

SCHRIFTENREIHE
UMWELT NR. 345

Gewässerschutz

Koordinierte
biologische
Untersuchungen
am Hochrhein 2000;
Makroinvertebraten



Bundesamt für
Umwelt, Wald und
Landschaft
BUWAL

**SCHRIFTENREIHE
UMWELT NR. 345**

Gewässerschutz

**Koordinierte
biologische
Untersuchungen
am Hochrhein 2000;
Makroinvertebraten**

Beteiligung

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
Gewässerschutzfachstellen der Kantone
Zürich, Basel-Stadt, Basel-Landschaft,
Schaffhausen, Aargau und Thurgau
Landesanstalt für Umweltschutz,
Bad.-Württemberg, Karlsruhe

**Herausgegeben vom Bundesamt
für Umwelt, Wald und Landschaft
BUWAL
Bern, 2002**

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)
*Das BUWAL ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt,
Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)*

Auftragnehmer

HYDRA Institut Konstanz

Autoren

Peter Rey
Johannes Ortlepp

Mitarbeit im Feld

Peter Stirnemann, Kesswil
Nicolas Stirnemann, Kreuzlingen
Uta Mürle, Hydra
Daniel Küry, Life Science, Basel
Dietmar Bernauer (im Auftrag der LFU Karlsruhe)
Christian Lott, Hydra Elba

Bestimmungsarbeit

Birgit Weber
Johannes Ortlepp

Begleitung

Ulrich Sieber, BUWAL, Abt. Gewässerschutz und Fischerei,
Fachexperten der kantonalen Gewässerschutzfachstellen
ZH, BS, BL, SH, AG, TG und der LFU Karlsruhe

Layout / Graphik

HYDRA

Titelbild

Rhein bei Rheinfeldern (Insel Stein). Ausgewählte
Makroinvertebraten des Hochrheins. Fotos: Hydra

Bezug

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
Dokumentation
3003 Bern
Fax + 41 (0)31 324 02 16
E-Mail: docu@buwal.admin.ch
Internet: www.buwalshop.ch

Bestellnummer

SRU-345-D

Preis

CHF 16.-- (inkl. MWSt)

© BUWAL 2002

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	5
Vorwort	7
Zusammenfassung	8
Résumé	9
1. Einleitung	
1.1 Biologische Bestandsaufnahmen der Int. Rheinschutzkommission (IKSR)	10
1.2 Zehn Jahre Benthosmonitoring am Hochrhein	10
2. Lebensräume der Hochrheinsohle	
2.1 Biozönotische Flusszonierung	11
2.1.1 Abschnitte mit unterschiedlichem Fließcharakter	12
2.1.2 Morphologische und hydraulische Unterschiede im Flusslauf	13
2.2 Beschaffenheit der Hochrheinsohle	15
2.2.1 Die unterschiedlichen Teillebensräume im Tiefenprofil	15
2.2.2 Die unterschiedlichen Teillebensräume im Uferbereich	19
2.2.3 Anthropogene Einflüsse auf die Sohlenbeschaffenheit	20
3. Abiotische Kenngrößen	
3.1 Abflüsse und hydrologische Charakterisierung	21
3.2 Physikalisch-chemische Kenngrößen	24
4. Konzept und Methoden der biologischen Untersuchungen	
4.1 Anpassungen im Programm	27
4.2 Probenahme auf den Flussquerschnitten	29
4.3 Untersuchungen an zusätzlichen Uferstandorten	30
4.4 Auswertung der Proben	32
5. Die Benthosbesiedlung des Hochrheins	
5.1 Verbreitung der Charakterarten 1990 bis 2000	33
5.2 Artenvielfalt und Artenverteilung im Hochrhein	42
5.2.1 Der Hochrhein als bedeutendes Artenreservoir	42
5.2.2 Faunenelemente und Taxazahlen im Hochrhein	43
5.2.3 Dominante und aspektbildende Taxa	49
5.2.4 „Invasorische“ Neozoen	54
5.2.5 Funktionelle Gruppen	57
5.2.6 Der Rückgang von <i>Theodoxus fluviatilis</i>	58
6. Schlussfolgerungen und Ausblick	
6.1 Zusammenfassende Betrachtung der Ergebnisse	60
6.1.1 Das Benthosinventar des Hochrheins im Jahr 2000	60
6.2 Neue Erkenntnisse und deren Konsequenzen	61
6.2.1 Gründe für die unterschiedliche Benthosbesiedlung der Hochrheinsohle	62
6.3 Die ökologische Qualität der Benthosbiozöten	62
6.3.1 Ökologische Qualität und neue EU-Wasserrahmenrichtlinie	63
6.4 Ökologische Defizite und Gewässerschutzziele am Hochrhein	63
6.4.1 Defizite in der Besiedlung der Hochrheinsohle	64
6.4.2 Ziele für die ökologische Verbesserung der Lebensräume im Hochrhein	66
6.5 Ausblick und Weiterentwicklung des Programms	68
7. Literaturverzeichnis	70
Verdankung	81
Anhang	82

Vorwort

Die vom Bund, den Rheinanliegerkantonen und dem Land Baden-Württemberg getragenen koordinierten biologischen Untersuchungen am Hochrhein blicken bereits auf ein Jahrzehnt erfolgreicher grenzüberschreitender Zusammenarbeit zurück. Das Programm gewährleistet seit 1990 im Fünfjahresrhythmus einheitlich durchgeführte Bestandsaufnahmen der wirbellosen Kleinlebewesen und der Aufwuchsalgen am Flussgrund sowie der im Wasser frei schwebenden Algen. Dieses Langzeitmonitoring soll es ermöglichen, Einflüsse der Veränderungen der Flusstruktur, der Wasserqualität und anderer Umgebungsfaktoren auf die Lebewelt im Hochrhein zu erkennen. Neben einer stetigen Vervollständigung der biologischen Kenntnisse des Hochrheins garantiert es auch die Kontinuität der biologischen Überwachung an diesem Grenzgewässer.

Der vorliegende Bericht präsentiert die Ergebnisse der Bestandsaufnahme der Makroinvertebraten auf den traditionellen 9 Flussquerschnitten des Hochrheins und beinhaltet dazu auch detaillierte Angaben über die Verbreitung häufiger und charakteristischer Arten. Die Untersuchungsergebnisse bilden einen wichtigen Beitrag an die gesamtrheinischen biologischen Bestandsaufnahmen der Internationalen Rheinschutzkommission (IKSR), welche nach Abschluss des Aktionsprogrammes „Rhein 2000“ auch im neuen Programm „Rhein 2020“ zur nachhaltigen Entwicklung des Rheins die Erfolgskontrollen mittels periodischer Bestandsaufnahmen der Tiere und der pflanzlichen Lebewesen im Rhein fortsetzt.

Der Vergleich mit den Ergebnissen der Jahre 1990 und 1995 (siehe BUWAL, Schriftenreihen Umwelt Nr. 190, 191, 196, 197 und Nr. 282, 283) bestätigt die im Rhein vom Bodensee bis zum Meer sichtbare eindruckliche Regeneration der Lebensgemeinschaften, eine Folge der grossen Sanierungsanstrengungen der Rheinanliegerstaaten zur Verbesserung der Wasserqualität in den 80-er und 90-er Jahren. Die Tatsache aber, dass die Fauna der Makroinvertebraten heute über weite Rheinstrecken von „Allerweltsarten“ (Ubiquisten) mit geringen ökologischen Ansprüchen dominiert wird, weist darauf hin, dass der biologische Zustand noch nicht in allen Punkten gut ist und der Rhein noch erhebliche Defizite, vor allem bei den Lebensraumstrukturen aufweist. Der Gewässerzustand des Rheins ist offenbar auch ideal für neueinwandernde Makroinvertebraten (Neozoen). Seit der Eröffnung des Main-Donaukanals 1993 und der Verbindung des Rheingebietes mit dem Donau- und Schwarzmeerraum haben mehrere Einwanderungswellen und Massenvermehrungen von Neozoen die Region Rheinfelden erreicht. Die weitere Ausbreitung der Organismen in den Hochrhein ist Gegenstand laufender Untersuchungen des BUWAL.

Der Bericht richtet sich in erster Linie an die Fachstellen, welche im Rahmen der biologischen Bestandsaufnahmen des Programmes „Rhein 2020“ tätig sind und an alle fachlich interessierten und spezialisierten Kreise. Ebenfalls in der Schriftenreihe Umwelt erscheint ein zusammenfassender Kurzbericht mit einer Übersicht über die wichtigsten Ergebnisse des gesamten Programms der koordinierten biologischen Untersuchungen am Hochrhein 2000.

Die Schweizerische Delegation in der
Internationalen Rheinschutzkommission (IKSR)

Zusammenfassung

Im Jahr 2000 wurden zum dritten Mal die „Koordinierten biologischen Untersuchungen am Hochrhein“ durchgeführt. Als Langzeitmonitoring konzipiert, erfasst das Programm den aktuellen Stand und allfällige Veränderungen in der Besiedlung der Flusssohle durch wirbellose Kleinlebewesen (benthische Makroinvertebraten). Die Untersuchungen fanden auch im Jahr 2000 an denselben neun Flussquerschnitten wie 1990 und 1995 statt. Beim aktuellen Programm wurden die Querschnitte aber nur noch im Frühjahr und Herbst mit dem Taucher beprobt. Anstelle der Taucher-Probenahme im Sommer wurde eine umfangreiche Kampagne entlang des gesamten Ufers am Hochrhein durchgeführt. Dabei sind rund 450 zusätzliche Lebensräume an 151 neuen Probestellen untersucht worden. Auf diese Weise konnten detaillierte faunistische und zoogeografische Informationen hinzu gewonnen werden.

Bestätigt wurde die deutliche Zonierung der Besiedlung der Flusssohle durch Makroinvertebraten im Längsverlauf des Hochrheins. Die grösste Vielfalt typischer Hochrheinarten bei stabil hohen Besiedlungsdichten fanden sich wiederum innerhalb freifliessender, wenig beeinflusster Hochrheinabschnitte. Innerhalb regulierter Strecken und in Staubereichen dominierten Ubiquisten (ökologisch anspruchslose, weitverbreitete Organismen). Die Liste der nachgewiesenen Makroinvertebraten im Hochrhein wurde auf 232 Taxa erweitert. Ausbreitungsgrenzen, relative Häufigkeiten sowie die Regelmässigkeit des Vorkommens der verschiedenen Arten wurden genauer als bisher erfasst.

Die in den letzten fünf Jahren im Raum Basel zu beobachtenden Besiedlungsprozesse machten eine neue Einteilung des Hochrheins in verschiedene Abschnitte nötig. So wurde z.B. der von der Grossschifffahrt genutzte Rhein ab Rheinfeldern flussabwärts als neuer Abschnitt definiert. Während sich alle anderen Abschnitte faunistisch über lange Zeiträume als stabil erwiesen, kam es im schiffbaren Teil des Hochrheins zu einer Invasion durch neu einwandernde Organismen (Neozoen). Die Neozoen repräsentierten im Herbst 2000 stellenweise mehr als 97 % der Benthos-Biomasse auf der Flusssohle. Während die zum Teil immens hohen Besiedlungsdichten dieser Arten im Ober-, Mittel- und Niederrhein wieder leicht rückläufig sind, nehmen die Individuenzahlen im Hochrhein weiter zu. Neben dem bereits in der Kampagne 1995 nachgewiesenen Schlickkrebs *Corophium curvispinum* und der Körbchenmuschel *Corbicula fluminea/fluminalis* kamen als weitere Vertreter der Krebstiere die grossen Flohkrebsarten *Dikerogammarus villosus*, *Dikerogammarus haemobaphes* und die Donauassel *Jaera istri* hinzu. Als Vertreter der Polychäten (Borstenwürmer) tauchte die Art *Hypania invalida* auf.

Freifliessende Hochrheinabschnitte erwiesen sich auch in den neuesten Untersuchungen als Lebensräume, deren Lebensgemeinschaft der benthischen Makroinvertebraten eine gute und dabei stabile ökologische Vielfalt und Produktivität zeigt. Ihr ökologischer Wert als Reproduktions- und Regenerationsraum für die standorttypische, angestammte Hochrheinfauna muss erneut hervorgehoben werden. Dagegen wird die Besiedlung von Abschnitten mit verbauten Ufern und Regelprofil von anspruchsloseren Flussarten geprägt. Die Massenvermehrung von Neozoen in schiffbaren Rheinabschnitten mag ein Hinweis dafür sein, dass die hier dominierenden Ubiquisten schnell und radikal durch Arten mit ähnlich geringen ökologischen Ansprüchen ersetzt werden können.

Résumé

En l'an 2000, des « inventaires biologiques coordonnés » ont été réalisés pour la troisième fois sur le haut Rhin. Conçu dans le cadre d'une surveillance à long terme, le programme s'attache à décrire le peuplement du lit du fleuve en petits invertébrés (macroinvertébrés benthiques), avec ses variations éventuelles. Les recherches ont porté sur les neuf profils transversaux déjà retenus en 1990 et 1995, mais en limitant les échantillonnages en plongée au printemps et à l'automne 2000. En été, une vaste campagne menée tout au long des rives du haut Rhin a remplacé les prélèvements effectués par un plongeur. 450 habitats supplémentaires ont été examinés à cette occasion, en 151 nouveaux emplacements. Des informations détaillées sur la faune et sur sa distribution géographique ont ainsi pu être rassemblées.

La zonation nette du peuplement du lit par les macroinvertébrés est confirmée le long du cours du haut Rhin. Une grande diversité d'espèces endémiques, avec une densité élevée et stable des populations, caractérise toujours les tronçons du fleuve les moins dégradés. Les espèces ubiquistes (organismes tolérants au plan écologique et largement répandus) dominent dans les secteurs régularisés et à proximité des barrages au fil de l'eau. La liste des macroinvertébrés recensés sur le haut Rhin compte désormais 294 taxons. La distribution spatiale des populations, leur densité relative et la régularité d'occurrence des différentes espèces ont été relevées de manière plus précise que cela n'avait été le cas auparavant.

Les phénomènes de colonisation observés au cours des cinq dernières années dans le secteur de Bâle ont conduit à une nouvelle subdivision du haut Rhin en plusieurs segments. Le Rhin ouvert à la grande navigation en aval de Rheinfelden a par exemple été défini comme nouveau tronçon. Alors que la faune des autres secteurs reste stable à long terme, la partie navigable du haut Rhin se caractérise par une invasion de nouveaux organismes immigrés (néozoaires). En automne 2000, les néozoaires représentaient par endroits plus de 97 % de la biomasse benthique sur le fond du fleuve. Localement très élevée, la densité des populations de ces espèces diminue à nouveau légèrement sur le Rhin supérieur, moyen et inférieur, tandis que le nombre d'individus augmente encore le long du haut Rhin. A côté du crustacé de vase *Corophium curvispinum*, déjà signalé durant la campagne de 1995, et du bivalve *Corbicula fluminea/fluminalis* figurent d'autres représentants des microcrustacés, comme les grands amphipodes *Dikerogammarus villosus*, *Dikerogammarus haemobaphes*, et l'isopode typique du Danube *Jaera istri*. L'espèce *Hypania invalida* apparaît comme représentant des polychètes (annélides).

Suivant les nouvelles recherches, les tronçons du haut Rhin encore libres s'avèrent aussi être des biotopes dont le peuplement par les macroinvertébrés benthiques présente une bonne diversité et, par là-même, une productivité stable. Leur valeur comme lieu de reproduction et de régénération pour la faune endémique du haut Rhin doit une nouvelle fois être mise en évidence. En revanche, le peuplement des tronçons à rives corrigées et profils réglés est marqué par la présence d'espèces plus tolérantes. L'augmentation de la biomasse de néozoaires sur le tronçon navigable du Rhin tend à indiquer que les formes ubiquistes qui y dominent peuvent être remplacées rapidement et de manière radicale par des espèces également peu exigeantes au plan écologique.

1. Einleitung

1.1 Biologische Bestandsaufnahmen der Int. Rheinschutzkommission (IKSR)

Im Rahmen des Programms „Rhein 2020“ der IKSR werden am Rhein im Fünfjahresturnus vom Bodensee bis zur Nordsee biologische Bestandsaufnahmen durchgeführt. An den Untersuchungen beteiligt sind neben der Schweiz die Rheinanliegerstaaten Deutschland, Frankreich und die Niederlande.

Die Ergebnisse der biologischen Untersuchungen entlang des Rheins sind eine wertvolle Sammlung von Grundlagendaten im Rahmen eines Langzeit-Monitoringprogramms, welches 1990 begonnen wurde. Die zwischen den jeweiligen IKSR - Arbeitsgruppen abgestimmte Durchführung der Untersuchungen, Ergebnissicherung und Interpretation der Daten erlaubt einen grossräumigen Vergleich in der biologischen Charakteristik unterschiedlicher Rheinabschnitte und hilft dabei, den Stellenwert anthropogener Einflüsse abzuschätzen.

Die biologischen Bestandsaufnahmen am Rhein:

- ▶ ermöglichen eine Beschreibung des aktuellen biologischen Zustands des Rheins;
- ▶ ergänzen periodisch die biologischen Kenntnisse über den Rhein;
- ▶ leisten einen wichtigen Beitrag für eine kontinuierliche Gewässerüberwachung;
- ▶ ermöglichen die Erfassung von Gewässerdefiziten;
- ▶ sind Inventarbasis für allfällige Gewässerschutz- und Gewässerentwicklungsprogramme.

Die Untersuchung der Besiedlung des Flussgrundes mit wirbellosen Kleinlebewesen (Makroinvertebraten) ist ein wesentlicher Bestandteil dieses Programms. Die Insektenlarven, Kleinkrebse, Muscheln, Würmer und Schwämme gehören neben den Fischen zu den wichtigsten Organismen eines Fließgewässers. Als gute Bioindikatoren spiegeln sie in besonderem Masse den ökologischen Zustand des Flusses wider.

Seit Dezember 2000 ist die neue EU-Wasserrahmenrichtlinie in Kraft. Damit steigt die Notwendigkeit einer grenzüberschreitenden, methodisch vergleichbaren biologischen Bewertung am Rhein. Das vorliegende Programm kann als Basisinventar zur Erfassung des ökologischen Zustands des Rheins anhand des Teilaspekts des Makrozoobenthos dienen.

1.2 Zehn Jahre Benthosmonitoring am Hochrhein

Am Hochrhein waren im Jahr 2000 die Erhebungen zur Benthosbesiedlung wieder in ein koordiniertes biologisches Untersuchungsprogramm integriert. Dieses wird vom Bund, den Rheinanliegerkantonen und Baden-Württemberg gemeinsam getragen. Der biologische Gewässerzustand des Hochrheins wird anhand einer Aufnahme des pflanzlichen und tierischen Organismenbestandes an der Flusssohle beschrieben.

Durch umfassende, methodisch aufwändige und repräsentative Bestandsaufnahmen der Benthosbesiedlung konnten seit 1990 viele wichtige Kenntnisse zur Hochrheinfrauna hinzugewonnen werden. So zeigte sich schnell, dass das immense Reproduktions- und Regenerationspotential, das dem Hochrhein zwischen Bodensee und Basel innewohnt, in entscheidendem Masse dazu beigetragen hat, nur wenige Monate nach der Brandkatastrophe von Schweizerhalle die entvölkerte Sohle des Oberrheins wieder zu besiedeln (SCHRÖDER & REY 1991).

Im Rahmen des Rhein-Programms wurde erstmals ein verlässliches Arteninventar der Makroinvertebraten für den gesamten Verlauf des Hochrheins erfasst. Die Arbeiten zur Erstellung genauer Verbreitungskarten der Hochrheinarten sind noch im Gange. Zusammen mit den Angaben über Individuendichten und Dominanzen einzelner Arten und Gruppen wurden Unterschiede im biologischen Charakter zwischen freifliessenden, weitgehend unbeeinflussten Hochrheinstrecken und anthropogen degradierten Abschnitten deutlich.

Zehn Jahre Benthosmonitoring am Hochrhein zeigen aber auch, dass die Zusammensetzung der Benthosbiozöten innerhalb bestimmter Hochrheinabschnitte stabil bleibt, sich innerhalb anderer jedoch radikal verändert. In den bisherigen Beobachtungszeitraum fallen rheinaufwärts laufende Einwanderungswellen und Massenvermehrungen neuer Tierarten, v.a. auch aus dem seit der Eröffnung des Main-Donaukanals 1993 mit dem Rhein verbundenen Donau- und Schwarzmeerraum. Ohne die international koordinierten Untersuchungskampagnen hätten diese ökologisch bedeutenden Prozesse nicht so schnell und präzise erfasst werden können.

2. Lebensräume der Hochrheinsohle

2.1 Biozönotische Flusszonierung

Der ca. 150 km lange Hochrhein ist mit seinen rund 140 - 230 m Breite, mit einem durchschnittlichen Abfluss von 1050 m³/s (Basel) und einem Einzugsgebiet (ohne Aare) von 18000 km² neben der Aare das grösste Fliessgewässer der Schweiz. Vor allem auf Grund seiner Grösse und seiner geringen Höhenlage weist der Hochrhein gegenüber den übrigen schweizerischen Fliessgewässern spezielle Verhältnisse auf. Sein Gewässercharakter ist nicht eindeutig bestimmbar: beginnend als grosser Seeabfluss zeigt er in seinem weiteren Verlauf sowohl deutliche hyporhithrale (einem Gebirgsfluss entsprechende) als auch potamale (einem Tieflandfluss entsprechende) Charakteristika. Daneben besitzt der Hochrhein stark anthropogen überprägte Elemente, wie die Staubereiche der elf Flusskraftwerke oder der von der Grossschifffahrt genutzte Rhein bis Rheinfeldern.

Aus diesem Grund wurden die neun Probenahmequerschnitte des Untersuchungsprogramms bereits im Rahmen der ersten Kampagne 1990 so gewählt, dass sie für den jeweiligen flussmorphologischen und biozönotischen Charakter grösserer zusammenhängender Hochrheinabschnitte typisch sind (Abb. 2.1).

Die ursprünglich von uns vorgenommene biozönotische Gliederung des Hochrheins wurde im Rahmen der neuen Kampagne im Bereich des Seeabflusses und im Raum Basel modifiziert. Dies geschah zum Einen, um neue Erkenntnisse aus einem dichteren Probestellennetz zu ziehen (Abb. 4.1). Zum Anderen lassen sich dadurch interessante Besiedlungsphänomene, wie das Eindringen von Neozoen und die Ausbreitung oder der Rückgang angestammter Arten besser verfolgen.

2.1.1 Abschnitte mit unterschiedlichem Fliesscharakter

Abschnitt A: (Verändert gegenüber 1990 und 1995!) Der Abschnitt repräsentiert den eigentlichen Seeabfluss und reicht von der Untersee - Hochrhein - Schwelle bei Eschenz (ca. Rhein-km 23) bis zum Wehr des KW Schaffhausen (Rhein - km 44,8). In diesem Abschnitt dominiert der Einfluss des Bodensees (Wasserführung, Temperaturregime und Plankton). Da grössere Zuflüsse fehlen, wird hier die Wasserführung vollständig vom Wasserstand des Bodensees bestimmt. Wassertrübungen sind selten, Geschiebetrieb findet so gut wie nicht statt. 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. Deutliche anthropogene Einflüsse sind der vom KW Schaffhausen erzeugte Rückstaubereich, der einige Kilometer vor dem Wehr die Fliesscharakteristik sowie die Ufer- und Sohlenbeschaffenheit deutlich beeinflusst und die von Frühjahr bis Herbst laufende Bodensee-Hochrhein-Schifffahrt, deren Wellenschlag zu Ufererosionen führen kann. Diesen wird z.T. mit harten Uferverbauungen aber auch durch künstliche Kiesschüttungen entgegengewirkt.

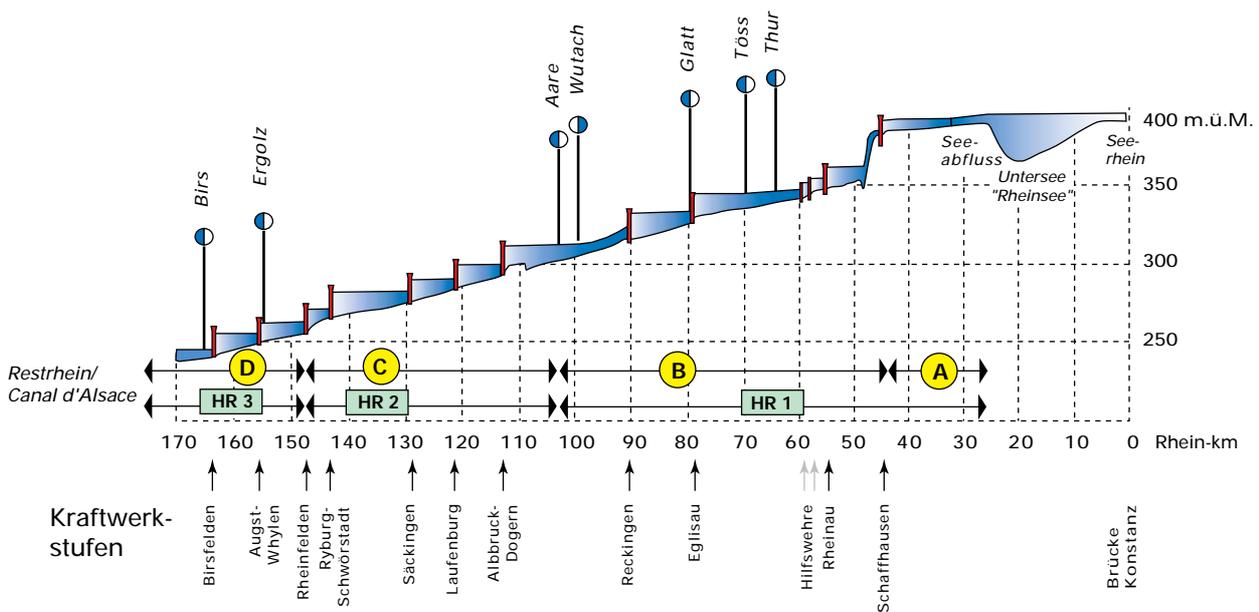


Abb. 2.1: Der Hochrhein mit seinen 11 Flusskraftwerken zwischen Bodensee und Basel. Die Einteilung in die Abschnitte (A), (B), (C) und (D) wird aufgrund der unterschiedlichen Flusscharakteristik und Nutzung als Schifffahrtsweg vorgenommen. Der Einteilung des Hochrheins auf IKSR-Ebene entsprechen **HR 1**, **HR 2** und **HR 3**. Grössere Rheinzuflüsse sind mit **●** (linksmündend) oder **●** (rechtsmündend) gekennzeichnet.

Abschnitt B: Vom KW Schaffhausen bis zum Zusammenfluss von Rhein und Aare (Rhein-km 44,8 bis km 102,5). Es handelt sich um einen Abschnitt mit langen Strecken von naturnahe Fliesscharakter, gekennzeichnet durch starke Breitenvariabilität, vielfältige Strömungsmuster und lockeres Steinsubstrat. Eine natürliche Unterbrechung bringt der Rheinfall, anthropogenen Einfluss die Staustufen bei Rheinau, Eglisau und Reckingen mit bis zu 10 km langen Stauräumen. Dennoch überwiegen Strecken mit flussdynamischer Vielfalt. Die letzten Kilometer vor der Aare-Mündung sind durch naturnahe Zonen mit ausgeprägtem Wechsel zwischen Stromschnellen (z.B. Laufen vor Koblenz) und tieferen Becken gekennzeichnet. Trotz z.T. sehr hoher Strömungsgeschwindigkeiten wird auch in diesem Bereich das Geröll der Flusssohle nur wenig und nur stellenweise umgelagert. Auch gelangt aus den Zuflüssen Thur und Töss wegen der dort eingebauten Geschiebeschwellen deutlich weniger Material in den Hochrhein als noch vor hundert Jahren.

Abschnitt C: Von der Einmündung der Aare bis knapp unterhalb der Rheinbrücke Rheinfelden (Rhein-km 151). Unterhalb des Zuflusses der Aare ändert sich der Flusscharakter des Rheins stark. Ursachen dafür sind einerseits die hohen Wassermengen aus der Aare (im Durchschnitt 550 m³/s gegenüber 450 m³/s im Rhein an dieser Stelle), die grössere Eintiefung des Flussbettes und das hier schon deutliche Regelprofil. Staustufen prägen den Charakter gegenüber ursprünglichen, freifliessenden Abschnitten. Massive, stellenweise lückenlose Verbauungen des Uferbereiches und Ausbau von Werkkanälen prägen den Lauf des Flusses. Direkt unterhalb einiger Kraftwerke und Wehre (z.B. Rhyburg - Schwörstadt; Rheinfelden, 'Gwild') finden sich stellenweise noch kurze freifliessende und turbulente Flussabschnitte.

Abschnitt D: Von unterhalb der Rheinbrücke Rheinfelden (Bereich Hafen) bis oberhalb Einmündung der Wiese in den Rhein bei Basel (Rhein-km 151 bis km 168). Ab Rheinfelden ist der Hochrhein zunächst für kleinere Frachtschiffe, ab Kaiseraugst auch für die grossen Rhein-Lastkähne und Passagierschiffe befahrbar. Ab hier existiert eine zusammenhängende Schifffahrtsstrasse bis zum Meer. Der Hochrhein ist nun durch ein Regelprofil mit nur geringer Vertikalstruktur und Substratvielfalt charakterisiert. Das Sohlensubstrat ist starken Umlagerungen unterworfen. Allein im Stadtbereich von Basel zeigt sich eine mäsig ausgeprägte Vertikalstruktur durch die Ausbildung von Prall- und Gleithang.

2.1.2 Morphologische und hydraulische Unterschiede im Flusslauf

Entsprechend dem wechselnden Flusscharakter und lokaler Besonderheiten zeigt der Hochrhein in seinem Verlauf deutliche Unterschiede in der Sohlenstruktur und im Natürlichkeitsgrad seines Längs- und Querprofils. Der anthropogene Einfluss manifestiert sich in der Struktur des Hochrheins flussabwärts mehr und mehr, bis er im Raum Basel den Charakter eines Schifffahrtskanals zeigt.

Neben der Aaremündung (Übergang natürliches Profil - Regelprofil) und dem Beginn des „schiffbaren“ Rheins (mit Schleusenstrecke) unterhalb von Rheinfelden bilden auch die elf Flusskraftwerke deutliche Zäsuren im Lauf des Hochrheins. Ihre Stauwurzeln reichen - je

Genereller Fliesscharakter

- Seeabfluss, freifliessend mit weitgehend naturnaher Gerinneausprägung
- freifliessende Abschnitte mit weitgehend naturnaher Gerinneausprägung
- staubeeinflusste Abschnitte, unterhalb Aaremündung meist mit Regelprofil
- schiffbarer Rhein mit Regelprofil

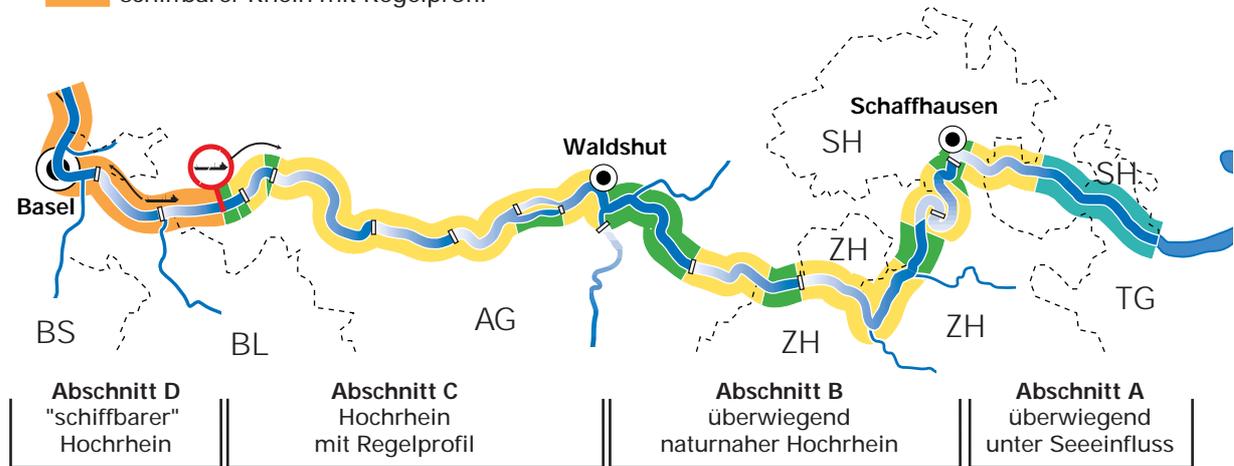


Abb. 2.2: Aktueller Flusscharakter der Hochrheinabschnitte; durch die Staustufen bedingte, grossräumige hydraulische Besonderheiten: dunkelblau = freifliessend; hellblau bis weiss = zunehmender Aufstau; Balken = Lage der Stauwehre der Flusskraftwerke.

nach Stauziel und Wasserstand - teilweise bis zur nächsten oberhalb liegenden Staustufe. Hier ändern sich nicht nur Profil und Sohlenstruktur, sondern auch der Gewässertyp als Ganzes.

Freifliessende Strecken findet man zwar entlang des gesamten Hochrheins, von der Aaremündung abwärts bleiben sie jedoch meist auf auf wenige hundert Meter lange Abschnitte unterhalb der jeweiligen Flusskraftwerke beschränkt. Naturufer säumen den Hochrhein stellenweise auch in Abschnitten unterhalb der Aaremündung und in Staubereichen. Zusammenhängende freifliessende Strecken, die auch weitgehend naturnahe Ufermorphologie aufweisen, trifft man nur noch innerhalb der Abschnitte A und B.

Bei der ökologischen Betrachtung der Hochrhein-Morphologie haben wir demnach zwei Aspekte zu berücksichtigen, die nicht immer zueinander passen:

- ▶ der Grad der flussmorphologischen Natürlichkeit
- ▶ der Abflusscharakter

Beide Aspekte sind am Hochrhein unterschiedlich anthropogen überprägt und zeigen auch unterschiedliche Auswirkungen auf die ökologische Funktionsfähigkeit und das Lebensraumangebot des Flusses. Auf Grund des Charakters seines Einzugsgebiets und historischer Vergleiche (Struktur und Ökologie) 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 Lebensraumsansprüchen) viele potamale Arten, aber vor allem auch Charakterarten eines grossen Gebirgsflusses gesiedelt haben (vgl. LAUTERBORN 1916-18. RIS, 1897). Diese sind in besonderem Masse auf abwechslungsreiche Flussstrukturen angewiesen (Ufer-Gerinne-Verzahnung, Substrat-

und Strömungsmosaike), wie sie heute nur noch in Hochrheinabschnitten anzutreffen sind, an denen einigermaßen natürliche Abflussverhältnisse und kaum beeinflusste Ufer- und Gerinnestrukturen zusammen fallen.

Diese Überlegungen sind bei der biologischen Charakterisierung des Hochrheins zentral, um die Besiedlung der Hochrheinsohle mit unterschiedlich "anspruchsvollen" Benthosorganismen zu verstehen.

2.2 Beschaffenheit der Hochrheinsohle

2.2.1 Die unterschiedlichen Teillebensräume (Choriotope) im Tiefenprofil

Substratvielfalt

Das Jahrhunderthochwasser vom Frühsommer 1999 hat an einigen Stellen im Hochrhein Erosions- und Anlandungsprozesse im Meter-Bereich verursacht, so dass sich einige unserer Probenahmequerschnitte mit einem anderen Tiefenprofil zeigten als noch fünf Jahre zuvor (Schriftenreihe Umwelt Nr. 283, Seite 27, Abb. 4.4). An den vorhandenen Sohlen-Choriotopen hat sich jedoch wenig geändert (Abb. 2.3). Folgende Grundaussagen können getroffen werden:

- ▶ Überall dort, wo das Tiefenprofil stark strukturiert ist, ist auch eine grosse Vielfalt unterschiedlicher Substrate und Substratkombinationen und damit Choriotope anzutreffen. Dies gilt für die Flussquerschnitte bei Hemishofen, Ellikon, Riethelm und Waldshut, mit Einschränkungen auch für die Verhältnisse am Tössegg.
- ▶ Im Bereich der Regelprofile unterhalb der Aaremündung, innerhalb von Rückstau-bereichen und vor allem in dem für die Grossschifffahrt zugänglichen Rhein unterhalb Rheinfeldens überwiegt einheitliches Stein-Schotter-Substrat. Unterschiede manifestieren sich noch in mehr oder weniger starker Geschiebeumlagerung und Materialauflagen (Sedimente, Detritus, Sand und Kies). Ausnahmen sind kurze Abschnitte mit stärkerem Gefälle (z.B. am 'Gwild' bei Rheinfeldens, unterhalb des KW Albruck-Dogern oder unterhalb der Rheinfelder Rheinbrücke) und solche, wo Felsriegel die Rheinsohle begleiten oder kreuzen (z.B. beim Querschnitt Sisseln).

Kolmatierung

Weitgehend unabhängig von der Heterogenität des Sohlensubstrats hat sich der Kolmatierungsgrad (Grad der Verfestigung und Versiegelung) der Hochrheinsohle ausgebildet. Die Kolmatierung der Sohle ist entscheidend für die Siedlungsmöglichkeiten der benthischen Makroinvertebraten, für die das Interstitial (Lückensystem der Flusssohle) einen wichtigen Siedlungs- und Schutzraum darstellt. Nahezu entlang des gesamten Hochrheins trifft man auf kolmatierte Flächen im Tiefenprofil, besonders innerhalb geschiebearmer oder stark erodierter Strecken unterhalb der Flusskraftwerke. Stärkere Kolmationen (Sohlenverdichtungen) fanden wir auch im Bereich der Kalktuffbänke und Tonböden (vgl.

Abb. 5.1) bei Hemishofen, auf der tiefen Sohle am Tössegg (Abb. 2.3.h), bei Sisseln (Abb. 2.3 e) und Pratteln und auf der Aareseite bei Waldshut-Felsenau (Abb. 2.3.j).

Substratbedeckung

Im Hochrheinabschnitt oberhalb der Aaremündung und ausserhalb staugeregelter Abschnitte zeigt der Flussgrund nicht nur eine grössere Substratheterogenität, es liegt auch eine abwechslungsreichere Bedeckung des Sohlensubstrats mit unterschiedlichsten Auflagen vor. Oft bilden diese Substratbedeckungen (Falllaub, Totholz, Makrophyten, Aufwuchsalgen oder sekundär besiedelbare Dreissenabänke) ihrerseits wieder besiedelbare Choriotope. Andere wie Sand und Schlamm (Abb. 2.3 f, g, i, l) führen zur Einschränkung der Besiedlungsmöglichkeiten für die Makroinvertebraten.

Unterhalb der Aaremündung bis unterhalb Rheinfeldens findet man solche ausgedehnten Substratauflagen weniger auf dem Flussgrund als im Uferbereich, der mancherorts noch eine gute Verzahnung mit dem Gerinne und der Ufervegetation zeigt. Wo verlagerungsstabiles Steinsubstrat überwiegt, trifft man im ständig wasserbedeckten Profil auf festsitzende Tierkolonien, wie die bereits erwähnten Dreissena-Bänke sowie Schwämme und Moostierchenkolonien (Abb. 5.2 a, b, c).

Die unterschiedliche Bedeckung des Substrates entsteht durch:

- ▶ Substratsortierung durch Strömungsvielfalt;
- ▶ ungehinderte Eindrift von Schwemmgut (keine Staustufe oberhalb);
- ▶ Einfluss des Seeabflusses mit hoher Drift organischen Materials;
- ▶ starker Falllaub- und Totholzeintrag von bewachsenen Ufern;
- ▶ Materialeintrag aus Zuflüssen.

Submerse Vegetation

Die submerse Vegetation (Höhere Wasserpflanzen, Moose, Algen) auf dem Substrat (Abb. 2.4 g bis l) ist ein wichtiger Strukturfaktor und Siedlungsraum für Makroinvertebraten. Aspektbildenden Pflanzenaufwuchs und Makrophytenpolster findet man im Hochrhein vor allem oberhalb der Aaremündung (geringe Geschiebeumlagerung, Lichtdurchflutung bis zur Sohle). Im Bereich Ellikon bilden die z.T. über 7 m langen, bis an die Wasseroberfläche reichenden Bestände von Flutendem Hahnenfuss und einigen Laichkrautarten einen zusätzlichen Besiedlungsraum für Invertebraten und Jungfische. Auch bei Hemishofen wachsen über die gesamte Flussbreite verteilt grosse Ranunculus-Bestände.

Unterhalb der Aaremündung findet man grössere Makrophytenbestände (v.a. Quellmoos) entlang der Uferverbauungen, der Flussgrund ist dagegen nur spärlich bewachsen, da hier wegen der durchschnittlich grösseren Gewässertiefe und höheren Trübstofffracht weniger Licht bis zur Sohle vordringt (vgl. Abb. 3.6). In dem für die Grossschiffahrt zugänglichen Rhein ist das Substrat in Flussmitte fast gänzlich frei von Aufwuchs und Makrophyten - vor allem eine Folge der stärkeren Substratumlagerungen.



Abb. 2.3: Typische Teillebensräume der tieferen Hochrheinsohle: a: Ständig umgelagertes Substrat (Geschiebe) aus dem schiffbaren Hochrhein im Raum Basel; b: Dreissena-Bank flächendeckend (Seeabfluss); c: Kolmatiertes Substrat mit Algenaufwuchs (Bereich Rietheim); d: periodisch umgelagertes Substrat, dazwischen Sand; (Bereich Pratteln) e: Umlagerungsstabiles Substrat (Schwammbesiedlung!), dazwischen Sand und Feinsediment (Sisseln); f: Rheinschotter und Steine, völlig bedeckt mit Feinsediment (Stau Rheinau); g: Rheinschotter, bedeckt und egalisiert durch Feinsedimentauflage, darüber Algenwatten (Stau Rheinau); h: Umlagerungsstabiles Substrat (Schwämme!) aus Felsgrund und grossen Blöcken, dazwischen Sand (Tössegg); i: Rheinschotter, darüber Characeen, abgedeckt durch Algenwatten (reduziertes Material) (Flachufer bei Ellikon); j: stark kolmatierte Steine und Blöcke ohne Feinsedimentbedeckung (Aareseite bei Waldshut); k: Homogenes Kies - Schottermaterial, bedeckt mit Feinsedimenten (hinter Insel oberhalb Aaremündung); l: Sandablagerungen (Pratteln-Schweizerhalle); m: lockeres Substrat mit starkem Aufwuchs verschiedener Algen und Makrophyten (Ellikon oh. Thurmündung); n: lockeres Substrat mit Totholzüberdeckung (Waldshut-Felsenau; Vermischungsbereich Aare-Rhein); o: Abgesplitteter Felsgrund (Rotliegendes gegenüber Sisseln-Pontoniersverein).

Fotos P. Stirnemann



Abb. 2.4: Beispiele für unterschiedliche Ufer-Choriotope am Hochrhein: a: Rheinschotter; b: Uferblöcke; c: Blockwurf; d: Fischtreppe; e: Felsufer; f: lückige Ufermauer; g, h: Algenaufwuchs (mit Hydropsychenetzen); i: amphibische Vegetation (Schilf und Halme); j: submerse Grasnarbe; k: Makrophytenpolster; l: Wurzelräume von Uferbäumen; m: lenitische Bereiche mit Totholz, Sand und Detritus; n: Muschelschalen; o: Schaufelblatt als dicht besiedeltes Kunstsubstrat; p: Totholzräume mit ausgefiltertem Schwemmgut; q: Totholz in der Strömung; r: Wurzelraumkolk mit Uferbaum

Fotos: Hydra

2.2.2 Die unterschiedlichen Teillebensräume im Uferbereich

Im Gegensatz zu den beiden früheren Kampagnen, im Rahmen derer lediglich an den neun Probenahmequerschnitten Uferproben gesammelt wurden, konnten wir durch das Sonderprogramm im Sommer erstmals eine fast lückenlose Begehung der Hochrheinufer durchführen und damit verschiedene Teillebensräume beproben, die in keinem der bisher am Hochrhein durchgeführten Programme berücksichtigt wurden. Es stellte sich heraus, dass naturnahe Uferstrecken inselartig entlang des gesamten Hochrheins, also auch in Abschnitten mit Regelprofil, in Staubereichen und am schiffbaren Abschnitt anzutreffen sind. Dennoch gibt es, bezogen auf die ökologische Qualität der Rheinufer, generelle Unterschiede zwischen den noch freifliessenden Rheinstrecken und denjenigen mit starker anthropogener Überprägung. So finden sich im Bereich des Seeabflusses und in den von Flusstaus nicht oder nur wenig beeinflussten Abschnitten lange Uferstrecken mit ökologisch funktionsfähiger Ufer-Gerinne-Verzahnung, also einer Verlängerung der Uferlinie mit einem Übergangsraum von Wasser zum Land. Dieser kann von Wasserinsekten uneingeschränkt als Ausstieg aus dem Wasser genutzt werden. Auch sind solchen Ufern in der Regel ausgedehnte, nur zeitweilig benetzte Flachwasserbereiche vorgelagert, die als amphibischer Lebensraum für Pflanzen und Tiere sowie als Brüttings- und Jungfischhabitat grosse ökologische Bedeutung besitzen.

In staugeregelten, für die Grossschifffahrt zugänglichen Hochrheinabschnitten fehlen diese Flachwasserzonen meist völlig. Die Verzahnung zwischen Ufer und Gerinne bleibt unvollständig, da vertikale Übergangszonen fehlen. An einem Grossteil der Hochrheinufer unterhalb der Aaremündung manifestiert sich die Regulierung des Flusses mehr noch als im Tiefenprofil in den künstlichen Ufersicherungen durch Blockwurf, Blocksatz oder gar Ufermauern. Diese Hartsubstrate sind für viele sessile und halbsessile Rheinorganismen zwar günstige Siedlungsflächen, sie schaffen aber einen harten Struktur- und Strömungsübergang zwischen Ufer und Flussgrund.

Choriotop als Teillebensraum	Habitate für Makroinvertebraten (Beispiele)
Steinsubstrat gut überströmt	Kies, Steine, Blöcke und Füllmaterial, Aufwuchs
Steinsubstrat strömungsarm	s.o., dazu Feinsedimente, Detritus, Totholz etc.
Uferblöcke, Ufermauern	Oberflächen, Unterseiten und Zwischenräume
Feinsedimentflächen	Sand, Schlamm, Detritus, Totholz, Muschelschill etc.
Dreissena-Kolonien, Schwämme	Oberflächen, Zwischenräume
Submerse Vegetation	Makrophytenkörper, Wurzeln, Detritusfallen
Amphibische Vegetation	Stängel, Wurzeln und Rhizome, Detritusfallen
Ufervegetation	Wurzelräume, überhängende Teile, Stamm (Exuvien)
Bauwerke	Mauern, Stege: Oberflächen, Detritus, Exuvien

Tab. 2.1: Beispiele für Lebensräume und deren Habitate, die im Rahmen der zusätzlichen Uferprobenahme berücksichtigt wurden.

Zwischen Bodensee und Schaffhausen (Abschnitt A) sowie unterhalb von Rheinfeldern (Abschnitt D) sind die Lebensräume am Rheinufer zusätzlichen Störungen durch den Wellenschlag und Verwirbelungen durch Schifffahrt ausgesetzt. Während dies im Raum Basel wegen der harten Ufersicherungen hauptsächlich auf die Umlagerung des Sohlensubstrats in der Tiefe wirkt, kommt es auf den obersten ca. 20 Rhein-Kilometern zu Ufererosionen, die sich auf die Besiedlung im Bereich der Wasserlinie und den Flachwasserbereich auswirken.

Abb. 2.4 zeigt einige Beispiele für die untersuchten Ufer-Choriotope entlang des Hochrheins. Eine Kategorisierung solcher Teillebensräume mit den jeweils besiedelbaren Habitaten ist in Tab 2. durchgeführt.

2.2.3 Anthropogene Einflüsse auf die Sohlenbeschaffenheit

Die o.g. Ausführungen zeigen, dass anthropogene Einflüsse entscheidend die Form, Zusammensetzung und Substratvielfalt der Hochrheinsohle beeinflussen. Die Bedeutung dieser Einflüsse auf die Veränderung des biologischen Charakters des Hochrheins wird umso deutlicher, wenn man bedenkt, dass die ständig wasserbenetzte, tiefere Flusssohle weit über 90% der biologisch produktiven Fläche des Hochrheins ausmacht. Tabelle 2.2 soll diese Zusammenhänge verdeutlichen.

Anthropogener Einfluss	Auswirkungen Flussole	Auswirkungen Benthos-Besiedlung
Aufstau, Wiederabfluss	Verlust der Strömungsvielfalt	Verschiebung des Artenspektrums
	Verschlämmung, Egalisierung	Artenverarmung, geringe Produktion
	Erosion, Kolmatierung	Verlust an Besiedlungsraum
Profilregulierung	Substratmonotonisierung	Artenverarmung
	Kolmatierung	Verlust an Besiedlungsraum
	Ufer-Gerinne-Verzahnung eingeschränkt	Verlust an Besiedlungsraum, wenig Emergenzmöglichkeiten für Insekten
Eintrag von Müll, Schutt	Verschmutzung	nicht bekannt
Organische Belastung	Verschmutzung, Kolmatierung	Überproduktion --> Verschlämmung
Schifffahrt	Umlagerung, Erosion	Verlust an Besiedlungsraum

Tab. 2.2: Beispiele für anthropogene Einflüsse auf den Hochrhein und ihre Konsequenzen für die Ausprägung der Flusssohle und ihrer Besiedlung.

3 Abiotische Kenngrößen

3.1 Abflüsse und hydrologische Charakterisierung

Hydrologische und hydraulische Besonderheiten des Hochrheins

Zwischen Bodensee und Thurmündung wird der Abfluss des Hochrheins infolge der Pufferwirkung des Bodensees ausgeglichen und liegt für einen Grossteil des Jahres unter $500 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Thur als erster grösserer Hochrheinzufluss führt dem Rhein normalerweise weniger als $50 \text{ m}^3/\text{s}$ zu. In seltenen Fällen steigt ihr Abfluss aber auch bis über $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ an. Unterhalb der Aaremündung kann sich der Hochrheinabfluss unter Umständen verdreifachen. Die durchschnittliche Wasserführung der Aare ($550 \text{ m}^3/\text{s}$) übertrifft dabei diejenige des Rheins oberhalb des Zusammenflusses ($450 \text{ m}^3/\text{s}$). Restliche Zuflüsse bis Basel machen nur einen geringen Anteil an der Wasserführung des Rheins aus, allein die Wutach und die Birs erreichen Hochwasserspitzen um oder knapp über $300 \text{ m}^3/\text{s}$.

Die Strömungsvielfalt des Hochrheins ist innerhalb freifliessender Abschnitte erwartungsgemäss höher als in verbauten Abschnitten. Komplexe Strömungsmuster und turbulenterer Strömung gehen dabei nicht automatisch auch mit einer Erhöhung der Fliessgeschwindigkeit einher (Abb. 3.1). Fliessgeschwindigkeiten jenseits von $1,5 \text{ m/s}$ finden wir auch innerhalb des staugeregelten Hochrheins zwischen Aaremündung und Basel, obwohl sich hier die Staubereiche deutlich überschneiden (Abb. 3.2).

Wie auch im Rahmen der beiden letzten Kampagnen (REY ET AL 1992; REY & ORTLEPP 1997) machten wir die Beobachtung, dass die Zunahme des hydraulischen Stresses (hohe Fliessgeschwindigkeiten und Schleppkräfte) auf der Hochrheinsohle mit einer Abnahme der Besiedlungsdichte aller, auch der rheophilen Benthosorganismen einhergeht. Diese zeigten in der starken Strömung zwar eine grössere relative, aber geringere absolute Häufigkeit

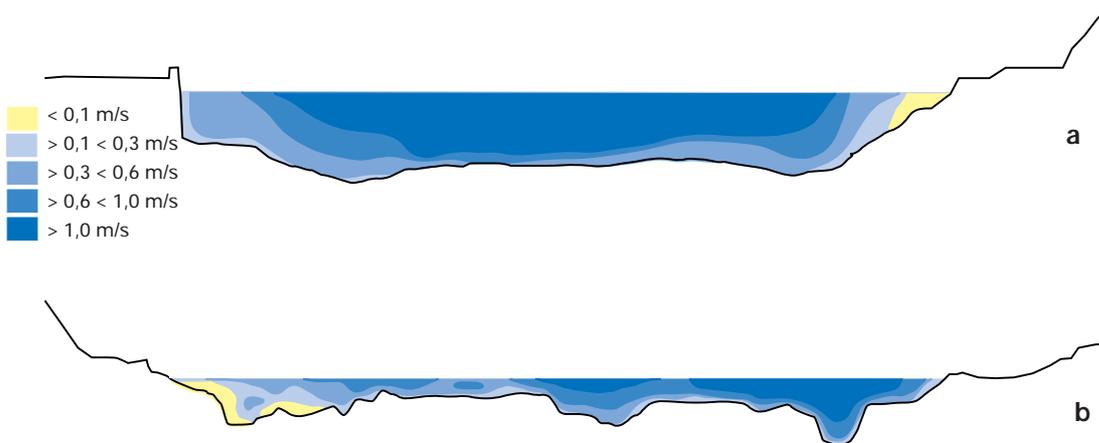


Abb. 3.1: Schematische Darstellung der Strömungsdiversität im Profil zweier exemplarischer Flussquerschnitte. a: Das Profil auf Höhe Pratteln-Schweizerhalle zeigt ein Regelprofil mit geringer Vertikal- und Horizontalstrukturierung. Strömungsgradienten lassen sich lediglich direkt über Grund und an den Ufern messen. Am rechten Ufer wird die Strömung lokal durch Makrophytenpolster und zerstreuten Blockwurf gestört. b: Die natürliche Hochrheinsohle oberhalb einer Gefällestrecke bei Rietheim. Das vertikal sehr vielfältig strukturierte Profil und die Flachufer bergen eine Vielzahl von Strömungshindernissen und sorgen für breite Strömungsgradienten und vielfältige Strömungsmuster. Typisch für ein natürliches Hochrheinprofil ist die stark ausgeprägte Niedrigwasserrinne (rechts).



Abb. 3.2: Beispiele für Oberflächenströmungen und Strömungsvariabilität im Hochrhein, die sich auf Grund unterschiedlicher Abflussgeschwindigkeiten sowie Vertikal- und Horizontalprofilen ausbilden. Auf den Fotos angegeben ist jeweils die mittlere Fliessgeschwindigkeit an verschiedenen Stellen im Profil und der Charakter der Oberflächenströmung. a: Koblenzer Lauffen b) Sisseln; c) Basel; d) Schweizerhalle; e) Tösseg; f) Rheinau; g) Rietheim; h) Rheinfelden (Insel Stein).

als in strömungsberuhigteren, ufernahen Bereichen. Derart ungünstige hydraulische Verhältnisse treten im Hochrhein auf:

- ▶ bei Hochwasser in Abschnitten ohne Pufferräume;
- ▶ bei einem tiefen Regelprofil mit sehr engen und harten Strömungsübergängen;
- ▶ wenn der Strömungsgradient fehlt und Geschiebetrieb einsetzt.

Die Wasserführung des Hochrheins im Jahr 2000

Bei der Festlegung der Untersuchungstermine für die Probenahmen mit dem Taucher wurden aus Sicherheitsgründen wieder die aktuelle Abflusssituation im Rhein berücksichtigt. Im Gegensatz zum Hochwasserjahr 1999 (für einen Monat über 2600 m³/s, Maximum 4550 m³/s), aber auch gegenüber 1995 überschritt der Abfluss des Rheins bei Rheinfelden im Jahr 2000 nur an drei Tagen die Marke von 2100 m³/s bei einem Maximalabfluss von 2189 m³/s. Oberhalb der Aaremündung blieb der Abfluss über das ganze Jahr unter 1000 m³/s

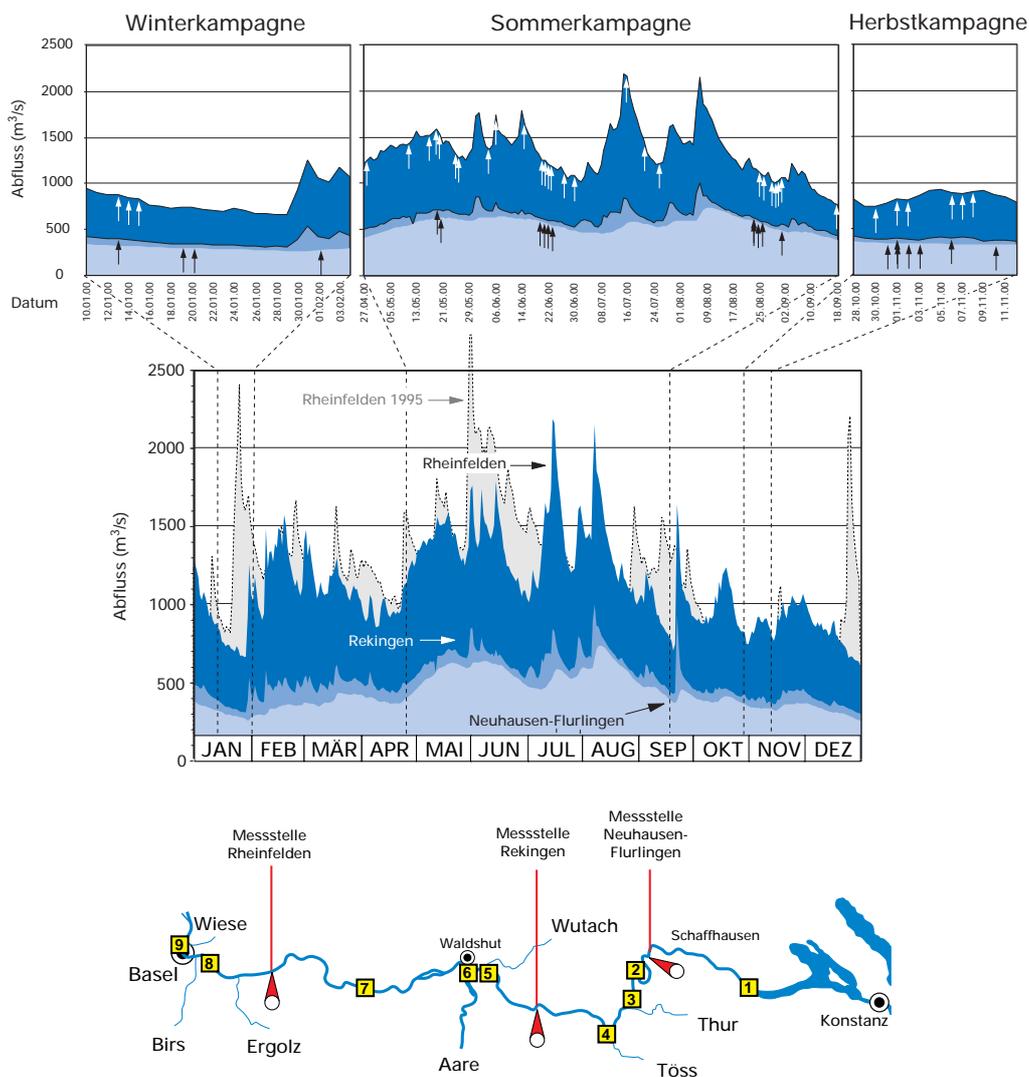


Abb. 3.3: Jahreganglinien (Tagesmittelwerte 2000) der drei Abfluss-Messstellen Neuhausen (Rhein-km 46), Rekingen (Rhein-km 91) und Rheinfelden (Rhein-km 149). Die Ausschnitte zeigen das genaue Datum der Probenahme an den einzelnen Stellen sowie die dabei herrschenden Abflussmengen. Unteres Bild: relative Lage der Messstationen zu den Probenahmetransekten 1 bis 9. Daten: Landeshydrologie (2000).

(Abb 3.3). Diese relativ geringen und gleichmässigen Abflüsse waren für eine aussagekräftige und umfangreiche Uferprobenahme sehr günstig. Fast an allen Untersuchungsstellen konnten so Bereiche beprobt werden, die ständig unter Wasser standen.

3.2 Physikalisch-chemische Kenngrössen

Wassertemperatur, Leitfähigkeit und pH-Werte

Die Probenahmen mit dem Taucher wurden im Januar bei durchschnittlichen Wassertemperaturen um 3,5° C durchgeführt. Der niedrigste Wert wurde mit 2,7° C am Ufer in Rheinau gemessen. Die sommerlichen Wassertemperaturen lagen - parallel zu den Abflussmaxima - im Juli und August 2000 deutlich (bis zu 10° C) unter denen des Jahres 1995. Temperaturmaxima von über 22° C wurden erst Ende August erreicht. Die Wassertemperaturen während der Herbstkampagne lagen zwischen 13,5°C und 11° C.

Die Unterschiede in der Leitfähigkeit des Rheinwassers waren innerhalb einzelner Flussquerschnitte grösser als im Längsverlauf des Hochrheins. Auch die Tatsache, dass sich minimale (284 µS, Ellikon) und maximale Werte (360 µS, Waldshut) um nicht einmal 100 µS unterschieden, lässt darauf schliessen, dass es im Längsverlauf des Hochrheins keine ökologisch relevanten Unterschiede für diesen Parameter gibt.

Die pH-Werte auf der Rheinsohle und am Ufer lagen während der Untersuchungskampagnen stets im neutralen Bereich (um pH 7,1 - 7,7). Lediglich im Seeabfluss bei Hemishofen wurden leicht basische Werte gemessen (Maximum pH 8,3). In diesem Bereich des Hochrheins könnten die pH-Werte durch die Verhältnisse im Bodensee-Untersee beeinflusst sein (IGKB 1995).

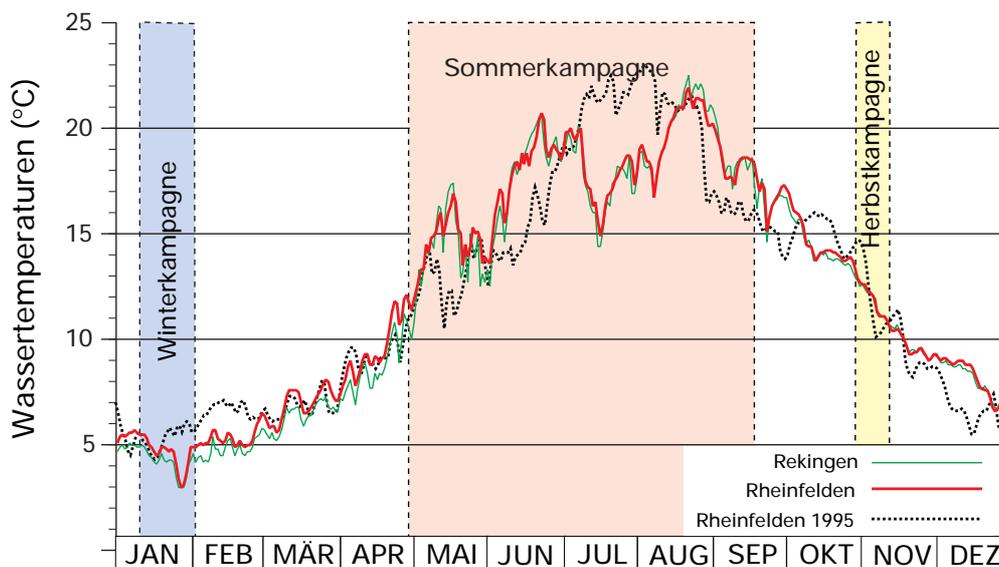


Abb. 3.4: Jahresgangkurven (Tagesmittelwerte 2000) der Wassertemperatur an den Messstellen der Landeshydrologie Rekingen (Rhein-km 91) und Rheinfelden (Rh-km 149). Als Vergleich die Ganglinie der Wassertemperaturen bei der letzten Kampagne 1995 (gestrichelte Linie im Hintergrund). Daten: Landeshydrologie.

Sauerstoffverhältnisse

Im Jahr 2000 konnten wir an sämtlichen Untersuchungsstellen Sauerstoffwerte messen, die auch für sensible Arten (z.B. Eintagsfliegen- und Steinfliegen) sicherlich nicht limitierend sind. Der Stellenwert solcher Messungen muss jedoch hinterfragt werden. Die von uns bei der Probenahme erfassten Werte beleuchten ein lediglich sehr kleines, zeitlich und räumlich begrenztes Fenster.

Entwicklung anthropogener Belastungsparameter

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 den Bodensee, 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 im Raum Zürich, Frauenfeld, Winterthur und Konstanz. Hinzu kommen diffuse Einträge aus der Landwirtschaft. Eine wesentliche zusätzliche Belastung des Rheinwassers durch die Aare ist nicht nachzuweisen.

Die Daten zur chemische Wasserqualität des Hochrheins wurden wieder von den kantonalen Gewässerschutzfachstellen in der Regel als monatliche Stichproben erhoben und von uns ausgewertet. Diese Ergebnisse sind in der Tabelle A 4 im Anhang nachzulesen. Entnahmorte für die chemischen Wasserproben waren an zwei Stellen identisch mit denen der Flussquerschnitte, den restlichen Stellen wurden Werte der am nächsten gelegenen Probenahmestellen zugeordnet.

Die organischen Belastungsparameter Stickstoff- und Phosphor-Komponenten, BSB₅ und DOC zeigten im Verlauf der vergangenen 10 Jahre nur unbedeutende Veränderungen. Eine Abnahme oder Zunahme diesbezüglicher Einträge lässt sich daraus nicht ablesen. Auch lassen sich keine Belastungsschwerpunkte lokalisieren, die von den o.g. Sammlern (v.a. Rheinzuflüsse) abweichen. Bezüglich der uns vorliegenden Resultate kann der Hochrhein gesamthaft erneut als schwach belastet eingestuft werden. Der Befund unterscheidet sich dabei nicht von den Ergebnissen der beiden letzten Berichte und früherer Erhebungen (LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ 1990, REY et al. 1992, REY & ORTLEPP 1995).

Lichtverhältnisse auf der Hochrheinsohle

Die Lichtverhältnisse und damit der wichtigste Faktor für die Assimilationsprozesse auf der Rheinsohle sind einerseits von der Wassertiefe, andererseits von der Trübung und Färbung des Wasserkörpers abhängig. Verantwortlich für den Eintrag von Trübstoffen sind vor allem Hochrheinzuflüsse wie Thur, Töss und Aare. Im stark staugeregelten Abschnitt unterhalb der Aaremündung trägt der Kraftwerkbetrieb zur Verwirbelung von Feststoffen bei, im Grossraum Basel kommen die Turbulenzen durch die Schifffahrt und den Schleusenbetrieb hinzu, die immer wieder Sedimente von der Rheinsohle aufwirbeln. Während Trübungsphänomene im Hochrhein allgegenwärtig sind, kommt es zu Wasserfärbungen nur dann, wenn lösliche Stoffe wie Huminsäuren (aus Mooregebieten), Farbstoffe (aus der

chemischen Industrie) oder Mineralölrückstände in hoher Konzentration vorliegen. Eine solche Situation konnte im Hochrhein in den letzten fünf Jahren nicht beobachtet werden. Dem gegenüber führen Planktonblüten im Bodensee zu einer zeitweise leichten, grünlich-braunen Wasserfärbung und Trübung im Seeabfluss bei Hemishofen.

Die im Rahmen der Untersuchungen gemessenen SECCHI-Tiefen (Abb 4.2) geben nur einen indirekten Anhaltspunkt zur Einschätzung der Lichtdurchflutung des Wasserkörpers. Die nur vom Bodenseewasser beeinflussten Stellen Hemishofen, Rheinau, Ellikon und meist auch die unterhalb der Thurmündung liegende Stelle am Tössegg zeigten bei normalen Abflussverhältnissen der Zuflüsse wieder eine generell höhere Transparenz als alle rheinabwärts anschließenden Probenahmestellen (Abb 3.5).

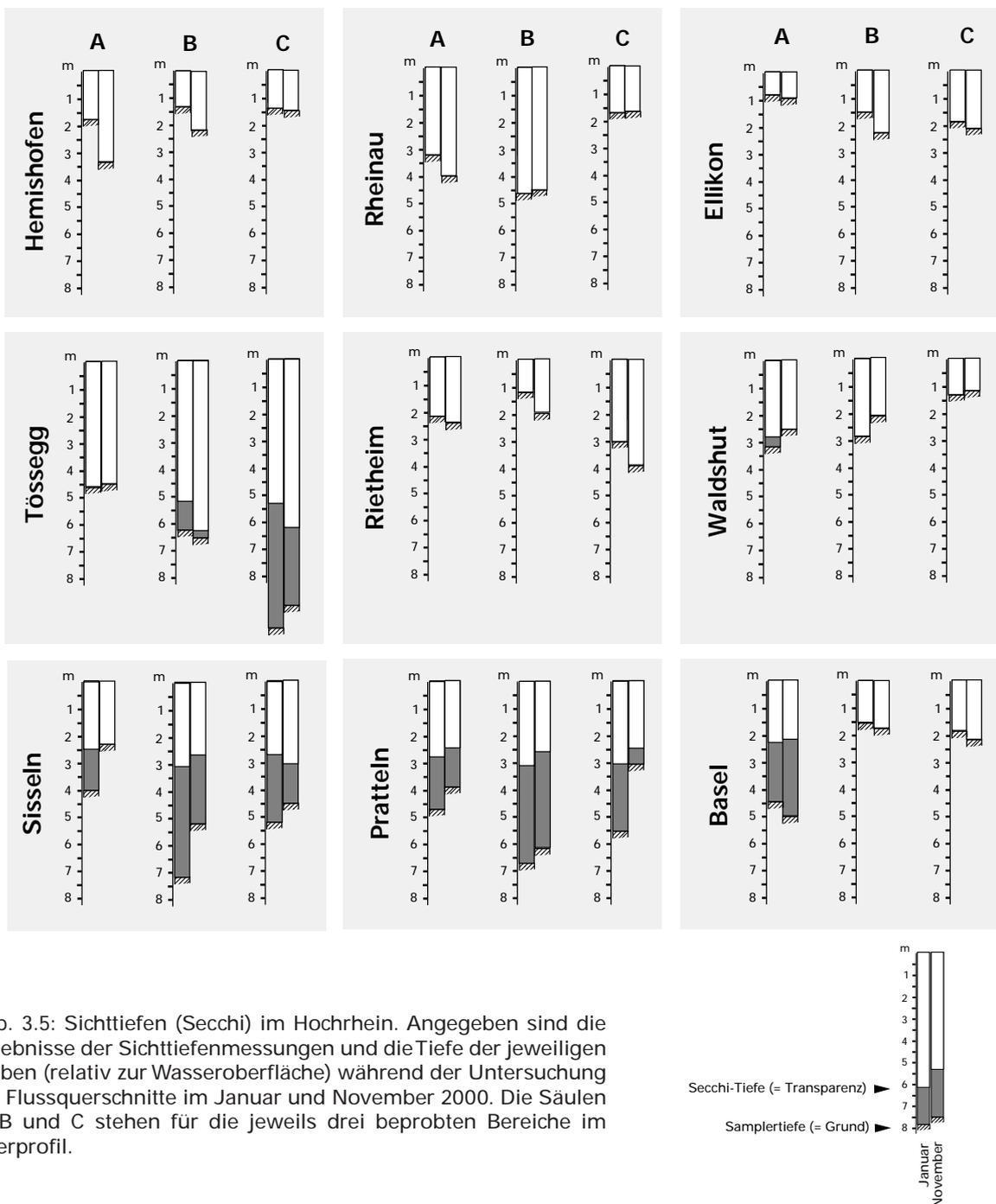


Abb. 3.5: Sichttiefen (Secchi) im Hochrhein. Angegeben sind die Ergebnisse der Sichttiefenmessungen und die Tiefe der jeweiligen Proben (relativ zur Wasseroberfläche) während der Untersuchung der Flussquerschnitte im Januar und November 2000. Die Säulen A, B und C stehen für die jeweils drei beprobten Bereiche im Querprofil.

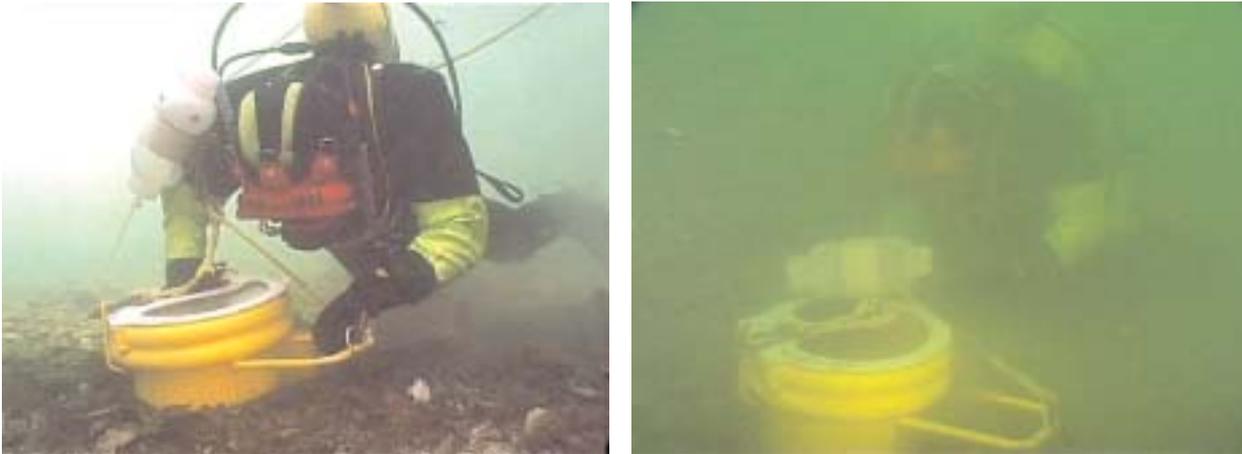


Abb. 3.6: Der Taucher bei der Probenahme auf dem Rheingrund. Zwei Aufnahmen, die die deutlichen Unterschiede in der Wassertrübung im Hochrhein zwischen Hemishofen (linkes Bild) und Pratteln-Schweizerhalle (rechtes Bild) verdeutlichen. Die Bilder wurden bei stabilen Abflussverhältnissen an zwei aufeinander folgenden Tagen, jeweils in einer Tiefe von ca. 4 m aufgenommen.

Wesentlich deutlicher als in den mit der Secchi-Scheibe messbaren Werten zeigen sich die Unterschiede in der Trübung des Wasserkörpers aus der Sicht des Tauchers (Abb. 3.6).

Dennoch erreicht das Licht - je nach Einstrahlungsintensität - bei gleicher Transparenz noch deutlich tiefere Bereiche der Wassersäule als die SECCHI-Werte vorgeben. Im gesamten Hochrhein ist die Lichtdurchflutung so hoch, dass mit Ausnahme seltener Hochwasserereignisse stets mehr oder weniger starke Photosyntheseaktivität auf der Flusssohle möglich ist.

4 Konzept und Methoden der biologischen Untersuchungen

4.1 Anpassungen im Programm

Die biologische Charakterisierung der Flussquerschnitte an den neun als repräsentativ ausgewählten Probestellen entlang des Hochrheins stand wieder im Vordergrund dieser Untersuchungen. Sowohl vom Ufer aus als auch an den neun Flussquerschnitten wurden flächenbezogene "Mischproben" gesammelt, die sich aus Teilproben der jeweils dominanten Substratkategorien und Choriotope zusammensetzten. Die schiffgestützte Probenahme mit Hilfe eines Tauchers und die am selben Querschnitt gesammelten Uferproben garantierten die in einem Langzeit-Monitoring geforderte Kontinuität. Diesen bisherigen Schwerpunkten wird im gleichen Sinne auch zukünftig Priorität eingeräumt.

Erstmals wurden im Programm 2000 die bisher drei Probenahmekampagnen mit dem Taucher (Winter, Frühsommer, Herbst) auf zwei (Winter/Frühjahrs- und Herbstaspekt) reduziert. Auf die schiffgestützte Taucherprobenahme im Sommer konnte verzichtet werden, da früher gewonnene Erkenntnisse ausreichten, um saisonale Besonderheiten in der Besiedlung der Flussquerschnitte zu beschreiben und zu erklären. Ergänzend zum bisherigen Programm wurde über die gesamten Sommermonate hinweg ein dichtes Probestel-

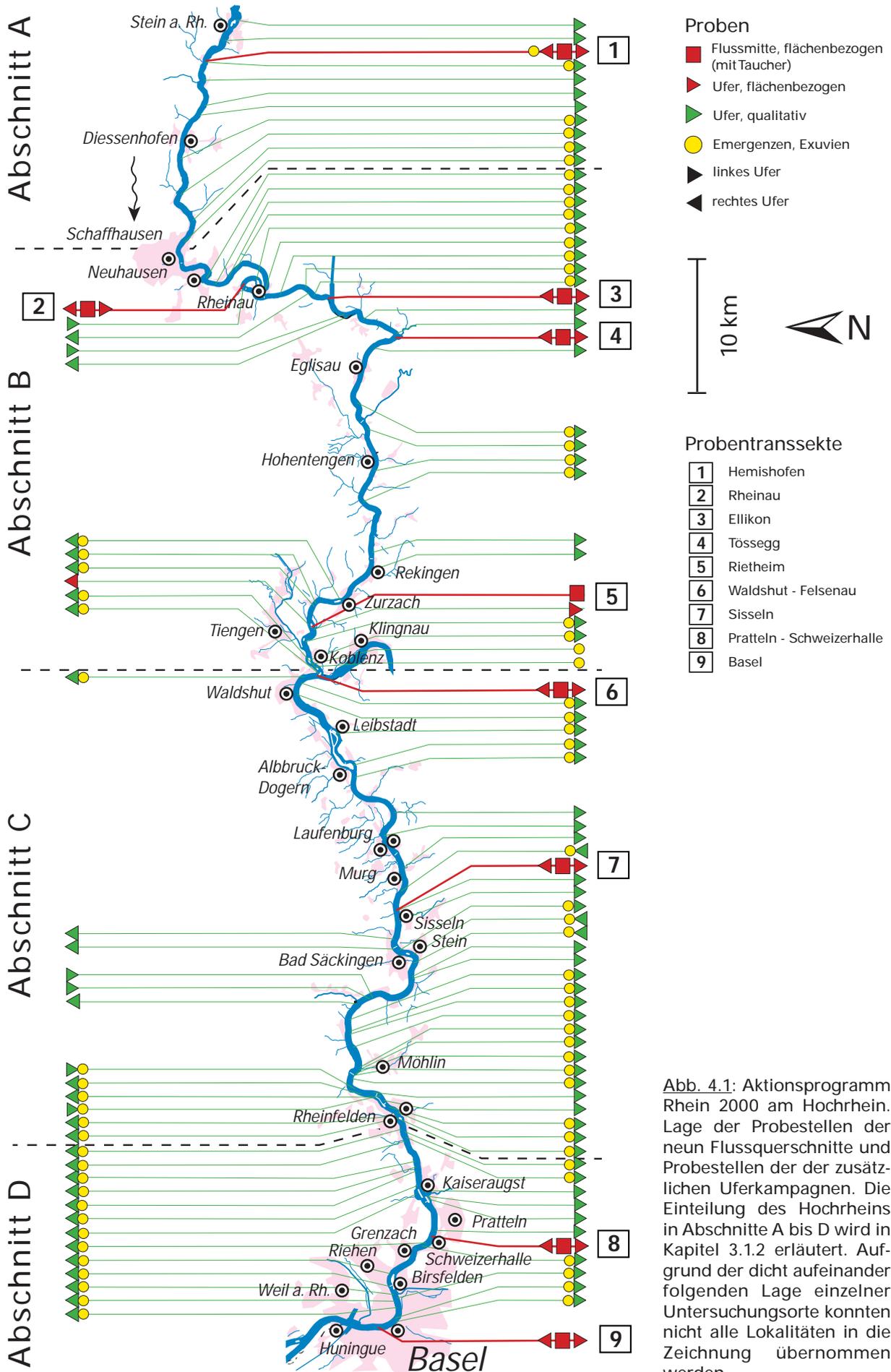


Abb. 4.1: Aktionsprogramm Rhein 2000 am Hochrhein. Lage der Probestellen der neun Flussquerschnitte und Probestellen der der zusätzlichen Uferkampagnen. Die Einteilung des Hochrheins in Abschnitte A bis D wird in Kapitel 3.1.2 erläutert. Aufgrund der dicht aufeinander folgenden Lage einzelner Untersuchungsorte konnten nicht alle Lokalitäten in die Zeichnung übernommen werden.

lennetz ständig oder zeitweise wasserbenetzter Uferstellen auf beiden Seiten des Hochrheins beprobt (Abb. 4.1). Die Auswahl und Zahl der Stellen innerhalb bestimmter Strecken orientierte sich an der unterschiedlichen Choriotope- und damit Habitat-Heterogenität. Von den Wasserinsekten wurden nicht nur aquatische Stadien, sondern auch Exuvien (leere Larvenhüllen) und Imagines (geschlüpfte Wasserinsekten) gesammelt, an einigen Stellen in Basel wurden auch Fallen aufgestellt. Mit dieser inhaltlichen Programmerweiterung soll eine deutlichen Verbesserung der faunistischen und zoogeografischen Kenntnisse (Ausbreitungsgrenzen) der Benthosfauna des Hochrheins erreicht werden. Darüber hinaus sollten die Ergebnisse Einblick in die vorhandenen Siedlungsmöglichkeiten und die grossräumigen Besiedlungsmuster typischer Hochrheinarten liefern.

4.2 Probenahme auf den Flussquerschnitten

Schiffsgestützte Probenahme mit dem Taucher

Die unterschiedliche Ergebnisse von Proben aus dem Uferbereich und der Flussmitte zeigten auch im Rahmen dieser Kampagne wieder, dass im Hochrhein auf Proben mit Hilfe des Tauchers nicht verzichtet werden kann, will man neben rein qualitativen Aussagen auch solche zur Besiedlungsdichte und Dominanz einzelner Arten treffen. Eine Bestandsaufnahme, die sich auf den Uferbereich beschränkt, erlaubt nur unvollständige Aussagen über die qualitative und quantitative Zusammensetzung der gesamten Benthosbiozönose im Flussquerschnitt.

Die Probensammlung mit Hilfe eines schiffsgestützten Taucher-Einsatzes erfolgten an den neun, seit 1990 bewährten und für die jeweiligen Hochrheinstrecken repräsentativen Flussquerschnitten (Transsekte) zwischen Rheinkilometer 29 (unterhalb Stein am Rhein) und Kilometer 168 (Basel, Dreirosenbrücke, Abb. 4.1). Die Tauchprobennahmen wurden zwischen 13. Jan. 2000 und 1. Feb. 2000 und zwischen 2. Nov. 2000 und 10. Nov. 2000 durchgeführt. Sie erfolgten im wesentlichen nach den bei REY & ORTLEPP (1997) beschriebenen Methoden. Vom Boot aus gelangte das bewährte Unterwasser-Equipment zum Einsatz (Abb. 4.2, 4.3).

Uferproben an den Flusstranssekten

Zusätzlich zu der Probenahme mit dem Taucher wurden auf beiden Rheinseiten je eine Mischprobe aus dem unmittelbaren Uferbereich entnommen - möglichst auf ständig wasserbenetzter Fläche. Die Aufsammlung der Makroinvertebraten in Ufernähe erfolgte sinngemäss (entsprechend der prozentualen Verteilung der dominanten Substrate) mit einem herkömmlichen Surber-Sampler. Diese Proben wurde von D. Bernauer im Auftrag der Baden-Württembergischen Landesanstalt für Umweltschutz gesammelt und bearbeitet. Die Uferprobenahme erfolgte zeitlich versetzt zu der Probenahme durch den Taucher.

Weiterbearbeitung der Proben am Ort

Je drei Teilproben einer Fläche von jeweils knapp 0,1 m² wurden am Ufer mittels einer Fliessrinne und/oder eines Siebsatzes weitestgehend von Begleitmaterial (Steine, Holz,

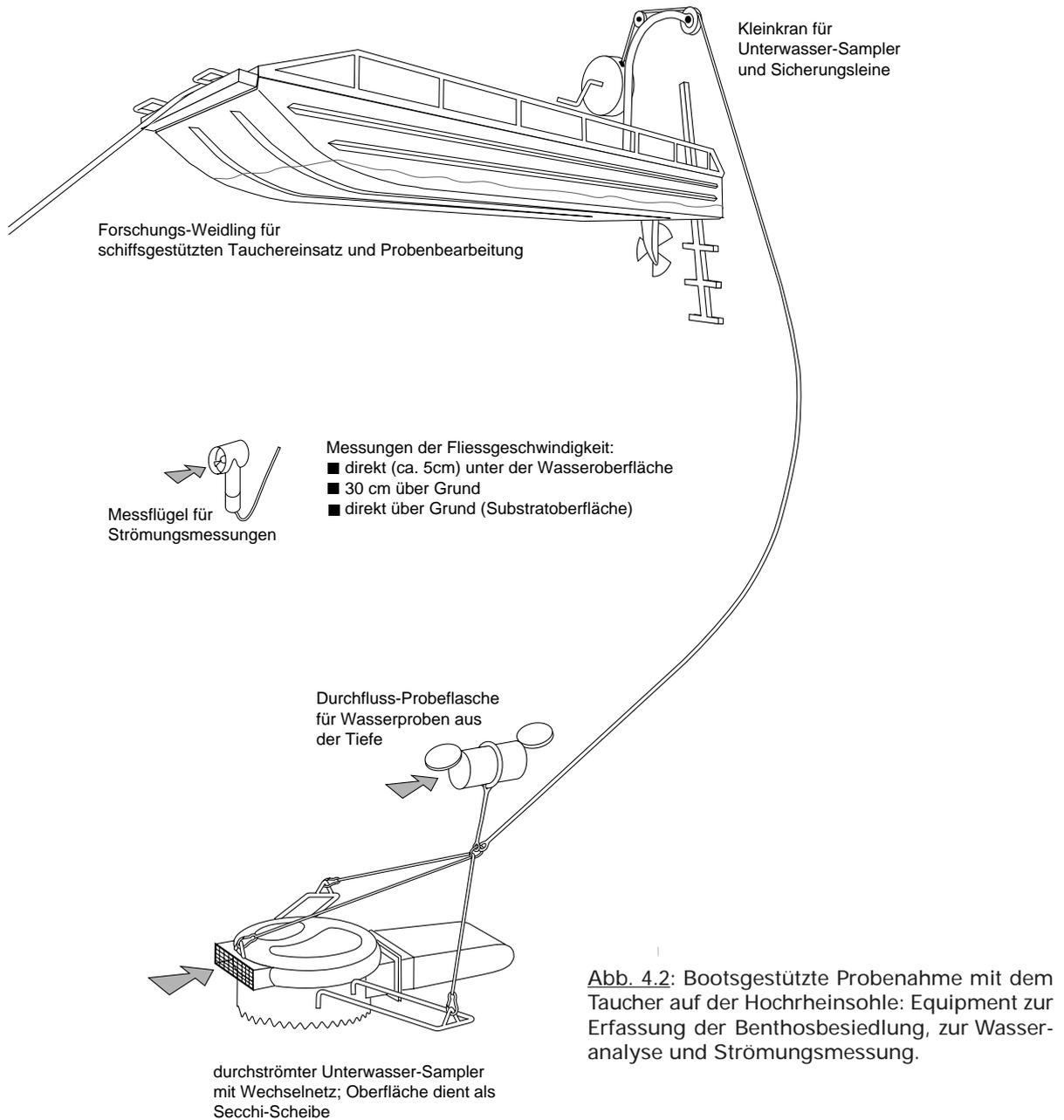


Abb. 4.2: Bootsgestützte Probenahme mit dem Taucher auf der Hochrheinsohle: Equipment zur Erfassung der Benthosbesiedlung, zur Wasseranalyse und Strömungsmessung.

etc.) befreit (Abb. 4.3 d und e) und die so konzentrierte Organismenprobe für den Transport vorbereitet. Pro Probenahmequerschnitt und Probenahme ergab sich somit ein Total von fünf Sammelproben (3 Proben Flussmitte, 2 Proben Ufernähe), die mit Isopropanol fixiert und anschliessend im Labor bestimmt wurden.

4.3 Untersuchungen an zusätzlichen Uferstandorten

Im Unterschied zu den Untersuchungen der Jahre 1990 und 1995 wurde anstelle der Sommerproben mit dem Taucher eine umfangreiche Besammlung der Ufer vorgenommen. Dabei wurden nicht nur Stellen untersucht, die - wie die Proben auf den Flussquerschnitten - grössere Rheinabschnitte repräsentierten, sondern auch die im bisherigen Programm nicht vertretenen Uferstrecken und Lebensräume. Zwischen Mitte Mai und

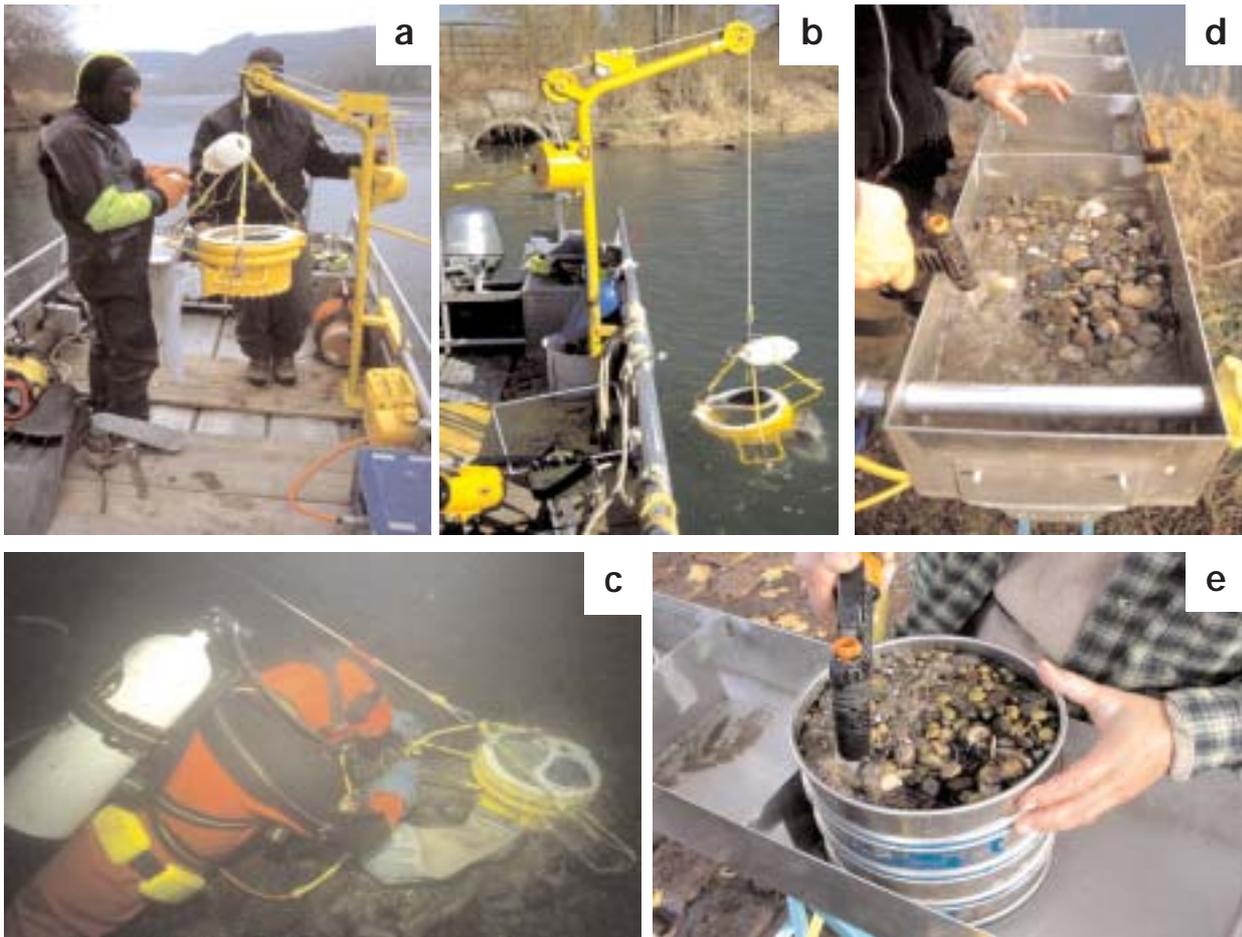


Abb. 4.3: a und b: Unterwassersamplers mit Wasserflasche am Kran; c: Probenahme auf dem Flussgrund; Konzentrieren der Organismenprobe, d: in der Fließrinne, e: mit dem Siebsatz.

Ende August 2000 sowie noch im Frühsommer 2001 wurden 126 neue Probestellen am Hochrheinufer mit allen unterscheidbaren aquatischen Lebensräumen beprobt. Die jeweils auf den untersuchten Abschnitt bezogenen Mischproben enthielten dabei die Teilproben von rund 450 Einzelhabitaten. Dabei waren auch Aufsammlungen von Insekten-Imagines und Exuvien im direkten Uferbereich und Proben aus exponierten Emergenzfallen (Schlupffallen) im Raum Basel. Die Einzelproben wurden im Feld möglichst genau vorsortiert (mit Sortierrinne und Siebsatz) und die unterscheidbaren Choriotope so lange weiter beprobt, bis keine neuen Organismen in den Proben mehr auffielen. Erfasst wurden alle Entwicklungsstadien der Benthosorganismen. Ziel dieser Sonderuntersuchung war es:

- ▶ bisher nicht repräsentierte Habitate und Arten zu erfassen,
- ▶ die Artenlisten weiter zu vervollständigen,
- ▶ die zoogeografische Verbreitung verschiedener Arten zu präzisieren,
- ▶ das Auftauchen und Verschwinden von Arten zukünftig genauer zu dokumentieren,
- ▶ den Einfluss von Stauräumen und anderen anthropogenen Auswirkungen auf die Biologie des Rheins genauer zu erfassen,
- ▶ den Einfluss von Zuflüssen auf die Hochrheinfauna besser abschätzen zu können.



Abb. 4.4: Sonderprogramm: Untersuchungen an zusätzlichen Uferstandorten.

4.4 Auswertung der Proben

Die konservierten Organismenproben wurden im Labor ausgelesen und bestimmt. Im Gegensatz zu früheren Kampagnen wurden keine Teilproben, sondern das gesamte Probenmaterial ausgelesen und bestimmt. Von den in der Uferkampagne im Sommer gesammelten Proben wurden in der Auswertung für den vorliegenden Bericht nur diejenigen berücksichtigt, die für die hier behandelten Themen und Arten relevant waren. Eine weitergehende faunistische Auswertung ist noch im Gange, zumal weitere Proben noch bis zum Herbst 2001 gesammelt wurden. Von den Ergebnissen sind noch weitere Artennachweise sowie präzisere Verbreitungskarten einzelner Arten zu erwarten.

Qualitative Bearbeitung (Artenzusammensetzung)

Für jede Probenahmestelle wurde eine Liste der gefundenen Taxa erstellt. Darüber hinaus wurden Taxalisten für unterschiedliche Rheinabschnitte und den gesamten Hochrhein zusammengestellt. Das taxonomische Niveau orientierte sich an der im Rahmen der Expertengruppe „Makroinvertebraten“ der IKSR vereinbarten Taxa-Liste, wobei für die o.g. weitergehende faunistische und zoogeografische Datensammlung auf einem noch genaueren Niveau weitergearbeitet wurde.

Quantitative Bearbeitung (Besiedlungsdichten)

Die flächenbezogen gesammelten Proben wurden jeweils auf Besiedlungsdichten pro 1 m² Projektionsfläche umgerechnet. Daraus liessen sich Aussagen zur Gesamt-Besiedlungsdichte sowie zu den relativen Häufigkeiten einzelner Taxa oder Gruppen treffen. Neben der genauen Angabe der Besiedlungszahlen pro m² erfolgte zur besseren räumlichen und zeitlichen Reproduzierbarkeit eine Zuordnung der absoluten Zahlen zu einer 7-stufigen Häufigkeitsskala nach DIN 38410 T1 (Tab. A 3 a-i). Die Proben der Sommerkampagne lieferten zwar keine flächenbezogenen Besiedlungszahlen, dafür aber relative Häufigkeiten und damit Angaben zur Dominanz verschiedener Arten.

Bewertung

Wie in den Jahren 1990 und 1995 wurde ein Vergleich der neun Probenahmequerschnitte anhand der Listen der gefundenen Taxa und der ermittelten Besiedlungsdichten durchgeführt sowie die Langzeitentwicklung ausgewählter Arten betrachtet. Des Weiteren wurde die Entwicklung von Vorkommen und Besiedlungsdichte der Charakter- und Zeigerarten des Hochrheins zwischen 1990 und 2000 (vgl. REY & ORTLEPP 1997) betrachtet. Das Besiedlungsbild wurde durch die Betrachtung funktioneller Gruppen (Ernährungstypen) abgerundet.

Neu in die Auswertung mit übernommen wurden langjährige Vergleiche der Dominanzen und Konstanz (Regelmäßigkeiten) im Vorkommen aspektbildender Arten. Die Berechnungen erfolgten an den neun Flussquerschnitten und weiteren faunistisch interessanten Uferstrecken in Anlehnung an den neuen Bericht der IKSR-Expertengruppe Benthos. Die Ergebnisse wurden mit denen der anderen Rheinanliegerländer verglichen.

5. Die Benthosbesiedlung des Hochrheins

Durch die zusätzlichen Uferproben und die Berücksichtigung des gesamten Probenmaterials für die weitere Bestimmung lag uns im Jahr 2000 ein erheblich umfangreicheres Probenmaterial vor als noch vor fünf Jahren. Das taxonomische Niveau sowie die hierfür nötige Bestimmungsliteratur wurde vor Beginn des Programms im Rahmen von Expertentreffen auf IKSR-Ebene koordiniert. Geplant war, dass durch diesen Abgleich, weit besser als bisher, taxonomische Unterschiede entlang des gesamten Rheins erfasst werden können. Nach Auswertung der Proben 2000 stand jedoch fest, dass dieses Bestimmungsniveau nicht überall eingehalten wurde. Daher konnte auch nicht das Vorkommen aller 294 in diesem Bericht aufgeführten Taxa für den gesamten Rheinverlauf verglichen werden (vgl. Abb.5.4).

5.1 Verbreitung der Charakterarten 1990 bis 2000

Die auf der Sohle und im Uferbereich des Hochrheins anzutreffenden, z.T. völlig unterschiedlichen Lebensräume (Abb. 5.1) bedingen in entscheidendem Masse die Dichte und räumliche Verteilung einzelner Taxa. Vagile (freibewegliche) Arten wie die meisten Flohkrebse, Eintagsfliegen, Wasserwanzen und einige Köcherfliegen sind dabei weniger auf bestimmte Substrate fixiert als halbsessile oder sessile Taxa. Einige festsitzende Arten, wie z.B. die Zebamuscheln, Schwamm- und Moostierchenkolonien sowie der im Raum Basel mittlerweile häufige Schlickkreb *Corophium curvispinum* und der Polychaet *Hypania in-valida* bilden in ihrem Bestand Texturen verschiedener Form und Individuendichte auf verlagerungsstabilem Substrat aus und können dabei selbst zu besiedelbaren, sozusagen organischen Substratflächen von z.T. mehreren hunderttausend Einzelindividuen werden

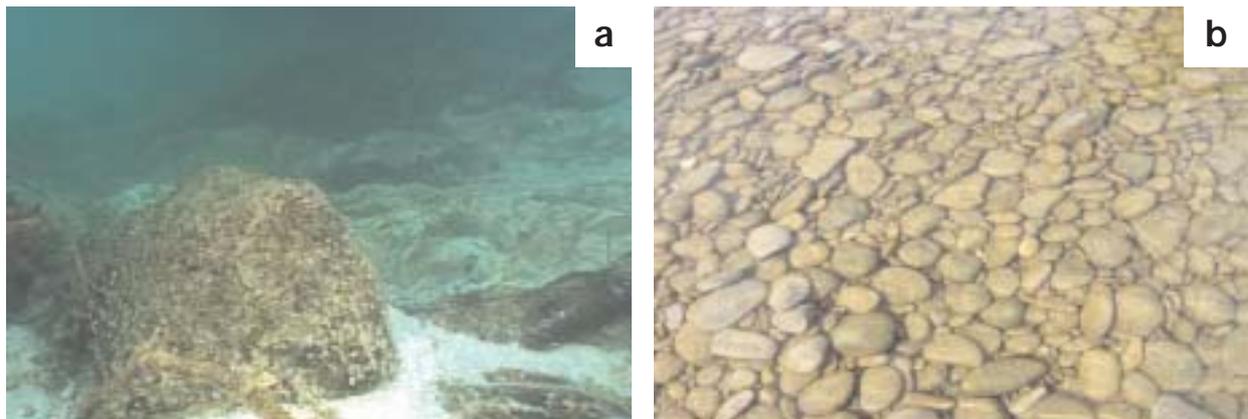


Abb. 5.1: Die benthischen Lebensräume zeigen im Hochrhein selbst in benachbarten Flussabschnitten extreme Unterschiede in Struktur und Substratzusammensetzung. a: Sehr heterogene Flusssohle bei Hemishofen mit grossen Blöcken, Sandflächen, Dreissenakolonien und Tonböden. b: Homogenes, nur zeitweise wasserbenetztes Stein-Schotter-Substrat desselben Flussquerschnitts.

(Abb 5.2). Solche lokalen Massenvorkommen wurden in unseren Proben nur dann berücksichtigt, wenn es sich dabei um ein biologisches Charakteristikum des gesamten Querschnitts handelte. Meist erfolgte daher eine konservative Abschätzung der tatsächlichen Besiedlungsdichten.

Seit 1990 wird das Vorkommen und die Häufigkeit ausgewählter Charakterarten (Tab. 5.1, Abb. 5.3) des Hochrheins verfolgt. Die Auswahl dieser Arten ist nicht vollständig, wird aber stets modifiziert und aktualisiert (z.B. durch die Hinzunahme von Neozoen), wenn sich weitere Arten als wichtig für die biologische Charakterisierung und ökologische Veränderungen erweisen. Dabei kann auch auf bisher noch nicht genutztes Datenmaterial aus frü-

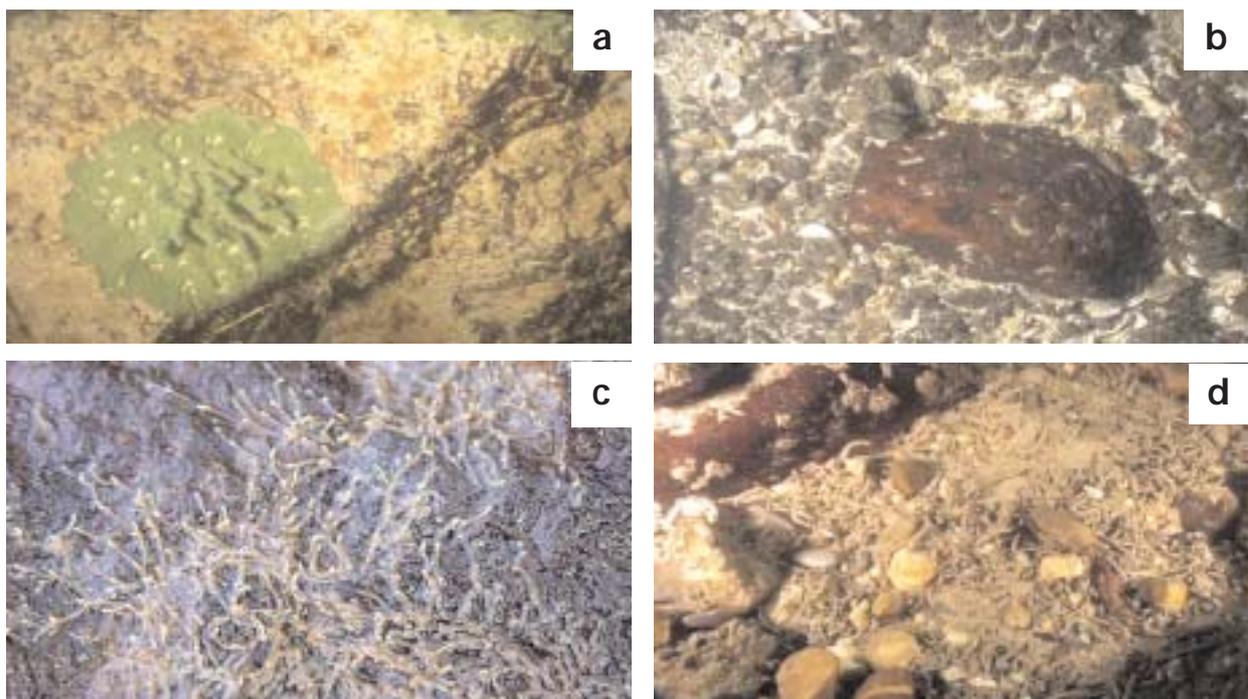


Abb. 5.2: Sessile Benthosorganismen können Texturen auf der Hochrheinsohle bilden. a: Schwammkolonien der Art *Ephydatia* sp.; b: Lückenlos und mehrschichtig von der Zebrauschel *Dreissena polymorpha* besiedelter Flussgrund; c: eine Kolonie von Moostierchen. d: Köcher des Borstenwurmes *Hypania invalida* in strömunggeschützten Senken.

heren Kampagnen zurückgegriffen werden. Solche Charakterarten können in besonderem Masse die generellen Veränderungen in der Sohlenbesiedlung zeigen. Auf den folgenden sechs Tafeln der Abb. 5.3 werden Vergleiche in der Besiedlung 1990, 1995 und 2000 gezogen. Die dabei verwendeten Häufigkeitsangaben „selten“ (bis ca. 50 Individuen/m²), „regelmässig“ (in fast allen Proben mit zwischen 50 und ca. 500 Individuen/m² vertreten) sowie „regelmässig und häufig“ (in den meisten Proben mit über ca. 500 Individuen/m²) wurden nach den gleichen Kriterien wie im letzten Bericht (REY & ORTLEPP 1995, S. 39) ermittelt.

Für die Betrachtung in der Abb. 5.3 a bis f wurden nur die Proben aus dem Bereich der neun Flusstranssekte berücksichtigt. Die Besiedlungen am Ufer (Dreieck) und an der Sohle (Quadrat) wurde getrennt dargestellt.

Bei einigen Charakterarten konnten Veränderungen in der Besiedlung festgestellt werden, die teilweise gut erklärbar sind, für andere konnte noch keine Ursache ermittelt werden. Mögliche Gründe sind neben dem Erscheinen und der weiteren Ausbreitung von Neozoen periodische Populationsschwankungen, Veränderung der Substratzusammensetzung (z.B. durch starke Hochwasserereignisse wie im Jahr 1999) und damit Veränderung der relativen Häufigkeit verschiedener Choriotope oder eine generelle Verbesserung respektive Verschlechterung der Wasser- oder Sohlenqualität.

Taxon	Veränderung und Bereich	mögliche Gründe / Status
<i>Dugesia tigrina</i>	weitere Ausbreitung / Verdichtung der Population	Neozoon in der Ausbreitung
<i>Hypania invalida</i>	Erscheinen und Massenvermehrung (Raum Basel)	Neozoon in der Ausbreitung
<i>Theodoxus fluviatilis</i>	Fast völliger Rückgang der Populationen	unbekannt: natürliche Ursachen oder Räuber ?
<i>Corbicula spp.</i>	weitere Ausbreitung/Massenvermehrung (Raum Basel)	Neozoon in der Ausbreitung
<i>Gammarus pul./ foss.</i>	Rückgang der Individuendichte im Raum Basel	Konkurrenz durch <i>Dikerogammarus spp. ??</i>
<i>Corophium curvisp.</i>	weitere Ausbreitung/Massenvermehrung (Raum Basel)	Neozoon in der Ausbreitung
<i>Dikerogammarus spp.</i>	Erscheinen und starke Vermehrung (bis oh. Rheinfeldern)	Neozoon in der Ausbreitung
<i>Caeniden</i>	Verdichtung der Populationen uh. Aaremündung (Sohle)	unbekannt: evtl. höhere Anteile an Feinsediment-Choriotopen nach HW 1999
<i>Potamanthus luteus</i>	Verdichtung der Populationen uh. Aaremündung (Sohle)	unbekannt: evtl. höhere Anteile an Feinsediment-Choriotopen nach HW 1999

Tab. 5.1: Charakterarten des Hochrheins, bei denen deutliche oder tendenzielle Veränderungen in der Besiedlung zwischen 1995 und 2000 zu beobachten waren.

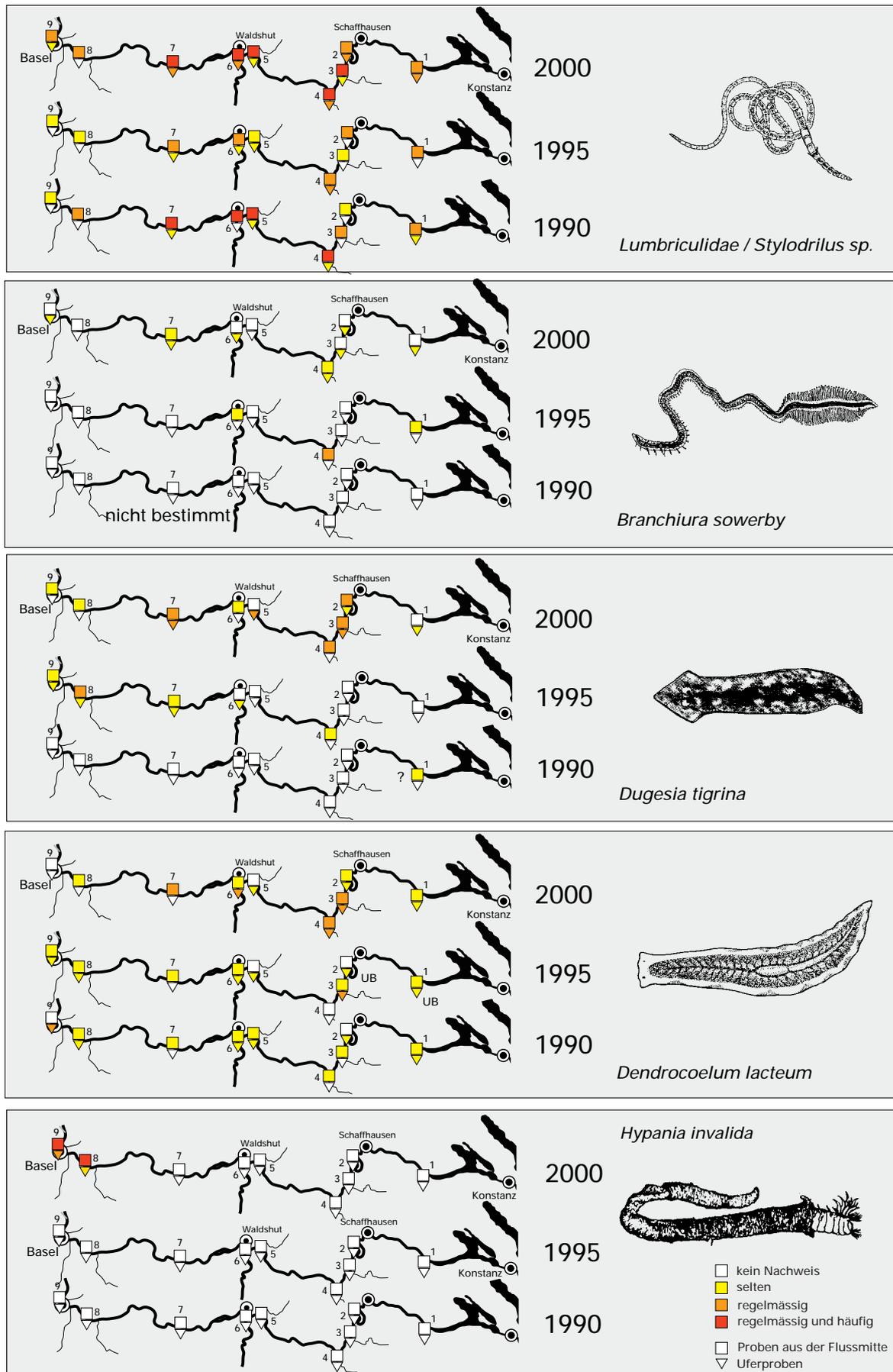


Abb. 5.3 a: Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins. Ergebnisse der neun Flussquerschnitte im Vergleich der Jahre 1990, 1995 und 2000.

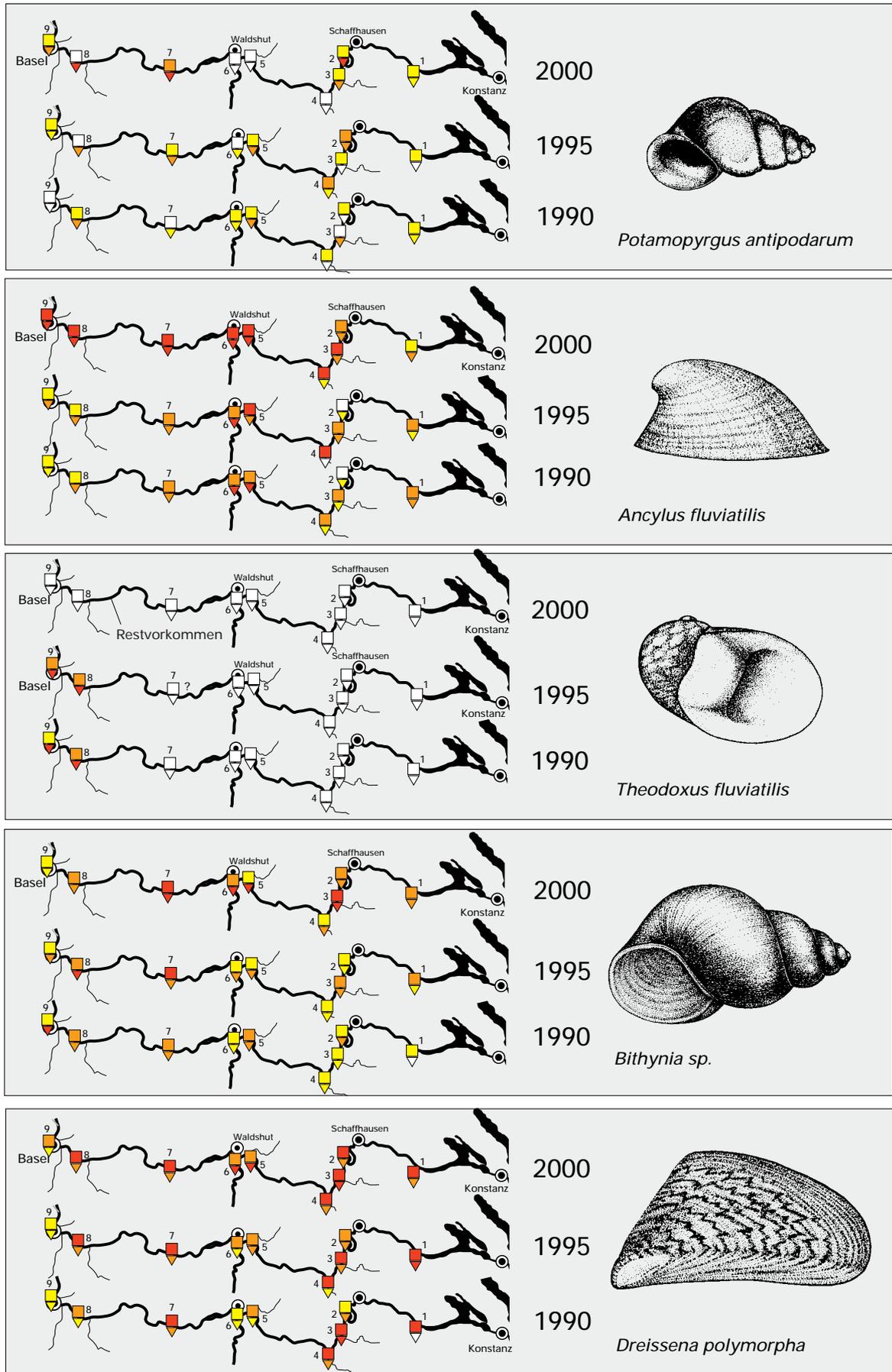


Abb. 5.3 b: Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins. Ergebnisse der neun Flussquerschnitte im Vergleich der Jahre 1990, 1995 und 2000.

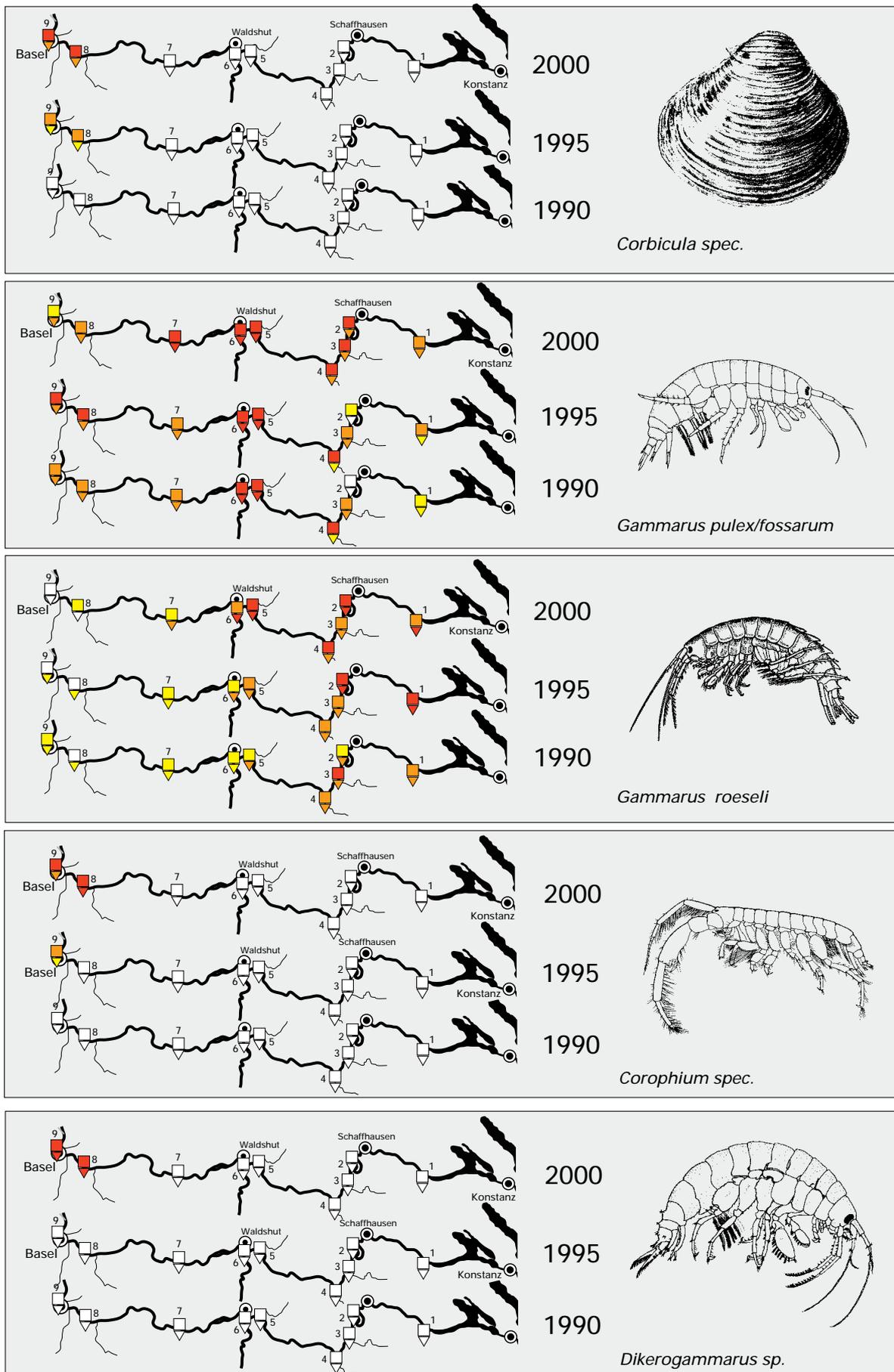


Abb. 5.3 c: Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins. Ergebnisse der neun Flussquerschnitte im Vergleich der Jahre 1990, 1995 und 2000.

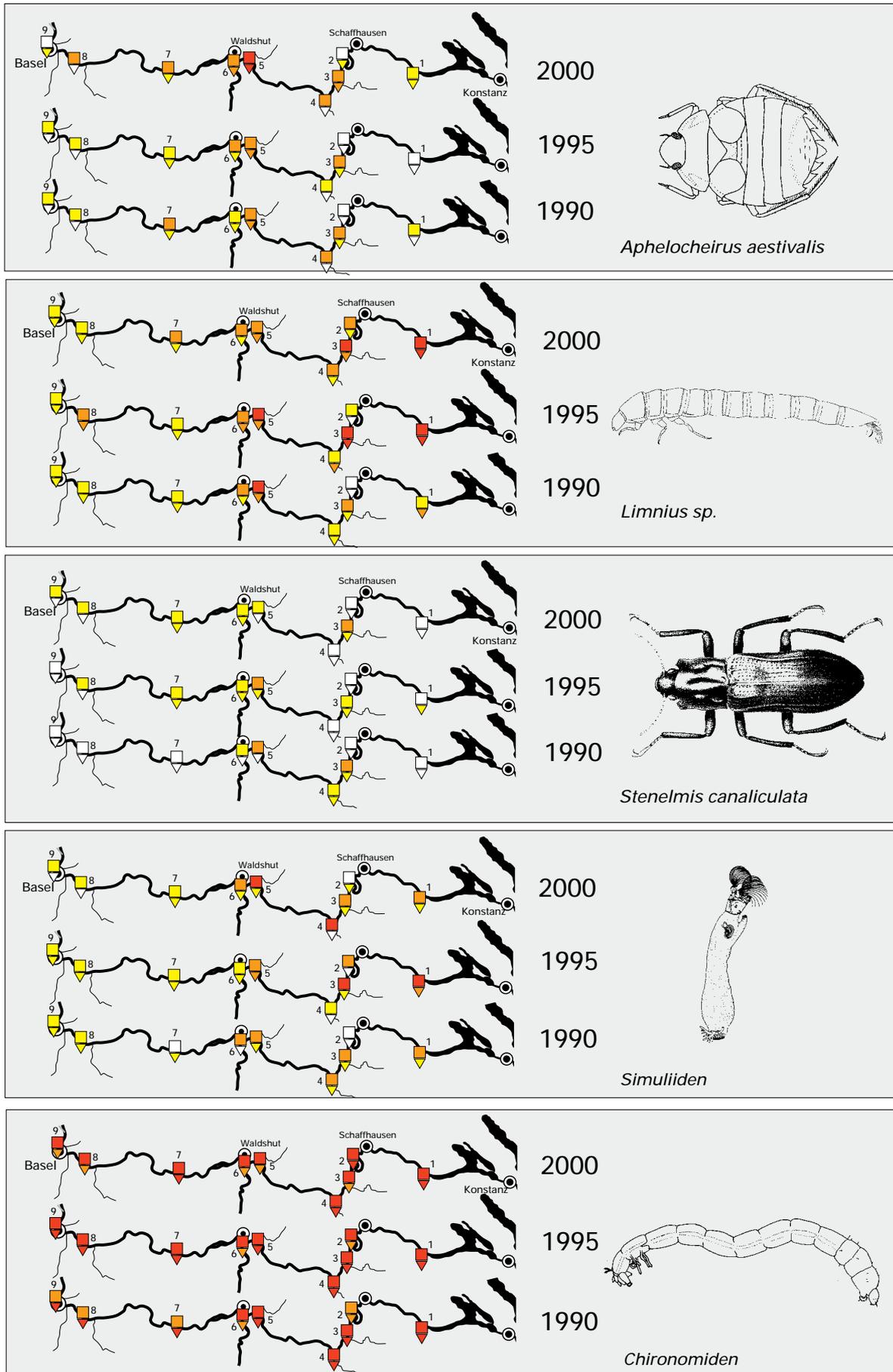


Abb. 5.3 d: Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins. Ergebnisse der neun Flussquerschnitte im Vergleich der Jahre 1990, 1995 und 2000.

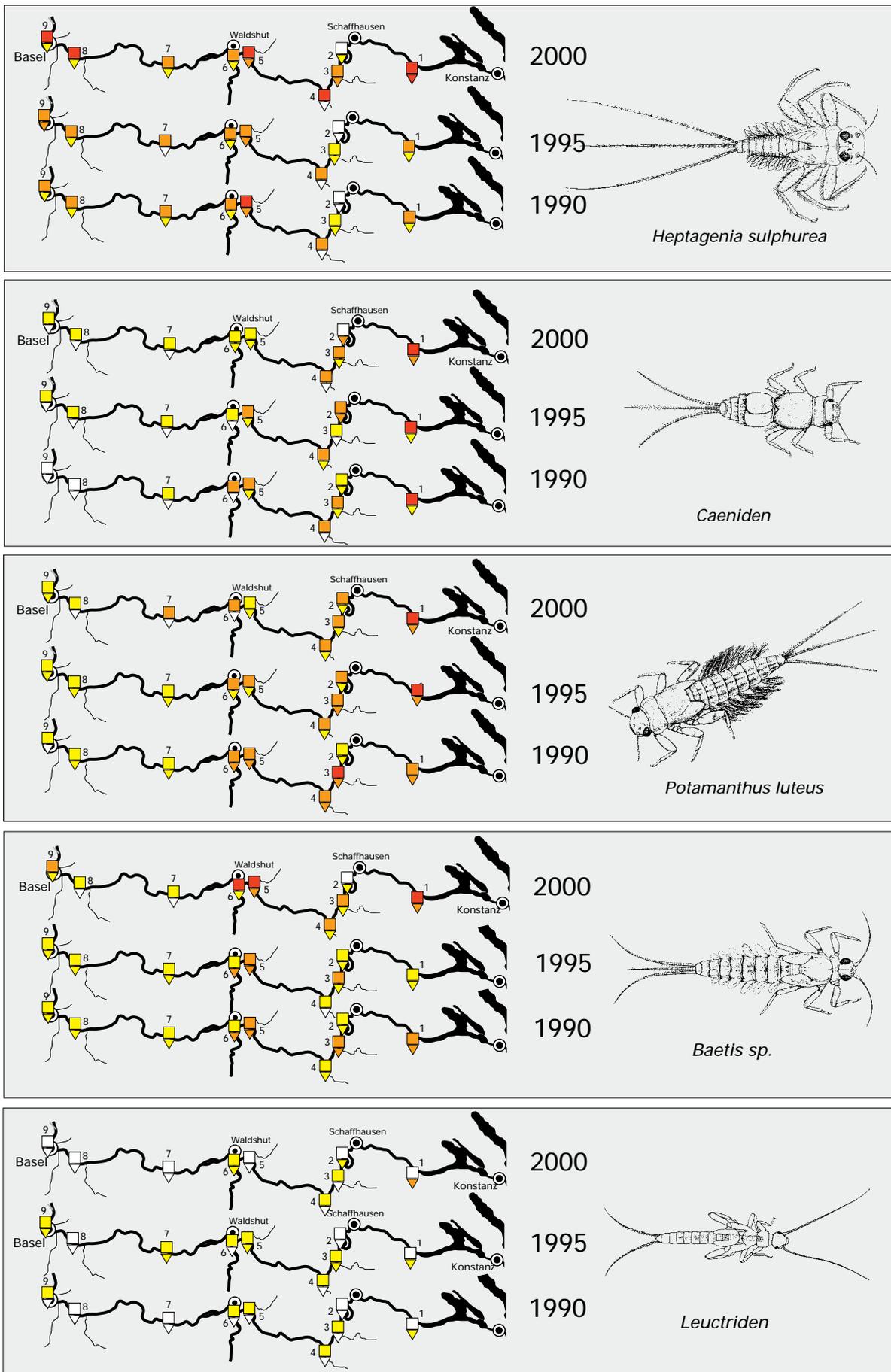


Abb. 5.3 e: Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins. Ergebnisse der neun Flussquerschnitte im Vergleich der Jahre 1990, 1995 und 2000.

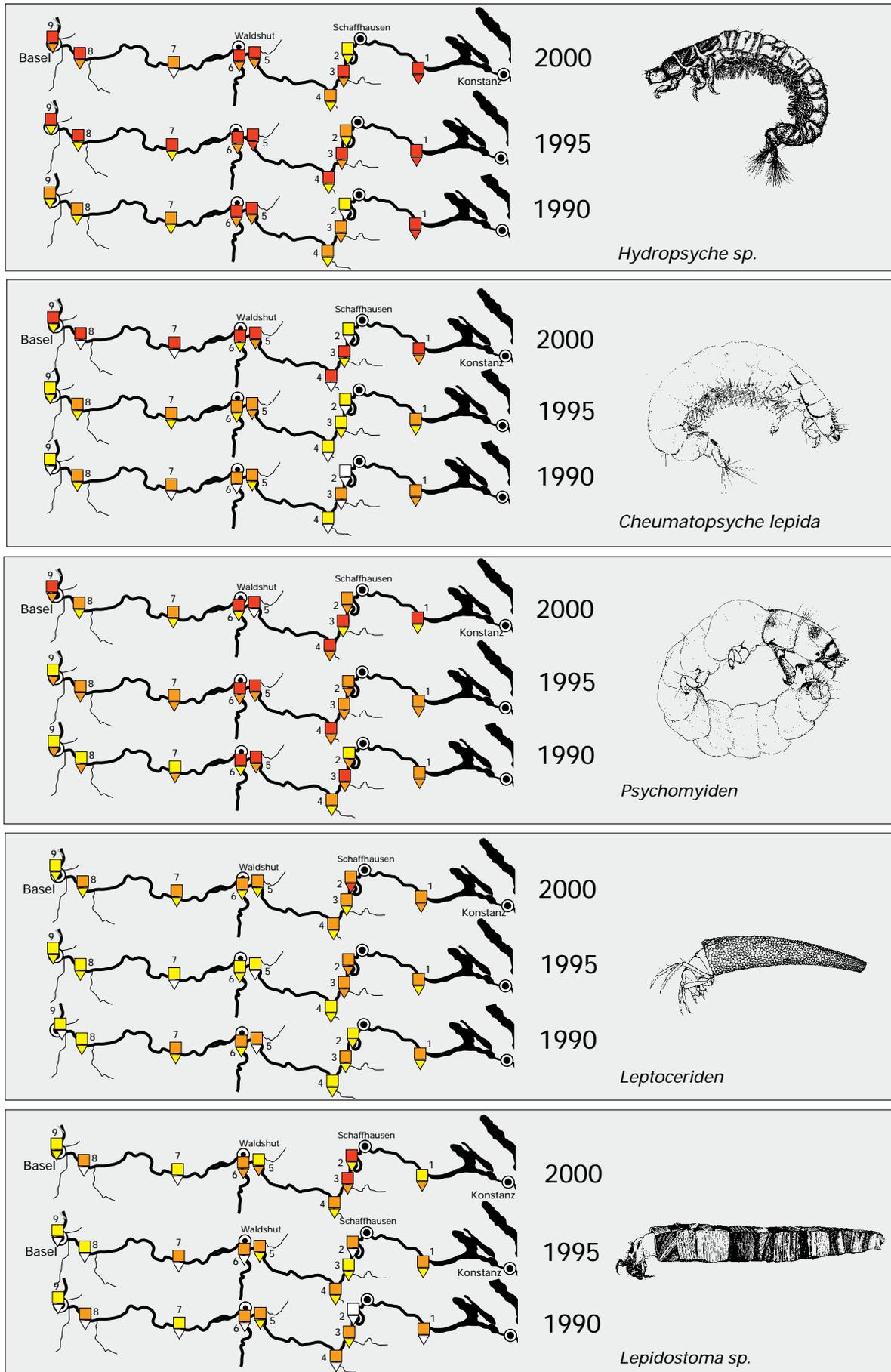


Abb. 5.3 f: Verbreitung und Häufigkeit ausgewählter Charakterarten des Hochrheins. Ergebnisse der neun Flussquerschnitte im Vergleich der Jahre 1990, 1995 und 2000.

5.2 Artenvielfalt und Artenverteilung im Hochrhein

5.2.1 Der Hochrhein als bedeutendes Artenreservoir

Bei den Untersuchungen im Rahmen des Programms "Rhein 2020" wurden zwischen Bodenseeabfluss und Mündung in die Nordsee insgesamt **327** Arten oder höhere Taxa der Makroinvertebraten nachgewiesen (SCHÖLL 2001). Diese Zahl und die Vergleiche orientieren sich an der Teiluntersuchung mit dem niedrigsten Bestimmungsniveau. Die höchsten Taxazahlen wurden - wie bei allen früheren Kampagnen - im Hochrhein oberhalb seines schiffbaren Bereichs, die niedrigsten am Nieder- und Deltarhein festgestellt. Die im Jahr 2000 nachgewiesenen Taxazahlen im Rahmen des Gesamtprogramms sind in Abb. 5.4 dargestellt.

Erhöht man das Bestimmungsniveau, so zeigt sich eine immense Artenfülle vor allem oberhalb des Aarezuflusses, also im stellenweise noch freifliessenden Teil des Hochrheins. Im gesamten Hochrhein konnten bei der Kampagne 2000 bisher **232** verschiedene Invertebratenarten bzw. höhere Taxa auf der Flusssohle, als Exuvien oder Emergenzen bestimmt werden. Diese Zahl verdeutlicht erneut den Stellenwert des Hochrheins als Artenreservoir und genetische Regenerationsquelle für alle unterhalb liegenden Rheinabschnitte.

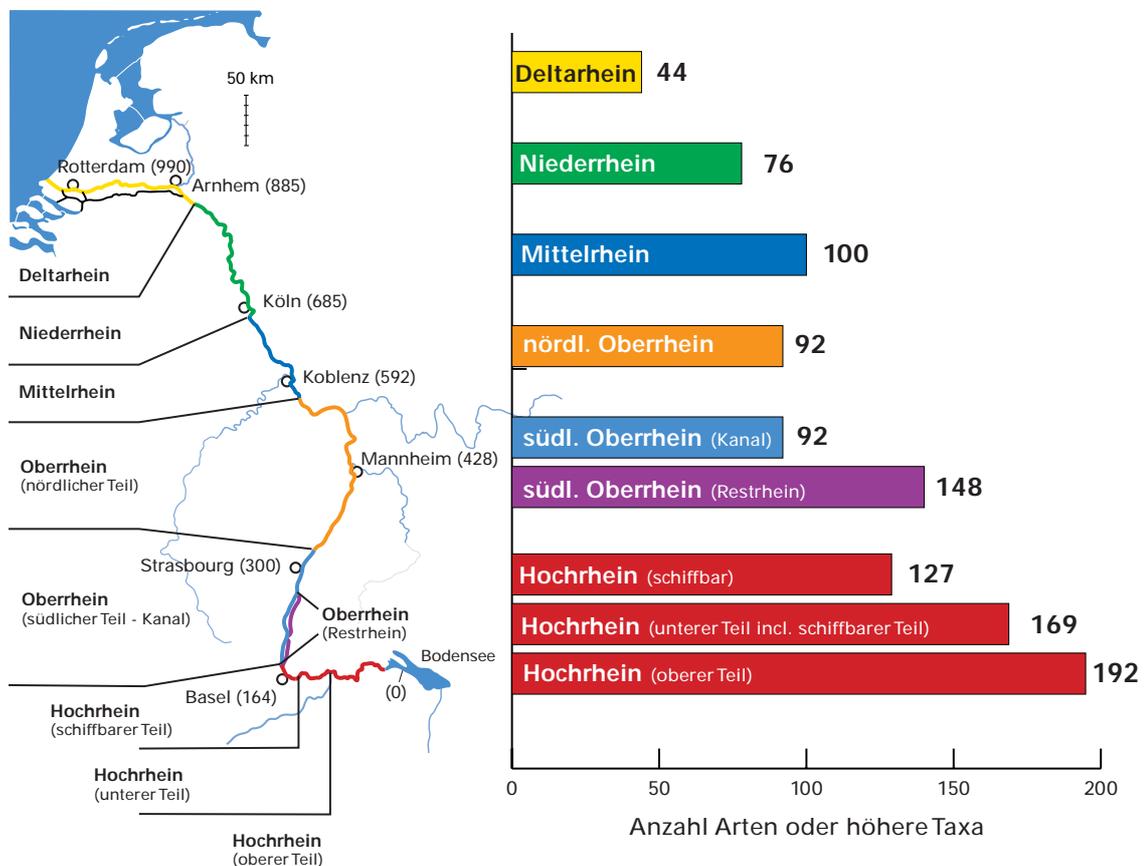


Abb. 5.4: Anzahl der Benthosarten oder höherer Taxa des Rheins vom Bodensee bis zur Mündung. Daten der Bestandsaufnahmen der IKSr 2000. Für den Vergleich verwendet wurde ein gemeinsames taxonomisches Niveau, welches unter der Genauigkeit der aktuellen IKSr-Liste liegt. Abbildung nach SCHÖLL 2001, verändert.

5.2.2 Faunenelemente und Taxazahlen im Hochrhein

Nicht überall im Hochrhein setzt sich die Benthosbesiedlung aus einer vergleichbaren Kombination von Arten zusammen. Innerhalb des über längere Strecken freifliessenden und naturnahen Abschnitts B zeigen sich v.a. hyporhithrale (typischer Lebensraum: Gebirgsfluss im Unterlauf), im regulierten und staubeeinflussten Abschnitt C sowie im Raum Basel (Abschnitt D) potamale und epipotamale (typischer Lebensraum: Tiefland- und Mittellandfluss) Faunenelemente aspektbildend oder dominant. Zu den hyporhithralen Arten zählen einige der in der Abb. 5.3 vorgestellten Charakterarten des Hochrheins, wie der Flohkrebs *Gammarus fossarum* und die Käferarten *Limnius perrisi* und *L. volckmari*. Typische Vertreter der rhithralen Arten (typische Bergbachbewohner) sind die Eintagsfliegen *Habroleptoides confusa*, *Rhithrogena semicolorata* und *Ecdyonurus sp.*. Auch alle nachgewiesenen Steinfliegenarten und die Köcherfliegen der Gattungen *Sericostoma*, *Glossosoma* und *Silo* zählen zu diesen beiden Faunenelementen.

Im gesamten Hochrhein findet man aber auch weniger anspruchsvolle potamale bzw. epipotamale Arten, die dennoch in weiter abwärts liegenden Rheinabschnitten (mit Ausnahme des Restrheins und seiner Auengewässer) zum Teil selten sind. 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 *Neureclipsis bimaculata*, die besonders im Seabfluss häufig vorkommt.

Vor allem in den Staubereichen und am Kunstsubstrat (Ufermauern, Blockwurf) des regulierten und schiffbaren Hochrheins dominieren Arten, wie wir sie in grossen Individuendichten auch im Ober-, Mittel- und Niederrhein finden. Besonders unspezifische Anforder-

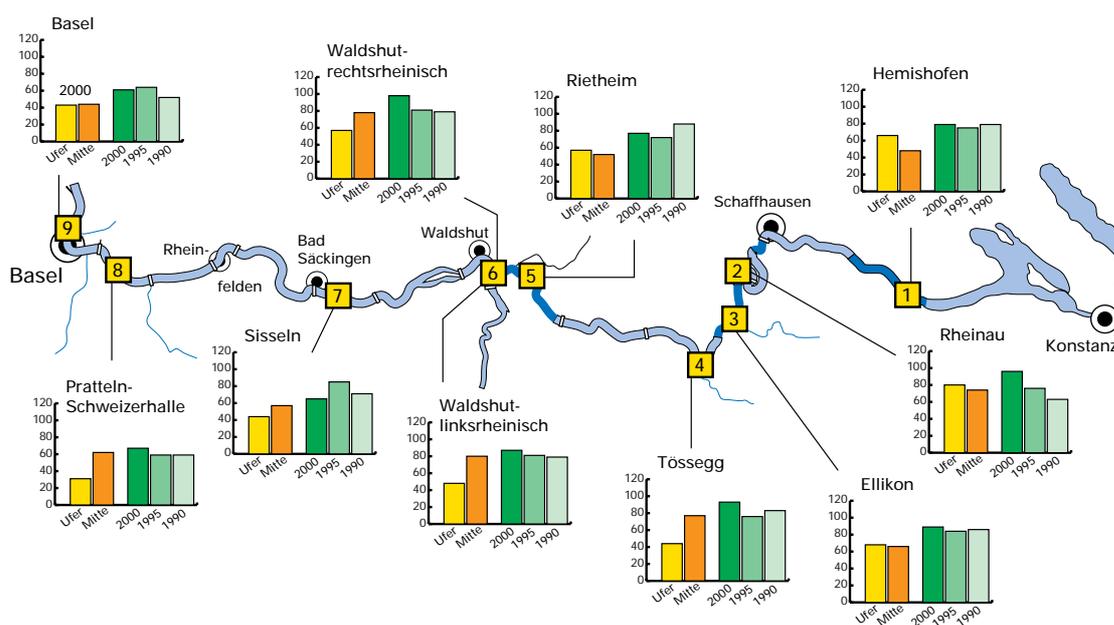


Abb. 5.5: Gesamtaxazahlen der neun Flussquerschnitte im Vergleich der bisherigen Hochrheinuntersuchungen (1990, 1995, 2000) sowie die Taxazahlen für die Ufer- und die Taucherproben (Mitte) der Kampagne 2000.

rungen an ihren Lebensraum zeigen die sogenannte Ubiquisten, denen neben einigen häufigen Chironomidenarten auch Flohkrebse (z.B. *Gammarus roeseli*), Schnecken wie *Bithynia tentaculata*, *Potamopyrgus antipodarum* und *Radix sp.*, einige Plattwürmer-, Würmer- und Egelarten sowie alle häufiger oder massenhaft auftretenden Neozoen zugeordnet werden.

Die Artenvielfalt auf den Flussquerschnitten

Auf den neun Flussquerschnitten konnten bei den Untersuchungen im Jahr 2000 trotz Verzicht auf die Sommerkampagne mit dem Taucher an drei von neun Stellen eine deutlich höhere Zahl unterschiedlicher Taxa nachgewiesen werden als 1995 resp. 1990 (Abb. 5.4, Tabelle A 2 im Anhang). Hierfür gibt es auch methodische Gründe:

- ▶ die Probenahme wurde methodisch verbessert (umfangreichere und sorgfältigere Vorsortierung im Feld, separate Fixierung empfindlicher Arten und Individuen, Berücksichtigung aller Entwicklungsstufen);
- ▶ die neue IKSRL-Liste berücksichtigt mehr Arten als 1990 und 1995;
- ▶ eine grössere Zahl von Taxa, die 1995 noch als *sp.* oder *spp.* angegeben wurden, konnte im Rahmen der aktuellen Studie mit Hilfe von entsprechendem Vergleichsmaterial bestimmt werden.

Obwohl so der direkte Vergleich mit früheren Kampagnen erschwert wird, muss festgehalten werden, dass die Ergebnisse am Hochrhein deutlich gegen den Trend an vielen unterhalb von Basel liegenden Rheinstrecken läuft. Hier wurden zwar insgesamt nicht weniger Taxa nachgewiesen als zuvor, dennoch wurde zwischen 1995 und 2000 ein leichter Rückgang der Taxazahlen pro einzelner Untersuchungsstelle verzeichnet (SCHÖLL 2001).

Wenn sich die gleiche Artenzahl im Rhein auf immer grössere Streckenabschnitte verteilt, so bedeutet dies möglicherweise eine Artenverarmung an einzelnen Stellen: bestimmte Arten sind seltener geworden und tauchen daher weniger regelmässig in den Proben auf.

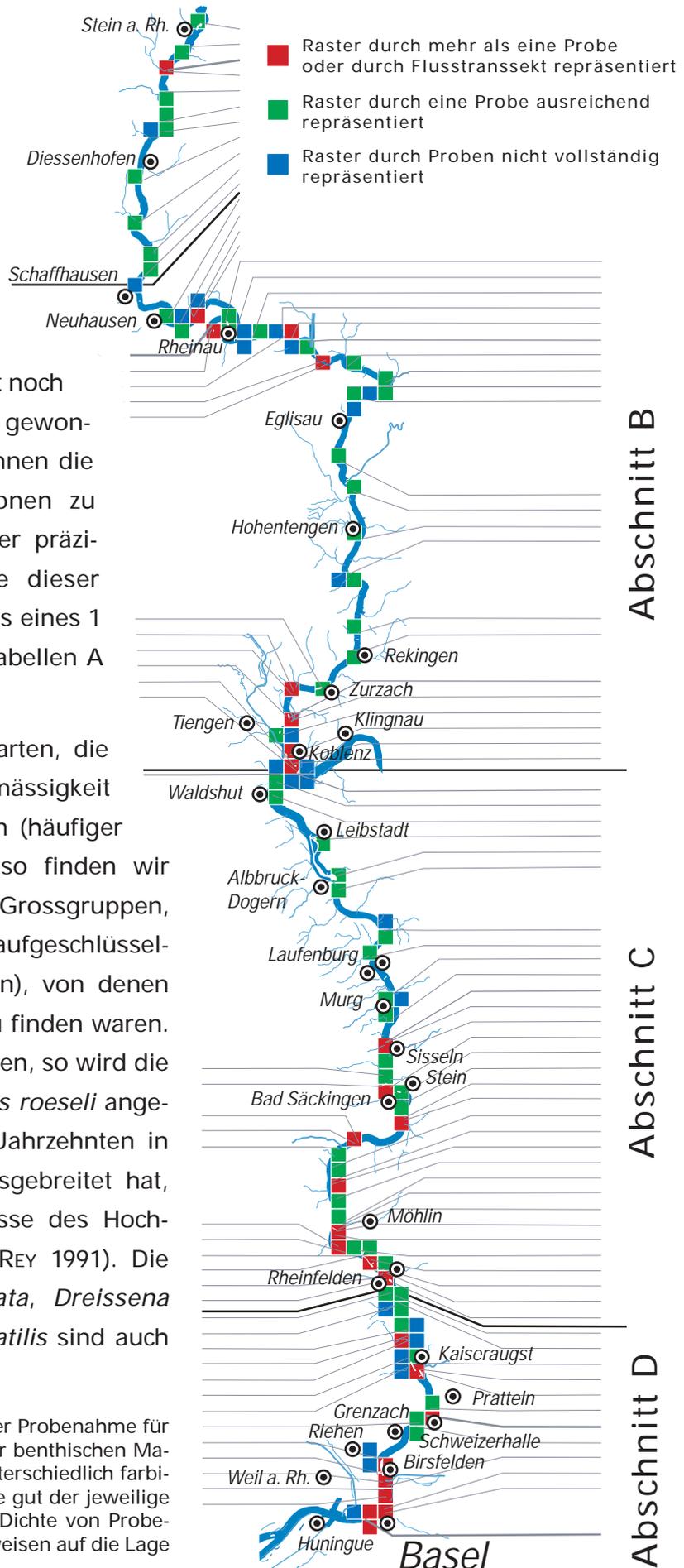
Konstanz der Besiedlung

Will man diese Entwicklung verfolgen und interpretieren, so muss man die Regelmässigkeit betrachten, mit der Arten räumlich und zeitlich nachzuweisen sind (Konstanz = Nachweis des Taxons in % der Proben). Hierfür wurden alle Proben herangezogen, die aufgrund ihres Umfangs und Inhaltes einen grösseren Uferabschnitt gleichen Charakters repräsentierten. Zusammen mit den Proben der Flussquerschnitte konnte so ein recht genaues Bild der Verteilung und der Zahl unterschiedlicher Benthosarten entlang des gesamten Hochrheins sowie für die vier voneinander getrennt betrachteten Hochrheinabschnitte gewonnen werden. Abb. 5.6 vermittelt einen Eindruck, in welchem Mass das von uns gewählte Probestellennetz den Hochrhein in seinem Längsverlauf repräsentiert. Auffällige Schwerpunkte der Kampagnen liegen im Bereich Rheinau-Ellikon, Waldshut, Rheinfeldern und im Grossraum Basel. Aus diesen Bereichen wurden für alle weiteren

Betrachtungen zur Artenvielfalt und den Individuendichten nur Einzelproben berücksichtigt, wenn sie uns wichtige Zusatzinformationen lieferten. Die genaue taxonomische Auswertung aller in diesem Rahmen noch nicht berücksichtigter Hochrheinproben von 1997 bis 2001 ist derzeit noch im Gange. Mit Hilfe der dadurch gewonnenen Zusatzinformationen können die zoogeographischen Informationen zu einzelnen Hochrheinarten weiter präzisiert werden. Erste Beispiele dieser Verbreitungskarten auf der Basis eines 1 km Rasters sind im Anhang (Tabellen A 3) aufgeführt.

Betrachtet man die Hochrheinarten, die mit mehr als 50 % - iger Regelmässigkeit in den Proben enthalten waren (häufiger als in jeder zweiten Probe), so finden wir Vertreter aller taxonomischen Grossgruppen, angeführt von den nicht weiter aufgeschlüsselten Chironomiden (Zuckmücken), von denen Vertreter in fast allen Proben zu finden waren. Betrachtet man die "echten" Arten, so wird die Liste vom Flohkrebs *Gammarus roeseli* angeführt, der sich in den letzten Jahrzehnten in Dichte und Fläche deutlich ausgebreitet hat, aber immer noch keine Zuflüsse des Hochrheins besiedelt (SCHRÖDER & REY 1991). Die Ubiquisten *Bithynia tentaculata*, *Dreissena polymorpha* und *Ancylus fluviatilis* sind auch

Abschnitt A



Abschnitt B

Abschnitt C

Abschnitt D

Abb. 5.6: Grad der Repräsentativität der Probenahme für Angaben zur Vielfalt und Verteilung der benthischen Makroinvertebraten im Hochrhein. Die unterschiedlich farbigen Quadrate sollen verdeutlichen, wie gut der jeweilige Abschnitte durch eine entsprechende Dichte von Probestellen repräsentiert sind. Die Striche weisen auf die Lage der Probestellen (vgl Abb. 4.1).

im Hochrhein - ihrem Lebensraumtyp entsprechend - überall anzutreffen. Erfreulicherweise konnten wir auch die weite Verbreitung typischer hyporhithraler Rheinarten wie *Limnius volckmari* und *Gammarus fossarum* belegen, eine Tatsache, die dem Hochrhein zumindest eine ausreichend gute Wasserqualität attestiert, auch innerhalb regulierter Abschnitte.

Alle anderen hyporhithralen und rhithralen Faunenelemente, die früher im Hochrhein weit verbreitet waren (LAUTERBORN 1916), kamen an nicht mehr als 25 % der Probestellen vor. Der Hochrhein besitzt demnach zwar immer noch eine mit historischen Verhältnissen vergleichbare Artenvielfalt, die sich jedoch aus anderen Arten wie z.B. vor 100 Jahren zusammensetzt.

Konstanz der Besiedlung (Nachweis in % der Proben)

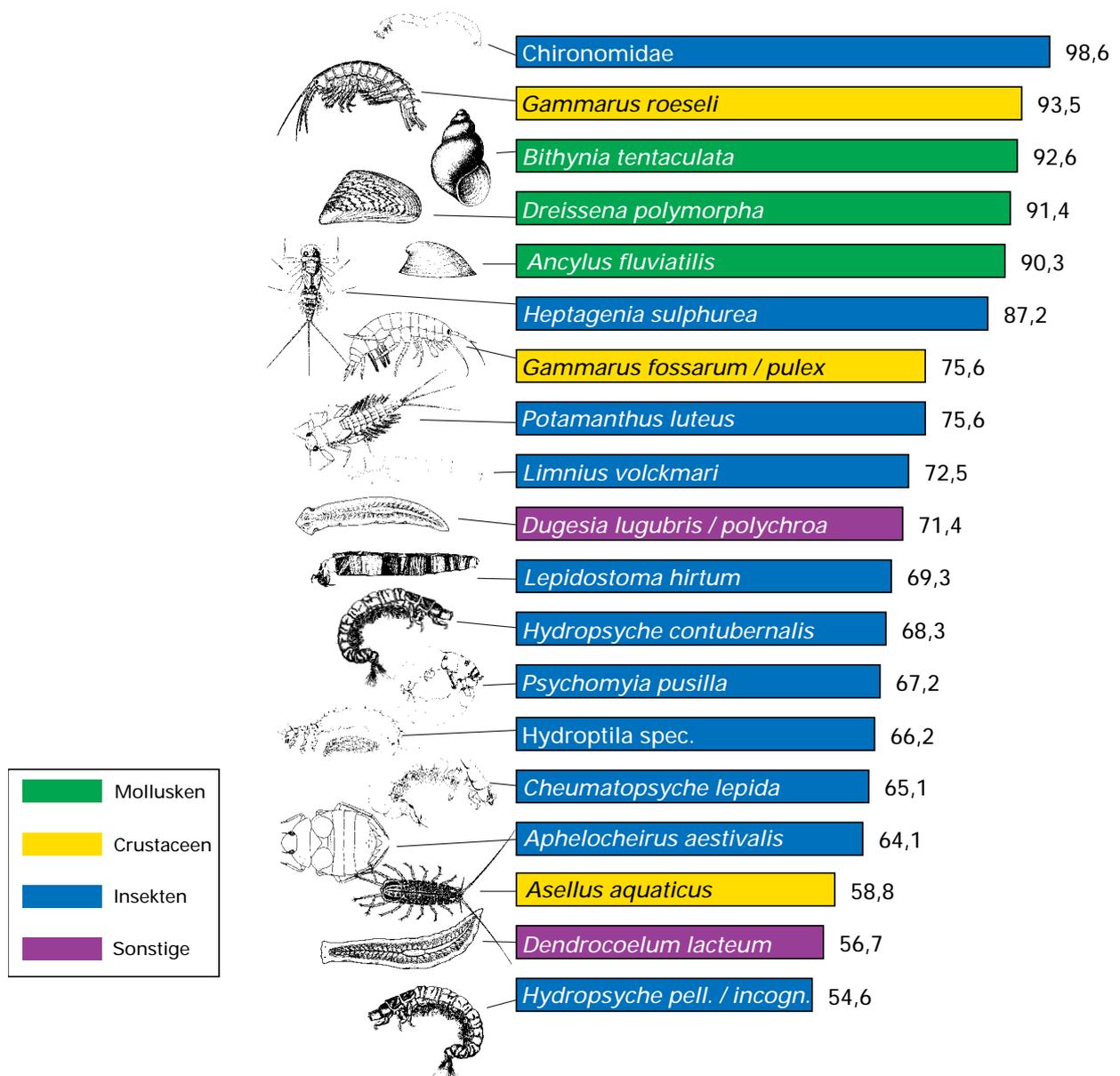


Abb. 5.7: Konstanzstruktur der Makroinvertebratenarten im Verlauf des Hochrheins im Jahr 2000. Aufgeführt sind 19 Arten oder höhere Taxa, die in mehr als 50 % aller untersuchten Probestellen nachgewiesen wurden.

Artenvielfalt als biologisches Qualitätskriterium

Die Ergebnisse belegen, dass nur noch wenige der typischen Hochrheinarten entlang des gesamten Hochrheins nachweisbar sind. Das Vorkommen von Bergbacharten (z.B. *Rhithrogena sp.*, einige Steinfliegenarten) bleibt auf freifliessende Abschnitte und die Bereiche um bedeutendere Hochrheinzuflüsse (vor allem aus dem Südschwarzwald) beschränkt. Die Verwendung von Artenzahl und Verbreitung einzelner Arten ist als biologisches Qualitätskriterium von entscheidender Bedeutung. Bezogen auf unsere Untersuchungen war die Einbeziehung von Sonderproben für die faunistische Betrachtung von grossem Wert. Auch konnten neue Informationen über Arten mit hohem Indikatorwert (Charakterarten, Zeigerarten) hinzugewonnen werden. So lässt sich z.B. auch am Hochrhein - wie an entsprechend strukturierten Abschnitten am Oberrhein - ein guter Bestand flusstypischer Grosslibellenarten belegen (z.B. der Gattung *Gomphus*).

Verwendet man die Anzahl der Taxa zum Vergleich zwischen Probestellen und Rheinabschnitten, so liefert dieser Aspekt allein nur wenig Information zur Beurteilung der biologischen Qualität des betrachteten Lebensraums. Auch nähern sich die Taxazahlen einander an, je kleinräumiger und genauer die Bestandsaufnahme wird. Hierfür gibt es mehrere Gründe:

- ▶ in der Betrachtung werden alle Choriotope gleich stark berücksichtigt, unabhängig davon, wie selten oder wie aspektbildend sie sind;
- ▶ die Individuendichte einzelner Arten geht in die Betrachtung nicht mit ein: Einzelfunde werden in gleichem Masse berücksichtigt wie Massenvorkommen;
- ▶ unterhalb liegende Rheinabschnitte profitieren stets von Regenerationsprozessen aus oberhalb liegenden Abschnitten (Eindrift, Einflug, Abwanderung). Je artenreicher und produktiver diese sind, desto mehr und verschiedenere Organismen driften in unterhalb liegende Abschnitte ein. Der Nachweis einer Art allein gibt keine Information darüber, ob und in welchem Masse sich die Art im betrachteten Abschnitt reproduzieren und damit erhalten kann.

Da unsere Proben der neun Flussquerschnitte sehr gut die biologischen Verhältnisse des korrespondierenden Abschnittes repräsentieren, werden Qualitätsunterschiede bei der Artenvielfalt dann deutlich, wenn man einerseits eine Gruppierung der vorkommenden Arten vornimmt (Abb. 5.7 verwendet hierzu taxonomische Grossgruppen), andererseits die Spannweite in der Artenzahl zwischen einzelnen Proben vergleicht. Ist dieser "Range" relativ klein, wie in Abschnitt A und B, so bedeutet dies, dass eine ähnlich hohe Artenzahl an ufernahen Stellen und in Flussmitte angetroffen wird. Dies wiederum lässt auf eine gute Verzahnung der Benthoshabitats zwischen Flussole und Uferbereich schliessen. Ausserdem muss es sich bei diesen Abschnitten um eine artenreiche und reproduktiv bedeutende Rheinstrecken handeln, da

- ▶ in keiner Probe weniger als 33 Taxa nachgewiesen wurden;
- ▶ sich nur geringe Unterschiede zwischen Uferproben und Tiefenproben zeigen;

Mollusken (Weichtiere):
 Schnecken und Muscheln;
Anneliden (Gliederwürmer):
 Würmer und Egel;
Crustaceen (Krebstiere):
 Krebse, Kleinkrebse.

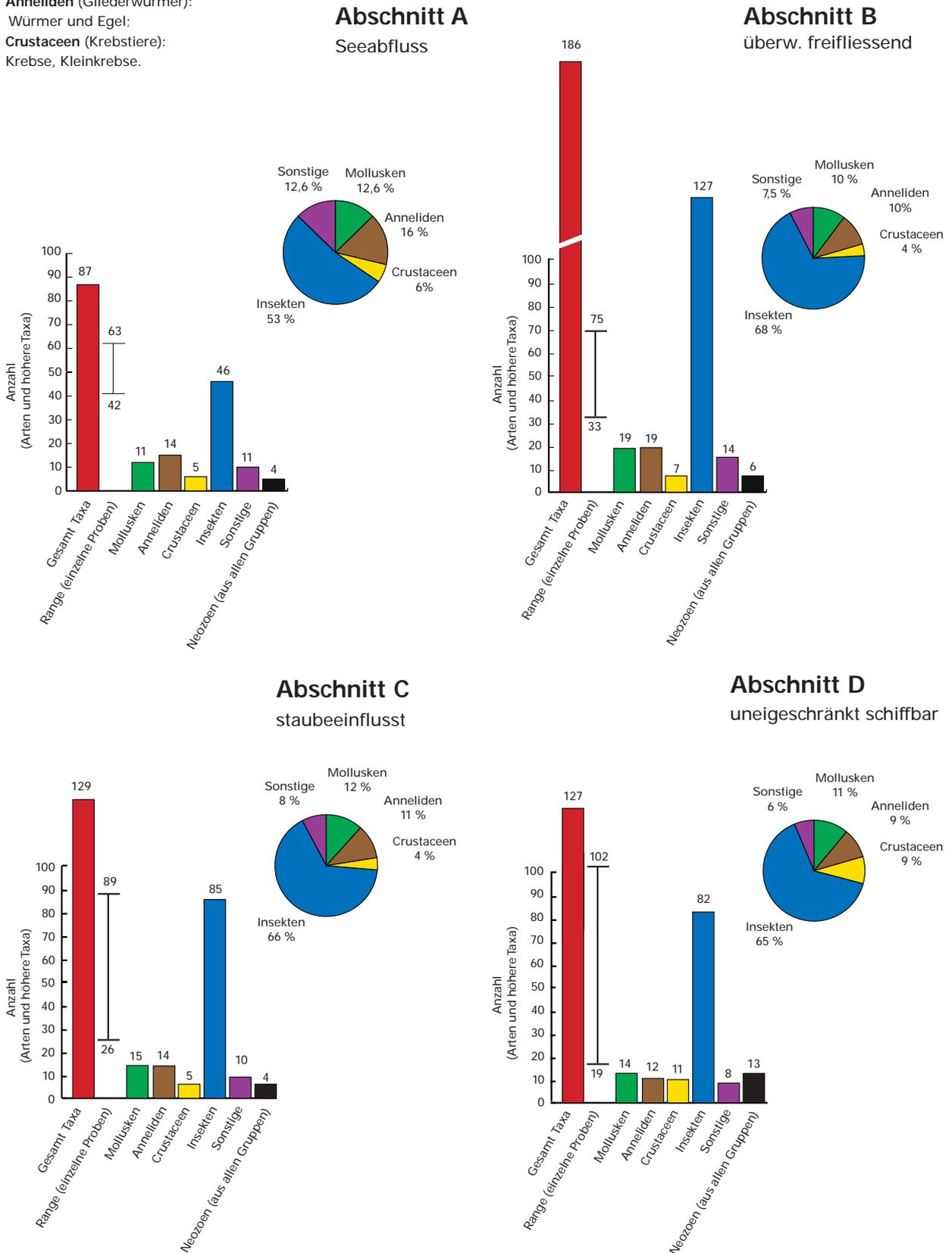


Abb. 5.8: Die Taxazahlen (jeweils niedrigstes bestimmtes Taxon) der wichtigsten Gruppen im Vergleich der Hochrheinabschnitte (vgl. Abb 2.2). Darüber hinaus aufgetragen sind: die Gesamt-Taxazahlen des Abschnitts, die minimale und maximale Taxazahl (Range) verschiedener Proben innerhalb eines Bereichs sowie die jeweils prozentualen Anteile der Grossgruppen an der Artenvielfalt. Berücksichtigt wurden alle im Jahre 2000 gesammelten Hochrheinproben sowie Proben aus einem Sonderprogramm im Raum Basel (KURY 2001).

- ▶ der Einfluss von Zuflüssen unbedeutend ist, die Reproduktion des überwiegenden Teils der Arten also im Hochrhein selbst abläuft.

Die relativ geringe Artenzahl im Seeabfluss (Abschnitt A) erklärt sich damit auch mit dem Fehlen von bedeutenden Zuflüssen.

Ist die Differenz der Taxazahlen in einzelnen Proben des selben Abschnitts (=Range, siehe Abb. 5.8) sehr gross, wie im Abschnitt C, vor allem aber an den Sonderprobestellen im Raum Basel, so bedeutet dies, dass eine hohe Artenzahl erst dann nachweisbar ist, wenn man die Ergebnisse aller Proben zusammen berücksichtigt. Ein grosser Teil der nachgewiesenen Taxa treten hier demnach unregelmässig und selten auf. Das Artenspektrum ist zwar insgesamt sehr gross, aber offenbar ist nur ein geringerer Teil der Insektenarten (diejenigen, die auch in den Proben aus der Flusssohle regelmässig auftauchen) mit seinem gesamten Lebenszyklus an den Rhein selbst gebunden.

5.2.3 Dominante und aspektbildende Taxa

Unterschiedliche Besiedlungsdichten der Hochrheinsohle

Unterschiede in den Besiedlungsdichten wurden mittels der flächenbezogen erhobenen Proben (in erster Linie die neun Flussquerschnitte) erfasst. Die qualitativen Uferproben wurden dazu genutzt, die Repräsentativität der Querschnittsproben zu überprüfen. Zu einzelnen Ergebnissen wurden auch noch einmal Plausibilitätskontrollen und Korrekturen durchgeführt, in erster Linie durch die Auswertung von Bild- und Filmmaterial (z.B. Besiedlungsdichten von Dreissena in Hemishofen sowie Corophium und Hypania in Pratteln). Eine vollständige Liste der Häufigkeiten einzelner Taxa ist im Anhang (Tab. A 2 im Anhang) aufgeführt.

Die Individuendichten der benthischen Makroinvertebraten schwanken erfahrungsgemäss, je nach Rheinabschnitt, Position im Querprofil und jahreszeitlichem Aspekt und lagen auch bei den Proben dieser Kampagne zwischen Einzelnachweisen seltener Arten und mehreren 10.000 Ind./m². Sieht man von den flächenbezogenen Uferproben im Sommer ab, so können die relativen Besiedlungsverhältnisse der meisten Stellen als stabil bezeichnet werden. Die grössten Unterschiede in der räumlichen und saisonalen Besiedlung zeigten sich an Flussquerschnitten der Abschnitte A und B, an denen der relative Anteil von Wasserinsekten sehr hoch ist. In Abb. 5.7 sind die Maximal-Abundanzen für die grossen taxonomischen Gruppen über das ganze Jahr hinweg dargestellt.

Die Abbildung zeigt, dass sich für die Besiedlungsdichten die bereits in den früheren Untersuchungen beschriebene und ebenso bei der Artenverteilung auffallende Längszonierung des Hochrheins im Jahr 2000 bestätigt. An allen Stellen wurden z.T. deutlich höhere Besiedlungsdichten nachgewiesen als bei beiden vorhergehenden Programmen. Der Hauptanteil dieser höheren Individuenzahlen rekrutiert sich aus sehr kleinen Larvenstadien filtrierender Köcherfliegen und Zuckmückenlarven (i.e. Hydropsychidae und Chironomidae), die in den früheren Proben unterrepräsentiert waren. Wir führen diese Tatsache vor allem auf die bei dieser Kampagne sorgfältigere Probensicherung im Feld zurück.

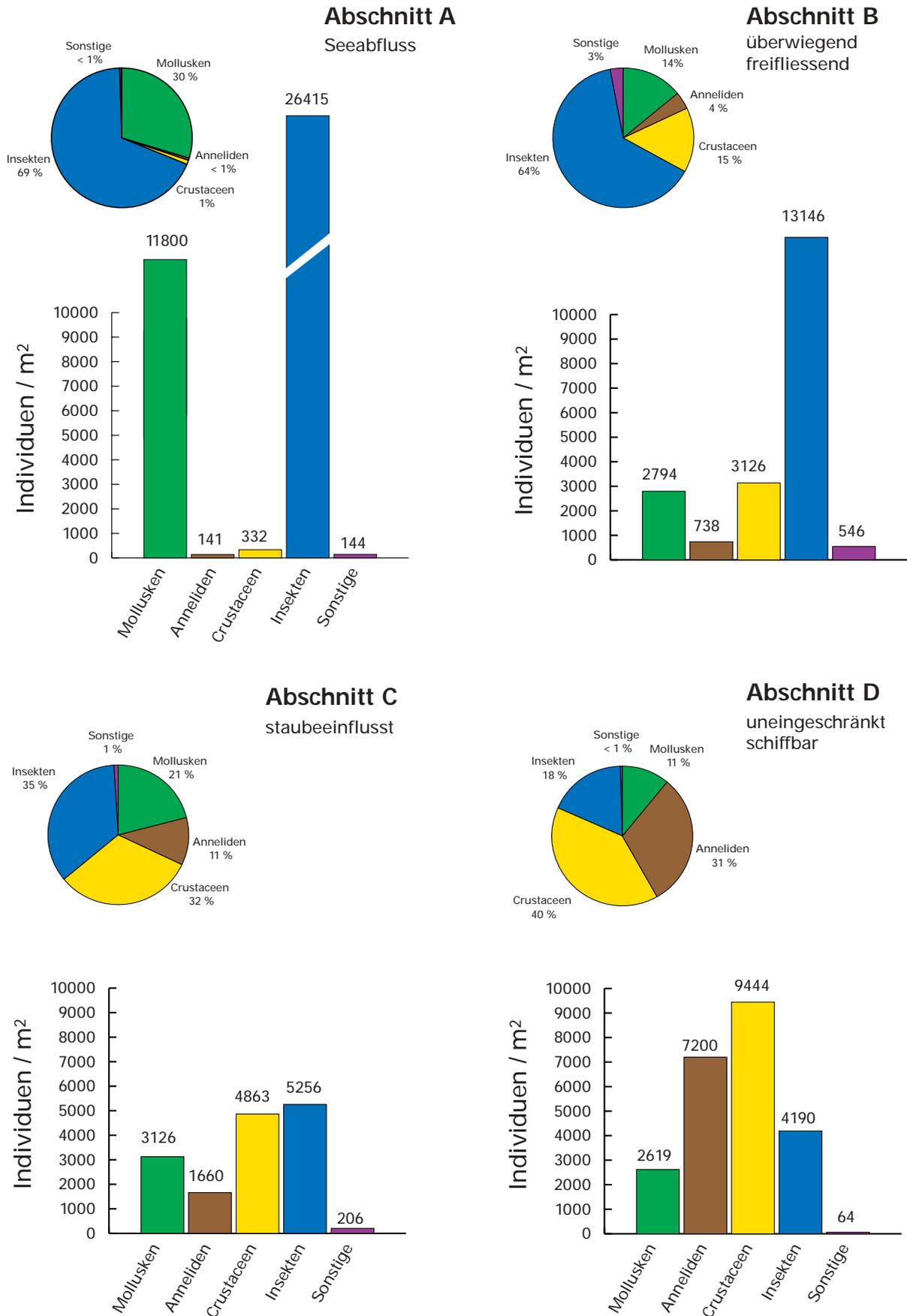


Abb. 5.9: Die maximalen Abundanzen (Individuen/m²) der wichtigsten taxonomischen Gruppen im Vergleich der Hochrheinabschnitte. Darüber hinaus aufgetragen sind die jeweils prozentualen Anteile der Grossgruppen an der Gesamtbesiedlung. Berücksichtigt wurden alle flächenbezogenen im Jahre 2000 gesammelten Hochrheinproben (Ufer- und Flussquerschnitte).

Im Bereich des Seeabflusses (**Abschnitt A**) ist die Dichte der Dreissena-Bestände möglicherweise etwas zurückgegangen. Schlüssige Beweise konnten wir für diese subjektive Einschätzung nicht finden. Auffällig sind die extrem hohen Besiedlungsdichten der Orthoclaadiinae (Chironomidae) und der netzbauenden Hydropsychidae im ufernahen Bereich. Obwohl durch deutlich weniger Arten als im Abschnitt B repräsentiert, finden wir hier die höchsten Besiedlungsdichten für Insektenlarven mit über 26'000 Individuen/m² (Hydropsychidae > 8000 Ind/m²; Chironominae > 10'000 Ind/m²). Zusammen mit den filtrierenden Zebramuscheln nutzen diese Larven das grosse Planktonangebot aus dem Bodensee für die hier überall zu beobachtende Massenvermehrung. Diese Seeabflussbiozönose lässt sich über rund 15 Fließkilometer verfolgen, zeigt sich aber nirgends mehr in einer solch typischen Ausprägung wie zwischen Stein a. Rhein und Hemishofen.

Weiter rheinab nimmt die Zahl der Insekten in der Benthosbiozönose kontinuierlich ab. Im hyporhithral geprägten **Abschnitt B** werden bei den Mollusken die Schnecken gegenüber den Zebramuscheln häufiger, die Kleinkrebse und Würmer gewinnen an Bedeutung. Immer noch zeigen Chironomiden und filtrierende Köcherfliegen die grössten Besiedlungszahlen bei den Insekten. Der gesamte Abschnitt ist dabei eher durch sein immenses Artenreservoir denn durch besonders hohe Besiedlungsdichten charakterisiert.

Unterhalb der Aaremündung, im staubeeinflussten und regulierten **Abschnitt C**, gewinnt der Anteil der Schnecken (*Bithynia tentaculata*, *Potamopyrgus antipodarum*, *Ancylus fluviatilis*) an der Gesamtbesiedlung beträchtlich an Bedeutung. Besiedlungsdichten bis über 4500 Ind/m² erreichen auch die Gammariden. Daneben manifestieren sich die ersten deutlichen Unterschiede in der Besiedlung zwischen Uferbereich und Stromsohle. Der zahlenmässige Anteil der einzelnen Grossgruppen an der Gesamtbesiedlung ist an einigen Stellen nahezu ausgeglichen. Schwämme - aus diesen Zahlen nicht ersichtlich - werden zum aspektbildenden Besiedler des verlagerungsstabilen Steinsubstrats.

Beim Übergang vom stauregulierten zum schiffbaren Rhein von **Abschnitt D** kommt es zu einer klaren Ablösung der "Mehrheitsverhältnisse" auf der Hochrheinsohle. Crustaceen und Anneliden stellen mit neu eingewanderten Arten den Hauptanteil der Besiedlung. Bei den Mollusken wird die rheinabwärts immer seltener werdende Dreissena durch die immer dichteren Bestände der Körbchenmuschel vertreten.

Die häufigsten Benthosorganismen im gesamten Hochrhein (Abb. 5.10) sind neben der Unterfamilie Orthoclaadiinae (Zuckmücken), den Artenpaaren *Hydropsyche pellucidula/incognita* (filtrierende Köcherfliegen) und *Gammarus fossarum/pulex* (Flohkrebse) vor allem die Neozoen *Dreissena polymorpha* (Zebramuschel), *Corophium curvispinum* (Schlickkrebs) und *Hypania invalida* (Borstenvurm). *Corophium* und *Hypania* sind ausschliesslich in Abschnitt D verbreitet, wo sie mit beträchtlichen Abundanzen vorkommen. Zusammen mit *Corbicula fluminea*, *Jaera istri*, *Dikerogammarus spec.* und *Dreissena polymorpha* stellen sie dort regelmässig über 80% der Individuen einer Probestelle.

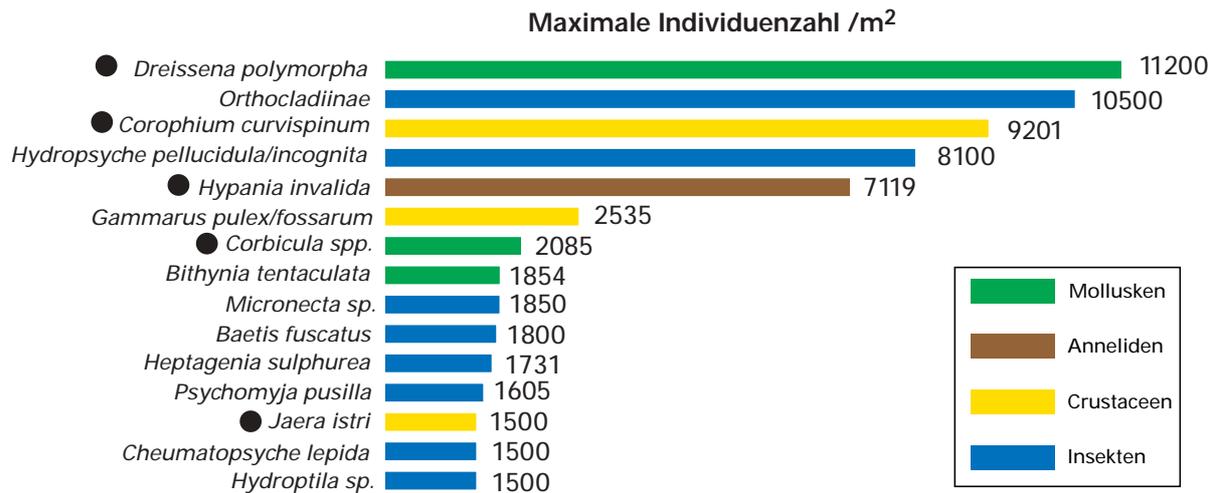


Abb. 5.10: Höchste beobachtete Abundanzen (Individuen/m²) einzelner Taxa auf der Hochrheinsohle (Maximalwerte der flächenbezogenen Proben 2000). Mit einem Punkt gekennzeichnet sind Neozoenarten.

Dominanzverhältnisse

Ausgehend von der Analyse der Besiedlungszahlen und der Erfassung relativer Häufigkeiten aus repräsentativen Uferproben liess sich ein guter Einblick in die Dominanzstruktur der Sohlenbesiedlung gewinnen. Wie auch bei den anderen Aspekten vergleicht man dabei die biologischen Verhältnisse zwischen den vier Hochrheinabschnitten.

Dominanzen wurden ermittelt, indem zunächst Ränge für die relativen Häufigkeiten einzelner Taxa innerhalb der Proben vergeben wurden. Die Dominanz wurde durch den gemittelten Rang eines Taxon aus sämtlichen relevanten Proben ermittelt.

Abbildung 5.10 zeigt, in welcher starkem Masse sich die Dominanzverhältnisse im Hochrhein vom Bodensee bis Basel verändern. Nur wenige Taxa, die im Abschnitt A dominieren, finden sich auch wieder auf den ersten 15 Rängen unterhalb der Aarenmündung. Auch deckt sich die in Kap. 5.3.2 angesprochene Konstanz der Besiedlung nur in einigen Fällen mit der Dominanzstruktur. Diese zeigt die radikale Abweichung der Abschnitte C und D vom ursprünglich hyporhithralen/epipotamalen Charakter des Hochrheins, der auf den ersten beiden Abschnitten noch erkennbar ist.

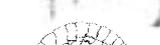
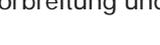
Auf Abschnitt D dominieren die seit 1990 eingewanderten Neozoen die Benthosbiozönose an fast allen Probestellen, obwohl hierbei auch Stellen im Raum Rheinfeldern einbezogen wurden, an denen sich diese Dominanz noch nicht zeigt.



Abb. 5.11: Unterschiedliche Rangfolgen der dominierenden Makroinvertebratengruppen auf der Hochrheinsohle im Flussverlauf (ermittelt anhand der durchschnittlichen Rangzahlen relevanter Proben).

5.2.4 „Invasorische“ Neozoen

Vor allem im unteren Hochrheinabschnitt D traten Veränderungen der Lebensgemeinschaften des Flussgrundes auf, verursacht durch die Einwanderung neuer Tierarten. Diese neuen Arten, auch Neozoen genannt, stammen aus anderen grossen Flusseinzugsgebieten Europas oder sogar aus anderen Kontinenten. Sie dringen über neue Kanalverbindungen ins Rheinsystem, werden von Schiffen eingeschleppt oder unabsichtlich, manchmal fahrlässig freigesetzt (z.B. durch Aquarienwasser). Eine wichtige Rolle bei diesem Prozess spielt der Main-Donaukanal, der 1993 fertiggestellt wurde. Er verbindet seither das Donau-Schwarzmeer-System mit dem Rheinsystem und erlaubt so den Artenaustausch zwischen zwei ursprünglich vollständig getrennten Gebieten mit einer deutlich unterschiedlichen Gewässerfauna.

	Art	Verbreitung	Bestand
	Turbellarien		
	<i>Dugesia tigrina</i>	Abschnitte A-D (+Bodensee)	häufig, sehr verbreitet
	Annelida		
	<i>Branchiura sowerby</i>	Abschnitte A-D	zerstreut
	<i>Hypania invalida</i>	Abschnitt D	massenhaft und geklumpt
	<i>Caspiobdella fadejewi</i>	Abschnitte A-D	zerstreut
	Mollusken		
	<i>Physella acuta</i>	Abschnitte B-D (?)	zerstreut
	<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	Abschnitte A-D (+ Bodensee)	zerstreut
	<i>Corbicula fluminea/fluminalis</i>	Abschnitt D	massenhaft
	<i>Dreissena polymorpha</i>	Abschnitte A-D (+ Bodensee)	massenhaft
	Crustaceen		
	<i>Athyaephyra desmaresti</i>	Abschnitt D	Einzelfund (Nachweis schwierig)
	<i>Corophium curvispinum</i>	Abschnitt D	massenhaft
	<i>Dikerogammarus haemobaphes</i>	Abschnitt D	sehr häufig
	<i>Dikerogammarus villosus</i>	Abschnitt D	sehr häufig
	<i>Echinogammarus berilloni</i>	Abschnitt D	Nachweis nicht gesichert
	<i>Gammarus tigrinus</i>	Abschnitt D	Nachweis nicht gesichert
	<i>Jaera istri</i>	Abschnitt D	massenhaft
	<i>Orconectes limosus</i>	Abschnitte A-D (?), Bodensee	zerstreut, im Bodensee häufig
	<i>Proasellus coxalis</i>	Abschnitte B-D (?)	vereinzelt
	<i>Proasellus meridianus</i>	Abschnitt D	vereinzelt

	Mollusken		Crustaceen
	Anneliden		Sonstige

Abb. 5.12: Benthische Neozoen im Hochrhein. Zusammenstellung der derzeit wichtigsten Arten, ihre Verbreitung und ihr Bestand.

Mehr als die Hälfte der in das obere Rheingebiet vorgedrungenen Neozoen zählen zu den Krebstieren (Abb. 5.12) und hier vor allem zur Familie der Gammariden (Flohkrebse). Als bewegliche Arten und gute Schwimmer können sie aktiv in kurzer Zeit neue Flussabschnitte besiedeln. Für die Ausbreitung sind sie allerdings - als permanente Wasserbewohner - auf zusammenhängende Gewässersysteme angewiesen.

Muscheln als Vertreter der zweiten grossen Neozoengruppe, der Mollusken, sind zur Ausbreitung flussaufwärts auf einen passiven Transport z. B. in und an Schiffen oder als Larven an Fischen angewiesen. Auch die Veligerlarven, das Verbreitungsstadium von *Dreissena* und *Corbicula*, besiedeln nach dem heutigen Stand der Kenntnis durch Verdriftung nur flussabwärts liegende neue Lebensräume. Ähnlich verhält es sich wahrscheinlich mit der Verbreitung von *Hypania invalida*.

Im Hochrhein konnten im Verlauf der letzten zehn Jahre bei einigen Neozoenarten Massenentwicklungen beobachtet werden (SCHRÖDER & REY 1991, REY & ORTLEPP 1997, KÜRY 1998). Zu nennen sind der Flohkrebs *Dikerogammarus haemobaphes* (> 1'000 Ind./m²), die Muschel *Corbicula fluminea/fluminalis* (> 2'400 Ind./m²), der Schlickkreb *Corophium curvispinum* (> 9'200 Ind./m²), die Donauassel *Jaera istri* (> 1000 Ind./m²) sowie der Polychät *Hypania invalida* (> 7'100 Ind./m²). Diese Arten stellen in einigen Proben im Raum Basel mehr als 95% der Biomasse auf der Rheinsohle (Abb. 5.13).

Im Rahmen eines 2001 im Auftrag des BUWAL gestarteten Neozoen-Monitorings am Hochrhein sollen die wichtigsten diesbezüglichen Fragen für den Hochrhein geklärt werden. Durch ein noch weiter verdichtetes Netz von Uferproben und weiterentwickelten Erhebungsmethoden sollen die derzeitigen Ausbreitungsgrenzen der Neozoen entlang des Hochrheins genauer lokalisiert werden. Weiter soll die Frage beantwortet werden, welche der Arten in der Lage ist, aktiv stromaufwärts zu wandern und welche auf eine Verbreitung durch die Schifffahrt oder andere Ausbreitungsmechanismen zurückgreift. Auch soll der

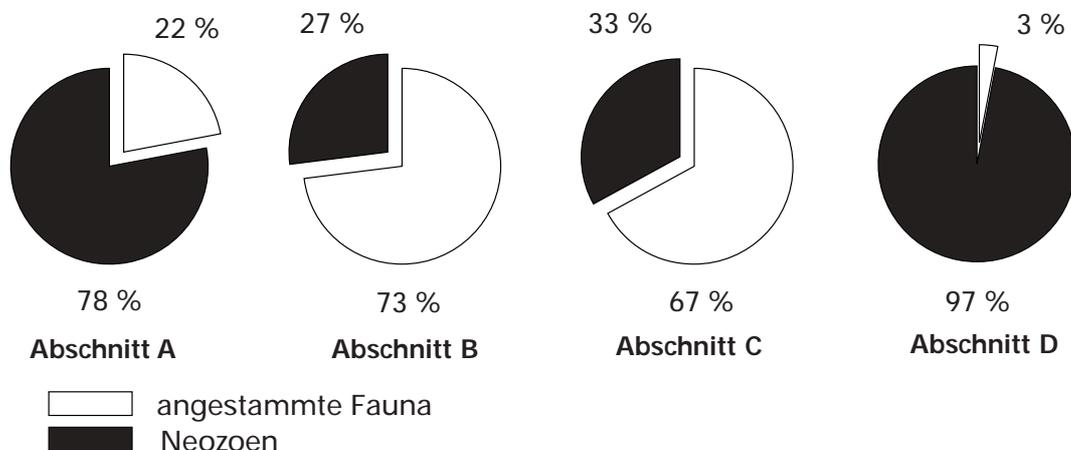


Abb. 5.13: Abgeschätzter Biomasseanteil der Neozoen an der benthischen Gesamtbesiedlung des Hochrheins für das Jahr 2000. Berücksichtigt wurden die flächenbezogenen Proben aus den Flussquerschnitten (jeweils maximale Besiedlungszahlen). Der hohe Anteil der Neozoen-Biomasse im Abschnitt A rührt von der hohen Besiedlungsdichte durch das "Alt-Neozoon" *Dreissena polymorpha*, die im Rhein bei Basel nur noch weniger als 5% der Biomasse ausmacht. Schätzungen anhand von Gewichtangaben nach MEYER (1992) UND POPESCU-MARINESCU (1996).

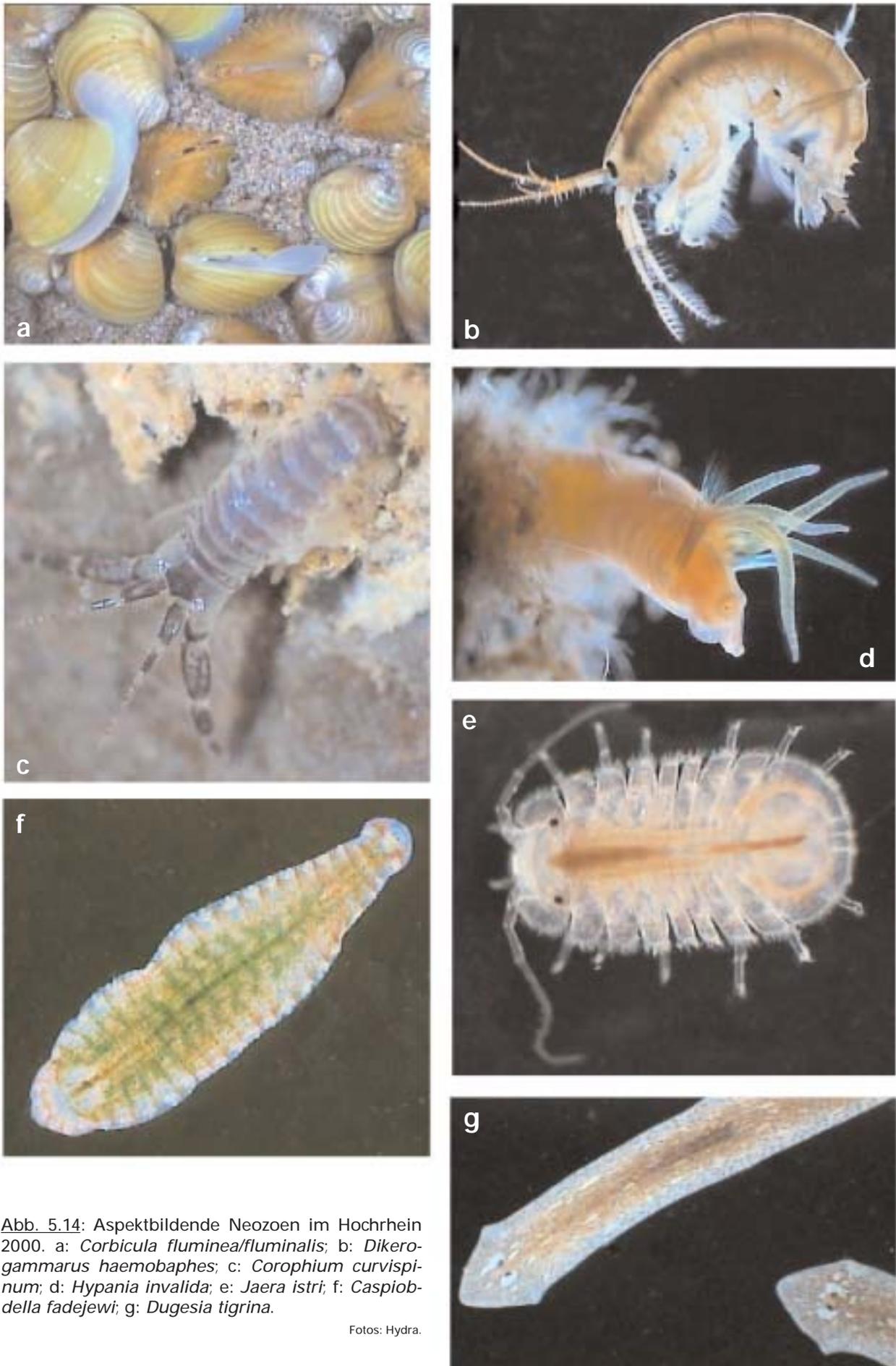


Abb. 5.14: Aspektbildende Neozoen im Hochrhein 2000. a: *Corbicula fluminea/fluminalis*; b: *Dikergammarus haemobaphes*; c: *Corophium curvispinum*; d: *Hypania invalida*; e: *Jaera istri*; f: *Caspiobdella fadejewi*; g: *Dugesia tigrina*.

Fotos: Hydra.

ökologische Stellenwert der Neuankömmlinge (z.B. als Fischnährtiere) erstmals für den Raum Basel genauer beleuchtet werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sowie weitere Details zur Biologie und Ausbreitung der Neozoenarten im Hochrhein werden Bestandteile eines gesonderten Berichts sein.

5.2.5 Funktionelle Gruppen

Durch die Betrachtung übergeordneter funktioneller Gruppen bei der Benthosbesiedlung lässt sich eher eine generelle und damit reproduzierbarere biologische Charakterisierung unterschiedlicher Flussabschnitte durchführen, als dies mit Besiedlungsdichten möglich ist. Zu den funktionellen Gruppen zählen z.B. die Lebensraumtypen (Rheobionten, Limnobionten, Ubiquisten). Organismen können aber auch auf der Basis ihrer Fortbewegungsart (Lokomotionstypen), ihrer Nahrungsaufnahme (Ernährungstypen) und ihrer Fähigkeit, mit mehr oder weniger Sauerstoff auszukommen (Respirationstypen) unterschieden werden. Die Ergebnisse von 1990 und 1995 haben gezeigt, dass die Zuordnung der Taxa zu Ernährungstypen die bestehenden Unterschiede zwischen den einzelnen Flussprofilen im Hochrhein am besten verdeutlicht. Für diesen Vergleich wurden nur die Proben der Flussmitte herangezogen, da sie den überwiegenden Teil des Querprofils repräsentieren.

Bei den Ernährungstypen werden unterschieden: Räuber, Filtrierer (aktiv und passiv), Sedimentfresser, Zerkleinerer und Weidegänger (Moog 1995). Der unterschiedliche relative Anteil dieser Typen spiegelt indirekt die Unterschiede in den nutzbaren Ressourcen des aquatischen Umfeldes wider. Besonders charakteristisch für den Hochrhein, der hohe organische Frachten transportiert, sind dabei hohe Anteile an Filtrierern und Sedimentfressern.

Naturnahe Stellen (Ausnahme: Hemishofen), zeichnen sich - entsprechend der Vielfalt an Lebensräumen und demnach auch Nahrungsressourcen - durch ein ausgewogenes Verhältnis aller Ernährungstypen aus. In Abb. 5.15 sind die Dominanzverhältnisse der Ernährungstypen 2000 an den einzelnen Flussquerschnitten dargestellt. Die Ergebnisse entsprechen weitgehend denen aus den Jahren 1990 und 1995. Im Rhein bei Hemishofen dominierten wieder die aktiven (Dreissena) und passiven (netzbauende Trichopteren) Filtrierer, wie dies für einen Seeabfluß mit höherem Partikeleintrag zu erwarten war. Dieser Anteil wird an keiner anderen Probenahmestelle im Rhein auch nur annähernd erreicht, obwohl auch hier immer wieder „seeartige“ Rückstaubereiche vorhanden sind. Die im Raum Basel nun dominierenden Neozoen waren noch nicht eindeutig bestimmten Ernährungstypen zuzuordnen. Daher müssen die entsprechenden Ergebnisse noch mit Vorbehalt betrachtet werden.



Abb. 5.15: Prozentuale Anteile unterschiedlicher Ernährungstypen im Hochrhein 2000. Für die Berechnungen verwendet wurden ausschliesslich Ergebnisse der Untersuchungen ganzer Flussquerschnitte. a: Vergleiche der neun Flussquerschnitte, alle Proben zusammen genommen; b: Beispiel für eine getrennte Betrachtung von Proben aus der Flussmitte und aus dem Uferbereich (Hemishofen). Alle weiteren Ernährungstypen sind im jeweils weissen Segment zusammengefasst.

5.2.6 Der Rückgang von *Theodoxus fluviatilis*

Der Bestand von *Theodoxus fluviatilis*, bei den Proben 1995 noch die häufigste Schnecke im Raum Basel (> 1000 Ind./m²), ist nach den neuesten Untersuchungen im Hochrhein wie im gesamten Rhein stark gefährdet. Als typische potamale Art breitete sich die Art zwischen 1988 und 1994 im Ober-, Mittel- und Niederrhein aus, bevor die Populationen dort schon ab 1995 zusammenbrachen (SCHÖLL 2001). An unseren Taucherprobenstellen in Pratteln und Basel sowie an mehr als 30 weiteren Uferprobestellen konnten wir im Jahr

2000 nur noch leere Gehäuse der Art finden. Die einzige noch lebende Population im Hochrhein erfassten wir 2000 und 2001 an der Insel Stein unterhalb der Rheinbrücke bei Rheinfelden. Hier kamen vor allem junge Exemplare in Dichten bis 250 Ind/m² vor.

Ausser dieser Population konnte die Schnecke im gesamten Rhein nur noch im Restrhein bei Rheinau nachgewiesen werden. Auch dort ist die Art auf dem Rückzug. Einen Zusammenhang zwischen dem Rückgang von *Theodoxus fluviatilis* und der Einwanderung von *Corophium curvispinum* (Habitatkonkurrenz?) bzw. *Dikerogammarus spp.* (Frasdruck?) im Rhein wurde zwar vermutet, konnte aber nicht nachgewiesen werden. Dagegen spricht auch, daß an der Oder *Theodoxus fluviatilis* mit *Corophium curvispinum* und an der Donau die nahe verwandten Arten *Theodoxus danubialis* und *Theodoxus transversalis* mit *Dikerogammarus villosus*, und *Corophium curvispinum* seit langem vergesellschaftet leben (SCHÖLL 2001).



Abb. 5.16: Die Kahnschnecke *Theodoxus fluviatilis* (Bild links und kleine Fotos) konnte 2000 im Hochrhein nur noch an einer Stelle, auf der Rheininsel Stein bei Rheinfelden (Bild rechts) nachgewiesen werden. Die Population beschränkte sich auf ein Areal von ca. 150 x 25 m Fläche.

Fotos: Hydra

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

6.1 Zusammenfassende Betrachtung der Ergebnisse

Die im Rahmen des Untersuchungsprogramms 2000 gewonnenen zusätzlichen ökologischen und ökomorphologischen Informationen über den Hochrhein machten eine Neueinteilung des Flusses in nun vier (zuvor drei) eindeutig voneinander abgrenzbare Abschnitte nötig (Kap. 2.1). Alle in diesen Bericht aufgenommenen Ergebnisse werden vor dem Hintergrund dieser neuen Gliederung betrachtet.

6.1.1 Das Benthosinventar des Hochrheins im Jahr 2000

Obwohl noch nicht alle Proben aus dem Sonderprogramm auf dem geplanten taxonomischen Niveau ausgewertet sind, konnten dennoch im Rahmen der Untersuchung im Jahr 2000 mit bisher **232** nachgewiesenen Arten und höheren Taxa ein erheblicher Zugewinn an faunistischer und zoogeographischer Information gegenüber früheren Kampagnen verbucht werden. Auch für die Erkenntnisse zur quantitativen Besiedlung der Flussquerschnitte erwies sich eine Verbesserung der Proben-Aufarbeitung im Feld als äusserst dienlich. Die früher abgeschätzten maximalen Besiedlungsdichten auf einzelnen Substratflächen mussten deutlich nach oben korrigiert werden, da nun auch die kleinsten Larven einiger dominanter Wasserinsekten für eine Auszählung und Bestimmung gesichert werden konnten.

In den Rheinabschnitten oberhalb der Aaremündung waren gegenüber früheren Kampagnen keine auffälligen Änderungen der Besiedlung festzustellen. Den grössten Anteil am Benthos besaßen wieder die Chironomiden (Zuckmücken) und Trichopteren (Köcherfliegen). Die Bedeutung der Gammariden (Flohkrebse) stieg in der unteren Hälfte des Flusslaufs deutlich an. Bei den Exuvienaufsammlungen im Sommer konnten auch ausserhalb des Mündungsbereichs grösserer Zuflüsse Plecopteren (Steinfliegen) und Odonaten (Libellen) nachgewiesen werden, die in den Benthosproben meist fehlten.

Unterhalb der Aaremündung gewann der Anteil der Mollusken (v.a. die Schnecken *Bithynia* und *Ancylus*, aber auch die Zebrauschel *Dreissena*) für die Benthosbiozönose beträchtlich an Bedeutung. Dies wird einerseits verursacht durch einen Anstieg der Besiedlungsdichten der Mollusken selber, aber auch durch einen Rückgang der absoluten und damit auch relativen Insektenabundanz. Vor allem durch Letztere stieg auch die Bedeutung der Gammariden und Oligochaeten, ohne dass diese zahlenmässig stark zunahmen.

Einschneidend ändert sich das Bild in dem für die Grossschifffahrt zugänglichen Abschnitt D des Rheins (im Raum Basel), wo Neozoen, allen voran die Crustaceen *Corophium curvispinum*, *Jaera istri*, *Dikerogammarus* spp., der Polychaet (Röhrenwurm) *Hypania invalida* und die beiden Körbchenmuscheln *Corbicula fluminea* und *C. fluminalis* Massenvorkommen zeigen und zusammen mit der stark zurückgegangenen *Dreissena polymorpha* bis zu **97 %** der tierischen Biomasse und bis über 90 % der Individuenzahl auf dem Rheingrund

ausmachen. Während *Corbicula spp.* und *Corophium curvispinum* bereits 1995 in geringerer Zahl im Gebiet nachgewiesen wurde, sind die übrigen genannten Neozoen in den letzten fünf Jahren neu eingewandert. Bis auf *Dreissena* zeigten alle anderen weiterhin starke Zunahmen in der Individuendichte. Infolge der Massenentwicklung der neozoischen Arten lagen die Besiedlungsdichte der Hochrheinsohle im Raum Basel, z.B. bei Pratteln-Schweizerhalle, 5 000-20 000 Ind/m², während sie 1995 noch maximal 3000-5 000 Ind/m² erreichte.

Neben der Ausbreitung der Neozoen fiel 2000 vor allem das fast völlige Verschwinden der 1995 noch häufigen (bis > 1000 Ind/m²) Kahnschnecke *Theodoxus fluviatilis* auf. An den zwei Taucherprobenstellen wurden nur noch (juvenile) leere Gehäuse gefunden. Der einzige überlebende Bestand wurde bei der Sommerbeprobung bei Rheinfeldern am Ende der schiffbaren Strecke nachgewiesen. Hier kam die Art mit vorwiegend jungen Exemplaren in Dichten bis 250 Ind/m² vor. An der Fundstelle waren von den Neozoen bisher nur geringe Zahlen von *Dikerogammarus villosus* zu finden. Inwieweit der massive Rückgang der Art im Rhein mit der Ausbreitung neozoischer Arten zusammenhängt, ist bislang ungeklärt.

6.2 Neue Erkenntnisse und deren Konsequenzen

Genauere und umfangreichere Untersuchungen liefern nicht immer nur Zusatzinformationen, sie relativieren manchmal bisherige Behauptungen und werfen neue Fragen auf. Bei unseren Benthosuntersuchungen im Jahr 2000 konnte durch eine Verdichtung des Probenstellennetzes zoogeografische und faunistische Informationen hinzugewonnen werden. Dabei zeigte sich aber auch, dass durch die seit 1990 untersuchten Flussquerschnitte wie erwartet zwar grössere Flussabschnitte entsprechenden Charakters repräsentiert werden, es jedoch weitere Abschnitte im Hochrhein gibt, denen kein Untersuchungstranssekt zugeordnet ist. Von diesen Stellen kennen wir nun zwar die Benthosbesiedlung im ufernahen Bereich, wissen jedoch nur wenig darüber, ob und in welcher Masse diese den Verhältnissen auf der tiefen Flusssohle ähnlich ist. Ein grosses Defizit unserer Kenntnisse zur Benthosbesiedlung des Hochrheins bleibt die tiefe Sohle der typischen Staubereiche unterhalb der Aarenmündung.

Die Prämisse, dass unterschiedliche Flussstruktur und Strömungscharakteristik die Benthosbiozönose in entscheidendem Masse prägen, wurde auch durch die zusätzlichen Uferproben unterstrichen. Darüber hinaus zeigten sich jedoch sehr grosse Unterschiede in der Benthosbesiedlung von Fließstrecken gleichen Charakters in unterschiedlichen Hochrheinabschnitten. So ist z.B. die freifliessende Strecke im Bereich der Rheinbrücke Rheinfeldern von völlig anderen Faunenelementen besiedelt als die charakterlich sehr ähnlichen Strecken in Abschnitt C, B oder A. Auch diese unterscheiden sich voneinander durch z.T. völlig unterschiedliche Dominanzen ihrer Benthosorganismen (vgl. Abb. 5.11). Durch einen entsprechende Untersuchungstranssekt (freifliessend) repräsentiert ist dabei der Seeabfluss (Abschnitt A) bei Hemishofen, der Abschnitt B gleich durch drei Querschnitte bei

Ellikon, Rietheim und Waldshut (rechte Flussseite). Für Abschnitt C und D wurden bis jetzt keine entsprechenden Transekte untersucht (freifliessende und naturnahe Abschnitte als Referenz für Abschnitt D finden sich erst wieder im Restrhein).

6.2.1 Gründe für die unterschiedliche Benthosbesiedlung der Hochrheinsohle

Unterschiede in der Besiedlung der Flusssohle und des ufernahen Bereichs im Hochrhein lassen sich zunächst dadurch erklären, dass ebenso deutliche ökomorphologische Unterschiede im Flusslauf und eine Vielzahl unterschiedlicher Klein-Lebensräume (besiedelter Choriotope) existieren. Verantwortlich dafür sind zunächst die natürlichen topografischen und hydrologischen Verhältnisse. Schon lange ist es aber auch die Beeinflussung des Hochrheins durch den Menschen (strukturelle Überprägung, Wasserkraft- und Wassernutzung). Diese beiden Faktoren-Komplexe führen zu einer grossen Zahl charakterlich unterscheidbarer Hochrheinstrecken und -stellen, die auch eine entsprechend unterschiedliche biologische Besiedlung zeigen. Um die oben angesprochenen Unterschiede in der Zusammensetzung der Benthosbiozönose an charakterlich ähnlichen Abschnitten zu erklären, müssen noch weitere Faktoren in die Überlegung eingebracht werden, ohne ihren Einfluss tatsächlich bemessen zu können. Einige davon haben wir bereits kennen gelernt, andere kurz angesprochen, z.B.:

- ▶ unterschiedliches Nahrungsangebot (z.B. am Seeabfluss);
- ▶ Eindrift rhithraler Faunenelemente (aus Rheinzufüssen);
- ▶ Vorhandensein und räumliche Abfolge ökologisch bedeutender Regenerationspotentiale (Reproduktionsräume) im Rhein und seinen Zuflüssen;
- ▶ Durchgängigkeit der Sohle für Abdrift- und Einwanderungsprozesse;
- ▶ Eindrift potamaler Faunenelemente (aus Aare);
- ▶ Eindringen und die Ausbreitungswege von Neozoen;
- ▶ Konkurrenz zwischen verschiedenen Arten (welche Auswirkung haben z.B. Neozoen auf die angestammte Benthosfauna?);
- ▶ physikalische Rahmenbedingungen (z. B. Trübung, Geschiebe, Sanddrift, Wellenschlag).

6.3 Die ökologische Qualität der Benthosbiozönosen

Die Benthosbesiedlung von Fliessgewässern ist ein wichtiger Indikator für deren ökologischen Zustand. Vor allem sensible, stenöke (in ihren Ansprüchen auf eine bestimmte Lebensraum-Qualität angewiesene) Benthosorganismen reagieren sehr schnell auf Veränderungen ihrer Umwelt. Ihr Vorhandensein oder Verschwinden zeigt uns, ob sich das Gewässer in einem ausgewogenen oder defizitären Zustand befindet. Viele der Arten, aus denen sich diese Lebensgemeinschaft zusammensetzt, haben sich so als wichtige Zeiger für chemische Gewässerbelastung, andere für einen unzureichenden strukturellen Zustand erwiesen. Der bekannte Saprobien-Index nutzt solche Zeiger-Qualitäten, um damit ökologische Gewässergütebewertungen vornehmen zu können. Ein ähnlicher, für die Schweizer

Mittelland- und Gebirgsgewässer geeigneter Index ist der Makro-Index nach PERRET (1977), der das Vorhandensein oder Fehlen von Organismen-Gruppen wie köchertragender Köcherfliegen, Steinfliegen, Eintagsfliegen und ihr gemeinsames Vorkommen für entsprechende Qualitätsbeurteilungen nützt.

Bereits in unserem Bericht zu den ersten koordinierten biologischen Untersuchungen haben wir den Versuch gemacht, gängige Gewässergüte-Indices auf die Ergebnisse der Probenahmen am Hochrhein anzuwenden. Fazit dieses Versuchs war die Erkenntnis, dass der Hochrhein ein Fliessgewässer ist, das nahezu allen Arten funktioneller Organismengruppen und damit auch allen Saprobiern (Güte-Zeigern) und Vertretern unterschiedlichster Faunenelemente Lebensraum bietet.

6.3.1 Ökologische Qualität und neue EU-Wasser-Rahmenrichtlinie

Die im Juli 2000 verabschiedete EU-Wasserrahmenrichtlinie fordert von allen Mitgliedsländern, innerhalb vorgegebener Fristen eine sogenannte **„gute ökologische Qualität“** der Oberflächengewässer zu erhalten oder zu erreichen. Der Ansatz des Flussgebietsmanagements, d. h. die räumliche Betrachtung ganzer Flusseinzugsgebiete über politische und administrative Grenzen hinweg, ist der innovativste Ansatz dieser neuen Richtlinie (SCHÖLL 2001). Die EU-Mitgliedsländer sind verpflichtet, die ökologische Qualität periodisch zu überprüfen.

Damit steigt die Notwendigkeit einer grenzüberschreitenden, methodisch vergleichbaren ökologischen Bewertung des Rheinstromes. Hierzu fehlt bis heute das entscheidende Werkzeug zur Bestimmung der biologischen Gewässergüte grosser mitteleuropäischer Flüsse und Ströme. Derzeit werden zwei Indices getestet, die diesen Anspruch erfüllen sollen: der Potamon-Typie-Index, der die biologische Güte anhand von den Arten zugeteilten, so genannten ECO-Werten berechnet sowie der "Index of Trophic Completeness", der versucht, diese Qualitätsunterschiede anhand der Vollständigkeit im Spektrum der Ernährungstypen zu verdeutlichen (erste Berechnungen in SCHÖLL 2001). Beide Indices müssen jedoch noch modifiziert werden, um sie auch auf die besonderen Verhältnisse im Hochrhein anwenden zu können.

6.4 Ökologische Defizite und Gewässerschutzziele im Hochrhein

Die Tatsache, dass es eine Vielzahl von Faktoren gibt, welche die ökologische Qualität der Benthosfauna im Hochrhein beeinflussen können, hat eine besondere Bedeutung für den zukünftigen Umgang mit dem Fluss in Forschung und Vollzug. Auch wenn sich einige dieser Faktoren nicht quantifizieren oder eindeutig einer ökologischen Erscheinung oder einem Defizit zuordnen lassen, ist es dennoch möglich, ihre Qualität zu bewerten und daraus entsprechende Schlüsse zu ziehen. Dies soll hier dadurch geschehen, dass aus den bisherigen Erkenntnissen ökologische Defizite aufgezeigt und sodann Handlungserfordernisse für die weitere Erforschung des Hochrheins sowie für allfällige Gewässerschutz- und Gewässerentwicklungsmassnahmen abgeleitet werden.

6.4.1 Defizite in der Besiedlung der Hochrheinsohle

Seit Menschengedenken ist der Hochrhein, wie die meisten grossen mitteleuropäischen Flüsse, sehr mit der abendländischen Kultur und deren Nutzungsansprüchen an die Gewässer verbunden. Wegen seines relativ starken Gefälles war er jedoch nie ein Fliessgewässer, das sich in seiner ganzen Länge zur Beschiffung und zum Gütertransport eignete, sondern war viel mehr Wasserlieferant und Fanggrund für die früher hier massenhaft aufsteigenden Lachse. Die vor nicht einmal hundert Jahren entwickelten Pläne zu seiner Schiffbarmachung bis zum Bodensee scheiterten allerdings erst an der fehlenden Wirtschaftlichkeit des Projekts, nicht etwa an technischen Problemen oder der mangelnden Bereitschaft, den Hochrhein in einen Kanal zu verwandeln. Das Nutzungspotential des Hochrheins wird heute daher so weit ausgenutzt, wie es wirtschaftlich sinnvoll und möglich ist:

- ▶ Als Schifffahrtsstrasse für Gütertransporte von der Rheinmündung bis zu den Umschlaghäfen im Raum Basel;
- ▶ Als Lieferant von Wasserenergie durch die Gefälle- und Abfluss-Ausnutzung, v.a. unterhalb der Aaremündung;
- ▶ Zur Ausflugsschifffahrt innerhalb verschiedener Abschnitte, im Raum Basel und vom Bodensee bis Schaffhausen;
- ▶ Auf wenigen Abschnitten noch zum beruflichen Fischfang;
- ▶ Als Vorfluter für betriebliche und kommunale Kläranlagen der Anliegergemeinden;
- ▶ Als Sammler der Hochrheinzuflüsse und deren Belastungen;
- ▶ Als Natur- und Naherholungsraum für die Bevölkerung (Badebetrieb, Wassersport, Sportfischerei).

Negative anthropogene Einflüsse auf die Benthosökologie des Flusses und damit auch auf die meisten anderen ökologischen Komponenten (v.a. Fischfauna) müssen also in diesen Nutzungsbereichen gesucht und können auch nur hier verändert werden. In der folgenden Tabelle 6.1 ist eine Auswahl auffälliger Defizite in der Benthosbesiedlung zusammengestellt, die anhand unserer Untersuchungsergebnisse direkt oder indirekt abzulesen sind. Als Defizite werden dabei alle Abweichungen vom frühestmöglich bekannten ökologischen Zustand (Referenz) respektive einer potentiellen natürlichen Besiedlung und Flussgestalt aufgeführt.

Diese Zusammenstellung sagt noch nichts darüber aus, welchen dieser Defizite durch geeignete Massnahmen entgegengewirkt werden kann oder soll. Auch lassen die neuesten Untersuchungsergebnisse für den Rhein als Ganzes durchaus eine weitere Erholung der Benthos-Lebensgemeinschaft erhoffen. Vielfach sind dies aber Erscheinungen, die noch immer mit der kontinuierlichen Verbesserung der Rheinwasserqualität zusammenhängen und im Hochrhein aufgrund seiner historisch immer geringeren Belastung nie so stark zum Tragen kamen wie im Rhein unterhalb von Basel.

Die Massenbesiedlungen der Rheinsohle durch Neozoen zeigt aber auch, dass Verbesse-

Ökologisches Defizit	wahrscheinliche (mögliche) Ursachen
<p>1.) Rückgang der rhithralen Faunenelemente im gesamten Hochrhein</p> <p>Gefährdete Arten (Taxa):</p> <p>Steinfliegen: insbesondere Perliden und Perlodiden Eintagsfliegen: <i>Ecdyonurus spp.</i>, <i>Rhithrogena spp.</i>, <i>Epeorus spp.</i> Köcherfliegen: Glossosomatiden und Goeriden</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ In vielen Hochrheinabschnitten können hyporhithrale Insektenarten (Gebirgsflussarten) nicht mehr in gleicher Masse wie früher ihren Reproduktionszyklus vervollständigen; Störungsfaktoren sind z.B.: fehlende Strukturvielfalt (Habitatsverlust, Verlust von Emergenz- und Eiablagestellen), Wellenschlag (Habitatsstabilität). ▶ Eindriftwege zwischen naturnahen, produktiven und regulierten, wenig produktiven Abschnitten (bezogen auf hyporhithrale Arten) sind zu lang oder durch Staubereiche fast völlig unterbrochen. Regenerationsprozesse und "Animpfungen" finden fast nur noch innerhalb ununterbrochener Strömungsrinnen statt. Durch die Staustufenkette kommt es rheinabwärts zu einer kontinuierlichen Ausdünnung hyporhithraler Arten. Das historische und aktuelle Regenerationspotential für Bergbacharten (rhithrale Arten) liegt in den Hochrheinzufüssen (v.a. Thur, Wutach, Birs). Im Hochrhein selbst befanden sich grössere "ökologische Trittsteine" für die Rhithrafauna. Diese Trittsteine fielen im unteren Hochrhein der Regulierung und Wasserkraftnutzung zum Opfer. ▶ Potentiellen Habitaten (z.B. u.h. von Stauwehren) fehlt die Verbindung zu entsprechenden Zuflüssen. ▶ funktionierendes System nur noch zw. Wutachmündung und Aaremündung.
<p>2.) Rückgang epipotamaler Arten. Dominanz anspruchsloser Ubiquisten gegenüber typischen Hochrheinarten;</p> <p>Epipotamale Arten im Hochrhein: Libellen: Gomphiden Eintagsfliegen: <i>Potamanthus luteus</i>, <i>Ephemera spp.</i>, <i>Oligoneuriella rhenana</i> (ausgestorben), <i>Prosopistoma foliaceum</i> (ausgestorben)</p> <p>Ubiquisten im Hochrhein: Flohkrebse: <i>Gammarus roeseli</i> Schnecken: <i>Bithynia tentaculata</i>, <i>Ancylus fluviatilis</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Die angestammte epipotamale Fauna findet in degradierten Abschnitten zu wenig geeignete Lebensräume. Vor allem Wasserinsekten fehlt wegen der oft monotonen Uferausprägung und fehlenden Ufer-Gerinne-Verzahnung die direkte Anbindung an ihren terrestrischen Lebensraum. Demgegenüber nutzen die meist hololimnischen (ausschliesslich im Wasser lebenden) Ubiquisten zu jeder Zeit jede nur erdenkliche Nische durch rasche Generationsfolgen und grosse Fertilität. Innerhalb freifliessender, naturnaher Abschnitte ist dagegen die angestammte Benthosfauna noch immer sehr konkurrenzfähig. ▶ Die ursprünglichen epipotamalen Lebensräume liegen heute fast vollständig im Rückstaubereich der Kraftwerke.
<p>3.) Strömungssensible Arten überwiegen stellenweise im gesamten Flussquerschnitt.</p> <p>Eine normalerweise im Querprofil zu beobachtende Zonierung zeigt sich nun auch im Längsprofil.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ In den Staubereichen fehlt eine Niederwasserrinne; die Horizontalstruktur wird aufgelöst, die Strömungsdynamik nimmt zum Wehr hin ab. ▶ Die Restwasserstrecke unterhalb dem Stau Rheinau unterbricht auch nach dem Hauptwehr für mehrere Kilometer die ursprüngliche Flussdynamik.
<p>4.) Der dominierende Einfluss der "invasorischen" Neozoen im Raum Basel. Gefahr der Verdrängung angestammter Arten</p> <p>Wichtige Vertreter im Hochrhein: <i>Corophium curvispinum</i>, <i>Corbicula fluminea/fluminalis</i>, <i>Jaera istri</i>, <i>Hypania invalida</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Invasorische Neozoen zählen allesamt zu der unter 3.) beschriebenen Gruppe der Ubiquisten und zeigen die selben Vermehrungsstrategien. ▶ Hauptursache für die Ausbreitung sind die Verbindung früher getrennter Flusssysteme und die uneingeschränkte Verbreitung durch Schifffahrt sowie Einführung fremder Faunenelemente (z.B. durch Aquaristik und Fischzucht). ▶ In den betroffenen Rheinabschnitten ist die angestammte Fauna (vgl. 3.) nicht mehr ausreichend konkurrenzstark.

Tab. 6.1: Defizite in der Benthosbesiedlung der Hochrheinsohle sowie ihre vermuteten und wahrscheinlichen Ursachen.

rungen der Wasserqualität allen Arten nützt, die den Rhein als Lebensraum akzeptieren, also auch denen, die nur geringe Ansprüche an die Wasserqualität stellen.

Mögen sich die Massentwicklungen von Neozoen im Raum Basel mit der Zeit einpendeln, wie es bereits in unterhalb liegenden Rhein-Strecken der Fall ist, so hat sich dennoch die Benthosbiozönose - zumindest im durchgängig schiffbaren Rhein - grundlegend und irreversibel vom ursprünglichen Zustand fortbewegt. Eine **fortschreitende "Globalisierung" des Artenbestands** grosser schiffbarer Fließgewässer ist zukünftig wohl nicht mehr zu verhindern.

6.4.2 Ziele für die ökologische Verbesserung der Lebensräume im Hochrhein

Die Artenvielfalt des Hochrheins liegt im Wesentlichen in der morphologischen Vielfalt seiner Lebensräume begründet. Am Rhein gilt es nun, die einer natürlichen Dynamik unterliegenden Strukturen und Teillebensräume zu schützen oder wiederherzustellen. Die Durchgängigkeit, auch diejenige der Nebenflüsse, soll gesichert werden, um den natürlichen Faunenaustausch zu ermöglichen und die Nebengewässer als potentielle Refugialbiotope und Regenerationspotentiale zu erhalten. Ein angemessener Teil der Ufer- und Stromsohlenbereiche soll von der mechanischen Beanspruchung, die durch Schiffsverkehr und der - infolge der Einengung des Rheins - erhöhten Umlagerung der Stromsohle verursacht wird, entlastet werden. Dadurch wird die Attraktivität dieser Lebensräume für Benthosorganismen erhöht, die Konkurrenzfähigkeit ursprünglicher Faunenelemente gestärkt und die Ansiedlung von Wasserpflanzen ermöglicht, die als wichtiger Lebensraum für Kleinlebewesen und Jungfische heute auch im Hochrhein stark zurückgegangen sind.

Trotz der erneut zufriedenstellenden benthosbiologischen Ergebnisse müssen also weitere **Massnahmen zur Erhaltung** ökologisch funktionsfähiger Bereiche **und zur Verbesserung** der Struktur des Lebensraumes Hochrhein und seiner Wasserqualität ergriffen werden. Die hierzu nötigen Zielsetzungen und Handlungsschritte sind im **"Programm zur nachhaltigen Entwicklung des Rhein 2020"** der Rheinministerkonferenz 2001 enthalten. Die für den Hochrhein relevanten Ziele und Handlungserfordernisse sind:

- ▶ Erhöhung der Strukturvielfalt im Uferbereich an geeigneten Rheinabschnitten unter Berücksichtigung der Sicherheitsaspekte für Schifffahrt und Personen;
- ▶ Entwicklung naturnaher Flussbettstrukturen durch Zulassen bzw. Förderung der Eigendynamik der Gewässersohle an geeigneten Rheinabschnitten und Belassen von Kiesablagerungen außerhalb der Fahrrinne und/oder Ergreifen von Maßnahmen zur Verbesserung des Geschiebetriebes;
- ▶ Konzeption und Realisierung von Maßnahmen zur Reduktion der noch zu grossen Sohlenerosion im Rhein unterhalb der staugeregelten Strecke; keine technische Sohlenvertiefung ohne ökologische Folgenabschätzung;
- ▶ Erhalt der freifliessenden Streckenabschnitte des Rheins;

- ▶ Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit des Hauptstroms und der Nebengewässer z.B. durch Umgehungsgewässer oder Migrationshilfen (Fischpässe, u.a.) bei Stauhaltungen;
- ▶ Unterschutzstellung von wertvollen Aueökosystemen und/oder Ausweisung von Naturentwicklungsgebieten.

Trotz der Fortschritte hinsichtlich der Sanierung des Rheinwassers in den letzten Jahrzehnten müssen weitere Anstrengungen zur **Verbesserung der Wasserqualität** unternommen werden, um die Lebensbedingungen für Makrozoen im Rhein weiter zu verbessern. Hierzu gehören:

- ▶ Fortsetzung der Reduzierung der Einleitungen, Emissionen von Rhein-relevanten Stoffen unter Anwendung des "Standes der Technik" und der besten Umweltpraxis;
- ▶ Durchführung weitergehender Massnahmen für die Erreichung der für die prioritär und für prioritär gefährliche Stoffe formulierten Ziele;
- ▶ Weiterentwicklung von behördlichen und betrieblichen Überwachungssystemen unter Einbeziehung der Eigenkontrolle bei Abwassereinleitungen, Entwicklung und Einbeziehung einheitlicher ökotoxikologischer Beurteilungsverfahren;
- ▶ Weiterentwicklung des Warn- und Alarmsystems Rhein;
- ▶ Untersuchung der ökologischen Stoffwirtschaft in Industrie und Gewerbe, d.h. Entwicklung von Produkten mit einem geringeren Risiko für die Umwelt; Schliessung von Stoffkreisläufen, produktionsintegrierter Umweltschutz nach dem "Stand der Technik";
- ▶ Förderung der umweltverträglichen Landbewirtschaftung, unter besonderer Berücksichtigung von ausreichend grossen Uferstrandstreifen;
- ▶ Kontrolle der durch den Schiffsverkehr verursachten Ölproblematik.

Fazit für den Hochrhein

Der Hochrhein lieferte nach der Brandkatastrophe in Schweizerhalle 1986 das biologische Regenerationspotential, aus dem in kurzer Zeit die meisten unterhalb liegenden Rheinabschnitte wieder mit der angestammten Rheinflauna angeimpft wurden.

Aus dieser Überlegung heraus und wegen der Tatsache, dass der Hochrhein immer noch mehrere naturnahe, freifliessende und damit für die angestammte Benthosfauna sehr produktive Abschnitte besitzt, erwächst eine besondere Verantwortung. Einer der ersten, aber auch entscheidenden Schritte ist dabei der **Schutz noch naturnaher, freifliessender Hochrheinabschnitte**. Dies ist auch Bestandteil der Zielsetzungen der IKS. Für diese wertvollen biologischen Reservoire sollten darüber hinaus sofortige Entwicklungsmassnahmen angegangen werden, die zur Erhaltung und Stärkung der Konkurrenzfähigkeit ursprünglicher Rheinarten beitragen.

Nutzungsbedingte Einflüsse (z.B. strukturverändernde wasserbauliche Eingriffe, Erhöhung der Staukoten der Flusskraftwerke, Schwall aus den Zuflüssen, weitere Flächenversiegelungen im Einzugsgebiet, Störungen durch Schiffsverkehr u.v.a.) sollten zukünftig vermehrt auf ihre Verträglichkeit gegenüber der Dynamik und Morphologie des Hochrheins hin geprüft werden. Dies ist immer dann möglich, wenn (Neu)konzessionen vergeben oder Änderungen (Art und Umfang) der Nutzungen geplant sind und einer behördlichen Genehmigung bedürfen. Auch ist anzustreben, dass Nutzungen, die schon heute einen negativen Einfluss auf die ökologische Qualität des Hochrheins zeigen, modifiziert oder extensiviert werden. Die Anstrengungen zur Reduzierung von Schadstoff- und Nährstoffeinträgen müssen fortgesetzt werden, um den guten Stand der Wasserqualität zu erhalten bzw. weiter zu verbessern.

Die oben angesprochene Behebung der Unterbrüche in der longitudinalen **Durchgängigkeit** ist ein besonders ehrgeiziges Ziel für den Hochrhein, welcher durch die Abfolge von Flusstaus und ihren jeweiligen Rückstaubereichen eine generelle Änderung des Flusscharakters erfahren hat. Die vor allem für die Fischfauna angestrebten Verbesserungen nützen auch den angestammten Benthosbiozöten, wenn mehrmals jährlich eine rheinabwärts gerichtete Organismendrift zustande kommt. Auch muss die Verdriftung von Benthosorganismen durch die Strömung dabei als wichtiger Ausbreitungsmechanismus der Arten mitberücksichtigt werden. Heute ist zwischen den Staubereichen der Hochrheinabschnitte B und C eine solche Artendrift und Animpfung unterhalb liegender Rheinabschnitte nur im Rahmen grösserer Hochwasserereignisse möglich.

Andererseits jedoch kann eine Verbesserung der Durchgängigkeit der bereits angesprochenen "Globalisierung" der Artenzusammensetzung (Stichwort: Neozoen) weiter Vorschub leisten, wenn die zur Stärkung der Konkurrenzfähigkeit angestammter Faunenelemente notwendigen Massnahmen nicht gleichzeitig ergriffen werden. Hierzu gehören neben **Strukturverbesserungen** am gesamten Fluss die generelle **Dynamisierung des Abflusses** und vor allem die **Reaktivierung des Geschiebetriebes**.

6.5 Ausblick und Weiterentwicklung des Programms

Die Wahl der Probenahmestellen und der Probenahmezeitpunkte bei beiden Programmansätzen (Taucherproben und Uferproben) reichte nach unserer Einschätzung für eine umfassende Beschreibung der Zusammensetzung der benthischen Lebensgemeinschaften und repräsentativer Besiedlungsdichten im Hochrhein aus. Der Verzicht auf die Sommerprobenahme auf den herkömmlichen neun repräsentativen Flussquerschnitten mit dem Taucher konnte durch die Programmerweiterung am Ufer kompensiert werden. Im Vergleich zu den zeitparallel ablaufenden Arbeiten der anderen Rheinanliegerstaaten liefert das vorliegende Programm das dichteste Probestellennetz und die umfassendste taxonomische Bearbeitung am gesamten Rhein.

Nur mit der Kombination von Taucher-Probenahme und Probenahme mit herkömmlichen Techniken im Uferbereich ist es möglich, die Makroinvertebratenbesiedlung auf einem ganzen Flussquerschnitt hinreichend zu erfassen. Die Untersuchung der bisherigen Flussquerschnitte mit dem Taucher sollte demnach auch weiterhin zentraler Bestandteil des Untersuchungsprogramms bleiben.

Die Ergebnisse der Probenahmen im Uferbereich können unter Umständen stark durch die jahreszeitlichen Schwankungen verschiedener Umgebungsparameter (v.a. Wasserstand) beeinflusst sein. Entsprechend werden die Unterschiede in den kleinräumigen Besiedlungsmustern auch ein entscheidendes Merkmal ufernaher Lebensräume bleiben. Die Probenahme an solchen Stellen sollte in Zukunft flexibel gehandhabt werden. Wie intensiv oder zu welcher Zeit ein Sonderprogramm am Ufer durchgeführt werden muss, um die nun hinzugewonnene Informationsdichte zu erhalten und zu aktualisieren, kann sich möglicherweise auch erst nach den ersten Ergebnissen der Transsektuntersuchungen zeigen.

Seit der ersten Kampagne 1990 zeigte sich immer deutlicher, welchen entscheidenden Einfluss die Staubereiche der Flusskraftwerke auf die Benthosbesiedlung und die natürlicherweise ablaufenden Austauschprozesse im Längsverlauf des Hochrheins haben. Eine Längsschnittuntersuchung eines für den Hochrhein typischen Stauraums sollte im Untersuchungsprogramm integriert werden. Ob dies im Rahmen der nächsten Kampagne möglich ist, hängt davon ab, ob ein weiterer Flusstranssekte in das Programm mit übernommen, oder ob auf einen der bisherigen Querschnitte verzichtet werden kann.

Dem dringenden Handlungsbedarf nach einer Untersuchung der Besiedlungsprozesse durch Neozoen im unteren Hochrheinabschnitt wurde bereits durch die Genehmigung eines separaten Forschungsprogramms seitens des BUWAL entsprochen. In der vorerst auf zwei Jahre begrenzten Studie soll das Phänomen der Neozoenbesiedlung erstmals an einer räumlich eingrenzbaaren "Ausbreitungsfront" beobachtet werden. Dabei sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- ▶ Wo genau liegen die derzeitigen Ausbreitungsgrenzen der invasorisch auftretenden Neozoenarten?
- ▶ In welchem Masse und mit welcher Geschwindigkeit verändern sich diese Grenzen?
- ▶ Welches sind die spezifischen Ausbreitungsmechanismen der relevanten Arten?
- ▶ Gibt es Verdrängungsphänomene der angestammten Rheinflauna durch die Neozoen?
- ▶ In welchem Masse ändern sich die Besiedlungsdichten der Neozoen an Orten mit Massenvorkommen?
- ▶ Welche Rolle spielen die Neozoen als Fischnährtiere?

7 Literaturverzeichnis

Abbildungsvorlagen der Abbildungen 5.3 a-f, 5.7, 5.11 und 5.12 wurden aus folgenden Werken entnommen und z.T. verändert: Bestimmungswerke der "Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane", Bestimmungswerke der Freshwater Biological Assoc., Ambleside, der "Insecta Helvetica", aus ENGELHARDT (1985), RIEDL (1983), GERLACH (1962), HAUER (1950), sowie eigene Abbildungen (HYDRA 1995).

Alles, E., 1996: Koordinierte biologische Untersuchungen im Hochrhein 1995; Aufwuchs-Diatomeenflora. Interner Bericht zHv LFU Bad.-Württ., 63 S. + Anhang.

BÄRLOCHER, F, HÄFLINGER, T., MARBACH-UGAZIO, R. & RHYNER, B., 1991: Limnological studies on the Rhine and two of its tributaries in Basel. - Verh. Internat. Verein. Limnologie 24: 1800-1830, Stuttgart.

BIJ DE VAATE, A. & A.G. KLINK, 1995: *Dikerogammarus villosus* SOWINSKI (Crustacea: Gammaridae), a new immigrant in the Dutch part of the Lower Rhine. - Lauterbornia 20: 51-54, Dinkelscherben.

BIJ DE VAATE, A. & M.B.A. SWARTE, 2001: *Dendrocoelum romanodanubiale* in the Rhine delta: first records from the Netherlands. - Lauterbornia 40: 53-56, Dinkelscherben.

BLANK, M., D. DIEHL & C. KOLMET, 1998: *Gomphus flavipes* (Charpentier) am Rhein bei Köln (Anisoptera: Gomphidae). - Libellula 17 (3/4): 239-242.

BLOESCH, J. 1977: Bodenfaunistische Untersuchungen in Aare und Rhein I. - Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie, 39: 46-68

BLOESCH, J., 1980: Bodenfaunistische Untersuchungen in Aare und Rhein II. - Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie, 42: 285-308

BOLLINGER, G., 1909: Zur Gastropodenfauna von Basel und Umgebung. - Dissertation, Universität Basel, 214 pp, Basel

BORCHERDING, J. & R. REHBACH, 1998: Die Haffensche Landwehr - Ein Verbindungsgraben in der Rheinaue als überregional bedeutender Lebensraum heimischer Großmuscheln. - LÖBF-Mitteilungen 2: 37-40.

BOSCHERT, M., A. HEITZ, S. HEITZ, H. LAUFER, C. MÜNCH, J. RUF, M. RADEMACHER, F. SAUMER, F. SCHNEIDER, A. UHL, K. WESTERMANN, S. WESTERMANN & H. ZIMMERMANN, 1996: Die Körbchenmuschel *Corbicula fluminea* und *Corbicula fluviatilis* am südlichen Oberrhein - Dokumentation der Neufunde. - Naturschutz südl. Oberrhein 1: 211-225.

CASPERS, N., 1980: Die Makrozoobenthos-Gesellschaften des Hochrheins bei Bad-Säckingen. - Beiträge zur naturkundlichen Forschung in Südwest-Deutschland, 39: 115-142

CASPERS, N., 1990: Die Insektenfauna im unteren Hochrhein und im Oberrhein - Stand Sommer 1987. - Biologie des Rheins, Limnologie aktuell, 1: 349-359, Stuttgart

CASPERS, N., 1991: The actual biocenotic zonation of the River Rhine exemplified by the chironomid midges (Insecta, Diptera). - Verh. Internat. Verein. Limnologie 24: 1829-1834, Stuttgart

CONRATH, W., FALKENHAGE, R. & KINZELBACH, R., 1977: Übersicht über das Macrozoobenthon des Rheins im Jahre 1976 - Gewässer und Abwässer, 62/63: 63-84

DAHL, A., 1997: Die Großmuscheln *Pseudanodonta complanata* und *Unio crassus* (Mollusca: Unionidae) lebend im Hauptstrom des Niederrheins. - Natur am Niederrhein (N.F.) 12 (1): 26-34, Krefeld.

EAWAG, 1986: Bericht über bodenfaunistische Untersuchungen im Rhein bei Sisseln. - Baudepartement des Kanton Aargau

EAWAG, 1986: Erster Zwischenbericht an die Regierung des Kantons Basel-Landschaft über Bestandaufnahme, ökologische Beurteilung und empfohlene Massnahmen und Absichten für weitere Untersuchungen nach dem Schadenfall Sandoz am Rhein bei Basel. - Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Dübendorf, 82 S., Dübendorf.

- EAWAG, 1987: Zweiter Zwischenbericht an die Regierung des Kantons Basel-Landschaft über Verhalten der Chemikalien im Rhein, biologischen Zustand und Wiederbelebung des Rheins nach dem Brand in Schweizerhalle. - Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Dübendorf, 171 S., Dübendorf.
- EAWAG, 1988: Schlussbericht an die Regierung des Kantons Basel-Landschaft über die Wiederbesiedlung des Rheins nach dem Brand in Schweizerhalle. - Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Dübendorf.
- ENGELHARDT, W., 1985: Was lebt in Tümpel, Bach und Weiher? 11. Aufl., Stuttgart, 270 S.
- FELBER, J., 1908: Die Trichopteren von Basel und Umgebung. - Archiv für Naturgeschichte, 74: 1-90, Berlin.
- FUHRMANN, O., 1894: Die Turbellarien der Umgebung von Basel. - Revue Suisse de Zoologie, 2: 215-290.
- FRANZ, H. & H.-J. JATZEK, 1985: Der Keulenpolyp *Cordylophora caspia* (PALLAS 1771) im Flußsystem des Rheins. - Mainzer Naturw. Archiv 23: 109-118.
- FREYHOF, J. & I. STEINMANN, 1998: *Rhithropanopeus harrisii* (GOULD 1841) und *Palaemon longirostris* Edwards 1837 im Rhein bei Köln (Crustacea, Decapoda). - Lauterbornia 32: 25-26, Dinkelscherben.
- FREYHOF, J., I. STEINMANN & T. KRAUSE, 1998: Weitere Funde von *Gomphus flavipes* (Charpentier) im Rhein (Anisoptera: Gomphidae). - Libellula 17 (3/4): 247-252.
- GEISSEN, H.-P., 1997: Die Asiatische Keiljungfer *Gomphus flavipes* Charpentier - Larvenfund im Mittelrhein bei Koblenz (Insecta: Odonata). - Fauna Flora Rheinland-Pfalz, Beiheft 22.
- GEISSEN, H.-P., 1997: Nachweis von *Limnomysis benedeni* Czerniavski (Crustacea: Mysidacea) im Mittelrhein. - Lauterbornia 31: 125-127, Dinkelscherben.
- GEISSEN, H.-P., 1997: Schwarzfüßige Schlammfliegen - *Sialis nigripes* Ed. PICTET - am linken Rheinufer (Insecta: Megaloptera). - Fauna Flora Rheinland-Pfalz 8: 875-877.
- GEISSEN, H.-P., 1998: Die Schlammfliege *Sialis nigripes* Ed. PICTET (Insecta: Megaloptera) - Beginn der Besiedlung des Mittelrheins? - Fauna Flora Rheinland-Pfalz 8: 1291-1295.
- GEISSEN, H.-P., 1999: Bemerkungen zur Verbreitung und Ökologie des Kiemenwurms *Branchiura sowerbyi* (Oligochaeta: Tubificidae). - Lauterbornia 36: 93-107, Dinkelscherben.
- GEISSEN, H.-P., 1999: Der Altrhein Koblenz-Oberwerth als Station für seltene Süßwasserschnecken des Rheingebietes. - Fauna Flora Rheinland-Pfalz 9, Heft 1: 107-112
- GEISSEN, H.-P., 2000: Gomphidae vom südlichen Mittelrhein (Odonata). - Libellula 19 (3/4): 157-174.
- GEISSEN, H.-P. & F. SCHÖLL, 1998: Erste Nachweise des Fischegels *Caspiobdella fadejewi* (EPSTEIN 1961) (Hirudinea: Piscicolidae) im Rhein. - Lauterbornia 33: 11-12, Dinkelscherben.
- GERLACH, S.A., 1962: Annelida, Ringelwürmer. - in: Brohmer, P., Ehrmann, P. Ulmer, G. & Schiemenz, H. (eds.): Die Tierwelt Mitteleuropas: Bd. 1 Lief. 7a (Urtiere - Hohltiere - Würmer): 1-8. Quelle & Meyer, Leipzig.
- GERSTER, ST., 1989: Veränderungen der Fischbestände am Hochrhein und deren Ursachen. - Auftragsarbeit zuhanden des BUWAL, Bern, 287 S. + Anhang.
- GERSTER, ST., 1991: Hochrhein-Fischfauna im Wandel der Zeit. - Internationale Fischereikommission für den Hochrhein (Hrsg). BUWAL Dokumentationsdienst, Bern, 28 S.
- GUGEL, J., 1995: Erstnachweis von *EUNAPIUS CARTERI* (BOWERBANK 1863) (Porifera: Spongillidae) für Mitteleuropa. - Lauterbornia 20: 103-109, Dinkelscherben.
- GYSSER, A. 1864: Die Molluskenfauna Badens.

- HARTOG DEN, C., F. VAN DEN BRINK & G. VAN DER VELDE, 1992: Why was the invasion of the river Rhine by *Corophium curvispinum* and *Corbicula* species so successful? - *Journal of History* 26: 1121-1129.
- HAUER, J., 1950: Der nordamerikanische Strudelwurm *Euplanaria tigrina* (GIRARD) am Oberrhein. Mit Hinweisen auf einige andere aquatile Einwanderer im Stromgebiet des Rheines. - *Beiträge zur naturkundlichen Forschung in Südwest-Deutschland*, 9: 70-75, Karlsruhe.
- HESS, M. & HECKES, U. 1996: Verbreitung, Status und Ökologie von *Stenelmis canaliculata* (GYLLENHAL, 1808) in Deutschland (Coleoptera: Elmidae). - *Koleopterologische Rundschau*, 66:191-198, Wien
- HOLSTEIN, TH., 1995: Cnidaria: Hydrozoa. in BRAUER, SCHWOERBEL & ZWICK (eds.): Süßwasserfauna von Mitteleuropa 1 (2+3):1-110, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York.
- IGKB (Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee), 1995: Jahresbericht Januar 1993 bis März 1994 - Freiwasser, Seeboden; Limnologischer Zustand des Bodensees Nr 21.
- IKSR, Internationale Kommission zum Schutze des Rheins (IKSR), 1974: Langfristiges Arbeitsprogramm (LZP) - Gesamtfassung. Koblenz.
- IKSR, Internationale Kommission zum Schutze des Rheins (IKSR), 1990: Mess- und Untersuchungsprogramm für 1990 zur Erfassung des Organismenbestandes des Rheins und der Kontamination von Rheinfischen. IKSR. Koblenz, 29 S.
- IKSR (Hrsg.), 1995: Das Makrozoobenthos des Rheins 1990-1995 im Rahmen des Programmes "Lachs 2000". 29 S, Redaktion: F. Schöll.
- JAAG, O., 1951: Ergebnisse der biologischen Rheinuntersuchungen. Durchgeführt 31.3.1949 bis 4.4.1950 im Stromgebiet von Schweizerhalle bis unterhalb der Kraftwerks- und Schleusen-anlagen Kembs. - Koordinierende Kommission für die Rheinsanierung Basel Stadt, Basel.
- JAAG, O., 1971: Zustands- und Belastungsuntersuchungen an Aare und Hochrhein von 1965 bis Ende 1971. - Eidgenössisches Amt für Umweltschutz & EAWAG.
- JAKOB, A., LIECHTI, P. & SCHÄDLER, B., 1996: Temperatur in Schweizer Gewässern - quo vadis?. - *gwa* 76: 288-294
- JANTZ, B. & F. SCHÖLL, 1998: Größenzusammensetzung und Altersstruktur lokaler Bestände einer Zebamuschel-Flusspopulation – Untersuchungen am Rhein zwischen Basel und Emmerich (Rhein-km 168-861). – *Limnologica* 28 (4): 395-413.
- KAPPES, H., J. BORCHERDING & D. NEUMANN, 1997: Großmuscheln (Bivalvia: Unionidae) im unteren Niederrhein bei Rees und seinen Nebengewässern. – *Lauterbornia* 28: 97-101, Dinkelscherben.
- KELLEHER, B., P.J.M. BERGERS, F.W.B. VAN DEN BRINK, P.S. GILLER, G. VAN DER VELDE & A. BIJ DE VAATE, 1998: Effects of exotic amphipod invasions on fish diet in the Lower Rhine. – *Arch. Hydrobiol.* 143 (3): 363-382, Stuttgart.
- KINZELBACH, R., 1965: Ein Strandfloh, *Orchestia cavimana* HELLER, am Oberrhein. - *Beitr. Naturkunde und Forschung SW-Deutschland* 24 (2): 153-157.
- KINZELBACH, R., 1972a: Einschleppung und Einwanderung von Wirbellosen in Ober- und Mittelrhein (Coelenterata, Plathelminthes, Annelida, Crustacea, Mollusca). - *Mz. Naturw. Arch.* 11: 109-150.
- KINZELBACH, R., 1972b: Zur Verbreitung und Ökologie des Süßwasser-Strandfloh *Orchestia cavimana* HELLER 1865 (Crustacea: Amphipoda: Talitridae). - *Bonn. Zool. Beitr.* 23 (3): 267-282.
- KINZELBACH, R. 1982: Veränderungen der Fauna im Oberrhein. - *Veröffentlichungen der Pfälzischen Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften*, 70: 66-86, Speyer.
- KINZELBACH, R., 1983: Zur Dynamik der Zoobenthosbiozönosen des Rheins. - *Verh. Ges. Ökologie* 10: 263-271.

- KINZELBACH, R. (ed.), 1985a: Die Tierwelt des Rheins einst und jetzt. - Mainzer Naturwissenschaftliches Archiv, Beiheft, 5: 1-185 + 3 Tafeln, Mainz.
- KINZELBACH, R., 1990: Besiedlungsgeschichtlich bedingte longitudinale Faunen-Inhomogenität am Beispiel des Rheins. - Biologie des Rheins, Limnologie aktuell, 1: 41-58, Stuttgart.
- KINZELBACH, R., 1995: Neozoans in European Waters - Exemplifying the worldwide process of invasion and species mixing. - Experientia 51: 526-538.
- KNÖPP, H., 1957: Die heutige biologische Gliederung des Rheinstroms zwischen Basel und Emmerich. - Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, 1: 56-63, Koblenz.
- KOSTER, B. & WINKLER, J., 1985: Das Makrozoobenthon des Hochrheins. - in KINZELBACH, R. (ed.): Die Tierwelt des Rheins einst und jetzt. - Mainzer Naturwissenschaftliches Archiv, Beiheft, 5: 51-66, Mainz.
- KURECK, A., 1992: Neue Tiere im Rhein. - Naturwissenschaften 79: 533-540.
- KÜRY, D., 1994: Die Wirbellosenfauna der Fließgewässer in der Region Basel. - Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft Basel, 104: 19-44, Basel.
- 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.
- LAUTERBORN, R., 1917: Die geographische und biologische Gliederung des Rheinstroms II. - Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Math.naturwiss. Klasse, Abt. B., 1917/5: 1-70, Heidelberg.
- LAUTERBORN, R., 1918: Die geographische und biologische Gliederung des Rheinstroms III. - Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Math.naturwiss. Klasse, Abt. B., 1918: 1-87, Heidelberg.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG, 1969: Gütezustand der Gewässer in Baden-Württemberg, Nr 1, Karlsruhe.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG, 1975: Gütezustand der Gewässer in Baden-Württemberg, Nr 2, Karlsruhe.
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 1981: Gütezustand der Gewässer in Baden-Württemberg, Nr 3, Karlsruhe.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG, 1987: Gütezustand der Gewässer in Baden-Württemberg, Nr 4, Karlsruhe.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG, 1990: Gütezustand der Gewässer in Baden-Württemberg, Nr 5, Karlsruhe.
- LEUCHS, H. & A. SCHLEUTER, 1996: *Dikerogammarus haemobaphes* (Eichwald 1841) (Gammaridae) - eine aus der Donau stammende Kleinkrebsart im Neckar. - Lauterbornia 25, Dinkelscherben.
- MAURER, V., 1993: Koordinierte biologische Untersuchungen im Hochrhein 1990, Teil IV: Zusammenfassender Kurzbericht - Schriftenreihe Umwelt 197 BUWAL, Bern.
- MEYER, E., 1992: Die benthischen Makroinvertebraten in kleinen Fließgewässern am Beispiel eines Schwarzwaldbaches. - Habilitationsschrift ETH Zürich, Zürich.
- MOLLS, F. & J. BORCHERDING, 1997: Der Fischegel *Cystobranchus respirans* (Troschel 1850) am unteren Niederrhein mit neuen Daten zur Phänologie und zum Wirtsfischspektrum. - Lauterbornia 28: 37-44, Dinkelscherben.
- MOOG, O. (Hrsg.), 1995: Fauna aquatica Austriae, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.

- NEERACHER, F., 1908: Beiträge zur Insektenfauna des Rheins bei Basel. 3. Larve von *Dictyopteryx imhoffi* (Pictet). - Zoologischer Anzeiger, 33: 668-670, Leipzig.
- NEERACHER, F., 1910: Die Insektenfauna des Rheins und seiner Zuflüsse bei Basel. - Revue Suisse de Zoologie, 18: 497-588.
- ORTLEPP, J., SCHRÖDER, P. & REY, P., 1991: The longitudinal zonation of macroinvertebrates of the upper River Rhine. - Verhandlungen der internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie, 24: 1804-1811.
- PAVLUK, T.I., BIJ DE VAATE, A. & LESLIE, H.A. (eingereicht): Biological assessment method based on trophic structure of benthic macroinvertebrate communities. - Hydrobiologia.
- PERRET, P., 1977: Zustand der schweizerischen Fließgewässer in den Jahren 1974/75 (Projekt MAPOS). - Eidg. Amt für Umweltschutz/ EAWAG, Bern, 276 S.
- PORTMANN, A., 1921: Die Odonaten der Umgebung von Basel. - Dissertation, Universität Basel, 103 S., Basel
- POTEL, S., H.-P. GEISSEN & G. P. DOHMEN, 1998 : Erste Nachweise von *Barbronia weberi* (Blanchard 1897) (Hirudinea: Salifidae) im deutschen Rheingebiet. - Lauterbornia 33: 1-4, Dinkelscherben.
- RAJAGOPAL, S., G. VAN DER VELDE, B.G.P. PAFFEN, F.W.B. VAN DEN BRINK & A. BIJ DE VAATE, 1999: Life history and reproductive biology of the invasive amphipod *Corophium curvispinum* (Crustacea: Amphipoda) in the Lower Rhine. - Arch. Hydrobiol. 144 (3): 305-325, Stuttgart.
- RAJAGOPAL, S., G. VAN DER VELDE & A. BIJ DE VAATE, 2000: Reproductive biology of the Asiatic clams *Corbicula fluminalis* and *Corbicula fluminea* in the River Rhine. - Arch. Hydrobiol. 149 (3): S. 403-420, Stuttgart.
- REDER, G. & W. VOGEL, 2000: Wellenschlag als limitierender Faktor bei der Emergenz von Libellen? Beobachtungen beim Schlupf von *Gomphus flavipes* (CHARPENTIER) (Anisoptera: Gomphidae). - Fauna Flora Rheinland-Pfalz 9: Heft 2: 681-685, Landau
- REINHOLD, M. & TITTIZER, T., 1999: Verschleppung von Makrozoen durch Kühlwasserfilter eines Schiffes. Wasser & Boden 51, 61-66, Berlin.
- REISINGER, E., 1934: Die Süßwassermeduse *Craspedacusta sowerbyi* LANKESTER und ihr Vorkommen im Flußgebiet von Rhein und Maas. - Natur am Niederrhein 10: 33-43.
- REY, P., BEUTLER, R., SCHRÖDER, P., STIRNEMANN, P. & THEEG, R., 1992: Koordinierte biologische Untersuchungen im Hochrhein 1990, Teil I: Makroinvertebraten. - Schriftenreihe Umwelt , 190: 127 S., BUWAL Bern.
- REY, P., D. KÜRY, B. WEBER & J. ORTLEPP, 2000: Neozoen im Hochrhein und im südlichen Oberrhein. - Mitt. bad. Landesver. Naturkunde u. Naturschutz, N.E. 17 (3): 509-524, Freiburg i. Br.
- REY, P., ORTLEPP, J., 1997: Koordinierte biologische Untersuchungen im Hochrhein 1995; Makroinvertebraten. - Schriftenreihe Umwelt Nr. 283: 115 S., BUWAL Bern.
- REY, P., SCHRÖDER, P. & TOMKA, I., 1991: Limnologische Austauschprozesse zwischen dem Rhein und seinen Zuflüssen. - Mitteilungen des badischen Landesvereins für Naturkunde und Naturschutz, 15: 453-465, Freiburg i. Br.
- RIGGENBACH, E., 1927: Bodenfaunauntersuchungen in Staugebieten von Kraftwerken am Rhein und an der Aare. - Schweizerische Fischerei-Zeitung, 35: 193-202, Bern
- RIGGENBACH, E., 1928: Bodenfaunauntersuchungen in Staugebieten von Kraftwerken am Rhein und an der Aare. - Schweizerische Fischerei-Zeitung, 36: 241-249, Bern
- RIS, F., 1897: Neuropterologischer Sammelbericht 1894-96. B. Fragmente der Neuropteren-Fauna des Rheins. - Mittheilungen der schweizerischen entomologischen Gesellschaft, 910: 423-431

- ROTH, G., 1987: Zur Verbreitung und Biologie von *Potamopyrgus jenkinsi* (E.A.Smith, 1889) im Rhein-Einzugsgebiet (Prosobranchia: Hydrobiidae). - Arch. Hydrobiol., Supplement, 79: 49-68, Stuttgart
- ROTT, E. & WALSER, L., 1996: Bestandsaufnahmen und auswertende Beschreibung des Periphytons an 9 ausgewählten Querprofilen des Hochrheins im Rahmen des IKSR-Aktionsprogramms Rhein. Interner Bericht zHv LFU Bad.-Württ., 70 S.
- ROTT, E. & WALSER, L., 1996: Bestandsaufnahmen und auswertende Beschreibung des Periphytons im Hochrhein. Ergebnisbericht im Auftrag der LFU Bad.-Württ., 61 S.
- SCHIEL, F.-J. & M. RADEMACHER, 1999: Wiederfunde von *Gomphus flavipes* (CHARPENTIER) am Oberrhein in Baden-Württemberg (Anisoptera: Gomphidae). - Libellula 18 (3/4): 181-185.
- SCHLEUTER, A., H.-P. GEISSEN & K.J. WITTMANN, 1998: *Hemimysis anomala* G.O. SARS 1907 (Crustacea: Mysidacea), eine euryhaline pontokaspische Schwebgarnele in Rhein und Neckar. Erstnachweis für Deutschland. - Lauterbornia 32: 67-71, Dinkelscherben.
- SCHLEUTER, M. & A. SCHLEUTER, 1995: *Jaera istri* VEUILLE (Janaridae, Isopoda) aus der Donau erreicht über den Main-Donau-Kanal den Main. - Lauterbornia 19: 155-159.
- SCHMELZ, R. & SCHÖLL, F., 1992: Über die Oligochaetenfauna an der Stromsohle des Rheins. - Lauterbornia 12: 1-10, Dinkelscherben.
- SCHMID, G., 1997: "Malakologische Zuckungen" - Momentaufnahmen zur Molluskenfauna Baden-Württembergs. - Veröff. Natursch. u. Landschaftspflege Bad.-Württ., 71/72 (2): 719-858, Karlsruhe.
- SCHMITZ, W., 1960: Die Einbürgerung von *Gammarus tigrinus* SEXTON auf dem europäischen Kontinent. - Arch. hydrobiol. 57: 223-225.
- SCHÖLL, F., 1990: Zur Bestandssituation von *Corophium curvispinum* Sars im Rheingebiet. - Lauterbornia 5: 67-70. Dinkelscherben.
- SCHÖLL, F., 1992: Der Schlickkrebis (*Corophium curvispinum*) und die Augustfliege (*Ephoron virgo*): Zwei Arten mit rezenter Massenentwicklung im Rhein. - Die Biozönose des Rheins im Wandel, Lachs 2000? Petersberg: 89-93.
- SCHMITZ, W., 1993: Koordinierte biologische Untersuchungen im Hochrhein 1990, Teil III: Aufwuchs-Mikrophytenflora. - Schriftenreihe Umwelt, 196: , BUWAL Bern.
- SCHÖLL, F. (Red.), 1996: Das Makrozoobenthos des Rheins 1990-1995 - im Rahmen des Programms „Lachs 2000“. - Bericht der Arbeitsgruppe Ökologie der IKSR, Koblenz, 28 S. + Anhang.
- SCHÖLL, F., 1996: Das Makrozoobenthos des Rheins 1990-1995. - IKSR B 6/96, 27 S und Anhang. Koblenz.
- SCHÖLL, F., 1998) Faunistische Erhebungen (aquatische Makrofauna) im Rahmen der Beweissicherung Parallelwerk Walsum-Stapp (Rhein-km 793,0 - 795,5), 1. Zwischenbericht, Bestandsaufnahme Juni 1998. - BfG- Gutachten 1168.
- SCHÖLL, F., 1999: Faunistische Erhebungen (aquatische Makrofauna) im Rahmen der Beweissicherung der Nachregelung der Binger-Loch-Strecke (Rhein-km 528,8 - 531,5), Abschlußbericht, Bestandserhebungen 1995 - 1999 . - BfG-Gutachten 1238.
- SCHÖLL, F., 2000: Die Temperatur als verbreitungsregulierender Faktor von *Corbicula fluminea* (O.F. MÜLLER 1774). - Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 44: 318-321.
- SCHÖLL, F., 2001: Faunistische Erhebungen (aquatische Makrofauna) im Rahmen der Beweissicherung Parallelwerk Walsum-Stapp (Rhein-km 793,0 - 795,5), 2. Zwischenbericht, Bestandsaufnahme Juni 2000. - BfG- Gutachten 1168.
- SCHÖLL, F. & M. BANNING, 1996: Erstnachweis von *Jaera istri* (VEUILLE) (Janeridae, Isopoda) im Rhein. - Lauterbornia 25: 61-62, Dinkelscherben.

- SCHÖLL, F., C. BECKER & T. TITTIZER, 1995: Das Makrozoobenthos des schiffbaren Rheins von Basel bis Emmerich 1986-1995. – *Lauterbornia* 21: 115-138, Dinkelscherben.
- SCHÖLL, F. & E. BEHRING, 1998: Erstnachweis von *Dendrocoelum romanodanubiale* (Codreanu 1949) (Turbellaria, Tricladida) im Rhein. – *Lauterbornia* 33: 9-10, Dinkelscherben.
- SCHÖLL, F. & A. HAYBACH, 2000: Der Potamon-Typie-Index – ein indikatives Verfahren zur ökologischen Bewertung großer Fließgewässer. – *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 44 (1): 32-33.
- SCHÖLL, F. & A. HAYBACH, 2001: Bewertung von großen Fließgewässern mittels Potamon-Typie-Index (PTI) - Verfahrensbeschreibung und Anwendungsbeispiele. – *Mitteilungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde* 23, Koblenz.
- SCHRÖDER, P. & REY, P., 1991: Fliessgewässernetz Rhein und Einzugsgebiet - Milieu, Verbreitung und Austauschprozesse der Wirbellosenfauna zwischen Bodensee und Taubergiessen. - 231 S., Konstanz
- SISSEGGER, B. & SCHAEFFER, S., 1993: Zur Wiederbesiedlung renaturierter Uferzonen am Bodensee durch Benthosformen, aufgezeigt am Beispiel der Trichopteren (Köcherfliegen). - *Berichte der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg*, 7 (Jahresbericht 1992): 231-233, Karlsruhe.
- STEFFEN, G. F., 1939: Untersuchungen über Morphologie, Lebensweise und Verbreitung von *Atyaephyra desmaresti* MILLET (Dekapoda, Natantia, Atyidae). - Dissertation Fr.-Wilhelms-Universität, Berlin: 1-74.
- STÖSSEL, F., 1990: Schädigung und Erholung der Makroinvertebraten im schweizerischen Abschnitt des Rheins nach dem Brandunfall in Schweizerhalle 1. November 1986). - *Biologie des Rheins, Limnologie aktuell*, 1: 277-291, Stuttgart
- SONDERMANN, W., 1998: Mitteleuropäisches Vorkommen von *Oulimnius rivularis* (Rosenhauer 1856) am oberen Niederrhein bei Bonn (Coleoptera: Elmidae). – *Mitt. Arg. Gem. Rhein. Koleopterologen* 7 (3/4): 171-172, Bonn.
- STREIT, B., 1992: Zur Ökologie der Tierwelt im Rhein. - *Verh. naturf. Ges. Basel* 102: 323-242.
- STRESEMANN, HANNEMANN, KLAUSNITZER & SENGLAUB (eds.), 1992: Mollusca - Weichtiere. In: *Exkursionsfauna von Deutschland* 1: 141-320, Volk und Wissen, Berlin, 8. Aufl.
- TIEFENTHALER, A., 1997: Untersuchung der Dominanzverhältnisse und Populationsstruktur der gebietsfremden Amphipoden-Gattung *Dikerogammarus* im hessischen Main in Verbindung mit populationsgenetischen Untersuchungen des Gebietsfremden Amphipoden *Corophium curvispinum* (G. O. SARS 1895) im rhenanischen und danubi-schen Gewässersystem. - *Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz*, 255: 1-192. Hess. LfU, Wiesbaden.
- TITTIZER, T., 1996: Vorkommen und Ausbreitung aquatischer Neozoen (Makrozoobenthos) in den Bundeswasserstrassen. – In: Gebhard et al. (Hrsg.): *Gebietsfremde Tierarten – Auswirkungen auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften und Biotope*, Situationsanalyse. 49-86.
- TITTIZER, T., 1997: Ausbreitung aquatischer Neozoen (Makrozoobenthos) in den europäischen Wasserstrassen, erläutert am Beispiel des Main-Donau-Kanals. – *Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft*, Band 4, 113-134. Wien.
- TITTIZER, T. 1997: Existenzkampf oder friedliche Koexistenz – wie berechtigt ist unsere Angst vor Neozoen? – *BfG-Jahresbericht 1997*, S. 72-75, Koblenz.
- TITTIZER, T. & KREBS, F., 1996: *Ökosystemforschung. Der Rhein und seine Auen - eine Bilanz*. - Springer, Berlin, Heidelberg, 468 S.
- TITTIZER, T., F. SCHÖLL, M. BANNING, A. HAYBACH & M. SCHLEUTER, 2000: Aquatische Neozoen im Makrozoobenthos der Binnenwasserstraßen Deutschlands. – *Lauterbornia* 39: 1-17, Dinkelscherben.
- TITTIZER, T., SCHÖLL, F., DOMMERMUTH, M., BAETHE, J. & ZIMMER, M. 1990: Zur Bestandsentwicklung des Zoobenthos des Rheins im Verlauf der letzten neun Jahrzehnte. - *Wasser und Abwasser* 35: 125-166, Wien.

- TITTIZER, T., SCHÖLL, F. & SCHLEUTER, M., 1990: Beitrag zur Struktur und Entwicklungsdynamik der Benthofauna des Rheins von Basel bis Düsseldorf in den Jahren 1986 und 1987 - Biologie des Rheins, Limnologie aktuell, 1: 293-323, Stuttgart
- WESTERMANN, K. & S. WESTERMANN, 1996: Neufunde der Gelben Keiljungfer (*Gomphus simillimus*) und der Grünen Keiljungfer (*Ophiogomphus cecilia*) am Oberrhein bei Basel. – Naturschutz südl. Oberrhein 1: 183-186.
- WESTERMANN, F., 1997: Bemerkenswerte Funde potamobionter Elmidae und Ephemeroptera in Rheinland-Pfalz. – Lauterbornia 31: 67-72, Dinkelscherben.
- WILSON, R. & WILSON, S., 1985: A survey of the distribution of Chironomidae of the Rhine by sampling pupal exuviae. - Hydrobiological Bulletin, 18: 119-132
- WINKLER, J., 1990: Bestandsentwicklung der Köcherfliege *Hydropsyche contubernalis* nach dem Unfall bei Schweizerhalle im November 1986. - Limnologie aktuell 1: 362-368.
- WINTERHOLLER, M. & H. LEINSINGER, 1999: *Gomphus flavipes* (CHARPENTIER) bodenständig am Oberrhein in Hessen und Rheinland-Pfalz (Anisoptera: Gomphidae). – Libellula 18 (3/4): 209-211.
- WITTMANN, K., 1995: Zur Einwanderung potamophiler Malacostraca in die obere Donau: *Limnomysis benedeni* (Mysidacea), *Corophium curvispinum* (Amphipoda) und *Atyaephyra desmaresti* (Decapoda). - Lauterbornia 20: 77-85, Dinkelscherben.
- ZSCHOKKE, F. & STEINMANN, P., 1911: Die Tierwelt der Umgebung von Basel. - 96 S., Basel

Bestimmungsliteratur:

allgemein:

- BERTRAND, H., 1954: Les Insectes aquatiques d'Europe. - Encyclopédie Entomologique, Lechevalier, Paris, 2 Vol.
- HANNEMANN, H.-J., KLAUSNITZER, B. & SENGLAUB, K. (Hrsg.), 1992: Exkursionsfauna von Deutschland, Band 1, Wirbellose (ohne Insekten). - Volk und Wissen, Berlin, 8. Aufl.
- HANNEMANN, H.-J., KLAUSNITZER, B. & SENGLAUB, K. (Hrsg.), 1989: Exkursionsfauna von Deutschland, Band 2,1 Wirbellose, Insekten -1. Teil. - Volk und Wissen, Berlin, 8. Aufl.
- HANNEMANN, H.-J., KLAUSNITZER, B. & SENGLAUB, K. (Hrsg.), 1990: Exkursionsfauna von Deutschland, Band 2,2 Wirbellose, Insekten -2. Teil. - Volk und Wissen, Berlin, 7. Aufl.
- NAGEL, P., 1989: Bildbestimmungsschlüssel der Saprobien. Makrozoobenthon. - G. Fischer, Stuttgart
- SCHMEDITJE, U. & KOHMANN, F., 1992: Bestimmungsschlüssel für die Saprobier-DIN-Arten (Makroorganismen). - Bayer. Landesamt Wasserwirtschaft: Informationsberichte Heft 2/88, 2. Aufl.
- TACHET, H., BOURNAUD, M. & RICHOUX, P. (eds.), 1984: Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux douces. - ed.: Université Claude Bernard, Lyon I, Ass. Française de Limnologie, 2e ed.

Porifera:

- ARNDT, W., 1928: Porifera, Schwämme, Spongien. - in Dahl, F. (ed.): Die Tierwelt Deutschlands und der angrenzenden Meeresteile, 4, G. Fischer, Jena.

Plathelminthes: Turbellaria - Tricladida:

- BALL, I.R. & REYNOLDS, T.B., 1981: British Planarians. Plathelminthes: Tricladida. - Synopses of the British Fauna, N. S. 19, Cambridge Univ. Press.
- HOFFMANN, J.A., 1963: Faune des Triclades paludicoles du Grand-Duché de Luxembourg. - Arch. Inst. G. D. Luxembourg, Sect. Sci. nat. phys. math. N. S. 30: 181-261.

PATTÉE, E. & GOURBAULT, N., 1981: Turbellariés tricladides paludicoles. - Bull. mens. Soc. Linn. Lyon, 50, 9:279-304.

REYNOLDS, T.B., 1978: A key to the British species of freshwater Triclad (Turbellaria, Paludicola). - Freshwater Biological Association, Sci. Publ. 23, 2nd ed., Ambleside

Mollusca:

ALF, A., 1992: Ein bemerkenswerter Fundort von *Corbicula fluminalis* MÜLLER 1774 im Rhein mit Anmerkungen zur Ökologie und zu weiteren Vorkommen der Art in Baden-Württemberg. - Lauterbornia, 9: 65-72, Dinkelscherben.

FECHTER, R. & FALKNER, G., 1990: Weichtiere. - Steinbachs Naturführer, München.

GLOER, P. & MEIER-BROOK, C., 1994: Süßwassermollusken. - DJN, Hamburg 11. Aufl.

KINZELBACH, R., 1991: Die Körbchenmuschel *Corbicula fluminalis*, *Corbicula fluminea* und *Corbicula fluviatilis* in Europa (Bivalvia: Corbiculidae). - Mainzer naturwissenschaftliches Archiv, 29: 215-228, Mainz.

MACAN, T.T., 1977: A key to the British fresh- and brackishwater Gastropods. - Freshwater Biological Association, Sci. Publ. 13, 4th ed., Ambleside.

Oligochaeta:

BRINKHURST, R.O., 1971: A guide for the identification of British aquatic Oligochaeta. - Freshwater Biological Association, Sci. Publ. 22, 2nd ed., Ambleside

SAUTER, G., 1995: Bestimmungsschlüssel für die in Deutschland verbreiteten Arten der Familie Tubificidae mit besonderer Berücksichtigung von nicht geschlechtsreifen Tieren. - Lauterbornia, 23: 1-52, Dinkelscherben.

UDE, H., 1929: Würmer oder Vermes, I. Oligochaeta. - in Dahl, F. (ed.): Die Tierwelt Deutschlands und der angrenzenden Meeresteile 15, G. Fischer, Jena

Hirudinea:

AUTRUM, H. 1958: Hirudinea. - in Brohmer, Ehrmann, Ulmer (Hrsg.): Die Tierwelt Mitteleuropas. I, 7b, Leipzig.

ELLIOTT, J. M. & MANN, K.H., 1979: A key to the British freshwater leeches. - Freshwater Biological Association, Sci. Publ. 40, 3rd ed., Ambleside.

NESEMANN, H., 1993: Bestimmungsschlüssel für mitteleuropäische Egel der Familie Erpobdellidae Blanchard 1894 (Hirudinea). - Lauterbornia 13: 37-60, Dinkelscherben

Crustacea:

GLEDHILL, T., SUTTCLIFF, D.W. & WILLIAMS, W.D., 1993: British freshwater Crustacea Malacostraca. - Freshwater Biological Association, Sci. Publ. 52, Ambleside.

GRUNER, H. 1965, 1966: Krebstiere oder Crustacea. V. Isopoda. - in Dahl, Peus (eds.): Die Tierwelt Deutschlands und der angrenzenden Meeresteile, 51. u. 53., G. Fischer, Jena.

SHELLENBERG, A., 1942: Krebstiere oder Crustacea. IV. Flohkrebse oder Amphipoda. - in DAHL, BISCHOFF (eds.): Die Tierwelt Deutschlands und der angrenzenden Meeresteile, 40., G. Fischer, Jena.

Ephemeroptera:

BAUERNFEIND, E., 1994/95: Bestimmungsschlüssel für die österreichischen Eintagsfliegen. - Wasser und Abwasser, Supplementband 4/94, 2 Vol., Wien.

ELLIOTT, J.M., HUMPECH, U.H. & MACAN, T.T., 1988: Larvae of the British Ephemeroptera. - Freshwater Biological Association, Sci. Publ. 49, Ambleside.

MÜLLER-LIEBENAU, I., 1969: Revision der europäischen Arten der Gattung *Baetis* LEACH 1815 (Insecta, Ephemeroptera). - Gewässert und Abwässer 48/49, Krefeld

MALZACHER, P., 1984: Die europäischen Arten der Gattung *Caenis* Stephens (Insecta: Ephemeroptera). - Stuttgarter Beitr. Naturk., Ser. A, Nr. 373, Stuttgart.

STUEDEMANN, D., LANDOLT, P., SARTORI, M., HEFTI, D. & TOMKA, I., 1992: Ephemeroptera. - Insecta Helvetica, Fauna 9, Genève.

Plecoptera:

AUBERT, J., 1959: Plecoptera. - Insecta Helvetica, Fauna 1, Lausanne.

ILLIES, J., 1952: Die europäischen Arten der Plecopterengattung *Isoperla* Banks (= *Chloroperla* Pictet). - Beitr. Ent. 2, 4/5: 369-424, Berlin.

Neuroptera, Megaloptera:

ELLIOTT, J.M., 1996: British freshwater Megaloptera and Neuroptera. - Freshwater Biological Association, Sci. Publ. 54, Ambleside.

KAISER, E.W., 1977: Eggs and larvae of six *Sialis*-species from Scandinavia and Finland (Megaloptera, Sialidae). - Flora Fauna, 83:65-79, Arhus.

WEISSMAIR, W. & WARINGER, J., 1994: Identification of the larvae and pupae of *Sisyra fuscata* (FABRICIUS 1793) and *Sisyra terminalis* CURTIS 1854 (Insecta: Plannipennia: Sisyridae), based on Austrian material. - Aquatic Insects 16: 147-155.

Heteroptera:

SAVAGE, A.A., 1989: Adults of the British aquatic Hemiptera Heteroptera. - Freshwater Biological Association, Sci. Publ. 50, Ambleside

Coleoptera:

BERTHELEMY, C. & STRAGIOTTI, B., 1965: Étude taxonomique de quelques larves de *Limnius* et de *Riolus* s.l. européens (Coléoptères Elminthidae). - Hydrobiologia 25: 501-517.

JÄCH, M., 19 ??: 42.a Familie: Elmidae. - in Lohse, Lucht (eds.): Die Käfer Mitteleuropas, 2. Suppl. Bd.: 69-82, Krefeld.

HOLLAND, D.G., 1972: A key to the larvae, pupae and adults of the British species of Elminthidae. - Freshwater Biological Association, Sci. Publ. 26, Ambleside.

KLAUSNITZER, B., 1977: Bestimmungstabelle für die Gattungen der aquatischen Coleopteren-Larven Mitteleuropas. - Beitr. Ent., 27: 145-192, Berlin.

KLAUSNITZER, B., 1984: Käfer im und am Wasser. - Neue Brehm-Bücherei 567, Wittenberg.

KLAUSNITZER, B. (ed.), 1991: Die Larven der Käfer Mitteleuropas. 1. Band Adephaga. - Goecke & Evers, Krefeld.

KLAUSNITZER, B. (ed.), 1994: Die Larven der Käfer Mitteleuropas. 2. Band Myxophaga, Polyphaga 1. Teil. - Goecke & Evers, Krefeld.

SCHAEFLEIN, H., 1971: 4. Familie: Dytiscidae, echte Schwimmkäfer. - in FREUDE, HARDE, LOHSE (eds.): Die Käfer Mitteleuropas, Bd.3: 16-89, Krefeld.

STEFFAN, A.W., 1979: 42. Familie: Dryopidae. - in Freude, Harde, Lohse (eds.): Die Käfer Mitteleuropas, Bd.6: 265-294, Krefeld.

Trichoptera:

BOURNAUD, M., TACHET, H. & PERRIN, J.F., 1982: Les Hydropsychidae (Trichoptera) du Haut-Rhone entre Genève et Lyon. - Ann. Limnol. 18: 61-80.

BUHOLZER, H., 1978: Larvenmorphologie und Verbreitung der schweizerischen Rhyacophila-Arten (Trichoptera, Rhyacophilidae). - Dissertation Nr. 6177, ETH Zürich.

EDINGTON, J.M. & HILDREW, A.G., 1995: Caseless caddis larvae of the British Isles. - Freshwater Biological Association, Sci. Publ. 53, Ambleside.

PITSCH, T., 1993: Zur Larvaltaxonomie, Faunistik und Ökologie mitteleuropäischer Fließwasser-Köcherfliegen (Insecta: Trichoptera). - Landschaftsentwicklung und Umweltforschung, Sonderheft S8, TU Berlin.

SEDLAK, E. & WARINGER, J., 1985: Bestimmungsschlüssel für mitteleuropäische Köcherfliegenlarven (Insecta, Trichoptera). - Wasser und Abwasser, 29, 2. Aufl., Wien.

Wallace, I.D., Wallace, B. & Philipson, G.N., 1990: A key to the case-bearing caddis larvae of Britain and Ireland. - Freshwater Biological Association, Sci. Publ. 51, Ambleside.

Diptera allgemein:

RIVISECCHI, L., 1984: Ditteri (Diptera). - Consiglio nazionale delle ricerche (ed.): Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane 28.

Diptera: Simuliidae:

DAVIES, L., 1966: The taxonomy of British black-flies (Diptera: Simuliidae). - Trans. R. Ent. Soc., London 118: 413-511.

DAVIES, L., 1968: A key to the British species of Simuliidae (Diptera). - Freshwater Biological Association, Sci. Pub. 24, Ambleside.

JENSEN, F., 1984: A revision of the taxonomy and distribution of the Danish black-flies (Diptera: Simuliidae), with keys to the larval and pupal stages. - Natura Jutlandica 21: 69-116.

RIVISECCHI, L., 1978: Simuliidi (Diptera Simuliidae). - Consiglio nazionale delle ricerche (ed.): Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane 3.

KNOZ, J., 1965: To the identification of Czechoslovakian black-flies (Diptera, Simuliidae). - Folia Fac. Sci. Nat. Univ. Purkynianae Brunensis 6, 5, Brno.

Diptera: Chironomidae:

BIRO, K., 1988: Kleiner Bestimmungsschlüssel für Zuckmückenlarven (Diptera: Chironomidae). - Wasser und Abwasser, Suppl. 1/88, Wien.

MOLLER PILLOT, H.K.M., 1984: De larven der Nederlandse Chironomidae (Diptera). 1A & 1B. - Nederlandse Faunistische Mededelingen 1A & 1B, Leiden.

SCHMID, P.E., 1993: A key to the larval Chironomidae and their instars from Austrian Danube region streams and rivers. Part I. Diamesinae, Prodiamesinae and Orthocladiinae. - Wasser und Abwasser, Suppl. 3/93, Wien.

WIEDERHOLM, T. (ed.), 1983: Chironomidae of the Holarctic region. Larvae. - Ent. scand. Suppl. 19, Lund.

Verdankung

Unseren Dank aussprechen möchten wir dem hilfsbereiten Personal der Hochrheinkraftwerke, das für ein reibungsloses Übersetzen unseres Forschungsweidling an den Kraftwerkstufen sorgte und den Mitarbeitern aller kantonalen Gewässerschutzfachstellen, die ergänzende Daten zur Charakterisierung der untersuchten Hochrheinabschnitte lieferten. Unser besonderer Dank gilt Prof. Thomas Tittizer und Dr. Franz Schöll von der Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz (BRD), die uns bei der Bearbeitung des Themas "Neozoen" mit ihrer Fachkenntnis und Erfahrung zur Seite standen.

Anhang

A 1	Liste der Probestellen	83
A 2	Makroinvertebratenbesiedlung und Häufigkeitsklassen	86
A 3	Verbreitung ausgewählter Arten im 1-km-Raster	96
A 4	Ergebnisse der chemischen Wasseranalysen Hochrhein 2000	98

Flussabschnitt	laufende Nr.	Rhein-km (ca. - Angabe)	Gemeinde	Lage	Kanton Land	Lage im Profil	R-Wert (Ost)	H-Wert (N)	Teilproben (n)	Flächenbezug (j/n)
Abschnitt A	1	23,00	Eschenz	Untereschenz: Halbinsel ob. Werd	TG/CH	li	707 470	279 200	3	n
	2	24,75	Wagenhausen	Wagenhausen: ob. ehem. Probstei	TG/CH	li	705 920	279 920	2	n
	3	27,00	Rheinklingen	Rihalden: Steilhang mit Treppe	TG/CH	li	704 000	281 430	2	n
	4	27,70	HEMISHOFEN	Schwimmbad	TG/CH	re	704 350	281 400	1	j
	5	27,70	HEMISHOFEN	Flussmitte	TG/CH	mi	704 350	281 400	3	j
	6	27,70	HEMISHOFEN	gegenüber Schwimmbad	TG/CH	li	704 350	281 400	1	j
	7	29,30	Rheinklingen	Rheinklingen: Badestelle	TG/CH	li	702 980	281 490	2	n
	8	31,35	Diessenhofen	Diessenhofen: Schupfi	TG/CH	li	701 040	281 490	3	n
	9	32,10	Diessenhofen	Diessenhofen: Bleichi (uh. Camping)	TG/CH	li	700 400	281 850	1	n
	10	35,75	Willisdorf	St. Katharinal: Badestelle	TG/CH	li	697 200	283 220	3	n
	11	35,75	Willisdorf	St. Katharinal: Badestelle	TG/CH	li	697 200	283 220	1	n
	12	38,63	Unterschlatt	Bruggenchopf	TG/CH	li	694 450	283 250	2	n
	13	41,08	Unterschlatt	Paradies: Auwies: Bootsliegendeplätze	TG/CH	li	692 600	282 250	3	n
	14	42,60	Feuerthalen	Feuerthalen: Bootsliegendeplätze uh. Werft	ZH/CH	li	691 150	282 800	2	n
Abschnitt B	15	47,80	Laufen-Uhwiesen	ob. Schloss Laufen (Halbinsel)	ZH/CH	li	688 500	281 170	3	n
	16	48,90	Laufen-Uhwiesen	ob. Brücke Nohl	ZH/CH	li	687 960	280 680	3	n
	17	50,35	Dachsen	Schwimmbad Dachsen	ZH/CH	li	688 450	279 660	3	n
	18	50,90	Dachsen	Fischerhütte Dachsen	ZH/CH	li	688 900	279 300	2	n
	19	50,90	Dachsen	Fischerhütte Dachsen	ZH/CH	li	688 900	279 300	3	n
	20	54,54	Rheinau	Hütte ob. Bootsanleger oh. EW Rheinau	ZH/CH	li	687 570	276 960	3	n
	21	56,00	Rheinau	uh. Klosterinsel Rheinau	ZH/CH	li	688 250	278 000	2	n
	22	56,30	RHEINAU	oberes Ende Wanderweg	BW&ZH	re	688 150	278 375	1	j
	23	56,30	RHEINAU	Flussmitte	BW&ZH	mi	688 150	278 375	3	j
	24	57,30	RHEINAU	oh. oberes Hilfswehr	BW&ZH	li	688 150	278 375	1	j
	25	58,20	Jestetten	Jestetten ob. Volkenbachmündung	BW/D	re	687 150	277 800	2	n
	26	60,20	Rheinau	Neurheinau: Rüedifar: EKW-Strasse	ZH/CH	li	687 160	275 950	3	n
	27	60,60	Rheinau-Ellikon	zw. Rheinau-Ellikon	ZH/CH	li			8	n
	28	62,80	Lottstetten	Lottstetten: Badeplatz gg. Ellikon	BW/D	re	687 120	273 650	2	n
	29	63,80	(Ellikon)	Pegelhäuschen uh. Ellikon	ZH/CH	li	687 030	272 670	3	n
	30	63,80	(Ellikon)	Pegelhäuschen uh. Ellikon	ZH/CH	li	687 030	272 670	1	n
	31	64,00	ELLIKON	Rechtskurve oh. Thurmmündung	ZH/CH	re	684 075	267 475	1	j
	32	64,00	ELLIKON	Flussmitte	ZH/CH	mi	684 075	267 475	3	j
	33	64,00	ELLIKON	Rechtskurve oh. Thurmmündung	ZH/CH	li	684 075	267 475	1	j
		64,20	Ellikon	oh. Thurmmündung	ZH/CH	li	686 900	272 150	2	n
	34	66,15	Flaach	Rihof	ZH/CH	li	685 730	271 000	1	n
	35	67,75	Berg am Irchel	Joslrain	ZH/CH	li	685 270	269 760	3	n
	36	70,30	Freienstein	Tössegg: Fischerhütte	ZH/CH	li	684 300	267 420	3	n
	37	70,50	TÖSSEGG	gegenüber Schiffsanleger	ZH/CH	re	684 075	267 475	1	j
	38	70,50	TÖSSEGG	Flussmitte	ZH/CH	mi	684 075	267 475	3	j
	39	70,50	TÖSSEGG	Schiffsanleger, oh. Tössmündung	ZH/CH	li	684 075	267 475	1	j
	40	72,40	Eglisau	Tössriederen: Bootsanlegestelle	ZH/CH	li	683 200	269 090	3	n
	41	77,10	Glattfelden	Glattfelden: Neuhus	ZH/CH	li	679 180	270 290	3	n
	42	79,38	Glattfelden/ Weiach	Zweidlen: uh. Pontonanlage	ZH/CH	li	677 180	269 480	3	n
	43	82,50	Kaiserstuhl	Kaiserstuhl: am Bad	AG/CH	li	674 100	269 060	3	n
	44	85,20	Fisibach	uh. Burg Schwarzwasserstelz (Parkplatz)	AG/CH	li	671 900	269 860	3	n
	45	89,54	Mellikon	Meienried (ob. Wehr Reckingen)	AG/CH	li	668 240	269 210	3	n
	46	91,00	Reckingen	ob. Chrüzlibach-Mündung	AG/CH	li	666 800	269 300	3	n
	47	95,00	Rheinheim	Bereich ARA u. Rheininsel	BW/D	re	664 620	271 640	3	n
	48	97,00	Kadelburg	Bereich Fähre	BW/D	re	664 355	273 435	3	n
	49	97,00	Rietheim	gegenüber Kadelburg	AG/CH	li	664 370	273 305	3	n
	50	98,20	RIETHEIM	gegenüber Insel Alt Rhi	AG/CH	re	662 550	273 600	1	j
	51	98,20	RIETHEIM	Flussmitte	AG/CH	mi	662 550	273 600	3	j
	52	98,20	RIETHEIM	Hohe Wnderparkplatz, Rohr	AG/CH	li	662 550	273 600	1	j
	53	99,10	Koblenz	Koblenzer Lauffen	AG/CH	li	661 770	274 000	3	n
	54	99,10	Koblenz	Koblenzer Lauffen	AG/CH	li	661 770	274 000	1	n
	55	101,30	Koblenz	Koblenz	AG/CH	li	660 000	273 540	1	n
	56	102,00	Waldshut	Schmittenu	BW/D	re	659 250	273 250	1	n
	57	102,00	Waldshut	Schmittenu: Insel-Zoll	BW/D	re	659 300	273 350	3	n
	58	102,20	Waldshut	Schmittenu	BW/D	re	659 250	273 250	2	n
	59	102,40	WALDSHUT	Schmittenu	BW/D	re	659 050	273 200	1	j
	60	102,40	WALDSHUT	Rheinseite oh. Aaremündung	BW/D	mi	659 050	273 200	1	j
61	102,40	FELSENAU	uh. Rheininsel, oh. Aare	AG/CH	mi	659 050	273 200	1	j	

Tab. A 1: Liste der Probestellen im Rahmen der Untersuchungen des Jahrs 2000

Flussabschnitt	laufende Nr.	Rhein-km (ca. - Angabe)	Gemeinde	Lage	Kanton Land	Lage im Profil	R-Wert (Ost)	H-Wert (N)	Teilproben (n)	Flächenbezug (j/n)
	62	102,50	FELSENAU	Flussmitte uh Aaremündung	AG/CH	mi	659 050	273 200	1	j
	63	102,50	FELSENAU	revital. Bereich uh. Aarebrücke	AG/CH	li	659 050	273 200	1	j
	64	102,80	Waldhut	Bereich Schwimmbad CP	BW/D	re	658 975	274 125	3	n
	65	102,40	Waldshut	Schmittenau	BW/D	re	659 230	273 140	3	n
	66	104,94	Full-Reuenthal	Full: Chloster (Bad)	AG/CH	li	657 800	274 660	3	n
	67	109,40	Leibstadt	Bernau: Restwasser bei Inselfspitz	AG/CH	li	654 860	271 800	3	n
	68	112,50	Albbruck	Albbruck: Insel (Sportplatz): Restwasser	BW/D	mi	652 520	271 000	3	n
	69	113,75	Etzgen	Etzgen: Pontoniersverein	AG/CH	li	651 650	270 430	3	n
	70	118,35	Sulz	Rheinsulz: ob. Sulzerbach-Mündung	AG/CH	li	648 940	267 550	3	n
	71	120,20	Laufenburg	Laufenburg: Sennhof	AG/CH	li	647 300	268 300	3	n
	72	123,10	Kaisten	Kaisten: Bach-Mündung (ob. ARA)	AG/CH	li	644 950	266 970	3	n
	73	125,05	Murg	Murg: ob. ARA	BW/D	re	643 060	267 180	3	n
	74	126,50	SISSELN	gegenüber Pontonierverein	AG/CH	re	641 750	267 350	1	j
	75	126,50	SISSELN	Flussmitte	AG/CH	mi	641 750	267 350	3	j
	76	126,50	SISSELN	Pontonierverein	AG/CH	li	641 750	267 350	1	j
	77	127,30	Sisseln	Sisseln ob. Sissle-Mündung (ARA)	AG/CH	li	640 950	267 200	3	n
	78	128,44	Bad Säckingen	Obersäckingen: Anleger	BW/D	re	639 820	267 520	3	n
	79	129,70	Stein	Stein: uh. KW Säckingen, ob. Holzbrücke	AG/CH	li	638 900	267 360	2	n
	80	129,70	Stein	Stein: uh. KW Säckingen, ob. Holzbrücke	AG/CH	li	638 900	267 360	3	n
	81	130,10	Stein	Stein: uh. KW Säckingen, ob. Holzbrücke	AG/CH	li	638 750	267 080	3	n
	82	130,10	Stein	Stein: uh. KW Säckingen, ob. Holzbrücke	AG/CH	li	638 750	267 080	3	n
	83	130,40	Stein	bei Holzbrücke	AG/CH	li			3	n
	84	130,60	Bad Säckingen	Gewässergüte-Probestelle LfU BW	BW/D	re			3	n
	85	132,35	Mumpf	Mumpf ob. Camping (Buhnen)	AG/CH	li	637 030	266 300	1	n
	86	132,60	Mumpf	Mumpf ob. Camping	AG/CH	li	636 840	266 280	3	n
	87	133,50	Mumpf-Wallbach	Wallbach	AG/CH	li	635 260	269 295	3	n
	88	136,35	Mumpf-Wallbach	ARA Wallbach	AG/CH	li	635 340	269 130	2	n
	90	137,40	Mumpf-Wallbach	ARA Wallbach - Röm. warte/Riburg	AG/CH	li			3	n
	89	137,50	Öfingen Brennet	Bereich Wehra-Mündung	BW/D	re	634 990	270 235	3	n
	91	138,87	Möhlin	gg. Schloss Schwörstadt	AG/CH	li	633 900	270 820	5	n
	92	139,40	Möhlin	Bootssteg gg. Schloss Schwörstadt	AG/CH	li	633 740	270 860	3	n
	93	139,80	Möhlin	Naturreservat		li			8	n
	94	139,94	Möhlin	Rappertshüseren	AG/CH	li	632 920	270 830	3	n
	95	142,70	Möhlin	WFVR Hütte bei Bürgli	AG/CH	li	630 250	270 080	2	n
	96	142,70	Möhlin	WFVR Hütte bei Bürgli	AG/CH	li	630 250	270 080	3	n
	97	143,00	Möhlin	Möhlinbach-Mdg. - Wehr Riburg	AG/CH	li			3	n
	98	143,50	Möhlin	KW-Riburg-Schwörstadt	AG/CH	li			3	n
	99	143,60	Rheinfelden	Fischwaagen uh. Wehr					3	n
	100	143,90	Rheinfelden	uh Wehr Riburg-Schwörstadt	AG/CH	li	629 500	270 670	3	n
	101	143,95	Rheinfelden	uh Wehr Riburg-Schwörstadt	AG/CH	li	629 300	270 720	2	n
	102	146,14	Rheinfelden	Rheinfelden (Pfarichgraben)	AG/CH	li	628 330	269 590	2	n
	103	146,68	Rheinfelden	Rheinfelden ob. Wehr	AG/CH	li	628 280	268 980	3	n
	104	146,72	Rheinfelden	Rheinfelden ob. Wehr	BW/D	re	627 980	269 090	3	n
	105	146,80	Rheinfelden	Wehr KW Rheinfelden	BW/D	re			1	n
	106	147,00	Rheinfelden	Gewild	AG/CH	li			3	n
	107	147,60	Rheinfelden	Rheinfelden ob. Fussgängerbrücke	AG/CH	li	627 640	268 310	2	n
	108	147,70	Rheinfelden	uh. Fussgängerbrücke (E-Werk)		li			3	n
	109	148,00	Rheinfelden	Rheinfelden Ruinen uh. Wehr	AG/CH	li			3	n
	110	148,67	Rheinfelden	Uferweg	BW/D	re	626 860	267 550	3	n
	111	148,78	Rheinfelden	Magdener Bach-Mündung	AG/CH	li	626 850	267 360	3	n
	112	149,00	Rheinfelden	oh. Strassenbrücke	BW/D	re			3	n
	113	149,22	Rheinfelden	Strassenbrücke	AG/CH	li			3	n
	114	149,33	Rheinfelden	Insel Burg Stein /Rheinfelden	AG/CH	mi	626 375	267 105	8	n

Tab. A 1: Liste der Probestellen im Rahmen der Untersuchungen des Jahrs 2000

Flussabschnitt	laufende Nr.	Rhein-km (ca. - Angabe)	Gemeinde	Lage	Kanton Land	Lage im Profil	R-Wert (Ost)	H-Wert (N)	Teilproben (n)	Flächenbezug (j/n)
Abschnitt D	115	150,00	Rheinfelden	Bereich Hafen	BW/D	re			1	n
	116	150,42	Rheinfelden	Strandbad	AG/CH	li			3	n
	117	150,83	Rheinfelden	ARA	AG/CH	li			3	n
	118	150,87	Rheinfelden	BW/D					3	n
	119	150,92	Rheinfelden	Warmbach-Mündung	BW/D		624 700	266 820	3	n
	120	152,25	Rheinfelden	Kläranlage	BW/D				3	n
	121	152,32	Rheinfelden	Rheinfelden / Kaiseraugst	AG/CH		623 700	266 000	3	n
	122	153,33	Rheinfelden	Mattenbach-Mündung, Badeplatz	BW/D		622 540	266 000	3	n
	123	153,37	Rheinf.-Herten	Herten: Badeplatz	BW/D	re	622 570	266 000	3	n
	124	154,44	Rheinf.-Herten	am Fähranleger Herten-Kaiseraugst	BW/D	re	621 500	265 850	3	n
	125	155,20	Grenzach-Wyhlen	Bucht bei Whylen (Naturschutzgebiet)	BW/D	re	620 660	266 000	3	n
	126	155,30	Kaiseraugst	Rhein oberh. Ergolz-mündung	AG/CH	li	620,8	265,45	1	n
	127	155,35	Augst/Kaiseraugst	Rhein Schleuse KW Augst / Whylen	AG/CH	li	620,5	265,2	1	n
	128	155,40	Augst/Kaiseraugst	Ergolz-Mündung	AG/CH	li			3	n
	129	155,50	Augst/BL	Rhein uh. Ergolz-mündung	BL/CH	li	619,75	264,8	7	n
	130	155,90	Augst/BL	Kraftwerk Augst-Wyhlen	BL/CH	li			3	n
	131	156,00	Augst/BL	Rhein unterh. Ergolz-mündung	BL/CH	li	619,5	264,7	3	n
	132	156,70	Augst/BL	Rhein unterh. Ergolz-mündung	BL/CH	li	619,45	264,6	3	n
	133	158,00	Schweizerhalle	gegenüber Solebad	AG/CH	li			8	n
	134	158,40	PRATTELN	Solebad Schweizerhalle	AG/CH	re	618 575	264 650	1	j
	135	158,40	PRATTELN	Flussmitte	AG/CH	mi	618 575	264 650	3	j
	136	158,40	PRATTELN	Solebad Schweizerhalle	AG/CH	li	618 575	264 650	1	j
	137	158,70	Grenzach-Whylen	Rhein, Rothaus	BW/D	re	617,5	264,8	5	n
	138	159,50	Grenzach-Whylen	Rhein Schanz	BW/D	re	617,2	165,3	3	n
	139	159,50	Muttenz	Flussmitte Stelle 1	BW & BL	mi	617,12	265,08	3	j
	140	159,50	Muttenz	Flussmitte Stelle 3	BW & BL	mi	617,12	265,08	3	j
	141	159,50	Muttenz	Flussmitte Stelle 4	BW & BL	mi	617,12	265,08	3	j
	142	159,50	Muttenz	Flussmitte Stelle 5	BW & BL	mi	617,12	265,08	3	j
	143	159,50	Muttenz	Flussmitte Stelle 2 (Profil)	BW & BL	mi	617,12	265,08	3	j
	144	159,50	Grenzach-Whylen	Rhein, Grenzach-Whylen	BW/D	re	617	265,6	3	n
	145	162,00	Basel	gegenüber Birmündung	BS/CH	re	ab 615 075	267 745	20	n
	146	163,70	Basel	KW Birsfelden Fischtreppe	BS/CH	re	614 015	267 890	1	n
	147	165,00	Basel	Rhein, Solitude, km 165,0	BS/CH	re	613,05	267,55	3	n
148	165,50	Basel	Rhein/Rheinbad Breite	BS/CH	re	612,95	267,3	3	n	
149	165,60	Basel	Rhein / Breite Badeanstalt	BS/CH	re	612,9	267,3	1	n	
150	166,00	Basel	Schwarzwald- und Wettsteinbrücke	BS/CH	re	ab 612,5	267,3	19	n	
151	166,50	Basel	Wettsteinbrücke u. mittl. Rheinbrücke	BS/CH	re	611 700	267 530	8	n	
152	166,50	Basel	Münsterfähre bis mittl. Rheinbrücke	BS/CH	li	611 365	267 595	10	n	
153	167,80	BASEL	oberhalb Fähre Dreirosenbrücke	BS/CH	re	611 125	268 780	1	j	
154	167,80	BASEL	Flussmitte	BS/CH	mi	611 120	268 735	3	j	
155	167,80	BASEL	oberhalb Fähre Dreirosenbrücke	BS/CH	li	610 895	268 685	1	j	

454

Tab. A 1: Liste der Probestellen im Rahmen der Untersuchungen des Jahrs 2000

Abschnitt	→		B				C		D	
	A									
	Hemishofen	Rheinau	Ellikon	Tössegg	Rietheim	Waldshut	Sisseln	Pratteln	Basel	
Referenzorte	→									
Taxon	Rhein-km									
	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z
PORIFERA										
Porifera indet.	x	x		x	x		x	x	x	x
HYDROZOA										
Hydrozoa indet.				x						
TURBELLARIA (Tricladida)										
Turbellaria indet.			II				I		I	
Dendrocoelum lacteum	II	x	I	x	IV	x	III		III	
Dugesia gonocephala	I		IV		III		III		I	
Dugesia lugubris / polychroa	IV	x	III	x	IV	x	I	x	V	x
Dugesia tigrina	I	x	IV	x	V		II	x	IV	x
Polycelis tenuis / nigra	III		IV		IV		I		I	
Polycelis tenuis	I	x	II	x	I	x			I	x
NEMATHELMINTHES										
NEMATODA										
Nematoda indet.	I					I			I	II
NEMATOMORPHA										
Gordius aquaticus			I						I	
MOLLUSCA										
Bivalvia										
Unionidae										
Unio pictorum									S	
Unio tumidus									S	
Corbiculidae										
Corbicula fluminea									VII	VI
Corbicula fluminalis									IV	x
Dreissenidae										
Dreissena polymorpha	VII		VII		VI	V	VI	IV	x	IV
Sphaeriidae										
Sphaeriidae indet.		x	IV						IV	
Sphaerium corneum	III	x	II		III		I	II	III	x
Pisidium spec.	IV	x	IV	x	IV		I	IV	III	
Pisidium amnicum			I			III	x		I	x
Pisidium casertanum								I		
Pisidium henslowanum			I					I		
Gastropoda										
Acroloxiidae										
Acroloxiidae indet.					I					
Acroloxus lacustris					I	x				
Bithyniidae										
Bithynia leachi										?
Bithynia tentaculata	IV	x	V		VII		IV	x	VII	x
Hydrobiidae										
Potamopyrgus antipodarum	II		V		IV		II	x	IV	x
Lymnaeidae										
									V	
									II	x

Tab. A 2: Makroinvertebratenbesiedlung und Häufigkeitsklassen; Probenahmetranssekte und Uferproben einzelner Hochrheinabschnitte

Abschnitt	→		B						C		D							
	→		Rhein		Ellikon		Tössegg		Rietheim		Waldshut		Sisseln		Pratteln		Basel	
	→		56,3		64,0		70,5		98,2		102,4		126,5		158,4		167,9	
Taxon	↓		Rhein-km															
	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z
<i>Lymnaea stagnalis</i>	I	x																
<i>Radix ovata</i>	I	x	S		I	x	I	x			I	x	II	x	II			
<i>Radix peregra/ovata</i>	I		I								III		II		I	x	I	
<i>Stagnicola corvus</i>									I									
Neritidae																		
<i>Theodoxus fluviatilis</i>															S	x	S	S
Physidae																		
<i>Physa fontinalis</i>									I									
<i>Physella acuta</i>							I	x									I	x
Ancylidae																		
<i>Ancylus fluviatilis</i>	III		III	x	V		V				VI		V		VI		VI	
Planorbidae																		
<i>Bathymphalus contortus</i>	S		I		S								I	x				
<i>Gyraulus spec.</i>	S				I	x												
<i>Gyraulus albus</i>													I	x				
<i>Hippeutis complanatus</i>													I	x				
<i>Planorbis carinatus</i>			I		S								I	x				
<i>Planorbis planorbis</i>			I											x				
Valvatidae																		
<i>Valvata piscinalis</i>	I		III										IV	x	II			
Succineidae																		
<i>Oxyloma elegans / sarsii</i>					I							x	I	x				
ANNELIDA																		
Polychaeta																		
<i>Hypania invalida</i>															VII		V	
OLIGOCHAETA																		
<i>Oligochaeta indet.</i>	III		III		IV		II		II		III	x	IV	x	IV	x	I	
Lumbricidae																		
<i>Lumbricidae indet.</i>	III	x	II		II	x			I		I	x			I	x	I	x
<i>Eiseniella tetraedra</i>	III		IV		III	x	I		III		I		II	x	IV	x	I	x
Lumbriculidae																		
<i>Lumbriculidae indet.</i>		x	III		I				I		III		IV				I	x
<i>Lumbriculus variegatus</i>	I				I						II				III			
<i>Stylodrilus spec.</i>	III								IV		V		IV					
<i>Stylodrilus heringeanus</i>	IV	x	IV		IV		VI		II		V		V	x	IV		IV	x
Haplotaxidae																		
<i>Haplotaxis gordioides</i>																	IV	x
Tubificidae																		
<i>Tubificidae indet.</i>	III		IV	x	III	x	IV		III	x	IV		VII		IV	x	I	
<i>Limnodrilus spp.</i>	I		I								I							
<i>Potamothenis moldaviensis</i>							II											
<i>Peloscoclex (Spirosperma) ferox</i>			III				I						I	x				
<i>Branchiura sowerbyi</i>	I		I		I		II				I		I		I		I	
Naididae																		
<i>Naididae indet.</i>					I									x			I	x

Tab. A 2: Makroinvertebratenbesiedlung und Häufigkeitsklassen; Probenahmetranssekte und Uferproben einzelner Hochrheinabschnitte

Abschnitt	→		A		B				C		D		
	→		Hemishofen	Rheinau	Ellikon	Tössegg	Rietheim	Waldshut	Sisseln	Pratteln	Basel		
	→		28,0	56,3	64,0	70,5	98,2	102,4	126,5	158,4	167,9		
Taxon	↓		Rhein-km		T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	
<i>Stylaria lacustris</i>			IV		III				IV	x			
Enchytraeidae													
Enchytraeidae indet.											I	x	
HIRUDINEA													
Glossiphoniidae													
Glossiphoniidae indet.			II			I			I				
Albiglossiphonia heteroclita								I					
Glossiphonia complanata	I		I		III	I	I	I	x	IV	x	I	
Glossiphonia verrucata							I						
Helobdella stagnalis	III		IV	x	II	III	I	II		I	x	I	x
Hemiclepsis marginata			I										
Theromyzon tessulatum	I												
Piscicolidae													
Piscicola geometra	I				I	I		I		I			
Caspiobdella fadejewi	III	x			I	x	I	I	x				
Cystobranchius fasciatus	I		I		I		I			I			
Cystobranchus respirans	I	x											
Erpobdellidae													
Erpobdellidae indet.	III		IV		I	x	II	I		III		I	
Erpobdella spec.	III						I	I				I	
Erpobdella octoculata	II	x	II	x	I		I	III		II	x	I	x
Erpobdella nigricollis										I			
Dina punctata	I	x	I	x	I		II			I	x	I	x
Hirudinidae													
Haemopsis sanguisuga												x	
ARACHNIDA													
ACARI													
Hydracarinae indet.	IV		IV		III		III	I		III		V	
Hydrachnellae													
Hygrobatas cf. fluviatilis										I	x	I	x
CRUSTACEA													
Cyclopidae & Copepoda													
Copepoda indet.			x				x						
Cladocera indet.			x										
Ostracoda													
Ostracoda indet.			II	x			II						
MALACOSTRACA													
AMPHIPODA													
Corophiidae													
Corophium curvispinum											VII	VI	
Gammaridae													
Dikerogammarus indet.											V	VI	
Dikerogammarus haemobaphes											?	III	x
Dikerogammarus villosus											V	VI	
Chaetogammarus ischnus												x	

Tab. A 2: Makroinvertebratenbesiedlung und Häufigkeitsklassen; Probenahmetranssekte und Uferproben einzelner Hochrheinabschnitte

Abschnitt	→		B						C		D							
	→		Rhein		Ellikon		Tössegg		Rietheim		Waldshut		Sisseln		Pratteln		Basel	
	→		Rhein-km		64,0		70,5		98,2		102,4		126,5		158,4		167,9	
Taxon	↓		T		Z		T		Z		T		Z		T		Z	
Gammarus fossarum / pulex	IV	x	V	x	V	x	IV	x	VII		VII		VI		IV	x	IV	x
Gammarus fossarum	IV	x	II	x	IV	x	IV	x	III	x	V		IV	x	III	x	III	x
Gammarus pulex	I	x	III	x	IV	x	IV	x	VII		VI		VI		IV	x	III	x
Gammarus roeseli	IV	x	VI	x	IV	x	V		VI		V		IV	x	II	x	II	x
ISOPODA																		
ASELLOTA																		
Asellidae																		
Asellus aquaticus	I	x	IV	x	IV		IV	x	III		IV	x	II	x	I		II	x
Proasellus coxalis			I		I				I	x	III	x	I	x	I		I	x
Proasellus meridionalis ?																x		
Jaeridae																		
Jaera istri															II	x	VII	
Decapoda																		
Atyaephyra desmaresti																		x
Astacus astacus	I	x																
Orconectes limosus		?		?		?		?	I	?		?		?		?		?
INSECTA																		
EPHEMEROPTERA																		
Baetidae																		
Baetis spec.	III	x	I		I		I		II		I						III	
Baetis buceratus									I	x								
Baetis fuscatus	IV	x	III		IV	x	I		VII		IV	x	III	x	IV			x
Baetis scambus									I	x	I	x					I	x
Baetis liebenaue			I							x	II	x						
Baetis lutheri / vardarensis	III				III		IV		IV		VI							
Baetis lutheri									III	x	III	x	I	x			IV	x
Baetis vardarensis	I	x			I	x			V	x	III	x					I	x
Baetis muticus											IV	x	I	x				
Baetis rhodani	V				III	x	III		III	x	V		II	x	II		I	x
Baetis vernus					I						II	x					I	x
Centroptilum luteolum			II								I	x						
Cloeon simile			I	x														
Cloeon dipterum	II		I										III	x				
Heptageniidae																		
Ecdyonurus spec.					I				I		I							
Ecdyonurus torrentis					I						I		I	x			I	x
Ecdyonurus venosus					II	x	II				I	x					I	x
Epeorus sylvicola											I							
Heptagenia sulphurea	VI		I	x	VI		VII		V		VI		VI	x	V		V	
Rhithrogena spec.									I		IV						I	x
Rhithrogena semicolorata																		x
Ephemerellidae																		
Ephemerellidae indet.											I	x						
Ephemerella mucronata							I				I							
Ephemerella notata									I	x	I	x	I	x			I	x

Tab. A 2: Makroinvertebratenbesiedlung und Häufigkeitsklassen; Probenahmetranssekte und Uferproben einzelner Hochrheinabschnitte

Abschnitt	→		A		B				C		D												
	→		Hemishofen	Rheinau	Ellikon	Tössegg	Rietheim	Waldshut	Sisseln	Pratteln	Basel												
	→											Rhein-km		28,0		56,3		64,0		70,5		98,2	
Taxon	↓		T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	
Seratella ignita	IV	x	I	x	IV	x	I		III	x			I		I		I	x					
Torleya major									III	x	I												
Caenidae																							
Caenis spec.	V		III		I			I			III								I				
Caenis beskidensis										I	x								I	x			
Caenis horaria	II		III																				
Caenis luctuosa			III					III													I	x	
Caenis macrura -Gruppe					I	x				I	x			I									
Caenis macrura			II				III			I	x												
Caenis rivulorum										I	x												
Caenis pusilla	VII				IV	x	V		II	x	I	x		I									
Leptophlebiidae																							
Habroleptoides confusa							I			II		I	x						I	x			
Habrophlebia lauta																						x	
Paraleptophlebia spec.					I	x	I			I											I		
Paraleptophlebia submarginata	I		I		III				III		III				I								
Potamanthidae																							
Potamanthus luteus	VI		IV	x	IV	x	IV		II	x	IV	x	III	x	IV		II	x					
Ephemeridae																							
Ephemera spec.	I		I		I										I	x							
Ephemera danica	II	x	V		IV	x	III		I		II	x	I										
ODONATA																							
ZYGOPTERA																							
Calopterygidae																							
Calopteryx splendens			I		I								I	x								x	
Calopteryx virgo																						x	
Platycnemidae																							
Platycnemis pennipes			I											x									
Coenagrionidae																							
Ischnura elegans																						x	
ANISOPTERA																							
Gomphidae																							
Gomphus similimus																						I	x
Gomphus vulgatissimus											I	x										I	x
Onychogomphus forcipatus			I		I																	I	x
PLECOPTERA																							
Leuctridae																							
Leuctra spec.	IV	x	II		I		III		I	x	II	x											x
Leuctra armata											I	x											
Leuctra geniculata																						x	
Nemouridae																							
Amphinemura spec.							I		I		I											I	x
Amphinemura sulcicollis											I	x											
Nemoura spec.	I						I				I											I	x
Nemoura cinerea											I	x											
Perlidae																							

Tab. A 2: Makroinvertebratenbesiedlung und Häufigkeitsklassen; Probenahmetranssekte und Uferprben einzelner Hochrheinabschnitte

Abschnitt	→		A		B				C		D											
	Referenzorte	→	Hemishofen	Rheinau	Ellikon	Tössegg	Rietheim	Waldshut	Sisseln	Pratteln	Basel											
			28,0	56,3	64,0	70,5	98,2	102,4	126,5	158,4	167,9											
Taxon	↓	Rhein-km	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z										
Dinocras spec.									I	x												
Perla marginata									I	x												
Perlodidae																						
Isoperla spec.						I		I	x	IV	x	I	x									
Isoperla grammatica										III	x		I	x								
Perlodes spec.			I							II	x											
Chloroperlidae																						
Chloroperla susemicheli											x											
Siphonoperla torrentium														x								
Taeniopterygidae																						
Brachyptera risi														x								
HETEROPTERA																						
GERRMORPHA																						
Gerromorpha indet.						I				I												
Hydrometridae																						
Hydrometra stagnorum											x											
Veliidae																						
Velia spec.											x											
Gerridae																						
Gerris lacustris											x											
Gerris paludum											x											
NEPOMORPHA																						
Naucoridae																						
Aphelocheirus aestivalis			II	x	II	x	IV	x	III		V		IV	x	II		I	x				
Ilyocoris cimicoides																						
Corixidae																						
Callicorixa praeusta																						
Micronecta spec.						VII		I		III		I		III	x	V		IV	x	I	x	
Micronecta c.f. griseola																						
Micronecta minutissima																						
Sigara spec.																						
COLEOPTERA																						
Gyrinidae																						
Gyrinidae indet.																						
Gyrinus spec.																						
Orectochilus villosus																						
Dytiscidae																						
Dytiscidae indet.																						
Colymbetinae																						
Colymbetinae indet.																						
Platambus maculatus																						
Hydroptorinae																						
Potamonectes spec.																						
Potamonectes depressus																						
Stictotarsus duodecimpustul.																						
Laccophilinae																						

Tab. A 2: Makroinvertebratenbesiedlung und Häufigkeitsklassen; Probenahmetranssekte und Uferprben einzelner Hochrheinabschnitte

Abschnitt	→		A		B				C		D				
	→		Hemishofen	Rheinau	Ellikon	Tössegg	Rietheim	Waldshut	Sisseln	Pratteln	Basel				
	→		28,0	56,3	64,0	70,5	98,2	102,4	126,5	158,4	167,9				
Taxon	↓		Rhein-km		T	Z	T	Z	T	Z	T	Z			
Laccophilus spec.									I	x					
Haliplidae															
Haliplidae indet.			I		I				I						
Brychius elevatus									I						
Haliplus spec.			I	x		I			II	x					
Haliplus fluviatilis			I												
Elmidae															
Elmidae indet.	II		I		III	I		I		I	I				
Elmis spec.	I				I	I		III		I	II	x			
Elmis aenea/mauguetii							III								
Elmis aenea			I		I	I		I							
Elmis maugetii			II		II	III	III	x	V		II	I			
Elmis rietscheli								II							
Esolus spec.			I			I	I	II		II	III	x			
Esolus angustatus			VI		I	II		III		II					
Esolus parallelepidus			I		I										
Limnius spec.	IV		I		IV	I		I	I	I	II	x			
Limnius volckmari	VI		III	x	VI	III	V	V	IV	x	III	II			
Oulimnius tuberculatus			I			II	I	x	I	x		I	x		
Riolus cupreus			I					II							
Stenelmis canaliculata	I	x	I	x	III		II	x	II	x	I	x	I	x	
Dryopidae															
Dryops spec.								I	x			I	x		
TRICHOPTERA															
Trichoptera indet.								I	x						
Rhyacophilidae															
Rhyacophila spec.						I	I	I				III			
Rhyacophila rhyacophila	II	x			IV	II	III	x	IV	x	I	x	IV		
Rhyacophila aurata		x				I			II						
Rhyacophila dorsalis Gruppe	IV		I		I		V		IV				II	x	
Glossosomatidae															
Agapetus indet.	I														
Agapetus fuscipes					IV										
Agapetus delicatula							I								
Agapetus ochripes	VII														
Glossosoma spec.	I				II				I					II	
Glossosoma conformis					I										
Glossosoma boltoni					I	I			IV		I		II	x	
Glossosoma intermedia									I						
Hydroptilidae															
Agraylea spp.	IV		I												
Hydroptila spec.	V		II		V	V	V		VII	III	x	III	x	III	x
Orthotrichia spp.														I	
Stactobia moselyi									III						
Hydropsychidae															
Hydropsychidae indet.	VII				I	x	I	x	IV		V				

Tab. A 2: Makroinvertebratenbesiedlung und Häufigkeitsklassen; Probenahmetranssekte und Uferproben einzelner Hochrheinabschnitte

Abschnitt	→		B						C		D							
	→		Rhein		Ellikon		Tössegg		Rietheim		Waldshut		Sisseln		Pratteln		Basel	
	→		Rhein-km		64,0		70,5		98,2		102,4		126,5		158,4		167,9	
Taxon	↓		T Z		T Z		T Z		T Z		T Z		T Z		T Z		T Z	
Cheumatopsyche lepida	VI	x	I	x	VI		VI		VII		VII		V	x	VI		V	
Hydropsyche spec.	VI		I		IV		V		V		V		III		V		III	
Hydropsyche angustipennis					I							x			III		I	x
Hydrops. bulgoromanorum																		
Hydropsyche contubernalis	IV		I		V		VI		IV		V		IV	x	VI		V	
Hydropsyche exocellata					III		III		III		III				IV		I	x
Hydropsyche pelluc./ incog.	VII		III		IV		I		VI		IV	x	III		II	x	IV	
Hydropsyche incognita	II		I	x	IV	x	IV		V		IV	x			III		I	x
Hydropsyche pellucidula	?				III		III		I	x	III	x					I	x
Hydropsyche cf instabilis											I	x						
Hydropsyche siltalai			I	x	V		IV		V		IV	x	I		II		II	x
Polycentropodidae																		
Polycentropodidae indet.	I				I				IV				III					
Cyrnus trimaculatus							III		IV		I	x	I	x			I	x
Neureclipsis bimaculata	V																	
Plectrocnemia spec.			I															
Plectrocnemia conspersa							I											
Polycentropus spec.																	I	x
Polycentropus irroratus			I															
Polycentropus flavomaculatus	I		V		III		IV		II		IV	x	I	x	I		I	x
Psychomyidae																		
Lype reducta			I		I		II						I					
Lype phaeopa																		x
Psychomyia pusilla	VI		I		V		IV	x	VI		VII		IV	x	IV	x	VII	
Tinodes waeneri			III	x			IV						I	x	I	x	I	x
Limnephilidae																		
Limnephilidae indet.			III								I							
Anabolia nervosa					I	x	I	x										
Chaetopteryx villosa			I	x														
Limnephilus lunatus													II	x				
Limnephilus rhombicus			III															
Mesophylax impunctatus			I															
Potamophylax latipennis			I	x														
Potamophylax cf rotundip.							I	x										
Goeridae																		
Goeridae indet.	I	x	I	x														
Goera pilosa	I	x	I				I										I	
Silo spec.	I		K		IV				IV									
Silo nigricornis	I		I		I				II		I							
Silo piceus			I		IV		IV		I		I							
Lepidostomatidae																		
Lasiocephala basalis											IV						I	
Lepidostoma hirtum	III		IV		V		IV	x	IV		IV	x	I	x	IV		I	x
Leptoceridae																		
Leptoceridae indet.	IV		III				K				K		II		K		III	
Athripsodes spec.			IV		I		I											

Tab. A 2: Makroinvertebratenbesiedlung und Häufigkeitsklassen; Probenahmetranssekte und Uferproben einzelner Hochrheinabschnitte

Abschnitt	A		B						C		D							
	Hemishofen		Rheinau		Ellikon		Tössegg		Rietheim		Waldshut		Sisseln		Pratteln		Basel	
	28,0		56,3		64,0		70,5		98,2		102,4		126,5		158,4		167,9	
Referenzorte	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z
Taxon	Rhein-km																	
Athripsodes albifrons	III	x	I	x	I	x					I	x					I	x
Athripsodes bilineatus	I	x									I	x					I	x
Athripsodes cinereus	I	x	III	x	I	x												
Ceraclea spec.	I	x	III	x	I						I	x						
Ceracl. albimacula/alboguttata							I										I	x
Ceraclea annulicornis																	I	x
Ceraclea dissimilis	III	x	I	x	I	x	I		I	x	IV				IV		I	x
Mystacides azurea	I		V		I													x
Oecetis notata			III				I						I		IV			
Setodes punctatus	II		I		IV		III		IV		IV	x	III		III		II	x
Sericostomatidae																		
Sericost. personatum/flavicorne											IV	x						x
DIPTERA																		
Tipulidae																		
Tipulidae indet.	II	x	I	x	I	x	I				I	x					I	x
Tipula sp.													II	x				
Limoniidae																		
Limoniidae indet.	I				I				I		I		I	x	I	x	I	x
Antocha spec.	I				II		I		I		IV				II		II	
Dicranota spec.	I				I	x	I		I		I				I		I	
Ormosia sp.													I	x				
Psychodidae																		
Psychodidae indet.											I							
Chironomidae																		
Chironomidae indet.											IV						III	x
Tanypodinae																		
Tanypodinae indet.	V	x	IV	x	IV	x	VI		IV	x	IV	x	II	x	III		IV	
Pentaneurini																		
Rheopelopia spec.													I	x				
Macropelopiini																		
Apsectrotanypus trifascip.							I	x										
Macropelopia spec.							I	x					I	x				
Diamessinae																		
Diamessinae indet.	II		III		I	x	III		II		III		IV	x	I	x	II	
Diamessini																		
Potthastia gaedii							I	x										
Potthastia longimana													II	x				
Prodiamessinae																		
Prodiamessinae indet.			I	x	II	x			III	x	I	x	I	x	II			
Prodiamesa olivacea			I				IV	x			V		I		III			
Orthoclaadiinae																		
Orthoclaadiinae indet.	VII		VII		VII		VII		VII		VII		V	x	VI		VI	
Rheocricotopus atripes							I											
Chironominae																		
Chironominae indet.	V		IV		IV		V		I		II		VI		II	x	I	
Chironomini																		

Tab. A 2: Makroinvertebratenbesiedlung und Häufigkeitsklassen; Probenahmetranssekte und Uferproben einzelner Hochrheinabschnitte

Abschnitt	→		A		B				C		D											
	→		Hemishofen	Rheinau	Ellikon	Tössegg	Rietheim	Waldshut	Sisseln	Pratteln	Basel											
	→											Referenzorte		C		D						
Taxon	↓		Rhein-km		28,0		56,3		64,0		70,5		98,2		102,4		126,5		158,4		167,9	
	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z
Chironomini indet.	III	x	VI		III	x	III	x	V	x	VII		IV	x	VII		III					
Chironomus thummi-gr					I	x	IV				III		II	x			I					
Chironomus obtusidens-gr			I	x	I	x	III				IV	x	III				I					
Chironomus bernensis							II	x														
Demicryptochironomus spec.									I				III									
Microtendipes spec.							I															
Microtendipes pedellus-gr	IV							x			III											
Tanytarsini																						
Tanytarsini indet.	II		III	x	IV	x	VI		IV	x	V		III	x	VI		IV					
Simuliidae																						
Simuliidae indet.	IV	x	I		VI		VI		VII	x	IV	x	III		I		IV	x				
Simulium ornatum													I									
Ceratopogonidae																						
Ceratopogonidae indet.							I		I				II		I	x	I	x				
Bezzia-Gr			I	x			I				I	x	III	x								
Empididae																						
Empididae indet.													I									
Hemerodromiinae			I																			
Wiedemannia spec.													I									
Athericidae																						
Atherix spp.													I									
Muscidae																						
Limnophora spec.									I													
Anthomyidae																						
Anthomyidae indet.					I																	
MEGALOPTERA																						
Sialis lutaria							I	x														
PLANIPENNIA																						
Sisyridae																						
Sisyra spec.									x		I	x	I		I	x	I	x				
LEPIDOPTERA																						
Lepidoptera indet.															I							
BRYOZOA																						
Bryozoa indet.											x	x	x	x								
Cristatella mucedo	x		x		x		x				x	x	x	x								
Fredericella sultana									x	x												
Plumatella spec. (Statoblast)	x		x				x															

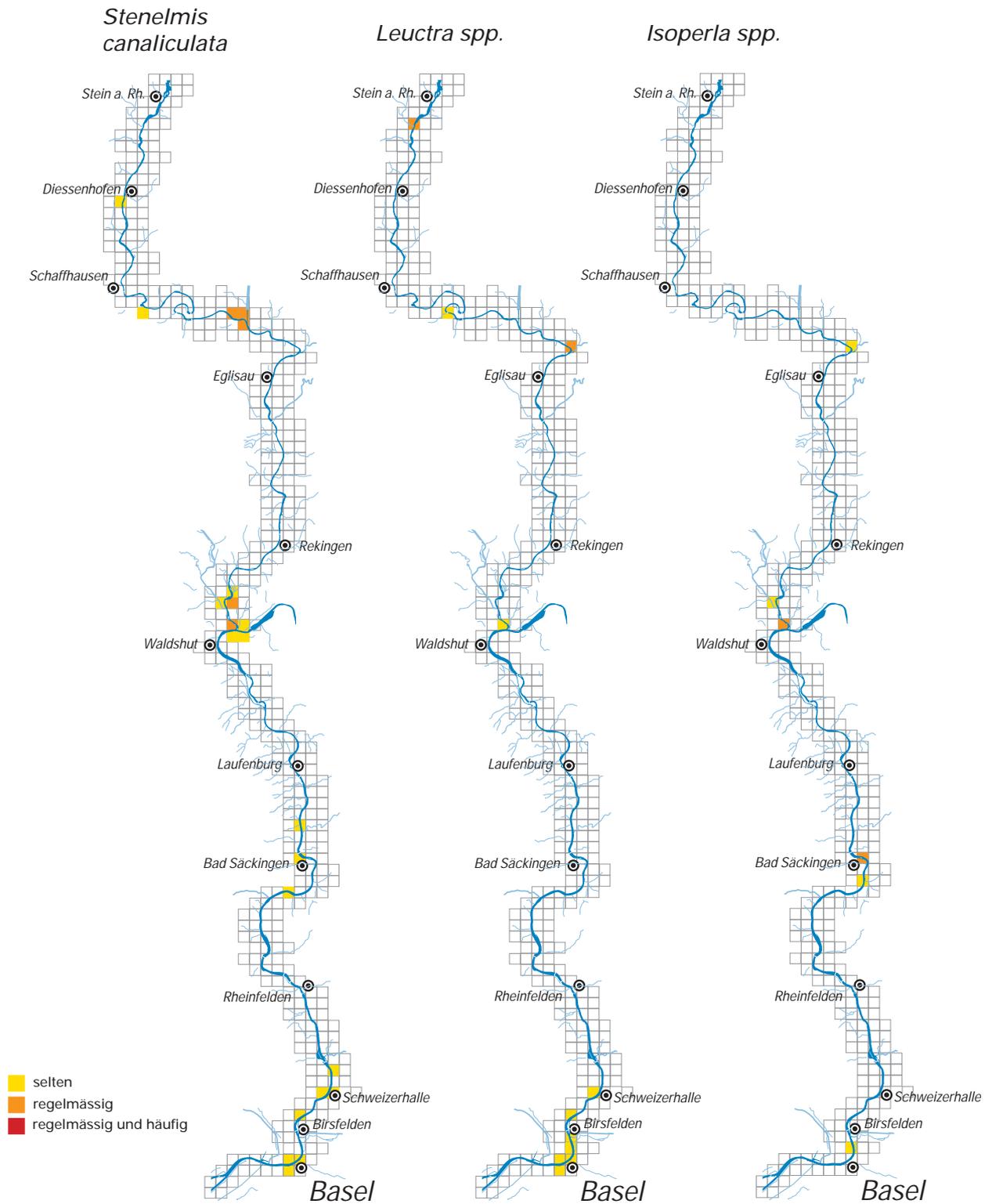
Häufigkeitsklassen

T = quantitative Proben über den Flussquerschnitt
 Z = qualitative Zusatzproben im benachbarten Flussabschnitt

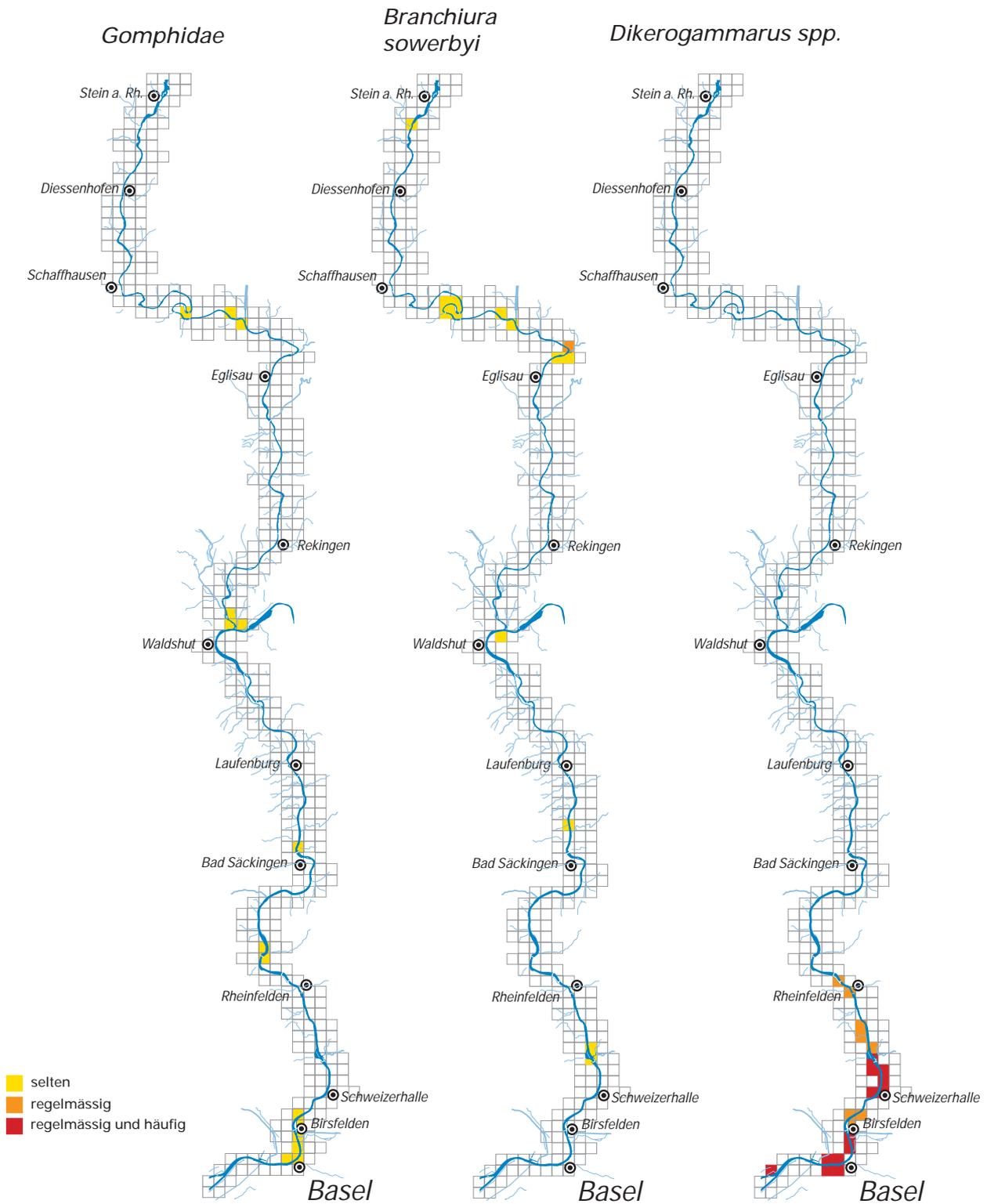
- I von 1 bis 9 Ind./m²
- II von 10 bis 20 Ind./m²
- III von 21 bis 50 Ind./m²
- IV von 51 bis 200 Ind./m²
- V von 201 bis 500 Ind./m²
- VI von 501 bis 1000 Ind./m²
- VII mehr als 1000 Ind./m²

- S leere Schalen
- K leere Köcher
- x Nachweis ohne genaue Abundanz
- ? Sichtung oder noch ohne genaue Bestimmung

Tab. A 2: Makroinvertebratenbesiedlung und Häufigkeitsklassen; Probenahmetranssekte und Uferproben einzelner Hochrheinabschnitte



Tab. A 3: Verbreitung ausgewählter Arten im 1-km-Raster



Tab. A 3: Verbreitung ausgewählter Arten im 1-km-Raster

Parameter	NH ₄ -N bei T>10°C: 0,2 bei T<10°C: 0,4			Nitrat-N 5,6			Nitrit-N keine			ortho-Phosphat-P keine			P gesamt keine			BSB ₅ 2 bis 4			DOC 1 bis 4		
	min	med	max	min	med	max	min	med	max	min	med	max	min	med	max	min	med	max			
Einheiten	mg / l			mg / l			mg / l			mg / l			mg / l			mg / l					
Stein am Rhein	<0,01	0,02	0,07	0,60	0,80	1,10	<0,01	0,01	0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,70	2,10	3,30	1,20	2,05	3,00
Bibernühle	<0,01	0,02	0,03	0,50	0,90	1,10	<0,01	0,01	0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	1,40	2,30	4,20	1,00	2,00	2,30
Salzstadel Schaffhausen	<0,01	0,02	0,05	0,60	0,90	1,20	<0,01	0,01	0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	1,40	1,80	3,30	1,40	2,00	2,60
Nohl	0,01	0,02	0,05	0,60	1,00	1,20	<0,01	0,01	0,01	<0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	1,60	2,00	3,80	1,30	2,05	2,40
Ellikon a. Rhein	<0,01	0,03	0,06	0,60	0,89	1,40	<0,01	0,01	0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	1,50	2,05	3,60	1,10	1,90	2,40
Thur: Thurbrücke Flaach	<0,01	0,01	0,05	1,40	2,50	3,90	<0,01	0,02	0,04	0,02	0,04	0,06	0,04	0,05	0,11	1,90	2,80	3,40	1,50	2,60	3,50
Thur Andelfingen				1,50	2,24	3,47				0,02	0,05	0,09	0,04	0,06	0,66				1,80	2,80	5,60
Tössegg SH		0,035*			0,75*			0,009*			0,00			0,013*			1,9*			1,56*	
Tössegg ZH	<0,01	0,03	0,04	0,70	1,15	1,70	<0,01	0,01	0,02	<0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,04	1,50	2,30	6,70	1,20	2,00	2,60
Kaiseraugst	0,02	0,04	0,05	1,02	1,26	1,54	0,01	0,02	0,02	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,40	0,90	3,00	1,60	1,75	1,90
Pratteln	0,02	0,04	0,06	0,90	1,40	1,80	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,07	1,00	1,10	2,10	1,60	1,80	2,10
Weil am Rhein	0,02	0,05	0,10	0,93	1,27	2,05				<0,004	0,01	0,09	<0,003	0,02	0,26				1,60	1,90	3,30
Koblentz	0,02	0,03	0,04	0,83	1,06	1,46	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,70	1,20	1,80	1,60	1,60	1,80
Rekingen	0,01	0,04	0,09	0,66	1,09	1,80				<0,002	0,01	0,02	0,01	0,02	0,07				1,60	2,40	3,30

* = einmalige Messungen

0,02 Messungen besser als Qualitätsziele
1,20 Messungen innerhalb der Qualitätsziel
6,70 Messungen schlechter als Qualitätsziele

Tab. A 4: Ergebnisse der chemischen Wasseranalysen Hochrhein 2000