtigt werden.
- **Repräsentativität:** Die Untersuchungsstelle kann einen Gewässerabschnitt, einen Gewässertyp oder einen Nutzungstyp repräsentieren oder aber eine bestimmte Habitattypenausstattung aufweisen (faunistischer Aspekt).
Je nach Fragestellung kann die Untersuchungsstelle bei Änderung der lokalen Ausprägung des Typs innerhalb des betrachteten Gewässerabschnittes verlegt werden.
- **Stabilität:** Je nach Fragestellung sollte die Untersuchungsstelle über längere Zeit beprobbar bleiben. Die Stelle sollte bei Hoch- wie auch Niedrigwasser beprobbar sein, es sollen keine relevanten Nutzungsänderungen oder wasserbauliche Massnahmen zu erwarten sein.

In der Regel sind allenfalls Stellen an der Gewässersohle langfristig stabil, während die Uferstellen mit verändertem Abflusspegel verschoben werden müssen.

- **relative Lage:** Soll die Untersuchungsstelle die Auswirkungen eines lokalen Einflusses dokumentieren, so sind geeignete (hydromorphologisch vergleichbare) Referenzstellen zu wählen (ohne Einfluss, mit Einfluss, nachlassender Einfluss). Bei grossen Flüssen ist hier zusätzlich die laterale Lage der Untersuchungsstellen relevant.
- **Vergleichbarkeit:** Zur Beurteilung der lokalen Eigenheiten und Entwicklung eines Gewässers sind topographisch stabile Untersuchungsstellen anzustreben (s. *Stabilität*), bei den übrigen Fragestellungen – Vergleich unterschiedlicher Gewässer, faunistische Fragen etc. – sind meist Untersuchungsstellen mit möglichst ähnlichen hydromorphologischen Bedingungen auszuwählen (s. *Repräsentativität*).
- **Untersuchungstransecte:** Die repräsentative Untersuchung eines grossen Fließgewässers muss – im Gegensatz zu kleinen Fließgewässern – zwingend sowohl die Gewässersohle wie auch die Gewässerufer umfassen (im optimalen Fall sollten sogar begleitende trockene Ufer – z.B. Kiesinseln und Auebereiche berücksichtigt werden). Die einzelnen Untersuchungsstellen müssen dabei nicht in eng gefassten Transecten liegen, sondern können durchaus unabhängig voneinander gewählt werden. Eine Untersuchung von Transecten hat jedoch einen grossen logistischen Vorteil, daneben sichert sie auch die Berücksichtigung nicht optimal ausgeprägter Habitattypen.
- **Anzahl der Untersuchungsstellen:** Die Anzahl der erforderlichen Untersuchungsstellen richtet sich neben der *Fragestellung* nach der gewünschten *räumlichen Auflösung* der Ergebnisse und nach der gewünschten *Sicherheit* der zu treffenden Aussagen.
Wird der *Einfluss einer Nutzung/Einleitung* auf ein Gewässer untersucht, so sind zumindest 3 Punkte zu untersuchen: ein Referenzpunkt oberhalb Nutzung, ein Punkt mit maximalem Einfluss der Nutzung/Einleitung und ein Punkt mit abklingendem Einfluss der Nutzung.
Zur *Charakterisierung eines Gewässertyps/-abschnitts* sind prinzipiell in einem monotonen Gewässer weniger Untersuchungspunkte erforderlich, als in einem vielfältigen Gewässer. Auf jeden Fall sollte nicht nur eine Probestelle einen Gewässertyp/-abschnitt vertreten, da aufgrund von gehäuften und zufälligem Auftreten von Organismen die Sicherheit des Ergebnisses bei Einzelproben gering bleibt. Diese Unsicherheit kann allerdings durch eine angepasste Probenahme (siehe dort) verringert werden.

Untersuchungstermine

Bei der Festlegung von Untersuchungsterminen für Benthosorganismen muss ganz besonders deren saisonal begrenztes Auftreten beachtet werden, daneben jedoch auch die zu erwartenden Abflussbedingungen, welche sowohl den Organismenbestand beeinflussen können, vor allem aber die Qualität der Probenahme wesentlich beeinträchtigen können.

- **saisonales Organismenvorkommen:** Benthosorganismen weisen in der Regel ein ausgeprägtes saisonales Vorkommen auf. Ein Vergleich der Untersuchungsergebnisse verschiedener Jahre ist daher nur dann zulässig, wenn die Untersuchungen zu jeweils ähnlichen Terminen im Jahresverlauf durchgeführt wurden. Dabei sollten auch aktuellen unterschiedliche Witterungs-

oder Abflussverläufe berücksichtigt werden.

Der *faunistischen Bestand eines Gewässers* kann grundsätzlich nur durch mehrere saisonal unterschiedliche Untersuchungskampagnen erfasst werden. Es gibt allerdings Zeitfenster in denen ein besonders breites faunistisches Spektrum erfassbar ist (spätes Frühjahr, Herbst; s. Modul-Stufen-Konzept) wobei mitunter aber besonders typische Arten übersehen werden können (z.B. Sommerarten wie *Oligoneuriella rhenana*). Diese Kenntnislücke kann durch weniger aufwändige Untersuchungen (geringere Zahl von Probestellen, Beschränkung auf ufernahe Proben) geschlossen werden.

- **saisonale Abflussbedingungen:** Hoch- aber auch Niedrigwasserereignisse können das Organismenvorkommen eines Fliessgewässers stark beeinflussen (Sohllagerung, Katastrophendrift). Dies ist mitunter an der Sohle grosser Fliessgewässer weniger ausgeprägt als in kleinen Gewässern, in flacheren Gewässerbereichen und in der Uferregion betrifft dies jedoch auch grosse Fliessgewässer. Eine Probenahme sollte daher i.d.R. nicht während oder kurz nach solchen Ereignissen erfolgen.

Insbesondere Hochwasserabflüsse beeinträchtigen die Probenahme wesentlich. Neben der hydromechanischen Belastung von Gerät oder Taucher stellt vor allem die hochwasserbegleitende Trübung eine gezielte, kontrollierte Probenahme in Frage. Solche Trübung tritt oftmals nicht nur bei Hochwassern im Untersuchungsgewässer auf, sondern auch bei Trübungseintrag durch Hochwasser in Zuflüssen.

- **Untersuchungsfrequenz:** Die Häufigkeit der erforderlichen Benthosuntersuchungen richtet sich vor allem nach der zu bearbeitenden Fragestellung.

Die *faunistische Charakterisierung* eines Gewässerabschnittes sollte jede Jahreszeit berücksichtigen, nicht nur weil das Auftreten verschiedener Organismen(stadien) oft saisonal begrenzt ist, sondern auch die Bestimmbarkeit vieler Arten an Stadien geknüpft ist, die nur saisonal aufzufinden sind. Veränderungen des faunistischen Bestandes lassen sich dann durch Untersuchungen im mehrjährigem Turnus erkennen.

Die *Neubesiedlung* eines Gewässers durch eingeschleppte Arten, wie auch der *Rückgang* oder das *Verschwinden* von Arten vollziehen sich oft innerhalb weniger Jahre. Um diese Vorgänge zu erkennen und zu verfolgen sind jährliche Untersuchungen jeweils zur gleichen Jahreszeit erforderlich.

Weitere Untersuchungsbedingungen

Die möglichen Termine einer Benthosuntersuchung erfahren wesentliche Einschränkungen durch die Berücksichtigung weiterer für eine Probenahme relevanter Randbedingungen.

- **Strömungsverhältnisse:** wesentlich für eine fachlich einwandfreie Probenahme sind akzeptable, stabile Strömungsverhältnisse, die das sichere Erreichen der Probestelle und die methodisch einwandfreie Probenahme erlauben.
- **Trübung:** eine eventuell vorhandene Trübung muss das Erkennen der zu beprobenden Habitate noch erlauben.

- **Sicherheit & Gewässernutzungen:** eine Reihe von Gewässernutzungen beeinträchtigen die Möglichkeit zu einer fachlich einwandfreien Probenahme, aber auch die Sicherheit der Ausführenden:
 - eingeschränkte Zugänglichkeit des Gewässerbereichs (Ufernutzung durch Landwirtschaft, Badebetrieb, Militär etc.);
 - eingeschränkte Sicherheit durch Fischereiaktivitäten (z.B. Netze), Schifffahrt oder Schleusenbetrieb
 - Beeinträchtigung von Methodik und Sicherheit durch Wasserkraftnutzung (Schwallbetrieb, Spülungen: Strömungen, Trübung)
 - Einschränkungen durch bedenkliche Einleitungen (Chemie, Hygiene)

6.3 Probenahmetechnik

Die Untersuchungsmethode sollte sich vorrangig nach der Fragestellung richten. Darüber hinaus ist die Vergleichbarkeit mit bereits vorliegenden Untersuchungen anzustreben aber auch der personelle, zeitliche und logistische Aufwand der möglichen Methoden zu berücksichtigen.

- Für *faunistische Fragestellungen* reichen oft qualitative Probenahmen, die sich mitunter auf besonders geeignete Habitate beschränken können.
- *Gewässerökologische Fragestellungen* erfordern meist eine flächenbezogene Probenahme. Diese sollte die Besiedlungsdichte des gesamten Makrozoobenthos repräsentieren, zumindest aber die der relevanten Indikatororganismen. Sowohl das Modul-Stufen-Konzept des BafU als auch die Multihabitatsampling –Methodik nach der EU–Wasserrahmenrichtlinie streben eine anteilige Berücksichtigung der im Untersuchungsbereich vorhandenen Habitate an.

Beide Fragestellungen erfordern eine habitatbezogene Probenahme. Eine solche kann bei einer zufälligen Auswahl der Probeflächen allenfalls bei einer sehr hohen, statistisch relevanten Probenzahl realisiert werden. Üblicherweise wird eine begrenzte Zahl ausgesuchter Habitate beprobt, die mehr oder weniger das vorhandene Habitatangebot berücksichtigen. Hierfür ist eine der Probenahme vorausgehende Inaugenscheinnahme/ Kartierung der vorhandenen Habitate und die Auswahl geeigneter Probeflächen erforderlich.

Die wesentlichen Schritte bei der Durchführung einer Benthosprobenahme sind:

- **Habitatkartierung/Inaugenscheinnahme zur Auswahl der aktuellen Probestellen**
Diese kann in grossen bzw. tiefen Fließgewässern nur selten von der Wasseroberfläche aus erfolgen (Tiefe, Trübung) und kann daher am günstigsten durch den Einsatz von Tauchern erfolgen.
- **Erreichbarkeit der Probestellen**
Die Probestellen können in tiefen Gewässern entweder mit einem Boot angefahren werden oder von einem (ufergesicherten) Taucher angeschwommen werden.
- **Probeflächenauswahl und Probenahme**
Die Auswahl und Beschreibung der Probeflächen kann in tiefen Gewässern entweder über Kameras/Tauchroboter erfolgen oder von Tauchern durchgeführt werden. Letzterer ist wesentlich flexibler und kann erforderlichenfalls vor Ort die Probestellenauswahl modifizieren.

Vor allem die Probenahme selbst kann in den meisten Fällen besser durch einen Taucher durchgeführt werden, der Flächenauswahl und Probenahmetechnik den Bedingungen vor Ort anpassen kann. Eine Probenahme mit Robotern oder Substratgreifern/-saugern ist mitunter aus sicherheitsrelevanten Überlegungen erforderlich, dabei aber i.d.R. schwieriger kontrollierbar als die Probenahme durch Taucher.

- **Dokumentation der Probefläche**

Die Dokumentation der Probefläche kann durch eine Beschreibung durch den Taucher erfolgen, vor allem aber durch Foto oder Filmaufnahmen. Letztere ergeben nicht selten noch neue Erkenntnisse, die unter den schwierigen Bedingungen vor Ort leicht zu übersehen sind.

- **Probenahmeequipment**

Zur Probenahme selbst stehen verschiedene Gerätschaften zur Verfügung (Sampler, Sauger, Greifer). Wesentlich ist allen ein flächenbezogener Einsatz, der neben der Sohloberfläche auch die ersten Schichten der Gewässersohle erfasst. Die Organismen werden dabei in einen Sammelbehälter befördert, der sich innerhalb oder ausserhalb des Gewässers befinden kann.

Ergänzende Untersuchungsmethoden

Zur *Indikation der Wasserqualität* ist oft keine habitatbezogene Probenahme erforderlich, sondern es können Organismen oder Besiedlungssubstrate exponiert werden, deren Entwicklung verfolgt wird. Die Organismen können im Gewässer selbst exponiert werden, oder aber in Anlagen ausserhalb des Gewässers, welche von dem zu untersuchenden Wasser durchströmt werden. Dies verhindert die ungewünschte Beeinflussung der Organismen durch hydraulische Effekte. Besiedlungssubstrate können im Gewässer exponiert werden, wobei sie neben den wasserchemischen Einflüssen auch hydraulischen und weiteren physikalischen Einflüssen (Licht, Trübung, Temperatur) ausgesetzt sind.

6.4 Bearbeitung und Auswertung

Bearbeitung und Auswertung der Benthosproben werden hier noch nicht ausführlich diskutiert. Einige wesentliche Anforderungen sollen hier aber kurz aufgeführt werden:

Bearbeitung der Benthosprobe

- beim Auslesen der Organismen sollen alle Taxa und Grössen in einem bestimmten und angegebenen Range erfasst werden
- werden nur Teilproben ausgelesen, so ist dies deutlich zu dokumentieren
- die unterschiedlichen Entwicklungsstadien eines Taxons (Larve, Puppe, Imago) werden getrennt erfasst
- je nach Fragestellung ist es erforderlich die verschiedenen Grössenklassen eines Taxons getrennt zu erfassen

Auswertung der Benthosdaten

je nach Fragestellung ist eine Vielzahl von Auswertungen möglich, allen aber liegen die Daten der Probe zugrunde, die deutlich dokumentiert werden müssen. Die Originaldaten (Anzahl, Häufigkeitsklasse etc.) müssen dokumentiert und/oder einfach erschliessbar bleiben. Die Auswertungsmethoden müssen dokumentiert werden.

Dokumentation der Probenahme

Wesentlich für die Interpretation der Ergebnisse und für die Vergleichbarkeit verschiedener Untersuchungen ist eine ausführliche Dokumentation der Probenahme. Hierzu gehören

- Lage und Beschreibung der Probestelle
- Termin und hydrologische Situation bei der Probenahme
- Probenahmemethodik (Auswahl der Probeflächen, berücksichtigte Substrattiefen, Probenahmeequipment)

Dokumentation der Probenbearbeitung

- Auslesen von Gesamtprobe oder Teilproben,
- berücksichtigtes Organismen- und Grössenspektrum
- Konservierungsmethode

7. Literatur

Konzepte

- Grasser, U., & Graf, W. (2002). Erste Erfahrungen mit dem Potamon-Typie-Index (Schöll & Haybach, 2001) in Österreich. – *Lauterbornia* 47: 153-172 http://www.zobodat.at/pdf/Lauterbornia_2003_47_0153-0172.pdf
- Rey, P., Mürle, U., Ortlepp, J., Werner, S., Hesselschwerdt, J. (2015): Koordinierte Biologische Untersuchungen im Hochrhein 2011/12. Makroinvertebraten. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt Zustand Nr. 1522: 130 S.
- Schöll, F. & A. Haybach (2001): Bewertung von großen Fließgewässern mittels Potamon-Typie-Index (PTI) - Verfahrensbeschreibung und Anwendungsbeispiele. – *Mitteilung der Bundesanstalt für Gewässerkunde* 23, Koblenz: 28 S.
- Schöll, F., A. Haybach & B. König (2005): Das erweiterte Potamontypieverfahren zur ökologischen Bewertung von Bundeswasserstraßen (Fließgewässertypen 10 und 20: kies- und sandgeprägte Ströme, Qualitätskomponente Makrozoobenthos) nach Maßgabe der EUWasserrahmenrichtlinie.- *Hydrologie und Wasserwirtschaft*, 49, Heft 5, 234-247. <http://www.hywa-online.de/das-erweiterte-potamontypieverfahren-zur-oekologischen-bewertung-von-bundeswasserstrassen-fluessgewaessertypen-10-und-20-kies-und-sandgepraegte-stroeme-qualitaetskomponente-makrozoobenthos-nach-m/#>
- Stucki, P. (2010): Methode zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Makrozoobenthos Stufe F. – *Umwelt-Vollzug* 1026: 61 S., Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern (Hrsg.).

Methoden

- Barnett P.R., Hardy B.L. (1967). A diver-operated quantitative bottom sampler for sand macrofaunas. *Helgoländer Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 15(1), 390-398. <http://hmr.biomedcentral.com/track/pdf/10.1007/BF01618636?site=http://hmr.biomedcentral.com>
- Bartsch L.A., Richardson W.B., Naimo T.J. (1998): Sampling benthic macroinvertebrates in a large floodplain river: considerations of study design, sample size, and cost. *Environmental Monitoring and Assessment*, 52, 425–439. https://www.researchgate.net/profile/William_Richardson5/publication/263732297_Sampling_Benthic_Macroinvertebrates_in_a_Large_Flood-Plain_River_Considerations_of_Study_Design_Sample_Size_and_Cost/links/549448f90cf20c4f741eceb3.pdf
- Bass J.A.B., Neale M.W.N., Kneebone N.T., Corbin T.A., Gunn R.J.M., Blackburn J.H., Davy-Bowker J., Clarke R.T., Jones J.I. (2006). Sampling techniques for the biomonitoring of deep rivers. *Bulletin of the North American Benthological Society*. <http://www.benthos.org/Other-Publications/NABStracts/2006/501.aspx>
- Beisel J.N., Usseglio-Polatera P., Thomas S., Moreteau J.C. (1998). Effects of mesohabitat sampling strategy on the assessment of stream quality with benthic invertebrate assemblages. *Archiv für Hydrobiologie*, 142(4), 493-510. https://www.researchgate.net/profile/Jean_Nicolas_Beisel/publication/286991719_Effects_of_mesohabitat_sampling_strategy_on_the_assessment_of_stream_quality_with_benthic_invertebrate_assemblages/links/5764e84e08aeb4b99800a6d5.pdf

- Bingham, C. R., Mathis, D. B., Sanders, L. G., & McLemore, E. (1982). Grab Samplers for Benthic Macroinvertebrates in the Lower Mississippi River Environmental & Water Quality Studies, Miscellaneous Paper E-82-3 (WES/MP/E-82-3)
<http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1089&context=usarmyresearch>
- Brooks S. (1994). An efficient and quantitative aquatic benthos sampler for use in diverse habitats with variable flow regimes. *Hydrobiologia*, 281(2), 123-128.
<http://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF00006441.pdf>
- Brown A.V., Schram M.D., Brussock P.P. (1987). A vacuum benthos sampler suitable for diverse habitats. *Hydrobiologia*, 153(3), 241-247. <http://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF00007210.pdf>
- Cairns J., Pratt J.R. (1993). 2. A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates. in D.M. Rosenberg and V.H. Resh, eds., *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*, 10-27, Chapman & Hall, NY.
<ftp://ftp.geo.vuw.ac.nz/pub/outgoing/JohnCollen/Hutt%20Valley%20Project/Literature/Water%20Quality-Biological%20Monitoring%20and%20RMBL-15.pdf>
- Chessman B.C. (1995). Rapid assessment of rivers using macroinvertebrates: a procedure based on habitat-specific sampling, family level identification and a biotic index. *Australian Journal of Ecology*, 20(1), 122-129.
- Clapcott J., Pingram M., Collier K.J. (2012). Review of functional and macroinvertebrate sampling methods for non-wadeable rivers. Cawthron Report No 2222.
<http://www.envirolink.govt.nz/PageFiles/908/1093-MLDC75%20Review%20of%20macroinvertebrate%20sampling%20methods%20for%20non-wadeable%20rivers.pdf>
- Csányi B., Szekeres J., György A.I., Szalóky Z., Falka I. (2012): Methodology of Macroinvertebrate Survey on Large Rivers: A Case Study on the Romanian Lower Danube.-*Water Research and Management*, 2(2), 25-40 <http://www.wrmjournal.com/images/stories/casopis/No6/02.pdf>
- Dorgelo J., Hengst P.A. (1986). Two modifications of the quantitative hydraulic lift sampler for benthic invertebrates. *Water Research*, 20(7), 825-829.
- Downing J.A. (1979). Aggregation, transformation, and the design of benthos sampling programs. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 36(12), 1454-1463.
<http://www.public.iastate.edu/~downing/tier%202/jadpdfs/1979%20Downing%20Aggregation%20transformation%20and%20the%20design.pdf>
- Drake C.M., Elliott J.M. (1982). A comparative study of three air-lift samplers used for sampling benthic macro-invertebrates in rivers. *Freshwater Biology*, 12(6), 511-533.
- Drake C.M., Elliott J.M. (1983). A new quantitative air-lift sampler for collecting macroinvertebrates on stony bottoms in deep rivers. *Freshwater biology*, 13(6), 545-559.
- Elliott J.M., Drake C.M., Tullet P.A. (1980). The choice of a suitable sampler for benthic macroinvertebrates in deep rivers. Ambleside, UK, Freshwater Biological Association, 15pp.
http://aquaticcommons.org/5261/1/1980_elli_the.pdf
- Elliott J.M., Tullet P.A. (1978). A bibliography of samplers for benthic invertebrates. FBA Occ Publ 4 http://aquaticcommons.org/5275/1/OP4_1978_elli_a.pdf

- Herrig, H. (1975). Der Bodensauger – ein neuartigesGerät zur Entnahme von Sohlenproben aus großen Fließgewässern. Dt. Gewässerkdl. Mitt., 19, 104-107
- Humpesch U.H., Elliott J.M. (eds.) (1990). Methods of biological sampling in a large, deep river - the Danube in Austria. Wasser Abwasser (Suppl.) 2/90, 83pp.
- Humpesch U.H., Niederreiter R. (1993). Freeze-Core Method for Sampling the Vertical Distribution of the Macrozoobenthos in the Main Channel of a Large Deep River, the River Danube at River Kilometer 1889. Archiv für Hydrobiologie Supplement, 101, 87-90
- Humphries P., Growns J.E., Serafini L.G., Hawking J.H., Chick A.J., Lake P.S. (1998). Macroinvertebrate sampling methods for lowland Australian rivers.- Hydrobiologia 364(2-3), 209-218
<http://link.springer.com/content/pdf/10.1023/A:1003221602632.pdf>
- Jones J.I., Bass J.A.B., Davy-Bowker J. (2005). A Review of methods for sampling invertebrates in deep rivers. North South Shared Aquatic Resource (NS Share) T1(A5.1) - 1.1
<http://nora.nerc.ac.uk/5573/1/N005573CR.pdf>
- Jones J.I., Neale M.W., Bass J.A.B., Blackburn J.H., Corbin T.A., Gunn R.J.M., Kneebone N.T., Davy-Bowker J., Clarke R.T. (2008): A comparison of techniques for the biomonitoring of deep rivers.- NABS 56th Annual Meeting (25-28 May, 2008), 19 Bioassessment - Statistical Issues
<https://nabs.confex.com/nabs/2008/techprogram/P3211.HTM>
- Jones J.I., Davy-Bowker J. (2014): Standardisation of RIVPACS for deep rivers: Phase I - review of techniques for sampling benthic macro-invertebrates in deep rivers.- Freshwater Biological Association, Environment Agency
[http://www.fba.org.uk/sites/default/files/DeepRivers\(i\)-ReviewofSamplingTechniques.pdf](http://www.fba.org.uk/sites/default/files/DeepRivers(i)-ReviewofSamplingTechniques.pdf)
- Kikuchi R.M., Fonseca-Gessner A.A., Shimizu G.Y. (2006). Suction sampler for collection of benthic macroinvertebrates in several continental aquatic environments: a comparative study with the Hess and Surber samplers. Acta Limnologica Brasiliensia, 18, 29-37.
[http://www.ablimno.org.br/acta/pdf/acta_limnologica_contents1801E_files/Art03_18\(1\).pdf](http://www.ablimno.org.br/acta/pdf/acta_limnologica_contents1801E_files/Art03_18(1).pdf)
- Mackey A.P. (1972). An air-lift sampler for sampling freshwater benthos. Oikos, 23, 413-415.
- Murray-Bligh J. (2003): 2000 GQA Biology Survey Project Record Environment Agency
<http://www.environmentdata.org/archive/ealit:234/OBJ/20000918.pdf>
- Neale M.W., Kneebone N.T., Bass J.A., Blackburn J.H., Clarke R.T., Corbin T.A., Davy-Bowker J., Gunn R.J.M., Furse M.T., Jones J.I. (2006). Assessment of the effectiveness and suitability of available techniques for sampling invertebrates in deep rivers. Final Report: November 2006. Department of Environment (DOE), Northern Ireland and Department of Environment Heritage and Local Government (DEHLG), Republic of Ireland, 97pp. (North South Shared Aquatic Resource (NS Share). T1(A5.8) - 1.1)
http://nora.nerc.ac.uk/801/1/NS-SHARE_Deep_water_Final_Report_v3-Formatted.pdf
- Ofenböck G., Moog O. (2000): The Danube-Net-Basket-Sampler - a simple but effective sampling gear for sampling benthic invertebrates in deep and large stony rivers. Large Rivers, Vol. 11, No. 4, Arch. Hydrobiol. Suppl., 115, 4, 557-573
- Ofenböck G., Moog O. (2002). Danube-Net-Basket-Sampler--A cheap but effective method for sampling benthic invertebrates in large rivers. Internationale Vereinigung für Theoretische und

Angewandte Limnologie Verhandlungen, 27(7), 3959-3965.

https://www.researchgate.net/profile/Otto_Moog/publication/273127965_Danube-Net-Basket-Sampler_-_a_cheap_but_effective_gear_for_sampling_benthic_invertebrates_in_large_rivers/links/54f8420c0cf210398e953324.pdf

Pearson R.G., Litterick M.R., Jones N.V. (1973). An air-lift for quantitative sampling of the benthos. *Freshwater Biology*, 3(4), 309-315.

Pehofer H.E. (1998) A new quantitative air-lift sampler for collecting invertebrates designed for operation in deep, fast-flowing gravelbed rivers. *Archiv für Hydrobiologie Supplement*, 101, 213-232

Wagner F., Zimmermann-Timm H., Schönborn W. (2003). The Bottom Sampler—a new technique for sampling bed sediments in streams and lakes. *Hydrobiologia*, 505(1-3), 73-76.

<http://link.springer.com/content/pdf/10.1023/B:HYDR.0000007286.70175.df.pdf>

Theorie, Diskussion, weitere Bearbeitung

Bady P., Doledec S., Fesl C., Gayraud S., Bacchi M., Schöll F. (2005). Use of invertebrate traits for the biomonitoring of European large rivers: the effects of sampling effort on genus richness and functional diversity. *Freshwater Biology*, 50(1), 159-173.

https://www.researchgate.net/profile/Sylvain_Doledec/publication/227761202_Use_of_invertebrate_traits_for_the_biomonitoring_of_European_large_rivers_the_effects_of_sampling_effort_on_genus_richness_and_functional_diversity/links/0deec527c7b3505ab0000000.pdf

Barbour M.T., Gerritsen J. (1996). Subsampling of benthic samples: a defense of the fixed-count method. *Journal of the North American Benthological Society*, 15(3), 386-391.

https://www.researchgate.net/profile/Jeroen_Gerritsen/publication/240311126_Subsampling_of_benthic_samples_A_defense_of_the_fixed-count_method/links/54b3dc600cf28ebe92e43158.pdf

Bradley D.C., Ormerod S.J. (2002). Evaluating the precision of kick-sampling in upland streams for assessments of long-term change: the effects of sampling effort, habitat and rarity. *Archiv für Hydrobiologie*, 155(2), 199-221.

https://www.researchgate.net/profile/Steve_Ormerod/publication/254559356_Evaluating_the_precision_of_kick-sampling_in_upland_streams_for_assessments_of_long-term_change_The_effects_of_sampling_effort_habitat_and_rarity/links/551077b40cf20352196b7f66.pdf

Cao Y., Williams D.D., Larsen D.P. (2002). Comparison of ecological communities: the problem of sample representativeness. *Ecological Monographs*, 72(1), 41-56.

http://www.uprm.edu/biology/profs/chinea/comunidades/refs/cao_e2002.pdf

Davies A. (2001). The use and limits of various methods of sampling and interpretation of benthic macro-invertebrates. *Journal of Limnology*, 60(1s), 1-6.

<http://www.jlimnol.it/index.php/jlimnol/article/download/jlimnol.2001.s1.1/387>

Dolédec S., Olivier J.M., Statzner B. (2000). Accurate description of the abundance of taxa and their biological traits in stream invertebrate communities: effects of taxonomic and spatial resolution. *Archiv für Hydrobiologie*, 148(1), 25-43.

Elliott J.M., Decamps H. (1973). Guide pour l'analyse statistique des échantillons d'invertébrés benthiques. *Annales de Limnologie* (Vol. 9, No. 2, pp. 79-120). Station Biologique du lac

d'Orédon. <http://www.limnology-journal.org/articles/limn/pdf/1973/02/limn197392p79.pdf>

Finck P. (1998). Der Einfluß von Probenahmzeitpunkt und-häufigkeit auf die Erfassung der Makroinvertebraten in Mittelgebirgsbächen. *Lauterbornia*, 34, 245-254.

http://www.zobodat.at/pdf/Lauterbornia_1998_34_0245-0254.pdf

Silva D.R., Ligeiro R., Hughes R.M., Callisto M. (2016). The role of physical habitat and sampling effort on estimates of benthic macroinvertebrate taxonomic richness at basin and site scales.

Environmental monitoring and assessment, 188(6), 1-12.

https://www.researchgate.net/profile/Marcos_Callisto/publication/302916680_The_role_of_physical_habitat_and_sampling_effort_on_estimates_of_benthic_macroinvertebrate_taxonomic_richness_at_basin_and_site_scales/links/5736123f08aea45ee83cacb5.pdf

Diverse Metrics

Böhmer J., Rolauuffs P., Hering D. (2006): Kurzdarstellungen „Bewertung Makrozoobenthos“ & „Core Metrics Makrozoobenthos“ http://www.fliessgewaesserbewertung.de/downloads/begleittext_kurzdarstellungen.pdf

Duelli P., Obrist M.K. (2003). Biodiversity indicators: the choice of values and measures.

Agriculture, ecosystems & environment, 98(1), 87-98.

<ftp://ftp.wsl.ch/pub/obrist/publications/DuelliObrist2003.pdf>

Gotelli N.J., Colwell R.K. (2001). Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology letters*, 4(4), 379-391.

Hering D., Meier C., Rawer-Jost C., Feld C.K., Biss R., Zenker A., Sundermann A., Lohse S., Böhmer J. (2004). Assessing streams in Germany with benthic invertebrates: selection of candidate metrics.

Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters, 34(4), 398-415.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0075951104800094>

Li L., Zheng B., Liu L. (2010). Biomonitoring and bioindicators used for river ecosystems: definitions, approaches and trends. *Procedia environmental sciences*, 2, 1510-1524.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029610001970/pdf?md5=10aac868fe43a8ffd235d4623deef098&pid=1-s2.0-S1878029610001970-main.pdf>

Seegert G. (2000). Considerations regarding development of index of biotic integrity metrics for large rivers. *Environmental Science & Policy*, 3, 99-106.

invertebrate traits

Gayraud S., Statzner B., Bady P., Haybach A., Schöll F., Usseglio-Polatera P., Bacchi M. (2003). Invertebrate traits for the biomonitoring of large European rivers: an initial assessment of alternative metrics. *Freshwater Biology*, 48(11), 2045-2064.

Statzner B., Bady P., Doledec S., Schöll F. (2005). Invertebrate traits for the biomonitoring of large European rivers: an initial assessment of trait patterns in least impacted river reaches.

Freshwater Biology, 50(12), 2136-2161.

https://www.researchgate.net/profile/Sylvain_Doledec/publication/229879942_Invertebrate_traits_for_the_biomonitoring_of_large_European_rivers_an_initial_assessment_of_trait_patterns_in_least_impacted_river_reaches/links/5507fd5b0cf26ff55f7fa401.pdf

Bonada N., Prat N., Resh V.H., Statzner B. (2006). Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. *Annu. Rev. Entomol.*, 51, 495-523.

https://www.researchgate.net/profile/Narcis_Pratt/publication/7437853_Developments_in_Aquatic_Insect_Biomonitoring_Comparative_Analysis_of_Recent_Approaches/links/0fcfd50782ef2df406000000.pdf

- Doledec S., Stanzner B. (2008). Invertebrate traits for the biomonitoring of large European rivers: an assessment of specific types of human impact. *Freshwater Biology*, 53(3), 617-634.
https://www.researchgate.net/profile/Sylvain_Doledec/publication/227875678_Invertebrate_Traits_for_the_Biomonitoring_of_Large_European_Rivers_An_Assessment_of_Specific_Types_of_Human_Impact/links/0046352c959d1efac2000000.pdf
- Menezes S., Baird D.J., Soares A.M. (2010). Beyond taxonomy: a review of macroinvertebrate trait-based community descriptors as tools for freshwater biomonitoring. *Journal of Applied Ecology*, 47(4), 711-719
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2664.2010.01819.x/pdf>
<http://onlinelibrary.wiley.com/wol1/doi/10.1111/j.1365-2664.2010.01819.x/full>
- Culp J.M., Armanini D.G., Dunbar M.J., Orlofske J.M., Poff N.L., Pollard A.I., Yates A.G., Hose G.C. (2011). Incorporating traits in aquatic biomonitoring to enhance causal diagnosis and prediction. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 7(2), 187-197.
https://www.researchgate.net/profile/David_G_Armanini/publication/50869128_Incorporating_traits_in_aquatic_biomonitoring_to_enhance_causal_diagnosis_and_prediction_Integr_Environ_Assess_Manag_7187-197/links/0912f50d5d8874d14b000000.pdf

8. Anhang

Berücksichtigte Untersuchungen an grossen Fließgewässern

Hochrhein

- 1990 Rey P., Beutler R., Schröder P., Stirnemann P., Theeg R. (1992): Koordinierte biologische Untersuchungen im Hochrhein 1990 Teil I: Makroinvertebraten.- BUWAL Schriftenreihe Umwelt Nr. 190
- 1995 Rey P., Ortlepp J. (1997): Koordinierte biologische Untersuchungen am Hochrhein 1995; Makroinvertebraten.- BUWAL Schriftenreihe Umwelt Nr. 283
- 2000 Rey P., Ortlepp J. (2002): Koordinierte biologische Untersuchungen am Hochrhein 2000; Makroinvertebraten.- BUWAL Schriftenreihe Umwelt Nr. 245
- 2006/2007 Mürle U., Ortlepp J., Rey P. (2008): Koordinierte biologische Untersuchungen am Hochrhein 2006/07 Makroinvertebraten.- BAFU Umwelt-Wissen UW-0822-D
- 2011/2012 Rey P., Mürle U., Ortlepp J., Werner S., Hesselschwerdt J., Unger B. (2015): Koordinierte biologische Untersuchungen im Hochrhein 2011/12 Makroinvertebraten.- BAFU Umwelt-Zustand UZ-1522-D
- 2017/2018 In Durchführung: Koordinierte biologische Untersuchungen im Hochrhein 2017/2018

Aare

- 2001/2002 Aare zwischen Bielersee und Rhein
Ortlepp J., Rey P. (2003) : Biologische Untersuchungen an der Aare zwischen Bielersee und Rhein. Fachbericht: Makroinvertebraten (Untersuchungen 2001/ 2002). - i. A. der Gewässerschutzfachstellen der Kantone Bern, Solothurn und Aargau, 130 S., Bericht Hydra Öschelbronn und Konstanz, Oktober 2003 (überarbeitete Version 01/ 2004)
- 2008 Aare zwischen Thunersee und Bielersee
Mürle U., Ortlepp J., Rey P. (2008): Biologische Untersuchungen der Aare zwischen Thunersee und Bielersee. Fachbericht Makroinvertebraten. i.A. des Gewässer- und Bodenschutzlabors, Kanton Bern, Bericht Hydra Öschelbronn und St. Gallen
- 2011-2013 Aare zwischen Bielersee und Rhein
Rey P., Ortlepp J., Werner S., Mürle U., Becker A., Hesselschwerdt J. (2013): Koordinierte biologische Untersuchungen an der Aare zwischen Bielersee und Rhein 2011 – 2013.- Gewässerschutz- und Fischereifachstellen der Kantone Aargau, Bern und Solothurn

Reuss & Limmat

- 2010 Limmat bei Turgi und Wettingen
Ortlepp J. (2011): Biologische Untersuchung der Limmat bei Turgi und Wettingen AG. Fachbericht Makrozoobenthos Untersuchungen vom 17. / 18. März 2010. –i.A. des Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung für Umwelt, Kanton Aargau, Bericht Hydra AG St. Gallen
- 2010 Mittelland-Reuss, Kleinen Emme und Unteren Lorze
Ortlepp J. (2011): Biologische Untersuchungen an der Mittelland-Reuss, Kleinen Emme und Unteren Lorze Voruntersuchung 2010 - Teilbereich Makrozoobenthos. – AquaPlus, Zug & Hydra AG St. Gallen: Bericht i.A. der Gewässerschutzfachstellen der Kantone Aargau, Zug, Zürich und Luzern
- 2011 Mittelland-Reuss, Kleinen Emme und Unteren Lorze
Ortlepp J., Mürle U. (2012): Biologische Untersuchung der Mittelland-Reuss, Kleinen Emme und Unteren Lorze. Fachbericht Makrozoobenthos (Untersuchungen vom März 2011). – – AquaPlus, Zug & Hydra AG St. Gallen: Bericht i.A. der Gewässerschutzfachstellen der Kantone Aargau, Zug, Zürich und Luzern

Alpenrhein

- 2009/2010 Rey P., Werner S., Mürle U., Becker A., Ortlepp J, Hürlimann J. (2011): Monitoring Alpenrhein. Basismonitoring Ökologie 2009/2010. Benthosbesiedlung - Bericht zuhanden Internationale Regierungskommission Alpenrhein (IRKA), Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie. 159 S.

Reuss

- 2010 AquaPlus & HYDRA AG (2011): Biologische Untersuchungen an der Mittelland-Reuss, Kleinen Emme und Unteren Lorze - Teilbereich Makrozoobenthos. – Bericht i.A. der Gewässerschutzfachstellen der Kantone Aargau, Zug, Zürich und Luzern

Limmat

- 2010 AquaPlus (2011): Biologische Untersuchung der Limmat bei Turgi und Wettingen AG. Fachbericht Makrozoobenthos Untersuchungen vom 17. / 18. März 2010. –i.A. des Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung für Umwelt, Kanton Aargau, Bericht Hydra AG St. Gallen

Rhone

- 2001/2002 Baumann P. (2004): Revitalisierung und Benthos der Rhone.- Schlussbericht SP I-6, Rhone-Thur Projekt, EAWAG, WSL, Limnex AG: 101 pp. + Anhang

Übersicht über die bisher angewandte Untersuchungsmethodik Hochrhein

(blau: Änderungen in der Methodik)

- 1990
- 9 Transekte: Sohl- und Uferproben möglichst auf einer Linie
 - 3 Kampagnen: Januar/Februar – Juni/Juli – Oktober (Transektbeprobung mit Sohl- und Uferproben)
 - Proben von der Sohle durch bootsgestützten Tauchereinsatz (Tauchtelefon, UW-Fotografie)
 - Proben von beiden Ufern durch Kicksampling mit Surbersampler (Maschenweite 0,6 mm)
 - aufgenommene Parameter (jede Probestelle): Substratzusammensetzung, Bewuchs, Fließgeschwindigkeit über Grund, Wassertiefe, Wassertemperatur, Wasserchemie
- 1995
- 9 Transekte: *Sohl- und Uferproben innerhalb eines 50 m-Flussabschnittes (Transektbeprobung mit Sohl- und Uferproben)*
 - 3 Kampagnen: Januar/Februar – Juni/Juli – Oktober/November
 - Proben von der Sohle durch bootsgestützten Tauchereinsatz (Tauchtelefon, UW-Fotografie)
 - Proben von beiden Ufern durch Kicksampling mit Surbersampler (Maschenweite 0,6 mm)
 - *zusätzliche Besammlung von im Transekt fehlenden Substraten*
 - *zusätzliche Dokumentation durch Film und Fotografie*
 - aufgenommene Parameter (jede Probestelle): Substratzusammensetzung, Bewuchs, Fließgeschwindigkeit über Grund, Wassertiefe, Wassertemperatur, Wasserchemie
- 2000
- 9 Transekte: Sohl- und Uferproben innerhalb eines 50 m-Flussabschnittes
 - *2 Kampagnen: Januar/Februar – November (Transektbeprobung mit Sohl- und Uferproben)*
 - *1 Kampagne: Mai bis August (zusätzliche Uferproben entlang des gesamten Hochrheins)*
 - Proben von der Sohle durch bootsgestützten Tauchereinsatz (Tauchtelefon, UW-Fotografie)
 - Proben von beiden Ufern durch Kicksampling mit Surbersampler
 - *zusätzliche Besammlung von im Transekt fehlenden Substraten*
 - *zusätzliche Dokumentation durch Film und Fotografie*
 - aufgenommene Parameter (jede Probestelle): Substratzusammensetzung, Bewuchs, Fließgeschwindigkeit über Grund, Wassertiefe, Wassertemperatur, Wasserchemie
- 2006/2007
- 9 Transekte: Sohl- und Uferproben innerhalb eines 50 m-Flussabschnittes
 - *2 Kampagnen: November – April (Transektbeprobung mit Sohl- und Uferproben)*
 - Proben von der Sohle durch *ufergestützten* Tauchereinsatz
 - Proben von beiden Ufern durch Kicksampling (*Maschenweite 250 µm*)
 - *zusätzliche Besammlung von im Transekt fehlenden Substraten*
 - *zusätzliche Dokumentation durch Film und Fotografie*
 - aufgenommene Parameter (jede Probestelle): Substratzusammensetzung, Bewuchs, Fließgeschwindigkeit über Grund, Wassertiefe, Wassertemperatur, Wasserchemie
- 2011/2012
- 9 Transekte: Sohl- und Uferproben innerhalb eines 50 m-Flussabschnittes
 - 2 Kampagnen: November – April (Transektbeprobung mit Sohl- und Uferproben)
 - Proben von der Sohle durch *ufergestützten* Tauchereinsatz
 - Proben von beiden Ufern durch Kicksampling (Maschenweite 250 µm)
 - *zusätzliche Besammlung von im Transekt fehlenden Substraten*
 - *zusätzliche Dokumentation durch Film und Fotografie*
 - aufgenommene Parameter (jede Probestelle): Substratzusammensetzung, Bewuchs, Fließgeschwindigkeit über Grund, Wassertiefe, Wassertemperatur, Wasserchemie

Aufwand & Kosten

Genauer Aufwand und Kostenberechnungen der einzelnen Untersuchungsprogramme seit 1990 sind den entsprechenden Anlagen des Bundes zu entnehmen. Generell haben sich der Bund (ca. 62 % Kostenanteil) und die Kantone Zürich (ca. 12,5 %), Aargau (ca. 12,5 %), Baselland (ca. 4,2 %), Basel-Stadt (ca. 4,2 %) Thurgau (ca. 2,2 %) und Schaffhausen (ca. 2,2 %). Die Programmkosten für die Kantone entsprachen den jeweiligen Untersuchungsaufwänden an den jeweils den Kantonen zugehörigen Untersuchungsstellen. Hierbei wurden folgende Zeitaufwände kalkuliert.

Zeitaufwand pro Untersuchungsinhalt, Datenauswertung und Berichterstellung im Rahmen der Koordinierten biologischen Untersuchungen im Hochrhein 1990 bis 2012. Zur Berechnung der Personalkosten wurden die Kjob-Tarifklassen C und D herangezogen.

Rahmenbedingungen für das Untersuchungsprogramm im Hochrhein	
Mindestzahl der Mitarbeiter (nur Makroinvertebraten)	4 bis 5
davon Fachkräfte	4
Mindestzahl der Mitarbeiter (Kombination mit Untersuchungsinhalt Jungfische)	6 bis 7
davon Fachkräfte	5
Zahl der bearbeitbaren Probestellen pro Tag (limitierend sind die Erholungsphasen der Taucher sowie die Dislokation inkl. Equipment)	1
Gerätenutzung	enthalten oder pauschal berechnet
Materialkosten	Kostennachweis oder Pauschale
Übernachtung, Spesen, Fahrkosten	jeweils gültige Verwaltungsansätze

Freilandarbeiten	
Probenahme auf der tiefen Rheinsohle mit Taucher	Aufwand (h)
Taucher mit Gehilfe, Tagespauschale für 3 Proben (Mitte a, b, und c)	2 Fachkräfte, 6 h/d
Probenahme im bewatbaren, ufernahen Bereich	Aufwand (h)
Fachkräfte, Tagespauschale für 2 Proben (Ufer links und rechts)	2 Fachkräfte, 2,5 h/d
Vorauslesen der gesammelten 5 Proben	2 Fachkräfte, 8 h/d
Gesamter Zeitaufwand für 2 Kampagnen (Herbst/Frühjahr) bei 9 Probestellen im Hochrhein (zu multiplizieren mit der jeweiligen Zahl der BearbeiterInnen)	Taucherarbeiten: 108 h ufernahe Proben: 45 h Vorauslesen: 144 h

Laborarbeiten	
Auswertung der Proben von der tiefen Sohle	Aufwand (h)
Auslesen, bestimmen, tabellarische Erfassung der Proben; Bestimmungsniveau nach Liste IKSR bzw. ECOPROF → 46 Proben	8 h/Probe
Auswertung der Proben aus dem bewatbaren, ufernahen Bereich	Aufwand (h)
Auslesen, bestimmen, tabellarische Erfassung der Proben; Bestimmungsniveau nach Liste IKSR bzw. ECOPROF → 36 Proben	8 h/Probe
Gesamter Zeitaufwand für 2 Kampagnen (Herbst/Frühjahr) bei 9 Probestellen im Hochrhein (jeweils 1 BearbeiterIn)	Proben tiefe Sohle: 346 h Proben ufernah: 288 h

Position	Aufwand (h)
Abschlussbericht	
Wissenschaftliche Auswertungen, druckfertiger Bericht → 40 Tage à 8 h	320 h