

22
—
08

> Koordinierte biologische Untersuchungen im Hochrhein 2006/07

Makroinvertebraten



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

22
08

> **Koordinierte biologische Untersuchungen im Hochrhein 2006/07**

Makroinvertebraten

Avec résumé en français – With summary in English

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autoren

Uta Mürle, Johannes Ortlepp und Peter Rey, HYDRA

Begleitung BAFU

Sabine Zeller und Werner Gögge, Abt. Wasser

Zitiervorschlag

Mürle U., Ortlepp J., Rey P. 2008: Koordinierte biologische Untersuchungen im Hochrhein 2006/2007. Makroinvertebraten. Umwelt-Wissen Nr. 0822. Bundesamt für Umwelt, Bern. 104 S.

Gestaltung

Peter Rey, HYDRA

Titelfoto

Peter Rey, HYDRA

Bezug

BAFU

Verlagsauslieferung

CH-3003 Bern

Fax +41 (0) 31 324 02 16

docu@bafu.admin.ch

www.umwelt-schweiz.ch/uw-0822-d

Bestellnummer/Preis:

UW-0822-D / CHF 20.– (inkl. MWSt)

Download PDF

www.umwelt-schweiz.ch/uw-0822-d

Code: UW-0822-D

© BAFU 2008

> Inhalt

Abstracts	5		
Vorwort	7		
Zusammenfassung	8		
Résumé	10		
Summary	12		
Einleitung	14		
<hr/>			
1 Die Hochrheinuntersuchungen 2006/2007	16		
1.1 Biozönotische Flusszonierung	16		
1.1.1 Unterschiede in Fließcharakter und Morphologie	17		
1.1.2 Die Hochrheinabschnitte	18		
1.2 Die Teillebensräume der Hochrheinsohle	20		
1.3 Die Untersuchungskampagnen	21		
1.3.1 Die Untersuchungsstellen	21		
1.3.2 Methoden, Dokumentation und Untersuchungszeiträume	22		
1.3.3 Abflussverhältnisse	24		
1.3.4 Chemische Wasserqualität und Temperaturgang	25		
<hr/>			
2 Die Benthosbesiedlung des Hochrheins	28		
2.1 Aktuelle Benthosbesiedlung an den Untersuchungsstellen	28		
2.1.1 Besiedlungsdichten, Biomassen und Anteile taxonomischer Grossgruppen	28		
2.1.2 Artenverteilung und Artenvielfalt	35		
2.1.3 Funktionelle Gruppen	39		
2.1.4 Neozoen und andere gebietsfremde Arten	42		
2.1.5 Zoologische Besonderheiten im Hochrhein	49		
2.2 Langjährige Besiedlungsvergleiche	51		
2.2.1 Verbreitung der Charakterarten 1990 bis 2007	51		
2.2.2 Veränderungen der Taxazahlen und Dominanzen	67		
<hr/>			
3 Schlussfolgerungen, Ausblick	71		
3.1 Die Hochrheinsohle - 20 Jahre nach dem Brand in Schweizerhalle	71		
3.2 Beurteilung der Untersuchungsergebnisse 2006/2007	72		
3.2.1 Rahmenbedingungen und Qualität der Ergebnisse	72		
3.2.2 Besiedlungsdichten und Biomassen	73		
		3.2.3 Besiedlungsdichten und Biomassen als Indikatoren	74
		3.2.4 Der Hochrhein als Arten- und Lebensraumreservoir	75
		3.2.5 Der zunehmende Einfluss gebietsfremder Arten am Hochrhein	77
		3.3 Erkenntnisse und Konsequenzen für den Gewässerschutz	78
		3.3.1 Gewässerschutzziele	78
		3.3.2 Konsequenzen für die Gewässerschutzarbeit am Hochrhein	79
		3.3.3 Ausblick für das Langzeitmonitoring	80
<hr/>			
		Anhang	82
		A1 Charakterisierung der untersuchten Flussquerschnitte	82
		A2 Chemische Wasserqualität im Hochrhein 2006/2007	92
		A3 Makroinvertebratenbesiedlung des Hochrheins (Häufigkeitsklassen)	93
<hr/>			
		Verzeichnisse	101
		Abbildungen	101
		Tabellen	102
		Literatur	102

> Abstracts

This report presents the results of the monitoring of benthic macroinvertebrates in the Upper Rhine river bed, which was carried out in 2006 and 2007. For the fourth time in 17 years, nine representative profiles of the river were investigated, close to the banks and by divers. The long-term comparison shows shifts in the river bed populations, some of which are significant, in particular between indigenous and alien invasive species (neozoa). The report also discusses the significance for water protection and species conservation of the tracts of the Upper Rhine still in a near-natural state.

Der vorliegende Bericht enthält die Ergebnisse des Monitorings wirbelloser Kleinlebewesen (Makroinvertebraten) auf der Flusssohle des Hochrheins in den Jahren 2006/2007. Das vierte Mal in den letzten 17 Jahren wurden neun repräsentative Querschnitte des Flusses ufernah und mit Taucher untersucht. Die langjährigen Vergleiche zeigen die teilweise deutlichen Veränderungen der Sohlenbesiedlung. Unter besonderer Beachtung steht dabei das Verhältnis zwischen angestammten und invasiven gebietsfremden Arten (Neozoen). Die Bedeutung naturnah verbliebener Hochrheinabschnitte für den Gewässer- und Artenschutz wird diskutiert.

Le présent rapport contient les résultats du monitoring portant sur les petits organismes invertébrés (macroinvertébrés) vivant dans le lit du haut Rhin en 2006 et 2007. Pour la quatrième fois en 17 ans, 9 profils transversaux représentatifs ont été étudiés près des rives et en plongée. Les comparaisons établies au fil des ans montrent des modifications parfois importantes des populations du lit du fleuve, en particulier s'agissant de la proportion entre espèces indigènes et espèces allochtones envahissantes (néozoaires). L'ouvrage traite aussi de l'importance des zones restées proches de l'état naturel pour la protection des eaux et des espèces.

Il presente rapporto illustra i risultati del monitoraggio dei macroinvertebrati sul letto del Reno superiore nel biennio 2006/2007. Per la quarta volta negli ultimi 17 anni nove sezioni trasversali rappresentative del fiume sono state esaminate sia in prossimità della riva che da sommozzatori. I confronti pluriennali mostrano le modifiche in parte significative del popolamento del letto del fiume. Particolare attenzione è stata dedicata al rapporto tra specie indigene e specie invasive (neozoi). Il rapporto discute inoltre l'importanza che i tratti del Reno superiori ancora seminaturali hanno per la protezione dell'acqua e delle specie.

Keywords:

Upper Rhine
Macroinvertebrates
long-term monitoring
ICPR
alien species
water protection.

Stichwörter:

Hochrhein
Makroinvertebraten
Langzeitmonitoring
IKSR
Neozoen
Gewässerschutz

Mots-clés:

Haut Rhin
Macroinvertébrés
surveillance à long terme
CIPR
Néozoaires
protection des eaux

Parole chiave:

Reno superiore
Macroinvertebrati
monitoraggio a lungo termine
CIPR
Neozoi
protezione delle acque

> Vorwort

Die Wasserqualität des Rheins hat sich in den vergangenen zwanzig Jahren stark verbessert. Dies ist den im Rahmen des «Aktionsprogramm Rhein» der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins IKSr gemachten Anstrengungen zu verdanken. Das auf das «Aktionsprogramm Rhein» folgende Programm «Rhein 2020 – Programm zur nachhaltigen Entwicklung des Rheins» formuliert langfristige Ziele für die Verbesserung des Zustandes des Rheins und strebt neben einer weiteren Verbesserung der Wasserqualität auch eine Aufwertung des Rheinstroms als Lebensraum an. Um die Wirkung der getroffenen Massnahmen zu überprüfen werden am ganzen Rhein seit 1990 biologische Untersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen dokumentieren eindrücklich das Ausmass der Verbesserungen.

Auch im Hochrhein werden seit 1990 im Fünfjahresturnus biologische Untersuchungen durchgeführt. Diese vom Bund, den Rheinanliegerkantonen und dem Land Baden-Württemberg getragenen koordinierten Untersuchungen sollen es ermöglichen, Einflüsse der Veränderungen der Flussstruktur, der Wasserqualität und anderer Umgebungsfaktoren auf die Lebewelt im Hochrhein zu erkennen. Der vorliegende Bericht präsentiert die Ergebnisse der 2006/2007 zum vierten Mal durchgeführten Bestandesaufnahme der wirbellosen Kleinlebewesen der Flusssohle (Makroinvertebraten) an neun Flussquerschnitten des Hochrheins zwischen Bodensee und Basel. Mit diesen neusten Erhebungen besteht nun eine konsolidierte Datengrundlage, um Zustand und Entwicklung der wirbellosen Kleinlebewesen im Hochrhein über eineinhalb Jahrzehnte zu dokumentieren. Der Vergleich mit den Ergebnissen der Jahre 1990, 1995 und 2000 bestätigt die gute Wasserqualität des Hochrheins, die eine Folge der grossen Anstrengungen im Bereich der Siedlungsentwässerung und Abwasserreinigung in den vergangenen Jahrzehnten sind. Obwohl die Wasserqualität das Vorkommen von anspruchsvollen Organismen ermöglicht, dominieren über weite Rheinstrecken «Allerweltsarten» (Ubiquisten) mit geringen ökologischen Ansprüchen. Dies weist darauf hin, dass der Rhein nach wie vor erhebliche Defizite aufweist, vor allem hinsichtlich der Lebensraumstruktur. Zudem sind seit 1995 Veränderungen in der Sohlenbesiedlung feststellbar, die offensichtlich auf die Massenvermehrung von neu eingewanderten Wirbellosenarten (Neozoen) zurückzuführen sind. Davon sind vor allem die ausgebauten und staubeeinflussten Hochrheinabschnitte unterhalb der Aarenmündung betroffen, in denen Arten selten geworden oder ganz verschwunden sind. Die Ergebnisse der Untersuchungen lassen den Schluss zu, dass einer weiteren Ausbreitung und Massenvermehrung von Neozoen am ehesten durch die Förderung von naturnahen Gewässerstrukturen und Fliessbedingungen am Hochrhein Einhalt geboten werden kann.

Stephan Müller
Chef der Abteilung Wasser
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

> Zusammenfassung

Die Internationale Rheinschutzkommission (IKSR) koordiniert seit 1990 biologische Bestandsaufnahmen vom Bodensee bis zur Nordsee. In diesem Rahmen wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU, Bern) und der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) im Herbst 2006 und im Frühjahr 2007 bereits zum vierten Mal seit 1990 das Zoobenthos des Hochrheins untersucht. Die Aufnahmen fanden wieder an neun repräsentativen Flussquerschnitten zwischen Bodensee und Basel statt. Diese repräsentieren den Bodenseeabfluss (Abschnitt A), den naturnahen Hochrhein oberhalb der Aaremündung (Abschnitt B), den ausgebauten und staubeeinflussten Hochrhein unterhalb der Aaremündung (Abschnitt C) und den durch Grossschiffahrt geprägten Hochrhein von Rheinfelden bis Basel (Abschnitt D).

Im Längsverlauf des Hochrheins wurden wie in früheren Kampagnen deutliche Unterschiede in der Besiedlung der Flusssohle festgestellt: in naturnahen Hochrheinabschnitten oberhalb der Aaremündung (A und B) dominierten wie bisher die Wasserinsekten. In den Rheinabschnitten unterhalb der Aaremündung (C und D) waren es Mollusken (Muscheln und Schnecken) und Crustaceen (Krebstiere).

Zwischen 1995 und 2007 liessen sich deutliche Veränderungen der Sohlenbesiedlung feststellen. Die Flusskahnschnecke *Theodoxus fluviatilis*, 1995 noch eine der dominanten Arten im Raum Basel, verschwand bis 2002 völlig aus dem Hochrhein. Die Bestände der Zebrauschel *Dreissena polymorpha* gingen seit etwa 2000 unterhalb der Aaremündung stark zurück. Anderen, dort zuvor ebenfalls häufigen Taxa erging es ähnlich: Flohkrebarten der Gattung *Gammarus*, die Eintagsfliege *Heptagenia sulphurea* und die Köcherfliege *Cheumatopsyche lepida* sind sehr selten geworden; Strudelwürmer, die Schnecke *Bithynia tentaculata*, Eintagsfliegen der Gattung *Baetis* und Kriebelmücken (*Simulium* sp.) wurden gar nicht mehr nachgewiesen. Ursache für diese Veränderungen ist offensichtlich das aggressive Frass- und Raumnutzungsverhalten invasiver Neozoenarten, von denen sich seit 1995 mindestens sechs neu im unteren Hochrhein etabliert haben. Dagegen weist die Benthosbesiedlung in den naturnahen oberen Hochrheinabschnitten noch immer eine stabile Besiedlung mit angestammten Arten auf.

Massenvermehrungen von Neozoen sind auch für die erheblichen Unterschiede in den Biomassewerten verantwortlich. Während naturnahe Stellen nur geringe Benthos-Biomassen aufwiesen, lagen diese an Stellen unterhalb der Aaremündung mit hohen Dichten der Körbchenmuschel *Corbicula fluminea* und der grossen neozoischen Flohkrebse um ein Vielfaches höher. Im Bodenseeabfluss bei Hemishofen sorgten die noch immer dichten Bestände der Zebrauschel für eine hohe Biomasse. Die im Hochrhein vorhandene Nahrungsgrundlage wirkt sich also auf die Massenvermehrung von invasiven Neozoen nicht limitierend aus. Grenzen werden ihnen lediglich durch das jeweilige Lebensraumangebot und die selektiv wirkenden Umgebungsfaktoren (Temperatur, Strömung, Substrat) gesetzt.

Im naturnahen Hochrheinabschnitt B konnten sich invasive Neozoenarten noch nicht etablieren. Auch im Abschnitt A, wo der grosse Höckerflohkrebs *Dikerogammarus villosus* vom Bodensee her eingedrungen ist, war noch kein negativer Einfluss auf die angestammte Benthosbiozönose zu erkennen. Dies lässt den Schluss zu, dass die weitere massive Ausbreitung von Neozoen nur begrenzt werden kann, wenn die Lebensbedingungen und Konkurrenzvorteile der typischen Rheinarten durch eine naturnahe Morphologie, Strömungs- und Abflusscharakteristik des Hochrheins erhalten und gefördert werden.

> Résumé

La Commission Internationale pour la Protection du Rhin (CIPR) coordonne depuis 1990 la réalisation de l'état des lieux biologique du fleuve entre le lac de Constance et la Mer du Nord. C'est dans ce contexte que l'Office fédéral de l'environnement (OFEV, Berne) et le Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW: institut régional de l'environnement et de la protection de la nature du Bade-Württemberg) ont mandaté pour la quatrième fois depuis 1990 une étude sur le zoobenthos du haut Rhin en automne 2006 et au printemps 2007. Cet état des lieux a une nouvelle fois porté sur neuf profils transversaux représentatifs situés entre le lac de Constance et Bâle, à savoir l'effluent du lac de Constance (segment A), la partie du haut Rhin proche de l'état naturel en amont de l'embouchure de l'Aar (segment B), le haut Rhin aménagé et sous l'influence des barrages en aval de l'embouchure de l'Aar (segment C), et enfin le haut Rhin ouvert à la grande navigation de Rheinfelden à Bâle (segment D).

Comme dans les précédentes études, des changements notables des populations du lit du fleuve ont été constatés le long du cours du haut Rhin. Sur les segments proches de l'état naturel en amont de l'embouchure de l'Aar (A et B), les insectes aquatiques étaient toujours dominants. Sur les segments en aval de l'embouchure de l'Aar (C et D), les mollusques (bivalves et gastéropodes) et les crustacés étaient les plus nombreux.

Entre 1995 et 2007, une évolution sensible a eu lieu dans les populations du lit du fleuve. Le nérite *Theodoxus fluviatilis*, qui était en 1995 une des espèces dominantes dans l'espace bâlois, a complètement disparu du haut Rhin jusqu'en 2002. Les effectifs de la moule zébrée *Dreissena polymorpha* ont fortement diminué en aval de l'embouchure de l'Aar depuis 2000. Il en va de même pour d'autres taxons très répandus par le passé, tels les amphipodes du genre *gammarus*, l'éphéméroptère *Heptagenia sulphurea* ou le trichoptère *Cheumatopsyche lepida*, qui sont devenus très rares. Les turbellariés, le gastéropode *Bithynia tentaculata*, l'éphéméroptère du genre *Baetis* et les moucheron du genre *Simulium* n'ont plus été observés. La raison de cette évolution se trouve manifestement dans le comportement agressif de certains néozoaires envahissants (utilisation de l'espace, prédation). Depuis 1995, on dénombre au moins six espèces nouvellement établies dans la partie aval du haut Rhin. Le zoobenthos des parties naturelles des segments amont du haut Rhin, en revanche, ont encore une population stable d'espèces indigènes.

La prolifération des néozoaires est également à l'origine des changements considérables constatés dans les valeurs de biomasse. Alors que dans les zones naturelles, la biomasse benthique est assez réduite, elle est bien plus élevée à certains endroits de l'embouchure de l'Aar, avec de fortes densités de bivalves *Corbicula fluminea* et des grands amphipodes néozoaires. En aval du lac de Constance, à hauteur de Hemishofen, la population encore très dense de moules zébrées explique la valeur élevée de la biomasse. De plus, les nutriments présents dans les eaux du haut Rhin favorisent la

prolifération des néozoaires envahissants. Les seules limites qui leur sont posées sont l'habitat et les facteurs sélectifs de leur environnement (température, courant, substrat).

Dans le segment B du haut Rhin, proche de l'état naturel, les néozoaires envahissants n'ont pas encore pu s'établir. Quant au segment A, où le grand amphipode *Dikergammarus villosus* s'est implanté à partir du lac de Constance, aucun impact négatif sur la biocénose benthique indigène n'a encore été constaté. On peut dès lors penser que c'est seulement en maintenant et favorisant les conditions de vie et les avantages de la concurrence propres aux espèces du Rhin, au moyen d'une morphologie quasi naturelle des courants et des débits typiques du haut Rhin, qu'il sera possible de stopper la propagation massive de néozoaires envahissants.

> Summary

Since 1990 the International Commission for the Protection of the Rhine (ICPR) has been coordinating biological surveys from Lake Constance to the North Sea. In this context, the Swiss Federal Office for the Environment (FOEN, Bern) and the Baden-Württemberg State Agency for the Environment, Surveys, and Nature Conservation (LUBW) commissioned, for the fourth time since 1990, surveys of the zoobenthos of the High Rhine in the autumn of 2006 and spring of 2007. The surveys were again conducted along nine representative profiles of the river between Lake Constance and Basel. These profiles are representative of the Lake Constance Drainage Basin (Section A), the near-natural High Rhine upstream of the Aare confluence (Section B), the High Rhine downstream of the Aare confluence which has been subjected to engineering measures and damming (Section C) and the High Rhine between Rheinfelden and Basel which is characterized by its use as a major shipping route.

As in previous surveys, clear differences in the benthic colonization of the river bed were evident along the longitudinal course of the High Rhine: Water insects dominated, as before, in the near-natural sections of the High Rhine upstream of the Aare confluence (A and B). In the river sections downstream of the Aare confluence (C and D) molluscs (mussels and snails) and crustaceans dominated.

Between 1995 and 2007 clear changes have occurred in the benthic colonization of the river bed. The river nerite *Theodoxus fluviatilis*, which in 1995 was still one of the dominant species in the Basel area, had completely vanished from the High Rhine by 2002. Since about 2000 there has been a major decline in the zebra mussel *Dreissena polymorpha* populations downstream of the Aare confluence. Other, previously common taxa in this area suffered a similar fate: Amphipods of the *Gammarus* genus, the mayfly species *Heptagenia sulphurea* and the caddisfly species *Cheumatopsyche lepida* have become very rare; Turbellaria, the faucet snail *Bithynia tentaculata*, mayflies of the *Baetis* genus as well as black flies (*Simulium* sp.) were no longer recorded at all. The root cause of these changes is clearly the aggressive feeding behaviour and spatial strategies of invasive alien species (neozoa), at least six of which have newly established in the lower section of the High Rhine since 1995. In contrast, the near-natural upper sections of the High Rhine are still characterized by stable colonization with native benthic species.

Population explosions of neozoa are also responsible for the significant differences in biomass indices. While in near-natural sites benthos biomass was low, it was many times higher at sites downstream of the Aare confluence which had high densities of Asian clams *Corbicula fluminea* and of large alien amphipods. Where Lake Constance flows into the Rhine at Hemishofen, the still dense populations of zebra mussels generate high amounts of biomass. The feed base available in the High Rhine thus does not appear to pose a limitation to population explosions of invasive neozoa. The only limitations they encounter are due to the habitat available and environmental factors which have selective effects (temperature, current, substrate).

In the near-natural Section B of the High Rhine invasive alien species have not yet been able to establish. Similarly, in Section A which has been invaded by the amphipod *Dikerogammarus villosus* from the Lake Constance side, an adverse effect on the native benthic biocoenoses is not yet discernable. It can reasonably be concluded that the further massive spread of neozoa can only be limited if the living conditions and competitive advantages of the typical Rhine species are maintained and supported through near-natural morphology, flow and drainage characteristics of the High Rhine.

> Einleitung

Die Internationale Rheinschutzkommission (IKSR) koordiniert seit 1990 regelmässige biologische Bestandsaufnahmen am Rhein vom Bodensee bis zur Nordsee. An den Untersuchungen sind neben der Schweiz [1] die Rheinanliegerstaaten Deutschland, Frankreich und die Niederlande beteiligt. Das zunächst im Fünfjahresturnus durchgeführte Langzeitmonitoring im Rahmen des Programms «Rhein 2000» wird im Programm «Rhein 2020» weitergeführt. Im Zusammenhang mit der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie [2] wurde das Untersuchungsintervall verändert.

Internationales
Langzeitmonitoring

Die in der IKSR-Expertengruppe «Makroinvertebraten» der Rheinanliegerländer abgestimmte Durchführung der Untersuchungen, Ergebnissicherung und Interpretation der Daten erlaubt einen grossräumigen Vergleich der biologischen Charakteristik unterschiedlicher Rheinabschnitte. Sie hilft dabei, systemare Entwicklungen, wie grossräumige ökologische Veränderungen und die jeweiligen anthropogenen Einflüsse auf das Gewässersystem zu verfolgen.

Ökologischer Vergleich der
Rheinabschnitte

Am Hochrhein bestand bereits seit Programmbeginn 1990 eine enge bilaterale Zusammenarbeit zwischen der Schweiz und Baden-Württemberg. Seither wurde das Programm bereits vier Mal durchgeführt [34, 36, 37]. Auch in den Jahren 2006/2007 waren die Untersuchungen zur Benthosbesiedlung wieder in ein koordiniertes biologisches Gesamtprogramm eingebunden, das vom Bund, den Rheinanliegerkantonen und Baden-Württemberg gemeinsam getragen wurde und in dem noch weitere ökologische Aspekte des Hochrheins untersucht wurden (z.B. Fischbesiedlung, Phytobenthos, Makrophyten, chemische Wasserqualität).

Grenzübergreifende
Zusammenarbeit

Die biologischen Bestandsaufnahmen am Rhein sind als Basismonitoring für eine kontinuierliche und zielführende Gewässerschutzarbeit ausgelegt. Sie sollen:

Basis für Gewässerschutzarbeit
am Hochrhein

- > eine Beschreibung des aktuellen biologischen Zustands des Rheins ermöglichen;
- > die biologischen Kenntnisse über den Rhein ergänzen;
- > einen Beitrag zur kontinuierlichen Gewässerüberwachung leisten;
- > dazu beitragen, Gewässerdefizite zu erfassen

Das Monitoring dient darüber hinaus als Grundlage der Bestandserhebungen und Zustandskontrollen der EG-Wasserrahmenrichtlinie [2]. Ein wichtiges Ziel dieser Richtlinie ist es, grenzüberschreitende, methodisch vergleichbare biologische Bewertungen am Rhein vornehmen zu können.

Seitens der Schweiz können die koordinierten biologischen Untersuchungen am Rhein die im Modul-Stufen-Konzept aufgeführten Empfehlungen des Bundes für die «Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer» [32, 18] um den Aspekt der grossen Fliessgewässer ergänzen.

Die besondere Eignung von Makroinvertebraten als Indikatoren des Gewässerzustands basiert dabei auf der Tatsache, dass deren Populationen

- > auf Grund ihrer überschaubaren Entwicklungszeiten (wenige Wochen bis ca. 4 Jahre) sehr schnell auf Veränderungen im Gewässerzustand reagieren (Verschwinden, Erscheinen, Veränderung in der Besiedlungsdichte);
- > relativ ortsgebunden sind und daher den jeweils herrschenden Gewässerzustand und dessen Veränderungen räumlich eingrenzbar machen.

Makroinvertebraten reagieren dabei sowohl auf Veränderungen der Wasserqualität (als Saprobiezeiger), des Nährstoffangebots (als Trophiezeiger) und nicht zuletzt als Zeiger für hydromorphologische Verhältnisse des Gewässers.

Makroinvertebraten sind Zeiger für verschiedene Aspekte des Gewässerzustands

1 > Die Hochrheinuntersuchungen 2006/2007

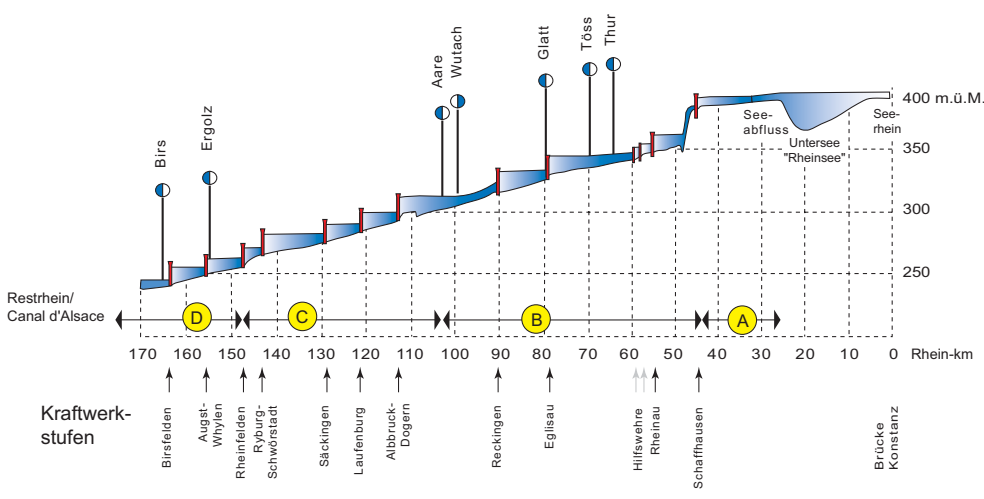
Die Untersuchung der Besiedlung des Flussgrundes mit wirbellosen Kleinlebewesen (Makroinvertebraten) ist wesentlicher Bestandteil eines biologischen Monitoringprogramms. Insektenlarven, Kleinkrebse, Muscheln, Würmer und Schwämme gehören neben den Fischen zu den wichtigsten Besiedlern des Hochrhains und sind gute Indikatoren für verschiedene Aspekte seines ökologischen und morphologischen Zustandes..

1.1 Biozönotische Flusszonierung

Der rund 150 km lange Hochrhein ist mit seinen 140-230 m Breite, mit einem durchschnittlichen Abfluss von 1 050 m³/s (Basel) und einem Einzugsgebiet (ohne Aare) von 18 000 km² neben der Aare das grösste Fließgewässer der Schweiz. Vor allem auf Grund seiner Grösse und seiner geringen Höhenlage nimmt der Hochrhein gegenüber den übrigen grossen Fließgewässern der Schweiz eine Sonderstellung ein. Da sich sein Fließcharakter im Längsverlauf mehrfach ändert, kann der Hochrhein nicht auf seine gesamte Länge einem einzigen Gewässertyp zugeordnet werden. Zunächst als grosser Seeabfluss den Bodensee verlassend, zeigt er in seinem weiteren Verlauf sowohl hyporithrale (einem Mittellandfluss entsprechende) als auch epipotamale (einem Tieflandfluss entsprechende) Charakteristika. In seiner Entwicklungsgeschichte durchschnitt er unterschiedliche Sedimentschichten der Muschelkalk- und Jurazeit und kristallines Gestein des Schwarzwalds. Bis auf die Mündungsbereiche einiger Zuflüsse sind die Flussufer überwiegend steil, weshalb der Hochrhein niemals so ausgeprägte Begleitauen besass, wie sie den Oberrhein noch vor 160 Jahren prägten.

Hochrhein und Aare entwässern zusammen zwei Drittel der Schweiz

Abb. 1.1 > Staustufen und Zuflüsse in den vier Hochrheinabschnitten.



In den letzten 150 Jahren hat der Mensch durch seine Nutzungsansprüche den Hochrhein entscheidend geprägt: der gefällereiche Fluss wurde zwischen Schaffhausen und Basel durch elf Flusskraftwerke mit dazugehörigen Staubereichen in seinem Abflusscharakter entscheidend verändert. Unterhalb Rheinfeldens wurde er darüber hinaus für die Grossschifffahrt ausgebaut und reguliert (Abb. 1.1).

Kraftwerkstufen prägen das Bild des Hochrheins

1.1.1 Unterschiede in Fließcharakter und Morphologie

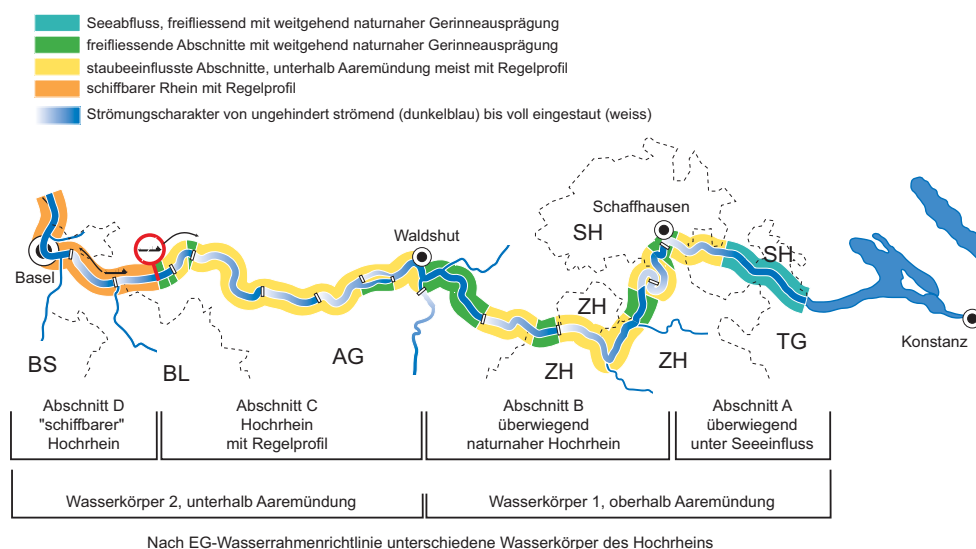
In seinem Verlauf zeigt der Hochrhein deutliche Unterschiede in der Sohlenstruktur, im Strömungscharakter und im Natürlichkeitsgrad seines Längs- und Querprofils. Die anthropogene Beeinflussung der Struktur des Hochrheins manifestiert sich flussabwärts mehr und mehr, bis der Fluss im Raum Basel den Charakter eines Schifffahrtskanals aufweist. Unter den bei den Koordinierten Biologischen Untersuchungen berücksichtigten Kriterien (gewässerökologische Gesichtspunkte, Fließcharakter und Nutzung) lässt sich der Hochrhein in vier Abschnitte (A-D) einteilen. Gemäss der Wasserkörperzuordnung der EG-Wasserrahmenrichtlinie werden dagegen nur zwei Abschnitte unterschieden (Hochrhein oberhalb und unterhalb Aaremündung) (Abb. 1.2).

Der Hochrhein besitzt vier ökologisch unterscheidbare Abschnitte

Neben der Aaremündung (Übergang naturnahes Profil - Regelprofil) und dem Beginn des «schiffbaren» Rheins (mit Schleusenstrecke) unterhalb von Rheinfeldens bilden die elf Flusskraftwerke deutliche Zäsuren im Lauf des Hochrheins. Ihre Stauwurzeln reichen - je nach Stauziel und Wasserstand - meist bis an die nächste Staustufe.

Stauketten prägen das Bild der unteren Hochrheinabschnitte

Abb. 1.2 > Fließcharakter der vier Hochrheinabschnitte



Freifliessende Strecken findet man zwar entlang des gesamten Hochrheins, von der Aaremündung abwärts bleiben sie jedoch meist auf wenige hundert Meter lange Abschnitte unterhalb der jeweiligen Flusskraftwerke beschränkt. Naturufer säumen den Hochrhein stellenweise auch in Abschnitten unterhalb der Aaremündung und in Stau-

Rheinabwärts gibt es immer weniger freifliessende Strecken

bereichen. Zusammenhängende freifliessende Strecken, die auch weitgehend naturnahe Ufermorphologie aufweisen, trifft man allerdings nur noch oberhalb der Aaremündung.

1.1.2 Die Hochrheinabschnitte

Hochrheinabschnitt A ist ein typischer Seeabfluss und reicht vom Bodensee-Untersee (Schwelle bei Eschenz, ca. Rhein-km 23) bis zum Wehr des Kraftwerks Schaffhausen (Rhein-km 44,8). In diesem Abschnitt dominiert der Einfluss des Bodensees (Wasserführung, Temperaturregime und Plankton). Da grössere Zuflüsse fehlen, wird die Wasserführung vollständig vom Wasserstand des Bodensees bestimmt. Geschiebeeintrag und –weiterleitung finden so gut wie nicht statt, was zu einer stabilen, teilweise biogen kolmatierten Sohle geführt hat (Anhang 1 Tafel 1). Ausserhalb grösserer Ortschaften zeigt der Fluss einen noch natürlichen bis naturnahen Charakter. Dies trifft sowohl auf die Linienführung, die Ökomorphologie von Ufer und Stromsohle als auch auf den Fliesscharakter zu. Im Bereich des Kraftwerks Schaffhausen manifestiert sich der erste deutliche anthropogene Einfluss. Darüber hinaus führt der durch die Personenschiffahrt hervorgerufene Wellenschlag stellenweise zu auffälligen Ufererosionen. Diesen wird lokal mit harten Uferverbauungen (Ufermauern, Blockwurf), aber auch mit künstlichen Kiesschüttungen entgegengewirkt.

Abschnitt A
Seeabfluss bis Rheinflall

Abb. 1.3 > Hochrhein-Abschnitt A – naturnaher Seeabfluss



Abschnitt B reicht vom Kraftwerk Schaffhausen bis zum Zusammenfluss von Rhein und Aare (Rhein-km 44,8 bis km 102,5). Der Abschnitt zeigt noch lange Strecken mit naturnahem Fliesscharakter, gekennzeichnet durch starke Breitenvariabilität, vielfältige Strömungsmuster und lockeres Steinsubstrat. Neben der natürlichen Unterbrechung durch den Rheinflall wird das Fliesskontinuum von den Staustufen bei Rheinau, Eglisau und Reckingen mit bis zu 10 km langen Stauräumen unterbrochen. Das von Thur, Töss und Wutach eingebrachte Geschiebe sedimentiert im Rhein im Bereich der Flussmündungen und später in den Stauwurzeln der jeweils unterhalb liegenden Hochrheinkraftwerke. Der für die Flussdynamik bedeutende Geschiebehaushalt ist deshalb auch innerhalb naturnah verbliebener Hochrheinabschnitte stark gestört, ein Sachverhalt, der im Rahmen aktueller Forschungsprogramme untersucht wird [z.B. 41, 30]. Auf den letzten Kilometern vor der Aare-Mündung zeigt sich der Hochrhein noch in seiner ursprünglichen Form. Stromschnellen (z.B. Laufen vor Koblenz, Abb. 1.4) wechseln mit tiefen Becken und naturnahen Gleiten.

Abschnitt B
Rheinflall bis Aaremündung

Abb. 1.4 > Hochrhein-Abschnitt B – Stromschnellen (Koblenzer Lauffen, Rhein-km 102)

Abschnitt C reicht vom Zusammenfluss des Hochrheins mit der Aare bis knapp unterhalb der Rheinbrücke Rheinfelden (Rhein-km 102,5 bis km 151). Mit dem Zufluss der Aare ändert sich der Flusscharakter des Rheins stark. Ursachen dafür sind die hohen Wassermengen aus der Aare (im Durchschnitt $550 \text{ m}^3/\text{s}$ gegenüber $450 \text{ m}^3/\text{s}$ im Rhein), die grössere Eintiefung des Flussbettes und das hier schon deutliche Regelprofil. Stautufen und massive, stellenweise lückenlose Verbauungen des Uferbereiches und Ausbau von Werkkanälen prägen den Lauf des Flusses. Unterhalb einiger Wehranlagen (z.B. Rhyburg-Schwörstadt; Rheinfelden) finden sich stellenweise noch kurze, freifliessende und turbulente Flussabschnitte.

Abschnitt C
Aaremündung bis Rheinfelden

Abb. 1.5 > Hochrhein-Abschnitt C – unterhalb der Aaremündung

In Abschnitt C ist der Hochrhein durch die Rückstaubereiche der Wasserkraftwerke geprägt. Der Fluss verlor dadurch seinen ehemals dynamischen, abwechslungsreichen Fliesscharakter.



Abschnitt D reicht von der Rheinbrücke Rheinfelden (Abb. 1.6a) bis oberhalb der Einmündung der Wiese bei Basel (Rhein-km 151 bis km 168). Ab Rheinfelden ist der Hochrhein für Passagierschiffe und kleinere Frachtschiffe, ab Kaiseraugst auch für die grossen Rhein-Lastkähne befahrbar (Abb. 1.6). Von hier an existiert eine zusammenhängende Schifffahrtsstrasse bis zur Nordsee und – über den Main-Donau-Kanal – bis ins Schwarze Meer. Der Hochrhein wird hier durch ein Regelprofil mit geringer Vertikalstruktur und geringer Substratdiversität charakterisiert. Das Sohlensubstrat ist starken Umlagerungen unterworfen. Allein im Stadtbereich von Basel, einem wieder freifliessenden Abschnitt, zeigt sich eine mässig ausgeprägte Vertikalstruktur infolge der Ausbildung von Prall- und Gleithang (Anhang A1 Tafel 9).

Abschnitt D
Uneingeschränkt schiffbare
Strecke unterhalb Rheinfelden

Abb. 1.6 > Hochrhein-Abschnitt D – der schiffbare Hochrhein

An der alten Rheinbrücke von Rheinfelden beginnt der schiffbare Abschnitt des Rheins (a). Im Raum Schweizerhalle und Birsfelden ist das Ufer von Industrieanlagen gesäumt (b). Grosse Frachtschiffe gelangen bis zum Stau Augst-Whylen (c). Kleinere Frachtschiffe und die Passagierschiffe können den Hochrhein bis zum Hafen Rheinfelden befahren.



1.2

Die Teillebensräume der Hochrheinsohle

Teillebensräume oder Choriotope sind durch unterschiedliche Substrat- und Strömungsstrukturen voneinander abgrenzbare Flächen der Flusssohle. Je nach Betrachtungsebene können Teillebensräume mehrere tausend Quadratmeter grosse monotone Schotter-, Kies- und Sandflächen sein, aber auch nur wenige Quadratmeter grosse biogenen Substrate wie Wasserpflanzen, Detritus und Totholz. Die starke anthropogene Überprägung der Gewässerstruktur wie auch des Abflusscharakters des Hochrheins hat wesentlichen Einfluss auf die Häufigkeit, Verteilung und Ausprägung der Teillebensräume des Flusses.

Für die biologische Charakterisierung des Hochrheins sind Aspekte wie Substratvielfalt, Kolmatierung, Substratbedeckung sowie submerse Vegetation und Aufwuchs von zentraler Bedeutung. Diese Punkte wurden bereits in den Berichten zu den Untersuchungskampagnen 1990 bis 2000 [34, 36, 37] ausführlich behandelt und werden deshalb hier nur ergänzend berücksichtigt.

Auf Grund von historischen Berichten stellen wir uns den Hochrhein noch Ende des 19. Jahrhunderts als Fluss mit deutlich hyporhithralem Charakter vor, wo neben relativ wenigen Ubiquisten (weitverbreitete Arten mit unspezifischen Lebensraumansprüchen) bereits einige potamale Arten, aber vor allem strömungsliebende Charakterarten gesiedelt haben [24, 28]. Diese sind in besonderem Masse auf abwechslungsreiche Flussstrukturen und vielfältige Teillebensräume (Ufer-Gerinne-Verzahnung, Substrat- und Strömungs mosaik) angewiesen, wie sie heute nur noch in Hochrheinabschnitten anzu-

Der hydromorphologische Zustand bestimmt Art und Vielfalt der Teillebensräume

Der Hochrhein besass ursprünglich hyporhithralen Charakter

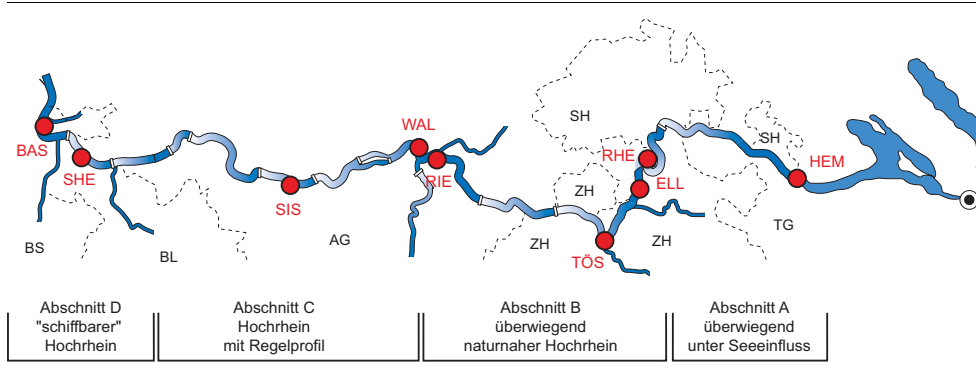
treffen sind, an denen einigermaßen natürliche Abflussverhältnisse und nur gering beeinflusste Ufer- und Gerinnestrukturen zusammen treffen.

1.3 Die Untersuchungskampagnen

1.3.1 Die Untersuchungsstellen

Die neun Probenahmequerschnitte des Untersuchungsprogramms wurden bereits im Rahmen der ersten Untersuchungs-Kampagne 1990 so gewählt, dass sie für den jeweiligen flussmorphologischen und biozönotischen Charakter grösserer zusammenhängender Hochrheinabschnitte typisch sind (Abb. 1.7). In Anhang A1 werden alle Querschnitte, ihre Lage und ihre morphologischen und ökologischen Besonderheiten auf 9 Tafeln vorgestellt.

Abb. 1.7 > Lage der neun Untersuchungs-Querschnitte im Hochrhein



Der Hochrhein zwischen Bodensee und Aare mündung wird durch fünf Flussquerschnitte repräsentiert:

- > **Hemishofen** (km 27,7; Code HEM), Abschnitt A. Naturnaher, freifliessender Bereich. Seeabfluss des Bodensees.
- > **Rheinau** (km 55,5 Code RHE), Abschnitt B. Restwasserabschnitt und Vollstau innerhalb eines noch naturnahen Rheinabschnitts.
- > **Ellikon** (km 62; Code ELL), Abschnitt B. Naturnaher, freifliessenden Abschnitt oberhalb der Thur mündung.
- > **Tössegg** (km 70,5; Code TÖS), Abschnitt B. Tiefer, naturnaher Bereich innerhalb eines noch gut durchströmten Staubereiches.
- > **Rietheim** (km 98,2; Code RIE), Abschnitt B. Naturnaher, freifliessender rhithraler Abschnitt des Hochrheins oberhalb der Aare mündung.

Seit 17 Jahren werden dieselben neun Flussquerschnitte untersucht

Der Hochrhein zwischen Aaremündung und Basel wird durch vier Flussquerschnitte repräsentiert:

- > **Waldshut** (km 102,4; Code WAL), Abschnitt C. Erster Hochrheinabschnitt unterhalb der Aaremündung. Gut durchströmter Abschnitt innerhalb einer Stauwurzel.
- > **Sisseln** (km 126,5; Code SIS), Abschnitt C. Im Staubereich liegender, tiefer Abschnitt mit monotonem Tiefenprofil.
- > **Pratteln-Schweizerhalle** (km 158,4; Code SHE), Abschnitt D. Im Staubereich liegender, tiefer Abschnitt mit monotonem Tiefenprofil; Grossschiffahrt.
- > **Basel** (km 98,2; Code BAS), Abschnitt D. Freifliessender Abschnitt im Stadtbereich; Grossschiffahrt.

1.3.2 Methoden, Dokumentation und Untersuchungszeiträume

Die Untersuchungen der Flussquerschnitte erfolgten im Spätherbst (31.10. bis 8.11.2006) und im Frühjahr (16.4. bis 23.4.2007). Über lange Zeit herrschende Niederwasserstände (Kap. 1.3.3) ermöglichten zu beiden Terminen eine Probenahme während einer Phase stabiler, ungestörter Siedlungsverhältnisse für die Benthosbiozönose. Auch die ufernahen Probestellen waren bereits über eine lange Zeit ständig wasserbenetzt.

Untersuchungszeiträume und Rahmenbedingungen

Aufgrund der Erfahrungen der letzten Kampagnen und eines speziellen Neozoenmonitorings am Hochrhein 2001-2004 [38] wurde das Untersuchungsprogramm gegenüber dem Jahr 2000 leicht modifiziert. Der Einsatz eines Weidlings für die Probenahme mit dem Taucher war bei den herrschenden Abflussverhältnissen nicht erforderlich. Statt mit dem Boots Kran wurde der schwere Sampler [vgl. Vorstellung der Methode in 34, 36, 37] mittels einer Tarierveste gehoben und am Leitseil (Sicherungsleine) entlang zur Probestelle und wieder zurück an Land geführt (Abb. 1.8). Die befüllten Probenetze (Proben) wurden von dem am Seil gesicherten Taucher jeweils an Land gebracht. Für die «Uferproben» wurden auf beiden Rheinseiten watend ständig wasserbenetzte ufernahe Bereiche mittels flächenbezogenem Kicksampling mit dem Surber Sampler oder langstieligem Netzkescher besammelt.

Probenahme

Die neun untersuchten Hochrhein-Querschnitte (Anhang A1) waren dieselben wie in den vorhergehenden Kampagnen [37]. Pro Querschnitt wurden fünf Proben genommen – drei von Arealen der tieferen Sohle sowie jeweils eine Uferprobe am linken und rechten Ufer. Die Auswahl und Anzahl der jeweils zu einer Probe vereinigten Teilproben richteten sich nach den dominanten Substratkategorien und der Ausprägung unterschiedlicher Teillebensräume (Choriotope). In jedem Fall wurden mindestens drei Teilproben pro Probe genommen.

Proben und Teilproben

Der für die Taucherproben eingesetzte Sampler erfasste eine Substratfläche von rund 0,07 m² pro Teilprobe. Bei den ufernahen Beprobungen wurde ein Sampler mit einer Grundfläche von 0,1 m² pro Teilprobe eingesetzt. Bei beiden Samplern betrug die Maschenweite der Netze 250 µm. Das Probenmaterial wurde jeweils mittels eines Siebsatzes in verschiedene Fraktionen aufgetrennt und so weit wie möglich von Steinen, Holz, Algen etc. befreit und Organismen, die später im fixierten Material nur

Probefläche und Maschenweite

schwer bestimmbar sind, abgelesen und separat erfasst. Der vor Ort nicht weiter bearbeitbare Teil der Probe wurde in 70-prozentigem Alkohol fixiert und im Labor ausgelesen und bestimmt.

Für jede Probenahmestelle wurde eine Liste der gefundenen Taxa erstellt. Das taxonomische Niveau orientierte sich wieder an der im Rahmen der Expertengruppe «Makroinvertebraten» der IKSR vereinbarten Taxa-Liste. Die Proben wurden jeweils auf Besiedlungsdichten pro 1 m² Untersuchungsfläche umgerechnet. Neben der Angabe der Besiedlungszahlen pro m² erfolgte - für eine vereinfachende Darstellung - eine Zuordnung der absoluten Zahlen zu einer 7-stufigen Häufigkeitsskala nach DIN 38410 T1 (Anhang A3). Die Gesamtbiomassen (Kap. 2.1.1) wurden anhand von Angaben aus der Fachliteratur berechnet. Für die Berechnung der Biomassen von Arten und Entwicklungsstadien, für die keine entsprechenden Literaturangaben gefunden wurden, wurden Arten mit vergleichbaren Körperdimensionen herangezogen. Wie in den vorhergehenden Kampagnen wurde ein Vergleich der neun Probenahmequerschnitte anhand der Listen der gefundenen Taxa und der ermittelten Besiedlungsdichten durchgeführt. Zur weiteren Charakterisierung der Probestellen wurden die jeweiligen Anteile verschiedener funktioneller Gruppen an der Gesamtbesiedlung betrachtet. Die Entwicklung von Vorkommen und Besiedlungsdichte ausgewählter Arten zwischen 1990 und 2007 wurde dokumentiert (Abb. 2.21 bis 2.32).

Auswertung

Abb. 1.8 > Methoden der Freilandarbeit bei den Untersuchungen der Hochrhein-Querschnitte



Wie in den vergangenen Kampagnen wurde das jeweilige Probenareal auf der Hochrheinsohle fotografisch festgehalten. Auf jedem Hochrheinquerschnitt wurden zusätzlich in einem separaten Tauchgang lokale Besonderheiten auf der Rheinsohle dokumentiert. Ein grosser Teil der vorgefundenen Makroinvertebratenarten wurde lebend unter dem Binokular fotografiert.

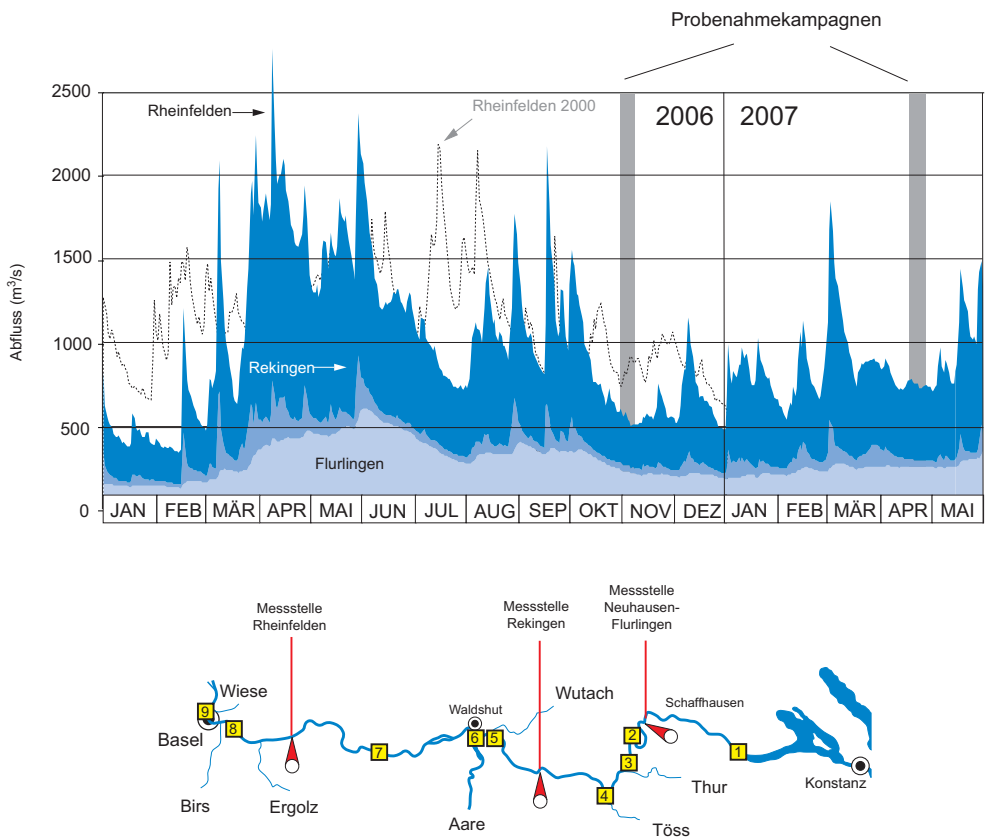
Dokumentation

1.3.3 **Abflussverhältnisse**

Zwischen Bodensee und Thurmündung wird der Hochrhein-Abfluss durch den Bodensee gepuffert und liegt für einen Grossteil des Jahres unter 500 m³/s. Auch die Thur als erster grösserer Hochrhineinzugsfluss führt dem Rhein normalerweise weniger als 50 m³/s zu. In seltenen Fällen kann ihr Abfluss jedoch über 1000 m³/s erreichen. Durch den Zufluss der Aare kann sich der Hochrheinabfluss unter Umständen verdreifachen. Bereits die mittlere Wasserführung der Aare (550 m³/s) übertrifft diejenige des Rheins oberhalb des Zusammenflusses (450 m³/s). Die weiteren Zuflüsse bis Basel machen nur einen geringen Anteil an der Wasserführung des Rheins aus. Nur die Wutach und die Birs erreichen Hochwasserspitzen um oder knapp über 300 m³/s.

Abb. 1.9 > Abflüsse im Hochrhein bei Rheinfelden 2006/2007

Oben: Abflusskurven (Tagesmittel) vom 1.1.2006 bis 31.5.2007 bei Flurlingen, Rekingen und Rheinfelden (zum Vergleich Abfluss 1995 bei Rheinfelden); Abflüsse während der Untersuchungen (graue Balken). Unten: Lage der hydrologischen Messstationen



Während der beiden Untersuchungskampagnen im Herbst 2006 und im Frühjahr 2007 herrschten im Hochrhein niedrige und über jeweils mehrere Wochen stabile Abflussverhältnisse. Während die Herbstabflüsse – gemessen am Pegel Rheinfelden – auch in anderen Jahren immer wieder unter 600 m³/s lagen, zeigten vor allem die

Abflussverlauf 2006/2007

Frühjahrsabflüsse 2007 mit unter 750 m³/s ungewöhnlich niedrige Werte. Sie lagen damit um 75 % unter denen des gleichen Zeitraums ein Jahr zuvor (Abb. 1.9). Für die biologischen Probenahmen war dieser Sachverhalt von besonderer Bedeutung. In allen vier Rheinabschnitten war der Wasserstand bereits seit geraumer Zeit stabil, so dass auch die watend beprobten ufernahen Flächen seit längerer Zeit benetzt waren und besiedelt werden konnten.

1.3.4 Chemische Wasserqualität und Temperaturgang

Die chemische Belastung des Hochrheins ist von seiner Nutzung durch den Menschen geprägt. Bis in den Raum Waldshut hinein stellen Kläranlagenabwässer aus dem Einzugsgebiet die vorrangige Belastungsquelle dar. Auch über die Zuflüsse Biber (km 30), Thur (km 64,5), Töss (km 70,6) und vor allem die Glatt (km 78,5) erreichen den Hochrhein Restbelastungen aus der kommunalen Abwasserreinigung und aus Industrieabwässern der Bereiche Schaffhausen, Zürich, Frauenfeld und Winterthur. Hinzu kommen diffuse Einträge aus der Landwirtschaft. Eine gewisse zusätzliche Belastung des Rheinwassers durch die Aare ist dagegen beim DOC nachweisbar (Anhang A2).

Belastungshintergrund

Die Daten zur chemischen Wasserqualität des Hochrheins wurden von den kantonalen Gewässerschutzfachstellen zur Verfügung gestellt und sind im Anhang A2 aufgeführt. Die Entnahmeorte für die chemischen Wasserproben sind an zwei Stellen identisch mit denen der untersuchten Flussquerschnitte, den restlichen Stellen wurden die Werte der nächstgelegenen chemischen Probenahmestellen zugeordnet.

Chemische Wasserqualität des
Hochrheins 2006/2007

Bei den chemischen Wasseranalysen entlang des Hochrheins werden Standard- und Summenparameter berücksichtigt (Anhang A2), die seit den Sanierungserfolgen der Wassereinleitungen in den 1980er-Jahren allerdings nur noch eine begrenzte Bedeutung für die Besiedlungsverhältnisse auf der Hochrheinsohle besitzen, die heute eher von den morphologischen und hydrologischen Verhältnissen bestimmt werden.

Kontinuierliche Messreihen von Parametern, die für die Besiedlung relevant wären, wie z.B. die Sauerstoffverhältnisse im Tagesgang, liegen nur von der Messstelle Weil am Rhein vor. Während der letzten zehn Jahre lagen die Messwerte hier im Bereich zwischen 6,5 mg/l (Sommer 2003) und 14,7 mg/l (April 2006). Ausgesprochene und anhaltende Sauerstoffdefizite konnten demnach – zumindest für diesen Hochrheinabschnitt – nicht festgestellt werden.

Die organischen Belastungsparameter Stickstoff- und Phosphor-Komponenten, BSB5 und DOC zeigen im Verlauf der vergangenen 17 Jahre keine Auffälligkeiten. Der Hochrhein kann auf Grundlage der vorliegenden Messdaten im Jahr 2006 und im ersten Quartal 2007 als gering belastet beurteilt werden. Der Befund unterscheidet sich dabei nicht von den Ergebnissen der Jahre zwischen 1990 und 2000 [8, 34, 36].

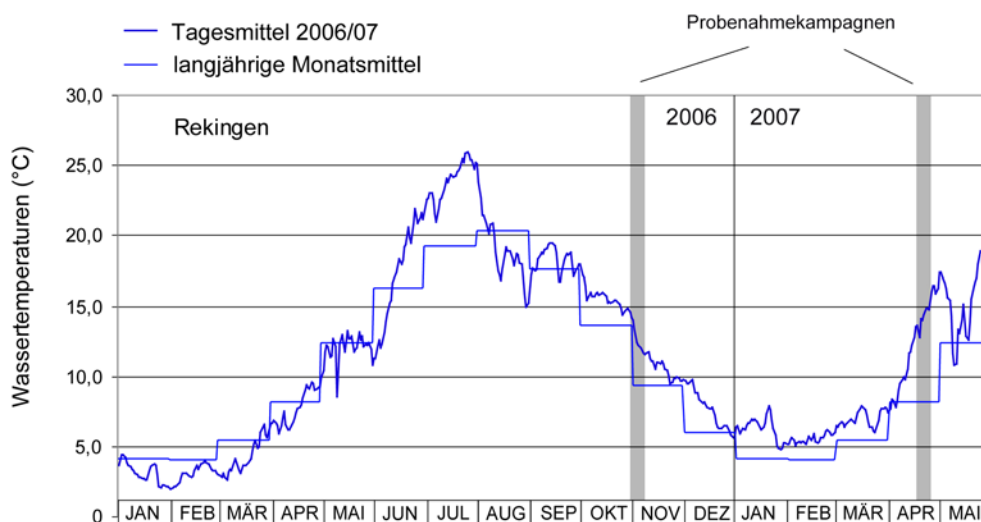
Der Hochrhein weist zwischen Bodensee und Basel in der Regel keine grossen Temperaturunterschiede auf. Wie die Abflüsse, so waren während der Probenahmekampagnen 2006/2007 auch die Wassertemperaturen durch das niederschlagsarme und teilweise

Temperaturregime

ungewöhnlich warme Wetter geprägt (Abb. 1.10). Zu Beginn der Kampagne im November 2006 wurde im Rhein bei Basel eine für die Jahreszeit hohe Wassertemperatur von 16,5 °C gemessen. Anschließend fielen die Lufttemperaturen mehrere Nächte unter den Gefrierpunkt. Dies hatte zur Folge, dass im Verlauf der 9 Untersuchungstage die Wassertemperaturen um rund 5 °C abnahmen, was ohne Einfluss von Regen- oder Schmelzwasser sehr ungewöhnlich ist. Während der Untersuchungen im April lagen die Wassertemperaturen rund 10 °C (!) über denen des Vorjahres. Die extremen Temperaturverhältnisse im Hitzesommer 2003 und das Äschensterben im Hochrheinabschnitt A [19] zeigten allerdings, dass die Temperatur ein limitierender Faktor für sensible Organismen des Hochrheins sein kann.

Abb. 1.10 > Verlauf der Wassertemperatur im Hochrhein 2006/2007

Messungen der Messstationen Rekingen (oberhalb Aaremündung) vom 1.1.2006 bis 31.5. 2007. Tagesmittlerwerte und langjährige Monatsmittel



Licht ist der wichtigste Faktor für die Assimilationsprozesse auf der Rheinsohle. Wie viel Licht sie erhält, hängt von der Wassertiefe und von der Trübung des Wasserkörpers ab. Verantwortlich für den Eintrag von Trübstoffen in den Hochrhein sind vor allem die Zuflüsse Thur und Aare. Die Trübstofffracht anderer Zuflüsse wie z.B. Töss und Wutach ist geringer, kann sich aber im Hochwasserfall ebenfalls auf den Hochrhein auswirken.

Lichtverhältnisse und Trübung

Im weitgehend staugeregelten Abschnitt unterhalb der Aaremündung trägt der Schwall und Sunkbetrieb einiger Kraftwerke zur Aufwirbelung von Feststoffen bei, im Grossraum Basel kommen die Turbulenzen durch die Schifffahrt und den Schleusenbetrieb hinzu, die immer wieder Sedimente von der Rheinsohle aufwirbeln.

Die Trübungsverhältnisse und damit indirekt auch die Lichtexposition der Hochrheinsohle wurden in den Berichten zu den letzten Untersuchungskampagnen bereits ausführlich charakterisiert [8, 34, 36]. Aus diesem Grund wurde im Rahmen der aktuellen Kampagne auf entsprechende Messungen (z.B. der Secchi-Tiefen) verzichtet. Fest-

gehalten werden sollte jedoch, dass auch bezüglich der Wassertransparenz und damit Lichtdurchflutung während der Untersuchungszeiträume ungewöhnliche Verhältnisse herrschten. Selbst im April 2007, einem Monat, der sich normalerweise durch hohe Niederschlagsmengen und Flächenabschwemmungen auszeichnet, kam es nirgendwo entlang des Hochrheins zu nennenswerten Trübstoffeinträgen.

2 > Die Benthosbesiedlung des Hochrheins

Der Hochrhein wurde seit dem Brand in Schweizerhalle 1986 umfassend benthosbiologisch untersucht. Seither ist seine Besiedlung mit wirbellosen Kleinlebewesen besser erforscht als die der meisten grossen Fliessgewässer der Schweiz. Im Rahmen des vorliegenden Langzeitmonitoringprogramms konnten darüber hinaus die Veränderungen dieser Besiedlung im Verlauf der letzten 17 Jahre dokumentiert werden.

2.1 Aktuelle Benthosbesiedlung an den Untersuchungsstellen

Das Vorkommen bestimmter Arten im Rhein ist an einen Komplex verschiedenster Gewässereigenschaften gebunden. Die vagilen (frei beweglichen) Arten wie Gammariiden (Flohkrebse), viele Insektenstadien (Steinfliegen- und Eintagsfliegenlarven, Wasserwanzen, Wasserkäfer und viele Köcherfliegenlarven) wie auch die im Sediment lebenden Würmer und Mückenlarven sind auf bestimmte Substrate angewiesen und abhängig von Nahrungsangebot und halbwegs stabilen und gut durchströmten Zufluchtsräumen. Viele halbsessile Arten (z.B. netzbauende Köcherfliegenlarven, Kriebelmückenlarven) kommen nur an bestimmten Substratstrukturen und unter jeweils günstigen Strömungsverhältnissen vor. Sessile Taxa sind weitgehend von stabilen Substraten abhängig, wie sie unter anderem durch künstlichen Uferverbau geschaffen werden. Einige sessile oder hemisessile Arten, wie z.B. die Zebramuscheln, Schwamm- und Moostierchenkolonien, der Schlickkrebs *Corophium curvispinum*, der Polychaet *Hypania invalida* und stellenweise nun auch die Körbchenmuscheln bilden Bestände von z.T. mehreren hunderttausend Einzelindividuen auf verlagerungsstabilem Substrat aus und können dabei selbst zu besiedelbarem Substrat werden. Solche lokalen Massenvorkommen wurden in den Proben der Flussquerschnitte nur dann berücksichtigt, wenn es sich dabei um ein biologisches Charakteristikum des gesamten Querschnitts handelte. Meist erfolgte eine konservative Abschätzung der tatsächlichen Besiedlungsdichten. Bei den Angaben zur Besiedlungsdichte der Körbchenmuscheln *Corbicula fluminea* auf dem Flussquerschnitt Sisseln wurde z.B. maximale Dichten von 4 800 Ind./m² berücksichtigt, wobei lokal Dichten von rund 28 000 Ind./m² geschätzt wurden.

Der biologische Charakter eines Flussquerschnittes wird durch seine Besiedlungsmöglichkeiten bestimmt

2.1.1 Besiedlungsdichten, Biomassen und Anteile taxonomischer Grossgruppen

Die produktionsbiologischen Parameter Besiedlungsdichte und Biomasse erreichten bei der aktuellen Untersuchungskampagne im Hochrhein im Vergleich zu unterhalb liegenden Rheinabschnitten (Oberrhein bis Deltarhein) sehr hohe Werte [vergl. 42].

Besiedlungsdichten

Die höchsten Besiedlungsdichten der Makroinvertebraten wurden, wie in den früheren Kampagnen, in den oberen Hochrheinabschnitten nachgewiesen. Aber auch der freifliessende Rhein-Abschnitt im Stadtbereich von Basel zeigte zu beiden Probenahmetermen eine hohe Besiedlungsdichte (Abb. 2.1). Deutliche Unterschiede bestehen zwischen dem Besiedlungsmuster eines naturnahen, freifliessenden Flussquerschnittes (Rietheim, Abschnitt B) und dem eines eingestauten, stark anthropogen überprägten Querschnittes im schiffbaren Hochrhein (Schweizerhalle, Abschnitt D) (Abb. 2.2, Abb. 2.3).

Die Benthosbesiedlung der naturnahen, freifliessenden Hochrheinabschnitte (z. B. Rietheim, Abb. 2.2) ist charakterisiert durch:

- > einen hohen Anteil an Wasserinsekten;
- > deutliche Unterschiede in der Besiedlungsdichte im Querprofil;
- > deutliche jahreszeitliche Unterschiede in der Besiedlungsdichte.

Bei vielen der Tiere, die in freifliessenden, naturnahen Hochrheinabschnitten leben, handelt es sich um spezialisierte, für die jeweilige Gewässerregion typische Arten, im Falle von Rietheim vor allem um rhithrale und epipotamale Wasserinsekten.

Ein völlig anderes Bild zeigt die Besiedlung des Hochrheins bei Schweizerhalle (Abb. 2.3). Die Stelle liegt im Rückstaubereich des Kraftwerks Birsfelden und ist an die grossen europäischen Wasserwege angebunden (Abschnitt D). Gegenüber dem turbulent fließenden, selten über 2 m tiefen Rhein bei Rietheim liegt die Hochrheinsohle vor Schweizerhalle fast auf gesamter Breite in 4 bis 6 m Tiefe.

Die Benthosbesiedlung der verbauten, staubeeinflussten schiffbaren Hochrheinabschnitte (z. B. Schweizerhalle, Abb. 2.3) ist charakterisiert durch:

- > einen geringen Anteil an Wasserinsekten;
- > geringe Unterschiede in der Besiedlungsdichte im Querprofil;
- > geringe jahreszeitliche Unterschiede in der Besiedlungsdichte.

Anteile taxonomischer Gruppen an der Gesamtbesiedlung

Auch hinsichtlich der relativen Anteile der Benthosgruppen an der Sohlenbesiedlung unterscheiden sich die verschiedenen Flussabschnitte deutlich (Abb. 2.4). Oberhalb der Aaremündung zählt der Grossteil der vorgefundenen Benthosorganismen zu den Wasserinsekten (durchschnittlich > 50%), unterhalb der Aaremündung nimmt der Anteil von Crustaceen und Mollusken an der Gesamtbesiedlung deutlich zu. Besonders auffällig sind die Unterschiede zwischen zwei freifliessenden Flussabschnitten im oberen und unteren Hochrhein. Bei Ellikon (Abschnitt B) besteht die Sohlenbesiedlung zu mehr als 90 % aus Wasserinsekten. Bei Basel (Abschnitt D) leben auf der ebenso dicht besiedelten Flusssohle nur noch etwas mehr als 20 % Wasserinsekten, dafür aber mehr als 55 % Krebstiere und weitere 10 % Mollusken (Abb. 2.4).

In freifliessenden, naturnahen Rheinabschnitten werden höhere Besiedlungsdichten beobachtet

Biologischer Charakter freifliessender, naturnaher Abschnitte

Biologischer Charakter staubeeinflusster, uneingeschränkt schiffbarer Abschnitte

Wasserinsekten dominieren die Benthosbiozöten oberhalb der Aaremündung

Abb. 2.1 > Besiedlungsdichte der Makroinvertebraten der untersuchten Flussquerschnitte 2006/2007

Jeweils geringste, höchste (schwarz) und mittlere Besiedlung (Balken) aus allen Proben der neun Flussquerschnitte. Angabe in Individuen pro m². (Im Bereich der Aare mündung weiter aufgeschlüsselt).

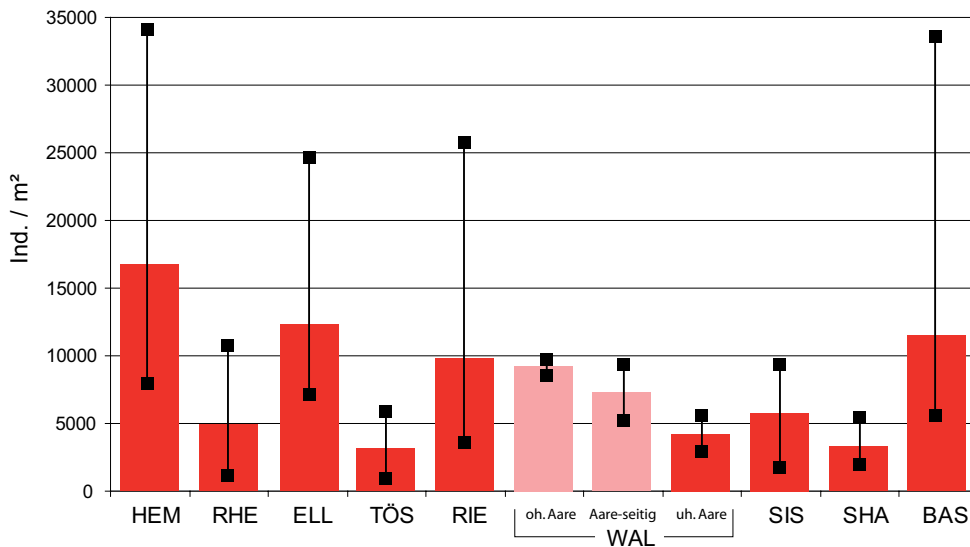


Abb. 2.2 > Besiedlungsdichten der Makroinvertebraten bei Rietheim 2006/2007

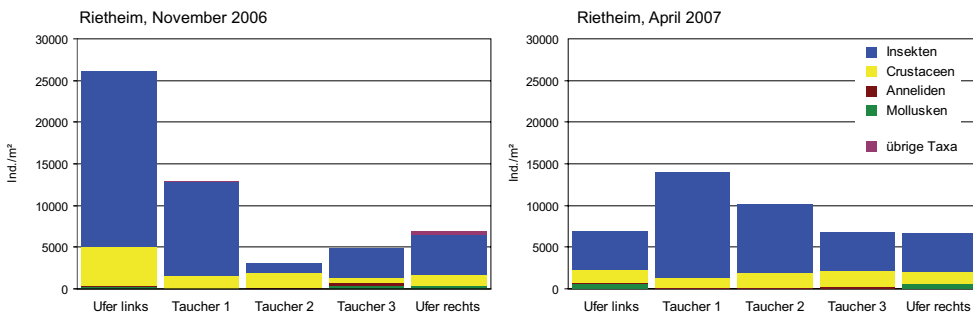


Abb. 2.3 > Besiedlungsdichten der Makroinvertebraten bei Schweizerhalle 2006/2007

Betrachtung der jeweils 5 Proben im Profil zu verschiedenen Jahreszeiten.

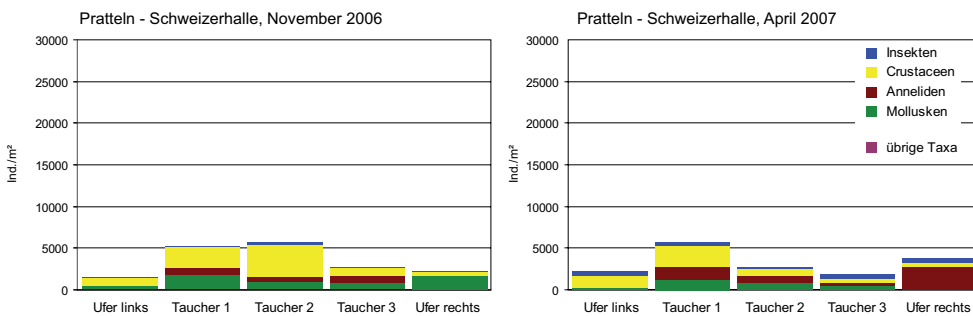
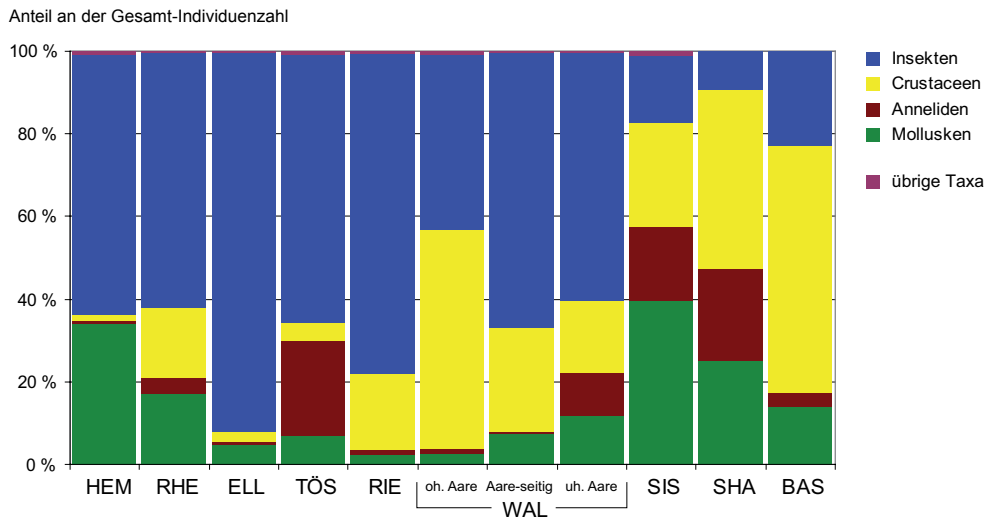


Abb. 2.4 > Zusammensetzung (taxonomische Grossgruppen) der Wirbellosenfauna der untersuchten Flussquerschnitte 2006/2007

Anteile taxonomischer Grossgruppen an der Individuenzahl für jeden Flussquerschnitt gemittelt über sämtliche Proben (im Bereich der Aaremündung weiter aufgeschlüsselt)



Biomassen

Für die Kampagne 2006/2007 wurden erstmals genauere Biomassen-Abschätzungen einzelner Grossgruppen oder Arten vorgenommen. Dieser Aspekt wurde neu berücksichtigt, da im Zusammenhang mit der Ausbreitung invasiver Neozoen starke produktionsbiologische Veränderungen der Benthosbiozöosen im Hochrhein erwartet wurden.

Besiedlungsdichten und Biomassen einzelner Stellen korrelieren nur bei gleicher Artenzusammensetzung. In der Regel steigt die Biomasse überproportional an mit dem Anteil an (schweren) Mollusken aber auch grosser Gammariden und Köcherfliegenarten.

Im Hochrheinabschnitt B, wo der Anteil von Wasserinsekten an der Gesamtbesiedlung besonders hoch ist, ist die durchschnittliche Biomasse/m² relativ gering. Um ein Mehrfaches höher liegt sie dagegen in den Abschnitten C und D, also an Stellen mit einem hohen Anteil an Mollusken und grossen Gammariden. Im naturnahen Abschnitt A bei Hemishofen ist zwar die Besiedlung durch Wasserinsekten sehr hoch (ähnlich Abschnitt B), daneben leben in diesem Seeabflussabschnitt aber dichte Bestände der «schweren» Zebrauscheln, so dass die Biomasse/m² an dieser Stelle eher den Abschnitten C und D entspricht (Abb. 2.5).

Besiedlungsdichten korrelieren auf der Hochrheinsohle nicht mit Biomassen

Biomassen nehmen unterhalb der Aaremündung deutlich zu

Tab. 2.1 > Trockengewicht ausgewählter Makroinvertebraten der Hochrheinsohle

Berechnungsgrundlage für Biomassenabschätzungen.

Angaben aus [26, 11, 15, 13] sowie eigene Messungen (Lebendgewicht).

Taxon	mittlere Körperlänge* [mm]	Trockengewicht ohne Schale [mg] Quelle	Lebendgewicht mit Schale [g]**
<i>Corbicula spp.</i>	20	31,42 BENKE et al. 1999	3,5 g bis 5,5 g
<i>Dreissena polymorpha</i>	10	6,40 BAUMGÄRTNER & ROTHaupt 2003	0,7 bis 0,8 g
<i>Dikerogammarus villosus</i>	10	4,79 BURGHERR & MEYER 1997	k.A.
<i>Gammarus fossarum</i>	9	3,55 BURGHERR & MEYER 1997	k.A.
<i>Gammarus roeselii</i>	9	2,17 BAUMGÄRTNER & ROTHaupt 2003	k.A.
<i>Baetis spp.</i>	6	0,64 MEYER 1989	k.A.
<i>Baetis fuscatu</i> s	5	0,34 MEYER 1989	0,5 bis 1,0 mg
<i>Hydropsyche spp.</i>	10	1,47 BURGHERR & MEYER 1997	k.A.
<i>Limnius spp. La</i>	7	1,11 BURGHERR & MEYER 1997	k.A.
<i>Chironomidae</i>	5,5	0,11 BURGHERR & MEYER 1997	k.A.

*mittlere Körperlänge in Proben, in denen das jeweilige Taxon häufig ist **eigene Messungen

Nebenbei ist *Corbicula fluminea*, die mit einer Schalenbreite von 2 cm bereits ein durchschnittliches Lebendgewicht mit Schale von mehr als 3,5 g erreicht (Werner, 2006, mündlich) mit grosser Wahrscheinlichkeit derjenige Organismus, der die bisher höchste biologische Produktion auf der Hochrheinsohle erreicht. Die innerhalb grösserer Flächen im Flussprofil Sisseln dokumentierte Muscheldichte von ca. 10 000 Tieren/m² (vgl. Anhang 1 Tafel 7) entspricht bei sehr vorsichtiger Schätzung einem Lebendgewicht von mehr als 35 kg/m². Nach Beobachtungen und Fotos des Tauchers werden auf begrenzten Flächen Muscheldichten von bis zu 28 000 Ind./m² und damit eine Lebendbiomasse mit Schalen von nahezu 100 kg/m² erreicht.

Die hohen Individuengewichte von *Dreissena polymorpha* oder *Corbicula fluminea* sind ein Grund dafür, dass an Untersuchungsstellen, wo diese Arten vorkommen, die Unterschiede zwischen den Biomassen der Einzelproben wesentlich grösser sein können als an Untersuchungsstellen ohne diese «Schwergewichte».

Die unterschiedlichen Biomasseverhältnisse im naturnahen Abschnitt B und dem verbauten Abschnitt D werden durch die beiden Stellen Rietheim (Abschnitt B) und Schweizerhalle (Abschnitt D) repräsentiert (Abb. 2.6, 2.7). Im Abschnitt B wird der Hauptanteil an der Gesamtbiomasse durch Insekten und Gammariden gestellt, in Abschnitt D hingegen durch Mollusken. In Rietheim zeigen die Proben - bis auf eine Stelle - einen annähernd gleich hohen Biomassebestand, in Schweizerhalle konzentriert sich die Biomasse auf die Flusssohle, während die Ufer nur geringe Biomassewerte aufweisen.

Maxima biologischer Produktion
im Hochrhein

Abb. 2.5 > Gesamt-Biomasse (Trockengewicht) der Makroinvertebraten der untersuchten Flussquerschnitte 2006/2007

Geringste, höchste (schwarz) und mittlere Gesamt-Biomassen (rote Balken) aller Proben der neun Flussquerschnitte (im Bereich der Aaremündung weiter aufgeschlüsselt). Die Gesamt-biomasse wurde aus Literaturwerten errechnet. Angaben in mg pro m².

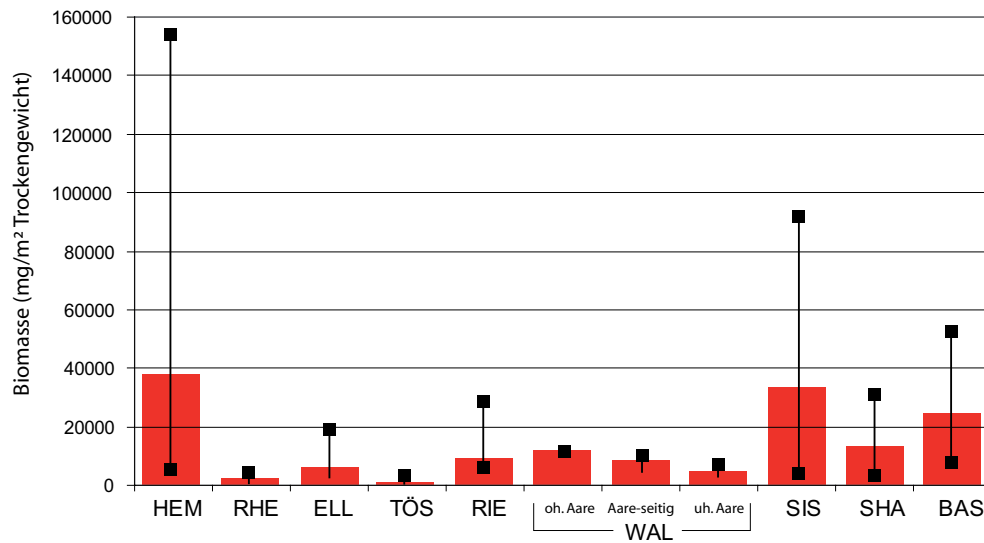


Abb. 2.6 > Biomasse (Trockengewicht) der Makroinvertebraten bei Rietheim 2006/2007, aufgeschlüsselt nach Grossgruppen

Biomassen aller 5 Proben des Flussquerschnittes bei Rietheim im November 2006 und April 2007

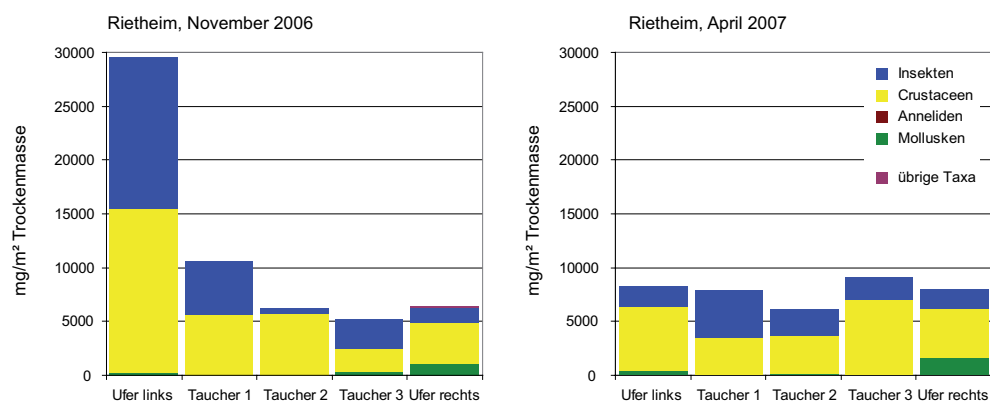


Abb. 2.7 > Biomasse (Trockengewicht) der Makroinvertebraten bei Pratteln/ Schweizerhalle 2006/2007, aufgeschlüsselt nach Grossgruppen

Biomassen aller 5 Proben des Flussquerschnittes bei Schweizerhalle im November 2006 und April 2007

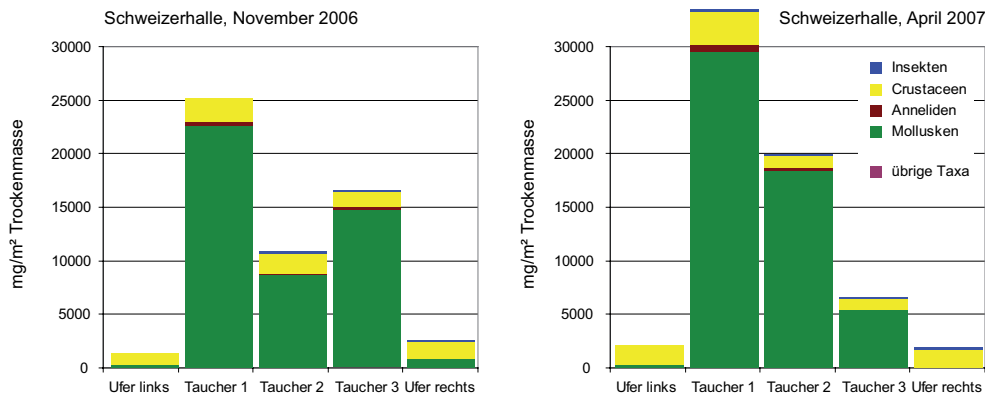


Abb. 2.8 > Anteile taxonomischer Grossgruppen an der Makroinvertebraten-Biomasse (Trockengewicht) der untersuchten Flussquerschnitte 2006/2007

Mittlere taxonomische Zusammensetzung jedes Flussquerschnittes über beide Untersuchungskampagnen (im Bereich der Aaremündung weiter aufgeschlüsselt).

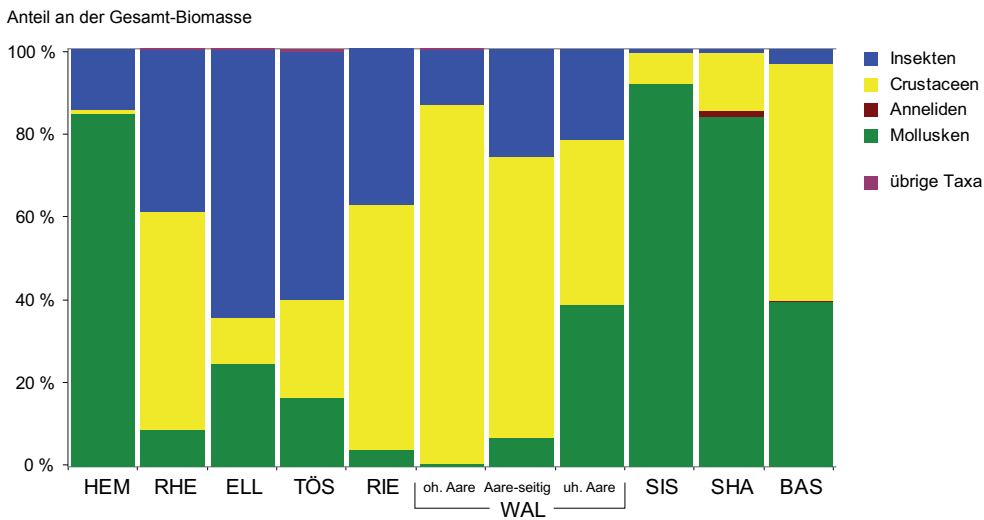


Abb. 2.8 zeigt die relativen Anteile der einzelnen Benthosgruppen an der Biomasse im Vergleich der neun Flussquerschnitte. Auffallend ist der hohe Anteil hololimnischer, also ständig im Wasser lebender Arten (vgl. Kap. 2.1.3) an der Gesamtbiomasse. Zu dieser Gruppe gehören neben den Mollusken auch die Anneliden (Würmer und Egel) und die Krebstiere (Crustaceen), bei letzteren vor allem die Flohkrebse. Die gegenüber dem Jahr 2000 [36] weitere Ausbreitung der Körbchenmuschel *Corbicula fluminea* rheinaufwärts führt nun auch in Sisseln zu einem hohen Anteil der Mollusken an der Gesamtbiomasse.

Wo viele Mollusken siedeln, ist die durchschnittliche Biomasse hoch

Die relativen Biomasseanteile der einzelnen Benthosgruppen sind unter fischbiologischen Gesichtspunkten von grosser Bedeutung. So werden die einzelnen Arten von Fischen unterschiedlich stark als Nährtiere genutzt [38], je nachdem, mit welchem Aufwand sie gefunden, erbeutet und gefressen werden können und zu welchen Zeiten sie verfügbar sind. Nur wenige Fischarten sind in der Lage, das meist umfangreiche Biomasseangebot an hartschaligen Schnecken und Muscheln zu nutzen. Flohkrebse sind dagegen für die meisten Fische als Nahrung geeignet und auch das ganze Jahr über verfügbar. Auch Wasserinsekten sind während ihres Larvenstadiums im Wasser und insbesondere während des Schlüpfens eine bevorzugte Fischnahrung.

Benthosbiomassen und
Fischnahrung

2.1.2 Artenverteilung und Artenvielfalt

Im Rahmen der Untersuchungskampagne des Jahres 2000 wurden die Untersuchungen an den neun Flussquerschnitten durch zahlreiche zusätzliche Beprobungen entlang der Rheinufer ergänzt [36]. Obwohl viele Organismengruppen (insbesondere die artenreiche Familie der Zuckmücken, Chironomiden und Oligochaeten) nicht bis auf Artniveau bestimmt wurden, konnten 232 Taxa nachgewiesen werden. Zum Vergleich: aus dem gesamten Rhein sind auf diesem taxonomischen Niveau derzeit nicht mehr als 300 Arten (inkl. der Brackwasserarten des Deltarheins) bekannt [42].

Der Hochrhein besitzt das grösste
Arteninventar des gesamten
Rheins

Artenreservoir Hochrhein

Bei der aktuellen Untersuchung wurden zwar keine ergänzenden Uferproben genommen, aber allein in den Proben der neun repräsentativen Flussquerschnitte fanden sich auch dieses Mal wieder 201 verschiedene Makroinvertebratentaxa. Der besondere Stellenwert des Hochrheins als Artenreservoir des gesamten Flusses wurde also erneut bestätigt. Dieses Reservoir ist aber entlang des Hochrheins unterschiedlich verteilt. Obwohl mit den Hochrheinzufüssen immer wieder neue Faunenelemente hinzu kommen, nehmen die Taxazahlen zwischen Bodensee und Basel tendenziell ab (Tab. 2.2), besonders, wenn man nur die Flussquerschnitte betrachtet und zerstreute Vorkommen einzelner Arten unberücksichtigt lässt.

Die Taxazahl nimmt im Verlauf
des Flusses tendenziell ab

Tab. 2.2 > Anzahl der Makroinvertebraten-Taxa des Hochrheins zwischen Bodensee und Basel

Rheinabschnitt	Programm 2000 (inkl. qual. Zusatzproben)	Programm 2000 (nur Flussquerschnitte)	Programm 2006/07 (nur Flussquerschnitte)
Hochrhein oberer Teil (Abschnitte A und B)	196 Taxa	170 Taxa	176 Taxa
Hochrhein unterer Teil (Abschnitte C und D)	171 Taxa	123 Taxa	140 Taxa
Hochrhein nur Abschnitt D (uneingeschränkt schiffbar)	130 Taxa	86 Taxa	84 Taxa
Ganzer Hochrhein	232 Taxa	180 Taxa	201 Taxa

Tabelle 2.2 zeigt, dass sich an keinem der untersuchten Flussquerschnitte die Taxazahl gegenüber dem letzten Untersuchungsprogramm im Jahr 2000 signifikant geändert hat. Die gegenüber 2000 höhere Gesamttaxazahl im unteren Hochrhein (Abschnitt C und D) wird durch vereinzelte Vorkommen (Zufallsfunde) einiger heimischer Arten, aber auch durch das Auftreten von weiteren sechs Neozoenarten (z.B. *Echinogammarus ischnus*, *E. trichiatus*, *Dendrocoelum romanodanubiale* etc.) verursacht.

Vergleicht man anstelle der Taxazahlen der Hochrheinabschnitte die Taxazahlen der einzelnen Flussquerschnitte, so sind die Unterschiede weniger deutlich (Abb. 2.9). Die Taxazahlen liegen zwischen 61 (Basel) und 100 (Tössegg).

An allen Stellen fällt der hohe Anteil (55-80%) der Wasserinsektenlarven an der Gesamtzahl der Taxa auf. Dieses Ergebnis hat möglicherweise drei Ursachen:

- > Der Hochrhein ist noch immer ein Fluss von ausgeprägt hyporhithralem Charakter, in dem die Larven von Wasserinsekten die artenreichste Gruppe der Makroinvertebraten stellen.
- > Auch wenn die Besiedlungsdichten der Insekten zwischen Bodensee und Basel z.T. deutlich abnehmen, sind die Populationen vieler Arten noch immer so stabil, dass ihr Nachweis auch in zufälligen Proben der Flussquerschnitte gelingt. Zwischen den Untersuchungskampagnen 1990 und 2007 ist keine Insektenart aus dem Hochrhein verschwunden.
- > Freifliessende, naturnahe Abschnitte des Hochrheins bleiben das wichtigste Reservoir angestammter Arten, zu denen alle Wasserinsekten zählen. Das Wiederbesiedlungspotenzial aus oberhalb liegenden Flussabschnitten und Zuflüssen scheint noch ausreichend gross zu sein, um typischen Hochrheinarten immer wieder eine Besiedlung auch an Stellen mit weniger geeignetem Lebensraumangebot zu ermöglichen (vgl. auch Kap. 3.1.3).

Ein Vergleich der Taxazahlen in den Einzelproben der Stellen Rietheim (Abb. 2.10) und Schweizerhalle (Abb. 2.11) lässt Unterschiede in der faunistischen Besiedlung zwischen und innerhalb der Transekte erkennen. Die Unterschiede im Arteninventar von ufernäher und tiefer Sohle sind im Rhein bei Schweizerhalle wesentlich grösser als im Rhein bei Rietheim. In Rietheim wurden 62 Taxa sowohl im Uferbereich als auch auf der Flusssohle gefunden, 4 Taxa nur auf der Sohle und 22 Taxa nur am Ufer. In Schweizerhalle wurden nur 27 gemeinsame Taxa (Ufer und Sohle) gefunden, gegenüber 24 auf die tiefe Sohle und 16 auf die Uferbereiche beschränkten Taxa. Diese unterschiedliche Verteilung der Arten spiegelt die völlig unterschiedlichen Siedlungsbedingungen am Ufer und der Sohle in Schweizerhalle wieder (Rheinschotter in Flussmitte, Blöcke mit dazwischenliegenden Feinsubstratflächen in Ufernähe) sowie die recht einheitlichen Bedingungen an Ufer und Sohle bei Rietheim. In Schweizerhalle enthalten die Einzelproben maximal 43% des Arteninventars des gesamten Querschnitts, in Rietheim sind es bis zu 70%.

Vergleich der Ergebnisse der Jahre 2000 und 2006/07 in drei biozönotisch stark unterschiedlichen Abschnitten

Das Arteninventar wird im gesamten Hochrhein noch von Wasserinsekten dominiert

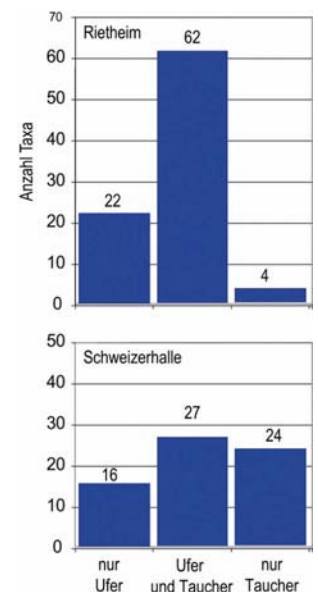


Abb. 2.9 > Taxazahlen der wichtigsten Makroinvertebratengruppen. Vergleich der untersuchten Flussquerschnitte 2006/2007

Anzahl der im jeweiligen Flussquerschnitt während der beiden Untersuchungskampagnen festgestellten Arten bzw. höheren Taxa (im Bereich der Aaremündung weiter aufgeschlüsselt).

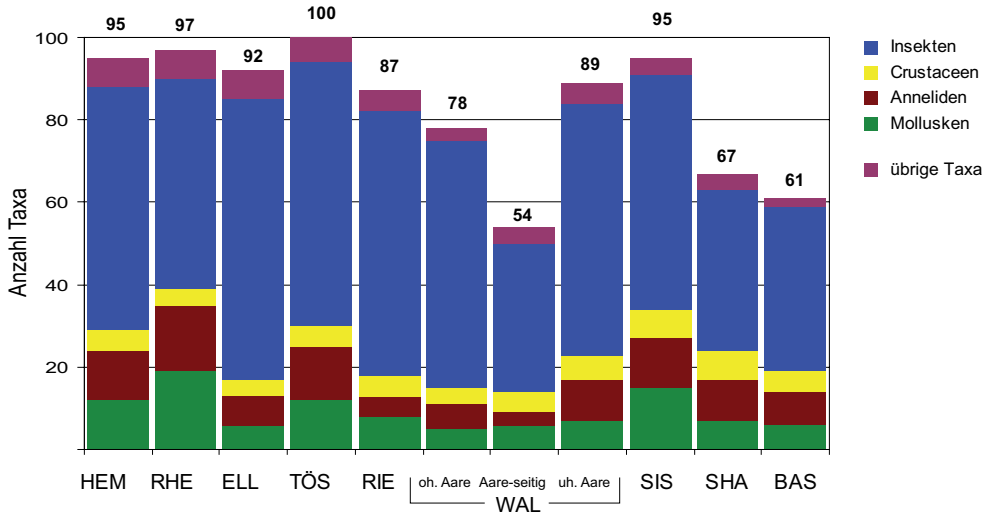


Abb. 2.10 > Taxazahlen der Makroinvertebraten bei Rietheim 2006/2007

Die Grafiken zeigen die jeweils fünf Proben eines Profils zu verschiedenen Jahreszeiten. gestrichelte Linie: Gesamt-Taxazahl im Flussquerschnitt

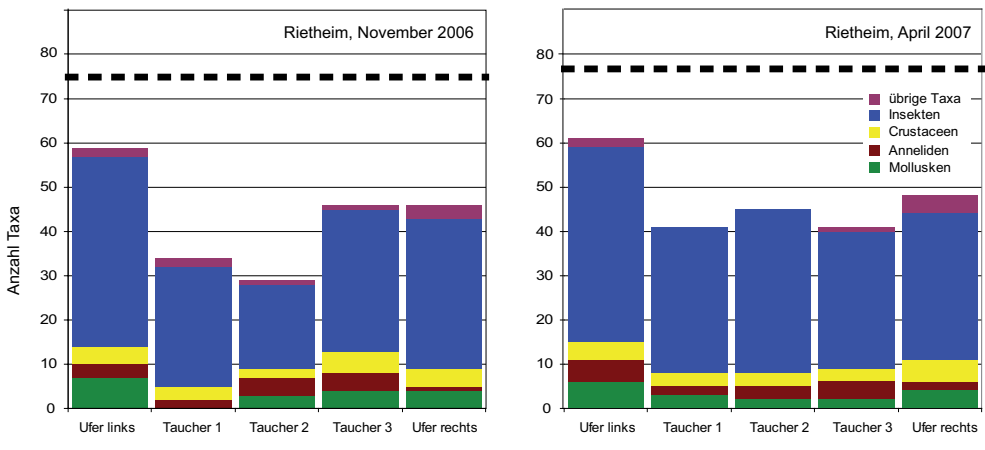
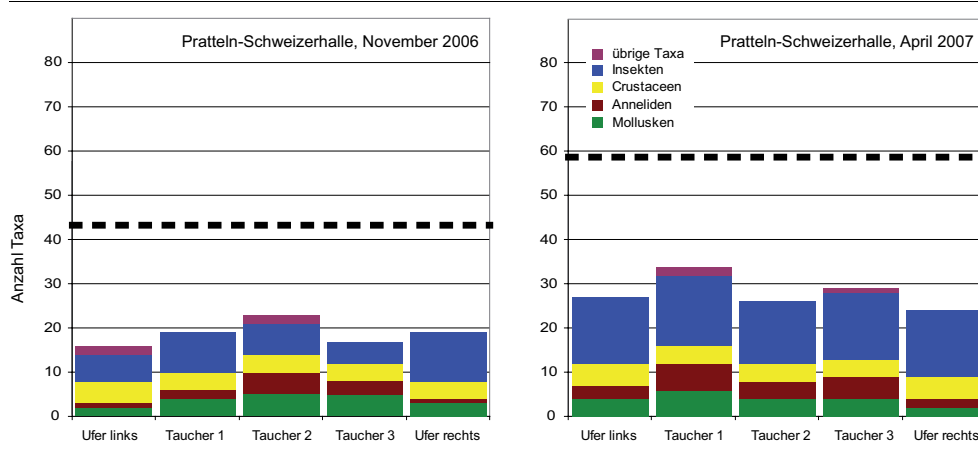


Abb. 2.11 > Taxazahlen der Makroinvertebraten bei Pratteln-Schweizerhalle 2006/2007


Artenzusammensetzung entlang des Hochrheins

Im **Abschnitt A**, der durch den Querschnitt Hemishofen repräsentiert wird, dominieren typische Seeabflussarten, die den Eintrag von organischem Material und Plankton aus dem Bodensee in besonderem Masse nutzen können. Hierzu gehören neben den in mehreren Schichten siedelnden Zebramuscheln (*Dreissena polymorpha*) vor allem netzbauende Köcherfliegenarten der Gattungen *Neureclipsis bimaculata* und *Hydropsyche* spp..

Innerhalb des über längere Strecken freifliessenden und naturnahen **Abschnitts B** sind vor allem hyporhithrale (Arten des ursprünglichen oberen Hochrheins) Arten wie *Gammarus fossarum*, *Limnius volckmari*, *Caenis pusilla*, *Baetis* spp. und bei den Köcherfliegen Leptoceriden und Goeriden häufig. Über Thur, Töss und Wutach kommen auch immer wieder metarhithrale Elemente in den Hochrhein, die ihr Verbreitungsmaximum eher in diesen Zuflüssen haben. Hierzu gehören z.B. einige Eintagsfliegen und Steinfliegenarten (*Ecdyonurus* sp., *Ameletus inopinatus*, *Perlodes* sp. usw.).

Im regulierten und staubeinflussten **Abschnitt C** sowie im uneingeschränkt schiffbaren **Abschnitt D** dominieren epipotamale Arten (Arten der Mittellandflüsse). Hierzu gehört die Grundwanze *Aphelocheirus aestivalis*, die Eintagsfliegen *Heptagenia sulphurea* und *Potamanthus luteus*, einige typische Köcherfliegenarten der Gattung *Hydropsyche* sowie *Psychomyia pusilla*, *Tinodes waeneri* und die bereits für den Abschnitt A vorgestellte *Neureclipsis bimaculata*. Im Zusammenhang mit der weiteren Ausbreitung gebietsfremder Arten (vgl. Kap. 2.1.4) sind diese Arten in den beiden unteren Hochrheinabschnitten zwar nicht verschwunden, ihr Anteil an der Gesamtbesiedlung und z.T. auch ihre Besiedlungsdichten sind jedoch deutlich zurückgegangen.

Die **Abschnitte C und D** zeigen noch weitere anthropogene Veränderungen der Artenzusammensetzung gegenüber den Verhältnissen, die vor rund 100 Jahren von LAUTERBORN [24], RIS [39] und FELBER [16] beschrieben wurden. Vor allem in den Staubeichen und am Kunstsubstrat (Ufermauern, Blockwurf) des regulierten und schiffbaren

Typische Seeabflussarten in Abschnitt A

Viele strömungsliebende Arten in Abschnitt B

Typische Arten grosser Flüsse in den Abschnitten C und D

«Allerweltsarten» sind in den Abschnitten C und D auf dem Vormarsch

Hochrheins dominieren heute Arten, wie sie in den meisten deutschen Bundeswasserstrassen häufig sind. Hierzu gehören insbesondere so genannte Ubiquisten wie einige häufige Chironomidenarten, Flohkrebse, Schnecken wie *Bithynia tentaculata*, *Potamopyrgus antipodarum* und *Radix* sp., einige Plattwürmer-, Würmer- und Egelarten sowie alle häufiger oder massenhaft auftretenden Neozoen.

Dass solche Ubiquisten jedoch keineswegs überall vorkommen können, zeigt ihre Seltenheit oder ihr Fehlen in einzelnen Proben der naturnahen, freifliessenden Rheinstrecken. So sind Ubiquisten besonders anfällig gegenüber hydraulischem Stress (starke Strömung und Geschiebeumlagerung). Spezialisierte Arten sind an solchen Stellen in einem deutlichen Konkurrenzvorteil.

Dominanz der Spezialisten
innerhalb naturnaher
Rheinstrecken

2.1.3 Funktionelle Gruppen

Eine Betrachtung nach funktionellen Gruppen nutzt die Lebensgemeinschaft der benthischen Wirbellosen des Hochrheins als Indikator für unterschiedliche biozönotische Charakteristika des Flusses.

Entwicklungstypen (Wasserabhängiger Lebenszyklus)

Zu den hololimnischen, d.h. ständig im Wasser lebenden Arten, zählen viele Krebstiere, Weichtiere (Molluska), Würmer und Egel (Annelida) und kleinere Gruppen wie Strudelwürmer (Turbellaria), Schwämme (Porifera), Moostierchen (Bryozoa), Nesseltiere (Cnidaria) und Wassermilben (Acari). Hololimnische Arten können neue Siedlungsbereiche nur über nicht unterbrochene Wasserwege aktiv erreichen oder sind für Ausbreitung und Wiederbesiedlung auf Transportmittel (Vektoren) wie Schiffe oder Wasservögel angewiesen. Als merolimnisch werden alle Arten bezeichnet, die in ihrer Lebensweise zwischen Wasser und Land wechseln (amphibisch) oder deren Lebenszyklus einen Wechsel zwischen Wasser, Land und Luft vorgibt (zahlreiche Insekten). Grösste Gruppe der merolimnischen Arten sind die Wasserinsekten, deren Larvalstadien im Gewässer leben, um nach dem Schlüpfen als Imagines (adulte Tiere) an Land bzw. in der Luft zu leben. Im Gegensatz zu hololimnischen Tieren brauchen diese Arten keinen Vektor für ihre Ausbreitung, sondern können neue Gewässer(abschnitte) aktiv über den Luftweg besiedeln. Für einen reibungslosen Ablauf ihres Lebenszyklus (Schlüpfen, Eiablage) sind viele dieser Arten auf Strukturen angewiesen, die ihnen beim Schlüpfen den Übergang zum Land ermöglichen bzw. von denen sie zur Eiablage ins Wasser gelangen können. Als Imagines sind sie oftmals auf artspezifisch unterschiedliche Ufervegetationsstrukturen angewiesen.

Lebensraumansprüche
hololimnischer und
merolimnischer Arten

Das Verhältnis zwischen hololimnischen und merolimnischen Arten einer Untersuchungsstelle liefert demzufolge Hinweise

- > über den generellen Flusscharakter (rithral, potamal, o.a.) und damit indirekt über die durchschnittliche Wassertiefe und Strömungscharakteristik;
- > über die Gerinne-Ufer-Verzahnung (Schlupfmöglichkeiten für Wasserinsekten);

Entwicklungstypen als Indikatoren für hydromorphologische Unterschiede

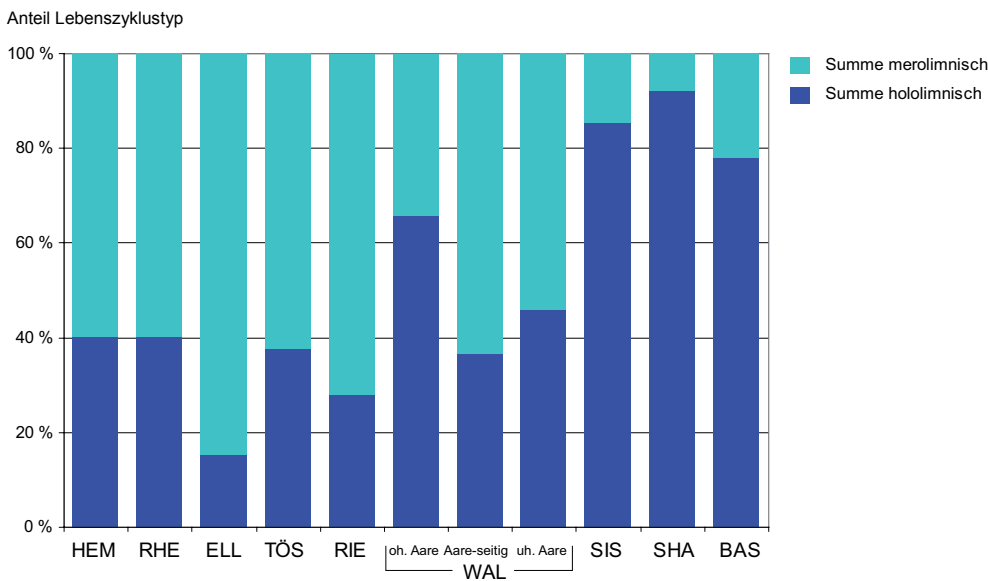
Die Hochrheinabschnitte A und B bieten über weite Fliesstrecken noch ideale Lebensraumbedingungen für Wasserinsekten. Ein oft flach ansteigendes Uferprofil, eine intensive Gerinne-Ufer-Verzahnung innerhalb naturnaher Ufer und die räumliche Nähe geeigneter Ufervegetation stellen geeignete Verhältnisse für zahlreiche merolimnische Arten dar (Abb 2.12).

Wo grössere Wasserführung und Regelprofil zusammenfallen - wie in den Abschnitten C und D des Hochrheins, konzentriert sich die Besiedlung vermehrt auf die tieferen Sohlbereiche und Bereiche mit umlagerungsstabilen Substraten. Letztere finden sich sowohl auf kolmatierten Sohlflächen als auch in den Blöcken und Mauern des meist strukturarmen Ufers. In beiden Fällen dominieren hololimnische Arten. Dasselbe gilt auch für die freifliessenden Abschnitte mit gering ausgeprägten Uferstrukturen wie bei Basel, die vorwiegend von gebietsfremden Gammariden besiedelt sind.

Hololimnische Arten dominieren die strukturell verarmten Rheinabschnitte

Abb. 2.12 > Makroinvertebratenbesiedlung der Hochrheinsohle 2006/2007: Typen des Lebenszyklus

merolimnisch = nur bestimmte Entwicklungsstadien (meist Larven) leben im Wasser (viele Wasserinsekten); hololimnisch = alle Entwicklungsstadien leben im Wasser (z.B. Mollusken, Anneliden, Crustaceen, Käfer). Die Anteile sind aus den Individuenzahlen ermittelt.



Der bestimmende Einfluss hololimnischer Arten – vor allem aus der Gruppe der Mollusken – hat sich gegenüber dem Jahr 2000 [36] rheinaufwärts nach Sisseln ausgebreitet, wo der derzeitige Verbreitungsschwerpunkt der Körbchenmuschel *Corbicula fluminea* liegt.

Einfluss hololimnischer Arten nimmt rheinaufwärts zu

Strömungstypen (Strömungspräferenzen)

Die Verteilung der Strömungspräferenzen der im Hochrhein nachgewiesenen Makroinvertebraten (Abb. 2.13) gibt Auskunft

> über den überwiegenden Strömungscharakter der untersuchten Stellen, damit

- > über die Beeinflussung durch Staubereiche und
- > über die Vollständigkeit der vorhandenen Lebensräume.

Der vom Menschen noch weitgehend unbeeinflusste Hochrhein wies ein weites Spektrum aquatischer Lebensräume auf, obwohl Flussauen hier niemals dieselbe Rolle spielten wie z.B. im Oberrhein. Ausgehend vom ursprünglichen hyporhithral-epipotamalen Charakter müsste sich die optimale Besiedlung eines Hochrheinquerschnitts heute noch an einem hohen Anteil rheophiler und rheophil-limnophiler Arten ablesen lassen. Daneben sollten aber auch regelmässig Organismen anderer Strömungspräferenzen nachweisbar sein. Diesen «Idealzustand» finden wir heute eingeschränkt nur noch an den Flussquerschnitten Ellikon und Rietheim, wobei hier in den Querschnittproben die nur lokal vorhandenen strömungsarmen Randbereiche unterrepräsentiert sind.

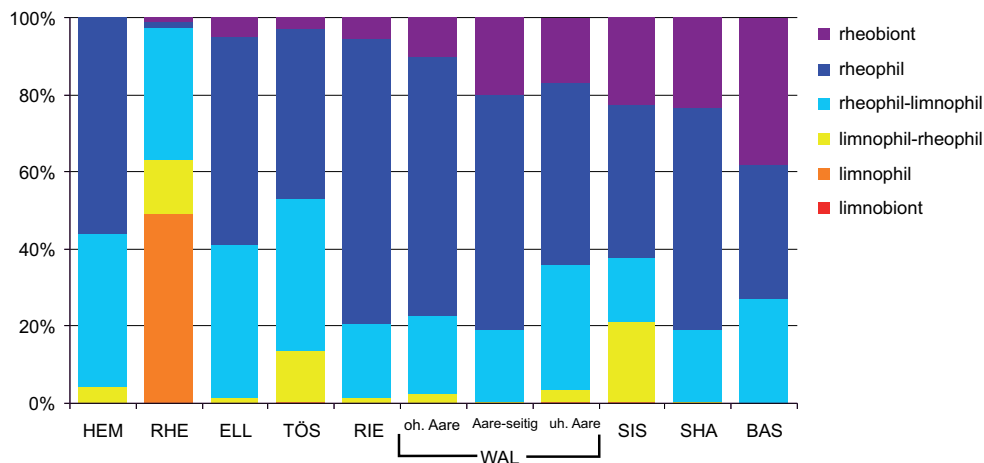
Ein hoher Anteil limnophiler Arten wie z.B. im Querschnitt bei Rheinau zeigt, dass sich der Staufluss deutlich in der Benthosbesiedlung manifestiert und dies obwohl auch die Staubereiche des Hochrheins bei Hochwasserabflüssen z.T. gut durchströmt sind.

Strömungstypen sind Indikatoren für natürlichen oder anthropogenen «hydraulischen Stress»

Abb. 2.13 > Makroinvertebratenbesiedlung der Hochrheinsohle 2006/2007: Strömungstypen

rheobiont = ausgeprägte Strömungspräferenz; rheophil = Strömungspräferenz; rheophil-limnophil = Strömung bevorzugt, aber auch in strömungsarmen Bereichen; limnophil-rheophil = strömungsarme Bereiche bevorzugt, aber auch in Strömung; limnophil = Präferenz für strömungsarme Bereiche; limnobiont = nur in strömungsarmen Bereichen.

Anteil Strömungstyp



Die Anteile sind durch gewichtete Präferenzen aller Individuen nach [27] ermittelt.

Ein hoher Anteil an rheobionten, auf starke Strömung angewiesene Arten, deutet auf starken hydraulischen Stress hin, wie er früher für die Stromschnellen des Hochrheins (z.B. bei Laufenburg und Koblenz) typisch war. Heute finden wir den höchsten Anteil rheobionter Arten im Stadtbereich von Basel. Grund dafür dürfte vor allem die regelmässige Sohlumlagerung durch die Schifffahrt und der Mangel an strömungsberuhigten Zonen bei höheren Abflüssen sein.

Ernährungstypen

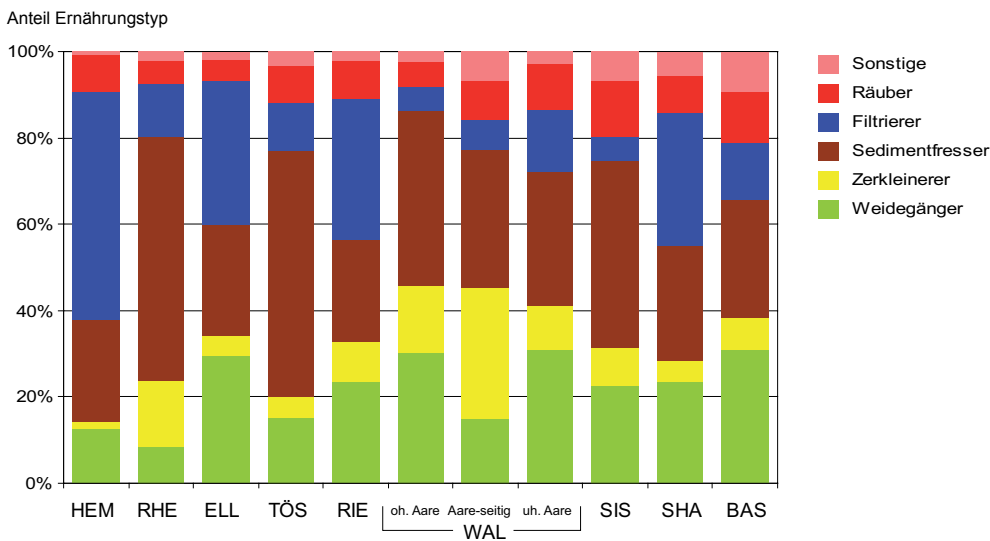
Die Betrachtung der Makroinvertebratenbesiedlung nach Ernährungstypen lässt Rückschlüsse auf die Nahrungsgrundlage der Benthosorganismen zu.

Der Anteil der einzelnen Ernährungstypen an der Besiedlung der Flussquerschnitte weist keine einheitliche Tendenz im Verlauf des Hochrheins auf, z.T. aber deutliche Unterschiede zwischen einzelnen Querschnitten (Abb. 2.14). So ist im Seeabfluss bei Hemishofen der Anteil von Filtrierern (netzbauende Köcherfliegen, Zebamuschel), die das aus dem See ausgetragene Plankton nutzen, ausserordentlich hoch. Die Charakteristik naturnaher Stellen des Abschnitts B, nämlich ein ausgewogenes Verhältnis aller vorkommenden Ernährungstypen wie bei Ellikon, Rietheim und Waldshut, unterschied sich nur wenig von der der Flussquerschnitte in den Abschnitten C und D. Dagegen zeigten die staubeeinflussten oder eingestauten Flussquerschnitte des Abschnitts B (Rheinau und Tössegg) einen erhöhten Anteil an Sedimentfressern gegenüber den benachbarten freifliessenden Abschnitten.

Ernährungstypen spiegeln das Nahrungsangebot wider

Abb. 2.14 > Makroinvertebratenbesiedlung der Hochrheinsohle 2006/2007: Ernährungstypen

Die Anteile sind durch gewichtete Präferenzen aller Individuen nach [27] ermittelt.



2.1.4 Neozoen und andere gebietsfremde Arten

Ein entscheidender Teil der biozönotischen Veränderungen, die seit den ersten Koordinierten Untersuchungen im Hochrhein 1990 festgestellt wurden, sind der Ausbreitung und Massenvermehrung invasiver Neozoen zuzuschreiben. Im Anschluss an die letzten Hochrheinuntersuchungen, in denen die Neozoenausbreitung einer der Themenschwerpunkte war, fand zwischen 2001 und 2004 im Auftrag des BAFU ein spezielles Neozoenmonitoring am Hochrhein statt. Zwischen 2001 und 2004 wurde die fortschreitende Ausbreitung von fünf als besonders invasiv eingestuften Arten (*Corbicula* spp.,

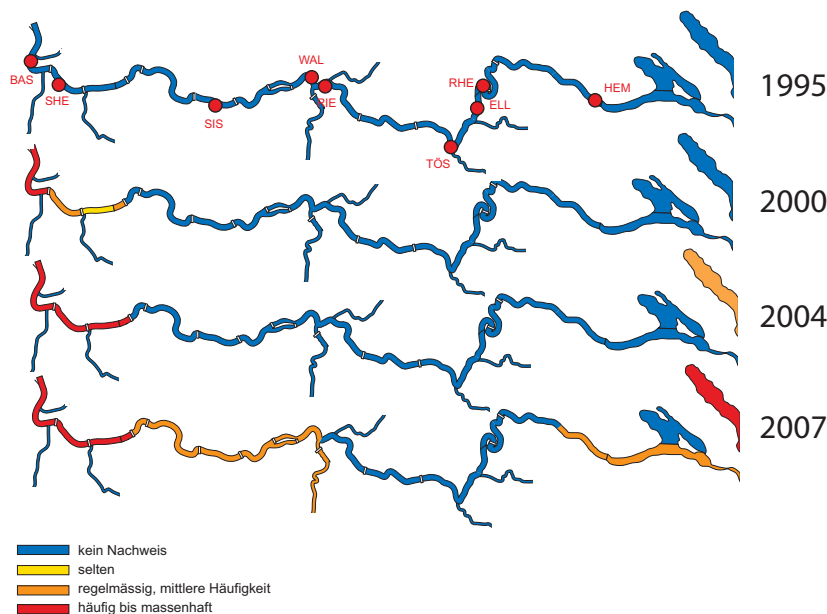
Die Ausbreitung von Neozoen ist für den Hochrhein die grösste biologische Veränderung der letzten 20 Jahre

Dikerogammarus villosus, *Chelicorophium curvispinum*, *Jaera istri* und *Hypania invalida*) verfolgt und der Bestand an weiteren gebietsfremden Arten ermittelt und diskutiert [38].

Entwicklung der bereits im Jahr 2000 aufgetretenen Arten

Im August 2003 wurde das Vorkommen des Grossen Höckerflohkrebses *Dikerogammarus villosus* oberhalb seiner bisherigen Verbreitungsgrenze im Hochrhein festgestellt, zunächst im Bodensee [28], danach auch im Zürichsee, der Limmat, der Aare [31] und in weiteren Gewässern im Einzugsgebiet des Hochrheins. Die Einschleppung von *Dikerogammarus villosus* in den Bodensee konnte nachträglich auf das Jahr 2002 datiert werden [35]. Etwa zur selben Zeit wurde die Korbchenmuschel *Corbicula fluminea* im südöstlichen Teil des Bodensees gefunden [45]. Sie breitete sich von dort aus und zeigte lokale Massenvermehrungen. Zwischenzeitlich (Stand Juli 2007) hat sich *Dikerogammarus villosus* über den gesamten Bodensee verbreitet und besiedelt nun vom See her den obersten Hochrheinabschnitt bis zum Flussquerschnitt Hemishofen. Auch via Aare hat der Flohkrebs den Hochrhein erreicht und diesen wahrscheinlich flussabwärts bis zu seiner bisher bestehenden Ausbreitungsgrenze bei Rheinfelden besiedelt (Abb. 2.15, Abb. 2.24 d).

Abb. 2.15 > Ausbreitung des Gammariden *Dikerogammarus villosus* im Hochrhein 1995 bis 2007



Siegeszug von Höckerflohkrebs und Korbchenmuschel



Dikerogammarus villosus. Aktuelle Daten ergänzt durch [12], [35].

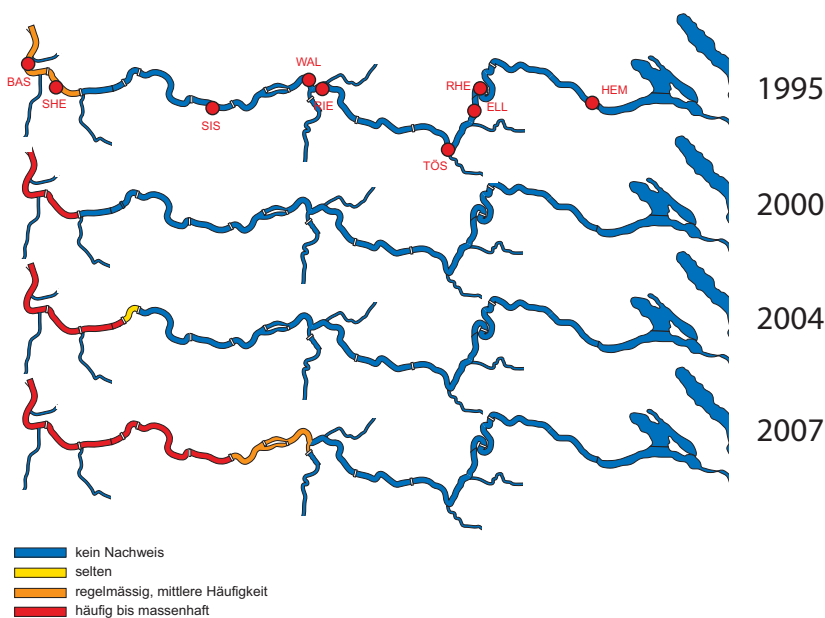
Corbicula fluminea, die grobgerippte Korbchenmuschel, kann den Hochrhein zwar noch nicht vom Bodensee aus besiedeln, im Herbst 2006 wurden aber bereits die ersten kleinen Exemplare am Flussquerschnitt Waldshut nachgewiesen, bereits im April 2004 war eine deutlich dichtere Besiedlung feststellbar. Ob dieses Vorkommen aus der Aare stammt oder ob es sich um eine Verschleppung der Art rheinaufwärts handelt, konnte

Corbicula fluminea hat ihren Verbreitungsschwerpunkt in den Rheinabschnitt C verlagert

nicht geklärt werden (Abb. 2.16, Abb. 2.22 a). Der Verbreitungsschwerpunkt der Körbchenmuschel im Hochrhein hat sich vom Abschnitt Birsfelden-Kaiseraugst in den Abschnitt Säkingen-Laufenburg verlagert (Anhang A1 Tafel 7 sowie Kap. 2.1.1).

Die Schwesterart *Corbicula fluminalis*, die feingerippte Körbchenmuschel (Abb. 2.22 b), wurde mit nur wenigen Exemplaren im Flussquerschnitt Basel gefunden. Relativ häufig (Dichten bis > 200 Ind./m²) kommt sie bei Schweizerhalle vor. An allen anderen Stellen im Hochrhein und seinem Einzugsgebiet fehlt diese Art.

Abb. 2.16 > Ausbreitung der Körbchenmuschel *Corbicula fluminea* im Hochrhein 1995 bis 2007



Corbicula fluminalis bleibt auf Abschnitt D beschränkt



Corbicula fluminea. Aktuelle Daten ergänzt durch [38], [35].

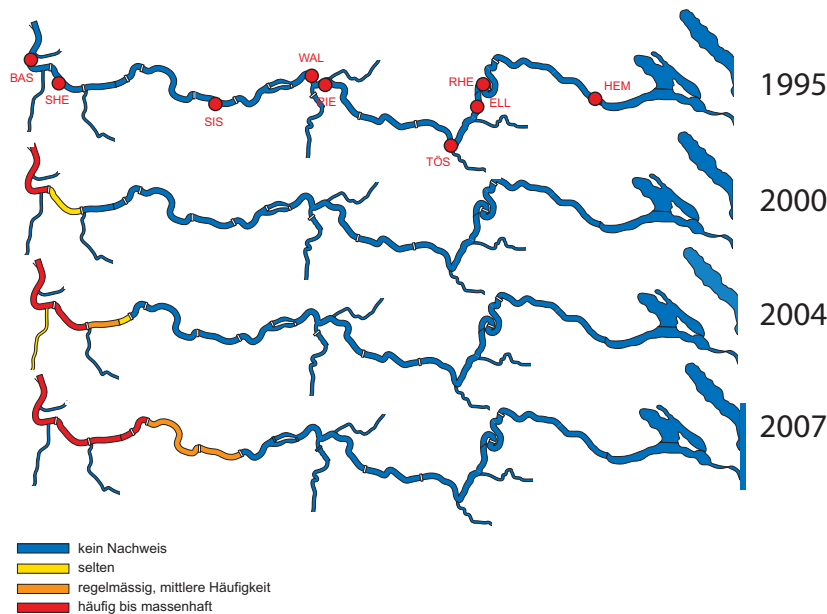
Weitere gebietsfremde Arten im Hochrhein

Wohl erst seit kurzer Zeit lebt der einzige mitteleuropäische Süßwasser-Borstenvurm, *Hypania invalida*, im Rheinabschnitt bei Sisseln (Abb. 2.24 b). In den Benthosproben vom Herbst 2006 war das Neozoon noch nicht, in denen vom April 2007 bereits regelmäßig enthalten. Als sessile Art kann *Hypania invalida* wahrscheinlich nur durch menschliche Aktivitäten rheinaufwärts gelangen. Einmal in einen neuen Abschnitt eingeschleppt, kann eine Ausbreitung flussabwärts erfolgen.

Hypania invalida erreichte 2006 den Rheinabschnitt C

Auch die Donauassel *Jaera istri* (Abb. 2.17, Abb. 2.26 a) hat ihre Verbreitung seit den letzten Hochrheinuntersuchungen [37, 38] deutlich ausgeweitet. Das kleine, unscheinbare Krebstier ist die einzige gebietsfremde Art, die es geschafft hat, mit der Birs auch einen der Hochrhineinzufüsse im Unterlauf zu besiedeln. Noch immer ist nicht untersucht, warum *Jaera istri* diese Ausbreitung in kleinere Fließgewässer gelingt, während der als wesentlich invasiver bekannte *Dikerogammarus villosus* noch immer im Rhein und in den Seen verbleibt.

Die Donauassel besiedelt auch den Unterlauf der Birs

Abb. 2.17 > Ausbreitung des neozoischen Donauassel *Jaera istri* im Hochrhein 1995 bis 2007

Jaera istri. Aktuelle Daten ergänzt durch [38], [35].

Neben der nordamerikanischen Tigerplanarie *Dugesia tigrina*, die sich seit den 1990er Jahren über den gesamten Hochrhein ausgebreitet hat (Abb. 2.21 c), wurde nun mit dem Donau-Strudelwurm *Dendrocoelum romanodanubiale* eine weitere neozoische Planarie im Hochrhein bei Schweizerhalle und Basel nachgewiesen. Es handelt es sich hier um Funde von noch geringer Dichte, während in der Donau bereits Besiedlungsdichten bis zu 7 400 Ind./m² beobachtet wurden [14]. *D. romanodanubiale* ist eine pontokaspische Art, die vermutlich mit Schiffen verbreitet wird. Die Art lässt sich von der in Europa weit verbreiteten und häufigen milchweissen Planarie *Dendrocoelum lacteum* anhand ihrer geringeren Grösse – die im Hochrhein gefundenen Tiere waren rund 5 mm gross – und der bis zu 20 Augen auf dem Vorderkörper unterscheiden. Das nächste Vorkommen der Art liegt derzeit im Oberrhein bei Karlsruhe Maxau (Rhein-km 365,3) [14].



Neue Art im Hochrhein
Dendrocoelum romanodanubiale

Der Keulenpolyp *Cordylophora caspia* konnte auf Unterwasserfotos vom Flussquerschnitt bei Schweizerhalle nachgewiesen werden. Die ursprünglich aus dem Kaspischen Meer stammende Art ist der einzige Süsswasserpolyp, der Kolonien bildet. Beim Tauchgang fielen die wie auf langen Fäden aufgereihten glöckchenartigen Gebilde auf stabilen, flächigen Substraten auf. Für die Rheinseitengewässer des Oberrheins wird *Cordylophora caspia* als verbreitet, aber selten angegeben [14]



Cordylophora caspia

Bei der Probenkampagne im April wurde am Transekt bei Sisseln ufernah vereinzelt *Synurella ambulans* (ohne Abb.) gefunden. Der erste Nachweis dieser pontischen Flohkrebsart im Rheineinzugsgebiet und auch in der Schweiz erfolgte bereits 2001 an zwei staubeinflussten Stellen (bei Solothurn und bei Olten) in der Aare unterhalb des Bielersees [29]. Die Wiederfunde der Art in den Folgejahren bei Olten weisen auf eine stabile Population hin. Im Hochrhein selbst war die Art erstmals 2002 vereinzelt bei

Beuggen (Rhein-km 145,3) gefunden worden. Schwerpunkt der ursprünglichen Verbreitung von *Synurella ambulans* ist das osteuropäische kontinentale Tiefland. Als westlichster Nachweis der Art im Donaeinzugsgebiet und erster Fundort in Süddeutschland gilt ein isoliertes Vorkommen in einem Tümpel am Starnberger See [20]. Wie *Synurella ambulans* in Aare und Rhein gelangen konnte ist nicht bekannt. Möglich ist eine postglaziale aktive Einwanderung von östlichen Glazialrefugien aus oder eine anthropogene Einbringung - sei es im Bilgenwasser von Booten oder im Zusammenhang mit Fischbesätzen.

Eine zunehmend wichtigere Rolle in der Gammariden-Biozönose im Hochrhein nimmt *Echinogammarus ischnus* ein (Abb. 2.25 a). Die Art wurde 2004 in den Nahrungsproben von Fischen aus dem Hochrheinabschnitt D erstmals nachgewiesen und ist in den Proben der aktuellen Kampagne bereits bis Schweizerhalle in stellenweise hohen Dichten nachweisbar. Es bleibt zu beobachten, inwieweit sich die Ausbreitung von *Echinogammarus ischnus* auf die Dichten des im Hochrheinabschnitt D und C heute dominanten *Dikerogammarus villosus* auswirkt.

Die Gattung *Echinogammarus* ist im Hochrhein noch mit einer zweiten Art – *Echinogammarus trichiatus* – vertreten (ohne Abb.). Im Oberrhein seit 2003 mit zunehmender Dichte anzutreffen [14], wurde diese pontokaspische Art im Hochrhein erstmals 2004 im Bereich der Birmündung (Rhein-km 162) [38] nachgewiesen. Seither scheint sich *Echinogammarus trichiatus* nicht wesentlich ausgebreitet zu haben: Bei den Beprobungen 2006/2007 wurde die Art vereinzelt bei Schweizerhalle (Rhein-km 158,4) gefunden.

Bei Elektroabfischungen des Jungfischbestands im Rahmen der aktuellen Untersuchungen [12], konnten an vielen Stellen auch grössere Neozoen erfasst werden. Zwischen Tössegg und Sisseln sowie in Basel wurden dichte Vorkommen des Kamberkrebsses *Orconectes limosus* festgestellt und die Süßwassergarnele *Atyaephyra desmaresti* wurde in ufernahen Pflanzenpolstern des Flussquerschnitts bei Schweizerhalle gefunden.

Neozoen als Teil der Benthosbesiedlung des Hochrheins

Bereits bei den Betrachtungen zu den Besiedlungsdichten und Biomassen wurde der dominierende Einfluss von Neozoen innerhalb der Benthosbiozönose des Hochrheins angesprochen. Die folgenden Abbildungen sollen dies noch einmal verdeutlichen. In Abb. 2.18 werden die Besiedlungsdichten angestammter Arten denen von invasiven Neozoen und anderen gebietsfremden Arten gegenüber gestellt. Separat aufgeführt ist die Zebrauschel *Dreissena polymorpha*, die sich bereits vor mindestens 45 Jahren im gesamten Hochrhein etabliert hat und heute als integrierter Bestandteil der Benthosbiozönose gelten kann.

Bereits aus den Ergebnissen der letzten Hochrheinuntersuchungen [37, 38] lässt sich der erhebliche Anteil (zwischen 75 % und 85 %) der Arten *Corbicula* spp., *Dikerogammarus villosus*, *Chelicorophium curvispinum*, *Jaera istri* und *Hypania invalida* an der Gesamtbesiedlung der Stellen Basel und Schweizerhalle ablesen. Die neuen Unter-



Echinogammarus ischnus



Orconectes limosus



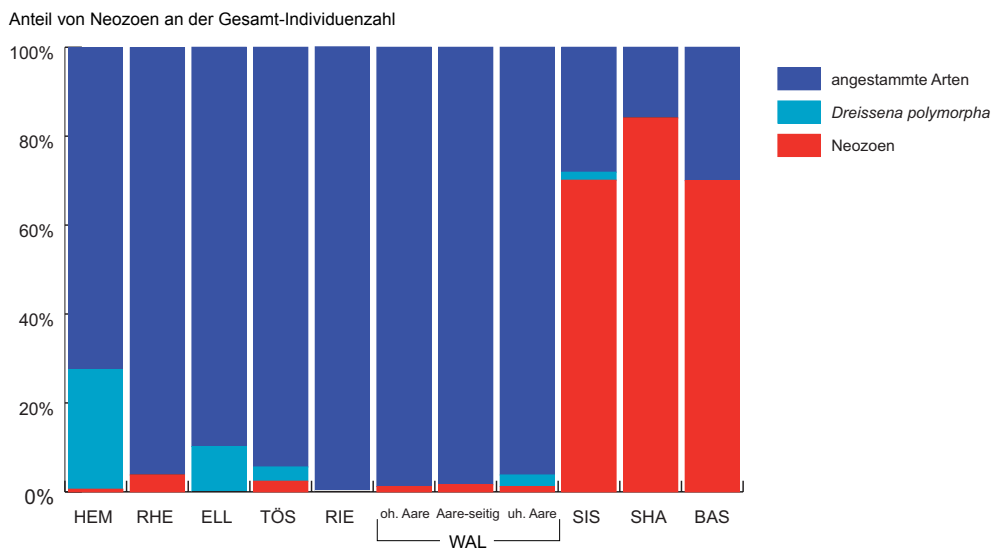
Atyaephyra desmaresti

Mehr als 75 % der Individuen auf der Hochrheinsohle unterhalb von Sisseln sind Neozoen

suchungsergebnisse zeigen, dass an diesen Flussquerschnitten der Neozoenanteil nicht geringer geworden ist, dass nun aber dieselben Verhältnisse bereits drei Staustufen rheinaufwärts anzutreffen sind, obwohl sich bisher nur drei der angesprochenen fünf Arten (*Corbicula* spp., *Dikerogammarus villosus*, *Jaera istri*) bis hierhin ausgebreitet haben.

Abb. 2.18 > Anteile (Individuenzahlen) neozoischer Arten an den Besiedlungsdichten

Anteil von Neozoen an der Gesamtbesiedlung (Individuenzahl) an den untersuchten Flussquerschnitten 2006/2007. Die bereits länger etablierte Zebrauschel (*Dreissena polymorpha*) ist separat dargestellt.



Auf der anderen Seite ist die im Abschnitt D früher häufige Zebrauschel seit mehreren Jahren [37, 38] nur noch vereinzelt nachzuweisen. Die als Ursache hierfür vermutete Konkurrenz durch den Schlickkrebs *Chelicorophium curvispinum* [33] erscheint plausibel, da *Dreissena polymorpha* an der Stelle Sisseln, die von *Chelicorophium curvispinum* noch nicht besiedelt wurde, stellenweise noch häufig ist. Fast unveränderte, stellenweise auch dichte Bestände zeigt die Zebrauschel unterhalb der Aaremündung und in Abschnitt B. Ihr Verbreitungsschwerpunkt im Hochrhein bleibt der Bereich des Bodensee-Abflusses.

Eine Betrachtung der Biomasse macht den Einfluss der invasiven Neozoen auf die Benthosbiozönose noch deutlicher (Abb. 2.19). Im Bereich der Flussquerschnitte Schweizerhalle und Sisseln machen die Neozoen bereits 98 % der Benthos-Biomasse aus. Im freifliessenden Flussabschnitt von Basel bleibt der Anteil angestammter Arten durch die hier häufigen rheobionten Organismen (vgl. Kap. 2.1.3) noch etwas höher.

Andere - nicht invasive - Neozoen, wie z.B. die Schnecken *Physella acuta* und *Potamopyrgus antipodarum*, die Planarie *Dugesia tigrina* und der Kiemenwurm *Branchiura sowerbyi*, spielen bei der Betrachtung der relativen Besiedlungsdichten und Biomassen

Schlickkrebs verdrängt
Zebrauschel

Neozoen stellen bis zu 98 % der
Biomasse auf der Hochrheinsohle
unterhalb von Sisseln

Nicht invasive Neozoen haben
keinen nachweislichen Einfluss
auf die Benthosbiozönosen

kaum eine Rolle. Lediglich innerhalb der Staubereiche Rheinau und Tössegg erreichen ihre Anteile mehr als ein Prozent der Gesamtbesiedlung.

Abb. 2.19 > Anteile neozoischer Arten an der Biomasse (Trockengewicht)

Anteil von Neozoen an der Biomasse (Trockengewicht) an den untersuchten Flussquerschnitten 2006/2007. Basis: jeweils Probe mit der höchsten gesamten Biomasse.

Die bereits länger etablierte Zebrauschel (*Dreissena polymorpha*) ist separat dargestellt.

Anteil von Neozoen an der Gesamt-Biomasse

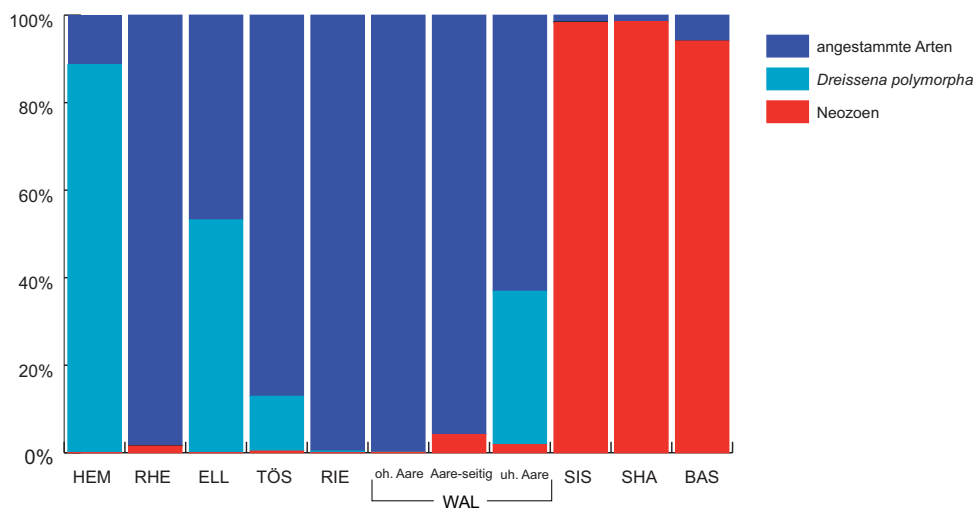


Abb. 2.20 > Anteile neozoischer Arten an der Taxazahl

Anteil von Neozoen an der Taxazahl an den untersuchten Flussquerschnitten 2006/2007.

Basis: sämtliche Proben der Transekte 2006/2007.

Anzahl Taxa

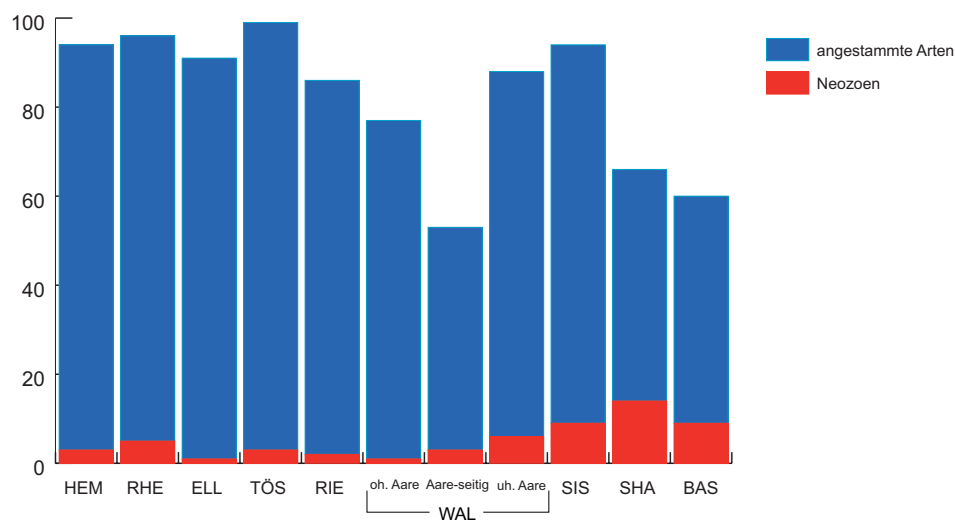


Abb. 2.20 stellt den Anteil der Neozoen an der Gesamtartzahl der einzelnen Flussquerschnitte dar. Vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse wird noch einmal deutlich, dass diese erheblichen populationsdynamischen Veränderungen nur durch einen kleinen Teil des Artenspektrums verursacht werden.

Zu erwartende Neozoen

Die Einschleppung und Ausbreitung neuer Arten im Hochrhein ist noch nicht abgeschlossen [9]. Es steht zu erwarten, dass die Ausbreitung weiterer gebietsfremder (neozoischer und expansiver) Arten künftig nicht nur vom Oberrhein oder generell vom schiffbaren Rhein ausgeht, sondern seit einigen Jahren nun auch vom Bodensee und den Seen im Einzugsgebiet der Aare.

Arten, die in diesem Zusammenhang eine Rolle spielen können sind

- > die **Schwebegarnelen** *Limnomysis benedeni*, die im nördlichen Oberrhein häufig ist und bereits in den Bodensee verschleppt wurde [17], sowie *Hemimysis anomala* [46], die im Oberrhein (Raum Karlsruhe) und im Main bereits Massenvermehrungen gezeigt hat;
- > Weitere aus dem Schwarzmeerraum kommende (pontische) **Gammariden** (z.B. *Dikerogammarus robustus*, *Dikerogammarus bispinosus*, *Obesogammarus obesus*, *Echinogammarus trichiatus*, *Pontogammarus robustoides*);
- > Einige am Oberrhein, im Aare- und im Bodensee-Einzugsgebiet bereits verbreitete **Grosskrebsarten** (z.B. *Procambarus clarkii*, *Pacifastacus leniusculus*, *Orconectes immunis*);
- > Die erst kürzlich [25] im Oberrhein nachgewiesene **Quagga-Muschel** (*Dreissena rostriformis bugensis*).

2.1.5 Zoologische Besonderheiten im Hochrhein

Bryozoa (Moostierchen): Die Proben von Hemishofen und Ellikon enthielten regelmässig Flottoblasten (Dauerformen) des Moostierchens *Cristatella mucedo* (ohne Abb.). Diese werden im Herbst zur Überwinterung und Ausbreitung aus den weisslich-transparenten, bis zu 20 cm langen gallertartigen Kolonien der Moostierchen gebildet. Die meisten Bryozoenarten des Süsswassers bilden flächige Überzüge auf und vor allem unter stabilen Substraten. Einige Arten sind vor allem im Sommer zu finden und überwintern als Dauerstadien. Aufgrund der Probenahmetechnik und der Saisonalität des Auftretens wurden – ausser den Flottoblasten von *Cristatella mucedo* – in den aktuellen Proben keine Bryozoen nachgewiesen. Stichproben im Bereich um die Aare-mündung und auf Höhe der Koblenzer Lauffen belegten jedoch das regelmässige Vorkommen [37] weiterer Bryozoenarten.

Neozoen machen nur einen kleinen Teil der Hochrheinarten aus

Ausbreitung von verschiedenen Besiedlungszentren aus



Dreissena bugensis, die Quagga-Muschel (links) im Vergleich mit der Zebramuschel *Dreissena polymorpha* (rechts)



Bryozoenkolonie am Koblenzer Lauffen

Porifera (Schwämme): Meist ebenfalls nicht in den Benthosproben enthalten, jedoch auf stabilen Substraten im Hochrhein weit verbreitet sind die Schwämme. Als Filtrierer ernähren sich Schwämme von planktischen Mikroorganismen und Detritus, das dem durch feine Poren in den Schwammkörper eingestrudelten Wasser entnommen wird. Schwämme bewachsen vor allem umlagerungsstabiles Substrat im Hochrheinabschnitt A (Seeabfluss) und dann wieder unterhalb der Aarenmündung, wo grössere Wassertiefen, eine erhöhte Drift an partikulärem organischen Material und – zumindest ufernah – grosse Steinblöcke der Ufersicherungen vorzufinden sind. An gut belichteten Stellen sind Schwämme durch symbiontisch eingelagerte Algen, welche der Versorgung mit Nährstoffen und Sauerstoff dienen, häufig intensiv grün gefärbt. Unter Steinen und in tieferen Sohlenbereichen zeigen sie eine eher bräunlich-gelbliche Färbung .

Hydrozoa: In den Benthosproben meist nicht mehr aufzufinden, jedoch auf den Unterwasseraufnahmen zu erkennen, besiedeln als Vertreter der Nesseltiere der Süswasserpolytyp *Hydra* sp. und der bereits als Neozoon vorgestellte Keulenpolytyp *Cordylophora caspia* den Hochrhein. Die Tiere leben sessil oder halbsessil (*Hydra* sp.) – als Räuber sitzen sie festgeheftet auf Hartsubstraten und greifen vorbeitreibende Beute.

Unionidae (Grossmuscheln): Sehr vereinzelt wurden bei den bisherigen Untersuchungen im Hochrhein lebende Exemplare bzw. Schalen von *Unio* und *Anodonta* gefunden. Für Aussagen zu Verbreitung, Artenzusammensetzung und Altersaufbau der Grossmuscheln sind die Informationen nicht ausreichend bzw. ist die auf Benthosorganismen gerichtete Untersuchungsmethodik ungeeignet.

Gomphidae (Flussjungfern): In den naturnahen Abschnitten des Hochrheins wurden regelmässig Grosslibellenlarven aus der Familie der Gomphiden gefunden. Die Larven leben meist ufernah im Sediment vergraben und stellen hohe Ansprüche an die Wasserqualität. Die Gelbe Keiljungfer *Gomphus simillimus* – als Einzelfund am Ufer bei Rietheim – ist eine Art der grossen, relativ warmen Flüsse im westmediterranen Gebiet. In Mitteleuropa hat sie ein isoliertes Vorkommen im deutsch-schweizerischen Grenzgebiet am Hochrhein. In den Roten Listen wird die Art für die Schweiz als «vom Aussterben bedroht», für Deutschland als «extrem selten, mit geographischer Restriktion» geführt [43]. Die Gemeine Keiljungfer *Gomphus vulgatissimus*, deren Larven vereinzelt bei Hemishofen, Tössegg und Sisseln gefunden wurden, wird in der Schweiz und in Deutschland als «stark gefährdet» eingestuft. Möglicherweise als Folge der verbesserten Gewässerqualität wurde *Gomphus vulgatissimus* in den letzten Jahren in Deutschland häufiger nachgewiesen [43]. An den Transekten Hemishofen, Ellikon, Rietheim und Waldshut wurden Larven der Kleinen Zangenlibelle *Onychogomphus forcipatus* gefunden, welche ebenfalls in der Schweiz und in Deutschland «stark gefährdet» ist.

Ameletus inopinatus (Eintagsfliege, ohne Abb.): Bei zusätzlichen Beprobungen zur Feststellung der Ausbreitungsgrenzen verschiedener Neozoen im Hochrhein wurden am baden-württembergischen Ufer bei Beuggen (Rhein-km 145,3) Larven von *Ameletus inopinatus* gefunden. In der Roten Liste für Deutschland wird diese Eintagsfliegenart als «stark gefährdet», für die Schweiz als «vom Aussterben bedroht» geführt. Die für Berg- und Gebirgsbäche typische, kaltstenotherme Art wird in Skandinavien und



Schwamm mit Grünalgen als Symbionten



Kolonie von *Hydra* sp., Hemishofen



Anodonta sp. am Tössegg



Larve von *Gomphus vulgatissimus*, der Keiljungfer

Grossbritannien verbreitet gefunden. In Mitteleuropa scheint sie vor allem an die herzynischen Kristallinmassive gebunden zu sein: z.B. Schwarzwald, Vogesen, Thüringerwald, Karpaten etc. [40]. In den Hochrhein gelangt die Art vermutlich durch Eindrift über Bäche aus dem Schwarzwald / Dinkelberg.

2.2 Langjährige Besiedlungsvergleiche

2.2.1 Verbreitung der Charakterarten 1990 bis 2007

Seit 1990 wird die Besiedlungsentwicklung typischer und dominanter Hochrheintaxa auf den neun Flussquerschnitten verfolgt [36]. Zu den seit 1990 beobachteten Arten kamen zwischenzeitlich mehrere Neozoenarten hinzu. Die 47 Taxa dieses Langzeitvergleichs werden auf den Abbildungen 2.21 bis 2.32 vorgestellt. Gegenüber den entsprechenden Darstellungen in den Berichten der vergangenen Kampagnen [34, 36, 37] wurden die Häufigkeiten dieses Mal in sieben statt drei Klassen angegeben. Diese entsprechen den Angaben in den Tabellen im Anhang A3 und beziehen sich auf die jeweiligen Häufigkeitsmaxima des Taxons aus allen Proben, nicht mehr wie bisher auf einen Mittelwert. Auf diese Weise soll vor allem das Besiedlungspotential eines Flussquerschnitts dargestellt werden, welches unter jeweils günstigsten Lebensraumbedingungen erreicht werden kann.

Turbellaria, Strudelwürmer (Abb. 2.21)

Strudelwürmer oder Planarien kommen im gesamten Hochrhein – wenn auch nicht in grossen Dichten – regelmässig vor. Mit bis zu 380 Ind./m² am häufigsten ist heute die neozoische Tigerplanarie *Dugesia tigrina* (Rietheim) (Abb. 2.21 c). In den Proben von 2006/2007 aus Abschnitt D (Basel, Schweizerhalle) fehlen allerdings bis auf die neue Art *Dendrocoelum romanodanubiale* die Planarien fast völlig. Die Assel *Jaera sarsi* (Abb. 2.26 a) nutzt nun denselben Lebensraum wie zuvor die Strudelwürmer.

Planarien gehen in in Abschnitt D stark zurück

Mollusca, Weichtiere (Muscheln und Schnecken) (Abb. 2.22 bis 2.23)

Unter den Mollusken zeigen die Körbchenmuscheln *Corbicula fluminea* (Abb. 2.22 a) und *Corbicula fluminalis* (Abb. 2.22 b) die grössten Veränderungen in der Besiedlung (siehe Kap. 2.1.4). Vor allem *Corbicula fluminea* konnte sich gegenüber dem Jahr 2000 erheblich weiter ausbreiten [38]. Die grössten Individuendichten (4880 Ind./m²) zeigt die Art heute in den Proben von Sisseln. Lokal können dort allerdings Individuendichten von deutlich über 10 000 Muscheln/m² beobachtet werden.

Weitere Ausbreitung von *Corbicula*

Für die Zebrauschel *Dreissena polymorpha* konnte vor allem bei Schweizerhalle, aber auch in den Flussquerschnitten bei Sisseln und Basel deutliche Bestandsrückgänge festgestellt werden (Abb. 2.22 c). So wurden beispielsweise in den Proben von Schweizerhalle maximal noch 19 Ind./m² gezählt – gegenüber mehr als 600 Ind./m² in den Jahren 1995 und 2000. Bereits in den Jahren 2001 bis 2004 wurde im Rahmen des Neozoenmonitorings [38] ein starker Rückgang der Art zwischen dem Stau Birsfelden

Die Zebrauschel schwindet im Raum Basel

und Rheinfeldern dokumentiert. Mehrere Autoren [44, 10] gehen davon aus, dass *Chelicorophium curvispinum* (Abb. 2.24 c) mit *Dreissena polymorpha* um den Siedlungsraum konkurriert. Dreissena-Larven können sich demnach nicht mehr auf Hartsubstratflächen festsetzen, die bereits von den Schlammköchern der Schlickkrebse überzogen sind (vgl. Anhang A1 Tafel 8).

Die Flussmützenschnecke *Ancylus fluviatilis* (Abb. 2.23 a) zeigt für die letzten 17 Jahren einen Rückgang bei Hemishofen und eine Zunahme im Hochrhein unterhalb der Aaremündung. Bei Basel wurden 2006/2007 bis zu 2500 Ind./m² gezählt. Dagegen ist die früher häufigste Schneckenart im Raum Basel, die Flusskahnschnecke *Theodoxus fluviatilis* (Abb. 2.23 b) zwischenzeitlich ganz aus dem Hochrhein verschwunden [38]. Eine Erholung der Rheinpopulation wird jedoch seit 2006 aus dem nördlichen Oberrhein gemeldet (Schöll, Vobis, mündl. Mitt.).

Die Flusskahnschnecke *Theodoxus* ist aus dem Hochrhein verschwunden

Auffällig ist der Rückgang im Jahr 2000 und das völlige Fehlen der für den Rhein typischen Schnecke *Bithynia tentaculata* (Abb. 2.23 c) in den Proben von 2006/2007 aus Schweizerhalle und Basel, während diese Art weiter rheinaufwärts noch immer in zum Teil dichten Beständen vorkommt. Die Neuseeländische Zwergdeckelschnecke *Potamopyrgus antipodarum* (Abb. 2.23 d) hat sich seit 1990 weiter ausgebreitet und zeigt mit Ausnahme von Hemishofen überall stabile, recht dichte Bestände.

Bithynia sp. wurde in Abschnitt D nicht mehr nachgewiesen

Oligochaeta/Polychaeta (Würmer) (Abb. 2.24)

Die Würmer (Oligochaeta) zeigen im untersuchten Zeitraum stabile Besiedlungsmuster, bestes Beispiel ist *Stygodrilus heringianus* (ohne Abb.), dessen höchste Individuendichten bei Tössegg (Rückstaubereich KW Eglisau) erreicht werden. Im Stau Rheinau wird die Oligochaetenfauna von anderen Arten dominiert (Tubificidae, Lumbricidae). Der gebietsfremde Kiemenwurm *Branchiura sowerbyi* (Abb. 2.24 a) scheint sich im gesamten Hochrhein weiter auszubreiten und seine Besiedlungsdichte zuzunehmen. In Tössegg wurden im April 2007 bis zu 260 Ind./m² gezählt.

Neozoischer Kiemenwurm nimmt überall im Bestand zu

Der Süßwasserborstenwurm *Hypania invalida* (Abb. 2.24 b) hat sich bis nach Sisseln ausgebreitet. Höchste Dichten zeigt die Art weiterhin in Schweizerhalle, wobei hier in den Proben 2006/2007 mit maximal 1300 Ind./m² deutlich weniger Tiere als noch im Jahr 2000 (max. 7100 Ind./m²) festgestellt wurden.

Hypania breitet sich weiter aus, nimmt im Bestand aber tendenziell ab

Crustacea (Krebstiere) (Abb. 2.24 bis 2.26)

Neben den Mollusken sind die Crustaceen – und hier vor allem die Flohkrebse – unter den Neozoenarten im Hochrhein dominant vertreten. Der Röhrenflohkrebs oder Schlickkrebs *Chelicorophium curvispinum* (Abb. 2.24 c) hat sich seit 2000 zwar nicht wesentlich rheinaufwärts ausgebreitet, zeigt jedoch in den Flussquerschnitten Basel und Schweizerhalle weiterhin sehr dichte Bestände, was sich hier möglicherweise auf das Vorkommen von *Dreissena polymorpha* (s.d.) ausgewirkt hat.

Keine weitere Ausbreitung des Schlickkrebsses *Chelicorophium curvispinum*

Dikerogammarus villosus (Abb. 2.24 d) hat im Raum Basel weiter an Dominanz hinzu gewonnen. Die Art lebt seit 2002 auch im Bodensee und hat sich von dort bis in den Hochrheinabschnitt A bei Hemishofen ausgebreitet. Seit dem ersten Nachweis im Sommer 2006 ist der Bestand dort bereits deutlich angewachsen. Eine weitere Inizialpopulation, die in den Zürichsee eingeschleppt wurde, hat sich via Limmat und Aare wahrscheinlich bis nach Waldshut vorgearbeitet. *Dikerogammarus villosus* fehlt somit lediglich noch im über grosse Strecken naturnahen Hochrheinabschnitt B.

Dikerogammarus villosus breitet sich im Hochrhein von drei Seiten aus

Echinogammarus ischnus (Abb. 2.25 a) wurde 2000 in einem einzigen Exemplar in Basel gefunden. Sechs Jahre später avancierte er neben *Dikerogammarus villosus* zum stellenweise häufigsten Flohkrebs im Raum Basel. Im gleichen Masse, wie *Dikerogammarus villosus* und *Echinogammarus ischnus* im unteren Hochrhein dominant wurden, scheinen dort die angestammten Arten *Gammarus pulex*, *Gammarus fossarum* – hier als gemeinsame Gruppe dargestellt (Abb. 2.25 b) - und *Gammarus roeselii* (Abb. 2.25 c) zurückgegangen zu sein. Für Basel wird die *Gammarus fossarum/pulex*-Gruppe zwar noch mit der Häufigkeitsklasse V angegeben - dies ergibt sich jedoch aus dem Häufigkeitsmaximum in einer einzelnen Uferprobe. Sonst wurden im gesamten Querschnitt keine *G. pulex* und *G. fossarum* mehr gefunden. Da es sich bei den genannten neozoischen Flohkrebsen *Dikerogammarus villosus* und *Echinogammarus ischnus* um territorial aggressive und oft auch räuberisch lebende Arten handelt [22, 21], liegt ein Zusammenhang zwischen der Zunahme dieser Arten und dem Rückgang angestammter Flohkrebsarten nahe.

Echinogammarus ischnus wird in Abschnitt D invasiv

Für die heimische Assel *Asellus aquaticus* (Abb. 2.25 d) lässt sich für den untersuchten Zeitraum eine gewisse Zunahme des Häufigkeitsmaximums im Stau Rheinau feststellen. Unterhalb der Aaremündung wurde die Art auch bisher nur in geringer Zahl gefunden, im Jahr 2006/2007 fehlt sie hier fast völlig. Dagegen zeigt die zwischen 1995 und 2000 eingewanderte Donauassel *Jaera sarsi* (Abb. 2.26 a) im Bereich Basel, Schweizerhalle und nun auch in Sisseln mit bis zu 3500 Ind./m² sehr hohe Besiedlungsdichten. Sie ist bisher noch immer das einzige invasive Neozoon, das sich auch in den Unterlauf eines Hochrheinzufusses (Birs) ausbreiten konnte [38].

Ephemeroptera (Eintagsfliegen) / Plecoptera (Steinfliegen) (Abb. 2.26 bis 2.27)

Mit Ausnahme von *Heptagenia sulphurea* (Abb. 2.26 b) haben die meisten Eintagsfliegen und Steinfliegen ihren Verbreitungsschwerpunkt in den Hochrheinabschnitten A und B und zeigen hier auch über lange Jahre hinweg stabile Besiedlungsmuster (z.B. *Caenis* spp. (Abb. 2.26 c), *Potamanthus luteus* (Abb. 2.26 d), *Seratella ignita* (Abb. 2.27 a), *Ephemera danica* (Abb. 2.27 b) und *Leuctra* sp. (Abb. 2.27 d)). Auffallend ist das völlige Fehlen der früher auch im Abschnitt D zum Teil häufigen Gattung *Baetis* (Abb. 2.27 c). Dies und auch der tendenzielle (Basel) bzw. starke (Schweizerhalle) Rückgang von *Heptagenia sulphurea* sind erste Indizien für einen Einfluss der invasiven Neozoen auf die Insektenfauna des Hochrheins.

Baetis und *Heptagenia* verschwinden aus Abschnitt D

Neozoen als mögliche Ursache für die Verdrängung typischer Hochrheinarten

Coleoptera (Käfer) (Abb. 2.28)

Die für den Hochrhein typischen Hakenkäfer (Elmidae) (Abb. 2.28 a) haben ihren Verbreitungsschwerpunkt in den freifliessenden Abschnitten des oberen Hochrheins und zeigen hier über die Jahre keine Änderungen im Besiedlungsmuster. Dagegen trat *Elmis maugetii* im Jahr 2006/2007 in Basel mit bis zu 220 Ind./m² in deutlich höherer Dichte als bisher auf.

Käferarten zeigen kaum
Veränderungen der Besiedlung

Trichoptera (Köcherfliegen) (Abb. 2.29 bis 2.31)

Bis zur Einmündung der Aare häufig, danach seltener sind die meisten für den Hochrhein typischen Köcherfliegenarten wie *Lepidostoma hirtum* (Abb. 2.29 a), *Polycentropus flavomaculatus* (Abb. 2.29 b), *Hydroptila* sp. (Abb. 2.29 c), *Rhyacophila* sp. (Abb. 2.29 d) oder Arten der Familien Goeridae (Abb. 2.30 a) und Leptoceridae (Abb. 2.30 b). Über den gesamten Hochrhein in vergleichbar hohen Dichten verbreitet sind die Arten aus der Familie der Hydropsychidae (Abb. 2.30 c) und die typisch potamale Art *Psychomyia pusilla* (Abb. 2.30 c). An diesen Verteilungen hat sich im Grossen und Ganzen nichts geändert. Allerdings sollten der tendenzielle Rückgang der Hydroptiliden und Rhyacophiliden im Abschnitt A (letztere auch in Abschnitt D) weiter beobachtet werden. Beim fast völligen Verschwinden von *Cheumatopsyche lepida* aus Basel, Schweizerhalle und Sisseln könnten die sich dort massenhaft vermehrenden invasiven Neozoen wieder eine entscheidende Rolle gespielt haben.

Tendenzieller Rückgang der
Hydroptiliden und Rhyacophiliden
in Abschnitt A.

Fast völliges Verschwinden von
Cheumatopsyche lepida aus
Abschnitt D

Diptera (Zweiflügler, Fliegen und Mücken) (Abb. 2.31 bis 2.32)

Zuckmückenlarven (Chironomidae) kommen im ganzen Hochrhein und über den untersuchten Zeitraum weitgehend stabil in hohen Dichten vor (Abb. 2.31 b bis 2.32 a).

Zuckmücken bleiben die domi-
nante Insektenfamilie im Rhein

Die typisch rhithralen Kriebelmücken (*Simulium* sp.) (Abb. 2.32 b) sind nur an entsprechend schnellfliessenden und dabei flachgründigeren Rheinstellen wie Hemishofen, Ellikon und Rietheim häufig. An den in früheren Jahren noch regelmässig besiedelten Stellen in Basel und Schweizerhalle konnten 2006/2007 allerdings keine Simuliden mehr festgestellt werden.

Simulien in Abschnitt D nicht
mehr nachgewiesen

Aphelocheirus aestivalis (Grundwanze)

Die Grundwanze *Aphelocheirus aestivalis* (Abb. 2.32 c) ist eine typische potamale Art, die den gesamten Hochrhein regelmässig und stabil in mittleren Dichten besiedelt. Nur in den Abschnitten A (Seeabfluss) und Abschnitt D war und ist die Art seltener zu finden.

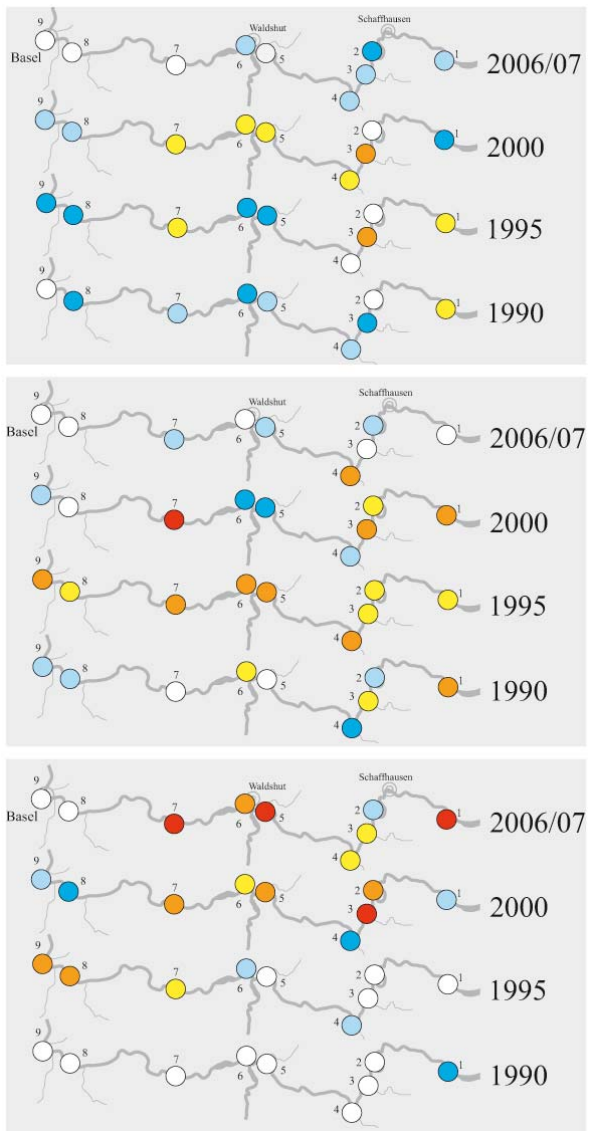
Zusammenfassende Betrachtung

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich aus den Langzeitvergleichen zum Teil auffällige Veränderungen in der Besiedlung einzelner Hochrheintaxa ergeben. Vor dem Hintergrund der Neozoen-Ausbreitung zeichnet sich vor allem im Abschnitt D ein Rückgang verschiedener angestammter oder seit langem etablierter Arten ab: z.B. *Dreissena polymorpha*, *Bithynia tentaculata*, *Baetis* spp., *Heptagenia sulphurea*, *Cheumatopsyche lepida* und *Simulium* sp.. Die Langzeitvergleiche im Hochrhein liefern somit bereits Indizien dafür, dass eine Verdrängung angestammter Arten durch invasive Neozoenarten stattfindet. Somit spielen diese nicht nur produktionsbiologisch, sondern auch faunistisch eine immer grössere Rolle in den Benthosbiozöosen des Rheins. Derzeit wird versucht, im Rahmen eines internationalen Interreg III-Programms in Frage kommende Verdrängungs- und Konkurrenzphänomene zu erforschen (ANEBO Aquatische Neozoen am Bodensee, <http://www.neozoen-bodensee.de>).

Neben den mehr oder weniger auffälligen Veränderungen in Rheinabschnitt D zeigen viele Makroinvertebraten im restlichen Hochrhein aber auch über lange Jahre hinweg stabile Besiedlungsmuster. Meist sind es die angestammten potamalen Arten, die ihren Verbreitungsschwerpunkt innerhalb der eher naturnahen Rheinabschnitte behalten haben, von Waldshut rheinabwärts aber immer noch regelmässig vorkommen.

Der Rückgang mehrerer hochrheintypischer Taxa aus Abschnitt D wird mit der invasiven Ausbreitung von Neozoen in Verbindung gebracht

Abb. 2.21–2.32: Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins 1990 bis 2006/2007



Dendrocoelum lacteum



Dugesia lugubris/polychroa



Dugesia tigrina

Abb. 2.21 > Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins 1990 bis 2006/2007

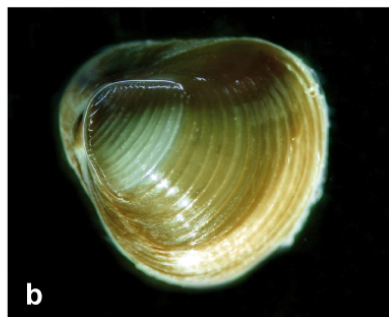
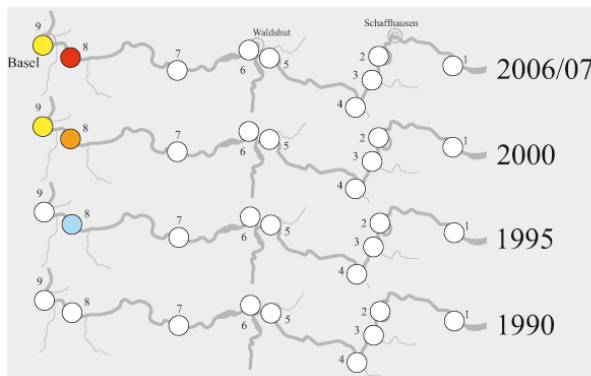
	HK I = 1 bis 9 Ind./m ²
	HK II = 10 bis 50 Ind./m ²
	HK III = 51 bis 100 Ind./m ²
	HK IV = 101 bis 250 Ind./m ²
	HK V = 251 bis 500 Ind./m ²
	HK VI = 501 bis 1000 Ind./m ²
	HK VII = > 1000 Ind./m ²

Auffällige Veränderungen

– Kein Nachweis mehr oder Rückgang der Planarien in Schweizerhalle und Basel



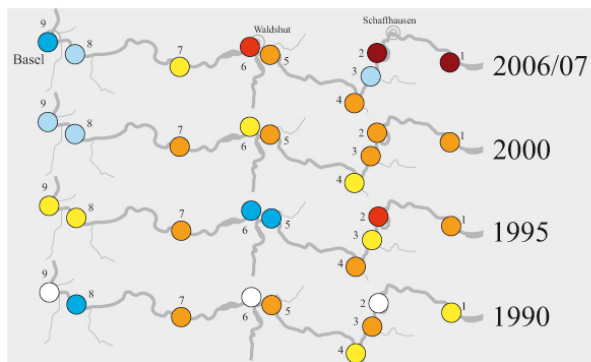
Corbicula fluminea



Corbicula fluminalis



Dreissena polymorpha



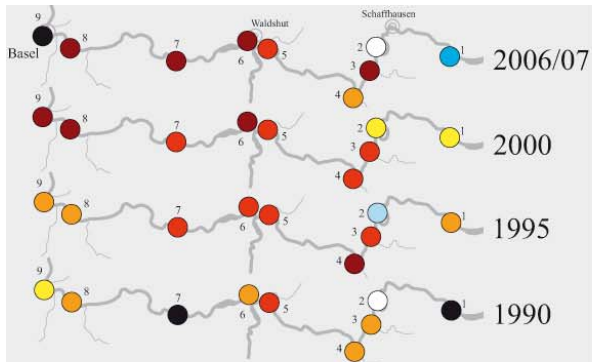
Pisidium spp.

Abb. 2.22 > Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins 1990 bis 2006/2007

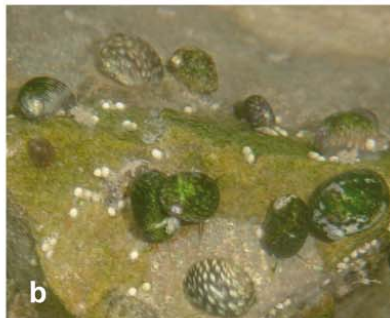
■	HK I = 1 bis 9 Ind./m ²
■	HK II = 10 bis 50 Ind./m ²
■	HK III = 51 bis 100 Ind./m ²
■	HK IV = 101 bis 250 Ind./m ²
■	HK V = 251 bis 500 Ind./m ²
■	HK VI = 501 bis 1000 Ind./m ²
■	HK VII = > 1000 Ind./m ²

Auffällige Veränderungen

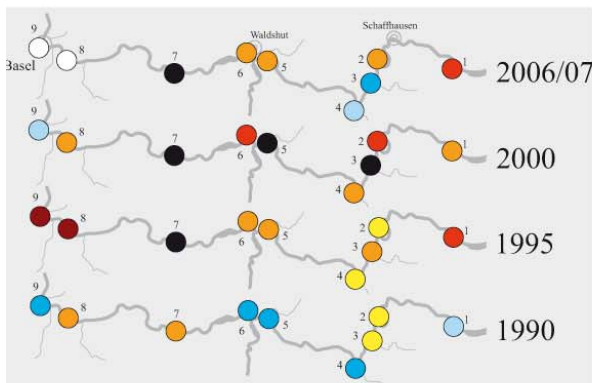
- Weitere Ausbreitung von *Corbicula fluminea*. Massenvorkommen in Sisseln. Inizialpopulation bei Waldshut
- Vermehrung von *Corbicula fluminalis* in Schweizerhalle und Basel
- Rückgang der Zebramuschel *Dreissena polymorpha* in Schweizerhalle und Basel



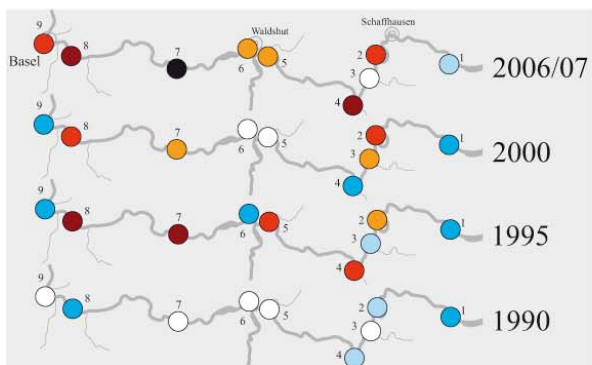
Ancyclus fluviatilis



Theodoxus fluviatilis



Bithynia tentaculata



Potamopyrgus antipodarum

Abb. 2.23 > Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins 1990 bis 2006/2007

	HK I = 1 bis 9 Ind./m ²
	HK II = 10 bis 50 Ind./m ²
	HK III = 51 bis 100 Ind./m ²
	HK IV = 101 bis 250 Ind./m ²
	HK V = 251 bis 500 Ind./m ²
	HK VI = 501 bis 1000 Ind./m ²
	HK VII = > 1000 Ind./m ²

Auffällige Veränderungen

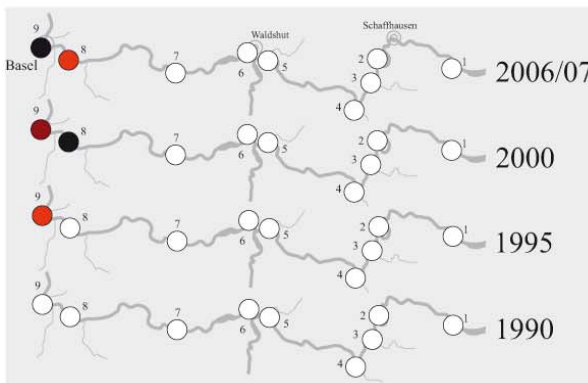
- Zunahme der Bestände von *Ancyclus* unterhalb der Aarenmündung
- Völliges Verschwinden von *Theodoxus* seit 2002
- Kein Nachweis mehr von *Bithynia* aus Schweizerhalle und Basel
- Zunahme der Bestände von *Potamopyrgus* unterhalb Aarenmündung



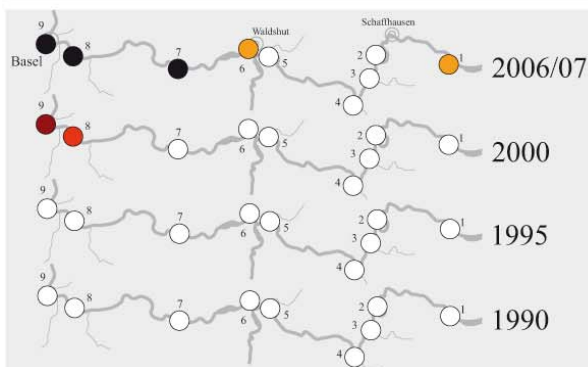
Branchiura sowerbyi



Hypania invalida



Chelicorophium curvispinum



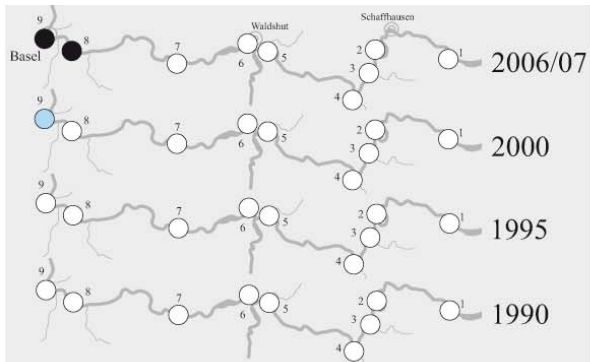
Dikergammarus villosus

Abb. 2.24 > Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins 1990 bis 2006/2007

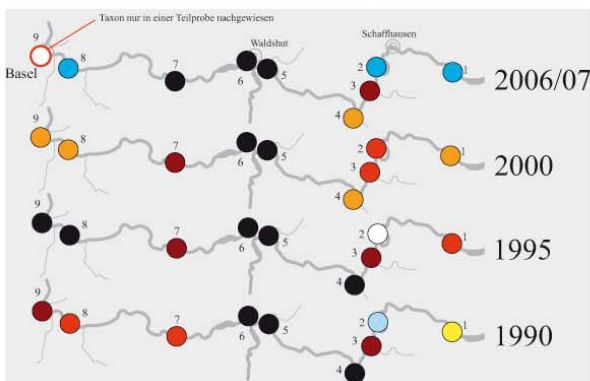
■	HK I = 1 bis 9 Ind./m ²
■	HK II = 10 bis 50 Ind./m ²
■	HK III = 51 bis 100 Ind./m ²
■	HK IV = 101 bis 250 Ind./m ²
■	HK V = 251 bis 500 Ind./m ²
■	HK VI = 501 bis 1000 Ind./m ²
■	HK VII = > 1000 Ind./m ²

Auffällige Veränderungen

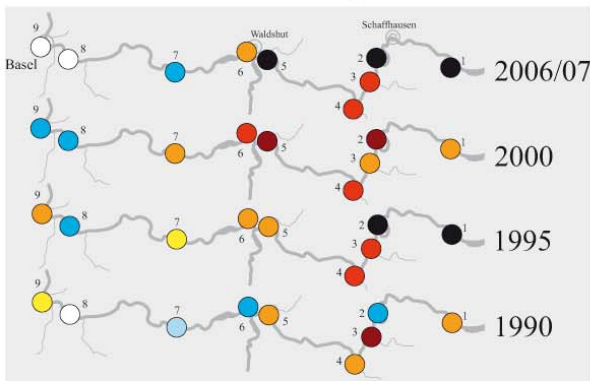
- Zunahme der Bestände des Kiemenwurms *Branchiura*
- Weitere Ausbreitung von *Hypania* bis Sisseln
- Massive Ausbreitung von *Dikergammarus villosus* (auch aus Aare und Bodensee kommend)



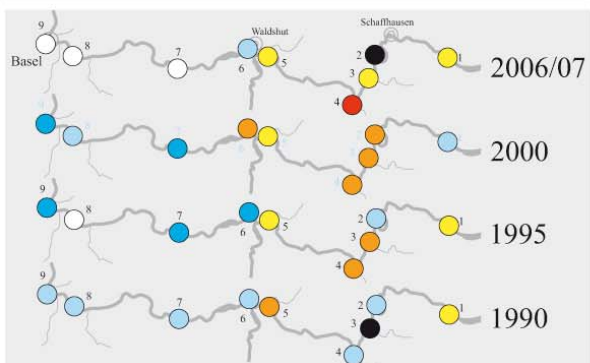
Echinogammarus ischnus



Gammarus fossarum/pulex



Gammarus roeselii



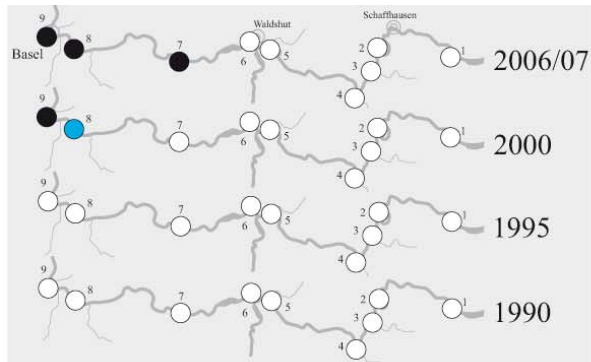
Asellus aquaticus

Abb. 2.25 > Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins 1990 bis 2006/2007

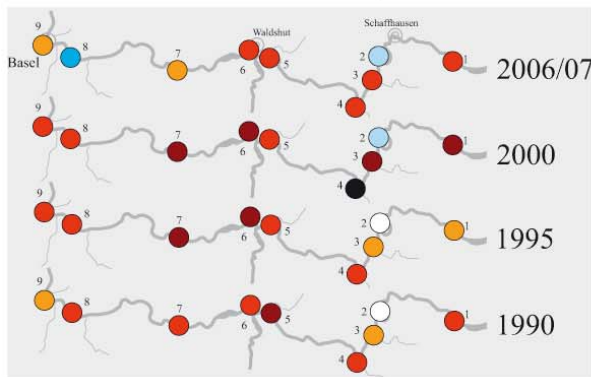
	HK I = 1 bis 9 Ind./m ²
	HK II = 10 bis 50 Ind./m ²
	HK III = 51 bis 100 Ind./m ²
	HK IV = 101 bis 250 Ind./m ²
	HK V = 251 bis 500 Ind./m ²
	HK VI = 501 bis 1000 Ind./m ²
	HK VII = > 1000 Ind./m ²

Auffällige Veränderungen

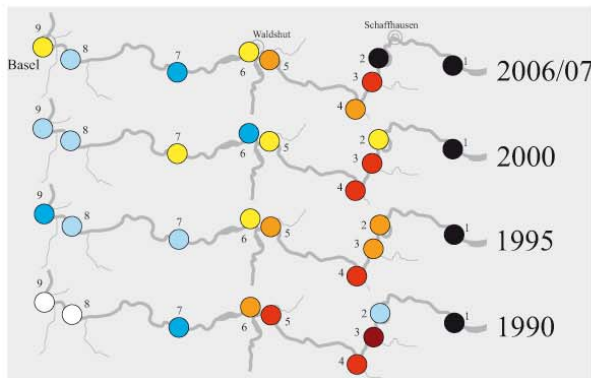
- Invasion von *Echinogammarus ischnus* in Schweizerhalle und Basel
- Starker Rückgang von *Gammarus fossarum* und *G. pulex* in Schweizerhalle und Basel
- Kein Nachweis mehr von *Gammarus roeselii* in Schweizerhalle und Basel
- Kein Nachweis mehr von *Asellus* sp. von Sisseln bis Basel



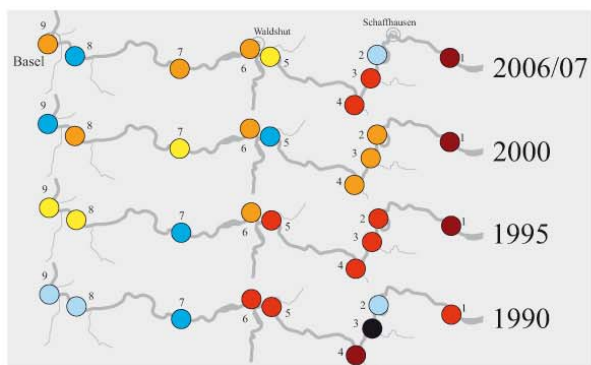
Jaera sarsi



Heptagenia sulphurea



Caenis spp.



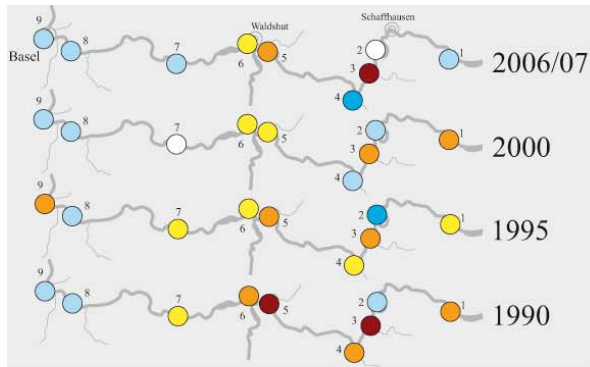
Potamanthus luteus

Abb. 2.26 > Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins 1990 bis 2006/2007

■	HK I = 1 bis 9 Ind./m ²
■	HK II = 10 bis 50 Ind./m ²
■	HK III = 51 bis 100 Ind./m ²
■	HK IV = 101 bis 250 Ind./m ²
■	HK V = 251 bis 500 Ind./m ²
■	HK VI = 501 bis 1000 Ind./m ²
■	HK VII = > 1000 Ind./m ²

Auffällige Veränderungen

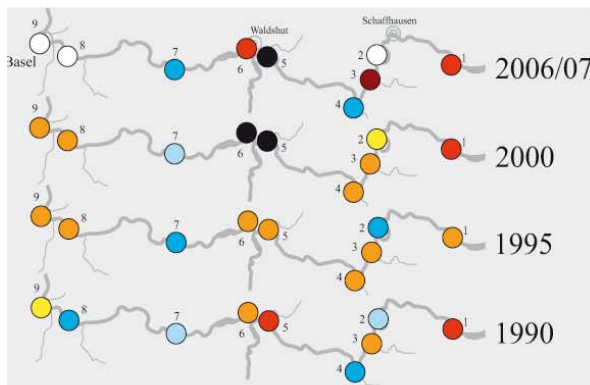
- Weitere Ausbreitung von *Jaera sarsi* bis Sisseln. Massenvorkommen von Sisseln rheinabwärts
- Massiver Rückgang von *Heptagenia sulphurea* in Schweizerhalle, deutlicher Rückgang in Basel



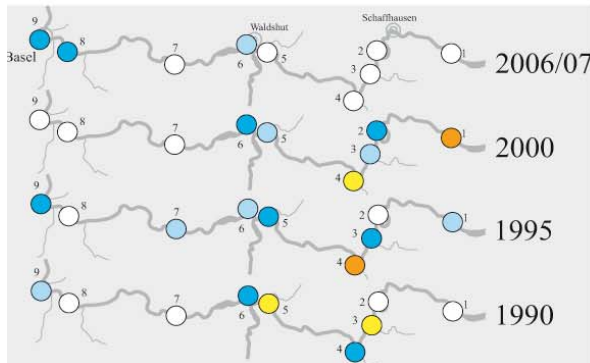
Serratella ignita



Ephemera danica



Baetis spp.



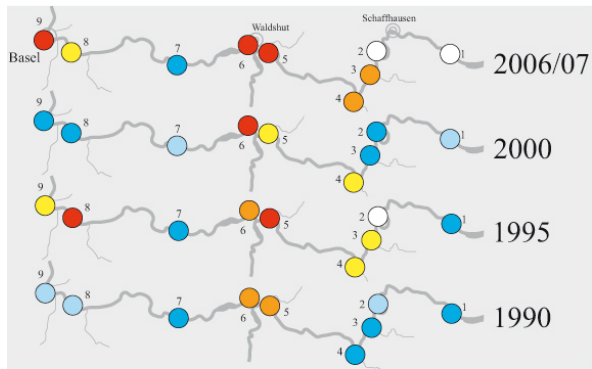
Leuctra spp.

Abb. 2.27 > Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins 1990 bis 2006/2007

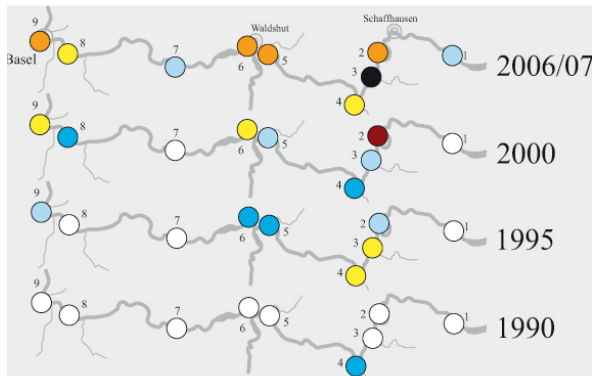
	HK I = 1 bis 9 Ind./m ²
	HK II = 10 bis 50 Ind./m ²
	HK III = 51 bis 100 Ind./m ²
	HK IV = 101 bis 250 Ind./m ²
	HK V = 251 bis 500 Ind./m ²
	HK VI = 501 bis 1000 Ind./m ²
	HK VII = > 1000 Ind./m ²

Auffällige Veränderungen

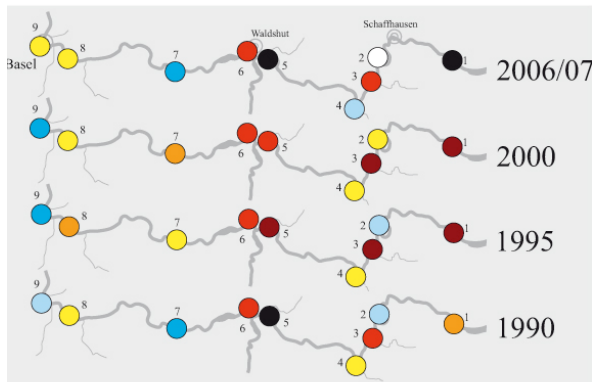
- Kein Nachweis mehr von sämtlichen *Baetis*-Arten in Schweizerhalle und Basel
- Kein Nachweis von Leuctriden in den Abschnitten A und B (Schlüpfzeiten ?)



Elmis maugetii



Esolus spp.



Limnius volckmari



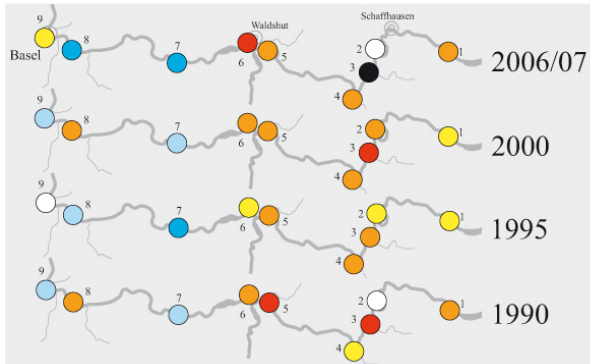
Stenelmis canaliculata

Abb. 2.28 > Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins 1990 bis 2006/2007

■	HK I = 1 bis 9 Ind./m ²
■	HK II = 10 bis 50 Ind./m ²
■	HK III = 51 bis 100 Ind./m ²
■	HK IV = 101 bis 250 Ind./m ²
■	HK V = 251 bis 500 Ind./m ²
■	HK VI = 501 bis 1000 Ind./m ²
■	HK VII = > 1000 Ind./m ²

Auffällige Veränderungen

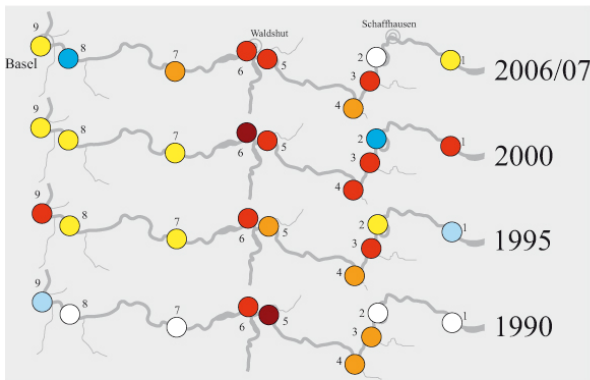
- Tendenzielle (aber möglicherweise periodische) Zunahme von *Elmis* und *Esolus*



Lepidostoma hirtum



Polycentropus flavomaculatus



Hydroptila sp.



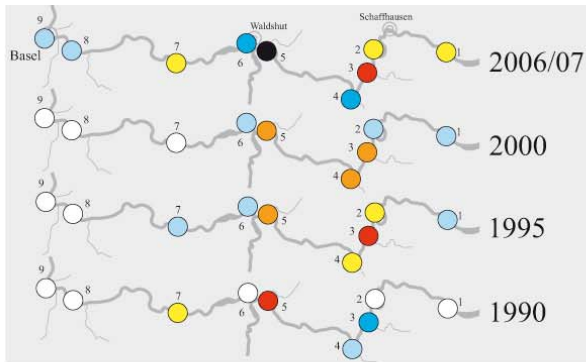
Rhyacophila sensu stricto

Abb. 2.29 > Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins 1990 bis 2006/2007

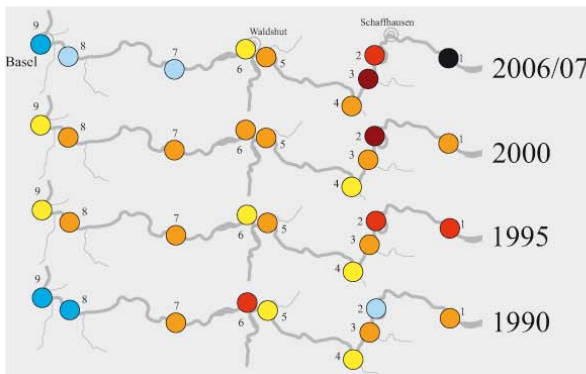
	HK I = 1 bis 9 Ind./m ²
	HK II = 10 bis 50 Ind./m ²
	HK III = 51 bis 100 Ind./m ²
	HK IV = 101 bis 250 Ind./m ²
	HK V = 251 bis 500 Ind./m ²
	HK VI = 501 bis 1000 Ind./m ²
	HK VII = > 1000 Ind./m ²

Auffällige Veränderungen

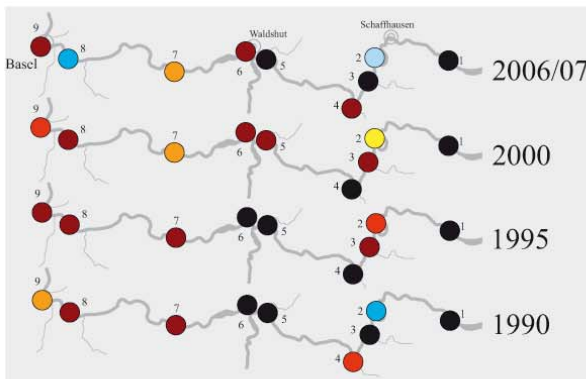
- Tendenzieller Rückgang von *Hydroptila* und Rhyacophiliden in Hemishofen



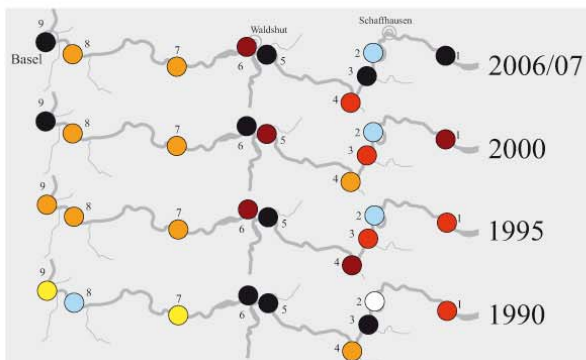
Goeridae (Silo sp.)



Leptoceridae



Hydropsychidae



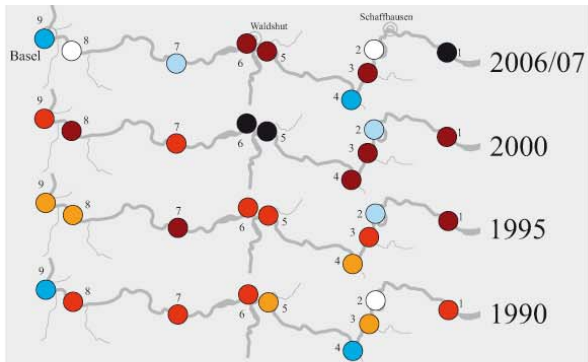
Psychomyia pusilla

Abb. 2.30 > Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins 1990 bis 2006/2007

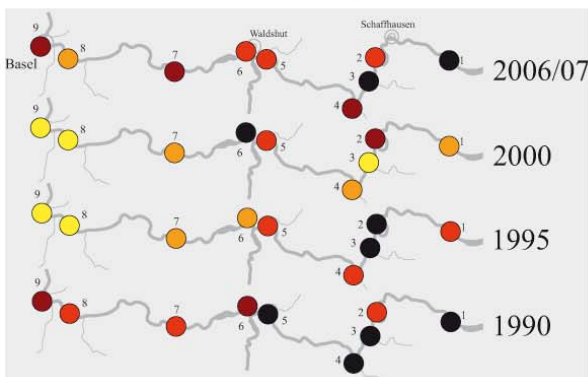
	HK I = 1 bis 9 Ind./m ²
	HK II = 10 bis 50 Ind./m ²
	HK III = 51 bis 100 Ind./m ²
	HK IV = 101 bis 250 Ind./m ²
	HK V = 251 bis 500 Ind./m ²
	HK VI = 501 bis 1000 Ind./m ²
	HK VII = > 1000 Ind./m ²

Auffällige Veränderungen

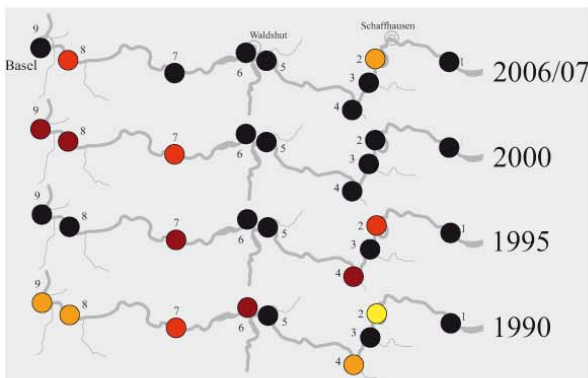
- Rückgang der Leptoceriden zwischen Waldshut und Basel



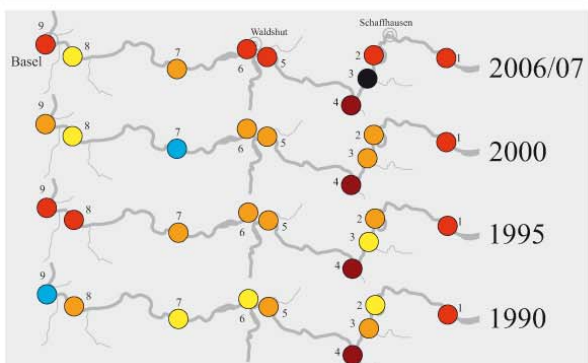
Cheumatopsyche lepida



Chironomini gesamt



Orthoclaadiinae



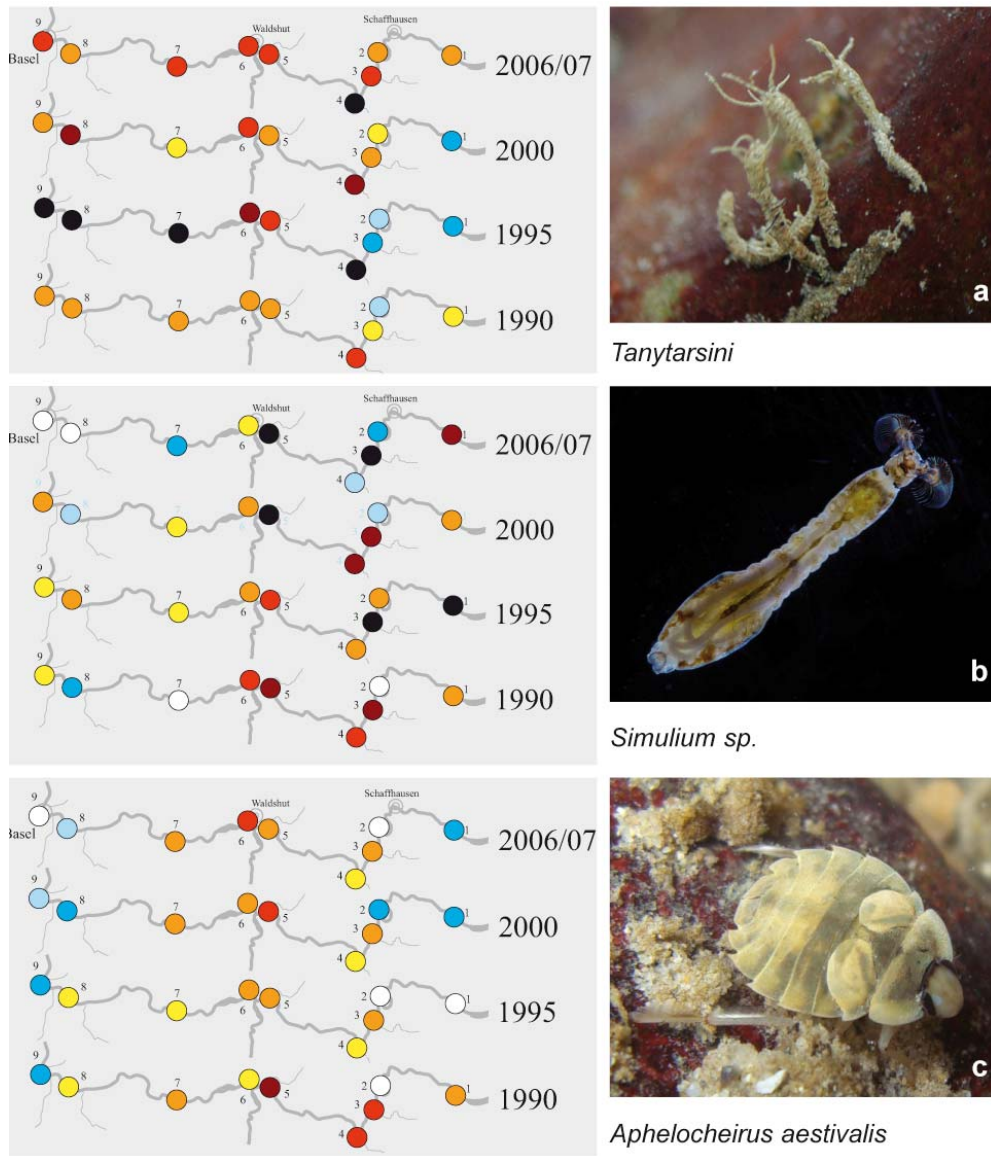
Tanypodinae

Abb. 2.31 > Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins 1990 bis 2006/2007

	HK I = 1 bis 9 Ind./m ²
	HK II = 10 bis 50 Ind./m ²
	HK III = 51 bis 100 Ind./m ²
	HK IV = 101 bis 250 Ind./m ²
	HK V = 251 bis 500 Ind./m ²
	HK VI = 501 bis 1000 Ind./m ²
	HK VII = > 1000 Ind./m ²

Auffällige Veränderungen

- Massiver Rückgang von *Cheumatopsyche lepida* in Sisseln, Schweizerhalle und Basel



2.2.2 Veränderungen der Taxazahlen und Dominanzen

Die Wasserqualität des Hochrheins, gemessen an den klassischen Qualitätsparametern (Kap 1.3.4), hat sich im Verlauf der letzten 17 Jahre kaum geändert, ebensowenig die unterschiedlich anthropogen überprägten Gewässerstrukturen [9, 36, 37]. Die Veränderungen in der Besiedlung der Flusssohle sind daher vor allem auf biotische Ursachen zurück zu führen, hauptsächlich auf die Ausbreitung invasiver Neozoen wie die Ausführungen in Kapitel 2.1.1 verdeutlichen.

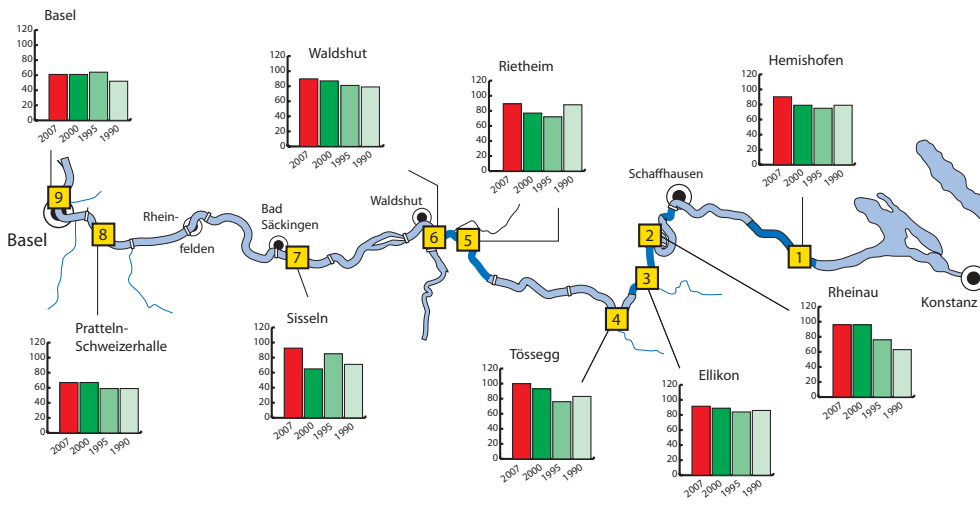
Artenspektrum

Während sich die Besiedlungsdichten einzelner Arten vor allem in den Hochrheinabschnitten C und D z.T. deutlich verändert haben, sind die Taxazahlen in den letzten 17 Jahren nahezu gleich geblieben (Abb. 2.33). Die Ergebnisse der zusätzlichen Uferproben-Kampagne 2000 [37] haben darüber hinaus gezeigt, dass auf den neun repräsentativen Flussquerschnitten auch jeweils rund 90 % aller im dazugehörigen Hochrheinabschnitt nachgewiesenen Benthostaxa gefunden wurden.

Die Taxazahlen sind innerhalb der letzten 17 Jahre nahezu gleich geblieben

Auch das Artenspektrum hat sich in den letzten 17 Jahren nur unwesentlich verändert. Es sind allerdings seit 1990 insgesamt neun gebietsfremde Arten hinzugekommen. Eine angestammte und früher häufige und verbreitete Art, *Theodoxus fluviatilis*, ist aus dem Hochrhein verschwunden.

Abb. 2.33 > Langjährige (1990 bis 2007) Veränderungen der Taxazahlen benthischer Makroinvertebraten



Dominanzen

Die Dominanzen der wichtigsten Familien der Benthosorganismen wurden ermittelt, indem zunächst Ränge für die Häufigkeiten einzelner Familien in den Einzelproben vergeben wurden. Für den Vergleich der vier Hochrheinabschnitte wurden die Ränge einer Familie in sämtlichen Einzelproben des jeweiligen Hochrheinabschnitts gemittelt und ergaben den Gesamtrang der Familie in diesem Abschnitt. In Tab. 2.3 sind für die Untersuchungen 2000 und 2006/2007 die Rangfolgen der innerhalb der vier unterschiedenen Hochrheinabschnitte dominierenden Familien und die wichtigsten zugehörigen Arten aufgeführt.

In den Abschnitten A und B haben sich die Dominanzverhältnisse gegenüber 2000 kaum verändert. Ein Grossteil der Familien, die im Jahr 2000 die Flusssohle dominierten, finden sich auch bei den Untersuchungen 2006/2007 auf den ersten 15 Rängen wieder. Die vom Bodensee ausgehende Besiedlung des Abschnitts A durch *Dikergammarus villosus* scheint sich bislang noch nicht auf die Dominanzstruktur auszuwirken.

Im Abschnitt C werden die starken Veränderungen, die die Ausbreitung der Neozoen am Flussquerschnitt bei Sisseln verursachen, durch die von Neozoen noch unbeeinflussten Verhältnisse bei Waldshut heute noch «ausgeglichen». Allein die Massenvermehrung von *Corbicula fluminea* im Flussquerschnitt Sisseln hat sich bereits deutlich auf die Dominanzverhältnisse im gesamten Abschnitt C ausgewirkt (Tab. 2.3).

Im Rheinabschnitt D wirkt sich der Rückgang einiger früher recht häufiger Arten (z.B. *Cheumatopsyche lepida*, *Bithynia tentaculata*, *Baetis* sp.) deutlich auf die Rangfolge der Familien aus. So fehlt *Dreissena polymorpha*, die im Jahr 2000 noch Rang 9 besass, heute weitgehend in diesem Abschnitt. Dagegen zeigt die Donauassel *Jaera sarsi*, die den Abschnitt bereits 2000 besiedelte, aber nicht zu den dominanten Taxa zählte, heute Massenvorkommen. Innerhalb der Gruppe der Gammaridae zeichnen sich Dominanzverschiebungen zwischen *Dikergammarus villosus* und *Echinogammarus ischnus* ab, was allerdings an der weiterhin dominanten Rolle dieser Gruppe im Abschnitt D nichts ändert.

In den Abschnitten A und B haben sich die Dominanzen und Rangfolgen in der Häufigkeit verschiedener Taxa kaum verändert

Zwischen Sisseln und Basel haben sich die Dominanzverhältnisse in den Benthosbiozöosen stark geändert

Einige früher in Abschnitt D dominante Taxa sind aus der Rangliste der ersten fünfzehn Arten verschwunden

Tab. 2.3 > Veränderungen der Dominanzen ausgewählter benthischer Makroinvertebraten innerhalb der letzten beiden Untersuchungskampagnen (Vergleich der Hochrheinschnitte, vgl. Abb. 1.8)

Rang	Abschnitt A		Abschnitt B		Abschnitt C		Abschnitt D	
	2000	2006/07	2000	2006/07	2000	2006/07	2000	2006/07
1	Hydropsychidae	Hydropsychidae	Gammaridae	Chironomidae	Gammaridae	Gammaridae	Gammaridae	Gammaridae
	<i>H. incognita</i> -Gruppe <i>C. lepida</i>	<i>H. incognita</i> -Gruppe <i>C. lepida</i> <i>H. contubernalis</i>	<i>G. pulex</i> -Gruppe <i>G. roeselii</i> <i>G. pulex</i>	Orthoclaadiinae Chironominae	<i>G. pulex</i> -Gruppe <i>G. roeselii</i> <i>G. pulex</i>	<i>G. pulex</i> -Gruppe <i>G. pulex</i> <i>D. villosus</i>	<i>D. villosus</i> <i>G. pulex</i> -Gruppe	<i>D. villosus</i> <i>E. ischnus</i>
2	Heptageniidae	Dreissenidae	Chironomidae	Gammaridae	Bithyniidae	Chironomidae	Ancylidae	Jaeridae
	<i>H. sulphurea</i>	<i>D. polymorpha</i>	Orthoclaadiinae Chironominae	<i>G. pulex</i> -Gruppe <i>G. roeselii</i>	<i>Bithynia tentaculata</i>	Orthoclaadiinae Chironominae	<i>Ancylus fluviatilis</i>	<i>Jaera sarsi</i>
3	Chironomidae	Chironomidae	Hydropsychidae	Psychomyiidae	Chironomidae	Ancylidae	Corbiculidae	Ancylidae
	Orthoclaadiinae Chironominae	Orthoclaadiinae Chironominae	<i>C. lepida</i> <i>H. incognita</i> -Gruppe	<i>Psychomyia pusilla</i>	Orthoclaadiinae Chironominae	<i>Ancylus fluviatilis</i>	<i>Corbicula fluminea</i>	<i>Ancylus fluviatilis</i>
4	Dreissenidae	Caenidae	Dreissenidae	Elmidae	Ancylidae	Psychomyiidae	Chironomidae	Psychomyiidae
	<i>D. polymorpha</i>	<i>Caenis pusilla</i> <i>Caenis macrura</i>	<i>D. polymorpha</i>	<i>Limnius volckmari</i> <i>Esolus</i> sp.	<i>Ancylus fluviatilis</i>	<i>Psychomyia pusilla</i>	Orthoclaadiinae Chironominae	<i>Psychomyia pusilla</i>
5	Elmidae	Elmidae	Bithyniidae	Hydropsychidae	Hydropsychidae	Hydropsychidae	Hydropsychidae	Corophiidae
	<i>Limnius volckmari</i>	<i>Limnius volckmari</i>	<i>Bithynia tentaculata</i>	<i>H. incognita</i> -Gruppe <i>C. lepida</i> <i>H. contubernalis</i>	<i>H. contubernalis</i> <i>C. lepida</i>	<i>C. lepida</i>	<i>H. contubernalis</i> <i>C. lepida</i>	<i>C. curvispinum</i>
6	Potamanthidae	Psychomyiidae	Elmidae	Caenidae	Turbellaria	Elmidae	Corophiidae	Chironomidae
	<i>Potamanthus luteus</i>	<i>Psychomyia pusilla</i>	<i>Limnius volckmari</i>	<i>Caenis pusilla</i> <i>Caenis macrura</i>	<i>D. lugubris</i> -Gruppe <i>Dugesia tigrina</i>	<i>Elmis maugetii</i> <i>Limnius volckmari</i>	<i>C. curvispinum</i>	Orthoclaadiinae Chironominae
7	Caenidae	Polycentropodidae	Ancylidae	Baetidae	Heptageniidae	Corbiculidae	Psychomyiidae	Polychaeta
	<i>Caenis pusilla</i>	<i>N. bimaculata</i>	<i>Ancylus fluviatilis</i>	<i>Baetis fuscatus</i> <i>B. lutheri</i> -Gruppe	<i>H. sulphurea</i>	<i>Corbicula fluminea</i>	<i>Psychomyia pusilla</i>	<i>Hypania invalida</i>
8	Gammaridae	Leptoceridae	Naucoridae	Lepidostomatidae	Dreissenidae	Heptageniidae	Heptageniidae	Corbiculidae
	<i>G. pulex</i> -Gruppe <i>G. roeselii</i>	<i>Ceraclea dissimilis</i> <i>Athripsodes</i> ssp.	<i>A. aestivalis</i>	<i>Lepidostoma hirtum</i>	<i>D. polymorpha</i>	<i>H. sulphurea</i>	<i>H. sulphurea</i>	<i>Corbicula fluminea</i> <i>Corbicula fluminalis</i>
9	Simuliidae	Gammaridae	Heptageniidae	Sphaeriidae	Naucoridae	Bithyniidae	Dreissenidae	Hydrobiidae
		<i>G. roeselii</i>	<i>H. sulphurea</i>	<i>Pisidium</i> sp.	<i>A. aestivalis</i>	<i>Bithynia tentaculata</i>	<i>D. polymorpha</i>	<i>P. antipodarum</i>
10	Baetidae	Bithyniidae	Baetidae	Hydroptilidae	Sphaeriidae	Dreissenidae	Polychaeta	Elmidae
	<i>Baetis fuscatus</i>	<i>Bithynia tentaculata</i>	<i>Baetis fuscatus</i>	<i>Hydroptila</i> sp.	<i>Sphaerium corneum</i>	<i>D. polymorpha</i>	<i>Hypania invalida</i>	<i>Elmis maugetii</i> <i>Limnius volckmari</i>
11	Leptoceridae	Heptageniidae	Turbellaria	Heptageniidae	Elmidae	Potamanthidae	Bithyniidae	Lumbriculidae
		<i>H. sulphurea</i>	<i>D. lugubris</i> -Gruppe	<i>H. sulphurea</i>	<i>Limnius volckmari</i>	<i>Potamanthus luteus</i>	<i>Bithynia tentaculata</i>	<i>S. heringianus</i>
12	Polycentropodidae	Potamanthidae	Psychomyiidae	Potamanthidae	Psychomyiidae	Hydroptilidae	Elmidae	Potamanthidae
	<i>N. bimaculata</i>	<i>Potamanthus luteus</i>	<i>Psychomyia pusilla</i>	<i>Potamanthus luteus</i>	<i>Psychomyia pusilla</i>	<i>Hydroptila</i> sp.	<i>Limnius volckmari</i>	<i>Potamanthus luteus</i>
13	Sphaeriidae	Sphaeriidae	Lepidostomatidae	Leptoceridae	Lumbriculidae	Tubificidae/Naididae	Lumbriculidae	Tubificidae/Naididae
	<i>Pisidium</i> sp.	<i>Pisidium</i> sp.	<i>Lepidostoma hirtum</i>	<i>Mystacides azurea</i> <i>Athripsodes</i> ssp.	<i>S. heringianus</i>		<i>S. heringianus</i>	
14	Rhyacophilidae	Lymnaeidae	Hydroptilidae	Dreissenidae	Tubificidae	Naucoridae	Leptoceridae	Hydropsychidae
		<i>Radix balthica</i>	<i>Hydroptila</i> sp.	<i>D. polymorpha</i>		<i>A. aestivalis</i>		<i>Hydropsyche</i> ssp.
15	Lumbriculidae	Lumbriculidae	Lumbriculidae	Ancylidae	Asellidae	Lepidostomatidae	Baetidae	Haplotaenidae
		<i>S. heringianus</i>	<i>S. heringianus</i>	<i>Ancylus fluviatilis</i>	<i>Asellus aquaticus</i>	<i>Lepidostoma hirtum</i>	<i>Baetis</i> sp.	<i>Haplotaenidius gordioides</i>

<i>A. aestivalis</i>	<i>Aphelocheirus aestivalis</i>	<i>G. pulex</i> -Gruppe	<i>Gammarus pulex</i> und <i>G. fossarum</i>
<i>B. lutheri</i> -Gruppe	<i>Baetis lutheri</i> und <i>B. vardarensis</i>	<i>H. contubernalis</i>	<i>Hydropsyche contubernalis</i>
<i>C. curvispinum</i>	<i>Chelicorophium curvispinum</i>	<i>H. incognita</i> -Gruppe	<i>Hydropsyche incognita</i> u. <i>H. pellucidula</i>
<i>C. lepida</i>	<i>Cheumatopsyche lepida</i>	<i>H. sulphurea</i>	<i>Heptagenia sulphurea</i>
<i>D. polymorpha</i>	<i>Dreissena polymorpha</i>	<i>N. bimaculata</i>	<i>Neureclipsis bimaculata</i>
<i>D. villosus</i>	<i>Dikerogammarus villosus</i>	<i>P. antipodarum</i>	<i>Potamopyrgus antipodarum</i>
<i>E. ischnus</i>	<i>Echinogammarus ischnus</i>	<i>S. heringianus</i>	<i>Stylodrilus heringianus</i>
<i>G. roeselii</i>	<i>Gammarus roeselii</i>		

3 > Schlussfolgerungen, Ausblick

Die Besiedlung der Hochrheinsohle mit Makroinvertebraten hat sich in den Jahren 2000 bis 2006/07 erneut deutlich verändert. Ursache dafür ist die Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten (Neozoen). Es gibt deutliche Anzeichen, dass neozoische Arten angestammte, typische Hochrheinarten in ihrem Bestand stark gefährden.

3.1 Die Hochrheinsohle – 20 Jahre nach dem Brand in Schweizerhalle

Kurz nach dem verheerenden Brand eines Chemielagers bei Schweizerhalle im November 1986 gelangte giftiges Löschwasser in den Hochrhein. Mit der rheinabwärts fließenden Giftwelle wurden die meisten wirbellosen Kleinlebewesen auf der Flusssohle von Basel bis weit in den südlichen Oberrhein hinein vernichtet. Auch viele – vor allem bodennah lebende – Fische fielen dieser Umwelt-Katastrophe zum Opfer. Das Wiederbesiedlungspotenzial des Hochrheins und seiner grösseren Zuflüsse war indes so hoch, dass sich weniger als ein halbes Jahr danach die Benthosbiozönose wieder vollständig erholt hatte.

Der Unfall traf den Rhein zu einer Zeit, als die Ergebnisse des qualitative Gewässerschutzes der 80er-Jahre Früchte trugen und die Rheinwasserqualität wieder so gut war, dass einer Besiedlung des Flusses mit anspruchsvollen Tierarten eigentlich nichts mehr im Wege stand. Ohne die Wasserqualität aus den Augen zu verlieren, rückte nun der hydromorphologische Zustand des Rheins, also die Qualität des Gewässers und nicht mehr nur des Wassers, in den Fokus der Gewässerschutzarbeit. Teile der EG-Wasser-rahmenrichtlinie und der Anhang 1 der Schweizerischen Gewässerschutzverordnung haben unter anderem aus solchen Beobachtungen und Überlegungen heraus entstandene Forderungen aufgenommen.

Die Hoffnung, dass eine konsequente Verbesserung (Renaturierung) von degradierten Gewässerabschnitten auch faunistisch wieder ursprüngliche Verhältnisse im Rhein schaffen könnte, bestimmte daher bis Mitte der 90er-Jahre die Bestrebungen der IKSR und die Beurteilungen der Ergebnisse der Koordinierten Biologischen Untersuchungen am Rhein [34, 36, 37]. Die bodenlebenden Makroinvertebraten gewannen an Bedeutung als Struktur-Indikatoren und es wurden Zielarten definiert [36], deren Wiederscheinen oder Wiederausbreitung als Ziel von Schutz- und Verbesserungsmaßnahmen betrachtet wurde.

Zwischenzeitlich hatte ein anderes, biologisches Phänomen den Indikatorwert der Makroinvertebraten wieder auf die Probe gestellt. Die Fertigstellung des Rhein-Main-Donau-Kanals im Jahr 1992 hatte einen intensiven Faunenaustausch zwischen den

grossen Flusssystemen Rhein und Donau zur Folge, die zuvor zoogeografisch voneinander getrennt waren. Fast gleichzeitig mit dieser Entwicklung breiteten sich auch Neozoen aus dem Deltarhein und dem Norddeutschen Kanalsystem rheinaufwärts aus. Die ungewöhnlich rasche Ausbreitung einiger dieser Neozoen im Rhein (mehr als 30 Fluss-km in wenigen Monaten oder gar Wochen [38]) lassen den Schluss zu, dass diese Tiere nicht etwa aktiv und flussaufwärts eingewandert sind, sondern dass eine Verschleppung per Schiff oder durch einen anderen Vektor rheinaufwärts erfolgte. Dort konnten sich Inizialpopulationen etablieren, die sich ohne Hindernisse und sozusagen «in Fliessgeschwindigkeit» flussabwärts ausbreiten konnten.

Die ersten, als invasiv anzusprechenden Arten *Dikerogammarus haemobaphes* - der später durch *Dikerogammarus villosus* verdrängt wurde – und *Corbicula fluminea* hatten etwa 1995 den Hochrhein erreicht. In den folgenden Jahren bis 2002 kam es zu den bereits vorgestellten Massenvermehrungen von insgesamt neun eingeschleppten Arten im unteren, schiffbaren Abschnitt des Hochrheins [38]. Erst dann gelang es *Corbicula fluminea*, später auch *Dikerogammarus villosus* die Grenze der Grossschiffahrt bei Rheinfeldern zu überwinden. Mit der Ausbreitung eben dieser beiden Arten nun auch im Bodensee, der Aare, dem Zürichsee und der Limmat sind die naturnahen Abschnitte des oberen Hochrheins quasi «in die Zange genommen» worden. Während der Untersuchungskampagnen im Herbst 2006 und in Frühjahr 2007 konnte das Eindringen von *Dikerogammarus villosus* in den Hochrheinabschnitt A (Hemishofen), die Massenvermehrung von *Corbicula fluminea* bei Sisseln, ihre Inizialpopulation bei Waldshut und der Beginn der Massenvermehrung von *Jaera sarsi* bei Sisseln dokumentiert werden. 20 Jahre nach der Brandkatastrophe bei Schweizerhalle erlaubt zwar die Wasserqualität des Rheins wieder eine standortgerechte Besiedlung der Rheinsohle mit Makroinvertebraten, die invasiven Neozoen drohen nun jedoch, die angestammten Benthosbiozöten zu verdrängen.

3.2 Beurteilung der Untersuchungsergebnisse 2006/2007

3.2.1 Rahmenbedingungen und Qualität der Ergebnisse

Wie bereits erwähnt, fanden die Koordinierten Biologischen Untersuchungen am Hochrhein 2006/ 2007 unter sehr günstigen Wetter- und Abflussbedingungen statt. Da zudem die Entwicklung der Wasserinsekten im warmen April 2007 sehr weit fortgeschritten war, waren die meisten Taxa gut bestimmbar. Durch die gegenüber den Untersuchungskampagnen 1990, 1995 und 2000 fehlende Sommerbeprobung sind jedoch einige Arten nicht enthalten (z.B. Bryozoa) oder unterrepräsentiert. Trotzdem zeigen die Ergebnisse dieser Kampagne ein weitgehend repräsentatives Bild der aktuellen Besiedlung der Hochrheinsohle mit Wirbellosen.

Die landgestützte anstelle einer bootsgestützten Taucherprobenahme hatte unter den günstigen Bedingungen keine Auswirkungen auf die Qualität der Untersuchungen. Dem geringeren apparativen Aufwand beim Tauchereinsatz stand eine umfassendere Dokumentation der jeweiligen Flussquerschnitte und ihrer Besiedlung (Probstellen-

charakteristik, Unterwasseraufnahmen und Lebendaufnahmen unter dem Binokular) gegenüber. Im Rahmen der Benthosuntersuchungen fanden im Bereich der untersuchten Flussquerschnitte auch Jungfischkontrollen mit dem Elektrofischgerät statt [12]. Hierbei wurden unter anderem neue Informationen über das Vorkommen einiger Grosskrebsarten gewonnen. Insgesamt hat sich der Informationsstand über die Besiedlung der Hochrheinsohle mit wirbellosen Kleinlebewesen durch die aktuellen Untersuchungen 2006/2007 weiter verbessert.

3.2.2 Besiedlungsdichten und Biomassen

Die Parameter Besiedlungsdichte und Biomasse spiegeln das Potenzial biologischer Produktivität eines Flussabschnitts wider. Aus den Ergebnissen der früheren Rheinuntersuchungen wissen wir, dass der Hochrhein diesbezüglich eine besondere Stellung einnimmt. So sind Besiedlungsdichten von mehr als 30 000 Individuen/m² mehrfach belegt und auch hohe Biomassen waren zumindest im Rheinabschnitt A keine Seltenheit, wo sich seit etwa Mitte der 1970er Jahre die Zebrauschel *Dreissena polymorpha* massenhaft vermehrt hatte. Überall, wo *Dreissena polymorpha* fehlte oder selten war und angestammte, typische Hochrheinarten dominierten, war die Biomasse erheblich niedriger, obwohl stellenweise ebenso viele Individuen pro Quadratmeter lebten (z.B. an den Flussquerschnitten von Ellikon und Rietheim) [34, 36, 37].

Besiedlungsdichten und Biomassen sind grundsätzlich durch folgende Faktoren limitiert:

- > die Nahrung
- > die Besiedelbarkeit des Sohlensubstrats
- > das Ausmass der Störungen im Jahresverlauf.

Im Zuge der deutlichen Verbesserung der Wasserqualität im Rhein kam es zu einem Rückgang der organischen Belastung durch Nährstoffe. Diese beeinflussen die pflanzliche Produktion (v.a. den Aufwuchs) und damit das Nahrungsangebot für die Weidgänger und Filtrierer. Die invasive Ausbreitung von Neozoen im Hochrhein legt nun den Schluss nahe, dass das Produktionspotenzial im Hochrhein nicht durch das Nährstoffangebot limitiert ist; *Corbicula fluminea* könnte sonst bei Sisseln nicht lokale Bestände von bis zu 100 kg/m² erreichen.

Eine Limitierung der Besiedlung ergibt sich vielmehr durch die jeweilige Eignung des Substrats als Siedlungsraum. Dabei ist die Körbchenmuschel von allen beobachteten Makroinvertebraten die am wenigsten anspruchsvolle Art und damit ein typischer Generalist. Sie siedelt im Fluss und im See, fast auf jedem Substrat und an allen Stellen, an denen sie nicht Gefahr läuft, abgedriftet zu werden und an denen sie Nahrung aus der fliessenden Welle filtrieren kann. Zur Besiedlung durch sessile Arten (z.B. *Dreissena polymorpha* und *Chelicorophium curvispinum*) eignet sich nur umlagerungsstabiles Substrat, wie es innerhalb der staubeeinflussten Strecken und an verbauten Ufern der Hochrheinabschnitte C und D häufig ist. An solchen Stellen können diese Arten dann extrem hohe Besiedlungsdichten erreichen [37].

3.2.3 Besiedlungsdichten und Biomassen als Indikatoren

Die Untersuchungsergebnisse 2006/2007 zeigen, dass die Aspekte Besiedlungsdichte und Biomasse vor dem Hintergrund einer weiteren Neozoenausbreitung deutlich an Indikatorwert gewinnen. Es zeichnet sich immer mehr ab, dass an Rheinstellen, die aufgrund ihrer vielfältigeren Teillebensräume, ihrer stärkeren Abfluss- und Strömungsamplituden und stärkeren Sohlenbewegung auf die Besiedlung selektierend wirken, der Anteil von Generalisten und von Neozoen, die auf umlagerungsstabiles Substrat angewiesen sind, gegenüber den Spezialisten klein bleibt.

Als Kriterien für ökologisch funktionsfähige, naturnahe Hochrheinabschnitte sind dabei zu nennen:

- > Der Anteil angestammter Arten bleibt gegenüber invasiven Neozoen hoch.
Begründung: Naturnahe Abschnitte wirken selektierend und weisen deshalb einen grossen Teil spezialisierter, oft strömungsliebender Arten auf. Diese besitzen einen Konkurrenzvorteil gegenüber eingeschleppten Arten;
- > Die Biomassen der Benthosbewohner bleiben relativ niedrig.
Begründung: der Anteil gebietsfremder (neozoischer und expansiver) Arten mit Massenvermehrung bleibt klein. Angestammte Arten zeigen innerhalb naturnaher Abschnitte bisher relativ kleine Biomassen.
- > Besiedlungsdichten und Biomassen variieren im Flussquerschnitt zwischen ufernahen und uferfernen Arealen aber auch jahreszeitlich stark.
Begründung: Naturnahe Stellen zeigen ein vielfältiges Mosaik von verschiedenen Teillebensräumen (Choriotope) – abhängig von unterschiedlichen Strömungsmustern im Profil. Diese Choriotope sind unterschiedlich dicht und von unterschiedlichen Arten besiedelt.

Kriterien für ökologisch defizitäre, degradierte Hochrheinabschnitte sind dagegen:

- > Der Anteil angestammter Arten (Besiedlungsdichte und Biomasse) nimmt gegenüber invasiven Neozoen deutlich ab und beträgt nicht mehr als 30 % (Erfahrungswert Hochrhein).
Begründung: Auf Neozoen oder expandierende Arten selektierend wirkende Faktoren fehlen oder wirken nicht in ausreichendem Masse. Neozoen, die auf umlagerungsstabiles Substrat angewiesen sind, können flächendeckend siedeln.
- > Die Biomassen der Benthosorganismen können innerhalb kurzer Zeit um ein Vielfaches des bisherigen Wertes zunehmen.
Begründung: der Anteil gebietsfremder (neozoischer und expansiver) Arten mit Massenvermehrung steigt an. Verbliebene angestammte Arten spielen für die Gesamtbiomasse kaum mehr eine Rolle. Auch nach einer Phase der Massenvermehrung einzelner Arten bleibt die durchschnittliche Biomasse hoch.
- > Besiedlungsdichten und Biomassen sind auf grösseren ufernahen und uferfernen Arealen des Flussquerschnitts ähnlich hoch
Begründung: Die monotone Sohlenstruktur lässt ähnliche Besiedlungsdichten und Biomassen zu. Unterschiede korrelieren grossräumig mit Strömungsunterschieden zwischen Ufer und Flussmitte sowie mit den jeweils dominanten Substratkategorien.

Was zeigen die Besiedlungsvergleiche der letzten 17 Jahre

Ein Vergleich der Ergebnisse der vier Untersuchungskampagnen im Hochrhein seit 1990 [34, 36, 37] lässt auffällige Änderungen in der Benthosbesiedlung erkennen. Vor allem in Hochrheinabschnitt D war ein deutlicher Rückgang oder gar das Verschwinden verschiedener Arten zu beobachten. Betroffen waren dabei:

- > die Flohkrebse *Gammarus pulex*, *Gammarus fossarum* und *Gammarus roeselii*
- > die Schnecke *Bithynia tentaculata*
- > die Köcherfliege *Cheumatopsyche lepida*
- > sämtliche Kriebelmückenarten (Simuliidae)
- > sämtliche Eintagsfliegenarten der Gattung *Baetis* sowie *Heptagenia sulphurea*
- > sämtliche Planarien (Strudelwürmer)

Bereits im Jahr 2004 war das völlige Verschwinden der im Abschnitt D noch 1995 dominierenden Flusskahnschnecke *Theodoxus fluviatilis* und ein massiver Rückgang der Zebramuschel *Dreissena polymorpha* oberhalb des Staus Birsfelden zu beobachten [38].

Für die Abschnitte A und B liegen dagegen – trotz des auffälligen Bestandsrückgangs einiger Köcherfliegenart (vgl. Abb. 2.29 c und d) - noch keine deutlichen Anzeichen für eine dauerhafte Änderung der Benthoszusammensetzung vor. Ob sich das in den nächsten Jahren ebenfalls ändert, hängt von der mehr oder weniger starken «Immunität» naturnaher Flussabschnitte gegenüber einer Ausbreitung invasiver Neozoen ab. Auch durch einen erwarteten anhaltenden Anstieg der mittleren Wassertemperaturen im Rhein dürften potamale gegenüber hyporhithralen oder gar epirhithralen Faunenelementen gefördert werden.

3.2.4 Der Hochrhein als Arten- und Lebensraumreservoir

Aus Vergleichen mit Untersuchungen, die vor rund 100 Jahren durch Lauterborn, Felber und Ris [24, 16, 39] durchgeführt wurden, wissen wir, dass im Hochrhein früher Arten häufig waren, die nach 1955 im Hochrhein fehlten [23]. Hierzu gehören 5-8 Eintagsfliegen- und Köcherfliegenarten, 2-3 Grossmuschelarten, Edelkrebse und mehrere Libellenarten. Berücksichtigt man, dass bei den zitierten Arbeiten einige Grossgruppen wie die Dipteren, die Turbellarien und die Anneliden nur marginal behandelt wurden und dass noch keine Proben von der tieferen Rheinsohle genommen wurden, kann man von einer noch grösseren Zahl aus dem Hochrhein verschwundener Arten ausgehen.

Ein sehr grosser Teil der damals nachgewiesenen Arten lebt auch heute noch an geeigneten Stellen im Hochrhein – bis zu 100 verschiedene Taxa innerhalb eines einzigen untersuchten Flussquerschnitts. In der aktuellen Untersuchungskampagne wurden insgesamt 201 Makroinvertebratenarten nachgewiesen, bei der Kampagne im Jahr 2000 (mit rund 90 zusätzlichen Uferprobestellen) lag die Gesamtzahl der nachgewiesenen Taxa bei 232. Davon sind 16 Arten als gebietsfremd einzustufen.

Im Abschnitt D konnte ein Bestandesrückgang verschiedener Arten beobachtet werden. Diese werden durch Neozoen ersetzt, wahrscheinlich sogar von diesen verdrängt. Eine Kompensation der Verluste angestammter Arten aus oberhalb liegenden Flussabschnitten oder Zuflüssen findet kaum mehr statt. Dagegen funktionieren die nötigen Austauschprozesse noch zwischen den Rheinabschnitten A, B und C [38]. Die Bedeutung der naturnah verbliebenen Flussabschnitte für diese Prozesse und den Erhalt des Artenreservoirs wurde in allen bisherigen Berichten zu den Koordinierten Biologischen Untersuchungen festgestellt [34, 36, 37]. Dies ist auch der Grund für die Forderung nach einem gewässerökologischen Schutzstatus für diese Hochrheinabschnitte. Eine analoge Forderung, vor allem bezüglich der Erhaltung und Wiederherstellung von Auenbereichen, enthalten die Entwicklungsziele des Programms «Rhein 2020» der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins [47]. Mit der Massenbesiedlung invasiver Neozoen gewinnen diese Forderungen weiter an Bedeutung [37].

Aus den bisherigen Ausführungen ist ersichtlich, dass eine wichtige, bereits 2004 getroffene Aussage [38] für die Benthosbiozönosen des Hochrheins immer mehr an Bedeutung gewinnt:

- > Viele angestammte Rheinarten können sich nur an Stellen behaupten, die vom Wiederbesiedlungspotenzial aus oberhalb liegenden Rheinabschnitten profitieren. Dieses Potenzial muss abgedriftete oder verdrängte Individuen ersetzen können. Sowohl für die Eindrift als auch für die aktive Wanderung und den Kompensationsflug von Wasserinsekten müssen «Ökologische Trittsteine», Bereiche mit hohem Reservoir autochthoner Arten, nahe genug beisammen liegen, um einen entsprechenden Individuenaustausch garantieren zu können.
- > Verbliebene grossräumige Trittsteine, die aufgrund ihrer selektierenden Lebensraumbedingungen die Konkurrenzfähigkeit angestammter Arten fördern, finden sich im Hochrhein unterhalb des Bodensee-Abflusses, zwischen Schaffhausen und Rheinau, unterhalb Rheinau bis zum Stau Eglisau sowie zwischen Zurzach und der Aaremündung [38]. So ist es nicht überraschend, dass noch einigermaßen gut durchströmte Rückstaubereiche, wie sie vom Flussquerschnitt am Tössegg repräsentiert werden, eine zeitweise besonders artenreiche Benthosfauna aufweisen (vgl. Abb. 2.8), weil sich hier die Biozönosen eines freifliessenden mit denen eines gestauten Abschnittes überschneiden. In den oberen beiden Hochrheinabschnitten spielen darüber hinaus Kompensationsflüge von Wasserinsekten in beide Richtungen eine Rolle, dies auch für Stellen, an denen der Fluss selbst keine optimalen Siedlungsbedingungen mehr bietet.

Ab ca. Rhein-km 100 (Waldshut-Felsenau) ändert sich das Wiederbesiedlungspotenzial im Hochrhein grundsätzlich. Selbst der besonders produktive ökologische Trittstein zwischen Zurzach und Koblenz wirkt - wie auch die in diesen Rheinabschnitt mündenden Schwarzwaldzuflüsse - nur noch wenige Kilometer flussabwärts, bevor sein Potenzial von einer Staustufenstrecke mit grosser Wassertiefe und geringer struktureller Variabilität «verschluckt» wird. Viele rheintypische Wasserinsekten können hier ihren Lebenszyklus nur noch eingeschränkt vervollständigen, da für sie geeignete Eiablage- und Schlupfplätze selten sind [38]. Kleinräumige naturnahe Abschnitte und Uferbereiche im unteren Hochrhein bleiben jedoch von grosser Bedeutung für das angestammte

Artenspektrum. Hierzu gehören beispielsweise die turbulenten Fließstrecken unterhalb der Kraftwerkstufen Rhyburg-Schwörstadt und Rheinfelden («Gwild»).

Abb. 3.1 > Fließcharakter und ökologische Trittsteine

Oben: Fließcharakter

Unten: Wiederbesiedlungspotenzial angestammter Makroinvertebratenarten sowie Grösse und Einflussbereich ökologisch bedeutender Trittsteine. Abbildung aus [38], verändert.

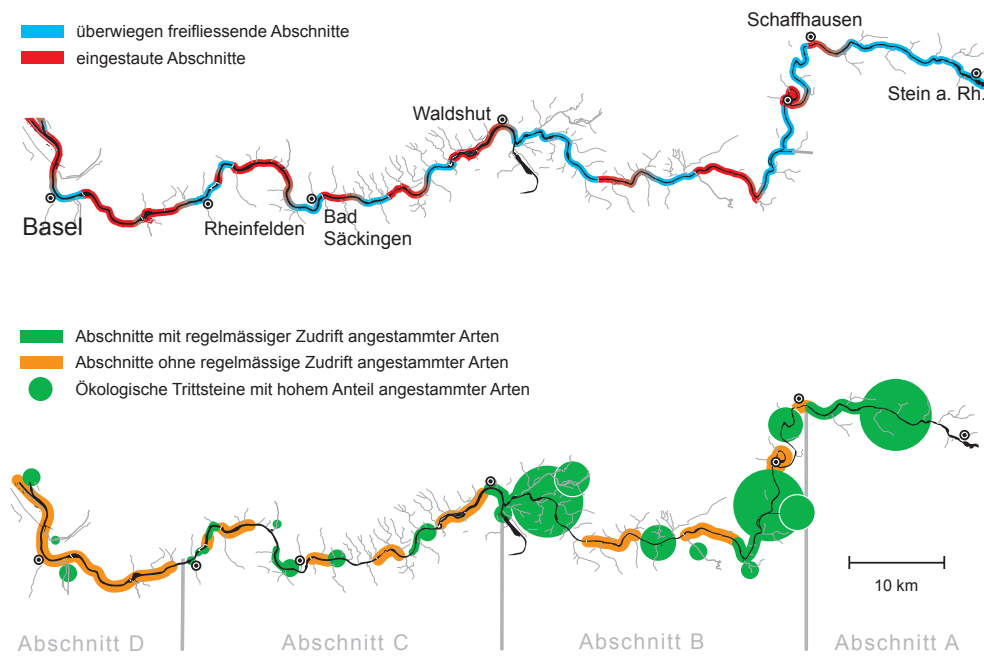


Abbildung 3.1 verdeutlicht, dass die Abfolge und Dimension ökologischer Trittsteine am Hochrhein vielerorts nicht ausreichen, um den Bestand des autochthonen Artenreservoirs auch bei einer weiteren Ausbreitung invasiver Neozoen zu sichern. Gelingt es, die grossräumigen Trittsteine im Hochrhein zwischen Bodensee und Aarenmündung zu erhalten und weitere selektierende Lebensräume in dichter Abfolge zurück zu gewinnen, so kann für den Hochrhein – zumindest was die Wasserinsekten angeht – eine angemessene Artendiversität erhalten bleiben [38].

3.2.5 Der zunehmende Einfluss gebietsfremder Arten am Hochrhein

Die Ergebnisse der Hochrheinuntersuchungen 2006/2007 bestätigen frühere Prognosen [37, 38] über den Einfluss gebietsfremder Arten auf die Benthosfauna des Hochrheins. Folgende Entwicklungen können festgehalten werden:

- > Seit ca. 1995 kam es im Hochrhein zu einer Einschleppung von bisher neun verschiedenen hololimnischen Neozoenarten. Sechs von ihnen zeigen Tendenz zur Massenvermehrung und invasivem Raumnutzungsverhalten; drei weitere Arten blieben unauffällig. Nur eine der eingeschleppten Arten (*Dikerogammarus haemobaphes*) ist wieder aus dem Hochrhein verschwunden.

- > Die invasiven Neozoen zeigen an ihren Ausbreitungsfronten besonders dichte Besiedlung. Dies lässt darauf schliessen, dass der Besiedlungsprozess – jeweils von einer eingeschleppten Inizialpopulation ausgehend – flussab stattfindet.
- > Die im Hochrhein vorhandene Nahrungsgrundlage wirkt sich auf die Massenvermehrung von invasiven Neozoen nicht limitierend aus. Grenzen werden ihnen lediglich durch das jeweilige Lebensraumangebot und die selektiv wirkenden Umgebungsfaktoren (Temperatur, Strömung, Substrat) gesetzt.
- > Zumindest im untersten Hochrheinabschnitt D scheinen angestammte Arten durch invasive Neozoen verdrängt zu werden. Zumindest von *Dikerogammarus villosus* und *Echinogammarus ischnus* ist bekannt, dass sie u.a. auch als Räuber agieren und damit direkt auf die anderen Makroinvertebraten einwirken können [38].
- > In den naturnahen Hochrheinabschnitten kam es entweder noch nicht zu einer Einschleppung invasiver Neozoenarten oder sie konnten sich bislang noch nicht etablieren (Abschnitt B) oder sie zeigen noch keinen entscheidenden Einfluss auf die jeweilige Benthosbiozönose (z.B. *Dikerogammarus villosus* in Abschnitt A).
- > Ein überwiegender Teil der biozönotisch bedeutenden Neozoenarten stammt aus dem pontokaspischen Raum. Vor allem von dort werden weitere invasive Arten im Hochrhein erwartet, die bereits für den Oberrhein nachgewiesen wurden. Besonders gravierende Auswirkungen dürften weitere Gammaridenarten sowie die erst kürzlich eingeschleppte Quagga-Muschel haben.

Der überwiegende Teil der Neozoen, die bisher im Oberrhein, Hochrhein, Bodensee und in einigen Schweizer Gewässern Massenvermehrungen gezeigt haben, dürfte durch Schiffe und Wanderboote eingeschleppt worden sein. Aber auch der Aquarienhandel, Fischzuchten, Wassersport (Tauchen und Angeln) und möglicherweise auch Wasservögel sind als Vektoren von unterschiedlich starker Bedeutung zu berücksichtigen [35].

3.3 Erkenntnisse und Konsequenzen für den Gewässerschutz

Im Übereinkommen zum Schutz des Rheins [1] verpflichten sich die Vertragsparteien, zu denen auch die Schweizerische Eidgenossenschaft zählt, dazu, internationale Messprogramme und Untersuchungen des Ökosystems Rhein auf ihrem Hoheitsgebiet durchzuführen und die Kommission über deren Ergebnisse zu informieren.

3.3.1 Gewässerschutzziele

Als Konsequenz aus dem Übereinkommen wurden die Aktionsprogramme der Internationalen Rheinschutzkommission (IKSR) und damit auch die Koordinierten Biologischen Untersuchungen am Hochrhein durchgeführt. Das Übereinkommen ist «...von dem Wunsch geleitet, aus einer ganzheitlichen Betrachtungsweise heraus auf eine nachhaltige Entwicklung des Ökosystems Rhein hinzuwirken, die dem wertvollen Charakter des Stroms, seiner Ufer und seiner Auen Rechnung trägt...» Damit entspricht es in allen Teilen den Vorgaben aus dem Schweizer GSchG, Art.1 [3] mit dem Anhang 1 der GschV und den grundsätzlichen Zielen der neuen Europäischen Wasserrahmenrichtlinie [2].

Die wichtigsten, das Ökosystem Hochrhein betreffenden Inhalte des Übereinkommens sind [1]:

- > Schutz der Populationen von Organismen und der Artenvielfalt sowie Reduzierung der Schadstoffbelastung in Organismen;
- > Erhaltung, Verbesserung und Wiederherstellung der natürlichen Fliessgewässerfunktion; Sicherung von Abflussverhältnissen, die dem natürlichen Geschiebetrieb Rechnung tragen und die Wechselwirkungen zwischen Fluss, Grundwasser und Aue begünstigen; Erhaltung, Schutz und Reaktivierung von Auegebieten als natürliche Überschwemmungsflächen;
- > Erhaltung, Verbesserung und Wiederherstellung möglichst natürlicher Lebensräume für wild lebende Tiere und Pflanzen im Wasser, im Sohlen- und Uferbereich sowie in angrenzenden Gebieten, einschliesslich der Verbesserung der Lebensbedingungen für Fische und der Wiederherstellung ihrer freien Wanderung;
- > Berücksichtigung ökologischer Erfordernisse bei technischen Ausbaumassnahmen am Gewässer wie z.B. im Bereich des Hochwasserschutzes, der Schifffahrt und der Wasserkraftnutzung;

Die Untersuchung der Benthosbesiedlung des Hochrheins ist ein internationales Messprogramm, das als Langzeitmonitoring ausgelegt auf die Ziele und Grundsätze der Übereinkunft hinarbeitet. Konkret soll

- > Zusammen mit den anderen Modulen eine biologische Charakterisierung des Hochrheins innerhalb unterschiedlicher Abschnitte durchgeführt werden;
- > Die Kenntnis über das Arteninventar der Makroinvertebraten im Hochrhein vertieft und vervollständigt werden;
- > Veränderungen in der Besiedlung des Hochrheins mit Benthosorganismen dokumentiert und erklärt werden;
- > Die Informationen über Ist-Zustand und Veränderungen dazu beitragen, ökologische Defizite aufdecken zu können;
- > Die Interpretation der Ergebnisse einen Beitrag zu gezielter Gewässerschutzarbeit am Hochrhein leisten.

3.3.2 Konsequenzen für die Gewässerschutzarbeit am Hochrhein

Folgt man den Zielen, Grundsätzen und Verpflichtungen in der Übereinkunft zum Schutz des Rheins, welche von der Schweiz und der Bundesrepublik Deutschland unterzeichnet wurden, so hat dies auch für den Gewässerschutz am Hochrhein weitreichende Konsequenzen. Gemäss dem Übereinkommen zum Schutz des Rheins [1] muss die Erhaltung, Verbesserung und Wiederherstellung der natürlichen Fliessgewässerfunktion sowie möglichst natürlicher Lebensräume vorangetrieben werden. Hierunter sind nicht nur lokale Revitalisierungsmassnahmen am Hochrheinufer zu verstehen, sondern Massnahmen, die dem Flusssystem als Ganzem zu mehr natürlicher Funktionsfähigkeit verhelfen können. Erste Ansätze im Zusammenhang mit einer möglichen Geschiebweiterleitung über die Flussstaue hinweg werden bereits verfolgt [30].

Dass die Verpflichtung, die Forderungen der Übereinkunft zu erfüllen, nicht allein Aufgabe des Gewässerschutzes sein kann, liegt nahe. Die gesamte Wasserwirtschaft, das sind neben dem Gewässerschutz auch die Institutionen des Hochwasserschutzes und Wasserbaus, die Energienutzer und alle sonstigen direkten und indirekten Nutzer des Hochrheins, müssen sich dem Übereinkommen und seinen Konsequenzen gegenüber in der Verantwortung sehen.

Die Wasserqualität des Hochrheins konnte in den letzten 17 Jahren auf gleichbleibend hohem Niveau gehalten werden (vgl. Kap. 1.3.4) und es wurden keine entscheidenden wasserbaulichen Veränderungen am Fluss mehr vorgenommen (bis auf den Neubau des KW Rheinfelden). Die massenhafte Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten auf der Hochrheinsohle zeigt jedoch, dass der Fluss ökologisch sensibler ist, als bis anhin vermutet wurde. Auf der anderen Seite wird noch einmal deutlich, wie wichtig naturnah verbliebene, freifliessende Rheinabschnitte sind und wie entscheidend sie zur Erhaltung der angestammten Rheinfrauna beitragen können. Die hierfür im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen dokumentierten neuen Belege werden durch die Ergebnisse der parallel dazu durchgeführten Jungfischkontrollen an denselben Flussquerschnitten [12] in ebenso deutlicher Form bestätigt.

3.3.3 **Ausblick für das Langzeitmonitoring**

Das Langzeitmonitoring der Benthosbesiedlung in der hier vorgestellten Form ist eine wichtige Informationsquelle zum ökologischen Zustand des Hochrheins. Die analogen Programme im restlichen Rhein wurden bis zum Jahr 2000 ebenfalls mit hohem Untersuchungsaufwand und vergleichbar gutem Erfolg betrieben. Infolge neuer Prioritäten, welche die Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie mit sich brachte, wurde dort nun leider auf einige der bisherigen Untersuchungsinhalte und Kampagnen verzichtet. Umso wichtiger ist es, dass das Hochrheinprogramm im schweizerisch-deutschen Grenzgebiet auch in den Jahren 2006/2007 mit gleichbleibendem Stellenwert und auf dem bisherigen Niveau weitergeführt werden konnte. So war sichergestellt, dass Unterschiede in den Ergebnissen der letzten 17 Jahre tatsächlich als ökologische Veränderungen interpretiert werden konnten und nicht etwa auf unterschiedliche methodische Vorgehensweisen zurückzuführen sind.

Die Bearbeiter haben in Rücksprache mit dem BAFU allerdings für die Hochrheinuntersuchungen ein leicht verändertes Konzept vorgestellt und umgesetzt. Hierzu gehörte es, auf die bisherige Probenahme im Sommer ganz zu verzichten, die zwei anderen Untersuchungskampagnen aber zeitlich so zu legen, dass möglichst viele der im Hochrhein vertretenen Taxa erfasst werden konnten. Desweiteren wurde auf ein Boot für den Tauchereinsatz verzichtet, was kleinere Verschiebungen der Probenahmequerschnitte nötig machte.

Alles in allem kann das neue Konzept als gelungen beurteilt werden, zumal dabei – ohne Qualitätsverlust in wichtigen Punkten – gegenüber früheren Kampagnen sogar Kosten eingespart werden konnten. Es muss allerdings betont werden, dass das Bearbeiterteam im Herbst 2006 und im Frühjahr 2007 unerwartet günstige Abfluss- und

Wetterverhältnisse am Hochrhein vorfand, von denen künftig nicht ausgegangen werden kann.

Für eine Weiterführung des Langzeitmonitorings sind deshalb folgende Rahmenbedingungen festzuhalten:

- > Zwischen den einzelnen Untersuchungsprogrammen sollten nicht mehr als sechs Jahre liegen. Für die nächste Kampagne sollten daher die Jahre 2012 bis 2013 ins Auge gefasst werden. Besondere Aspekte, z.B. die weitere Entwicklung der Neozoenausbreitung, sollten separat verfolgt werden.
- > Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit denen früherer Untersuchungen zu gewährleisten, müssen wieder mindestens zwei Kampagnen pro Untersuchungsprogramm durchgeführt werden.
- > Die Termine für die zwei Kampagnen müssen flexibel gehandhabt werden und sich nach günstigen Abflussverhältnissen im Hochrhein orientieren können. Die Kampagnen eines Untersuchungsprogramms können (auf Basis der gesamtrheinischen Vorgehensweise) im Extremfall bis zu einem Jahr auseinander liegen.

> Anhang

A1 Charakterisierung der untersuchten Flussquerschnitte

Flussquerschnitt Hemishofen

Flussquerschnitt Rheinau

Flussquerschnitt Ellikon

Flussquerschnitt Tössegg

Flussquerschnitt Rietheim

Flussquerschnitt Waldshut/Felsenau

Flussquerschnitt Sisseln

Flussquerschnitt Pratteln/Schweizerhalle

Flussquerschnitt Basel

Copyright für alle Luftbilder: SWISSIMAGE © swisstopo (DV043734)

Tafel 1: Hemishofen (km 27,7; Code HEM)

Koordinaten CH 1903: 704450/281390

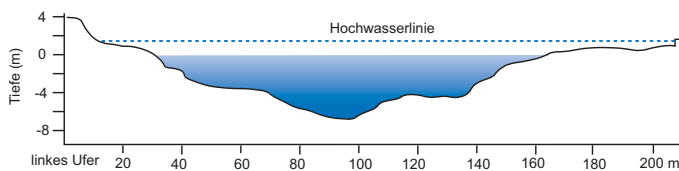


Lage des Flussquerschnitts
Höhe Strandbad Hemishofen

Fliesscharakter und Naturnähe

Freifliessend, natürlich bis naturnah, natürliches Profil, am rechten Ufer stellenweise Ufermauer.

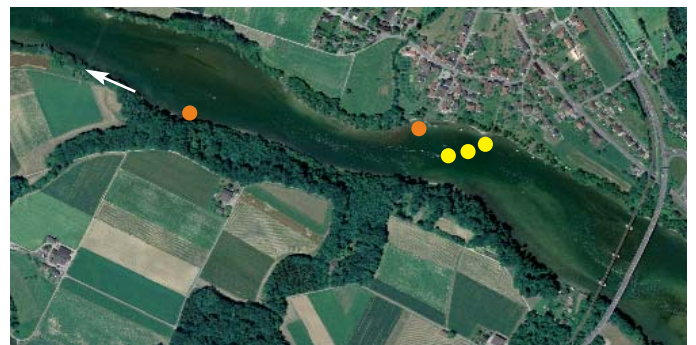
Querprofil



Repräsentierter Hochrheinabschnitt – Abschnitt A, Seeabfluss

Charakterisierung der Probenahmestelle

Die Stelle liegt nur ca. 3 km unterhalb des Bodenseeabflusses. Der breite (ca 160 m) Strom verläuft in weiten Windungen, wodurch eine vielfältige Strukturierung der Ufer und des Sohlenprofils entstand.



Probenahmestellen ● Ufer ● tiefe Sohle

Biologische Besonderheiten

Die Lage wenig unterhalb des Seeabflusses bestimmt weitgehend die Besiedlung der Stromsohle. Besonders häufig sind filtrierende Organismen, am auffälligsten die dichten Bestände der Zebrauschel *Dreissena polymorpha* und der netzbauenden Köcherfliege *Neureclipsis*. Vor allem an den Rändern der Strömungsrinne ist das Substrat durch biogene Kalkausfällungen verbacken. Diese porösen Kalktuffe bieten zahlreichen Benthosorganismen geeignete Verstecke und Besiedlungsflächen.

Biologische Veränderungen

Im Flussquerschnitt Hemishofen hat sich die Benthosbiozönose trotz Erscheinen des Höckerflohkrebses *Dikergammarus villosus* kaum verändert.

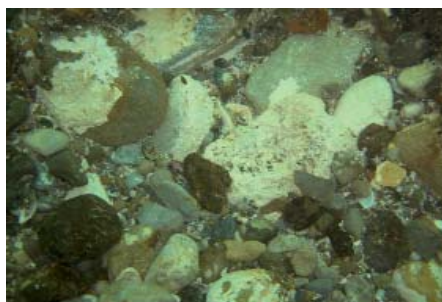


Flusssohle im Probeareal Hemishofen

Zebrauschel *Dreissena polymorpha*



Biogene Kalktuffe



Neureclipsis-Fangnetze



Tafel 2: Rheinau (km 55,6 Code RHE)

Koordinaten CH 1903: 688230/277620



Repräsentierter Hoahrheinabschnitt – Abschnitt B, Vollstau



Probenahmestellen ● Ufer ● tiefe Sohle



Sedimentbedeckung der Probeareale in Rheinau

Schlammfliege *Sialis*

Seefrosch

Wels



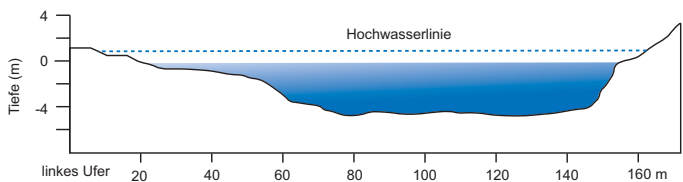
Lage des Probenahmequerschnittes

Ca. 500 m unterhalb Klosterinsel

Fließcharakter und Naturnähe

Eingestauter Restwasserabfluss, fast stehend, Profil naturnah, durch Sedimente z.T. nivelliert. Extensive Nutzungen nur am linken Ufer.

Querprofil



Charakterisierung der Probenahmestelle

Die Stelle liegt innerhalb der tief in den Fels eingeschnittenen Rheinschleife von Rheinau, rechtsufrig mit bewaldeten Steilhängen, linksufrig mit landwirtschaftlichen Nutzflächen. Die Rheinschleife bildet den grössten Restwasserbereich im Hoahrhein und hat ihren ursprünglichen Charakter als schnell und turbulent fließender Abschnitt verloren (Kraftwerkbau 1952-57). In dem nun fast stehenden Gewässer findet flächendeckend starke Sedimentation von Feinmaterial statt. Die Probestelle wurde gegenüber den letzten Kampagnen 2,5 km flussaufwärts verlegt

Biologische Besonderheiten

Viele Stillwasserarten unter den Wirbellosen (z.B. Asseln, Würmer, Schnecken, Schlammfliegen, Erbsenmuscheln, Egel, *Caenis horaria* und *C. luctuosa*) und besonders unter den Fischen (Wels, Hecht, Egli, Stichling Cypriniden). Über den gesamten Rhein z.T. starker Makrophytenbewuchs. Seefrosch ist verbreitet; Rotwangenschildkröten wurden öfter beobachtet.

Tafel 3: Ellikon (km 63; Code ELL)

Koordinaten CH 1903: 687020/273440



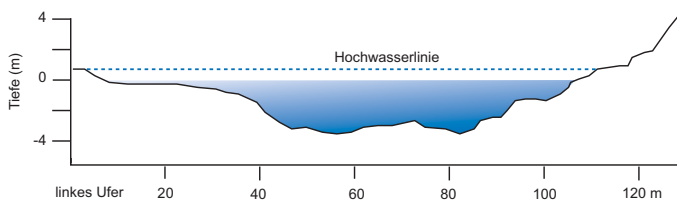
Lage des Probenahmequerschnittes

Ortsbereich Ellikon (Hotel Schiffli) ca 500 m rheinab

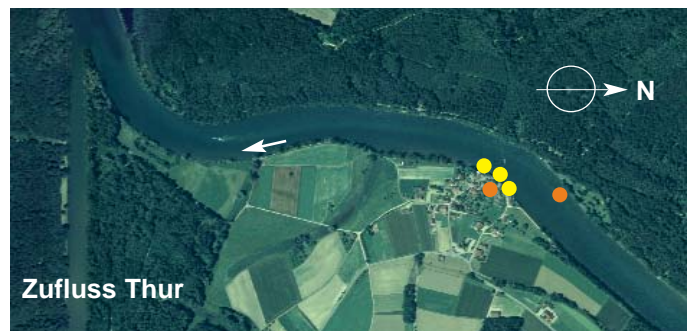
Fliesscharakter und Naturnähe

Freifliessend, turbulent, Profil natürlich und flachgründig. Nur im Dorfbereich von Ellikon stellenweise Ufermauer.

Querprofil



Repräsentierter Hochrheinabschnitt –



Zufluss Thur
Probenahmestellen ● Ufer ● tiefe Sohle

Charakterisierung der Probenahmestelle

Die Probenahmestelle liegt innerhalb eines noch naturnahen Rheinabschnitts oberhalb der Thurmündung. Es herrscht starke bis reissende Strömung vor; in der Hauptrinne werden Fliessgeschwindigkeiten von mehr als 2,5 m/sec an der Wasseroberfläche gemessen. Die Sohle besteht aus Lockersubstrat, es herrscht aber dennoch wenig Geschiebetrieb. Die Probestelle wurde gegenüber den letzten Kampagnen ca. 2 km flussaufwärts verschoben.

Biologische Besonderheiten

Die Stelle Ellikon zeichnet sich gegenüber den anderen Flussquerschnitten durch einen stellenweise flächendeckenden Makrophytenbewuchs aus, der hauptsächlich aus Flutendem Hahnenfuss (*Ranunculus fluitans*) auf schnell überströmten Flächen und schmalblättrigen *Potamogeton*-Arten im ruhig fliessenden Wasser besteht. Unter den Makroinvertebraten hohe Besiedlungsdichten von Simulien, Flußjungfern (Gomphiden), Hakenkäfern, grossen Steinfliegen (*Perlodes spec.*), Ephemerellidae, *Baetis*. Starker pflanzlicher Aufwuchs.



Typische Substratfläche im Probeareal Ellikon

Flutender Hahnenfuss



Simulien-Puppe (Kriebelmücke)



Steinfliege der Gattung *Perlodes*



Tafel 4: Tössegg (km 70,5; Code TÖS)

Koordinaten CH 1903: 684075/267475

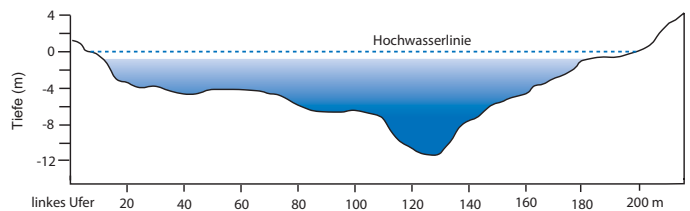


Repräsentierter Hochrheinabschnitt – Abschnitt B, Rückstau

Lage des Probenahmequerschnittes
am Scheitelpunkt der Rheinschleife bei Tössegg.

Fliesscharakter und Naturnähe
Eingestaut, aber in der Hauptrinne noch gut durchströmt. Profil natürlich, am linken Ufer Schifffahrt-
nutzung und Blockwurfsicherung.

Querprofil



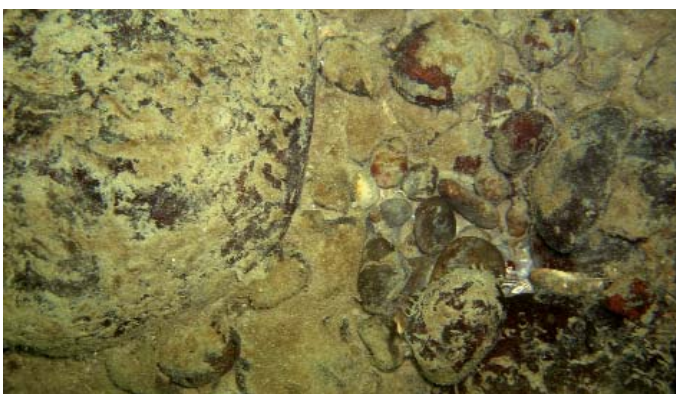
Probenahmestellen ● Ufer ● tiefe Sohle

Charakterisierung der Probenahmestelle

Die Rheinschleife ist tief eingeschnitten im Sedimentgestein, das auch auf der Stromsohle stellenweise freiliegt. Der tiefste Punkt des Profils befindet sich – je nach Wasserstand, auf 10,6 m bis 11,6 m. Die Probenahmestelle liegt im Rückstaubereich des Staus Eglisau, so dass bei geringen Abflüssen die Strömung stark reduziert ist. Im Gegensatz zum typischen Staubereich bei Rheinau findet am Tössegg starke Feinstoffsedimentation jedoch nur uferseitig statt.

Biologische Besonderheiten

Der Flussquerschnitt am Tössegg ist aufgrund seiner unterschiedlichen Teillebensräume und dem Anschluss an eine lange freifliessende Strecke und den Zufluss Töss sehr artenreich. Mehrfach wurden hier Grossmuscheln nachgewiesen, Kiemenwürmer (*Branchiura sowerbyi*) und andere Anneliden sind häufig. Viele Köcherfliegen mit Schlammköchern (*Psychomyia*, *Polycentropus*) sowie Zuckmückenlarven.



Mässig sedimentbedecktes Substrat bei Tössegg

Teichmuschel *Anodonta* sp.



Laichkrautbestände

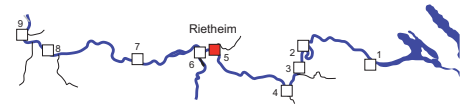


Schlammköcher von *Psychomyia*



Tafel 5: Rietheim (km 98,3; Code RIE)

Koordinaten CH 1903: 662460/273570



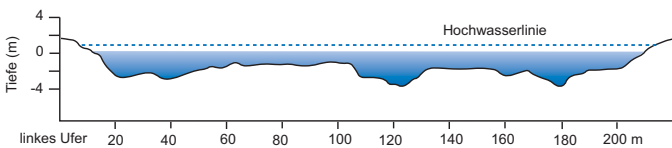
Lage des Flussquerschnittes

Picknickplatz «Alt Rhi» (oh. Koblenzer „Lauffen“)

Fließcharakter und Naturnähe

Freifliessend, turbulent, Profil natürlich und flachgründig. An beiden Ufern stellenweise Blockwurf.

Querprofil



Repräsentierter Hochrheinabschnitt – Abschnitt B, freifliessend



Probenahmestellen ● Ufer ● tiefe Sohle

Charakterisierung der Probenahmestelle

Der Probenahmequerschnitt liegt oberhalb der Stromschnellen des Koblenzer «Lauffen». Der hier teilweise über 200 m breite Rhein ist nur maximal 4 m tief, was zu starken lokalen Turbulenzen und differenzierten Strömungsmustern führt. Oberhalb der Probenahmestelle befindet sich eine kleine, bewaldete Kiesinsel (Alt Rhi), die der Rhein vor rund 50 Jahren gebildet hat.

Biologische Besonderheiten

An den flach auslaufenden Ufern des Hochrheins an dieser Stelle findet im Herbst intensive Reproduktion von Bachneunaugen statt. Bodenlebende Kleinfische wie die Gropen sind häufig, ebenso die neozoischen Kamberkrebse. Sehr häufig sind netzbauende Köcherfliegen der Gattung *Hydropsyche* sowie Goeriden u. Glossosomatiden, Hakenkäfer, *Calopteryx spec.*, *Baetis spec.* und Flohkrebse. Rietheim ist der Flussquerschnitt mit dem ausgeglichendsten Bestand an verschiedenen ursprünglichen Rhein-Biotopen. Aus diesem Grund entsprechen auch die Benthosbiozönosen zwischen Zurzach und Waldhut am ehesten der ursprünglichen Rheinfrauna.



Dicht besiedelte Flusssohle im Probenareal Rietheim

Laichende Bachneunaugen



Kamberkrebs

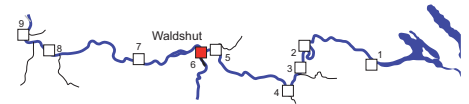


Groppe



Tafel 6: Waldshut-Felsenau (km 103.3; Code WAL)

Koordinaten CH 1903: 658920/274040



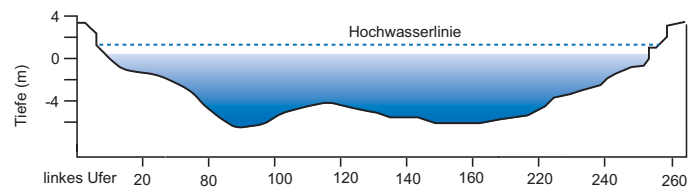
Repräsentierter Hochrheinabschnitt – Abschnitt C, Rückstau

Lage des Probenahmequerschnittes
zwischen Aaremündung und Waldshut-Schmittenuau

Fließcharakter und Naturnähe

eingestaut, dennoch schnellfließend, Profil unreguliert, an beiden Ufern Blockwurf oder Blocksatzsicherung.

Querprofil



Probenahmestellen ● Ufer ● tiefe Sohle

Charakterisierung der Probenahmestelle

Der Probenahmequerschnitt zeigt tendenziell zwei voneinander getrennte Rinnen (Rhein und Aare), die sich auch im Substratcharakter voneinander unterscheiden. Bei Waldshut-Felsenau mündet – betrachtet man Erdgeschichte und Gewässermorphologie – der Hochrhein in das deutlich ältere Aarebett, das auch tiefer eingegraben ist. Die Wassermengen, die die Aare zum gemeinsamen Fluss beiträgt, übertreffen meist diejenigen des Rheins. Von der Aaremündung abwärts ändert sich der Flusscharakter grundlegend und wird von einer höheren Wasserführung und einer ununterbrochenen Folge von Stauhaltungen geprägt.

Biologische Besonderheiten

Stabile *Dreissena*-Bestände und viele Schwämme. Im Herbst 2006 wurden erste kleine Körbchenmuscheln (*Corbicula fluminea*) gefunden. Auch *Dikerogammarus villosus* hat sich hier bereits ausgebreitet – wahrscheinlich im gleichen Jahr aus der Aare kommend. Direkt oberhalb der Aaremündung kommen beide Arten im Rhein noch nicht vor.



Lockeres, grobes Substrat auf der tiefen Sohle

Zebrauschel *Dreissena*

Hydropsyche-Netz

Symbiose von Schwamm und Algen



Tafel 7: Sisseln (km 126,6; Code SIS)

Koordinaten CH 1903: 641710/267440

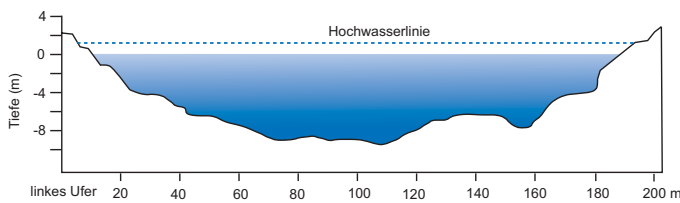


Lage des Probenahmequerschnittes
beim Pontonierverein Sisseln

Fließcharakter und Naturnähe

eingestaut, dennoch schnellfließend, Profil reguliert, linkes Ufer mit Ufermauer, rechts meist lockerer Blockwurf.

Querprofil



Repräsentierter Hochrheinabschnitt – Abschnitt C, Staustrecke



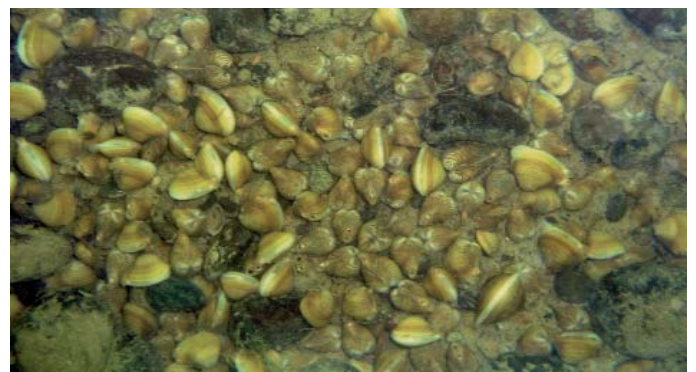
Probenahmestellen ● Ufer ● tiefe Sohle

Charakterisierung der Probenahmestelle

Obwohl die Stelle in einem Rückstau liegt, herrschen mittlere bis hohe Fließgeschwindigkeiten (0.5 bis 1.3 m/s) in Flussmitte. Durch den Kraftwerksbetrieb kann es hier innerhalb weniger Stunden zu Wasserspiegelschwankungen von mehr als 70 cm kommen. Das Sohlensubstrat ist auf der tiefen Sohle ähnlich grob wie bei Waldshut, aber stärker kolmatiert. Grössere Sandflächen findet man auch in Flussmitte, ufernah dominieren Feinsedimente.

Biologische Besonderheiten

Seit 2004 haben sich mit *Corbicula fluminea*, *Jaera sarsi*, *Dikerogammarus villosus* und *Hypania invalida* vier invasive Neozoenarten vor Sisseln ausgebreitet. Die Lebendgewichte der Körbchenmuscheln erreichen auf besonders dicht besiedelten Flächen mit rund 100 kg/m² die höchste je im Hochrhein dokumentierte organische Produktion. Auch die Donauassel *Jaera* siedelt hier stellenweise schon mit rund 2900 Individuen/m². Ufernah findet man wieder viele Schnecken (*Potamopyrgus*, *Bithynia*, *Valvata*) und Würmer (*Tubificidae*, *Naididae*). Unter den Fischen ist der Steinbeisser regelmässig anzutreffen.



Substrat im Probenareal – Massenbesiedlung von *Corbicula fluminea*

Im Sand eingegrabene Körbchenmuscheln



Jaera sarsi (Donauasseln)

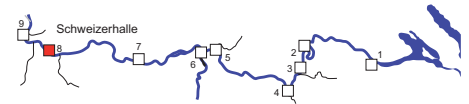


Steinbeisser



Tafel 8: Schweizerhalle-Pratteln (km 158,4; Code SHE)

Koordinaten CH 1903: 617805/264805



Repräsentierter Hochrheinabschnitt – Abschnitt D, Staustrecke



Probenahmestellen ● Ufer ● tiefe Sohle



Tiefe Flusssohle in der Schifffahrtsrinne vor Schweizerhalle

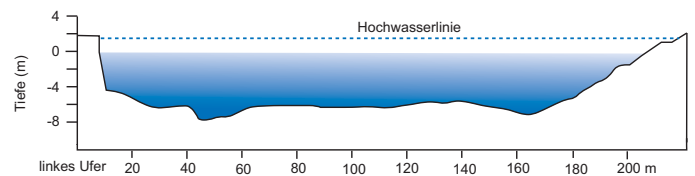
Lage des Probenahmequerschnitts

Schweizerhalle beim Solbad.

Fliesscharakter und Naturnähe

eingestaut, ruhig fliessend, Profil stark reguliert, am linken Ufer Blocksatz und Ufermauern.

Querprofil



Charakterisierung der Probenahmestelle

Wie an der Stelle Sisseln besitzt der Rhein auch hier einen Regelquerschnitt. Auf der Stromsohle findet man eine recht monotone Verteilung von Rheinschotter, Kies und Steinen, dazwischen kleinere Sandinseln. Auf der linken Rheinseite kommt stellenweise anstehender Fels bis an die Substratoberfläche. Durch die von den Frachtschiffen erzeugten Turbulenzen wird das oberflächlichlockere Substrat häufig umgelagert und weist daher nur geringen Bewuchs auf. Ufernah findet man regelmässig grosse Blöcke und anderes umlagerungsstabiles Substrat.

Biologische Besonderheiten

Bei Schweizerhalle haben die in den letzten 10 Jahren eingeschleppten invasiven Neozoenarten noch immer ihren Verbreitungsschwerpunkt im Hochrhein. *Hypania* und *Corbicula* siedeln sehr dicht, dafür findet man hier relativ wenige Chironomiden. In Schweizerhalle sind, möglicherweise als Folge der Neozoenausbreitung, einige Makroinvertebraten selten geworden oder verschwunden. Hierzu gehören z. B. *Bithynia tentaculata*, *Cheumatopsyche*, Baetiden, *Dreissena* und angestammte Flohkrebsarten.

Schlammköcher von *Chelicorophium*



Keulepolypen (*Cordylophora caspia*)

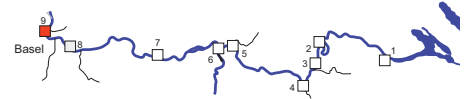


Sandköcher von *Hypania invalida*



Tafel 9: BASEL (km 167,6; Code BAS)

Koordinaten CH 1903: 611000/268620



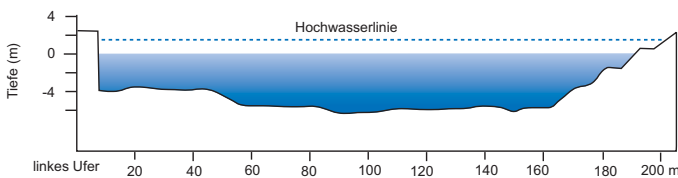
Lage des Flussquerschnitts

ca. 200 oberhalb Dreirosenbrücke, nahe Rheinfähre

Fliesscharakter und Naturnähe

Freifliessend, stark reguliert, an beiden Ufern Ufermauern.

Querprofil



Repräsentierter Hochrheinabschnitt – Abschnitt D, freifliessend

Charakterisierung der Probenahmestelle

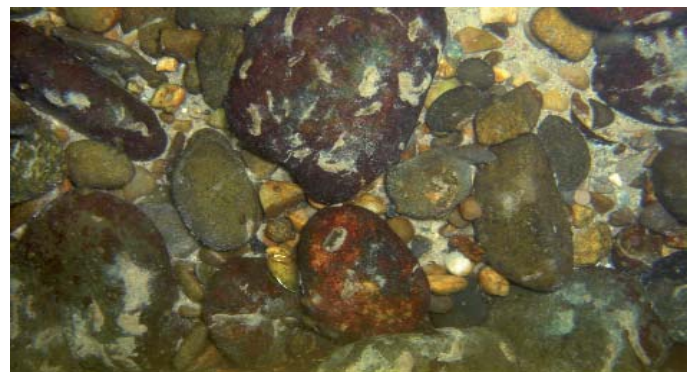
Der Querschnitt liegt im Stadtbereich Basel, am Übergang zwischen Hochrhein und Oberrhein. Die Ufer sind hart verbaut. Der bis Kembs wieder freifliessende Rhein besitzt hier deutlich ausgeprägtere Strömungsvielfalt als noch auf den oberhalb liegenden 30 Kilometer bis Rheinfelden. Der Strömungscharakter ist stark abflussabhängig. Durch die von der intensiven Frachtschiffahrt erzeugten Turbulenzen wird das oberflächlich lockere Substrat häufig umgelagert und ist nur mässig von Aufwuchs besiedelt. Die Rheinsohle bei Basel ist voll von zivilisatorischem Müll (z.B. Fahrräder, Geschirr, Glasscherben, Bauschutt uva.).



Probenahmestellen ● Ufer ● tiefe Sohle

Biologische Besonderheiten

Der freifliessenden Basler Rheinabschnitt beherbergt zwar alle invasiven Neozoenarten des Hochrheins, sie kommen hier jedoch in wesentlich geringeren Dichten vor als in den obenliegenden Staubecken vor Schweizerhalle und Sisseln. Daneben sind rheophile Arten wieder zahlreicher. Häufigste Benthosorganismen bei Basel sind dennoch Neozoen: die Flohkrebse *Dikerogammarus villosus* und *Echinogammarus ischnus*, *Jaera istri*, *Corbicula fluminea* und *fluminalis*.



Rheinsohle im Probenareal bei Basel

Corbicula fluminea und *Corbicula fluminalis*

Quellmoos *Fontinalis*

Dikerogammarus villosus








A2 Chemische Wasserqualität im Hochrhein 2006/2007

Tab. A4 > Ergebnisse der chemischen Wasseranalysen im Hochrhein von Januar 2006 bis Mai 2007

Parameter	Ammonium-N			Nitrit-N			Nitrat-N			ortho-Phosphat-P			P gesamt			BSB5			DOC		
	min	med	90%	min	med	90%	min	med	90%	min	med	90%	min	med	90%	min	med	90%	min	med	90%
Anforderungen an die Wasserqualität nach Anhang 2 GSchV	bei T>10°C: 0,2 bei T<10°C: 0,4			bei [Cl]>10mg/l: 0,05 bei [Cl]<10mg/l: 0,02			5,6*			0,04			0,07			2-4**			1-4**		
Einheiten	mg / L	mg / L	mg / L	mg / L	mg / L	mg / L	mg / L	mg / L	mg / L	mg / L	mg / L	mg / L	mg / L	mg / L	mg / L	mg / L	mg / L	mg / L	mg / L	mg / L	mg / L
Stein am Rhein ¹⁾	0.01	0.02	0.034	0.01	0.01	0.022	0.70	0.90	1.02	n.n.	n.n.	0.006	n.n.	0.01	0.01	0.9	1.8	2.2	0.9	1.7	2.1
Bibermühle ¹⁾	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.022	0.70	0.90	1.02	n.n.	n.n.	0.006	0.01	0.01	0.012	0.9	1.4	1.9	1.0	1.7	2.1
Salzstadel Schaffhausen ¹⁾	0.01	0.03	0.05	0.01	0.01	0.022	0.70	1.00	1.1	n.n.	n.n.	0.006	0.01	0.01	0.02	1.3	1.6	1.9	1.0	1.7	2.2
Nohl ¹⁾	0.01	0.03	0.052	0.01	0.01	0.022	0.80	1.00	1.1	n.n.	0.01	0.01	n.n.	0.01	0.012	1.3	1.8	2.5	1.1	1.7	2.5
Ellikon am Rhein ¹⁾	0.01	0.03	0.05	0.01	0.01	0.03	0.70	1.20	1.3	n.n.	0.01	0.006	0.01	0.01	0.02	1.3	2.1	2.3	1.1	1.6	2.0
Thur: Thurbrücke Flaach ¹⁾	0.01	0.03	0.062	n.n.	0.01	0.012	1.10	2.60	4.32	0.02	0.03	0.05	0.03	0.04	0.06	1.0	1.7	2.8	1.8	2.4	3.1
Tössegg Zürich ¹⁾	0.02	0.03	0.05	0.01	0.01	0.264	0.01	1.50	1.82	n.n.	0.01	0.02	0.01	0.02	0.022	1.4	2.0	2.8	1.2	2.0	2.2
Koblentz ²⁾	0.02	0.03	0.05	0.01	0.01	0.01	0.86	1.37	2.03	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.04	1.2	1.3	2.2	1.6	1.8	2.2
Aare Felsenau ²⁾	0.01	0.06	0.11	0.01	0.02	0.02	1.14	1.50	2.16	0.00	0.02	0.02	0.02	0.03	0.06	0.8	1.2	1.8	1.7	2.0	2.3
Kaiseraugst ²⁾	0.02	0.05	0.07	0.01	0.01	0.02	1.04	1.51	2.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.03	0.06	0.8	1.6	1.8	1.7	2.0	2.2
Pratteln ³⁾	0.02	0.03	0.06	0.01	0.01	0.02	0.98	1.53	1.70	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.07				1.7	2.0	2.1
Weil am Rhein ⁴⁾	0.03	0.05	0.11	0.01	0.02	0.03	1.16	1.67	2.17	0.01	0.02	0.03	0.02	0.04	0.06				1.7	2.2	2.9

* für Fliessgewässer, die der Trinkwassergewinnung dienen (entspricht 25 mg/l Nitrat)
 ** bei natürlicherweise wenig belasteten Gewässern gilt der untere Wert
 n.n. nicht nachweisbar

Beurteilung nach Modul-Stufen-Konzept Stufe F und S

	sehr gut		mässig
	gut		unbefriedigend
			schlecht

¹⁾ Daten von Jan. 2006 - Mai 2007, 9 Stichproben

²⁾ Daten von März 2006 - Mai 2007, 6 Stichproben

³⁾ Daten von Juli 2006 - Juni 2007, 12 Stichproben

⁴⁾ Daten von Jan2006 - Juni 2007, 78 Stichproben (39 für Nitrat-N und P-gesamt)

A3 Makroinvertebratenbesiedlung des Hochrheins (Häufigkeitsklassen)

Probestelle	HEM	RHE	ELL	TÖS	RIE	WAL	SIS	SHA	BAS
Taxon									
Porifera									
Porifera indet.	xxxx	xx	xxx	xx	xxx	xxxx	xxxxx	xxxxx	xxxx
Hydrozoa									
<i>Cordylophora caspia</i>								x	
Turbellaria									
Turbellaria indet.	IV	I	I	II		I	II		I
<i>Dendrocoelum lacteum</i>	I	II	I	I		I			
<i>Dendrocoelum romanodanubiale</i>								I	II
<i>Dugesia spec.</i>	V	I	II	II			II	I	
<i>Dugesia lugubris/polychroa</i>		II		IV	I		I		
<i>Dugesia tigrina</i>	V	I	III	III	V	IV	V		
<i>Planaria torva</i>		I							
<i>Polycelis spec.</i>	I		I						
<i>Polycelis tenuis/nigra</i>	IV	II	I	I					
Nemathelminthes									
Nematoda indet.	II		II		II	I	I		
Bivalvia									
Corbiculidae									
<i>Corbicula spec. juv.</i>						IV	IV	V	IV
<i>Corbicula fluminea</i>						IV	VII	VII	VI
<i>Corbicula fluminalis</i>								V	III
Dreissenidae									
<i>Dreissena polymorpha</i>	VII	IV	VII	IV	V	IV	IV	II	II
Sphaeriidae									
Sphaeriidae indet.	V	VI			II	II			
<i>Pisidium spec.</i>	VI	VII	I	IV	IV	V	II	I	II
<i>Pisidium cf. amnicum</i>				II		I	I		
<i>Pisidium cf. henslowanum</i>	I	IV		III	I		I	I	
<i>Pisidium cf. supinum</i>							I		
<i>Sphaerium corneum</i>		I			II		I		
Unionidae									
<i>Anodonta spec.</i>				I					
Gastropoda									
Ancylidae									
<i>Ancylus fluviatilis</i>	II		VI	IV	V	VI	VI	VI	VII
Bithyniidae									
<i>Bithynia tentaculata</i>	V	IV	II	I	IV	IV	VII		

	HK I = 1 bis 9 Ind./m ²
	HK II = 10 bis 50 Ind./m ²
	HK III = 51 bis 100 Ind./m ²
	HK IV = 101 bis 250 Ind./m ²
	HK V = 251 bis 500 Ind./m ²
	HK VI = 501 bis 1000 Ind./m ²
	HK VII = > 1000 Ind./m ²
xx	Häufigkeitsklasse ohne Angabe von Ind./m ² (bei Schwämmen nicht möglich)








Taxon	Probestelle	HEM	RHE	ELL	TÖS	RIE	WAL	SIS	SHA	BAS
Hydrobiidae										
<i>Potamopyrgus antipodarum</i>		I	V		VI	IV	IV	VII	VI	V
<i>Potamopyrgus antipodarum</i> f. <i>carinata</i>								V	IV	II
Lymnaeidae										
<i>Lymnaea stagnalis</i>			II							
<i>Radix</i> spec.		III	II							
<i>Radix</i> cf. <i>auricularia</i>		IV	III		I					
<i>Radix</i> cf. <i>balthica</i>		V	III	I	III			II		
<i>Stagnicola</i> spec.		I								
Neritidae										
<i>Theodoxus fluviatilis</i>										
Physidae										
<i>Physella acuta</i> <i>heterostropha</i>			V					II		
Planorbidae										
<i>Planorbidae</i> indet. juv.		II	V							
<i>Bathymphalus contortus</i>		I	III	I	I	I				
<i>Gyraulus</i> spec.			V							
<i>Gyraulus albus</i>			III							
<i>Gyraulus</i> cf. <i>laevis</i>			II							
<i>Hippeutis complanatus</i>			I					I		
<i>Planorbis</i> spec.			I							
<i>Planorbis carinatus</i>		I	III							
<i>Planorbis planorbis</i>			I							
Valvatidae										
<i>Valvata cristata</i>			I		II					
<i>Valvata piscinalis</i>			IV					IV		
Viviparidae										
<i>Viviparus</i> spec. juv.			I							
<i>Viviparus ater</i>			I							
Polychaeta										
Ampharetidae										
<i>Hypania invalida</i>								IV	VII	V
Oligochaeta										
<i>Oligochaeta</i> indet.		II	V	IV	IV	IV	V	VI	V	V
Tubificidae/Naididae indet.		I					VII	VII		
Haplotaxidae										
<i>Haplotaxis gordioides</i>							I	I	IV	IV
Lumbricidae										
Lumbricidae indet.		I								
<i>Criodrilus lacuum</i>			III		II					
<i>Eiseniella tetraedra</i>		I	II	IV	II	IV	III	II	III	
Lumbriculidae										
Lumbriculidae indet.		V		IV	V	IV	I	I	IV	IV
<i>Stygodrilus heringeanus</i>		V	III	IV	V	V	IV	V	IV	IV
<i>Rhynchelmis</i> spec.										

	HK I = 1 bis 9 Ind./m ²
	HK II = 10 bis 50 Ind./m ²
	HK III = 51 bis 100 Ind./m ²
	HK IV = 101 bis 250 Ind./m ²
	HK V = 251 bis 500 Ind./m ²
	HK VI = 501 bis 1000 Ind./m ²
	HK VII = > 1000 Ind./m ²








Probestelle	HEM	RHE	ELL	TÖS	RIE	WAL	SIS	SHA	BAS
Taxon									
Naididae									
Naididae indet.	I	III		V	I	V	VII	VII	IV
<i>Stylaria lacustris</i>	IV	IV		III		III	II		
Tubificidae									
Tubificidae indet.	III	V		VII	IV	IV	VI	IV	V
<i>Branchiura sowerbyi</i>	IV	II		V		IV	II	I	
<i>Peloscolex (Spirosperma) ferox</i>		IV							I
<i>Psammoryctides barbatus</i>		IV							
Hirudinea									
Erpobdellidae									
Erpobdellidae indet.	III	IV	I	III		II	I		
<i>Dina punctata</i>	I	I		II	III	III	II	I	II
<i>Erpobdella octoculata</i>	III	III		II		II			
<i>Erpobdella cf. testacea</i>				I					
Glossiphoniidae									
<i>Alboglossiphonia heteroclita</i>						I			
Glossiphoniidae indet.	I	II							I
<i>Glossiphonia spec.</i>		II		I					
<i>Glossiphonia complanata</i>	I	II		I					
<i>Glossiphonia nebulosa</i>		I							
<i>Helobdella stagnalis</i>	III	III		IV			II		
<i>Hemiclepsis marginata</i>	I								
Piscicolidae									
Piscicolidae indet.	I		I	I					
<i>Caspiobdella fadejewi</i>			I					I	
<i>Piscicola respirans</i>									
<i>Piscicola geometra</i>	I	I	I			I			
Arachnida									
Hydracarinae indet.	II	IV	IV	I	III	II	I		
CRUSTACEA: Amphipoda									
Corophiidae									
<i>Chelicorophium curvispinum</i>						I		V	VII
Crangonyctidae									
<i>Synurella ambulans</i>							I		
Gammaridae									
<i>Dikerogammarus spec. juv.</i>	II					III	III	III	V
<i>Dikerogammarus villosus</i>	IV					IV	VII	VII	VII
<i>Echinogammarus ischnus</i>								VII	VII
<i>Echinogammarus trichiatus</i>								II	
<i>Gammarus spec. juv.</i>	II	II	V		VI	VII	V		
<i>Gammarus fossarum/pulex</i>			V	I	VII	VII	VI		IV
<i>Gammarus cf. fossarum</i>	I		IV	IV	VII	VII	V	II	
<i>Gammarus cf. lacustris</i>	I								
<i>Gammarus cf. pulex</i>			III	III	III	V	II		IV
<i>Gammarus roeseli</i>	VII	VII	V	V	VII	IV	II		

	HK I = 1 bis 9 Ind./m ²
	HK II = 10 bis 50 Ind./m ²
	HK III = 51 bis 100 Ind./m ²
	HK IV = 101 bis 250 Ind./m ²
	HK V = 251 bis 500 Ind./m ²
	HK VI = 501 bis 1000 Ind./m ²
	HK VII = > 1000 Ind./m ²








Probestelle	HEM	RHE	ELL	TÖS	RIE	WAL	SIS	SHA	BAS
Taxon									
CRUSTACEA: Decapoda									
<i>Atyaephyra desmaresti</i>									
CRUSTACEA: Isopoda									
Asellidae									
<i>Asellus/Proasellus</i>	I			I					
<i>Asellus aquaticus</i>	III	VII	III	V	III	I			
<i>Proasellus coxalis</i>		IV		III	II	I	I		
Jaeridae									
<i>Jaera sarsi</i>					I		VII	VII	VII
INSECTA									
Ephemeroptera									
Ameletidae									
<i>Ameletus inopinatus</i>							Sonderp.		
Baetidae									
Baetidae indet.				I					
<i>Baetis spec.</i>	I		III		II	II	I		
<i>Baetis buceratus</i>					II	I	II		
<i>Baetis fuscatus</i>	IV		VI	II	IV	II	I		
<i>Baetis rhodani</i>	V		I	I	III	IV			
<i>Baetis vardarensis</i>	I		IV		VII	I			
<i>Baetis vardarensis/lutheri</i>	IV		V		V	IV			
<i>Centropilum luteolum</i>	I	II		III		I			
<i>Cloeon dipterum</i>		V							
<i>Cloeon simile</i>	III	II	II						
<i>Procloeon pennulatum</i>									
Caenidae									
<i>Caenis spp. juv.</i>				I					
<i>Caenis horaria</i>		VII	I						
<i>Caenis luctuosa</i>		VII	II						
<i>Caenis luctuosa/macrura</i>					II				
<i>Caenis macrura</i>	VI	IV	IV	IV	IV	III	II	I	III
<i>Caenis pusilla</i>	VII		V	II	II	I	I		
<i>Caenis rivulorum</i>						I			
Ephemerellidae									
Ephemerellidae indet. juv.					IV				
<i>Serratella ignita</i>	I		VI	II	IV	III	I	I	I
<i>Ephemerella mucronata</i>						II			
<i>Ephemerella notata</i>	I		V	I	IV	IV	I		IV
<i>Torleya major</i>					I	II			
Ephemeridae									
<i>Ephemera spec.</i>	II		II	I	III				
<i>Ephemera danica</i>	IV	II	IV	II	III	I	I		I
Heptageniidae									
Heptageniidae indet.								II	
<i>Ecdyonurus spec.</i>			II			I	I		
<i>Ecdyonurus cf. venosus</i>			III		I	I	II		

	HK I = 1 bis 9 Ind./m ²
	HK II = 10 bis 50 Ind./m ²
	HK III = 51 bis 100 Ind./m ²
	HK IV = 101 bis 250 Ind./m ²
	HK V = 251 bis 500 Ind./m ²
	HK VI = 501 bis 1000 Ind./m ²
	HK VII = > 1000 Ind./m ²

Probestelle	HEM	RHE	ELL	TÖS	RIE	WAL	SIS	SHA	BAS
Taxon									
<i>Ecdyonurus venosus</i> -Gr.			I		II	I			
<i>Ecdyonurus venosus</i> -Gr. Exuvie			I						
<i>Heptagenia sulphurea</i>	V	I	V	V	V	V	IV	II	IV
Leptophlebiidae									
Leptophlebiidae indet.			I	I	I				
<i>Habroleptoides confusa</i>						I			
<i>Paraleptophlebia</i> spec.	I		III			I			
<i>Paraleptophlebia submarginata</i>			III			I			
Potamanthidae									
<i>Potamanthus luteus</i>	VI	I	V	V	III	IV	IV	II	IV
Siphonuridae									
<i>Siphonurus lacustris</i>				I					
Odonata									
Corduliidae/Libellulidae indet. juv.		I							
Calopterygidae									
<i>Calopteryx splendens</i>	I		II	I	IV	II	III		
Coenagrionidae									
Coenagrionidae indet. juv.		III		I	II				
<i>Enallagma cyathigerum</i>		III							
Gomphidae									
<i>Gomphus simillimus</i>					I				
<i>Gomphus vulgatissimus</i>	I			I			I		
<i>Ophiogomphus/ Onychogomphus</i> spec. juv.	III		III		I				
<i>Onychogomphus forcipatus</i>	I		III	I	I	I	I		
Plecoptera									
Leuctridae									
<i>Leuctra</i> spec.						I		II	II
Nemouridae									
<i>Nemoura</i> spec.						II	I		
<i>Protonemura</i> spec.					II				
Perlodidae									
Perlodidae indet. juv.				I					
<i>Isoperla</i> spec.						I			
<i>Isoperla grammatica</i>						I			
<i>Isoperla grammatica</i> Exuvien									
<i>Perlodes</i> spec.			III						
<i>Perlodes cf. microcephala</i>	I		II		I				
Taeniopterygidae									
<i>Taeniopteryx schoenemundi/ kühntreiberi</i>					I				
Heteroptera									
Corixidae									
Corixinae: <i>Arctocoris</i> spec.							I		
<i>Micronecta</i> spec.		III	IV	IV	II	IV	V	II	I

	HK I = 1 bis 9 Ind./m ²
	HK II = 10 bis 50 Ind./m ²
	HK III = 51 bis 100 Ind./m ²
	HK IV = 101 bis 250 Ind./m ²
	HK V = 251 bis 500 Ind./m ²
	HK VI = 501 bis 1000 Ind./m ²
	HK VII = > 1000 Ind./m ²








Probestelle	HEM	RHE	ELL	TÖS	RIE	WAL	SIS	SHA	BAS
Taxon									
Naucoridae									
<i>Aphelocheirus aestivalis</i>	II		IV	III	IV	V	IV	I	
Nepidae									
<i>Nepa rubra</i>		I							
Coleoptera									
Dryopidae									
<i>Dryops spec.</i>			I						
Dytiscidae									
Dytiscidae indet.			I						
Colymbetinae									
Colymbetinae indet.		I	I			I			
<i>Platambus spec.</i>		I							
<i>Platambus maculatus</i>		I	II	II					
Hydroporinae									
Hydroporinae indet.		I							
<i>Potamonectes spec.</i>		II							
<i>Potamonectes depressus</i>		III	I						
Laccophilinae									
cf. <i>Laccophilus hyalinus</i>		I							
Elmidae									
<i>Elmis spec.</i>			III	III	III	IV	I	II	II
<i>Elmis cf. aenea</i>									II
<i>Elmis cf. maugetii</i>			IV	IV	V	V	II	III	V
<i>Elmis cf. rietscheli</i>			I	IV	I	I			
<i>Esolus spec.</i>	I	IV	VII	III	IV	IV	I	III	IV
<i>Esolus cf. angustatus</i>		II	V	III	IV	III			II
<i>Esolus angustatus/parallelepipedus</i>			IV						
<i>Limnius spec.</i>	V		V	II		IV	II	III	II
<i>Limnius cf. volckmari</i>	VI		V	I	VII	V	II	III	III
<i>Oulimnius spec.</i>	I	II	II	II	I	II	I	I	II
<i>Oulimnius cf. tuberculatus</i>	I	I		I					
<i>Riolus spec.</i>		II		II	IV	I			III
<i>Riolus cf. cupreus</i>				I	I				III
<i>Stenelmis spec.</i>			I			II			
<i>Stenelmis cf. canaliculata</i>			II		III	III	I		II
Gyrinidae									
<i>Orectochilus villosus</i>	I		IV	I	IV	IV	I		
Haliplidae									
<i>Halipus spec.</i>		V	II			I			
Trichoptera									
Trichoptera indet. Puppen	V	I	IV		V	I	II		
Ecnomidae									
<i>Ecnomus tenellus</i>							I		
Glossosomatidae									
Glossosomatidae Puppen	II		IV		III	II			
Glossosomatidae indet. juv.	II		I						

	HK I = 1 bis 9 Ind./m ²
	HK II = 10 bis 50 Ind./m ²
	HK III = 51 bis 100 Ind./m ²
	HK IV = 101 bis 250 Ind./m ²
	HK V = 251 bis 500 Ind./m ²
	HK VI = 501 bis 1000 Ind./m ²
	HK VII = > 1000 Ind./m ²

Probestelle	HEM	RHE	ELL	TÖS	RIE	WAL	SIS	SHA	BAS
Taxon									
Agapetinae indet.	IV								
<i>Agapetus delicatulus/ochripes</i>			IV		V	I			
<i>Agapetus cf. ochripes</i>	III		III		IV	I			
<i>Glossosoma spec. juv.</i>									II
<i>Glossosoma boltoni</i>			I		I	I			
Goeridae									
Goeridae indet.			I	I		I			
Goeridae indet. Puppen	III		IV	II	VII	I	II		
<i>Goera pilosa</i>	III	III	I				III		
<i>Silo piceus/nigricornis</i>								I	
<i>Silo cf. piceus</i>	I		V	II	VII	II			I
Hydroptilidae									
<i>Agraylea spec.</i>		I							
<i>Agraylea spec. Puppen</i>		I							
<i>Agraylea multipunctata</i>	I								
<i>Agraylea sexmaculata</i>		II							
<i>Hydroptila spec.</i>	III		V	IV	V	V	IV	II	III
Hydropsychidae									
Hydropsychidae indet. Puppen	V		VI	IV	II	III			III
<i>Cheumatopsyche lepida</i>	VII		VI	II	VI	VI	I		II
<i>Hydropsyche spec.</i>	VII		VI			V	III		V
<i>Hydropsyche cf. angustipennis</i>	III				II		I		II
<i>Hydropsyche contubernalis</i>	VII		VII	VI	V	IV	IV	II	IV
<i>Hydropsyche exocellata</i>	II	I	VI	I	V	I			I
<i>Hydropsyche incognita</i>	VII		V		VII	IV	II		IV
<i>Hydropsyche incognita/pellucidula</i>	VII		IV	II	VII	IV	II	II	IV
<i>Hydropsyche siltalai</i>			VI		V	IV	II		II
Lepidostomatidae									
<i>Lasiocephala basalis</i>						II			
<i>Lepidostoma hirtum</i>	IV		VII	IV	IV	V	II	II	III
Leptoceridae									
Leptoceridae indet.	VII	II	V	II	IV	II			I
<i>Athripsodes spec.</i>	IV	IV	III		I				
<i>Athripsodes cf. albifrons</i>	V		IV	III	III	II			I
<i>Athripsodes cinereus</i>	III	IV	I						
<i>Ceraclea spec.</i>	IV					II			
<i>Ceraclea albimaculata/alboguttata</i>						I			
<i>Ceraclea cf. dissimilis</i>	V		II	I		III		I	
<i>Mystacides spec.</i>	I	IV	III	I			I		II
<i>Mystacides azurea</i>	III	IV	III			I			
<i>Oecetis spec.</i>			II			I			
<i>Oecetis cf. notata</i>	I		I	I		III			
<i>Oecetis ochracea</i>		I							
<i>Setodes punctatus</i>	II		II	II	III	II	I		

	HK I = 1 bis 9 Ind./m ²
	HK II = 10 bis 50 Ind./m ²
	HK III = 51 bis 100 Ind./m ²
	HK IV = 101 bis 250 Ind./m ²
	HK V = 251 bis 500 Ind./m ²
	HK VI = 501 bis 1000 Ind./m ²
	HK VII = > 1000 Ind./m ²

Probestelle	HEM	RHE	ELL	TÖS	RIE	WAL	SIS	SHA	BAS
Taxon									
Limnephilidae									
Limnephilidae indet.		IV							
<i>Anabolia nervosa</i>		IV	I	I	I	I			
<i>Melampophylax melampus</i>						II			
<i>Glyphothaelius pellucidus</i>		II							
<i>Halesus cf. tessellatus</i>						I			
<i>Limnephilus spec.</i>		I							
<i>Limnephilus cf. rhombicus</i>		IV							
<i>Limnephilus cf. lunatus</i>		I			I			I	I
<i>Mesophylax impunctatus</i>		II		I					
Odontoceridae									
<i>Odontocerum albicorne</i>	I								
Polycentropodidae									
Polycentropodidae indet.	I	II			III				
<i>Cyrnus trimaculatus</i>		II		V		IV	II	I	
<i>Neureclipsis bimaculata</i>	VI								
<i>Polycentropus flavomaculatus</i>	II	II	IV	III	IV	IV		I	I
Psychomyiidae									
Psychomyiidae indet.		I							
<i>Lype reducta</i>				II		I			
<i>Psychomyia pusilla</i>	VI	I	VII	V	VII	VI	IV	IV	VII
<i>Tinodes spec.</i>								II	
<i>Tinodes unicolor</i>								I	
<i>Tinodes waeneri</i>		VI		V			III	III	
Rhyacophilidae									
<i>Rhyacophila spec. Puppen</i>	I		II		I	I			
<i>Rhyacophila spec.</i>					IV	I			I
<i>Rhyacophila sensu stricto</i>	III		III		IV	II	II		
Sericostomatidae									
<i>Sericostoma personatum /flavicorne</i>						I		I	
Diptera									
Athericidae									
<i>Atherix ibis</i>						I			
Ceratopogonidae									
<i>Bezzia spec.</i>		I		III	I	II	II	I	II
Ceratopogoninae indet.	III	II	I	I	III	II	I	II	
Chironomidae									
Chironomidae indet. Puppen									
Chironomini indet.	VII	V	VI	VI	V	V	VI	IV	V
<i>Chironomus thummi-Gr.</i>	I	VII		IV		II	V		
<i>Chironomus-obtusidens-Gr.</i>				II		III	IV		
<i>Chironomus-plumosus-Gr.</i>		II							
Diamesinae indet.			IV	III	VI	IV	IV	II	III
<i>Microtendipes spec.</i>	VII	V	VI	IV	IV	V	I	II	IV

	HK I = 1 bis 9 Ind./m ²
	HK II = 10 bis 50 Ind./m ²
	HK III = 51 bis 100 Ind./m ²
	HK IV = 101 bis 250 Ind./m ²
	HK V = 251 bis 500 Ind./m ²
	HK VI = 501 bis 1000 Ind./m ²
	HK VII = > 1000 Ind./m ²

Probestelle	HEM	RHE	ELL	TÖS	RIE	WAL	SIS	SHA	BAS
Taxon									
Orthoclaadiinae sensu lato indet.	VII	IV	VII	VII	VII	VII	VII	V	VII
Prodiamesinae indet.								I	
<i>Prodiamesa olivacea</i>	III			IV	II	III	I	II	
Tanypodinae indet.	V	V	VII	VI	V	V	IV	III	V
Tanytarsini indet.	IV	IV	V	VII	V	V	V	IV	V
Dolichopodidae									
Dolichopodidae indet.		I							
Empididae									
Clinocerinae indet.					I	II		I	
Hemerodromiinae indet.	I		II	I	II				
Hemerodromiinae indet. Puppen	I				I				
Hemerodromia spec.	I			I	II	II	I	I	
Limoniidae									
<i>Antocha</i> spec.	II		IV	II	IV	III	II	I	V
<i>Dicranota</i> spec.	I		II		I	I	I	I	
Muscidae									
<i>Limnophora</i> spec.			I			I			
Psychodidae									
Psychodidae indet.									I
Simuliidae									
Simuliidae Puppen	IV		IV	I	V				
<i>Simulium</i> spec.	VI	II	VII	I	VII	III	II		
<i>Prosimulium</i> spec.					I				
Tabanidae									
Chrysopsinae indet.		IV							
<i>Chrysops</i> spec.		III							
cf. <i>Tabanus</i> spec.				I					
Tipulidae									
Tipulidae indet.			I	I					
<i>Tipula - Arctotipula</i>	II		III						
<i>Tipula - Yamatipula</i>	I		I						
Megaloptera									
<i>Sialis</i> spec.				I					
<i>Sialis cf. lutaria</i>		IV							
Lepidoptera									
<i>Acentria ephemerella</i>	II								
Bryozoa									
Bryozoa indet.									
<i>Cristatella mucedo</i>									
<i>Fredericella</i> spec.									

	HK I = 1 bis 9 Ind./m ²
	HK II = 10 bis 50 Ind./m ²
	HK III = 51 bis 100 Ind./m ²
	HK IV = 101 bis 250 Ind./m ²
	HK V = 251 bis 500 Ind./m ²
	HK VI = 501 bis 1000 Ind./m ²
	HK VII = > 1000 Ind./m ²

> Verzeichnisse

Abbildungen

Abb. 1.1	Stautufen und Zuflüsse in den vier Hochrheinabschnitte.	16	Abb. 2.4	Zusammensetzung (taxonomische Grossgruppen) der Wirbellosenfauna der untersuchten Flussquerschnitte 2006/2007	31
Abb. 1.2	Fliesscharakter der vier Hochrheinabschnitte	17	Abb. 2.5	Gesamt-Biomasse (Trockengewicht) der Makroinvertebraten der untersuchten Flussquerschnitte 2006/2007	33
Abb. 1.3	Hochrhein-Abschnitt A – naturnaher Seeabfluss	18	Abb. 2.6	Biomasse (Trockengewicht) der Makroinvertebraten bei Rietheim 2006/2007, aufgeschlüsselt nach Grossgruppen	33
Abb. 1.4	Hochrhein-Abschnitt B – Stromschnellen (Koblenzer Lauffen, Rhein-km 102)	19	Abb. 2-7	Biomasse (Trockengewicht) der Makroinvertebraten bei Pratteln/Schweizerhalle 2006/2007, aufgeschlüsselt nach Grossgruppen	34
Abb. 1.5	Hochrhein-Abschnitt C – unterhalb der Aaremündung	19	Abb. 2.8	Anteile taxonomischer Grossgruppen an der Makroinvertebraten-Biomasse (Trockengewicht) der untersuchten Flussquerschnitte 2006/2007	34
Abb. 1.6	Hochrhein-Abschnitt D – der schiffbare Hochrhein	20	Abb. 2.9	Taxazahlen der wichtigsten Makroinvertebratengruppen. Vergleich der untersuchten Flussquerschnitte 2006/2007	37
Abb. 1.7	Lage der neun Untersuchungs-Querschnitte im Hochrhein	21	Abb. 2.10	Taxazahlen der Makroinvertebraten bei Rietheim 2006/2007	37
Abb. 1.8	Methoden der Freilandarbeit bei den Untersuchungen der Hochrhein-Querschnitte	23	Abb. 2.11	Taxazahlen der Makroinvertebraten bei Pratteln-Schweizerhalle 2006/2007	38
Abb. 1.9	Abflüsse im Hochrhein bei Rheinfeldern 2006/2007	24	Abb. 2.12	Makroinvertebratenbesiedlung der Hochrheinsohle 2006/2007: Typen des Lebenszyklus	40
Abb. 1.10	Verlauf der Wassertemperatur im Hochrhein 2006/2007	26	Abb. 2.13	Makroinvertebratenbesiedlung der Hochrheinsohle 2006/2007: Strömungstypen	41
Abb. 2.1	Besiedlungsdichte der Makroinvertebraten der untersuchten Flussquerschnitte 2006/2007	30	Abb. 2.14	Makroinvertebratenbesiedlung der Hochrheinsohle 2006/2007: Ernährungstypen	42
Abb. 2.2	Besiedlungsdichten der Makroinvertebraten bei Rietheim 2006/2007	30	Abb. 2.15	Ausbreitung des Gammariden <i>Dikerogammarus villosus</i> im Hochrhein 1995 bis 2007	43
Abb. 2.3	Besiedlungsdichten der Makroinvertebraten bei Schweizerhalle 2006/2007	30	Abb. 2.16	Ausbreitung der Korbchenmuschel <i>Corbicula fluminea</i> im Hochrhein 1995 bis 2007	44

Abb. 2.17 Ausbreitung des neozoischen Donauassel <i>Jaera istri</i> im Hochrhein 1995 bis 2007	45	Abb. 2.31 Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins 1990 bis 2006/2007	66
Abb. 2.18 Anteile (Individuenzahlen) neozoischer Arten an den Besiedlungsdichten	47	Abb. 2.32 Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins 1990 bis 2006/2007	67
Abb. 2.19 Anteile neozoischer Arten an der Biomasse (Trockengewicht)	48	Abb. 2.33 Langjährige (1990 bis 2007) Veränderungen der Taxazahlen benthischer Makroinvertebraten	68
Abb. 2.20 Anteile neozoischer Arten an der Taxazahl	48	Abb. 3.1 Fließcharakter und ökologische Trittsteine	77
Abb. 2.21 Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins 1990 bis 2006/2007	56		
Abb. 2.22 Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins 1990 bis 2006/2007	57	Tabellen	
Abb. 2.23 Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins 1990 bis 2006/2007	58	Tab. 2.1 Trockengewicht ausgewählter Makroinvertebraten der Hochrheinsohle	32
Abb. 2.24 Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins 1990 bis 2006/2007	59	Tab. 2.2 Anzahl der Makroinvertebraten-Taxa des Hochrheins zwischen Bodensee und Basel	35
Abb. 2.25 Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins 1990 bis 2006/2007	60	Tab. 2.3 Veränderungen der Dominanzen ausgewählter benthischer Makroinvertebraten innerhalb der letzten beiden Untersuchungskampagnen (Vergleich der Hochrheinabschnitte, vgl. Abb. 1.8)	70
Abb. 2.26 Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins 1990 bis 2006/2007	61	Tab. A4 Ergebnisse der chemischen Wasseranalysen im Hochrhein von Januar 2006 bis Mai 2007	92
Abb. 2.27 Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins 1990 bis 2006/2007	62	Literatur	
Abb. 2.28 Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins 1990 bis 2006/2007	63	[1] «Übereinkommen zum Schutz des Rheins» oder «Berner Übereinkommen». Beschluss 2000/706/EG des Rates vom 7. November 2000 über den Abschluss des Übereinkommens zum Schutz des Rheins im Namen der Gemeinschaft. http://europa.eu.int/scadplus/leg/de/lvb/l28115.htm sowie http://europa.eu.int/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!DocNumber&lg=de&type_doc=Decision&an_doc=2000&nu_doc=706 . Hierzu: «Aktionsprogramm Rhein 2020 der IKSR». http://iksr.de/index.php?id=79 sowie http://iksr.de/index.php?id=82 sowie http://iksr.de/index.php?id=81 . Hierzu: Übereinkommen vom 12. April 1999 zum Schutz des Rheins: http://www.admin.ch/ch/d/sr/c0_814_284.html	
Abb. 2.29 Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins 1990 bis 2006/2007	64		
Abb. 2.30 Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins 1990 bis 2006/2007	65		

- [2] «EU – Wasserrahmenrichtlinie» Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Massnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik [Amtsblatt L 327 vom 22.12.2000] [<http://europa.eu.int/scadplus/leg/de/lvb/l28002b.htm>].
- [3] «Gewässerschutzgesetz» Bundesgesetz vom 24. Januar 1991 über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG): http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_20.html. Hierzu: Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV): http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_201.html
- [4] «Umweltschutzgesetz». Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz (, USG): http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_01.html. Hierzu: Übereinkommen vom 5. Juni 1992 über die Biologische Vielfalt (mit Anhängen): http://www.admin.ch/ch/d/sr/c0_451_43.html sowie Artenschutzverordnung vom 19. August 1981 (ASchV): <http://www.admin.ch/ch/d/sr/c453.html>.
- [5] «Fischereigesetz». Bundesgesetz vom 21. Juni 1991 über die Fischerei (BGF): http://www.admin.ch/ch/d/sr/c923_0.html. Hierzu: Verordnung vom 24. November 1993 zum Bundesgesetz über die Fischerei (VBGF): http://www.admin.ch/ch/d/sr/c923_01.html
- [6] «Natur- und Heimatschutzgesetz». Bundesgesetz vom 1. Juli 1966 über den Natur- und Heimatschutz (NHG): <http://www.admin.ch/ch/d/sr/c451.html> sowie: «Natur- und Heimatschutzverordnung». Verordnung vom 16. Januar 1991 über den Natur- und Heimatschutz (NHV): http://www.admin.ch/ch/d/sr/c451_1.html. Hierzu: Verordnung vom 28. Oktober 1992 über den Schutz der Auengebiete von nationaler Bedeutung (Auenverordnung): http://www.admin.ch/ch/d/sr/c451_31.html, ebenfalls hierzu: Verordnung vom 10. August 1977 über das Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler (VBLN): http://www.admin.ch/ch/d/sr/c451_11.html
- [7] Rio-Konvention: Bestimmungen zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung der biologischen Vielfalt <http://www.biodiv.org/default.shtml> sowie http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fq_pflanzeniere/artenvielfalt/rio/
- [8] Übereinkommen vom 17. März 1992 zum Schutz und zur Nutzung grenzüberschreitender Wasserläufe und internationaler Seen (mit Anhängen): http://www.admin.ch/ch/d/sr/c0_814_20.html
- [9] Aquatische Neozoen im Bodensee und seinem Einzugsgebiet. Positionspapier der Arbeitsgruppen AKAN und ANEBO (2008). <http://www.neozoen-bodensee.de/>
- [10] Bachmann V., Beisel J. N., Usseglio-Polatera P., Moreteau J. C. 2001: Decline of *Dreissena polymorpha* in the River Moselle: biotic and abiotic key factors involved in dynamics of invasive species. Archiv für Hydrobiologie, 151 (2): 263-281
- [11] Baumgärtner D., Rothaupt K.-O. 2003: Predictive length-dry mass regressions for freshwater invertebrates in a pre-alpine lake littoral. Internat. Rev. Hydrobiol. 88 (5): 453-463
- [12] Becker A., Rey P. (in Vorbereitung): Koordinierte Biologische Untersuchungen im Hochrhein 2006/2007. Untersuchungen zum Jungfischbestand im Bereich repräsentativer Flussabschnitte.
- [13] Benke et al. 1999: Length-mass relationships for freshwater macroinvertebrates in North America with particular reference to the southeastern United States. Journal of the North American Benthological Society 18 (3): 308-343
- [14] Bernauer D., Jansen W. 2006: Recent invasions of alien macroinvertebrates and loss of native species in the upper Rhine River, Germany. Aquatic Invasions 1 (2): 55-71
- [15] Burgherr P., Meyer E. 1997: Regression analysis of linear body dimensions vs. dry mass in stream macroinvertebrates. Arch. Hydrobiol. 139 (1): 101-112
- [16] Felber J. 1908. Die Trichopteren von Basel und Umgebung mit Berücksichtigung der Trichopteren-Fauna der Schweiz (Diss. Univ. Basel). Archiv f. Naturgeschichte 74: 90 pp.
- [17] Fritz B., Nisch A., Wittkugel C., Mörtl M. 2006: Erstfund von *Limnomysis benedeni* Czerniavsky im Bodensee (Crustacea: Mysidacea). Lauterbornia, 58: 157-160
- [18] Frutiger, A. & Sieber, U. (in Vorbereitung): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Makrozoobenthos – Stufe F. Flächendeckend. (Entwurf 2005). Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. ###, BAFU <http://www.modul-stufen-konzept.ch/d/mzb.htm>
- [19] Hamers R., Rösch R., Wetzlar H.-J. 2003: Fischsterben im Juli/August 2003 im Bodensee-Untersee und Rhein. Auf Auf, Heft 3.
- [20] Heckes U., Hess M., Burmeister E.G. 1996: Ein Vorkommen von *Synurella ambulans* F. Müller 1846 (Amphipoda: Crangonyctidae) in Südbayern. Lauterbornia 25: 95-105, Dinkelscherben.
- [21] Kinzler W., Maier G. 2003: Asymmetry in mutual predation: possible reason for the replacement of native gammarids by invasives. Archiv für Hydrobiologie, 157 (4): 473-481
- [22] Kley A., Maier G. 2003: Life history characteristics of the invasive freshwater gammarids *Dikergammarus villosus* and *Echinogammarus ischnus* in the river Main and the Main-Donau canal. Archiv für Hydrobiologie, 156 (4): 457-470
- [23] Knöpp H. 1957: Die heutige biologische Gliederung des Rheinstroms zwischen Basel und Emmerich. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, 1: 56-63, Koblenz

- [24] Lauterborn R. 1916: Die geographische und biologische Gliederung des Rheinstroms I. Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Math. naturwiss. Klasse, Abt. B., 1916/6: 1-61, Heidelberg.
- [25] Martens A., Grabow K., Schoolmann G. 2007: Die Quagga-Muschel *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov, 1897) am Oberrhein (Bivalvia: Dreissenidae). *Lauterbornia* 61: 145-152
- [26] Meyer E. 1989: The relationship between body length parameters and dry mass in running water invertebrates. *Arch. Hydrobiol.* 117 (2): 191-203
- [27] Moog O. (ed.), 2003: Fauna Aquatica Austriaca. Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 2. Aufl., Neubearbeitung 2003; <http://www.wassernet.at/filemanager/download/6625/>
- [28] Mürle U., Becker A., Rey P. 2004: *Dikerogammarus villosus* (Amphipoda) im Bodensee. *Lauterbornia*, 49: 77–79, Dinkelscherben
- [29] Mürle U., Weber B., Ortlepp J. 2003: *Synurella ambulans* (Amphipoda: Crangonyctidae) in der Aare/Rhein. *Lauterbornia* 48: 61-66, Dinkelscherben.
- [30] ÖKON GmbH Regensburg 2002: Potenzial der ökologischen Verbesserung durch Reaktivierung des Geschiebes im Hochrhein. Bericht im Auftrag des Regierungspräsidiums Freiburg und des Bundesamtes für Wasser und Geologie. <https://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1101540/rpf-ref57-geschiebe.pdf>
- [31] Ortlepp J., Mürle U. 2007: *Dikerogammarus villosus* in der Schweiz nördlich der Alpen. HYDRA, Öschelbronn, Bericht an das BAFU, März 2007
- [32] Projektgruppe «Fließgewässerbeurteilung» (1998): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer in der Schweiz: Modul-Stufen-Konzept. Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 26. BUWAL, Bern, 43 S. <http://www.modul-stufen-konzept.ch/d/index.htm>
- [33] Rajagopal S., Van-der-Velde G., Paffen B., Van-den-Brink F., Bij de Vaate A. 1999: Life history and reproductive biology of the invasive amphipod *Corophium curvispinum* (Crustacea: Amphipoda) in the Lower Rhine. *Arch. Hydrobiol.* 144 (3) 305-325
- [34] Rey P., Beutler R., Schröder P., Stirnemann P., Theeg, R. 1992: Koordinierte biologische Untersuchungen im Hochrhein 1990, Teil I: Makroinvertebraten. Schriftenreihe Umwelt Nr. 190: 127 S., BUWAL Bern.
- [35] Rey P., Mörtl M., Mürle U., Ortlepp J., Ostendorf W., Ostendorf J., Scheiffhacken N., Werner S. 2004: Wirbellose Neozoen im Bodensee - Neu eingeschleppte invasorische Benthos-Arten. Monitoringprogramm Bodenseeufer 2004. Institut für Seenforschung, Langenargen. 61 S. und Anhang
- [36] Rey P., Ortlepp J. 1997: Koordinierte biologische Untersuchungen im Hochrhein 1995; Makroinvertebraten. Schriftenreihe Umwelt Nr. 283: 115 S., BUWAL Bern.
- [37] Rey P., Ortlepp J. 2002: Koordinierte biologische Untersuchungen im Hochrhein 2000; Makroinvertebraten. Schriftenreihe Umwelt Nr. 345: 98 S., BUWAL Bern.
- [38] Rey P., Ortlepp J., Kury D. 2005: Wirbellose Neozoen im Hochrhein. Schriftenreihe Umwelt Nr. 380 – Gewässerschutz. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- [39] Ris F. 1897: Neuropterologischer Sammelbericht 1894-96. B. Fragmente der Neuropteren-Fauna des Rheins. Mitteilungen der schweizerischen entomologischen Gesellschaft 9 (10): 415-423, Schaffhausen
- [40] Sartori M., Landolt P. 1999: Ephemeroptera. Fauna Helvetica 3. CSCF/SEG
- [41] Schälchli, Abegg + Hunzinger und Universität Karlsruhe 2000: Geschiebehauhalt Hochrhein. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Wasser und Geologie und des Regierungspräsidiums Freiburg.
- [42] Schöll F. 2002: Das Makrozoobenthos des Rheins 2000. IKSR Bericht Nr. 128-d.doc http://www.iksr.org/uploads/media/bericht_nr_128d.pdf
- [43] Sternberg K., Buchwald R. 2000: Die Libellen Baden-Württembergs. Band 2. Ulmer Stuttgart (Hohenheim)
- [44] van der Velde G., Paffen B.G.P., van den Brink F.W.B., bij de Vaate A., Jenner H.A. 1994: Decline of Zebra mussel populations in the Rhine. Competition between two mass invaders (*Dreissena polymorpha* and *Corophium curvispinum*). *Naturwissenschaften* 81: 32-34
- [45] Werner S., Mörtl M. 2003: Erstnachweis der Fluss-Körbchenmuschel *Corbicula fluminea* im Bodensee. *Lauterbornia*. 49: 93–97, Dinkelscherben
- [46] Wittmann K.J. 2007: Continued massive invasion of Mysidae in the Rhine and Danube river systems, with first records of the order Mysidacea (Crustacea: Malacostraca: Peracarida) for Switzerland. *Revue Suisse de Zoologie* 114 (1): 65-86.
- [47] IKSR Internationale Kommission zum Schutz des Rheins 2001: Rhein 2020 – Programm zur nachhaltigen Entwicklung des Rheins. Rhein-Ministerkonferenz 2001, Koblenz. 27 Seiten.