

Schriftenreihe Umwelt Nr. 190

Gewässerschutz



**KOORDINIERTE BIOLOGISCHE
UNTERSUCHUNGEN IM HOCHRHEIN
1990**

TEIL I: MAKROINVERTEBRATEN

**Herausgegeben vom
Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)
Bern, Dezember 1992**



KOORDINIERTE BIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN IM HOCHRHEIN 1990

TEIL I: MAKROINVERTEBRATEN

Bearbeitung:

P. Rey, Frau Dr. R. Beutler, Dr. habil. P. Schröder, P. Stirnemann
Institut für angewandte Hydrobiologie, Konstanz
Dr. R. Theeg

Mitarbeit bei der Berichterstattung:

Dr. U. Sieber, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern

Beteiligung:

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

Herausgegeben vom

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)

Bern, Dezember 1992

**Bezugsquelle: Dokumentationsdienst
Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
3003 Bern**

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
ABSTRACTS	III
VORWORT	V
DANK	VI
ZUSAMMENFASSUNG	1
RESUME	2
1. EINLEITUNG	4
1.1 Zielsetzung und Ausgangslage	4
1.2 Bisherige Untersuchungen	4
1.3 Konzeption	5
2. DIE PROBENAHMESTELLEN	6
2.1 Allgemeine Charakterisierung des Untersuchungsgebietes	6
2.2 Lage der Probenahmestellen	7
3. METHODIK	8
3.1 Feldarbeiten bei der Taucher-Probenahme	8
3.2 Feldarbeiten bei der Probenahme am Ufer	10
3.3 Biologische Laborarbeiten und Auswertungsmethoden	11
4. ERGEBNISSE	12
4.1 Abiotische Parameter	12
4.1.1 Physikalisch-chemische Parameter	12
4.1.2 Hydrologische Parameter	16
4.1.3 Flussmorphologie	19
4.2 Verbreitung der Makroinvertebraten im Hochrhein	26
4.2.1 Verbreitung der Arten im Längsverlauf	26
4.2.2 Besiedlung auf den Probenahmequerschnitten	31
4.2.3 Das Vorkommen einzelner Organismen auf der Stromsohle und im Uferbereich	41
4.2.4 Zusammenhänge zwischen Standortfaktoren und Makroinvertebratenbesiedlung	45
4.2.5 Betrachtung nach funktionellen Gruppen	52
5. DISKUSSION	59
5.1 Wahl der Probenahmemethodik	59
5.2 Verbreitung der Makroinvertebraten	60
5.3 Zusammenhänge zwischen Standortfaktoren und Makroinvertebratenbesiedlung	61
5.4 Beschreibung des biologischen Gewässerzustandes	62
5.4.1 Anwendung von Bioindices	62
5.4.2 Langzeitbeobachtung	64
5.5 Schlussfolgerungen und Vorschläge für künftige Untersuchungen	67
6. LITERATURVERZEICHNIS	69
7. ANHÄNGE	75

ABSTRACTS

In 1990 coordinated biological inventories were made on the High Rhine by the relevant agencies of the Swiss federal government, of the cantons bordering on the Rhine as well as of the land of Baden-Württemberg. The present document which forms part I of the report shows the results of analyses of the macroinvertebrate fauna of the river bottom which were made during three different seasons in nine places between Lake Constance-"Lower Lake" and Basel in the bank area, as well as by a diver on the river bottom. On the basis of the number of found Taxa and their respective abundance, as well as on the basis of relationships of dominance between different functional groups of the food and locomotion types the possibilities of settlement are shown under present-day ecological conditions on the High Rhine. In High Rhine sections close to natural conditions, such as they may be found in particular above the Aare mouth, the diversity of species and the abundance are always higher than they are within artificially reenforced river sections. The High Rhine today still has a relatively rich and diverse Benthosbiocenose as compared with other Rhine sections. Historical comparisons go to show, however, that in the course of the past 90 years the formerly dominant potamal and most of the rheophile Rhine species have been largely replaced by Ubiquists and Neozoa. One of the main causes to which this is attributed are the many morphological changes on the river bottom of the High Rhine as a result of interventions by man (such as the construction of dams).

Im Jahre 1990 wurden am Hochrhein unter Beteiligung der zuständigen Fachstellen des Bundes, der Rheinanliegerkantone und Baden-Württembergs koordinierte biologische Bestandesaufnahmen durchgeführt. Der vorliegende Bericht Teil I enthält die Ergebnisse der Untersuchungen der Makroinvertebratenfauna der Flusssohle, die in drei jahreszeitlich getrennten Kampagnen an neun Stellen zwischen Bodensee-Untersee und Basel jeweils im Uferbereich sowie mit Tauchereinsatz an der Stromsohle durchgeführt wurden. Anhand der Anzahl der vorgefundenen Taxa und deren Besiedlungsdichten sowie anhand der Dominanzverhältnisse zwischen verschiedenen funktionellen Gruppen der Ernährungs- und Lokomotionstypen werden die Besiedlungsmöglichkeiten unter den heute gegebenen ökologischen Randbedingungen am Hochrhein aufgezeigt. An naturnahen Hochrhein-Abschnitten, wie sie insbesondere oberhalb der Aaremündung anzutreffen sind, liegen Artenvielfalt und Besiedlungsdichten stets höher als innerhalb verbauter Flussabschnitte. Der Hochrhein besitzt heute im Vergleich zu anderen Rheinstrecken eine noch relativ reichhaltige Benthosbiozönose. Historische Vergleiche zeigen jedoch, dass im Verlauf der letzten 90 Jahre die früher dominierenden potamalen und meist rheophilen Rheinarten weitgehend durch Ubiquisten und Neozoen ersetzt wurden. Als eine der wichtigsten Ursachen dafür werden die vielfältigen morphologischen Veränderungen am Flussbett des Hochrheins infolge anthropogener Eingriffe (u.a. Bau von Staustufen) angesehen.

En 1990, des inventaires biologiques coordonnés ont été effectués dans le Haut-Rhin, avec la participation des services compétents de la Confédération, des cantons riverains du Rhin et du Land de Bade-Wurtemberg. Le présent rapport, première partie, présente les résultats des recherches sur les macroinvertébrés du lit du fleuve, qui ont été effectuées au cours de campagnes trois fois l'an, à neuf endroits situés sur le Rhin entre le lac Inférieur de Constance et Bâle, sur la rive, ainsi que sur le lit, grâce à des plongeurs. Sur la base du nombre de taxons répertoriés et de leur densité de peuplement, ainsi que connaissant les conditions permettant à divers groupes de dominer en fonction des types de nourriture et de locomotion, les possibilités de peuplement ont été montrées, dans les conditions écologiques actuelles du Haut-Rhin. Dans les tronçons du Haut-Rhin proches de l'état naturel, tels qu'on les rencontre en particulier en amont de

l'embouchure de l'Aar, la diversité des espèces et les densités de population sont toujours plus élevées que dans les tronçons plus aménagés. Comparé avec d'autres tronçons du Rhin, le Haut-Rhin dispose aujourd'hui d'une biocénose benthique qui est encore relativement riche. Des comparaisons historiques montrent cependant qu'au cours des 90 années écoulées, les espèces rhénanes qui dominaient naguère, les potamales et la plupart des rhéophiles ont été largement remplacées par des ubiquistes et des néozoés. On pense que l'une des principales causes de cet état de fait sont les nombreuses modifications morphologiques du lit du Haut-Rhin à la suite d'atteintes anthropogènes (entre autres constructions de retenues au fil de l'eau).

Nel 1990, grazie alla partecipazione dei competenti organi della Confederazione, dei Cantoni rivieraschi del Reno e del Baden-Württemberg, si è proceduto ad un inventario biologico coordinato nell'Alto Reno. Il volume I del rapporto contiene i risultati delle indagini sulla fauna dei macroinvertebrati del letto del fiume, indagini condotte in tre campagne stagionali separate; i prelievi sono stati effettuati in 9 posti ripartiti fra l'uscita del Lago Inferiore del Lago di Costanza e Basilea, sia in vicinanza della riva, sia, grazie a sommozzatori, sul letto stesso del fiume. Sulla base del numero di taxon reperiti e della densità delle loro popolazioni nonché sulla base dei rapporti di dominanza dei diversi gruppi, distinti con criteri funzionali quali il modo di nutrimento e di locomozione, vengono illustrate le possibilità di insediamento, tenendo conto delle attuali condizioni ambientali quadro nell'Alto Reno. Nei tratti dell'Alto Reno rimasti quasi allo stato naturale, come si incontrano segnatamente a monte della confluenza dell'Aare, la varietà delle specie e la densità delle popolazioni sono maggiori che nei tratti di fiume in cui l'intervento dell'uomo è più marcato. Paragonando l'Alto Reno con altri tratti del Reno si può tuttavia affermare che le attuali biocenosi bentoniche sono ancora relativamente ricche. I raffronti storici evidenziano tuttavia che negli ultimi 90 anni le specie del Reno fluviali e per lo più reofile un tempo dominanti sono state in larga misura rimpiazzate da specie prevalentemente ubiquiste e neoceniche. Una delle principali cause di tale cambiamento va ricercata nei mutamenti morfologici del letto nell'Alto Reno avvenuti ad opera dell'uomo (primi fra questi la costruzione degli sbarramenti).

VORWORT

Im Sommer 1988 wurde von Vertretern des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft und der zuständigen Fachstellen der Kantone Basel-Stadt, Basel-Landschaft und Aargau beschlossen, zukünftige biologische Untersuchungen am Hochrhein zwischen Stein am Rhein und Basel national koordiniert und in Abstimmung mit den Nachbarländern zu planen. Auf der Basis eines in der Folge ausgearbeiteten Konzeptvorschlages legte eine Koordinationsgruppe Bund/Rheinanliegerkantone/Baden-Württemberg (vertreten durch die Landesanstalt für Umweltschutz, LfU, Karlsruhe) mit Beteiligung der Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) in beratender Funktion ein "Programm für koordinierte biologische Untersuchungen am Hochrhein 1990" fest. Das Programm umfasste biologische Bestandesaufnahmen bei den wirbellosen Kleinlebewesen (Makroinvertebraten), beim Phyto- und Zooplankton sowie bei den Aufwuchsalgen (Mikrophytenflora).

Der vorliegende Untersuchungsbericht zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen der Makroinvertebratenfauna der Flussole. Neben einer Bestandesaufnahme der Makroinvertebraten im Hochrhein beinhaltet er die Resultate einer erweiterten Auswertung des umfangreichen Datenmaterials im Hinblick auf ökologische Gesichtspunkte. Der Bericht, der detaillierte Ausführungen über die gesamte Untersuchung enthält, richtet sich in erster Linie an fachlich spezialisierte und interessierte Kreise.

Ebenfalls in der Schriftenreihe Umwelt erschienen sind die Berichte über die Untersuchungen des Phyto- und Zooplanktons (Teil II) und der Aufwuchsalgen (Teil III) sowie ein zusammenfassender Kurzbericht (Teil IV) über die wichtigsten Ergebnisse des gesamten Untersuchungsprogrammes.

DANK

Für die Feldarbeiten an der Flussole mit dem Einsatz eines Tauchers wurde uns freundlicherweise das Forschungsboot "ANAX" der EAWAG Dübendorf zur Verfügung gestellt. Für diese Unterstützung, die für die Durchführung der Arbeit unentbehrlich war, danken wir an dieser Stelle ganz herzlich. Ebenfalls danken möchten wir dem stets hilfsbereiten Personal der Hoahrheinkraftwerke, das jeweils eine problemlose Überführung des Bootes zwischen den Staustufen ermöglichte.

Im weiteren möchten wir den Gewässerschutzfachstellen der Rheinanliegerkantone für die regelmässigen chemischen Analysen von Rheinwasserproben danken. Nur dank dieser grosszügigen Mithilfe wurde eine chemische Charakterisierung des Hoahrheins für die gesamte Untersuchungsdauer möglich.

ZUSAMMENFASSUNG

In drei jahreszeitlich getrennten Kampagnen wurde 1990 die Besiedlung des Hochrheins durch benthische Makroinvertebraten untersucht. Das im Rahmen eines koordinierten biologischen Untersuchungsprogrammes am Hochrhein durchgeführte Projekt lieferte einen wichtigen Beitrag zur gesamtrheinischen biologischen Bestandesaufnahme des Aktionsprogrammes "Rhein" der Int. Rheinschutzkommission. An neun Stellen zwischen Hemishofen (Rhein-km 29) und Basel (Rh-km 167) wurden Proben an beiden Ufern sowie an der Stromsohle mittels Tauchereinsatz (jeweils 3 Teilproben im Rhein-Querschnitt) gesammelt.

Neben einer umfassenden Bestandesaufnahme der Benthosfauna hatte das Programm das Ziel, erstmals einen Überblick über die Lebensgemeinschaften der technisch nur schwer zugänglichen Hochrheinsohle zu gewinnen. Im weiteren sollte es durch eine Kombination von Ufer- und Taucherprobenahme ermöglicht werden, Unterschiede in der Besiedlung im Querverlauf des Flussbettes aufzuzeigen und die Repräsentativität konventioneller Uferprobenahmen für allfällige Aussagen über die Besiedlungsverhältnisse des gesamten Flussbettes zu prüfen.

Die Anzahl der vorgefundenen Taxa, deren Besiedlungsdichten sowie die Dominanzverhältnisse zwischen verschiedenen funktionellen Gruppen der Ernährungs- und Lokomotionstypen dienten als Mass für die Vielseitigkeit der Besiedlungsmöglichkeiten und die ökomorphologische Beurteilung einer Probenahmestelle.

Der Hochrhein besitzt im Vergleich zu anderen Rheinabschnitten eine noch relativ reichhaltige Benthosbiozönose. Zwischen den einzelnen untersuchten Rhein-Querschnitten wurden, unabhängig von der Jahreszeit, deutliche Unterschiede in der Benthoszusammensetzung festgestellt. An mehr oder weniger natürlich gebliebenen Hochrhein-Abschnitten, wie sie zum Beispiel auf den ersten Kilometern unterhalb des Bodensees, im Bereich der Thurmündung (Rh-km 64) oder bei Rietheim (Rh-km 98, im Bereich des Koblenzer "Lauffen") noch zu finden sind, lagen Artenvielfalt und Besiedlungsdichten stets höher als innerhalb verbauter Flussabschnitte. Am Seeabfluss bei Hemishofen (Rh-km 29) wurden aufgrund des hohen Anteils aktiver Filtrierer (v.a. *Dreissena polymorpha*) Besiedlungsdichten bis über 34'000 Individuen/m² gefunden. Staubereiche, wie sie durch die Probenahmestelle bei Rheinau repräsentiert werden, zeichneten sich durch niedrige Taxa- und Individuenzahlen aus (z.T. weniger als 100 Individuen/m²).

Die Tauchproben repräsentierten mit zunehmend verbautem Charakter des Flusses auch zunehmend grössere Anteile des Gesamt-Querschnittes (99%). Dabei wurden ausgeprägte Besiedlungsunterschiede im Längsverlauf des Hochrheins nachgewiesen. Tendenziell nahmen Artenvielfalt und Besiedlungsdichte rheinabwärts kontinuierlich ab. Die Dominanzen zwischen den einzelnen funktionellen Gruppen blieben im Jahresverlauf stabil.

Gegenüber der Stromsohle waren die Uferbereiche stärkeren Einflüssen unterworfen und zeigten folglich auch stärkere biologische Schwankungen. Mit der Zunahme künstlicher Uferschüttungen und verbauungen rheinabwärts verschob sich das Artenspektrum. Artenvielfalt und Besiedlungsdichten nahmen im Uferbereich jedoch höchstens geringfügig ab. Innerhalb von Staubereichen bieten künstlich aufgeschüttete Uferstrukturen günstigere Besiedlungsverhältnisse als die meist stark mit Feinsedimenten bedeckte Stromsohle.

Mit zunehmender flussmorphologischer Monotonie vergrösserten sich die Unterschiede zwischen Ufer- und Stromsohlenbesiedlung. Im Bereich mehr oder weniger natürlich verbliebener Hochrheinstrecken waren sie gering, nicht zuletzt durch die noch intakten Austauschmöglichkeiten im Querverlauf des Flussbettes. Besonders im Grossraum Basel dagegen, wo künstliches Ufersubstrat vorherrscht und die

Uferbereiche kaum die morphologischen Verhältnisse des gesamten Flussbettes repräsentieren, bestanden grosse Unterschiede in der Faunenzusammensetzung von Ufer und Stromsohle; die Ergebnisse von Uferproben allein reichen insbesondere in diesem Fall nicht aus, um die Besiedlungsverhältnisse des gesamten Flussbettes zu beschreiben.

Historische Vergleiche zeigen, dass sich im Verlauf der letzten 90 Jahre die benthische Fauna des Hochrheins sukzessive verändert hat. Früher dominierende potamale und meist rheophile Rheinarten wurden weitgehend durch Ubiquisten und Neozoen ersetzt. Als Ursache dafür werden vor allem die anthropogenen Einflüsse auf die Morphologie des Flussbettes angesehen, wobei der Bau von Staustufen einer der wichtigsten Faktoren ist.

RESUME

En 1990, le peuplement du Haut-Rhin par les macroinvertébrés benthiques a été étudié au cours de trois campagnes réparties sur toute l'année. Dans le cadre du Programme de recherches biologiques coordonnées sur le Haut-Rhin, ce projet a apporté une contribution importante à l'inventaire biologique global des espèces dans le Rhin (programme d'action "Rhin" de la Commission internationale pour la protection du Rhin, CIPR). A neuf emplacements choisis entre Hemishofen (km 29) et Bâle (km 167), on a procédé à des inventaires le long des rives ainsi que dans le lit du fleuve, grâce à des plongeurs (chaque fois 3 échantillons par section).

En plus du recensement complet du peuplement de la faune benthique, le programme avait pour but de disposer, pour la première fois, d'une vue d'ensemble sur les biocénoses du lit du Haut-Rhin, qui n'est que difficilement accessible techniquement. En outre, une combinaison de prises d'échantillons dans les berges et de prélèvements par plongeurs devait permettre de montrer les différences de peuplement dans le profil en travers du lit du fleuve et de contrôler la représentativité des prises d'échantillons effectuées sur les berges, lorsque les résultats sont extrapolés pour l'ensemble du lit du fleuve.

Sur la base des taxons répertoriés et de leur densité de peuplement, ainsi que connaissant les conditions permettant à divers groupes de dominer en fonction des types de nourriture et de locomotion, les possibilités de colonisation ont été montrées, dans les conditions écologiques actuelles du Haut-Rhin.

Comparé à d'autres tronçons du Rhin, le Haut-Rhin présente encore une biocénose relativement abondante. Entre les différents tronçons du Rhin qui ont été examinés, on a constaté, indépendamment de la période concernée, de nettes différences dans la composition du benthos. Pour plusieurs tronçons du Haut-Rhin restés plus ou moins proches de la nature, tels qu'on les trouve par exemple dans les premiers kilomètres en aval du Lac de Constance, dans le voisinage de l'embouchure de la Thur (km 64) ou vers Rietheim (km 98, au voisinage des rapides de Koblenz), la diversité des espèces et les densités de population étaient toujours plus élevées que pour les tronçons de fleuve aménagés. A Hemishofen (km 29), près de l'exutoire du lac, du fait de la proportion élevée de filtrants (surtout *Dreissena polymorpha*), on a observé des densités de population se montant à plus de 34'000 individus/m². Les environs de retenues, tels qu'ils sont représentés par le point de prélèvement de Rheinau, sont caractérisés par des chiffres peu élevés de taxons et d'individus (en partie moins de 100 individus/m²).

Au fur et à mesure de l'augmentation de la densité d'aménagement, les échantillons prélevés par plongés représentaient des proportions plus importantes du profil global (99%). On a également remarqué des différences très nettes de densité de peuplement le long du cours du Haut-Rhin. En descendant le Haut-Rhin, la diversité des espèces et la densité de population présentaient une tendance constante à la baisse. Les dominances entre les différents groupes fonctionnels restaient stables durant l'année.

Comparées avec le lit du fleuve, les rives étaient soumises à des influences plus fortes, et montraient donc des fluctuations plus nettes. Avec l'augmentation du remblayage des rives et de leur aménagement en aval du Rhin, le spectre des espèces se modifiait. Sur les rives, la diversité des espèces et les densités de population ne diminuaient néanmoins que de façon très minime. A l'intérieur des zones de retenue, les rives remblayées présentaient des conditions de peuplement plus favorables que le lit du fleuve, recouvert la plupart du temps avec des sédiments fins.

Avec la monotonie de la morphologie du fleuve, les différences entre les peuplements des rives et ceux du lit du fleuve augmentaient. Dans les tronçons du Rhin restés plus ou moins proches de la nature, elles étaient minimales, plus particulièrement en raison de possibilités d'échanges encore intactes dans le profil en travers du fleuve. En revanche, en particulier dans la région du Grand Bâle, où le substrat artificiel des rives prédomine et où les rives ne correspondent guère aux conditions morphologiques de l'ensemble du lit du fleuve, il y avait de grandes différences de composition entre la faune des rives et celle du lit du fleuve; à eux seuls, les résultats des prélèvements des rives ne suffisaient pas, tout particulièrement dans ce cas précis, à décrire les conditions de peuplement de l'ensemble du lit du fleuve.

Des comparaisons historiques montrent que durant le cours des 90 années écoulées, la faune benthique du Haut-Rhin s'est modifiée par étapes successives. Les espèces rhénanes qui dominaient naguère, soit les potamales et la plupart des rhéophiles, ont été largement remplacées par des ubiquistes et des néozoés. On pense que l'une des causes principales de cet état de fait est constituée par les influences anthropogènes exercées sur la morphologie du lit du fleuve, parmi lesquelles l'une des plus importantes est la construction de retenues.

1. EINLEITUNG

1.1 Zielsetzung und Ausgangslage

Das Programm für koordinierte biologische Untersuchungen im Jahre 1990 hatte zum Ziel, den biologischen Zustand des Hochrheins durch einheitlich durchgeführte Bestandesaufnahmen bei den Makroinvertebraten, beim Phyto- und Zooplankton sowie bei den Aufwuchs-Mikrophyten zu beschreiben und die grundlegenden Kenntnisse der Biologie dieses Rheinabschnittes, der heute als Abfolge von Staustufen speziellen hydraulischen Bedingungen unterliegt, zu erweitern (vgl. auch KELLER & SCHRÖDER, 1992; SCHMITZ, 1993; MAURER, 1993). Das Programm wurde so aufgebaut, dass es zugleich den Anforderungen der 1990 auf der gesamten Länge des Rheins vom Bodensee bis zum Meer durchgeführten biologischen Bestandesaufnahmen im Rahmen des Aktionsprogrammes "Rhein" (APR) der Internationalen Rheinschutzkommission (IKSR, 1989) entsprach.

Die vorliegenden Untersuchungen der Makroinvertebraten der Flussole wurden so konzipiert, dass sie als erste Basis für eine zukünftige biologische Gewässerüberwachung dienen können und dass sie räumliche und inhaltliche Problempunkte aufzuzeigen vermögen.

Der Hochrhein ist mit seinen rund 140 - 230 m Breite neben der Aare das grösste Fließgewässer der Schweiz. Er nimmt aufgrund der hydraulischen Gegebenheiten stellenweise bereits den Charakter eines Stromes an und weist gegenüber den übrigen schweizerischen Fließgewässern spezielle Verhältnisse auf.

Unter den heute gegebenen hydraulischen Randbedingungen (Abfolge von Staustufen) führen physikalische Einflussfaktoren wie z.B. Licht, Temperatur und Fließgeschwindigkeit vor allem in Abschnitten mit grosser Wassertiefe zu erheblich unterschiedlichen Verhältnissen zwischen Uferbereich und Strommitte. Die vom Ufer aus mit üblichen Probenahmetechniken zur Erfassung der Makroinvertebraten erreichbare Fläche repräsentiert nur rund 5% der gesamten benetzten Stromsohle. Eine Bestandesaufnahme, die sich auf den Uferbereich beschränkt, dürfte somit nur unvollständige Aussagen über die qualitative und quantitative Zusammensetzung der gesamten Makroinvertebratenbesiedlung der Flussole (Makrozoobenthos; Benthos = Gesamtheit der an der Gewässersohle lebenden Organismen) erlauben. Hinzu kommt, dass es an einigen Hochrheinstrecken aufgrund von natürlichen oder nutzungsbedingten Wasserstandsschwankungen sehr schwierig ist, für eine Probenahme zugängliche Uferflächen zu finden, die ständig unter Wasser liegen.

Im Hinblick auf die Zielsetzung, die Makroinvertebraten-Besiedlung der verschiedenen Flussabschnitte möglichst vollständig zu charakterisieren, wurde in der vorliegenden Arbeit versucht, durch eine angepasste Vorgehensweise und durch eine geeignete Kombination von Probenahmetechniken den speziellen Randbedingungen am Hochrhein Rechnung zu tragen.

1.2 Bisherige Untersuchungen

Seit etwa der Jahrhundertwende sind Untersuchungen der Makrofauna am Hochrhein bekannt. Tabelle A 5.1 in Anhang 5 enthält eine Übersicht über die bisherigen Erhebungen des Makrozoobenthos. Es fällt dabei auf, dass sich die Untersuchungen, die sowohl der allgemeinen Charakterisierung des Gewässerzustandes als auch der ökologischen Beurteilung bestimmter punktförmiger Belastungsquellen dienten, vor allem auf den Hochrheinabschnitt unterhalb der Aaremündung und auf den Raum Basel konzentrierten. Nur in den Jahren 1974 und 1975, bei der Erhebung eines biologischen Zustandsbildes des Rheins durch die Int. Rheinschutzkommission (IKSR, 1974) und beim Projekt Mapos (PERRET, 1977) zur Erhebung des Zustandes der schweizerischen Fließgewässer, wurde der Organismenbestand

gleichzeitig auf der gesamten Strecke zwischen Stein am Rhein und Basel aufgenommen. Es handelte sich dabei um Momentanaufnahmen mit einmaligen Stichproben.

Erst kürzlich durchgeführte Programme (KINZELBACH 1990; SCHRÖDER & REY, 1989, 1990, 1991; SCHRÖDER ET AL., 1988a+b;) versuchten, einen möglichst umfassenden Einblick in die räumlichen und zeitlichen Verteilungsmuster der Benthosbesiedlung am gesamten Hochrhein zu gewinnen. Allerdings bezogen sich diese Untersuchungen nur auf den Uferbereich.

Dass in der Vergangenheit umfassende Untersuchungen der Makrofauna am Hochrhein selten waren, mag in erster Linie mit dem speziellem Charakter dieses Rheinabschnittes und mit den erschwerten Probenahmebedingungen infolge der grossen Wassertiefen zusammenhängen. Die aufwendige Methodik für Untersuchungen mit dem Einsatz eines Tauchers gelangte erst seit etwa Mitte der 70-er Jahre zur Anwendung (BLOESCH, 1977; PERRET, 1977; EAWAG 1983, 1986, 1987, 1988).

1.3 Konzeption

Um trotz der besonderen Randbedingungen eine möglichst repräsentative Bestandesaufnahme der Makrofauna des Hochrheins erarbeiten zu können, wurde im Rahmen des vorliegenden Programmes folgendermassen vorgegangen:

Zu drei verschiedenen Jahreszeiten, in den Monaten Januar/Februar, Juni/Juli und Oktober, wurde an 8 resp. 9 Probenahmestellen, die typische Hochrheinabschnitte repräsentieren, eine Bestandesaufnahme der Makrofauna durchgeführt. An jeder Probenahmestelle wurden Benthosproben auf dem gesamten Flussquerschnitt entnommen. Ein Taucher entnahm über die Flussbreite verteilt in drei verschiedenen Tiefenbereichen je eine Sammelprobe, und zum selben Zeitpunkt wurde auf gleicher Höhe je eine Sammelprobe aus dem linken und rechten Uferbereich entnommen. Dabei wurden die Substrattypen des Flussgrundes entsprechend ihrer Häufigkeit des Auftretens berücksichtigt.

Begleitend zu den biologischen Erhebungen wurden die Probenahmestellen anhand physiographisch-morphologischer Parameter (z.B. Tiefenprofil, Fliessgeschwindigkeit, Substrattypen der Flusssohle, Verbauungsgrad des Ufers, etc.) genau beschrieben. Zur Beschreibung des chemischen Zustandes des Rheinwassers wurden durch die Laboratorien der Gewässerschutzfachstellen der Rheinanliegerkantone während des ganzen Jahres in periodischen Abständen typische Belastungsparameter bestimmt.

2. DIE PROBENAHMESTELLEN

2.1 Allgemeine Charakterisierung des Untersuchungsgebietes

Der Hochrhein lässt sich in drei Abschnitte einteilen, die sich in ihrem Charakter deutlich unterscheiden (vgl. Abb. 1):

Abschnitt A reicht vom Bodensee-Untersee bis oberhalb der Einmündung der Thur (Rhein-km 26 bis km 65). Kennzeichnend für diese Strecke ist der dominierende Einfluss des Bodensees (Wasserführung, Temperaturregime und Plankton), sowie der überwiegend noch naturnahe Charakter von Ufer und Stromsohle ausserhalb von Ortschaften. Im Abschnitt A überwiegen ausserhalb der Rückstaubereiche bei den Staustufen Schaffhausen und Rheinau schnellfliessende Strecken geringer bis mittlerer Wassertiefe. Die Rückstaubereiche, insbesondere derjenige des Kraftwerkes Rheinau, haben den ursprünglichen Fliesswassercharakter verloren und zeigen Merkmale von stehenden Gewässern mit sandig-schlammigem Grund. In den naturnahen, schnellfliessenden Zonen dagegen bilden Rheinschotter, Steine, Aufwuchsalgen, Wasserpflanzenbestände sowie Bänke der Wandermuschel *Dreissena polymorpha* vielfältige Substratmosaiken.

Abschnitt B reicht von der Thurmündung bis oberhalb des Zusammenflusses von Rhein und Aare (Rhein-km 65 bis km 102). Der Rhein hat auch hier zunächst noch weitgehend naturnahen Charakter, gekennzeichnet durch starke Strömung und lockeres Steinsubstrat. Obwohl schon vom Rückstaubereich des Kraftwerkes Eglisau beeinflusst, vermittelt die Rheinschleife bei Tössegg mit ihren bewaldeten Steilufern einen Eindruck davon, wie der Hochrhein vor den zahlreichen Regulierungs- und Ausbau-massnahmen dieses Jahrhunderts ausgesehen haben muss. Eine Unterbrechung bringen die Staustufen bei Eglisau und Reckingen, die den Rhein innerhalb ihrer Staubereiche in ein langsamfliessendes Gewässer mit sandig-schlammigem Grund verwandeln. Dagegen sind die letzten Kilometer vor der Aare-Mündung durch ursprüngliche, naturnahe Zonen mit ausgeprägtem Wechsel von "riffels" und "pools" sowie Stromschnellen am "Lauffen" vor Koblenz gekennzeichnet.

Abschnitt C reicht von der Einmündung der Aare bis oberhalb der Einmündung der Wiese in Basel (Rhein-km 102 bis km 168). Unterhalb des Zuflusses der Aare ändert sich der Flusscharakter des Rheins stark. Ursachen dafür sind einerseits die hohen Wassermengen aus der Aare sowie die grössere Eintiefung des Flussbettes. Andererseits überwiegen infolge der dicht aufeinanderfolgenden Staustufen der Rheinkraftwerke die Rückstaubereiche gegenüber den ursprünglichen, schnell fliessenden Abschnitten. Der rithrale Flusscharakter, der im Abschnitt oberhalb der Aare-Mündung an vielen Stellen noch vorhanden ist, fehlt auf dem Abschnitt C weitgehend. Der Eindruck eines künstlichen Gewässers verstärkt sich zusätzlich durch massive, stellenweise lückenlose Verbauungen des Uferbereiches oder den Ausbau von Werkkanälen (z.B. oberhalb des Kraftwerkes Albruck-Dogern). Durch den Kraftwerksbetrieb verursachte Wasserspiegelschwankungen betragen stellenweise mehr als 70 cm im Verlauf eines Tages (z.B. im Stau des Kraftwerkes Säkingen).

2.2 Lage der Probenahmestellen

Für die 9 Probenahmequerschnitte des Untersuchungsprogramms (Tab. 1, Abb. 1) wurden Stellen ausgewählt, die für den jeweiligen flussmorphologischen Charakter einer der oben genannten Rheinabschnitte typisch sind. Zur örtlichen Festlegung der Probenahmestellen wurden die Erfahrungen aus biologischen Untersuchungen der letzten Jahre (GERSTER, 1989, 1991; SCHRÖDER ET AL., 1989a+b) herangezogen.

Die Stelle im Staubereich bei Rheinau wurde erst bei der Probenahme von Juni/Juli ins Programm aufgenommen. Damit wurde eine Situation erfasst, die stellvertretend für einen der vielen Rückstaubereiche im Hochrhein steht und bereits gewisse Charaktereigenschaften stehender Gewässer aufweist.

Tab. 1: Liste der Probenahmestellen (B.W. = Baden - Württemberg)

Stelle	Abkürzung	Abschnitt	Rhein-km	Kanton/Land
Hemishofen	Hem	A	29.0	SH/TG
Rheinau	Rhe	A	56.0	ZH/B.W.
Ellikon	Ell	A	63.8	ZH/B.W.
Tössegg	Tös	B	70.6	ZH
Rietheim	Rie	B	97.8	AG/B.W.
Waldshut	Wal	C	102.2	AG/B.W.
Sisseln	Sis	C	125.9	AG/B.W.
Pratteln	Pra	C	157.2	BL/B.W.
Basel	Bas	C	167.1	BS

Eine detaillierte Charakterisierung aller Probenahmestellen ist in Anhang 1 enthalten.

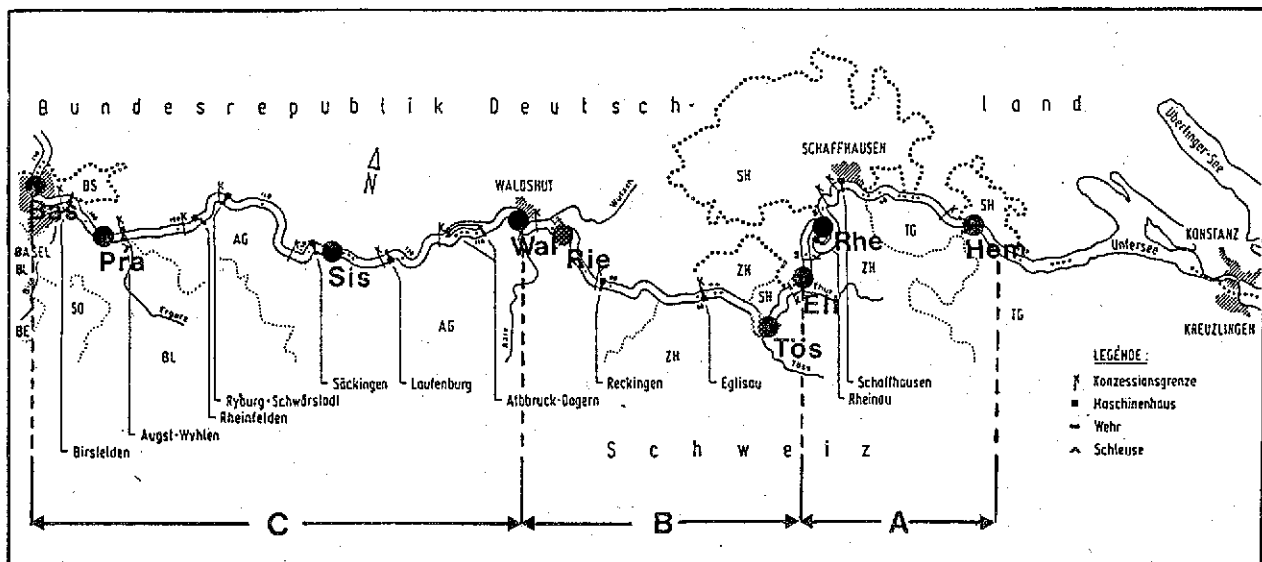


Abb. 1: Lage der Probenahmestellen und Ausdehnung der Rheinabschnitte gemäss Kap. 2.1.

3. METHODIK

3.1 Feldarbeiten bei der Taucher-Probenahme

Für den Taucher-Einsatz stellte uns die EAWAG das Forschungsboot "ANAX" zur Verfügung. Während der ersten Kampagne im Januar/Februar 1990 wurden die Flussprofile (Abb. A 1.1 bis A 1.9, Anh. 1) mit Hilfe eines Echolots aufgezeichnet und die Punkte für die drei Teilproben (Sammelproben) A, B und C so festgelegt, dass insbesondere in bezug auf die Wassertiefe sowie in bezug auf Fließgeschwindigkeit und Substratzusammensetzung unterschiedlich ausgeprägte Standorte im Querprofil möglichst erfasst wurden. In der Regel kam so die Teilprobe A in einen Bereich im flachem Wasser, die Teilprobe B in einen mittleren Tiefenbereich und die Teilprobe C in den tiefsten Bereich (wo möglich, in die Stromrinne) zu liegen (Abb. 2). Aufgrund der Hochwassersituation im Juni mussten an einigen Orten aus Sicherheitsgründen die Tauchpunkte verschoben werden. Es konnten jedoch Stellen mit vergleichbarer Sohlenstruktur gefunden werden.

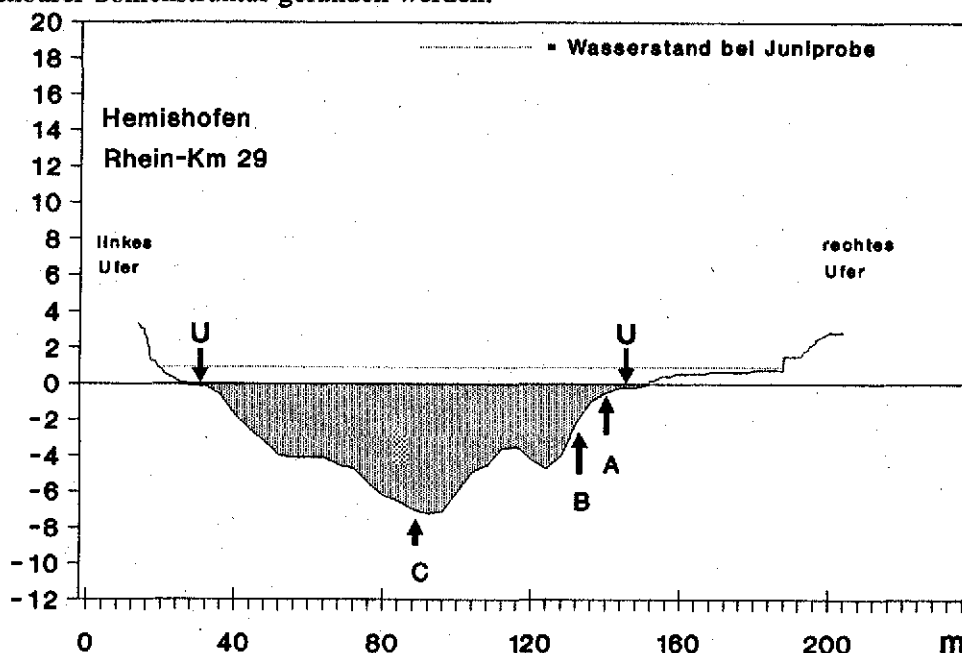


Abb. 2: Darstellung der Lage der Teilproben A, B und C und der Proben aus dem Uferbereich (U) am Beispiel des Probenahmequerschnittes bei Hemishofen.

Nachdem ein auf dem Schreiber festgelegter Tauchpunkt mit dem Echolot wiedergefunden war, wurde das Boot mit Anker und Sicherungsgewicht in der Strömung stabilisiert. Da der Taucher mit einem Tauchtelefon ausgerüstet war, konnte er nun analog Beobachtungen an der Stromsohle und Messungen für die Aufzeichnungen an Bord weitergeben.

Da die Zusammensetzung und die Verteilung des Substrats auf der Stromsohle entscheidende Faktoren für Besiedlungsdichte und Artenvielfalt der Benthosorganismen sind, war die Substratkartierung ein zentraler Punkt bei der Freilandarbeit. Bei der Probenahme wurde die Substratzusammensetzung anhand von Feldprotokollen qualitativ und quantitativ aufgenommen. Die Flächenanteile (in % bezogen auf die gesamte Substratfläche) folgender Substrat-Kategorien wurden geschätzt und protokolliert:

Fels (massiv)
Blöcke (Korndurchmesser $d > 200\text{mm}$)
Steine ($d: 60\text{-}200\text{mm}$)
Schotter (= Grobkies; $d: 20\text{-}60\text{mm}$)

Kies ($d: 2\text{-}20\text{mm}$)
Sande ($d: 0.06\text{-}2\text{mm}$)
Lehm/Ton/Schlamm

Dazu wurden qualitativ und quantitativ (Flächenanteile in %) folgende Kriterien für die Beschaffenheit der Flussole festgehalten:

- Substratbedeckung: Fallaub/Holz/Baumwurzeln/Muschelschalen
- Kolmatierung der Flussole: Steine locker/ankleidend
- Material unter der Deckschicht
- Kiesel- und Fadenalgenaufwuchs
- Makrophyten

Anschließend wurde das zu untersuchende Areal sowie eventuelle Besonderheiten in der näheren Umgebung (Makrophytenpolster, Sand- und Muschelbänke, anstehendes Felsgestein u.a.) photographiert. Die photographischen Substrataufnahmen, die von jedem Tauchpunkt aus in einem Bereich von rund 20 x 20 m gemacht wurden, zeigen neben einem DIN A 4 Raster als Grössenbezug die genaue Tauchtiefe, Datum, Zeit sowie die Wassertemperatur (vgl. Bild A 2.1 bis A 2.9 Anh. 2). So konnten - zusammen mit den protokollierten Unterwasser-Beobachtungen - die Flächenanteile der Substrate für das Areal der einzelnen Tauchpunkte (A,B,C) verifiziert und daraus, zusammen mit zusätzlichen Beobachtungen des Tauchers, die Flächenanteile im gesamten Querschnitt einer Probenahmestelle abgeschätzt werden. Da die Substratbeschaffenheit der Stromsole ein relativ stabiler Faktor für die Besiedlung ist, konnte so auch die durchschnittliche Individuenzahl/m² für die einzelnen Probenahmequerschnitte näherungsweise abgeschätzt werden (vgl. Kap. 4.2.2).

Zu den vom Taucher übermittelten Daten zählten neben der Zusammensetzung und Beschaffenheit der Flussole und der Verteilung von Aufwuchs und Makrophyten die Angaben zu den Strömungsverhältnissen und den Fliessgeschwindigkeiten über Grund. Wasserproben, an denen die physikalisch-chemischen Parameter Sauerstoffgehalt und Sauerstoffsättigung, Wassertemperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit (kappa 25) ermittelt wurden, entnahm der Taucher bei jeder der drei Teilproben im Querschnitt mit einer Durchflussflasche direkt über Grund.

Für die biologische Probenahme wurde ein speziell für den Unterwassereinsatz konzipierter Sampler (Abb. 3, S. 10) mit Hilfe eines Krans auf den Rheingrund hinabgelassen. Das ca 25 kg schwere Gerät mit einer kreisförmigen Grundfläche von 0.1 m² wurde vom Taucher mit Hilfe zweier seitlicher Griffe 5-10 cm in den Boden gedreht, sodass die Wassereinströmöffnung gegen und der Sammelsack für das Substrat in Strömungsrichtung zeigten. Durch eine abgedichtete Handöffnung an der Oberseite konnte das Substrat innerhalb dieser abgeschlossenen Fläche in den Sammelsack befördert werden.

Wie oben beschrieben, wurden nun mit dem Sampler je nach Vielfalt der Substrate und den Einsatzmöglichkeiten für den Taucher 3-6 Teilflächen für jede Teilprobe beprobt. Eine Teilprobe (A, B oder C, Abb. 2) war somit definiert als Sammelprobe über einem Areal von rund 25 m². Die Teilflächen innerhalb dieses Bereichs wurden dabei entsprechend der prozentualen Verteilung dominanter Substrate ausgewählt. Dies sei an einem Beispiel erläutert:

Bei Substratanteilen von 50% Steinen, 20% Schotter, 10% Sand, 10% Makrophyten und 10% vereinzelte Substratarten wurden demnach 3 Teilflächen auf steinigem, 2 auf Schottersubstrat mit Makrophytenanteil sowie 1 Fläche mit Sand und Schotteranteilen beprobt. Die 6 Teilproben wurden an Bord zu einer Gesamtprobe vermischt.

Je nach Umfang dieser Mischproben mussten sie vor der Fixierung nochmals gesplittet werden. Mit Hilfe eines Probenteilers entstanden Aliquots, die einer Probenfläche von 0.0375 bis 0.5 m² entsprechen. Die gesplitteten Proben wurden in einer wasserdurchflossenen Sortier-Rinne nochmals von Substrat befreit und danach in 96%-igem Ethanol fixiert.

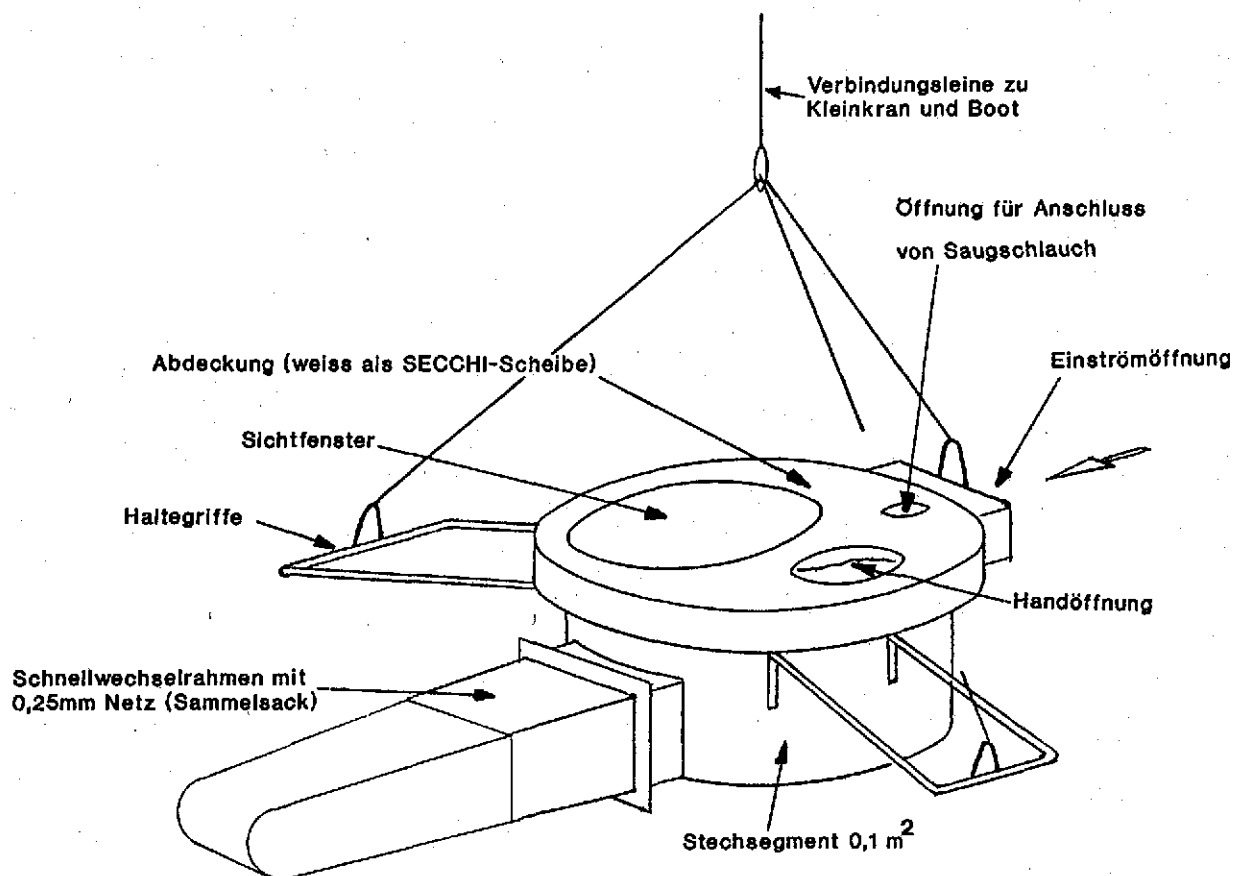


Abb. 3: Schematische Darstellung des verwendeten Samplers, ein speziell für die Unterwasser-Probennahme konzipiertes Sammelgerät für Benthosorganismen.

3.2 Feldarbeiten bei der Probenahme am Ufer

Für die Aufsammlung der Makroinvertebraten in Ufernähe wurde ein Sammelnetz mit einer Maschenweite von 0,6 mm und einer Rahmenweite von 27 x 30 cm verwendet. Die abzusammelnde Substratfläche wurde hierbei mittels eines Metallrahmens, in den das Netz seitlich senkrecht eingeführt werden konnte, auf 30 x 30 cm begrenzt. Nach dem Aufsetzen des Netzrahmens auf dem Substrat (Netzöffnung entgegen der Strömungsrichtung) konnte das einzusammelnde Material aufgewirbelt, bis zu einer Sedimenttiefe von ca. 5 - 10 cm angehoben und im Netzbeutel gesammelt werden.

Die Probenahme berücksichtigte an allen Uferuntersuchungsstellen das dort jeweils vorzufindende Steinsubstrat (Korndurchmesser 6 - 20 cm), um einen Vergleich der Besiedlung zwischen den untersuchten Probenahmequerschnitten zu ermöglichen. Zusätzlich wurden Substrate wie Schlamm, Sand, Kies und Wasserpflanzen in die Untersuchungen einbezogen, wenn diese einen gewichtigen Flächenanteil innerhalb des betroffenen Uferbereichs repräsentierten. Die Besammlung solcher Substrate war jedoch aufgrund von Veränderungen der Substratzusammensetzung (strömungs- und hochwasserbedingt) sowie klimatischer Einflüsse (Pflanzenwuchs) an den jeweiligen Stellen nicht regelmässig durchführbar. Die Verteilung der Proben auf die vorgefundenen Substratarten bei allen drei Probenahmekampagnen zeigt Tabelle A 3.1 in Anhang 3. Stark schlamm- oder sandhaltige Proben wurden nach

der Aufsammlung zunächst vorgewaschen und gesiebt, die Organismen von grösseren Steinen wurden vor der Konservierung abgebürstet. Anschliessend wurden die Proben in 96%-igem Alkohol aufbewahrt.

Während der Untersuchung wurden die jeweiligen morphologischen und hydrologischen Eigenarten der Probenahmestelle (besonders Substratart, Substratverteilung, Fliessgeschwindigkeit, Wassertiefe) in einem Protokoll festgehalten. Parallel zur Aufsammlung der Organismen fand auch an beiden Uferseiten eine Messung der Werte für die Wassertemperatur, die Leitfähigkeit, den pH-Wert und den Sauerstoffgehalt des durchströmenden Wassers statt (Elektrodenmessung).

3.3 Biologische Laborarbeiten und Auswertungsmethoden

Die fixierten Proben wurden im Labor ausgelesen und von den vier Bearbeitern auf einem einheitlichen taxonomischen Niveau bestimmt. Leere Molluskenschalen und Trichopterenköcher wurden bei der Berechnung der Besiedlungszahlen nicht berücksichtigt, jedoch mitprotokolliert. Bei der taxonomischen Bestimmung gelangte folgende Literatur zur Anwendung:

Allgemein: BERTRAND (1954), KLAUSNITZER ET AL. (O.j.), NAGEL (1989).

Plathelminthes: REYNOLDSON (1978)

Oligochaeta: BRINKHURST (1971)

Hirudinea: ELLIOTT & MANN (1979)

Mollusca: GLOER ET AL. (1987), MACAN (1977)

Crustacea: DAHL (1916), GLEDHILL ET AL. (1976)

Ephemeroptera: ELLIOTT ET AL. (1988), MACAN (1979), MÜLLER-LIEBENAU (1969), SARTORI (1978)

Plecoptera: AUBERT (1959), HYNES (1977), ILLIES (1955)

Heteroptera: JORDAN (1960), HOLLAND (1972), KLAUSNITZER (1984), MACAN (1976)

Trichoptera: BOON (1978), BOURNAUD ET AL. (1982), BUHOLZER (1978), HICKIN (1967), HILDREW (1981), SEDLAK (1971), WALLACE (1980)

Diptera, Simuliidae: JENSEN (1984), RIVOSECCHI (1978)

Diptera, Chironomidae: CRANSTON (1982)

Ausgehend von der jeweiligen Teilprobe wurde die Besiedlungszahl auf 1 m² umgerechnet. Bei der vergleichenden Betrachtung der qualitativen und quantitativen Besiedlungsverhältnisse wurde für den Uferbereich vor allem das Steinsubstrat berücksichtigt, da nur dieses am Ufer und an der Flussole überall gleichzeitig zu finden war. Die Darstellung der Besiedlung der anderen Substrattypen diente zur Vervollständigung des Besiedlungsbildes für einzelne Uferprobestellen, die vor allem durch wechselnde Wasserstände einer starken jahreszeitlichen Veränderung in der Substratzusammensetzung unterworfen waren.

4. ERGEBNISSE

4.1 Abiotische Parameter

4.1.1 Physikalisch-chemische Parameter

Die Werte der bei der Probenahme gemessenen Wassertemperaturen, Leitfähigkeiten, pH-Werte sowie Sauerstoffgehalte sind in den Tabellen A 3.2 bis A 3.5 in Anhang 3 zusammengefasst.

Wassertemperatur

Eine generelle Übersicht über die Temperaturverhältnisse im Hochrhein im Jahre 1990 zeigt Abbildung 4. Der einfach zu interpretierende Jahresverlauf weist die höchsten Temperaturen nach beendeter Schneeschmelze und sommerlicher Erwärmung in den Monaten Juli und August auf. Die tiefsten Temperaturen liegen in den Monaten Januar und Februar. Die Temperaturgänge an den drei Messstellen zeigen erwartungsgemäss einen parallelen Verlauf, wobei mit zunehmender Distanz vom Bodensee eine leichte Zunahme der Temperaturen festzustellen ist. Eine Ausnahme bilden die beiden Temperaturspitzen im Mai und im Juli/August, wo die Werte für Rheinfelden etwas tiefer liegen als jene der Messstellen oberhalb der Aaremündung (Rheinau und Rekingen), was auf den Einfluss des zu diesem Zeitpunkt etwas kühleren Aarewassers hindeutet.

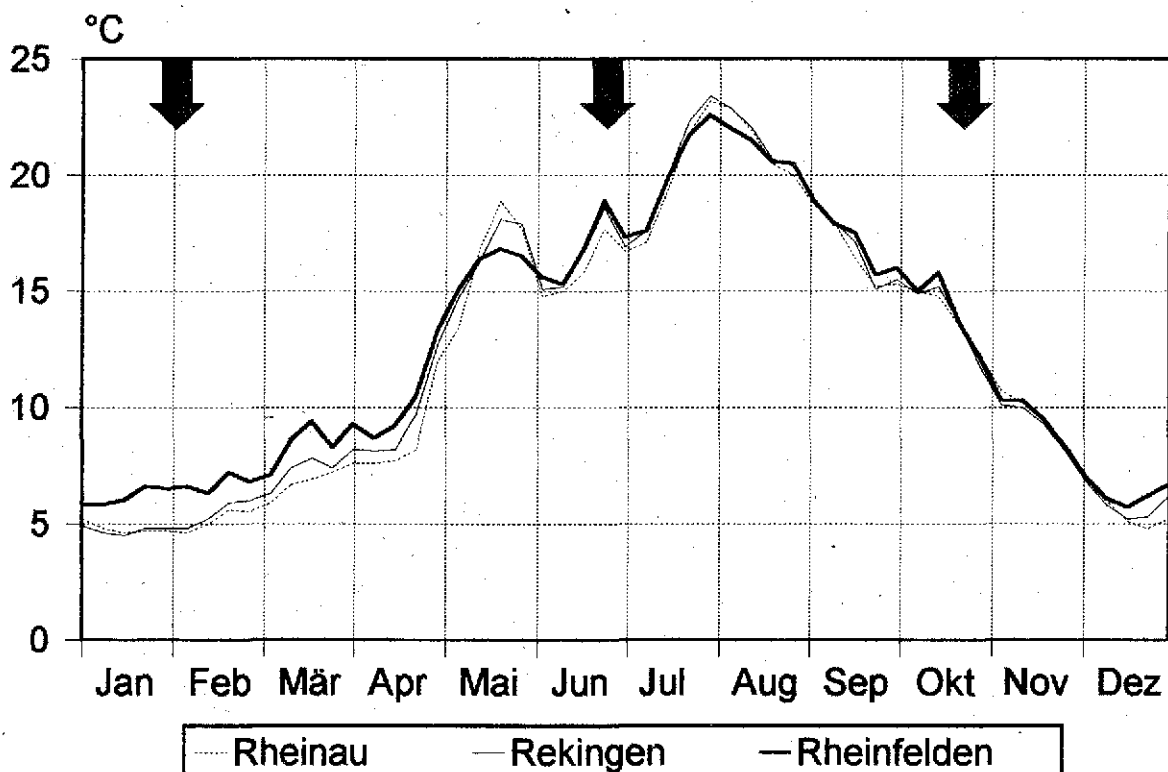


Abb. 4: Temperaturgangkurven 1990 (Wochenmittel) an den drei Limnigraphenstationen Rheinau (Rh-km 56), Rekingen (Rh-km 91) und Rheinfelden (Rh-km 149); Datengrundlage: LANDESHYDROLOGIE (1990). Pfeile = zeitliche Lage der Probenahmekampagnen.

Die während der Untersuchungen direkt an den Orten der Probeentnahmen gemessenen Temperaturen waren im Januar bei Hemishofen (3.6°C) am niedrigsten und im August bei Basel (21.4 °C, Ufer) sowie im Juni bei Waldshut (22.4°C, Probe in Strommitte) am höchsten (vgl. Tab. A 3.2, Anh. 3). Sowohl im Januar als auch im Juni war aus den erhobenen Werten eine, wenn auch nicht kontinuierliche, Zunahme der Wassertemperatur im Rheinlängsverlauf ersichtlich. Am linken und rechten Ufer konnten dabei leicht unterschiedliche Temperaturentwicklungen gemessen werden. Auffällige Abweichungen vom erwarteten Temperaturverhalten waren in diesen beiden Monaten jeweils unterhalb der Aareeinmündung (Probenahmestelle bei Waldshut, km 102,2) am linken Ufer zu verzeichnen, wo der Einfluss des zu diesem Zeitpunkt etwas wärmeren Aarewassers festzustellen war. Im Oktober wurden im Gegensatz dazu höchste Wassertemperaturen in Bodenseenähe und ein mehr oder weniger kontinuierliches Absinken der Temperaturen bis nach Basel nachgewiesen.

Leitfähigkeit

Bei den Leitfähigkeitswerten an den Taucheruntersuchungspunkten fanden sich punktuelle Erhöhungen im Bereich der Soleeinleitung bei Pratteln und des Rheinhafens St.Johann in Basel. Die Werte lagen im Bereich zwischen $292 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Stelle Hemishofen, Oktober, linkes Ufer) und $546 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Stelle Pratteln, Oktober, Teilprobe C) wobei mit Ausnahme der Juniwerte vom rechten Ufer rheinabwärts eine leicht steigende Tendenz festzustellen war (Tab. A 3.3, Anh. 3). Innerhalb einer Messerie lagen die Wertschwankungen auf der Fliessstrecke zwischen Hemishofen und Basel bei maximal etwa $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. In der Regel war unmittelbar unterhalb der Aareeinmündung bei Waldshut auf der linken Flussseite eine Erniedrigung der Messwerte erkennbar.

pH

Die Messungen an den Taucheruntersuchungspunkten und an Uferprobestellen lagen während der drei Untersuchungszeiten zwischen pH 7 (Stelle Waldshut, Januar) und pH 8,7 (Stelle Ellikon, Juni). Eine Tendenz zur Ab- oder Zunahme des pH-Werts im Rheinlängsverlauf sowie eine jahreszeitliche Veränderung war aufgrund der relativ wenigen Messungen nicht erkennbar (Tab. A 3.4, Anh. 3). Die Wertschwankungen zwischen den einzelnen Probenahmestellen waren nicht grösser als jene zwischen den Teilproben der einzelnen Probenahmequerschnitte. Lediglich bei Rietheim (linkes Ufer) und bei Waldshut (rechtes Ufer) war im Januar und Oktober eine erkennbare Erniedrigung des pH-Wertes zu verzeichnen (um maximal 1.2 Einheiten).

Sauerstoff

Die während der Probenahmekampagnen gemessenen Sauerstoffgehalte lagen in der Regel nahe bei 100% Sättigung. An der Flusssohle wurden lediglich im Oktober bei Rheinau an zwei Untersuchungspunkten (Teilproben B und C) mit 5 mg/l O_2 (47% Sättigung) respektive 5.4 mg/l O_2 (54% Sättigung) für Benthosorganismen kritische Werte registriert (vgl. Tab. A 3.5, Anh. 3).

Die an den Ufern gemessenen Sauerstoffsättigungswerte wiesen zum selben Probenahmezeitpunkt jeweils links und rechts ähnliche Tendenzen im Rhein-Längsverlauf auf. Unterschiede waren jedoch zwischen den verschiedenen Jahreszeiten zu erkennen. Die im Januar registrierten Werte lagen auf der Fliessstrecke zwischen Hemishofen und Rietheim unterhalb der 100%-Sättigung. Die Einmündung des Aarewassers bewirkte ab Waldshut eine Übersättigung. Im Juni lagen die Sättigungswerte schon ab Hemishofen oberhalb der 100%-Marke, wiesen bei Rietheim eine Erniedrigung auf und waren nach der

Aareinmündung wiederum höher. Im Oktober war nach einem Anstieg der Sättigungswerte zwischen Hemishofen und Rietheim ein deutlicher Abfall unterhalb der Einmündung des Aarewassers messbar.

Generell lässt die Entwicklung der Sauerstoffgehalte im Jahresverlauf und im Rheinlängsverlauf den Einfluss des Bodenseewassers (zunächst niedrige Werte unterhalb des Seeausflusses) und des zuströmenden Aarewassers sowie die Auswirkung der verminderten Fließgeschwindigkeit (Staubereiche mit Tendenz zu niedrigeren Sättigungswerten) zwischen Waldshut und Basel erkennen.

Wasserchemie

Die parallel zu den koordinierten biologischen Untersuchungen durch die kantonalen Gewässerschutzfachstellen durchgeführten Wasseranalysen sollten zusammen mit physikalischen, morphologischen und biologischen Daten zur Charakterisierung der Milieubedingungen im Hochrhein beitragen. Die chemischen Wasseranalysen, die in der Regel in monatlichen Stichproben erfolgten, konnten für fünf Probenahmestellen direkt an Ort und Stelle durchgeführt werden. Für vier Probenahmestellen wurden die Werte des am nächsten gelegenen Messortes herangezogen (Tab. 2).

Tab. 2: Zuordnung der Messorte für die chemischen Wasseranalysen.

Probenahmestelle (Benthos)	chemische Wasseranalyse
Hemishofen	Bibermühle
Rheinau	Salzstadel
Ellikon	Ellikon
Tössegg	Tössegg
Rietheim	Rietheim
Waldshut	Leibstadt
Sisseln	Sisseln
Pratteln	Pratteln
Basel-St.Johann	Village-Neuf (IKSR, 1990)

Die in Tabelle 3 (S. 15) aufgeführten Werte lassen keine eigentlichen Belastungsschwerpunkte für die Stickstoff- und Phosphorkomponenten im Hochrhein erkennen. In der Regel liegen die Mittelwerte der analysierten Belastungsparameter deutlich unter den in der eidgenössischen Verordnung über Abwassereinleitungen vom 8. Dezember 1975 für Fließgewässer und Flusstau geforderten Qualitätszielen. Ein geringer Anstieg von Ammonium- und Nitrat-Stickstoff konnte unterhalb der Aareinmündung (Leibstadt) festgestellt werden. Die übrigen Parameter zeigen geringfügig, aber kontinuierlich steigende Werte stromabwärts. Aufgrund der vorliegenden Resultate kann der Hochrhein in bezug auf die dargestellten Parameter als gering bis mässig belastet eingestuft werden. Dieser Befund ergibt sich auch aufgrund anderer Erhebungen zur Beurteilung der chemischen Wasserqualität des Hochrheins (IKSR, 1990; MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN, BADEN-WÜRTTEMBERG, 1987; SCHRÖDER & REY 1991)

Tab. 3: Belastung des Hochrheins mit einigen Standardparametern 1990; Messungen der kantonalen Gewässerschutzfachstellen. Daten für die Stelle "Basel" aus IKSR (1990); alle Angaben in mg/l.

Probenahmestelle	Hem	Rhe	ElI	Tös	Rie	Wal	Sis	Pra	Bas
Ammonium-N									
Min	0.003	0.040	0.030	0.040	0.010	0.030	0.030	0.027	0.007
Max	0.050	0.060	0.070	0.090	0.130	0.220	0.180	0.160	0.430
arith.Mittel	0.025	0.044	0.046	0.060	0.060	0.095	0.088	0.078	0.150
geom. Mittel	0.017	0.044	0.044	0.059	0.056	0.087	0.083	0.074	0.115
Nitrat-N									
Min	0.043	0.400	0.610	0.022	0.770	1.000	1.020	0.900	1.280
Max	0.970	1.020	1.780	1.380	1.720	2.000	1.920	1.800	2.560
arith.Mittel	0.618	0.694	0.973	0.733	1.127	1.302	1.300	1.330	1.780
geom. Mittel	0.467	0.663	0.914	0.495	1.183	1.377	1.377	1.401	1.746
Nitrit-N									
Min	0.007	0.009	0.007	0.007	0.012	0.016	0.016	0.013	--
Max	0.019	0.021	0.024	0.045	0.040	0.039	0.030	0.039	--
arith.Mittel	0.014	0.010	0.015	0.019	0.023	0.024	0.024	0.024	--
geom. Mittel	0.013	0.014	0.014	0.017	0.024	0.026	0.025	0.025	--
Orthophosphat									
Min	0.008	0.008	0.009	0.016	0.022	0.021	0.021	0.019	0.030
Max	0.025	0.025	0.024	0.055	0.059	0.067	0.064	0.080	0.070
arith.Mittel	0.015	0.015	0.017	0.028	0.037	0.036	0.036	0.035	0.050
geom. Mittel	0.014	0.014	0.017	0.027	0.038	0.036	0.036	0.036	0.048
Gesamtphosphor									
Min	0.011	0.021	0.020	0.023	0.065	0.062	0.063	0.066	0.050
Max	0.042	0.038	0.053	0.077	0.099	0.104	0.121	0.160	0.200
arith.Mittel	0.027	0.029	0.031	0.043	0.073	0.075	0.075	0.100	0.090
geom. Mittel	0.025	0.028	0.029	0.040	0.079	0.080	0.080	0.105	0.091
Anzahl der Messkampagnen	7	7	7	14	12	12	12	12	26

4.1.2 Hydrologische Parameter

Abfluss und Wasserstände

Während der drei Probenahmekampagnen gab es teilweise grosse Unterschiede in der Wasserführung des Hochrheins. Die Probenahme im Januar fand bei Niedrigwasserstand statt. Bei der Juni-Kampagne führte der Rhein zeitweise bis $4\frac{1}{2}$ mal mehr Wasser als bei der Probenahme im Winter (gemessen beim Kraftwerk Rheinfelden). Die Oktoberwerte lagen wieder im Bereich des Normalpegels. Abbildung 5 zeigt die Jahresabflusskurven an drei Abfluss-Messstationen der Landeshydrologie. Die Lage der Probenahmetermine in bezug auf die Abflussverhältnisse sind in den Abbildungen 6a bis 6c dargestellt. Besonderen Einfluss auf die Wasserführung im Rhein haben die Thur und die Aare, beides Zuflüsse mit alpinem Einzugsgebiet. Bei Hochwasser kann sich die Wasserführung im Rhein unterhalb der Thur-mündung mehr als verdoppeln, unterhalb der Aare nochmals verdreifachen.

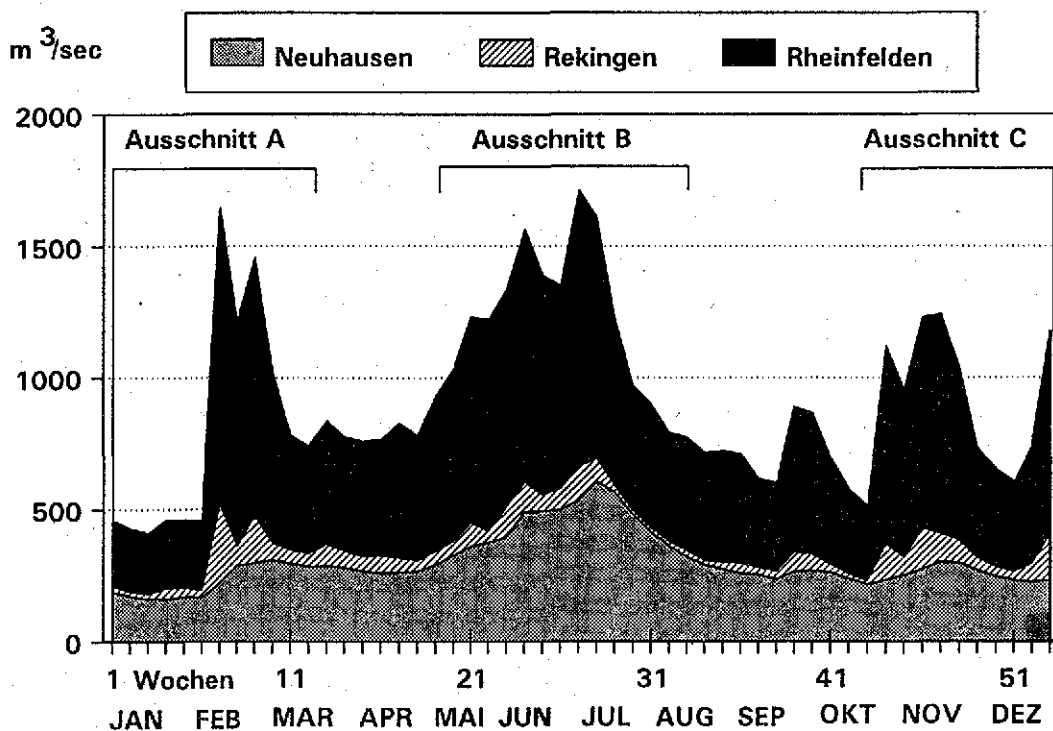


Abb. 5: Jahresgangkurven (Wochenmittelwerte 1990) der drei Abfluss-Messstellen Neuhausen (Rh-km 46), Rekingen (Rh-km 91) und Rheinfelden (Rh-km 149). Die Ausschnitte A bis C entsprechen den Abbildungen 6a bis 6c. Datengrundlage: LANDESHYDROLOGIE (1990).

Der Anstieg der Wasserführung setzte je nach Abflussquerschnitt der einzelnen Probenahmestellen (Abb. A 1.1 bis A 1.9, Anh. 1) entweder vermehrt Uferstrukturen unter Wasser (naturnahe Flachuferbereiche) oder führte vorrangig zur Erhöhung der durchschnittlichen Abflussgeschwindigkeit (bei Uferverbau und Regelquerschnitt). Im Verhältnis zum Abflussprofil stieg dabei der Wasserspiegel des Rheins innerhalb verbauter Abschnitte (insbesondere unterhalb der Aaremündung) stärker als in naturnahen Bereichen (insbesondere oberhalb der Aaremündung). Innerhalb der Stauwurzeln einiger Rheinkraftwerke - besonders bei Rheinau und bei Tössegg (Kraftwerk Eglisau) ersichtlich - führte das Juni-Hochwasser nur zu minimalen Wasserspiegelschwankungen (Ausgleichswirkung der Staustufen). Bei Tössegg fanden wir jedoch eine drastische Erhöhung der durchschnittlichen Abflussgeschwindigkeit, eine Folge der erhöhten Abflussmenge über das Wehr bei Eglisau.

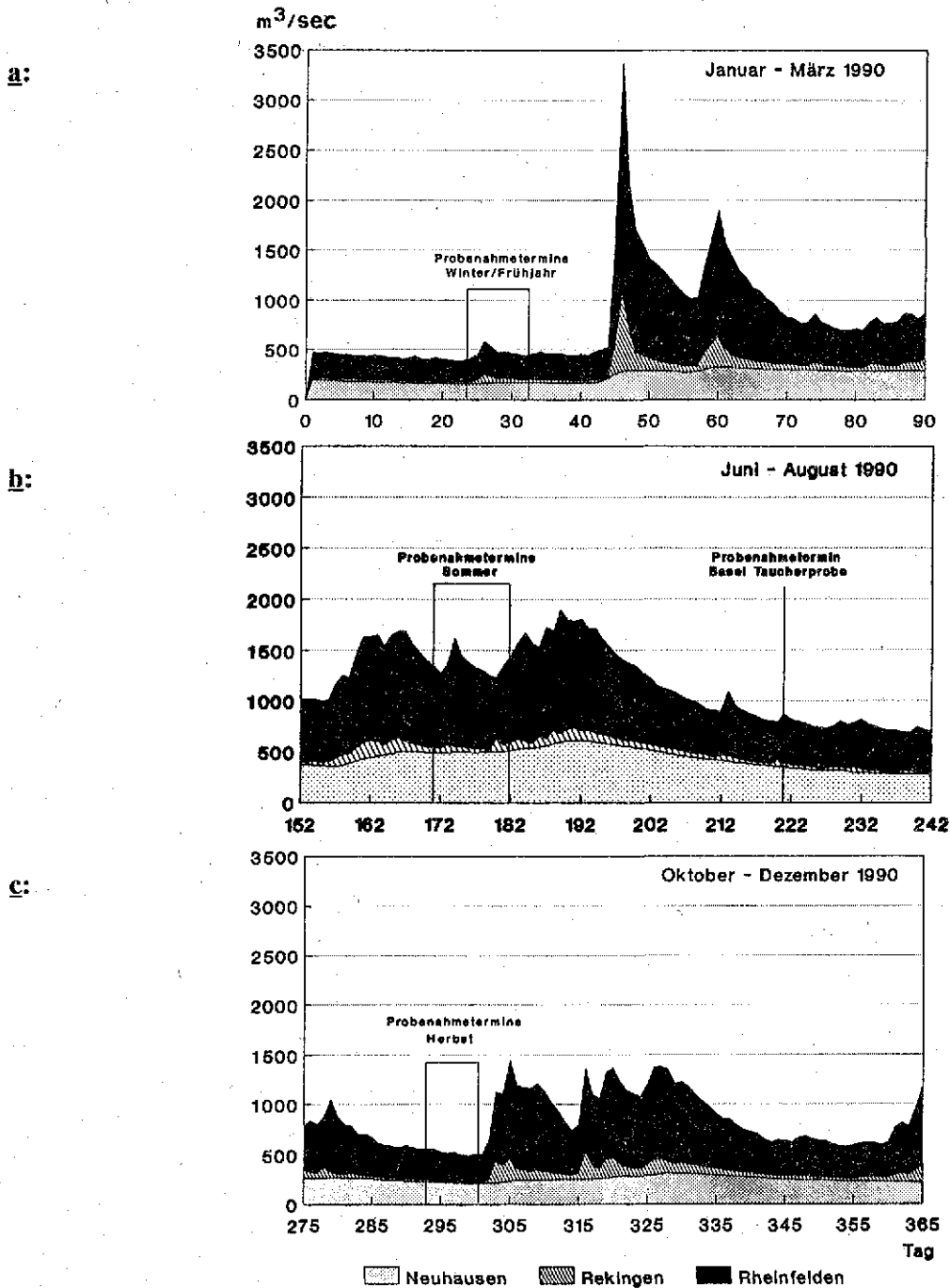


Abb. 6a-c: Abflussregime an drei Abfluss-Messstellen am Hochrhein während der drei Zeitabschnitte der Probenahme. Datengrundlage: LANDESHYDROLOGIE (1990).

Strömungsregime

Unterschiedliche Strömungen haben einen grossen Einfluss auf die Substratsortierung der Stromsohle und die Dominanzverhältnisse der Fliesswasserorganismen. Im untersuchten Rheinabschnitt konnten wir direkt über dem Substrat Fliessgeschwindigkeiten zwischen 0.05 (Rheinau) und 1.5 m/sec (Waldshut, Juni) messen. Im Vergleich dazu lagen die Werte an der Wasseroberfläche zwischen 0.02 (Rheinau, Juni) und 2.3 m/sec (Ellikon, Juni). Im Uferbereich waren die gemessenen Werte stets deutlich niedriger als an den Probenahmepunkten an der Flusssohle (Abb. 7).

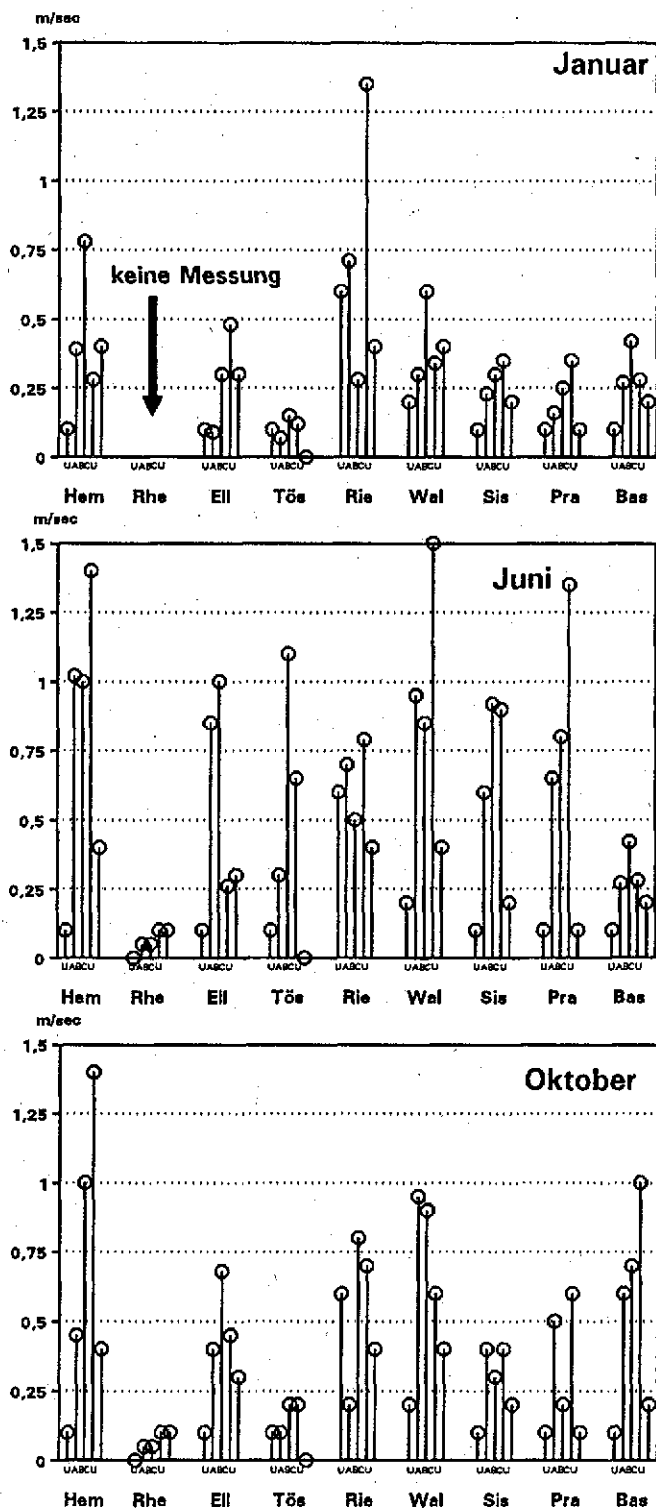


Abb. 7: Fließgeschwindigkeiten über Grund an allen Probenahmestellen (Probenahmepunkte der Teilproben: A,B,C = Flusssohle; U = Ufer links und rechts).

Stark ausgeprägte kleinräumige Strömungsunterschiede, wie wir sie an naturnahen Rheinabschnitten (Hemishofen, Ellikon, Rietheim) vorfanden, fehlten aufgrund der zunehmenden Uniformität des Abflussquerschnitts unterhalb der Aaremündung. Die durchschnittlichen Fließgeschwindigkeitswerte innerhalb der Rückstaubereiche Rheinau und Tössegg lagen immer deutlich unter denjenigen anderer Probenahmestellen.

4.1.3 Flussmorphologie

Stromsohle

Anhand der **Substratkartierung** konnten grundlegende Unterschiede zwischen den verschiedenen Probenahmestellen und zwischen den Teilproben innerhalb einzelner Querprofile festgestellt werden. Welche Substratkategorien (Definition: Kap. 3.1) an den einzelnen Probenahmestellen dominierten, geht aus Abbildung 8 (S. 20) hervor.

Entsprechend den vorherrschenden Fliessgeschwindigkeiten dominierten Schotter (d: 20-60 mm) und Steine (d: 60-200 mm) im schnell überströmten Teil der Querprofile bei Tössegg, Rietheim und Waldshut. Die Probenahmestelle bei Ellikon war als einzige durch einen relativ hohen Anteil an Kiessubstrat geprägt. Im Staubereich bei Rheinau dominierte ein Substrat aus Lehm, Sand und Schlamm.

Anhand der **Substratbildauswertung** wird deutlich, dass überall dort, wo ein stark variables Tiefenprofil vorhanden ist, auch eine grössere Vielfalt unterschiedlicher Substrate vorliegt. Anhand der Ergebnisse für die Probenahmestellen bei Hemishofen (naturnaher Rheinabschnitt mit hoher Strukturvielfalt und ohne Uferverbau), bei Rheinau (Rückstaubereich ohne Substratumlagerung, starke strukturelle Verarmung, einseitiger Uferverbau) und bei Basel (Rheinverbauung im Stadtbereich, trapezförmiges Profil, beidseitiger Uferverbau, kein ungestörter Übergang zwischen Stromsohle und Ufer, Strukturverarmung) kann dies gut gezeigt werden (Abb. 9, S. 21). Die Profilstruktur und die daraus resultierenden Strömungsmuster sortieren an solchen Stellen das Substrat nach Grösse und Gewicht. Feinsedimente lagern sich in strömungsarmen, flachen Uferbuchten ab, während an überströmten Stellen mit steigender Fliessgeschwindigkeit die Kornstruktur immer gröber wird. Es bilden sich ein kleinräumiges Mosaik von Substratkombinationen und damit auch vielfältige Siedlungsmöglichkeiten für Benthosorganismen.

Naturnahe Abschnitte beschränken sich im Hochrhein fast ausschliesslich auf die Strecke zwischen Boddensee und Aaremündung. Die für solche Abschnitte typischen Probenahmestellen bei Hemishofen, Ellikon und Rietheim zeichnen sich durch einen kontinuierlichen Übergang zwischen Ufer und Stromsohle aus. Damit sind uneingeschränkte Ausbreitungsmöglichkeiten zwischen Stromsohle und Ufer für die Makroinvertebraten gegeben. Bei einem trapezförmigen Flussquerschnitt, wie er oberhalb der Staustufen zu finden ist und dem sich das Gerinne der Hochrhains auch im Grossraum Basel nähert (Abb. A 1.7 bis A 1.9, Anh. 1), sind diese Ausbreitungswege dagegen für viele Organismen eingeschränkt. Nur wenige Insektenarten können hier ihren gesamten Entwicklungszyklus durchlaufen (Fehlen der Eiablage- und Schlupfplätze). Ufersicherungen aus Granit, Jura- oder Muschelkalk prägen das Bild auf beiden Seiten des Rheins im Grossraum Basel. Diese stellenweise vor allem mit Mollusken dicht besiedelten Fremdsubstrate führen zu einer noch weiteren morphologischen und ökologischen Trennung von Uferbereich und Stromsohle. Staustufen bilden für viele Arten unüberwindbare Ausbreitungshindernisse ebenso wie die dazugehörigen Rückstaubereiche, die meist in sich abgeschlossene limnische Lebensräume darstellen.

Neben qualitativen und quantitativen Aussagen zur Substratbeschaffenheit konnte mit Hilfe der Substrataufnahmen auch ein Einblick in die Besiedlungstexturen wichtiger ortsgebundener Organismengruppen gewonnen werden (z.B. *Dreissena*-Kolonien, Schwämme, Hydropsyche-Netze, Chironomidenköcher). Nebenbei gelang mit der Substratphotographie auch der Nachweis von Organismen, die in den Benthosproben nicht gefunden wurden, wie z.B. die an allen Stellen vorkommenden Schwämme und die Muschel *Unio crassus* (Kap. 4.2).

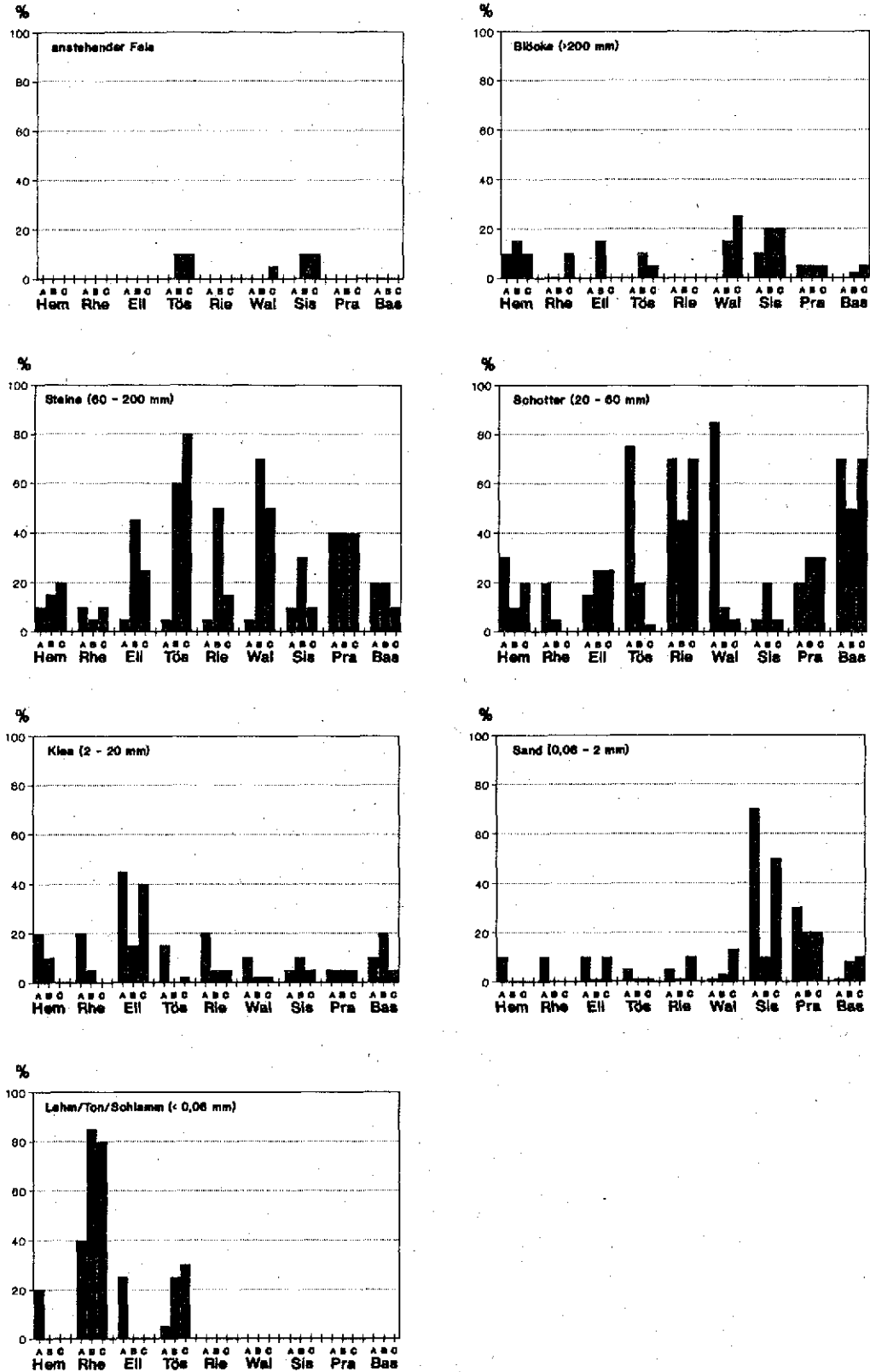


Abb. 8: Flächenanteile der dominierenden Substratkategorien auf der Stromssole an den einzelnen Probenahmestellen bezogen auf die probierte Fläche.

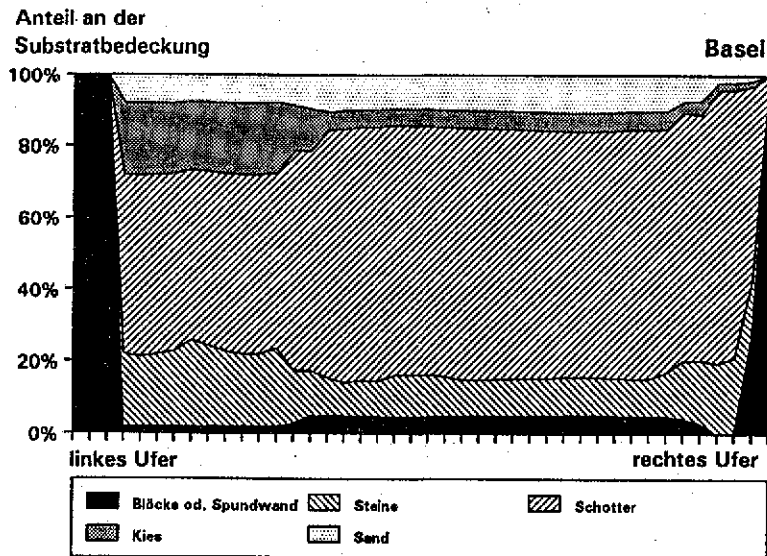
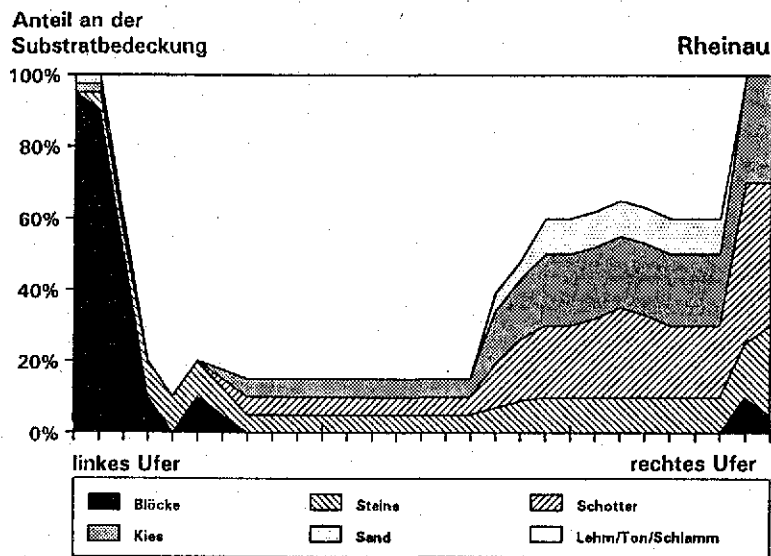
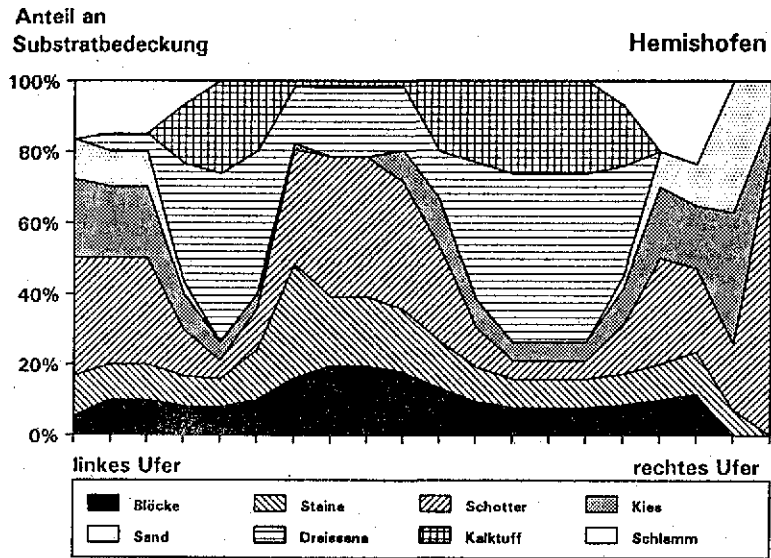


Abb. 9: Flächenanteile der dominierenden Substratkategorien (bezogen auf die gesamte Substratfläche) auf der Stromsohle in ausgewählten Probenahmequerschnitten.

Entscheidend für die Besiedlung der Steinunterseiten und des Interstitials ist der **Kolmatierungsgrad** der Substratoberfläche (Abb. 10). Stärkere Kolmatierung war im Bereich der Kalktuffbänke in Hemishofen, im Bereich grösserer Schlammablagerungen bei Tössegg und unterhalb der Ausbaggerungsstelle Laufenburg in Sisseln festzustellen.

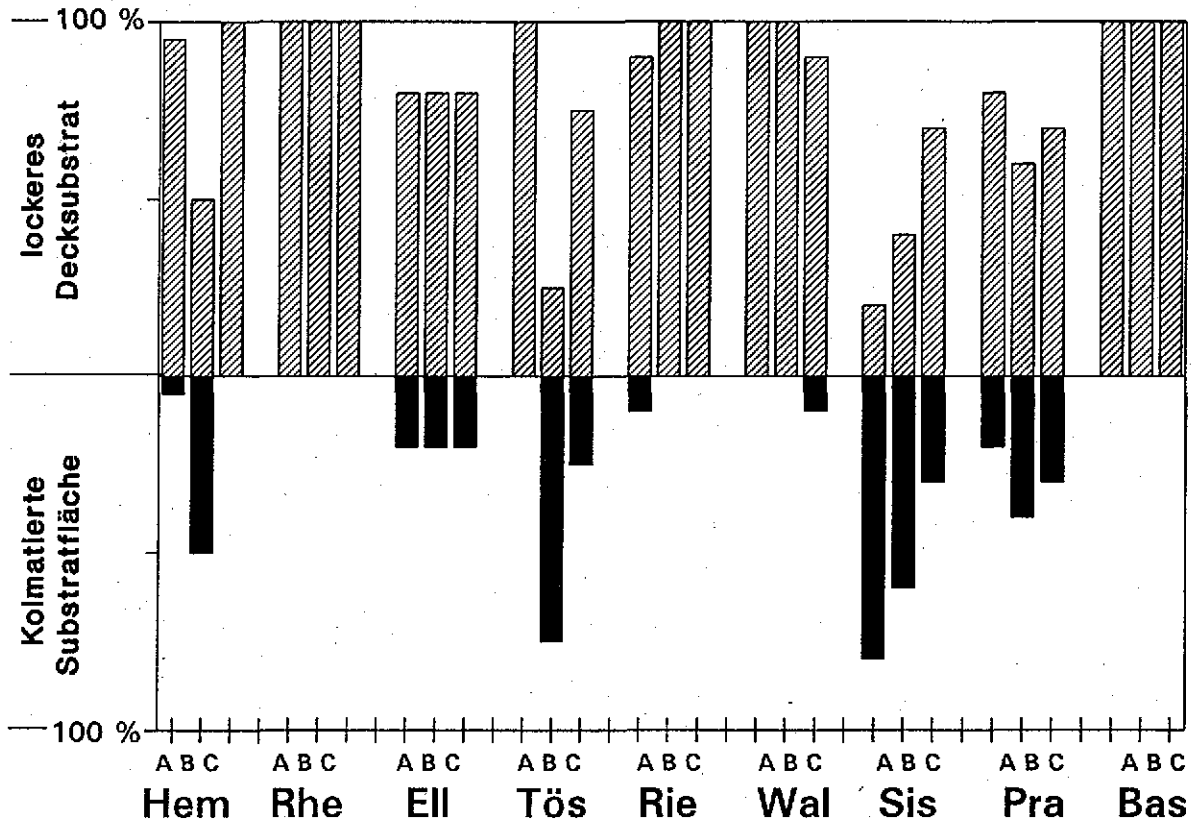


Abb. 10: Kolmatierungsgrad an den verschiedenen Probenahmestellen bezogen auf die gesamte Substratfläche.

Insbesondere im Hochrheinabschnitt oberhalb der Aaremündung lag eine reiche **Bedeckung des Sohlensubstrates** vor (Abb. 11). Vielerorts waren neben Muschelschalen und Fallaub vor allem Feinsedimente vorhanden. Bei Hemishofen und am Tössegg waren *Dreissena*-Bänke vorzufinden. Diese Bedeckung des Substrates hat zum Teil natürliche Ursachen, macht an einigen Stellen aber auch den Einfluss anthropogener Eingriffe deutlich. So fanden wir bei allen Aufnahmen aus dem Rückstaubereich bei Rheinau von einer weichen Feinsedimentschicht bedecktes Substrat aus Kies, Rheinschotter und Muschelschalen (vgl. Bild A 2.2, Anh. 2). An der Probenahmestelle bei Sisseln war die Flusssohle infolge der 1989 begonnenen Ausbaggerungsarbeiten zur Sohlenabsenkung unterhalb der Staustufe Laufenburg auf vielen Flächen mit Sand und Schwebstoffen zusedimentiert (vgl. Bild A 2.7, Anh. 2) und kolmatiert. Ablagerungen von Feinsediment und Sanddrift führen zu einer Beschränkung der Siedlungsmöglichkeiten für die auf Hartsubstrate (Kies, Schotter, Steine, Blöcke, Fels) und Interstitial angewiesenen Benthosorganismen. An der Stelle C (Abb. A 1.9, Anh. 1) in Basel war zu allen Jahreszeiten das Substrat fast gänzlich frei von Aufwuchs und Feinsediment.

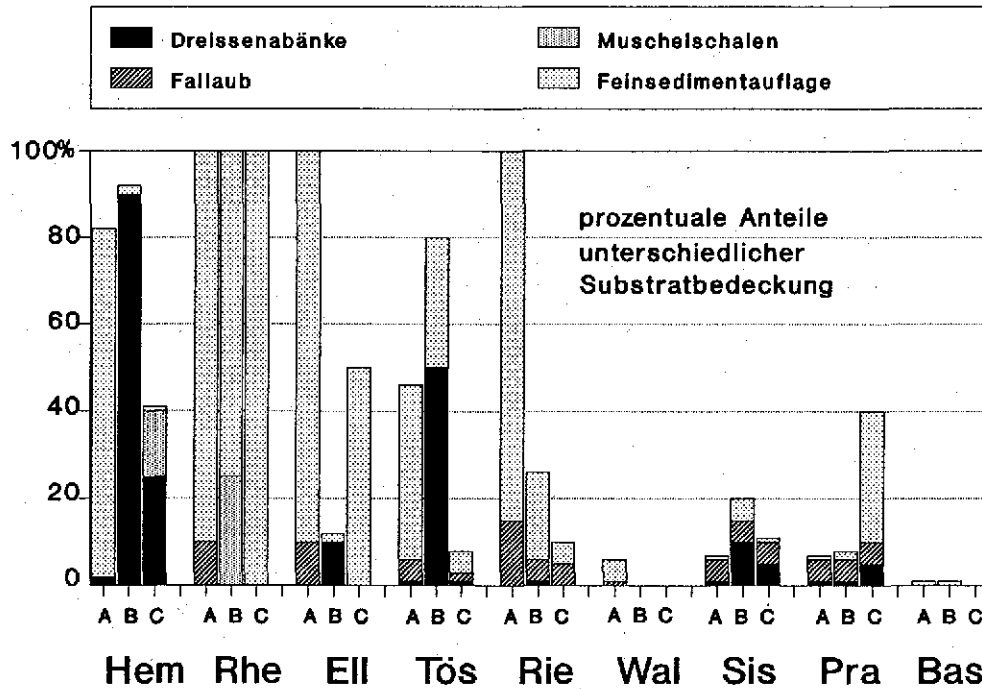


Abb. 11: Deckschichten über dem Substrat der einzelnen Teilprobestellen (bezogen auf die gesamte Substratfläche).

Die Vegetation auf der Flussole war ebenfalls auf den Abschnitten oberhalb der Aaremündung ausgeprägt (Abb. 12). Während bei Hemishofen, im Staubereich bei Rheinau und bei Tössegg die Kieselalgen vorherrschten, war in Ellikon ein besonders dichter Bewuchs mit Makrophyten (*Ranunculus fluitans*) zu beobachten. Fadenalgen besiedelten vor allem in Rietheim und Waldshut die Flussole.

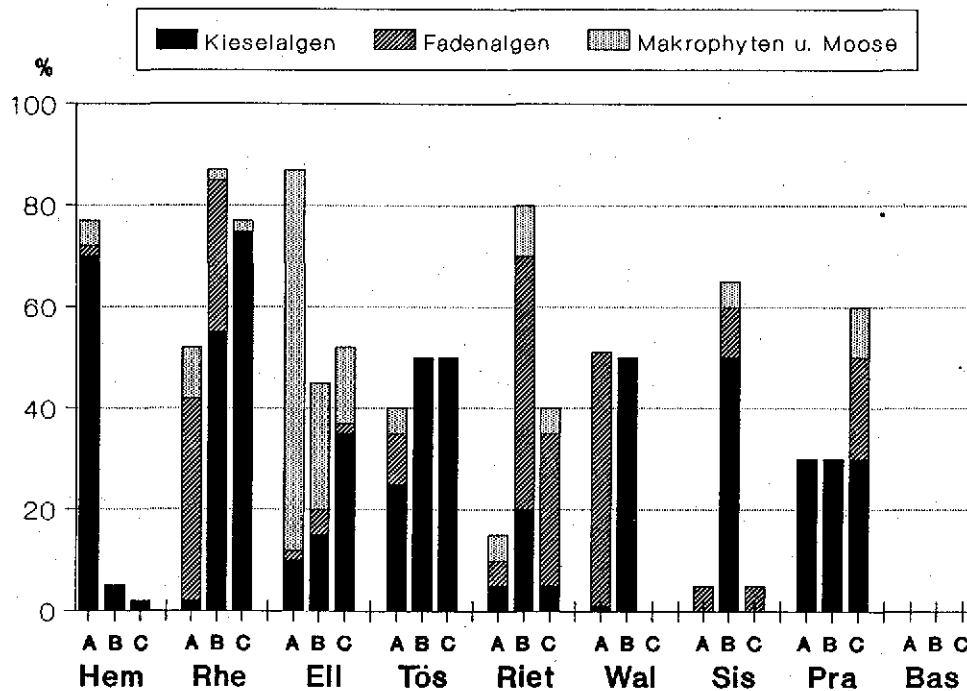


Abb. 12: Flächenanteile und Art der submersen Vegetation an den einzelnen Probestellen bezogen auf die gesamte Substratfläche.

Uferbereich

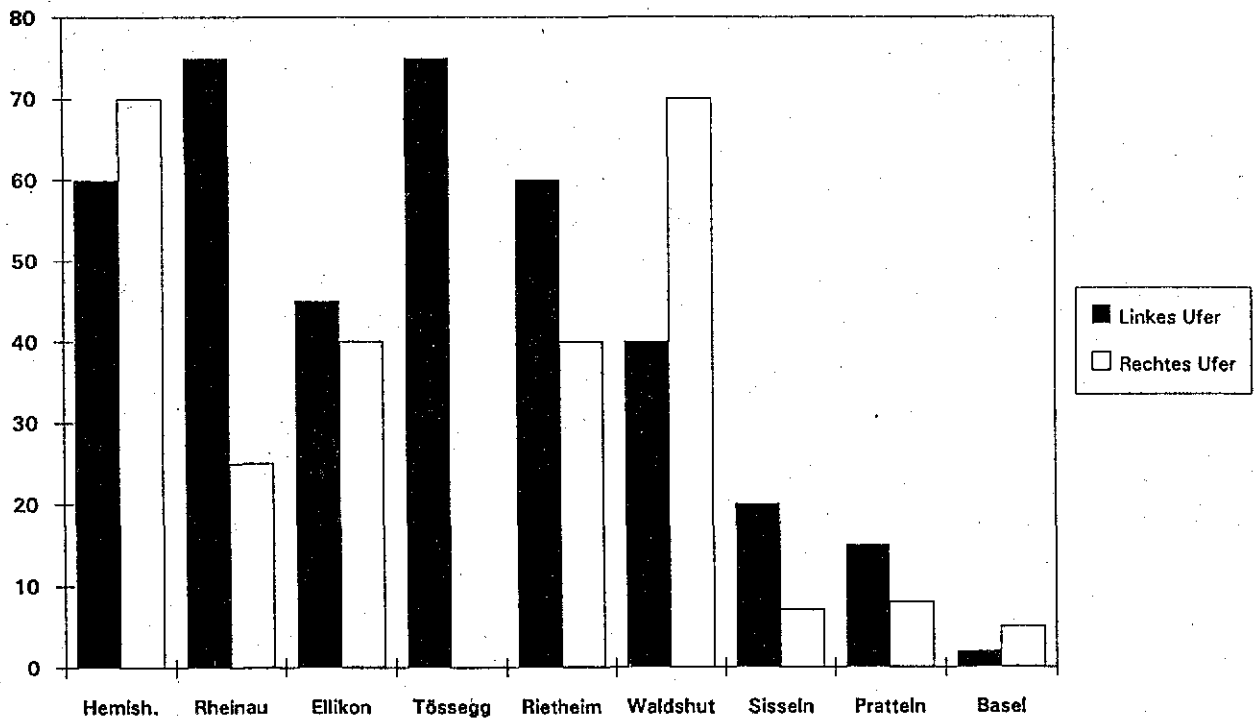
Die im Uferbereich vorhandene Substratzusammensetzung (und damit die Besiedlungsmöglichkeiten für die Makrofauna) war durch die sehr unterschiedlichen Verhältnisse bezüglich der Fliessgeschwindigkeit geprägt. So fanden sich zum Beispiel im Streckenabschnitt oberhalb der Aaremündung, bei Rheinau und Tössegg, entsprechend den gemessenen niedrigen Fliessgeschwindigkeiten am Ufer ausgedehnte schlammige Uferabschnitte. Bei Hemishofen, Ellikon, Rietheim und Waldshut war dagegen an beiden Ufern je ein unterschiedlich grossflächiger Streifen mit schnell überströmtem kiesig-steinigem Substrat vorhanden. An einigen Uferprobenahmestellen waren zusätzlich häufige Schwankungen des Wasserstandes entscheidend für die Substratzusammensetzung. So konnten in Hemishofen, Ellikon, Rietheim und Waldshut auf flach überströmten Uferflächen schlammige Überzüge auf steinigem Substrat festgestellt werden, während diese bei erhöhtem Wasserstand und nur leicht veränderter Fliessgeschwindigkeit wieder verschwanden.

An Probenahmestellen mit relativ natürlich erhaltenen Uferstrukturen (Hemishofen, Ellikon, Rietheim, Waldshut) und variierenden Fliessgeschwindigkeiten im Gewässerquerschnitt wechselten sich schnell durchströmte flache Zonen und tiefere schlammige Flächen auf relativ kleinem Raum ab. Die Substratzusammensetzung wies hier an beiden Uferseiten häufig erhebliche Unterschiede auf.

Mit abnehmender Natürlichkeit der Sohlstrukturen und zunehmendem Uferverbau konnte eine zunehmende Vereinheitlichung des anstehenden Substrates an beiden Ufern verzeichnet werden (Sisseln, Pratteln, Basel).

Wie Abbildung 13a zeigt, bestehen im Bereich zwischen Hemishofen und Waldshut grosse Anteile des anstehenden ufernahen Sedimentes aus natürlichem steinigem Substrat ($d > 2\text{cm}$). Dieses nimmt an den folgenden drei Untersuchungsstellen kontinuierlich ab, während sich der Anteil des künstlichen Substrates bis in den Bereich von Basel mit nahezu 100-prozentiger Uferverbauung deutlich erhöht (Abb. 13b). Auf diesen Strecken mit starkem Uferverbau (Steinwurf, Blocksatz, Mauern) sind nur schmale und meist schon nach wenigen Zentimetern steil abfallende Uferbänke mit gleichbleibender Strömung und Substratzusammensetzung vorhanden. In Stauräumen wurden zudem auf Kies- und Steinsubstraten sowie in den Interstitialräumen ganzjährig Ablagerungen von Feinschlamm festgestellt.

a: % Fläche



b: % Fläche

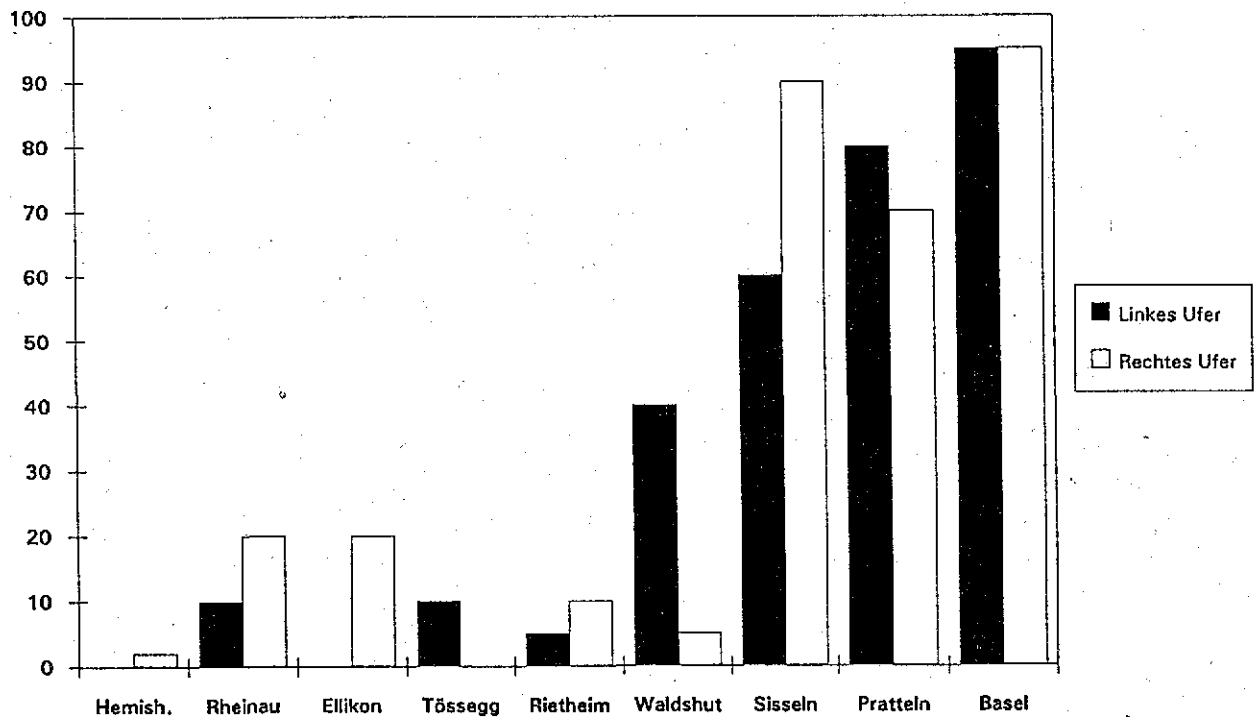


Abb. 13a-b: Anteil des natürlichem Kies/Steinsubstrates (a) und des künstlichen Sohlensubstrates (b) an den Probenahmestellen (% Flächendeckung bei Wassertiefe 0 - 50 cm und Uferlänge ca. 100m).

4.2 Verbreitung der Makroinvertebraten im Hochrhein

4.2.1 Verbreitung der Arten im Längsverlauf

Artenliste

Die während der drei Probenahmen an den 9 Stellen im Hochrhein gefundenen Taxa sind in der Tabelle 4 (S. 28) zusammengestellt. Eine Bestimmung der Proben auf Artniveau wurde im Rahmen dieses Programms in Hinblick auf die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse nicht für alle taxonomischen Gruppen durchgeführt. So wissen wir beispielsweise von CASPERS (1990), dass in den von uns berücksichtigten Unterfamilien der Chironomiden (Zuckmücken) noch auf Höhe von Rheinfeldern mehr als 40 Arten "verborgen" sein können. WILSON & WILSON (1985) berichten sogar, dass im Hochrhein auf kleinstem Raum Unterschiede von 20-60 Chironomidenarten vorzufinden sind.

Verbreitungstypen

Im Hochrhein lassen sich unterschiedliche Verbreitungstypen voneinander abgrenzen. Dabei ist zu beachten, dass einzelne Arten mehr als einem Typ zugehören können:

Typ 1: Weitverbreitete Arten, die in allen Abschnitten vorkommen

Hierzu gehören beispielsweise einige Molluskenarten wie *Dreissena polymorpha*, *Bithynia tentaculata* und *Ancylus fluviatilis*. Bei den Eintagsfliegen sind es *Baetis rhodani*, *Baetis fuscatus*, *Ephemerella ignita* und *Potamanthus luteus*, bei den Köcherfliegen *Cheumatopsyche lepida*, *Hydropsyche contubernalis*, *Hydropsyche pellucidula*, *Psychomyia pusilla* sowie *Polycentropus flavomaculatus*. Auch für die Flohkrebse *Gammarus fossarum*, *Gammarus pulex* sowie die Grundwanze *Aphelocheirus aestivalis* sind im Hochrhein die Standortverhältnisse an den meisten Stellen noch geeignet für die Aufrechterhaltung einer stabilen Population.

Typ 2: Stillwasserarten mit Verbreitungsschwerpunkt im Bodensee

Diese Gruppe setzt sich aus Formen zusammen, die in der Geröllfauna des Bodensees dominieren und auch im Rhein in Stillwasserbereichen - vor allem in Rückstaubereichen oberhalb von Staustufen - vorkommen. Typisch für diese Gruppe sind die Köcherfliegenlarven der Spezies *Tinodes waeneri* sowie die Familie der Leptoceriden.

Typ 3: Seeabflussarten

Seeabflussarten bleiben in der Regel auf die ersten Flusskilometer unterhalb eines Sees bzw. eines Staubereichs beschränkt. Die dichte Abfolge von Staubereichen mit den dazugehörigen "Seeabflüssen" im Hochrhein ermöglicht jedoch die weitere Verbreitung dieses Typs rheinabwärts. Charakteristisches Mitglied dieser Gruppe ist die Köcherfliegenlarve *Neureclipsis bimaculata*, eine Polycentropodide mit bis zu 30 cm langen, trichterförmigen Netzen, mit denen sie aus dem See abdriftendes Zooplankton abfängt.

Typ 4: Potamale Arten

Arten dieses Typs kommen schwerpunktmässig in Fließgewässern vor, in denen der Flusscharakter (potamal) dominiert. Ihr relativer Anteil gegenüber verwandten Arten liegt daher in allen Hochrheinabschnitten und der Aare über dem der kleineren Hochrheinzuflüsse, bei einigen Arten nimmt er auch rheinabwärts zu. Vertreter dieses Typs sind die Hydropsychiden *Cheumatopsyche lepida*, *Hydropsyche pellucidula* und *H. exocellata*, die Eintagsfliegen *Potamanthus luteus* (Name!) und *Heptagenia sulphurea*, die in ihrem Entwicklungszyklus auf grössere Wassertiefen angewiesen ist. Bei der meist als potamal eingestuften Art *Hydropsyche contubernalis* spielen noch geographische Verbreitungsschwerpunkte

eine Rolle (vgl. Kap. 5.2). Sie zeigt jedoch im Verhältnis zu den anderen Hydropsychiden die deutlichste Zunahme rheinabwärts.

Typ 5: Rhithrale (rheophile) Arten

Rhithrale Arten, die wir vor allem aus Berg- und strömungsreichen Mittellandsbächen kennen, sind fast ausnahmslos auf entsprechend naturnahe, schnellfließende Abschnitte im Hochrhein beschränkt, innerhalb derer sie auch Reproduktionschancen haben. In der vorliegenden Untersuchung waren sie daher vor allem in Ellikon und Rietheim vertreten. Auch an anderen Stellen kam es zu Einzelfunden, wir führen dies jedoch hauptsächlich auf den Einfluss von Rheinzufüssen (Thür, Töss, Wutach, Alb, Wehra) sowie auf Driftphänomene im Längsverlauf des Hochrheins zurück (REY ET AL., 1991a+b). Typische Bergbacharten sind die Eintagsfliegen *Rhithrogena semicolorata*, *Epeorus sylvicola* sowie die 4 Arten der *Ecdyonurus-venosus*-Gruppe. Bei den Steinfliegen sind es alle Perliden und Perlodiden, *Nemoura*, *Amphinemoura* und v.a. *Protonemoura*, bei den Kriebelmücken die Arten *Simulium monticola* und *Simulium variegatum*.

Typ 6: Neozoa (Einwanderer und eingeschleppte Arten)

Für diese Gruppe gibt es zwei Wege, den Hochrhein zu besiedeln: vom Bodensee oder vom Oberrhein aus. Einige Arten sind vorerst nur unterhalb von Basel oder im Bereich Basel nur in einzelnen Exemplaren nachgewiesen, hierzu gehören die Amphipoden *Gammarus tigrinus* und *Echinogammarus beriloni*. Die Süßwassergarnele *Athyaephyra desmaresti*, von der wir auf Höhe des Kaiserstuhls und im Altrheinverbundsystem schon Individuenzahlen von stellenweise mehreren Tausend Tieren pro m² nachweisen konnten (SCHRÖDER & REY, 1991), breitet sich langsam in Richtung Hochrhein aus. Unsere Proben enthielten als wichtigste Vertreter dieses Typs *Dreissena polymorpha* und den Gastropoden *Potamopyrgus antipodarum*. Die Art hat bereits den gesamten Hochrhein vom Bodensee und einigen Schweizer Seen aus besiedelt und ist vor allem auch im Oberrhein in hohen Abundanzen anzutreffen.

Tab. 4: Verbreitung (Jan./Feb., Juni/Juli, Okt. 1990) der Makroinvertebraten im Hochrhein (s = nachgew. auf der Stromsohle; u = am Ufer; su = auf der Stromsohle und am Ufer; () = während der Probenahme beobachtet; undet. = nicht bis zum nächst tieferen taxonomischen Niveau bestimmt).

RHEINKILOMETER	29	56	63.8	70.6	97.8	102.2	125.9	157.2	167.1
PROBESTELLE	HEM	RHE	ELL	TÖS	RIE	WAL	SIS	PRA	BAS
TAXAZAHL	79	63	86	83	88	79	71	59	52
PORIFERA									
<i>Ephydatia</i> sp.	s	s	s	s	s	s	s	s	s
TRICLADIDA									
<i>Dendrocoelum lacteum</i>	SU	U	S	S	SU	SU	S	SU	U
<i>Dugesia gonocephala</i>	S		S	S	S	S		S	SU
<i>Dugesia lugubris/polychr.</i>	SU	SU	SU	SU	U	SU	U	SU	SU
<i>Dugesia tigrina</i>	S								
<i>Polycelis nigra/tenuis</i>	S		S	S		S	S		
OLIGOCHAETA									
Tubificidae undet.	SU	SU	S	SU	SU	SU	SU	SU	SU
Lumbriculidae undet.	SU	S	S	SU	SU	S	SU	S	S
Naididae undet.		S	S		S				
Lumbricidae undet.	S		S	S	S	S	SU	S	
<i>Eiseniella tetraedra</i>	SU	S	SU	SU	S	SU	SU	SU	SU
HIRUDINEA									
<i>Erpobdella octoculata</i>	S U	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU
<i>Erpobdella testacea</i>				U	U				U
<i>Haemopsis sanguisuga</i>							U		
<i>Helobdella stagnalis</i>	SU	SU	S	SU	SU	SU	SU		S
<i>Glossiphonia complanata</i>	(s)u	SU	SU	S	SU	SU	SU	SU	U
<i>Glossiphonia heteroclita</i>						S			
<i>Piscicola geometra</i>	SU	U	SU	SU	SU	S	U	S	
NEMATODA									
			S		S	S	S		
NEMATOMORPHA									
			S						
MOLLUSCA									
<i>Anodonta cygnaea</i>	(u)								
<i>Unio crassus</i> - Gruppe	(u)			(s)					
<i>Dreissena polymorpha</i>	S U	S U	S U	S U	S U	S U	S U	S U	S U
Sphaeriidae undet.	SU	S	S	S	S		S		
<i>Sphaerium corneum</i>	U	SU		S		S	SU	SU	U
<i>Pisidium</i> sp.	U	U		SU	U	U	U	SU	
<i>Ancylus fluviatilis</i>	S U	U	SU	S	SU	SU	SU	SU	SU
<i>Bithynia tentaculata</i>	S	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU
<i>Planorbis planorbis</i>	S	SU							
<i>Planorbis carinatus</i>	S U	(s)	S						
<i>Bathyomphalus contortus</i>	S	U	S	S					
<i>Gyraulus albus</i>	S	U				S			
Hydrobiidae undet.	S	S		S					
<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	SU	SU		S	U	U	U	SU	
<i>Physella acuta</i>						S			
<i>Radix auricularia</i>	S								
<i>Radix ovata/peregra</i>	SU		S		U	U	SU	SU	
<i>Theodoxus fluviatilis</i>								SU	SU
<i>Valvata piscinalis</i>		S		S	U		U		
<i>Valvata cristata</i>			S						
<i>Viviparus viviparus</i>		S(u)							
<i>Segmentina nitida</i>		U	S						

Tab. 4 (Fortsetzung)

	HEM	RHE	ELL	TÖS	RIE	WAL	SIS	PRA	BAS
HYDRACARINA			S		S	S		S	
CRUSTACEA									
<i>Asellus spec.</i>	SU	SU	SU	SU	S	SU	SU	U	SU
Gammaridae undet.	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU	S	S
<i>Gammarus pulex</i>	SU		SU	S	SU	SU	SU	SU	SU
<i>Gammarus fossarum</i>	SU	S	SU	SU	SU	SU	SU	S	SU
<i>Gammarus roeselii</i>	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU	U	SU
ODONATA									
<i>Platycnemis sp.</i>					U				
<i>Calopteryx splendens</i>					U			U	
HETEROPTERA									
<i>Notonecta glauca</i>					U				
<i>Aphelocheirus aestivalis</i>	S		SU	S	SU	SU	SU	S	S
<i>Corixidae undet.</i>		U			U				
EPHEMEROPTERA									
Baetidae undet.	SU		S	S	SU	S	SU	S	S
<i>Baetis fuscatus</i>	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU
<i>Ecdyonurus sp.</i>			SU		SU	SU			
<i>Epeorus sylvicola</i>			S		(U)			S	
<i>Heptagenia sulphurea</i>	SU		SU	S	SU	SU	S	SU	SU
<i>Rhithrogena semicolorata</i>			(U)	U	S	S			
Caenidae undet.	SU	SU	SU	S	SU	S	S		
<i>Ephemerella ignita</i>	SU	SU	SU	U	SU	SU	SU	SU	SU
<i>Ephemerella major</i>								S	
Ephemeridae undet.	U	U	SU	SU	S		U	S	
<i>Paraleptophlebia sub.</i>			S	S	S				
<i>Habroleptoides confusa</i>			U						
<i>Potamanthus luteus</i>	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU	S
PLECOPTERA									
<i>Leuctridae</i>	U		S	S	S	S			S
<i>Nemouridae</i>	S						U		
<i>Amphinemoura sulcicollis</i>					S				
<i>Protonemoura sp.</i>					S				
<i>Brachyptera risi</i>				U					
<i>Perlodes sp.</i>			S						
DIPTERA									
Tipulidae undet.	S				S	S			
<i>Tipula sp.</i>	U		U	U	U	U	U		
Limoniidae undet.	SU		S	U	SU	U	U	U	SU
<i>Dicranota sp.</i>	U								
<i>Taphrophila sp.</i>	U		U			U			
Tabanidae undet.			U						
Anthomyiidae undet.				U		U			U
Psychodidae undet.	S				S	S			S
Simuliidae undet.	SU		SU	SU	SU	S	U	U	SU
Empididae undet.			S			U			S
Rhagionidae undet.					S				
Ceratopogonidae undet.				U		U			
<i>Bezzia sp.</i>			S	S	S		S		
Chironomidae undet.	S	S	S	S	S	S	S	S	S
<i>Chironomini</i>	S	S	SU	SU	SU	SU	S	SU	S

Tab. 4 (Fortsetzung)

DIPTERA Fortsetzung	HEM	RHE	ELL	TÖS	RIE	WAL	SIS	PRA	BAS
<i>Orthoclaadiinae</i>	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU
<i>Diamesinae</i>	SU	U		U	U	U	U	U	U
<i>Tanypodinae</i>	S	SU	SU	S	S	SU	S	SU	S
<i>Tanytarsini</i>	S	S	S	S	S	S	SU	SU	SU
TRICHOPTERA									
<i>Rhyacophila sp.</i>	U		SU	S	SU	SU	U		
<i>Agapetus fuscipes</i>	U				S				
<i>Glossosoma sp.</i>			S		S	S	S		
<i>Hydroptila sp.</i>		U	SU	S	SU	SU	U	U	SU
<i>Agraylea sp.</i>		SU			S				
<i>Cheumatopsyche lepida</i>	SU		S	S	SU	S	S	SU	S
<i>Hydropsyche contubern.</i>	SU		SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU
<i>Hydropsyche pellucidula</i>	SU	U	SU	S	SU	SU	S	S	
Hydropsychidae undet.	S	S	SU	S	S	S	S	S	S
Polycentropodidae undet.		S	S	S	S		S		S
<i>Polycentropus flavomac.</i>	U	SU	SU	SU	SU	U	SU	U	SU
<i>Cyrnus sp.</i>		U	S	U			U		
<i>Neureclipsis bimaculata</i>	S		SU		S		S	S	
Goeridae undet.	U		SU	S	SU	U	S		
<i>Tinodes waeneri</i>	SU	SU	SU	SU	U	U	U	U	U
<i>Psychomyia pusilla</i>	SU	U	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU
Odontoceridae undet.			S						
Limnephilidae undet.			S	S					
<i>Anabolia nervosa</i>	U	U	SU	S	U	U			
<i>Leptocerus sp.</i>	S	S	S	S		S	S	S	
<i>Ceraclea sp.</i>	SU	U	S	S		S	SU		U
<i>Mystacides sp.</i>	SU	SU	S	SU	S	S	SU	S	S
<i>Athripsodes sp.</i>	SU	SU	S	S	S	S	S	S	
Sericostomatidae undet.	S		S	S		SU	S	S	
<i>Lepidostoma hirtum</i>	SU	U	SU	S	S	SU	SU	S	S
MEGALOPTERA									
<i>Sialis sp.</i>		U		S					
PLANIPENNIA									
<i>Sisyra sp.</i>							(S)		
COLEOPTERA									
Dytiscidae undet.		SU		U					
<i>Potamonectes depressus</i>		SU			S				
Gyrinidae undet.			U	U		U	U		
<i>Orectochilus villosus</i>			S	S	S	S			
Haliplidae undet.	S	U		U	U				
<i>Stenelmis sp.</i>			SU	SU	S	S			
<i>Esolus sp.</i>				S					
<i>Riolus sp.</i>						U			
<i>Dryops sp.</i>					S				
<i>Elmis aenea/mauguetii</i>	SU	SU	SU	S	SU	SU	SU	SU	SU
<i>Limnius sp.</i>	SU	S	SU	SU	SU	SU	SU	SU	S

4.2.2 Besiedlung auf den Probenahmequerschnitten

Taxazahlen

Die Anzahl der an einer Probenahmestelle vorgefundenen Taxa kann Ausdruck für die Vielseitigkeit der Besiedlungsmöglichkeiten sein. Ein Vergleich der Ergebnisse setzt jedoch voraus, dass von einem einheitlichen taxonomischen Niveau ausgegangen wird, wie es bei der vorliegenden Untersuchung am Hochrhein der Fall war.

Hohe Taxazahlen fanden wir im Januar/Februar und Oktober bei niedrigem Abfluss auf dem Hochrheinabschnitt zwischen Bodensee und Aaremündung insbesondere in den Taucherproben (Abb. 14, S. 32). Auf der Aareseite bei Waldshut und dem gesamten weiteren Untersuchungsabschnitt bis Basel lagen sie um rund 20-30% niedriger als oberhalb der Aaremündung, so dass von einer deutlichen Abnahme des Artenreichtums auf der Stromsohle zwischen Rheinabschnitt B und C ausgegangen werden kann. Eine Ausnahme bildete der Rückstaubereich bei Rheinau, wo der Artenreichtum erwartungsgemäss am niedrigsten war. Im Juni/Juli waren die Taxazahlen generell tiefer als im Herbst und Winter sowie ausgeglichener zwischen den Probenahmestellen.

Bezogen auf die Uferproben war im Gegensatz zu den Ergebnissen der Taucherproben im Rheinlängsverlauf trotz zunehmender Verbauung und kürzer werdender Abstände zwischen den Staustufen in Richtung Basel kein eindeutiger Trend zur Abnahme der Taxazahlen zu beobachten. Die Abbildung 14 zeigt allerdings, dass an Untersuchungsstellen mit höherer Strömungsgeschwindigkeit in Ufernähe (Hemishofen, Ellikon, Rietheim und Waldshut) im Januar und Oktober auch hohe Taxazahlen vorzufinden waren. Bei der Juni-Untersuchung konnten nur Bereiche berücksichtigt werden, die bis kurze Zeit vorher trockengefallen waren und eine entsprechend geringe Besiedlung aufwiesen. Stellen mit geringer Strömungsgeschwindigkeit und schlammig-sandigem Sediment am Ufer (Tössegg, Sisseln und Pratteln) wiesen im Januar und Oktober relativ niedrige Taxazahlen auf.

An fast allen Probenahmestellen fällt auf, dass die Taxazahlen an den beiden Ufern zum Teil stark unterschiedlich waren. Diese Erscheinung war stellenweise (Hemishofen, Ellikon, Rietheim und Waldshut) mit der sich an beiden Ufern stark unterscheidenden Strömungsgeschwindigkeit und entsprechend ausgebildeten Substratstrukturen verbunden.

Individuenzahlen

An allen drei Probenahmeterminen zeigten sich an der Stromsohle charakteristische Unterschiede der Besiedlungsdichte im Querschnitt an den einzelnen Probenahmestellen sowie im Längsverlauf des Hochrheins. Die Unterschiede zwischen den Probenahmestellen im Abschnitt oberhalb der Aaremündung und denjenigen zwischen Aaremündung und Basel waren bei den Individuenzahlen noch viel deutlicher ausgeprägt als bei den Taxazahlen (vgl. Abb. 15, S. 34). Eine Ausnahme bildete wieder die Dichte der Stromsohlenbesiedlung im Staubereich bei Rheinau. Sie lag zu allen Jahreszeiten um mehr als 90% unter derjenigen der nächstgelegenen Stellen bei Hemishofen und Ellikon.

Die Besiedlungsdichten lagen im Januar und im Oktober auf dem Abschnitt zwischen Bodensee und Waldshut teilweise um ein Mehrfaches über denen unterhalb der Aaremündung. Im Juni waren diese Unterschiede geringer, wobei sicherlich Abdriftverluste durch Hochwasser eine entscheidende Rolle spielten. Auch Unterschiede zwischen den Einzelproben eines Querschnitts waren oberhalb der Aaremündung in der Regel deutlicher ausgeprägt als auf der Reststrecke bis Basel.

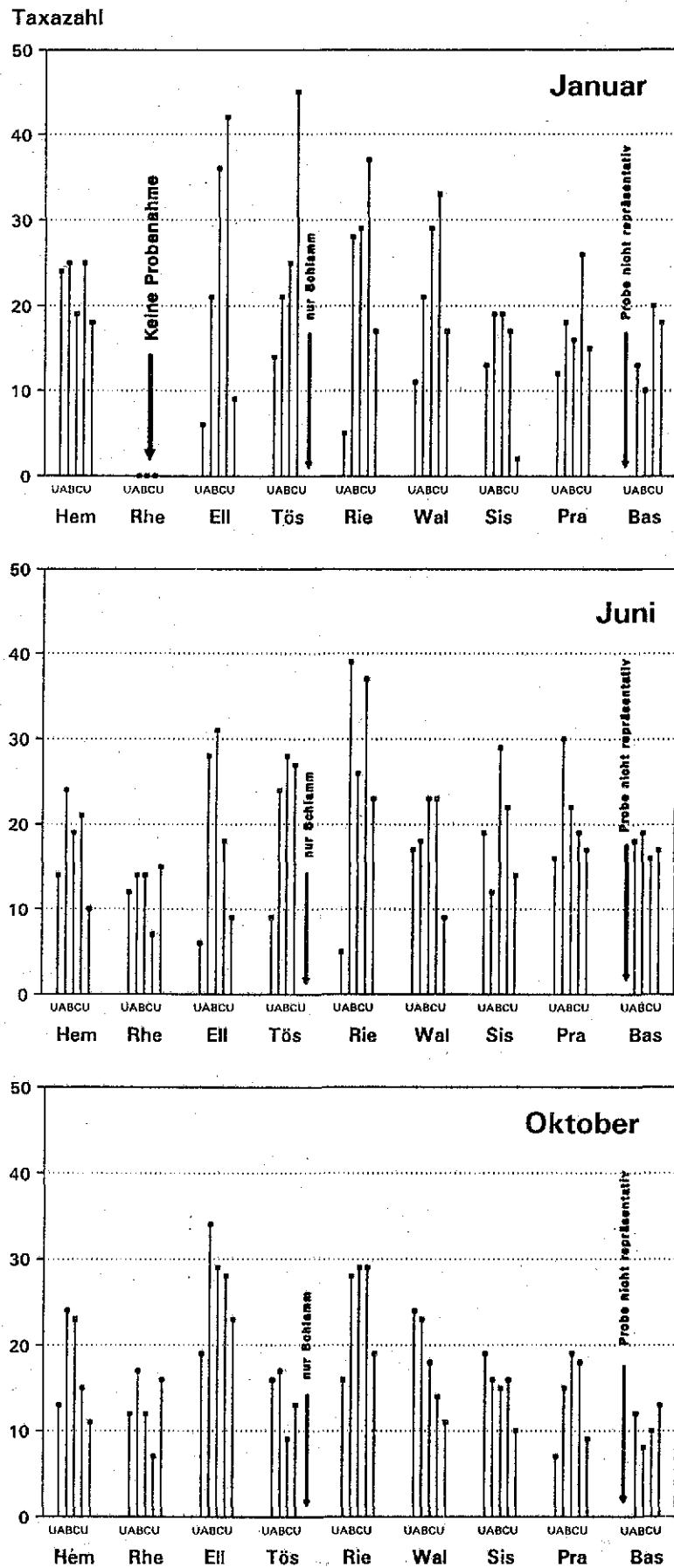


Abb. 14: Taxazahlen an den einzelnen Teilprobestellen im Verlauf der drei Probenahmekampagnen 1990 (Probenahmepunkte: A,B,C = Teilproben an der Stromsohle; U = Ufer links und rechts).

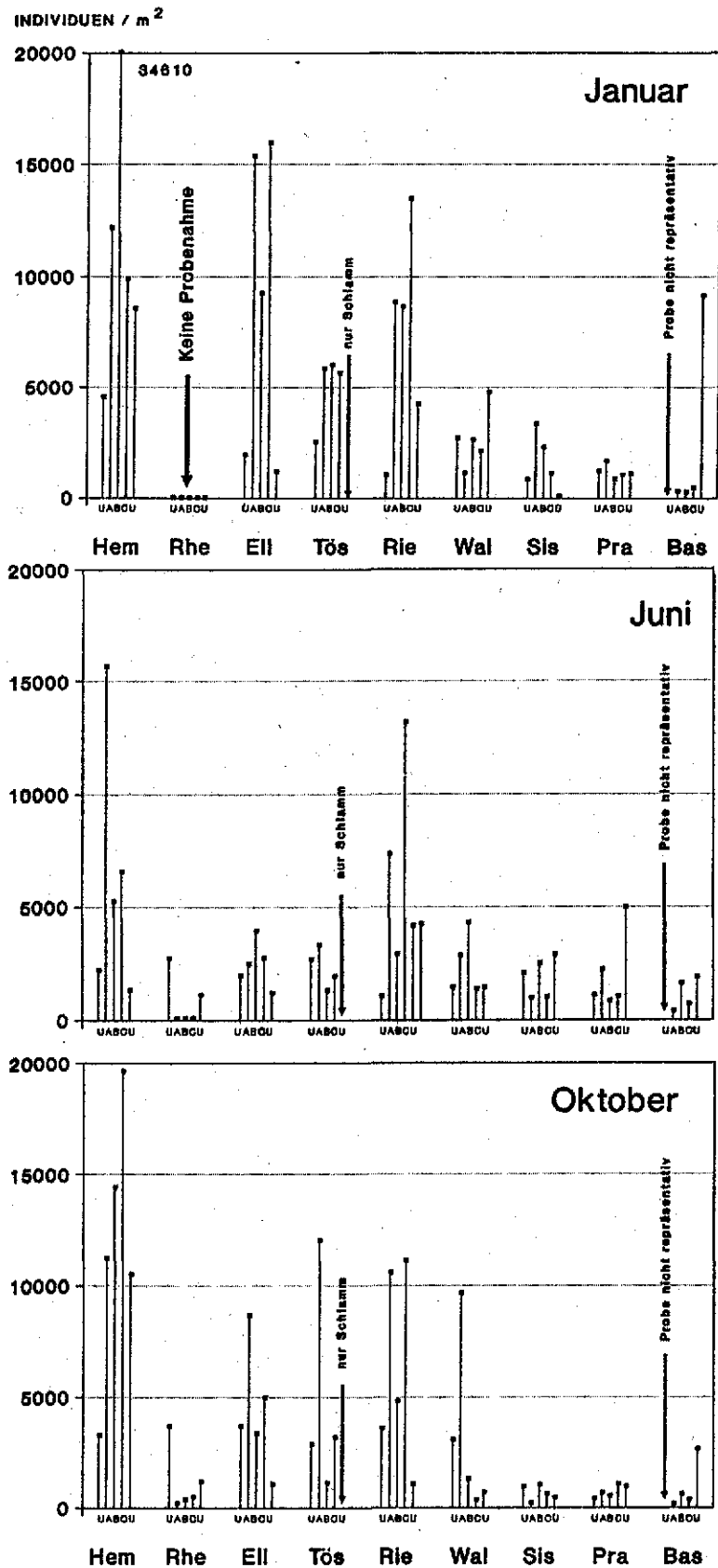


Abb. 15: Besiedlungsdichte der Makroinvertebraten zu drei Jahreszeiten 1990. Probenahmepunkte: A, B und C = Teilproben an der Stromsohle, U = Ufer links und rechts (U; nur Kiessubstrat berücksichtigt).

An einigen Probenahmestellen fanden wir in den Taucherproben extrem hohe Besiedlungszahlen einzelner oder weniger Taxa. So konnte bei Hemishofen in der Mitte des Probenahmequerschnittes (vgl. Punkt B in Abb. A 1.1, Anh. 1) im Januar für *Dreissena polymorpha* eine Besiedlungsdichte von 31'380 Individuen/m² festgestellt werden. Bei Rietheim waren im Juni (Punkt C in Abb. A 1.7, Anh. 1) bei den Gammariden 9545 Individuen/m² und bei Tössegg (Punkt A in Abb. A 1.4, Anh. 1) im Oktober bei den Oligochaeten 11'014 Individuen/m² zu finden. Derart hohe Werte fanden sich nie an allen Teilproben eines Querschnitts und auch nur an Probenahmestellen mit einigermaßen naturnahem Charakter und ausgeprägter Strukturierung der Stromsohle.

Bei den Uferproben liessen sich abgesehen von der Juniuntersuchung, bei der sich teilweise untypische Makrofaunazahlen ergaben, weil erst für kurze Zeit wasserbedeckte Zonen untersucht werden mussten, eine Abnahme der Gesamtindividuenzahlen mit zunehmendem Verbauungsgrad der Uferstrukturen erkennen (vgl. auch 4.2.4). Wie die Abbildung 15 zeigt, wiesen vor allem die Probenahmequerschnitte bei Hemishofen, Ellikon, Rietheim und Waldshut, die bei beidseitig natürlichen Substratverhältnissen mit steinigem Sediment wenigstens eine stärker durchströmte Uferseite hatten, hohe Individuenzahlen auf.

Betrachtet man die Uferbesiedlung, so fällt auf, dass sich an den Untersuchungsstellen Sisseln und Pratteln mit stark verbauten und begradigten Uferstrukturen bei allen Probenahmen die niedrigsten Individuenzahlen ergaben. Bei der Bewertung der relativ hohen Individuenzahlen im Hafengebiet von Basel muss berücksichtigt werden, dass die Probenahme an Stellen mit lockerem steinigem Substrat stattfand und nicht auf den über 90% der Uferfläche bedeckenden Ufermauern. Im Stau Rheinau lag die Besiedlungsdichte im Uferbereich wesentlich höher als auf der Stromsohle. Wie aus der Abb. 9 (S. 21) leicht zu ersehen ist, findet man dort nur am Ufer ein für eine vielfältigere Besiedlung geeignetes Substrat. Damit ist der Stau Rheinau ein typisches Beispiel für einen Rheinabschnitt, an dem weder Taxazahl noch Individuenzahl der Uferproben die tatsächlichen biologischen Verhältnisse auf dem gesamten Querschnitt vollständig charakterisieren können.

Abschätzung der durchschnittlichen Besiedlungsdichten auf der Flussole (Taucher-Proben)

Die durchschnittlichen Besiedlungsdichten über den gesamten Probenahmequerschnitt wurden mit Hilfe der in Kapitel 3.1 erläuterten Substratflächenabschätzung (Substratbildauswertung) berechnet. Dabei wurde davon ausgegangen, dass jede der Teilproben A, B und C die Besiedlungsverhältnisse eines bestimmten Teils des Querschnittes repräsentiert. Für jede der drei Teilproben (Sammelproben) ergab sich demnach ein Faktor zwischen 0 und 1, mit dem die vorgefundene Gesamtindividuenzahl multipliziert werden konnte. Die Summe der Produkte ergab dann die durchschnittliche Individuenzahl pro m² im Querschnitt:

$$N_T = (N_A * R_A) + (N_B * R_B) + (N_C * R_C)$$

N_T = Durchschnittliche Besiedlungsdichte = durchschnittliche Individuenzahl/m²
für den gesamten Querschnitt

$N_{A,B,C}$ = Individuenzahl/m² der Teilproben A, B, C

$R_{A,B,C}$ = Faktor des von der Teilprobe repräsentierten Ausschnitts (zwischen 0 und 1)

Die so hochgerechneten repräsentativen Besiedlungsdichten für eine bestimmte Probenahmestelle bleiben trotz charakteristischer saisonaler Schwankungen relativ stabil.

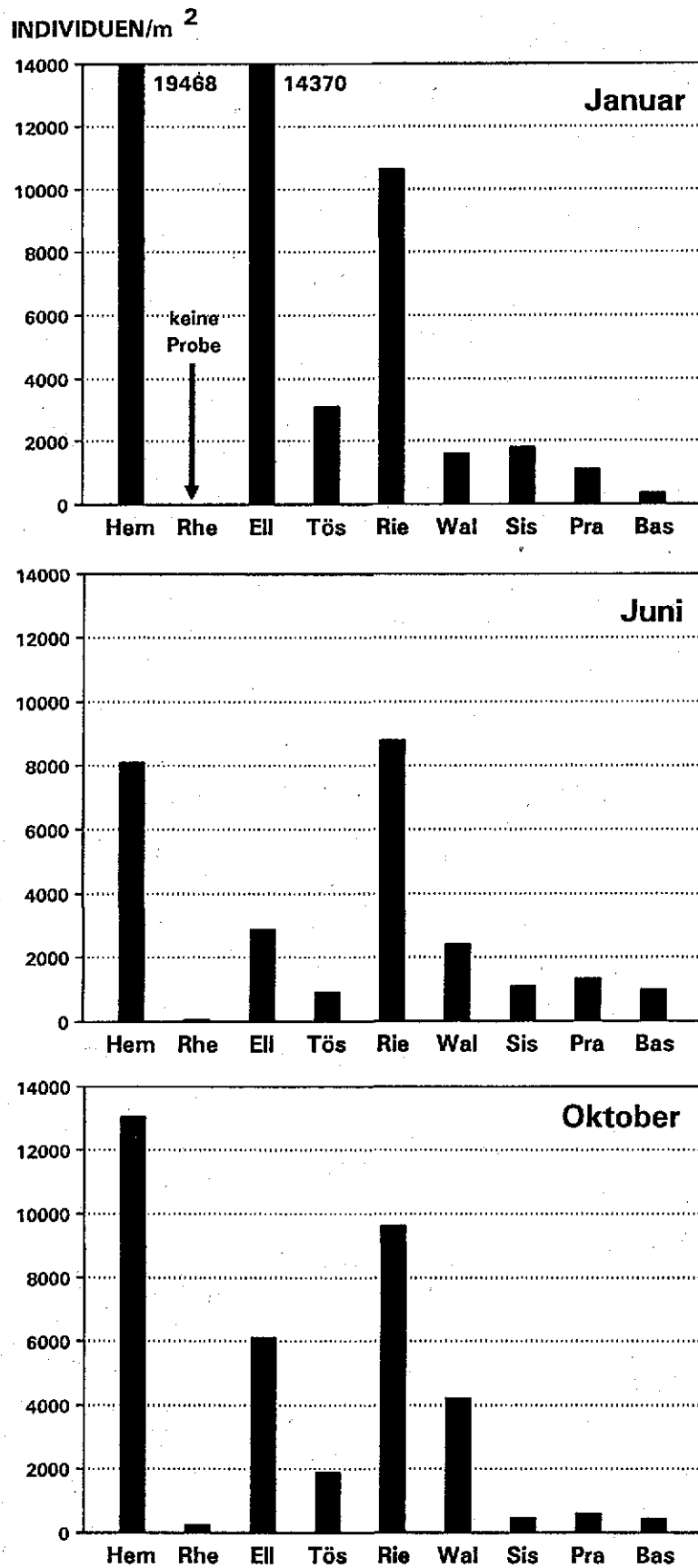


Abb. 16: Repräsentative Besiedlungszahlen der Hochrhein-Stromsohle an den einzelnen Probestellen von Jan./Feb., Juni/Juli und Okt. 1990.

Bei der Betrachtung der durchschnittlichen (repräsentativen) Besiedlungsdichten werden gegenüber der Darstellung der Besiedlungsdichten der einzelnen Teilproben die Unterschiede zwischen den Rhein-strecken oberhalb der Aaremündung und dem Abschnitt zwischen Aaremündung und Basel noch deutlicher hervorgehoben (Abb. 16, S. 35).

An Stellen, wo aufgrund schlecht oder gar nicht besiedelter Substratflächen (z.B. Felsboden bei Tössegg) das Substrat der Teilproben zusammen weniger als 80% der Gesamtfläche repräsentierten, lag die durchschnittliche Besiedlung noch unter dem kleinsten Wert der Teilproben. Auf diese Weise wurden die Angaben zur durchschnittlichen Besiedlung etwas korrigiert.

Bei Untersuchungen zur Mikrozonierung der Stromsohle bei Hemishofen (REY ET AL., 1991a) konnten wir zeigen, wie wichtig die Strukturierung der Substratoberfläche für die tatsächliche Abschätzung der Gesamtindividuenzahl pro m² ist. Bei der vorliegenden Untersuchung wie auch bei den meisten anderen Benthosuntersuchungen wurde der Einfachheit halber die Projektionsfläche des Samplers als Flächenbezug verwendet. Für die Reproduktivität der Ergebnisse muss demnach berücksichtigt werden, dass die tatsächliche Substratoberfläche nur bei Fels, Sand- und Schlammgrund der Projektionsfläche entspricht, bei entsprechend rauhem Substrat kann sie jedoch im Rhein nahezu doppelt so gross sein. Das heisst aber auch, dass so die tatsächliche Besiedlungszahl an einigen, besonders grob strukturierten Stellen überschätzt wird.

Besonderheiten im Uferbereich

In der Folge wird auf spezielle Verhältnisse des Uferbereiches näher eingegangen, die auf die Besiedlungsdichten der Makroinvertebraten einen wesentlichen Einfluss haben.

Wasserstandsschwankungen können sich im Uferbereich in entsprechenden Veränderungen der Makrofaunabesiedlung widerspiegeln. Die Streckenabschnitte zwischen Bodensee und Aaremündung mit natürlicher Uferausprägung und entsprechend vielfältiger Morphologie, haben stellenweise eine noch relativ unregelmässige Wasserführung. Diese kann in Hoch- oder Niedrigwasserzeiten einen starken Wechsel des Wasserstandes in den Uferzonen bewirken.

Innerhalb der Untersuchungszeit waren von solchen Ereignissen vor allem die Probenahmestellen bei Hemishofen, Ellikon, Rietheim und Waldshut betroffen. An diesen Stellen fanden sich jeweils an einer Gewässerseite ausgedehnte Flachwasserzonen in Ufernähe, auf deren steinigem Substrat sich bei sinkendem Wasserstand schlammige Überzüge bildeten, die schliesslich trockenfielen (1990 in den ersten Monaten des Jahres) und die bei steigender Wasserführung des Rheins (z.B. Schmelzwasserabfluss im Mai, Juni) für längere Zeit wieder überströmt wurden.

An Probenahmestellen mit solchen natürlichen Wasserstandsschwankungen oder aber bei anthropogen bedingten Wasserstandsschwankungen infolge Staurationbewirtschaftung (Stelle bei Sisseln) ist die vorgefundene Makroinvertebratenbesiedlung in der Regel erheblich davon abhängig, ob die Sammelstelle vorher trockenlag bzw. inzwischen überflutet war.

Abbildung 17 zeigt an zwei Beispielen (Hemishofen und Rietheim) wie stark sich die unterschiedliche Entwicklung der Wasserstände an beiden Uferseiten auf die Entwicklung der Makrofauna im Jahresverlauf auswirken kann. Bei Hemishofen findet sich eine ausgedehnte Flachwasserzone am rechten Ufer, die im Juni bis kurz vor der Probenahme trockenlag und deshalb bei der zweiten Untersuchung entsprechend niedrige Gesamtorganismenzahlen aufwies (auch das linke Ufer ist hier von der Wasserstandsschwankung betroffen). Nach längerer Überflutungsphase fanden sich bei der Oktoberaufsammlung wieder erhöhte Organismenzahlen.

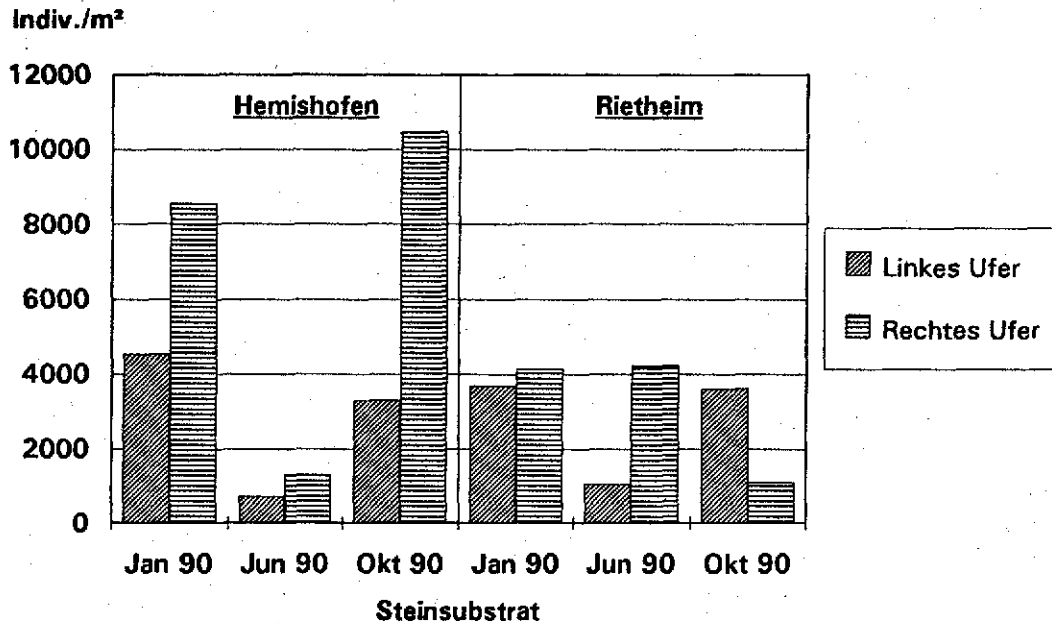


Abb. 17: Unterschiedliche Entwicklung der Makrofaunabesiedlung an beiden Ufern einer Untersuchungsstelle durch saisonale Veränderungen des Wasserstandes.

Die Flachwasserzone bei Riethem am linken Ufer wies aus den gleichen Gründen im Juni niedrige Organismenmengen auf, während sich eine nahezu gegenläufige jahreszeitliche Entwicklung am rechten Ufer ohne gravierende Änderungen des Wasserstands abspielte. Ähnliche Veränderungen konnten in Waldshut am rechten Ufer mit einer fast 100 m breiten, bei höherem Wasserstand flach überströmten Kies-Sandbank registriert werden.

Den Einfluss des Wechsels von Trockenzeiten und Wasserbedeckung verdeutlicht die Abbildung 18 (S. 38), welche die im Frühjahr trockengefallenen Untersuchungsstellen Hemishofen (rechtes Ufer) und Riethem (linkes Ufer) einer Stelle mit gleichbleibendem Wasserstand bei Pratteln (rechtes Ufer) gegenübergestellt. Die im Juni untersuchte Flachwasserzone bei Hemishofen war in den vorangegangenen Monaten ohne Wasserbedeckung und wies deshalb vor allem Organismen auf, die aufgrund ihrer Eigenbeweglichkeit schnell zuwandern können (Krebse und Eintagsfliegen). Erst im Oktober war wieder ein ähnlich breites Organismenspektrum wie bei der Januaruntersuchung nachweisbar.

Auch bei Riethem fand sich auf der bis kurz vorher trockengefallenen Kiesbank am linken Ufer ein stark reduziertes Organismenvorkommen, das vor allem die beweglichen Eintagsfliegen und entsprechend der jahreszeitlichen Entwicklung Organismen der Insektenordnung der Dipteren aufwies. Nach längerer Wasserbedeckung war im Oktober wieder eine grössere Organismenvielfalt mit einer erhöhten Anzahl überwiegend sessil lebender Gruppen (Muscheln, Schnecken) vorzufinden.

Die nur geringfügig von Wasserstandsschwankungen beeinträchtigte Untersuchungsstelle bei Pratteln (Staubereich) wies ganzjährig eine Organismenzusammensetzung auf, die überwiegend von der jahreszeitlich abhängigen Entwicklung der einzelnen Makrofaunagruppen geprägt war. So waren Mollusca und Crustacea bei allen Aufsammlungen vertreten, während es bei den Dipteren und Trichopteren zu einem Entwicklungshöhepunkt im Juni und bei den Ephemeropteren dem Entwicklungsrhythmus entsprechend zu einem "Verschwinden" im Herbst kam.

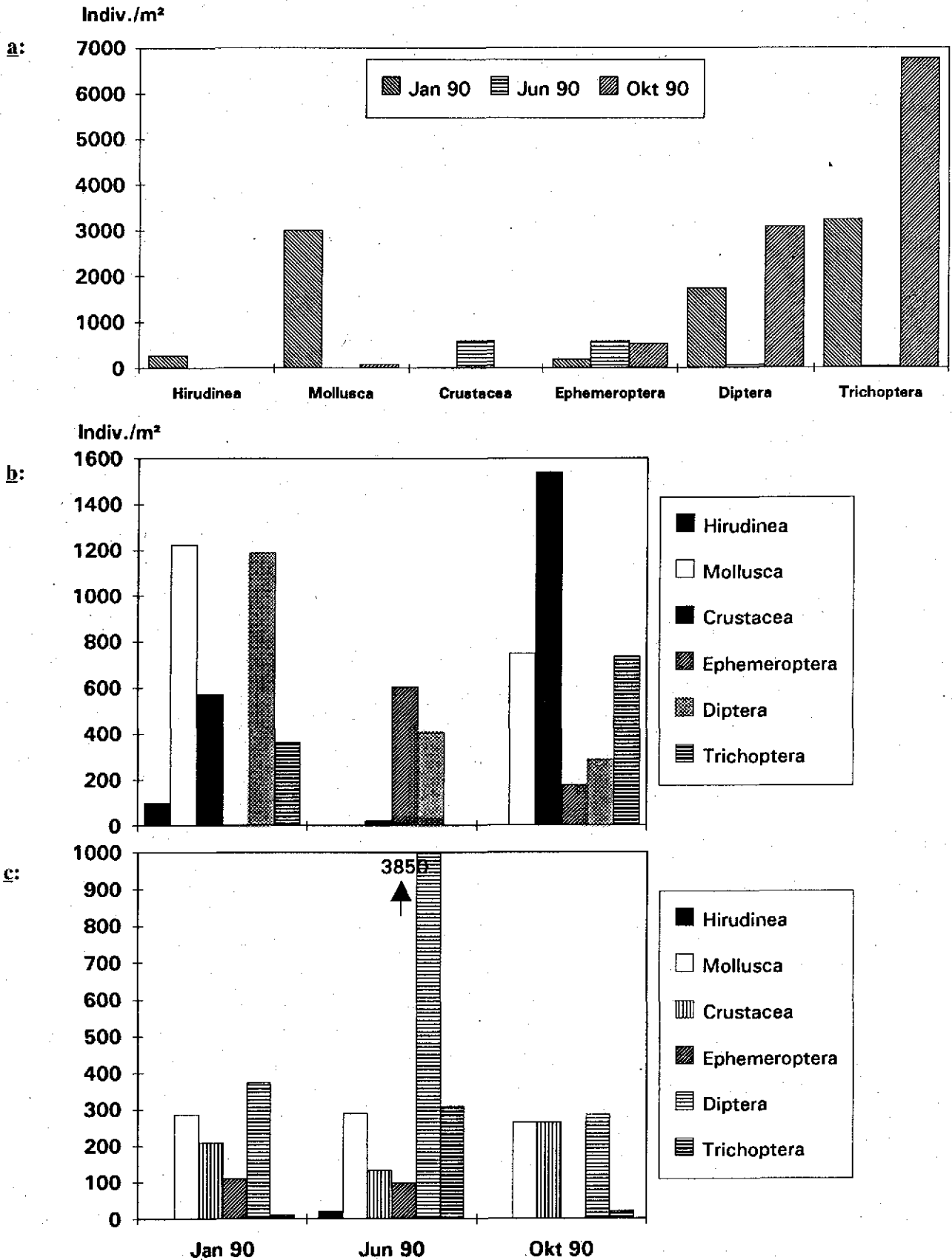


Abb. 18: Auswirkungen von Wasserstandsschwankungen auf die Makrofauna; Hemishofen (a) und Rietheim (b): Steinsubstrat mit wechselndem Wasserstand innerhalb der Untersuchungszeit; Pratteln (c): Steinsubstrat mit gleichbleibendem Wasserstand.

Die dargestellten Beeinträchtigungen durch Wasserstandsveränderungen an einigen Stellen des Gewässerlaufs müssen bei einer Beurteilung des Gesamtgewässerzustands auf der Basis der Organismenzusammensetzung Berücksichtigung finden.

Eine deutlich unterschiedliche Substratzusammensetzung am linken und rechten Ufer muss erwartungsgemäss zu einer unterschiedlichen Makroinvertebratenbesiedlung führen. Vor allem in den Gewässerabschnitten oberhalb der Aareinmündung (Probenahmestellen bei Hemishofen, Ellikon, Tössegg und Rietheim) mit noch relativ natürlichen Sohl- und Uferstrukturen findet sich im Bereich der Probenahmequerschnitte eine häufig stark unterschiedliche morphologische Ausprägung beider Uferseiten. Diese geht mit unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten, oft stark differierenden Wassertiefen und entsprechend verschiedener Sedimentzusammensetzung einher. Die somit gegebene Biotopvielfalt im Gewässerquerschnitt führt natürlicherweise zu einer stark unterschiedlichen Organismenbesiedlung auf beiden Ufern eines Flussabschnittes.

Abbildung 19 zeigt das Beispiel der Probenahmestelle bei Tössegg, bei dem sich beide Uferzonen in ihrer Substratzusammensetzung besonders stark unterschieden. Während das linke Ufer eine schwach überströmte steinige Zone mit relativ starkem Wasserpflanzenwuchs aufwies, fanden sich entlang des rechten Ufers aufgrund einer permanent geringen Fließgeschwindigkeit lediglich hohe Ablagerungen von Schlamm und Detritus (bewaldeter Ufersaum). Entsprechend enthielt das Organismenspektrum des rechten Ufers vorwiegend Schlammbewohner der Gruppen der Oligochaeta und Diptera, während auf der gegenüberliegenden Gewässerseite ganzjährig zahlreiche Makrofaunagruppen vertreten waren.

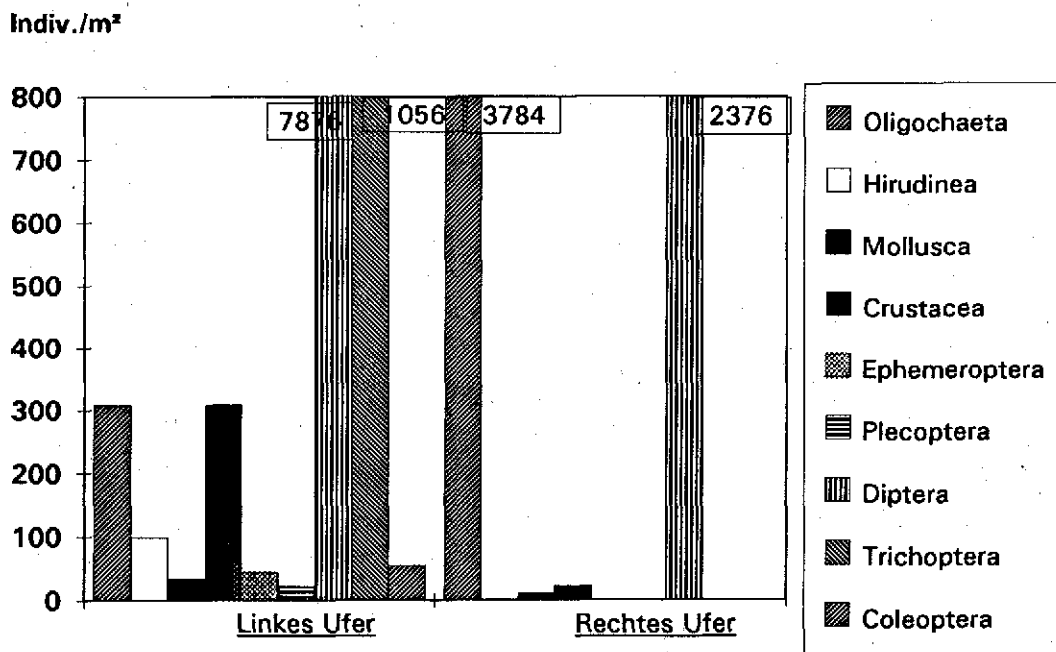


Abb. 19: Unterschiede der Makrofaunabesiedlung beider Ufer aufgrund verschiedener Substratstrukturen (Probenahmestelle Tössegg, Januar 1990).

Auch an den Untersuchungsstellen Sisseln, Pratteln und Basel wurde eine stark unterschiedliche Besiedlung beider Uferzonen festgestellt. Bei etwa gleichstarker Strömung unterscheiden sich die jeweiligen Stromseiten vor allem bezüglich des Verbauungsgrades. So waren diejenigen Uferstellen, an denen relativ natürliches, nicht mit Feinsediment bedecktes Steinsubstrat untersucht werden konnte, erheblich stärker besiedelt als solche mit nur geringen Ansiedlungsmöglichkeiten auf betonierten oder gemauerten Uferwänden. Das Gesamtbesiedlungsbild der Ufer eines solchen Gewässerabschnittes kann demnach nur bei einer Einbeziehung beider Uferseiten in die Untersuchung wiedergegeben werden.

Verstärkt auftretender Wasserpflanzenwuchs spielt in den Sommermonaten für die Besiedlungsmöglichkeiten der Makrofauna eine wichtige Rolle. Die Untersuchungen an gut belichteten Uferstellen mit mässiger Strömung zeigten dies eindeutig. Die häufig auf kiesigem oder steinigem Untergrund wachsenden und in der Strömung driftenden Pflanzenbüschel von *Myriophyllum* oder *Ranunculus* reichen meist bis zur Gewässeroberfläche und bieten zahlreichen Arten der Ephemeroptera, Diptera, Crustacea, Trichoptera und auch der Mollusca Ansiedlungsmöglichkeiten. Tabelle 5 zeigt am Beispiel zweier Untersuchungsstellen (Basel, Rietheim) wie stark sich bei etwa gleichbleibender Taxazahl die Anzahl der auf 1 m² vorkommenden Individuen von einem Untersuchungstermin zum anderen erhöhen kann, wenn sich auf dem untersuchten Steinsubstrat Pflanzenwuchs einstellt. In der Regel handelte es sich hierbei hauptsächlich um Organismen, deren Entwicklungshöhepunkt mit dem des Pflanzenwuchses einhergeht.

Tab. 5: Taxa- und Individuenzahl der Makrofauna in Untersuchungszeiten mit und ohne Pflanzenbewuchs an den Probenahmestellen Basel (rechtes Ufer) und Rietheim (rechtes Ufer).

Untersuchungszeit	Basel Anzahl Taxa	Basel Individuen/m ²
Januar (Stein)	18	9148
August (Stein,Pflanzen)	18	15'301
Oktober (Stein,Pflanzen)	16	3861
Untersuchungszeit	Rietheim Anzahl Taxa	Rietheim Individuen/m ²
Januar (Stein,Pflanzen)	27	5715
Juni (Stein,Pflanzen)	22	7062
Oktober (Kies,Stein)	23	1656

Die Ergebnisse zeigen, dass besonders in Ufernähe aufgrund besonders starker Belichtungsunterschiede in den Winter- und Sommermonaten mit wechselndem Pflanzenwuchs zu rechnen ist und dieser bei einer Bewertung der Makrofaunabesiedlung von grosser Bedeutung sein kann.

4.2.3 Das Vorkommen ausgewählter Organismen auf der Stromsohle und im Uferbereich

Das Vorkommen einzelner während der Hochrheinuntersuchung nachgewiesener Makroinvertebratenarten ist vor allem von deren Entwicklungszyklus abhängig. Zudem ist eine Reihe von Umgebungsfaktoren dafür verantwortlich, ob die jeweiligen Organismen sich ansiedeln können. Besonders in Ufernähe haben die sich jahreszeitlich ändernden Faktoren wie Fliessgeschwindigkeit, Wasserstand, Wassertemperatur, Belichtung und Substratzusammensetzung einen entscheidenden Einfluss auf die Besiedlungsmöglichkeiten. Insbesondere Wasserstand und Fliessgeschwindigkeit können im Uferbereich einem schnellen Wechsel unterworfen sein und wirken sich deutlich auf das Erscheinen oder Verschwinden einzelner Organismen aus.

Im Kapitel 4.2.1 wurde bereits von unterschiedlichen Verbreitungstypen bei den Makroinvertebraten gesprochen. An dieser Stelle soll nun auf einige Organismen näher eingegangen werden, um einerseits unterschiedliche Verbreitungen und Abundanzen und andererseits Unterschiede in der Ufer- und Stromsohlenbesiedlung aufzuzeigen.

MOLLUSCA

Von insgesamt 22 im Untersuchungsbereich nachgewiesenen Molluskentaxa fanden sich 10 allein im Staubereich von Rheinau bei stark reduzierter Fliessgeschwindigkeit und anscheinend idealen Existenzmöglichkeiten auf dem pflanzenbewachsenen Substrat der Uferbänke. Die Muscheln und einige Schneckenarten besitzen im Gegensatz zu anderen Vertretern der Makrofauna (z.B. Insektenlarven, Krebse) nur geringe Fortbewegungsmöglichkeiten. Ihre dauerhafte Ansiedlung ist deshalb eng an einen gleichbleibenden Wasserstand gebunden. Ähnlich hohe Besiedlungsdichten bei den Mollusken (vor allem *Dreissena polymorpha*) wie sie an den Stellen Hemishofen und Ellikon auf der Stromsohle beobachtet werden konnten, traten im Uferbereich nur dann auf, wenn die Wasserbedeckung der Uferzonen vor der Probenahme für längere Zeit gewährleistet war (Abb. 20).

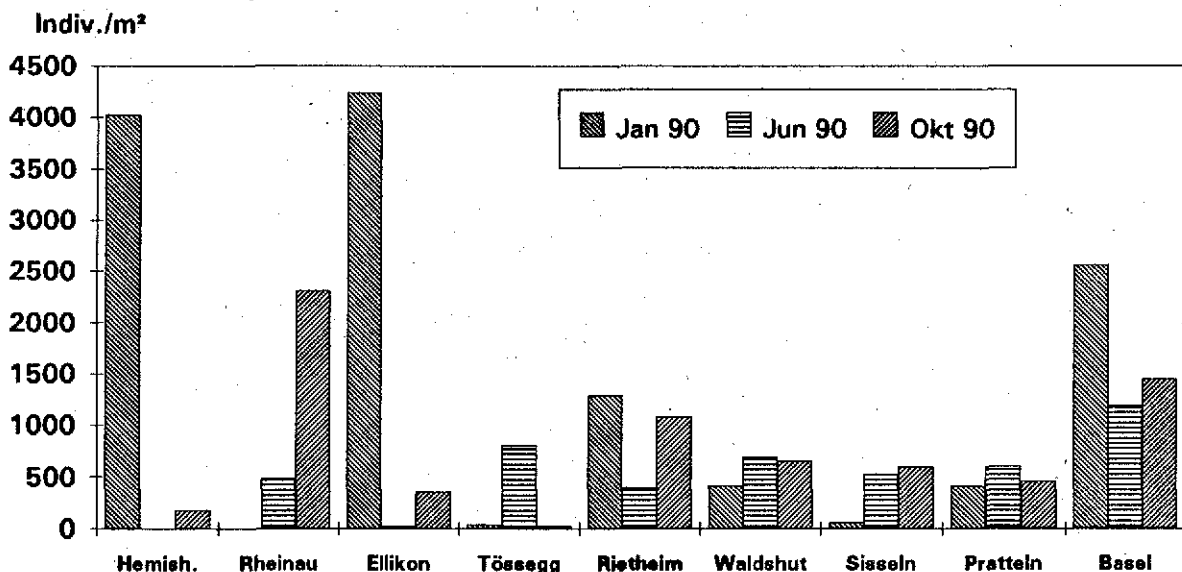


Abb. 20: Individuendichte von Mollusken im Längsverlauf an beiden Ufern.

Dreissena polymorpha (Abb. A 4.1, Anh. 4), die bei Hemishofen noch grossflächige Muschelbänke bildete, zeigte sowohl im Uferbereich als auch auf der Stromsohle mit zunehmender Entfernung vom Seeabfluss abnehmende Abundanzen. Als aktiver Filtrierer ist sie stark von der Phyto- und Mikrozooplanktondichte im Wasserkörper abhängig (vgl. Kap.5.3).

Theodoxus fluviatilis (Abb. A 4.2, Anh. 4) war an den Stellen Basel und Schweizerhalle häufigster Vertreter der Schnecken, konnte aber oberhalb des Staus Rheinfeldern nicht nachgewiesen werden.

Ancylus fluviatilis (Abb. A 4.3, Anh. 4) war sowohl auf der Stromsohle als auch im Uferbereich über den ganzen Hochrhein verbreitet. Die Schnecke zeigte jedoch in naturnahen Abschnitten bei starker Strömung und bei geeignetem Grobsubstrat (z.B. an der Stelle Rietheim) deutlich erhöhte Besiedlungszahlen.

Bithynia tentaculata (Abb. A 4.4, Anh. 4), eine im Bodensee sehr häufige Schnecke, deren früherer Verbreitungsschwerpunkt in den oberen Hochrheinabschnitten lag (vgl. Kap. 5.4), findet heute offensichtlich in den unteren Hochrheinabschnitten mit ihren vielen Staubereichen günstigere Lebensbedingungen vor.

CRUSTACEA

Unter den Gammariden konnten die drei Arten *Gammarus pulex* (Abb. A 4.5, Anh. 4), *G. fossarum* und *G. roeselii* an nahezu allen Untersuchungsstellen nachgewiesen werden. *G. pulex* und *G. fossarum* waren vor allem am naturnahen und schnellfliessenden Abschnitt bei Rietheim häufig. Dabei war *G. fossarum* stets häufiger anzutreffen als *G. pulex*. Bei den Proben aus dem Uferbereich zeigten die Gammariden im Januar auffallend hohe Abundanzen bei Waldshut. *G. roeselii* (Abb. A 4.6, Anh. 4) das zwischen Bodensee und Thur-Mündung häufigste Krebstier, wurde schon an der Stelle bei Tössegg fast völlig von *G. fossarum* "abgelöst". Bis Basel trat es nur noch in vereinzelt Exemplaren auf. Dieses auffällige Verschwinden von *G. roeselii* zwischen Thur-Mündung und Basel konnte schon im Laufe anderer Rheinuntersuchungen (SCHRÖDER & REY, 1991) beobachtet werden. Unterhalb von Basel nimmt die durchschnittliche Besiedlungsdichte dieser Art wieder kontinuierlich zu.

EPHEMEROPTERA

Bei Zugrundelegung des für diese Untersuchung festgelegten Bestimmungsniveaus wurden während der drei Probenahmen insgesamt 13 Ephemeroptera-Taxa nachgewiesen. Die Larven von *Heptagenia sulphurea*, *Potamanthus luteus*, *Baetis* sp. und *Ephemerella ignita* waren dabei die auffälligsten Formen. Entsprechend der Erwartungen traten Eintagsfliegen vor allem an den Untersuchungsstellen mit hoher Fliessgeschwindigkeit gehäuft auf, wobei der Flussquerschnitt bei Rietheim mit gut durchströmten Bereichen auf beiden Uferseiten das Maximum darstellte (Abb. 21). Dagegen konnten im Einflussbereich von Stauhaltungen (Rheinau, Sisseln, Pratteln, Basel) bei den Ephemeroptera allgemein, insbesondere jedoch auf der Stromsohle nur geringe Häufigkeiten nachgewiesen werden.

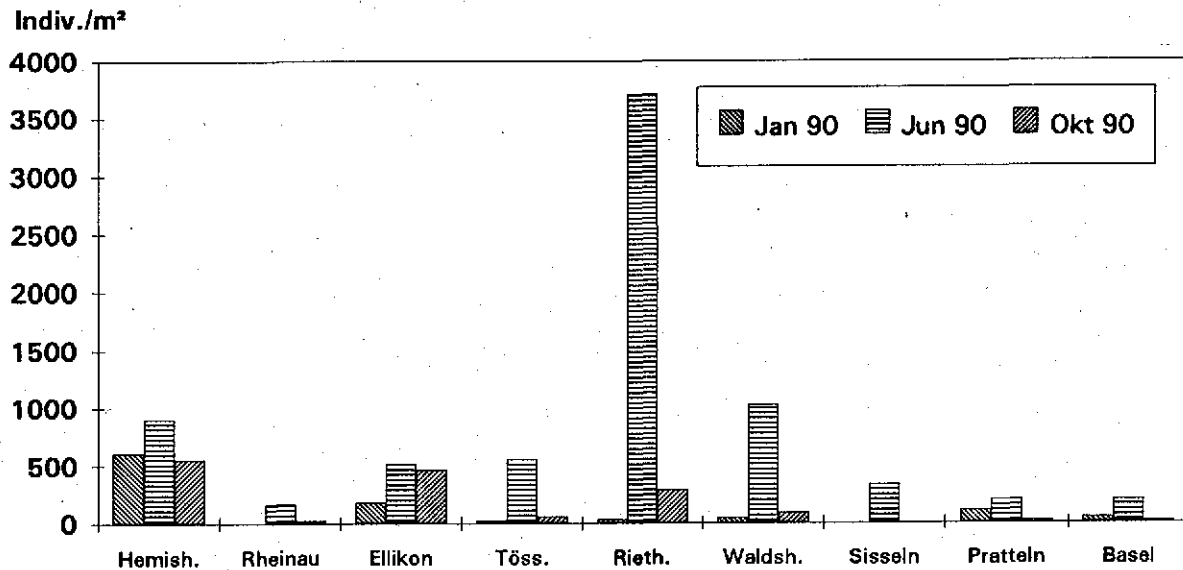


Abb. 21: Individuendichte von Ephemeropteren im Längsverlauf an beiden Ufern.

Heptagenia sulphurea (Abb. A 4.7, Anh. 4) konnte an allen Probenahmestellen gefunden werden und war auch bei Basel bezogen auf die Gesamtbesiedlung noch häufig. In den Taucher-Proben von Juli aus Basel, die als einzige nach dem Hochwasser genommen werden musste, waren ungewöhnlich viele Tiere dieser Art vorhanden. Es könnte sich dabei um abgedriftete Individuen aus oberhalb gelegenen Rheinabschnitten gehandelt haben.

Potamanthus luteus (Abb. A 4.8, Anh. 4) erreichte auf der Rheinstrecke zwischen Bodensee und Aare-mündung beachtliche Populationsdichten, die rheinabwärts kontinuierlich abnahmen. Verfolgt man das Vorkommen über den Hochrhein hinaus weiter stromabwärts (SCHRÖDER & REY, 1991; HANDSCHIN, mdl. Mitteilung), so ist ein weiterer Rückgang der Art unterhalb von Basel zu verzeichnen. Offensichtlich reagiert *P. luteus* empfindlich auf wasserbauliche Degradierung und womöglich auch auf die im unteren Hochrheinabschnitt geringfügig höhere chemische Belastung. Die Art erscheint deshalb geeignet zu sein, mit ihrer unterschiedlichen Besiedlungsdichte anthropogene Einflüsse auf die Morphologie und auf die Wasserqualität des Hochrheins anzuzeigen.

Baetis rhodani, *B. fuscatus* und *B. lutheri* und einige andere Arten, zusammengefasst unter dem Sammelbegriff *Baetis* sp. (Abb. A 4.9, Anh. 4) waren wie andere rheophile Organismen nur bei Ellikon und Rietheim häufig.

HETEROPTERA

Einzig auffallender Vertreter der Heteroptera war die Grundwanze *Aphelocheirus aestivalis* (Abb. A 4.10, Anh. 4). Sie konnte im ganzen Hochrhein beobachtet werden, häufig war sie jedoch nur an Stellen, die dem ursprünglichen potamalen Fließwassercharakter nahe kommen (Ellikon und Rietheim).

TRICHOPTERA

Insgesamt fanden sich bei den Trichoptera während der drei Probenahmen 25 Taxa, wobei die geringsten Taxa-Zahlen auf den Flussquerschnitten mit monotonen Strömungsverhältnissen und geringer Biotopvielfalt (im Uferbereich die Probenahmestellen Sisseln, Pratteln und Basel, auf der Stromsohle Rheinau) auftraten. Naturnahe Ausprägung sowie Vielfalt am Flussgrund und im Uferbereich scheinen

eine entscheidende Rolle für das Vorkommen der Köcherfliegenlarven zu spielen. Die zusammenfassende Darstellung der Köcherfliegenfunde im Uferbereich in Abbildung 22 zeigt dies sehr deutlich: Neben dem für den Seeabfluss typischen Häufigkeitsmaximum traten grössere Vorkommen nur bei den stärker durchströmten Stellen Ellikon, Riethem und Waldshut auf.

Während im Uferbereich bei Hemishofen und Ellikon im Januar und Oktober hauptsächlich die Larven von *Hydropsyche* sp. vorgefunden wurden, fanden sich auf den weniger stark durchströmten Flussquerschnitten wie Rheinau und Tössegg *Tinodes waeneri* und *Cyrnus trimaculatus*. Während der Untersuchung im Juni/Juli konnten bei den Trichoptera an einigen Probenahmestellen im Uferbereich nur sehr geringe Häufigkeiten festgestellt werden, da die flachen Randbereiche vor der Probenahme unbestimmte Zeit trocken gelegen hatten.

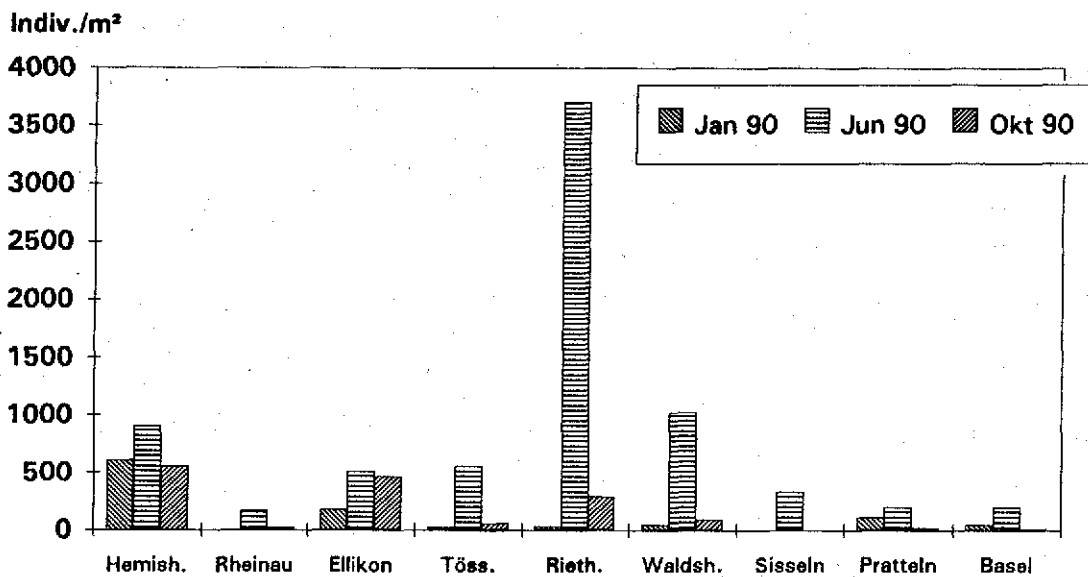


Abb. 22: Individuendichte von Trichopteren im Längsverlauf an beiden Ufern.

Auf der Stromsohle war bei den Vertretern der halbsessilen, netzbauenden Köcherfliegenlarven im Hochrhein eine deutliche Zonierung zu beobachten. Ein Vergleich zwischen *Hydropsyche contubernalis* (Abb. A 4.11, Anh. 4) und *Hydropsyche* sp. (i.e.S. *H. pellucidula*, *H. angustipennis*, *H. siltalai*) (Abb. A 4.12, Anh. 4) zeigt eine Verschiebung der Häufigkeit zugunsten *H. contubernalis* rheinabwärts. Von dieser Art weiss man, dass sie vor allem unterhalb von Basel immer häufiger vorkommt, um auf der Höhe von Köln gar mehr als 99% der Gesamtpopulation der Gattung *Hydropsyche* zu erreichen (NEUMANN, 1990; BECKER, 1990). Ebenfalls eine Zunahme der Häufigkeit rheinabwärts zeigt die potamale Art *Cheumatopsyche lepida*.

COLEOPTERA

Bei Berücksichtigung aller untersuchten Besiedlungssubstrate konnten während der drei Probenahmen insgesamt 11 Taxa der Coleoptera gefunden werden. Ähnlich wie bei den Eintagsfliegen traten in der Regel Käfer dort am häufigsten auf, wo die Biotopvielfalt hoch war. Als rheophiler Vertreter soll *Limnius* sp. (i.e.L. *Limnius volckmari*) (Abb. A 4.13, Anh.4) herausgegriffen werden. Diese Artengruppe bevorzugt sauberes und strömungsreiches Wasser. *Limnius* sp. war in fast allen Proben zu finden, erreichte jedoch wie andere anspruchsvolle Arten nur oberhalb der Aare-Mündung grössere Besiedlungsdichten.

4.2.4 Zusammenhänge zwischen Standortfaktoren und Makroinvertebratenbesiedlung

Stromsohle

Anhand der Ergebnisse aus den Taucherproben wurde deutlich, dass die Unterschiede in der Artenvielfalt und Besiedlung der Stromsohle des Hochrheins kaum mit einzelnen Parametern erklärt werden können. Die durchschnittlichen Fliessgeschwindigkeiten lagen bis auf die Rückstaubereiche bei Rheinau und bei Tössegg immer über 0,3 m/sec und damit in einem Bereich, bei dem auf der Stromsohle mit grobem Substrat schon erste Turbulenzen auftreten und der daher auch von den meisten rheophilen Organismen bevorzugt wird. An naturnahen Rheinabschnitten wie bei Hemishofen, Ellikon und Rietheim, an denen die mittlere Abflussgeschwindigkeit hoch war (kleiner Abflussquerschnitt) und sich bis an die Oberfläche Strömungswirbel ablösten, fanden wir keine positive Korrelation zwischen der Abundanz rheophiler Organismen und der durchschnittlichen Fliessgeschwindigkeit (Messung der Fliessgeschwindigkeit ist nur bei annähernd laminarer Strömung repräsentativ).

Einen drastischen Rückgang in der Vielfalt der Taxa und der Besiedlungsdichte der Rheobionten (typische Fliesswasserarten) fanden wir vor allem dort, wo das Substrat der Stromsohle mit Schlamm und Sand zusedimentiert und/oder kolmatiert war (vgl. Abb. 10, S. 22). An diesen Stellen nahm ebenfalls der Anteil der Sedimentbewohner (Chironomiden, Oligochaeten) an der Gesamtbesiedlung zu. Lässt man das Massenaufreten von *Dreissena polymorpha* im Seeabfluss bei Hemishofen ausser Acht, so hatten die meisten Fliesswasserarten ihr Besiedlungsmaximum an der Probestelle Rietheim. An dieser Stelle fanden wir die meisten Standortfaktoren kombiniert, die sowohl für rhithrale als auch potamale Arten günstig sind:

- **Kleinräumig verteilte Substratmosaik**
- **Substrat locker, Besiedlungsflächen auch unter Steinen und im Interstitial vorhanden**
- **Hohe Fliessgeschwindigkeiten und Turbulenzen in Strommitte, lenitische Bereiche am Ufer**
- **Innerhalb eines grösseren, naturnahen Rheinabschnittes gelegen, daher Austauschprozesse mit oberhalb und unterhalb liegenden Abschnitten.**
- **Starke Strukturierung der Stromsohle (Wassertiefen zwischen 0,5 und 3,6 m)**
- **Stufenlose Übergänge von der Strommitte zu den Uferbereichen**

Uferbereich

Auswirkungen der Fliessgeschwindigkeit:

Im Uferbereich des Flusses wirken sich Standortfaktoren (Fliessgeschwindigkeit, Belichtungs- und Temperaturänderungen, Wasserstandsschwankungen) besonders aus, da es hier, verglichen mit den tieferen Zonen der Strommitte, zu deutlicheren Veränderungen dieser Faktoren kommen kann. So war in der vorliegenden Untersuchung an den Uferstellen im Gegensatz zur Stromsohle ein Zusammenhang zwischen Fliessgeschwindigkeit (sowie daraus resultierender Substratzusammensetzung) und Makroinvertebraten-Besiedlung nachweisbar. Bei der Darstellung dieses Zusammenhanges bleibt zu berücksichtigen, dass sich die Wirkung der verschiedenen Standortfaktoren durchaus überlagern kann.

Die untersuchten Uferabschnitte wiesen meist dort eine höhere mittlere Fliessgeschwindigkeit (beide Uferseiten gemittelt) auf, wo eine noch relativ grosse Natürlichkeit der Sohl- und Uferstrukturen vorhanden war. Diese Tatsache ist wohl auch der Grund dafür, dass sich Zusammenhänge von Fliessgeschwindigkeit und Taxazahlen über alle drei Jahreszeiten betrachtet im Rheinlängsverlauf (Steinsubstrat) feststellen lassen (Abb. 23).

Die morphologisch vielfältigeren Streckenabschnitte ausserhalb von Staubereichen bieten damit einer grösseren Zahl von Invertebratenarten Ansiedlungsmöglichkeiten. Auf die relativ hohen Taxazahlen in den Uferbereichen der Stellen Rheinau und Basel sind wir weiter oben schon kurz eingegangen. Hier repräsentieren die Uferproben sicher am wenigsten die tatsächlichen biologischen Verhältnisse des jeweiligen Rheinabschnitts. Auch bei den Taxazahlen von den Uferstellen in Sisseln und Basel kann nicht von einer extremen Reduktion gesprochen werden. In diesen Abschnitten ist stattdessen mit einem Wechsel der Faunenzusammensetzung zu überwiegend in Stillwasserbereichen lebenden Arten zu rechnen (s. auch Kap. 4.2.5).

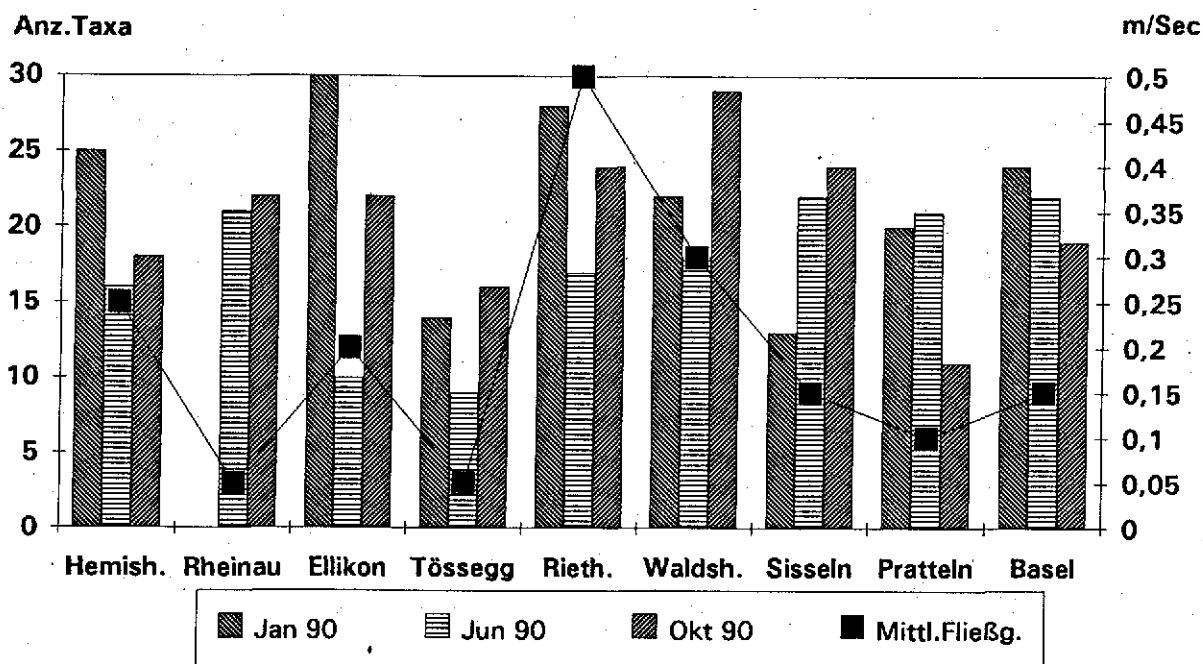


Abb. 23: Gesamtaxazahlen im Längsverlauf an beiden Ufern (nur Steinsubstrat) und mittlere Fließgeschwindigkeit (m/sec).

Eindeutiger darzustellen sind die Zusammenhänge zwischen typischen Fließwasserarten und der an den Ufern der Untersuchungsstellen gemessenen Fließgeschwindigkeit. Die Abbildungen 24 a und b zeigen das Vorkommen von Käfern und Eintagsfliegenlarven im Uferbereich (absolute Häufigkeit auf Steinsubstrat), das, über alle drei Probenkampagnen betrachtet, einen positiven Zusammenhang mit den Werten der mittleren Fließgeschwindigkeit an der Probenahmestelle aufweist. Es ist auch hier zu berücksichtigen, dass wie bei den Gesamtaxazahlen vor allem die Biotopvielfalt neben jahreszeitlichen Veränderungen das Besiedlungsbild prägt. Bei den Gammariden (Abb. 24 c) wird besonders deutlich, dass auch andere Faktoren auf die Ansiedlung und Vermehrung der Arten Einfluss nehmen. Die Gammariden-Häufigkeit an den Stellen Riethem und Waldshut mit hoher Fließgeschwindigkeit liegt bei weitem höher als die an den ebenfalls gut durchströmten Abschnitten in Hemishofen und Ellikon. Gut erkennbar ist auch, dass bei dieser Gruppe extreme Schwankungen der Organismenhäufigkeiten im Jahresverlauf auftreten können.

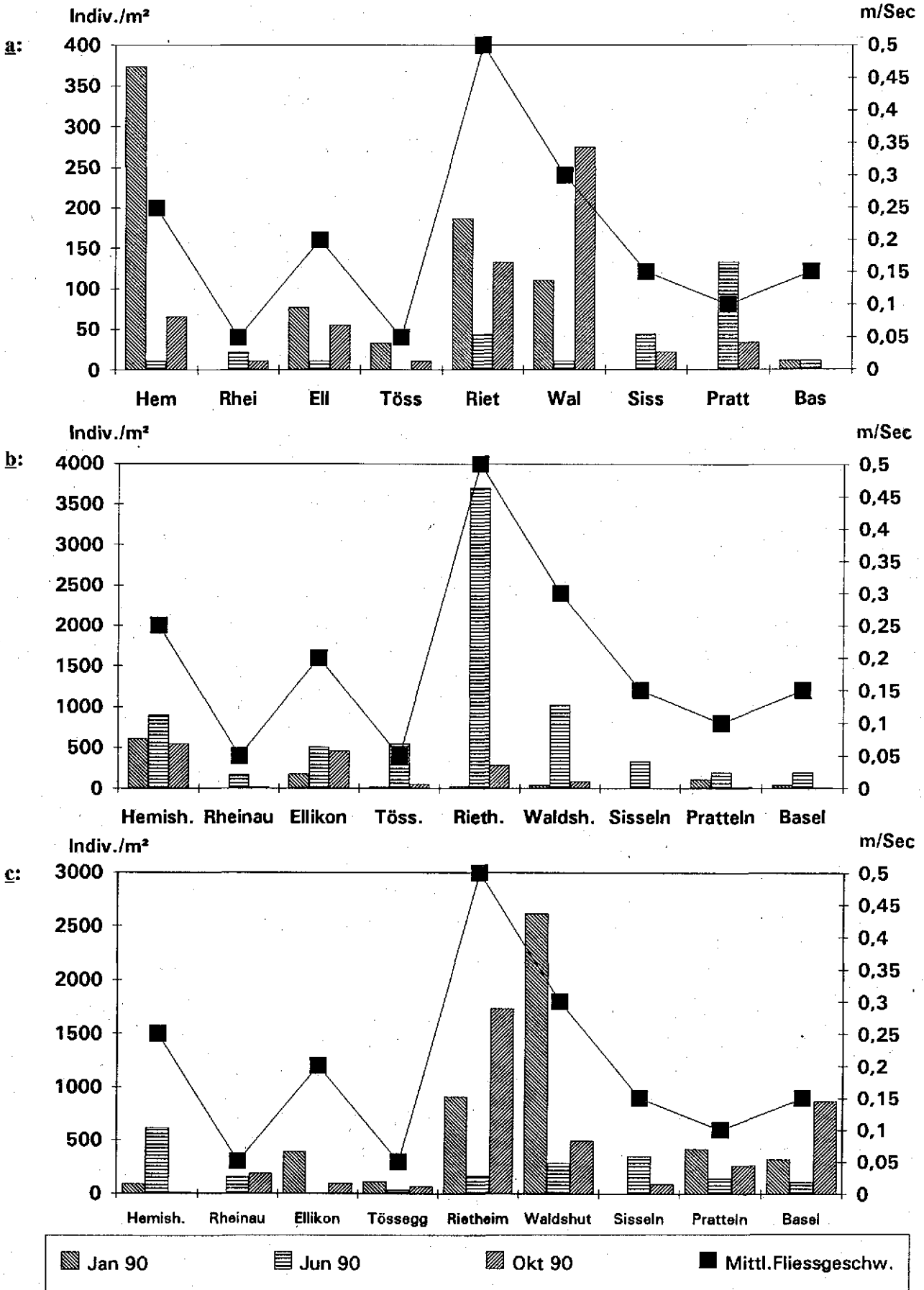


Abb. 24a-c: Mittlere Fließgeschwindigkeit und Vorkommen von a) Coleopteren, b) Ephemeropteren und c) Gammariden im Längsverlauf bei 3 Jahreszeiten (Uferproben).

Dass unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten nicht in jedem Fall mit einem Wechsel der Taxa- und Individuenzahl einhergehen müssen, zeigt der Vergleich der Makrofauna-Besiedlung der Ufer im Staubereich von Rheinau mit derjenigen auf den typischen Fließwasserabschnitten bei Hemishofen und Riethem (Abb. 25 a-b). Das im Verhältnis zu den stark durchströmten Strecken ähnlich grosse Organismenvorkommen im Stau Rheinau wies im Juni ein Dipteren-Maximum, im Oktober ein Mollusken- und Trichopteren-Maximum auf. Dagegen dominierten bei Riethem im Sommer die Ephemeropteren, während Mollusken, Crustaceen und Trichopteren im Oktober verstärkt vorkamen (Die niedrigen Mollusken und Trichopterenzahlen im Juni sind mit dem kurz vorher gestiegenen Wasserstand im Uferbereich zu erklären, siehe auch Kap.4.2.2). Auch bei Hemishofen dominierten bei beiden Untersuchungen die typischen Fließwasserarten: Im Juni die Ephemeropteren, im Oktober Dipteren und Trichopteren.

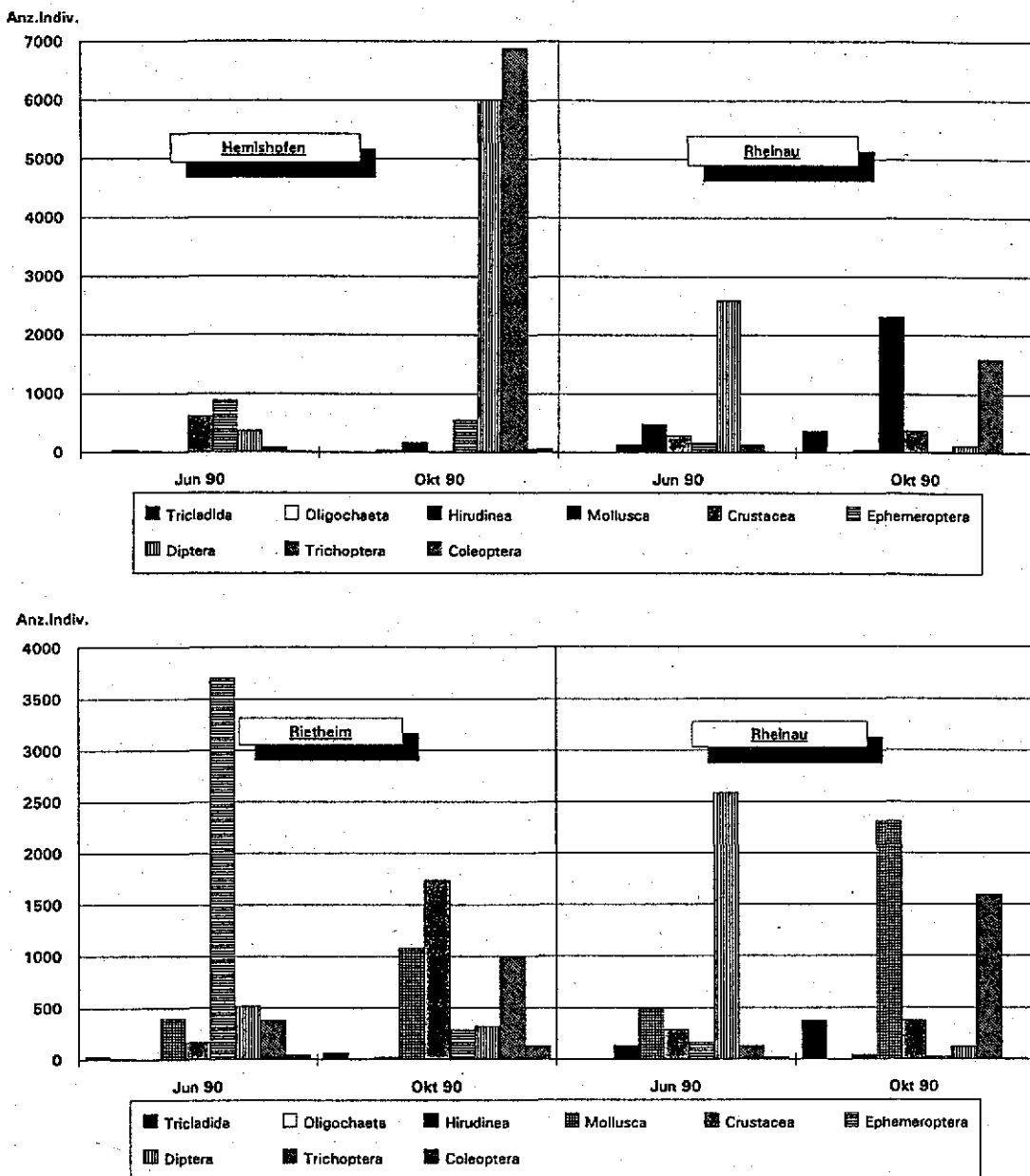


Abb. 25a-b: Vorkommen einzelner Makrofaunagruppen an Untersuchungsstellen mit starker (a: Hemishofen, b: Riethem) und geringer (Rheinau) Strömungsgeschwindigkeit (Summe der Individ./m² an beiden Ufern auf Steinsubstrat).

Zumindest für die Uferzonen im Staubereich bei Rheinau kann demnach gefolgert werden, dass sich die Fauna den schon lange bestehenden Folgeerscheinungen der Strömungsreduktion (Veränderungen des Besiedlungssubstrates, der Belichtung, der Wassertemperatur, des Nahrungsangebotes) angepasst hat und das Organismenspektrum mindestens ebenso vielfältig, wenn auch andersartig, wie in stärker durchströmten Abschnitten ausgebildet ist. Die hier nur im Uferbereich hohe Individuendichte und Taxazahl findet man jedoch, wie wir bereits gesehen haben, auf weit weniger als 10% der Flussbreite.

Die Tabellen A 3.6 und A 3.7 (Anh. 3) stellen Taxa- und Individuenzahl derjenigen Arten gegenüber, die strömungsliebend (Rheobionten) sind, normalerweise im Stillwasser leben (Limnobionten) oder sich in beiden Umgebungen "wohlfühlen" (Ubiquisten). Es wird deutlich, dass die ubiquistisch lebenden Gruppen im Rheinverlauf deutlich überwiegen, an den stärker durchströmten Rheinstellen jedoch zunehmend durch rheobionte Arten ersetzt werden. Formen, die hauptsächlich stehendes Wasser bevorzugen, treten dagegen nur vereinzelt dort auf, wo auch entsprechend strömungsberuhigte Lebensräume vorzufinden sind. Das Vorkommen rheobiont lebender Gruppen und deren Individuenhäufigkeit verdeutlichen die Abbildungen 26 und 27. Alle 3 Untersuchungstermine zusammengenommen ergibt sich ein eindeutiger Zusammenhang zwischen ihnen und der mittleren Fließgeschwindigkeit an beiden Ufern, auch wenn dabei zu berücksichtigen ist, dass bei der Juniprobeaufnahme aufgrund der Wasserstandsschwankungen nur ein reduziertes Artenspektrum gefunden wurde (in Rheinau nur 2 Probenahmen!). Ähnlich eindeutig stellt sich der Zusammenhang zwischen Fließgeschwindigkeit und Anzahl bzw. Vielfaltigkeit der limnobionten Formen dar (Abb. 28 und 29). Diese sind in den strömungsarmen Uferbereichen von Rheinau, Tössegg und Sisseln häufiger vertreten. Aufgrund der weiteren ökomorphologischen Verarmung (Strömungsrinne ohne Hinterwasserbereiche), vielleicht auch durch die etwas schlechter werdende Wasserqualität an den Untersuchungsstellen Pratteln und Basel treten sie gegenüber den ubiquistisch lebenden Gruppen wieder in den Hintergrund.

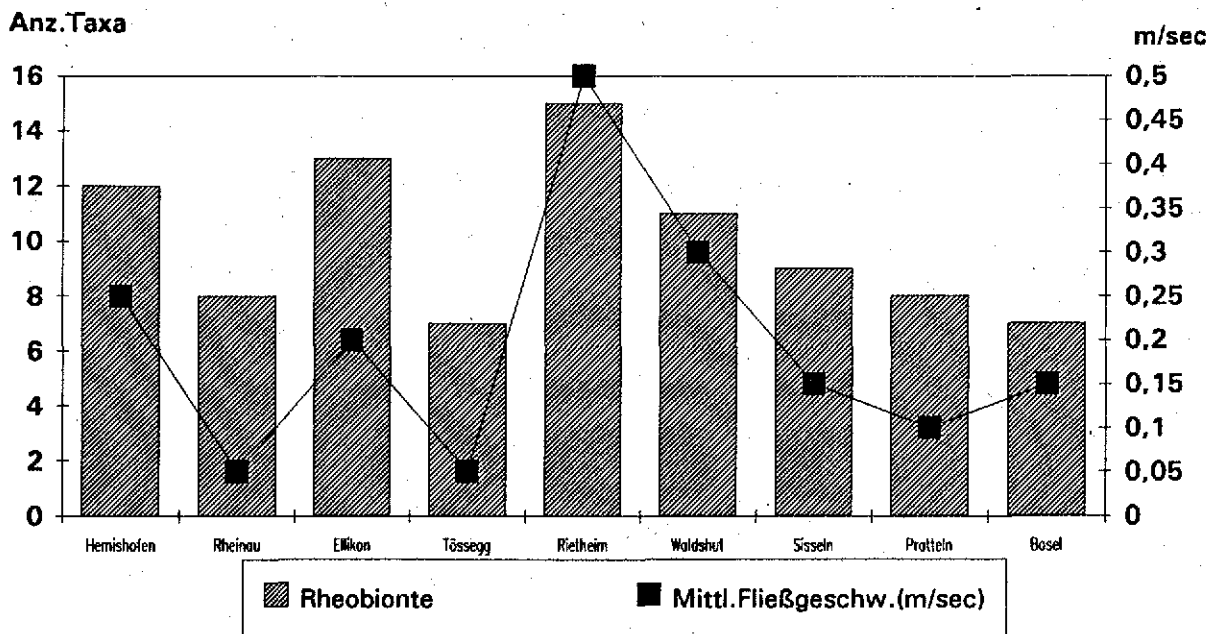


Abb. 26: Taxazahl rheobiont lebender Gruppen an beiden Ufern (Mittelwert aus 3 Jahreszeiten 1990, alle berücksichtigten Substrate) und mittlere Fließgeschwindigkeit an beiden Ufern.

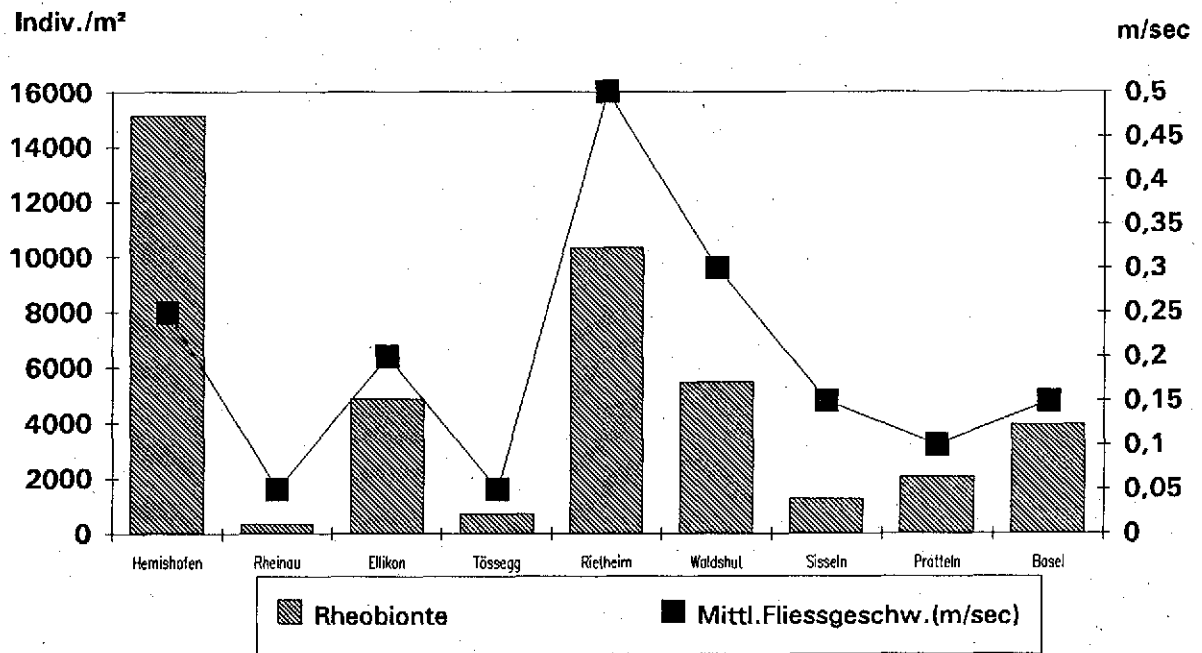


Abb. 27: Individuenzahl rheobiont lebender Gruppen an beiden Ufern (Mittelwert aus 3 Jahreszeiten 1990, alle berücksichtigten Substrate) und mittlere Fließgeschwindigkeit an beiden Ufern.

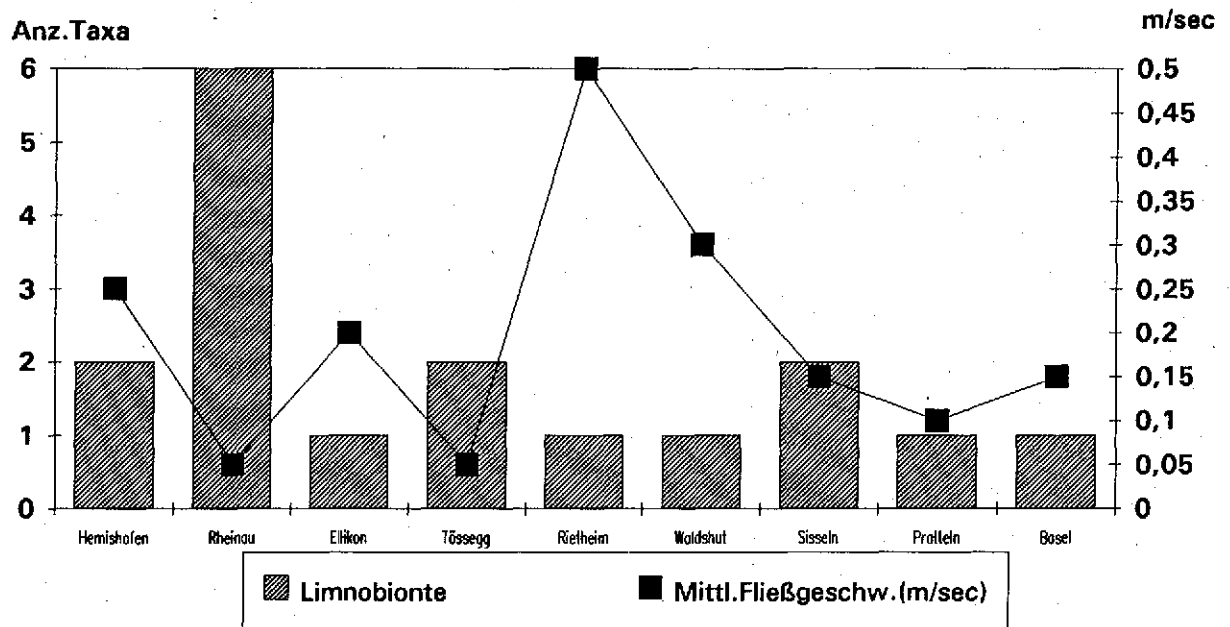


Abb. 28: Taxazahl limnobiont lebender Gruppen an beiden Ufern (Mittelwert aus 3 Jahreszeiten 1990, alle berücksichtigten Substrate) und mittlere Fließgeschwindigkeit an beiden Ufern.

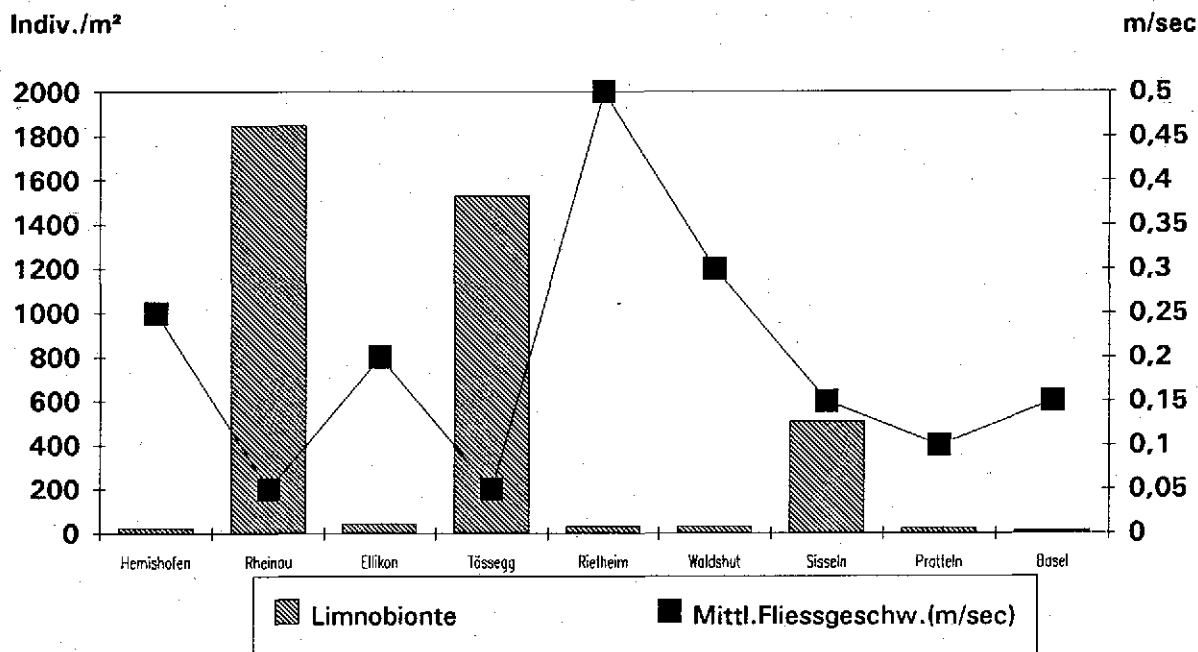


Abb. 29: Individuenzahl limnobiote lebender Gruppen an beiden Ufern (Mittelwert aus 3 Jahreszeiten 1990, alle berücksichtigten Substrate) und mittlere Fließgeschwindigkeit an beiden Ufern.

Auswirkungen des Besiedlungssubstrates:

Wie in Kapitel 4.1.2 beschrieben, verändert sich der Anteil des natürlichen Steinsubstrates an der Gesamtuferfläche im Rheinlängsverlauf. So sind die Uferbereiche in den Stauräumen bei Rheinou und unterhalb Waldshut von zunehmendem Uferverbau und geringerer Substratvielfalt geprägt. Diese äußert sich hier infolge des reduzierten Habitatangebots anscheinend in einer Beeinträchtigung der Artenvielfalt. Abbildung 30 zeigt, dass unter Berücksichtigung aller wichtigen und in die Untersuchung einbezogene Substratarten auch an den Ufern eine Reduktion der Taxazahl innerhalb der Fließstrecke unterhalb Waldshut nachweisbar ist. Jedoch findet diese nicht in dem Masse statt, wie die Verringerung des natürlich vorhandenen Steinsubstrates vor sich geht.

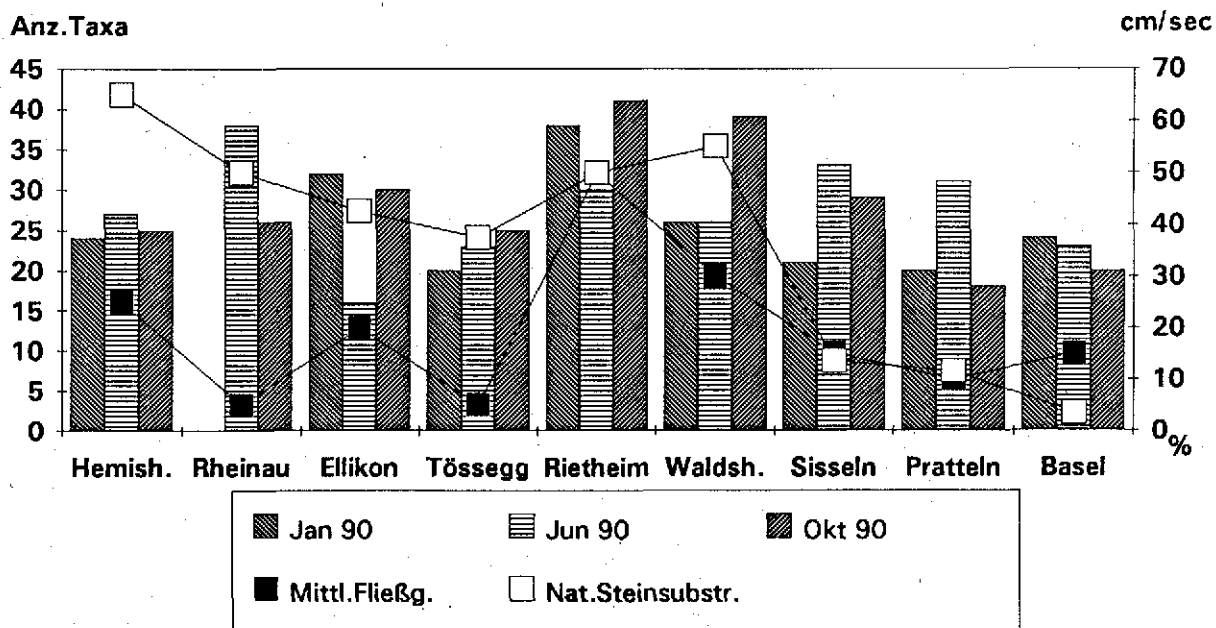


Abb. 30: Gesamttaxazahlen im Längsverlauf an beiden Ufern (alle berücks. Substrate) mittl. Fließgeschwindigkeit (cm/sec) und Anteil des natürlichen Steinsubstrates an der Uferfläche (%).

Zum einen ist hier wohl mit einer Anpassung des Artenspektrums an die Bedingungen einer Abfolge von Stauräumen zu rechnen, zum anderen spielt eine wichtige Rolle, dass bei der Aufsammlung der Uferproben auch in den stark verbauten Bereichen nur relativ natürliche Besiedlungssubstrate berücksichtigt wurden. Dies bedeutet, dass die in den Uferproben gefundenen Taxazahlen für die Abschnitte mit starkem Uferverbau (Sisseln bis Basel) auf die Gesamtuferfläche im Gegensatz zu den Stromsohlenproben nicht repräsentativ sein können. Abbildung 24 (S. 47) macht ausserdem deutlich, wie stark Substratvielfalt und Fliessgeschwindigkeit im untersuchten Rheinabschnitt miteinander verbunden sind, so dass beide Faktoren eine entscheidende Rolle bei der Ausprägung des Besiedlungsbildes spielen.

4.2.5 Betrachtung nach funktionellen Gruppen

Neben einer reinen taxonomischen Betrachtung der Ergebnisse ist es in einem relativ stabilen Ökosystem wie dem Hochrhein möglich und auch sinnvoll, neben den bereits angesprochenen Lebensraumtypen (Rheobionten, Limnobionten, Ubiquisten) eine weitere Zuordnung der Arten zu übergeordneten funktionellen Einheiten durchzuführen. Organismen können beispielweise aufgrund ihrer Fortbewegungsart (Lokomotionstypen), ihrer Nahrungsaufnahme (Ernährungstypen) und ihrer Fähigkeit, mit mehr oder weniger Sauerstoff auszukommen (Respirationstypen) unterschieden werden. Auf diese Weise lässt sich eine einfachere und allgemeingültigere biologische Charakterisierung unterschiedlicher Flussabschnitte durchführen.

Diese zweite Stufe der Ergebnis-Interpretation wurde wegen der in Kap. 4.2.4 angesprochenen "Instabilität" der Uferbesiedlung nur an den Proben der Stromsohle durchgeführt. Und hier konnten auch bei den Lokomotions- und Ernährungstypen deutliche Unterschiede zwischen verschiedenen Hochrheinabschnitten herausgearbeitet werden.

Lokomotionstypen

Makroinvertebraten lassen sich einteilen in Arten, die wenigstens zeitweise sessil, d.h. am Substrat fixiert sind und dann eine feste Position zur Rheinströmung einnehmen und solche, die vagil, also freibeweglich sind. Die vagilen Makroinvertebraten lassen sich nach dem Grad des Substratkontakts weiter differenzieren in vagil grabende (im Substrat), kriechende (auf dem Substrat) und schwimmende Tiere (ohne oder mit wenig Substratkontakt). Eine Zuordnung der in den Tauchproben nachgewiesenen Makroinvertebraten zu den verschiedenen Lokomotionstypen findet sich in Tabelle A 3.8 in Anhang 3.

Die Dominanzverhältnisse dieser Lokomotionstypen sind für die Proben an der Stromsohle in Abbildung 31 (S. 54) dargestellt. Es fällt auf, dass der Anteil der sessilen Tiere an vielen Stellen über 50 % ausmacht. Am höchsten ist er im Seeabfluss bei Hemishofen. Dies korreliert mit dem hohen Prozentsatz an Filtrierern (v.a. *Dreissena polymorpha*), die zur Nahrungsaufnahme einen festen Bezugspunkt zum Substrat und zur Strömung benötigen. Hoch ist aber auch der Anteil an sessilen Invertebraten im Bereich der Staustufe Rheinau mit geringen Fliessgeschwindigkeiten und ausgedehnten Sedimentationszonen, obwohl die auf der Stromsohle nur geringen Anteile an Hartsubstraten eine für festsitzende Organismen ungünstige Umgebung darstellen. Das Zahlenverhältnis sessile : vagile Tiere ändert sich zwischen Hemishofen und Basel wie in Tabelle 6 zusammengefasst:

Tab. 6: Quotient der Dominanzverhältnisse sessiler zu vagiler Makroinvertebraten im Verlauf der Untersuchungsstrecke

Probenahmestelle	min	max	Mittelwert
Hemishofen	1,3	15,9	6,7
Rheinau	0,7	5,3	2,7
Ellikon	0,2	2,4	1,3
Tössegg	0,5	10,7	2,9
Rietheim	0,2	1,4	0,7
Waldshut	0,3	1,5	0,7
Sisseln	0,2	6,2	1,9
Pratteln	0,6	1,3	1,0
Basel	0,4	2,5	1,2

Naturnahe Streckenabschnitte, aber auch Stellen mit stärkerer Geschiebeumlagerung wie Pratteln und Basel, zeichnen sich demnach durch einen höheren Anteil vagiler Organismen aus, während in Rückstaubereichen und im Seeabfluss vor allem sessile Tiere (v.a. *Dreissena polymorpha*) entweder die vorhandenen ökomorphologischen Ressourcen besser nutzen können oder einfach weniger vom Substrat "abgelöst" werden.

Ernährungstypen

Die benthischen Makroinvertebraten lassen sich auf der Grundlage ihrer Nahrungsaufnahmetechnik und der Herkunft ihrer Nahrung funktionellen Ernährungstypen wie Räubern, Filtrierern, Sedimentfressern, Zerkleinerern und Weidegängern zuordnen (vgl. SCHRÖDER ET AL., 1990 und Tab. A 3.8. Anh. 3).

Für die Proben an der Stromsohle sind die Dominanzverhältnisse dieser Ernährungstypen in Abb. 32 a-c dargestellt. Im Rhein bei Hemishofen dominierten die 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: Mit Ausnahme der mittleren bis tiefsten Stellen im Rhein bei Tössegg im Juni und Oktober bleibt der Anteil der Filtrierer sonst überall gering. In Basel-Rheinhafen St.Johann fehlen sie auf der Stromsohle fast völlig.

Der Anteil der Sedimentfresser erreicht Maxima mit über 70% an der Gesamtbesiedlung in einzelnen Teilflächen mit entsprechend hohem Anteil an feinkörnigem Substrat, vor allem in Rheinau, Tössegg und Sisseln sowie im Bereich der Teilprobe A in Ellikon.

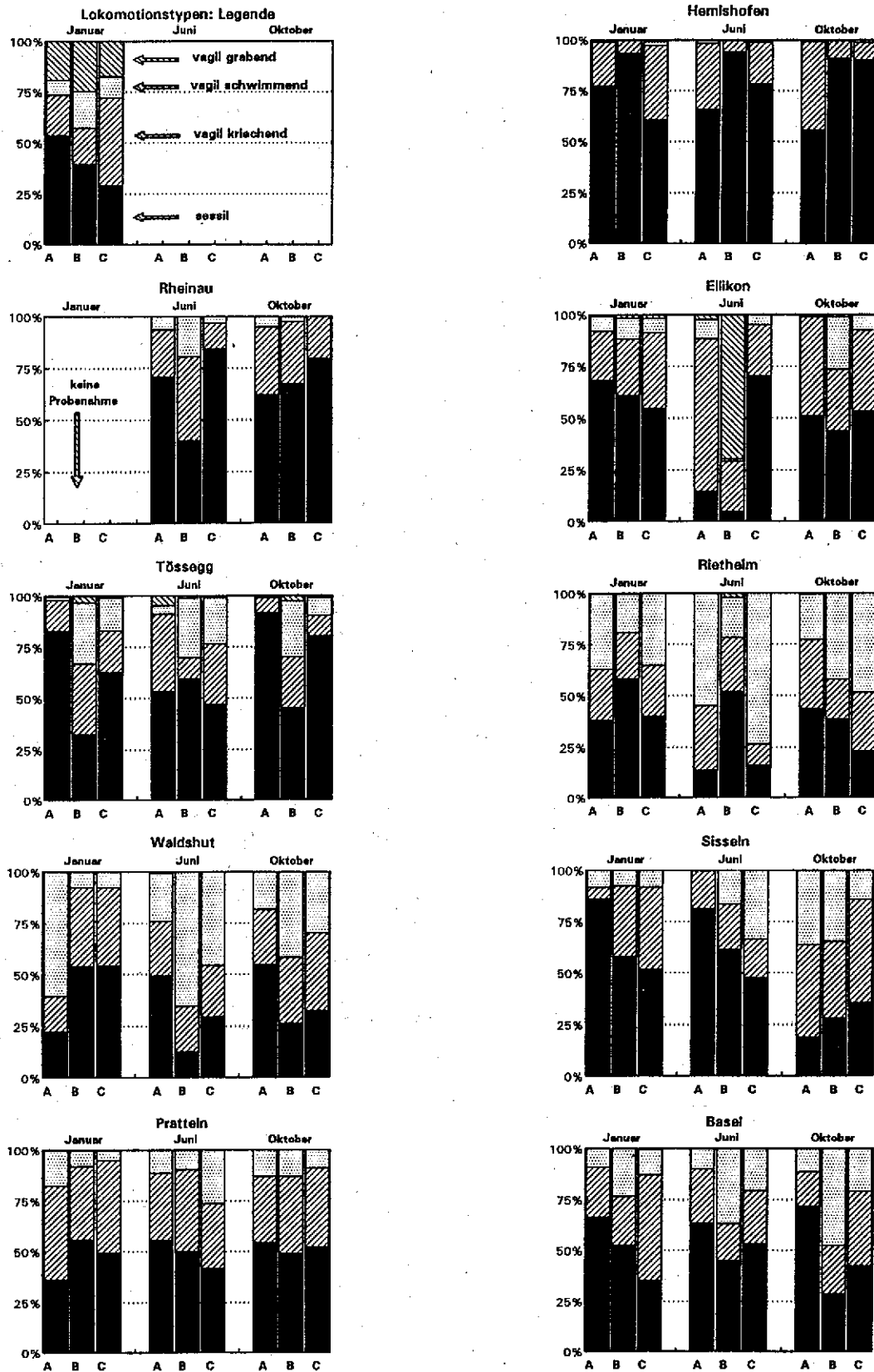


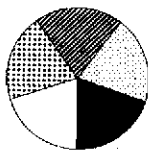
Abb. 31: Verteilung der der Lokomotionstypen der Makroinvertebraten an den einzelnen Probestellen auf der Stromsohle.

Mehr noch als die Lokomotionstypen spiegeln die Ernährungstypen die Unterschiede in den nutzbaren Ressourcen des aquatischen Umfeldes wieder. Besonders wichtig für den Hochrhein scheinen dabei die Anteile der Filtrierer und Sedimentfresser zu sein. Passive Filtrierer (z.B. netzbauende Köcherfliegenlarven) belegen vor allem die Phyto- und Zooplanktonproduktion oberhalb liegender Steckenabschnitte, aktive Filtrierer passen sich auch der "ungünstigen" Situation in Rückstaubereichen an, indem sie ihre Nahrung aktiv aus dem Wasserkörper ziehen (z.B. Muscheln).

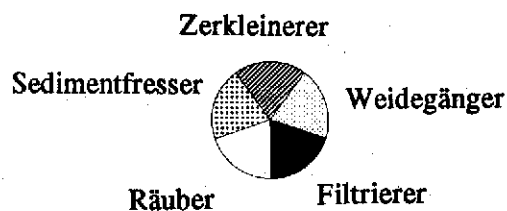
Naturnahe Stellen (Ausnahme: Seeabfluss bei Hemishofen), zeichnen sich -entsprechend der Vielfalt an Lebensräumen und demnach auch Nahrungsressourcen- durch ein ausgewogenes Verhältnis aller Ernährungstypen aus. Diese "Ausgewogenheit" ist auch im Raum Basel deutlich gestört, obwohl dort ein relativ hoher Anteil herkömmlicher "Güte-Indikatoren" (z.B. Heptageniidea) nachgewiesen werden konnte.

Legende zu Abb. 32a-c (Seiten 56-58):

> 10'000 Ind./m²



5000 - 10'000 Ind./m²



1000 - 5000 Ind./m²



500 - 1000 Ind./m²



100 - 500 Ind./m²



1 - 100 Ind./m²



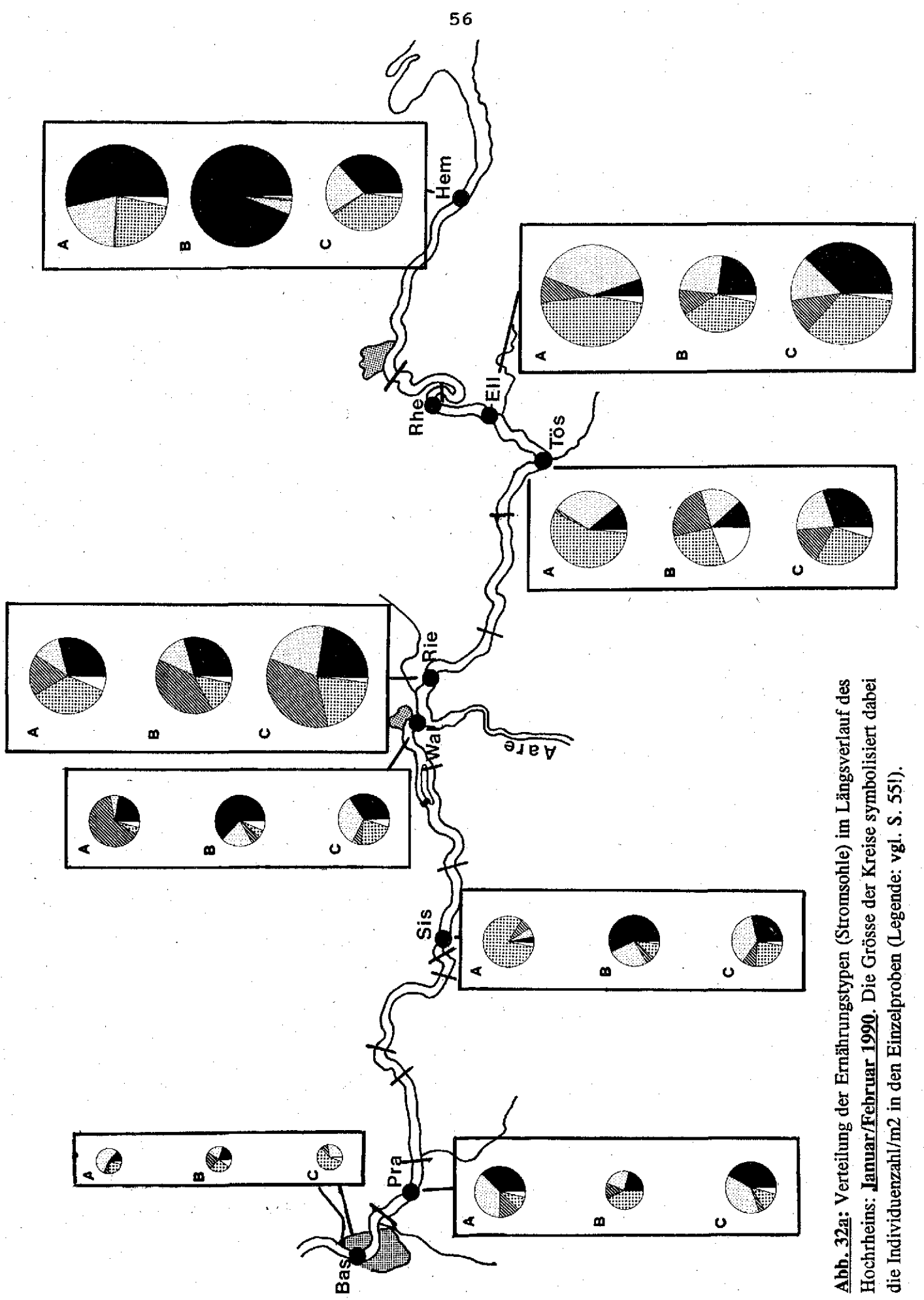


Abb. 32a: Verteilung der Ernährungstypen (Stromsohle) im Längsverlauf des Hochrheins: Januar/Februar 1990. Die Grösse der Kreise symbolisiert dabei die Individuenzahl/m² in den Einzelproben (Legende: vgl. S. 55!).

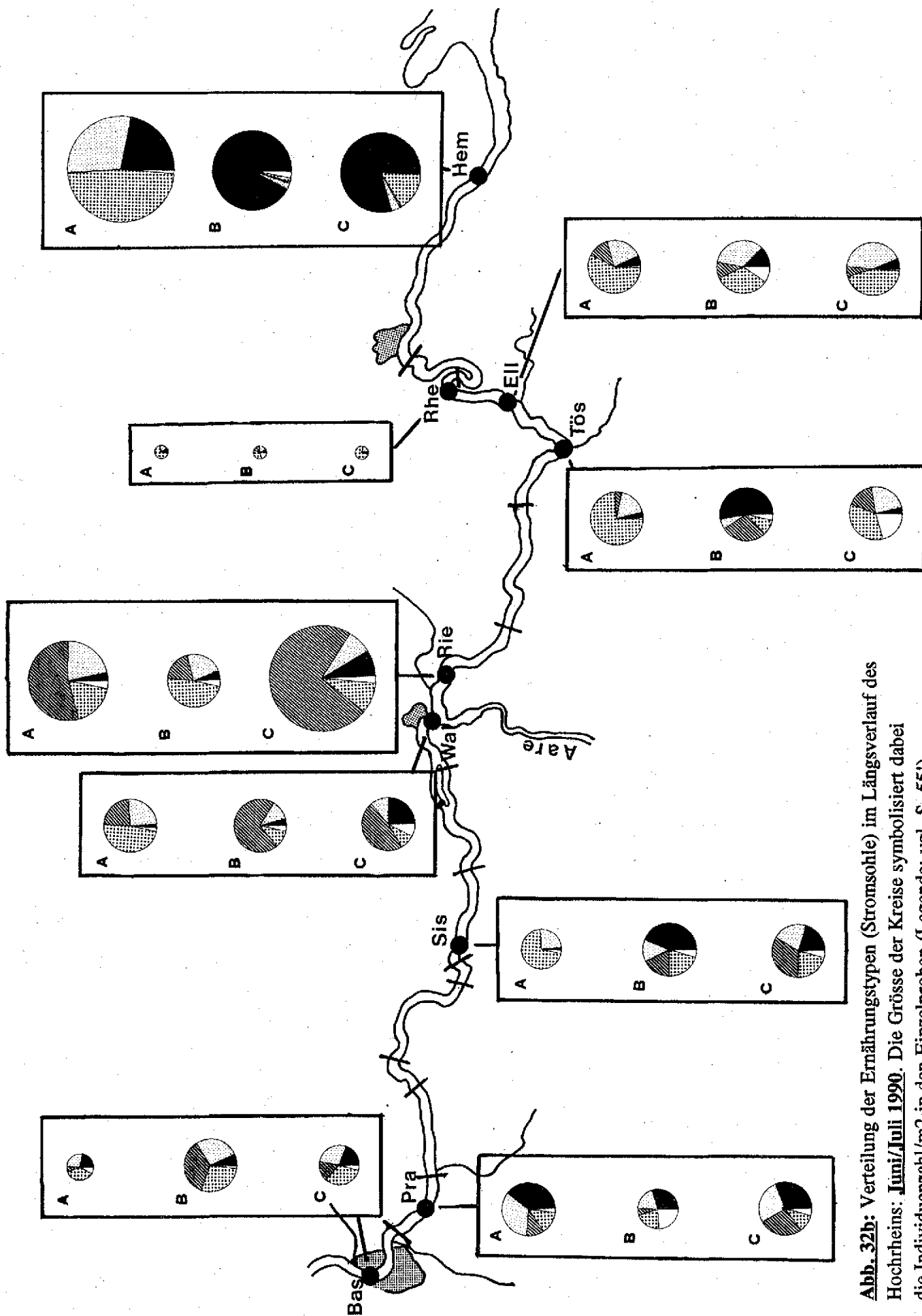


Abb. 32b: Verteilung der Ernährungstypen (Stromsohle) im Längsverlauf des Hochrheins: Juni/Juli 1990. Die Größe der Kreise symbolisiert dabei die Individuenzahl/m² in den Einzelproben (Legende: vgl. S. 55!).

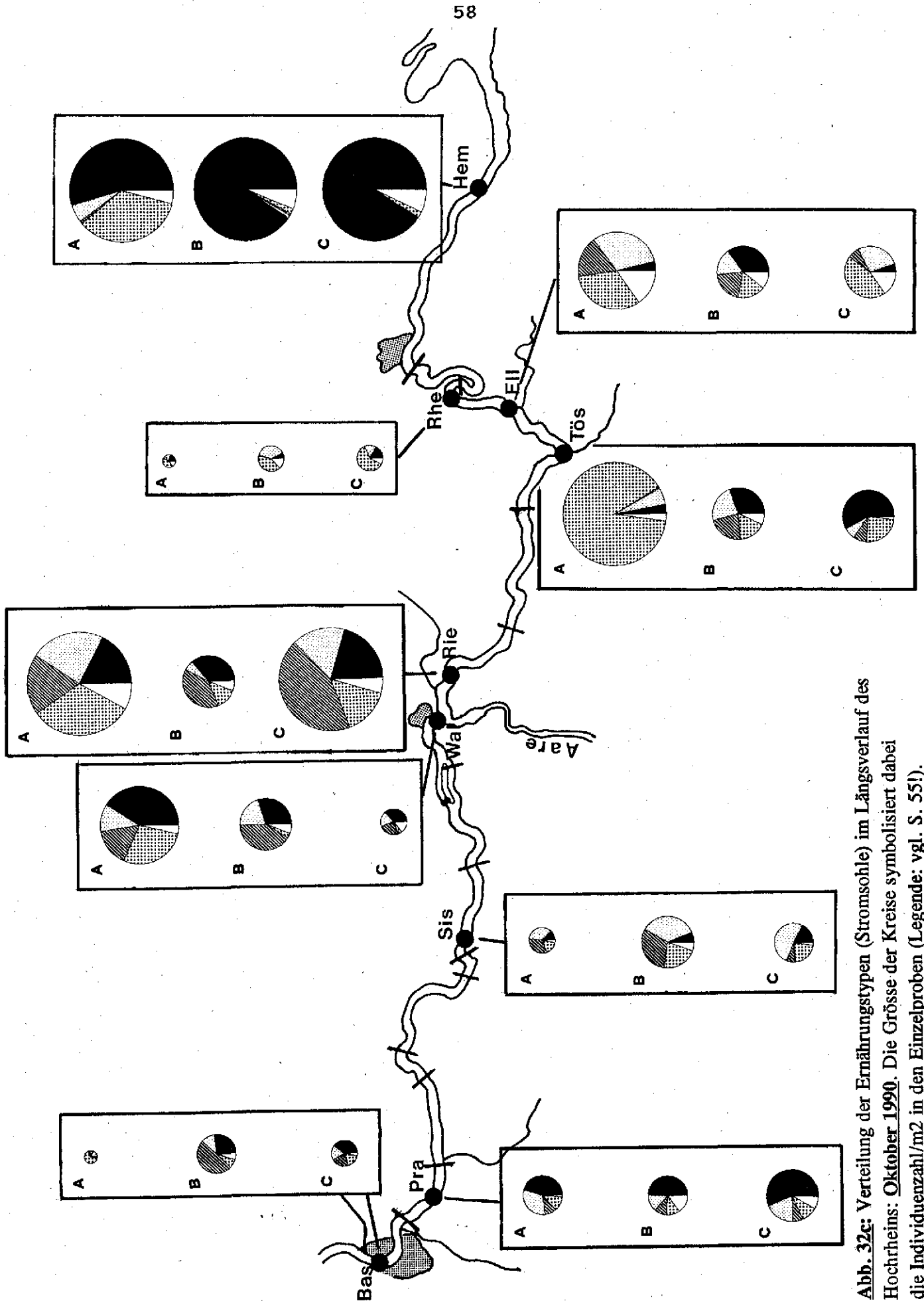


Abb. 32c: Verteilung der Ernährungstypen (Stromsohle) im Längsverlauf des Hochrheins: Oktober 1990. Die Größe der Kreise symbolisiert dabei die Individuenzahl/m² in den Einzelproben (Legende: vgl. S. 55!).

5. DISKUSSION

5.1 Wahl der Probenahmemethodik

Vor dem Hintergrund der Zielsetzung, möglichst umfassende Aussagemöglichkeiten bezüglich der Besiedlung und Artenzusammensetzung der Makroinvertebraten im Hochrhein zu erreichen, war es notwendig, der Wahl der Probenahmemethodik entscheidende Bedeutung beizumessen.

Erfolgt die Probenahme nach gebräuchlichen Sammeltechniken (Kicksampling, Surber Sampler) am Ufer, kann eine breite Vielfalt an verschiedenen Habitatstypen erfasst werden (Steine, Sand, Makrophyten), man bewegt sich jedoch in einem Bereich, in dem neben der natürlichen Populationsdynamik auch mit anderen Einflüssen auf die Benthosbesiedlung und damit mit starken Schwankungen gerechnet werden muss. Mehr als in der Stromrinne ist hier die Biozönose wechselnden Umfeldbedingungen ausgesetzt. Allein schon die schwankenden Wasserstände und die dadurch verursachte periodische Überflutung und Austrocknung von Uferstrukturen können an vielen Stellen den Aufbau stabiler Populationen verhindern.

Die Vorteile einer Probenahme im Uferbereich liegen in der einfachen Aufsammlung, die, mit geringem apparativem und personellem Aufwand verbunden, beliebig häufig durchgeführt werden kann. Kurzfristige und regelmässige Kontrollen sind jederzeit möglich. Ist jedoch nur eine Probenahme am Ufer beabsichtigt, müssen bei der Auswertung der Ergebnisse die oben genannten Gesichtspunkte berücksichtigt werden. Auch ist es in einem Fluss von der Grösse des Hochrheins nicht ausgeschlossen, das sich Organismen, die zu manchen Zeiten am Ufer nicht nachweisbar sind, in grössere Tiefen "zurückgezogen" haben. Allein die Berücksichtigung der Uferbesiedlung würde damit zu einer falschen Schlussfolgerung führen.

Eine Probenahme an der Stromsohle im tiefen Wasser kann im Hochrhein nur unter Zuhilfenahme eines Tauchers erfolgen und erfordert einen relativ hohen apparativen und personellen Aufwand. Sie ist zudem wegen den Gefahren für den Taucher stark von der Wasserführung abhängig.

Die Vorteile einer Probenahme durch den Taucher liegen in der Möglichkeit, die Beobachtungen in einen üblicherweise unerreichbaren Teil des Flussbettes ausdehnen zu können, wo meist andere Strömungs-, Substrats- und Aufwuchsverhältnisse vorherrschen als am Ufer und wo die Umfeldbedingungen - zumindest innerhalb einer Jahreszeit - geringeren Schwankungen unterliegen. Diese Methode deckt zudem eine weit grössere Fläche des Gesamtquerschnittes ab als die Probenahme am Ufer und vermag somit in einem Fliessgewässer der Grösse des Hochrheins eine bessere Repräsentativität der Ergebnisse zu erzielen.

Auswirkungen auf die Aussagekraft der unterschiedlichen Probenahmemethoden hat ausserdem die zunehmende morphologische Degradierung von Sohle und Ufer im Hochrhein. Bei den ungestörten Übergängen von Ufer zur Strommitte in naturnahen Abschnitten (Hemishofen km 29, Ellikon km 63.8, Rietheim km 97.8) kann bei vergleichbaren Substraten das Artenspektrum von Ufer und Stromsohle weitgehend übereinstimmen. Auf der Höhe von Basel jedoch, wo der vom Ufer aus erreichbare Teil des Flusses weniger als 1 % der wasserüberströmten Fläche ausmacht, sind die Uferproben nur für das dort vorhandene, künstlich eingebrachte Substrat und die Taucherproben nur für die Verhältnisse auf der Stromsohle repräsentativ.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass für eine korrekte biologische Charakterisierung des Hochrheins beide Probenahmetechniken herangezogen werden müssen, um zu repräsentativen und damit reproduzierbaren Ergebnissen zu gelangen.

5.2 Verbreitung der Makroinvertebraten

Aufgrund des grossen Umfangs des erhobenen Probenmaterials sowie aufgrund von Quervergleichen zu aktuellen Arbeiten über die Verbreitung einzelner Arten im Hoch- und Oberrhein (SCHROEDER & REY, 1991) darf davon ausgegangen werden, dass die vorliegende Bestandesaufnahme entsprechend dem angewandten taxonomischen Niveau zwar bei weitem nicht das gesamte vorhandene Artenspektrum wiedergibt, jedoch eine repräsentative Übersicht über die aktuelle Makroinvertebratenbesiedlung im Hochrhein darstellt.

Die vorgefundenen Verbreitungsmuster und Besiedlungsdichten sind im Hochrhein die Folge der komplizierten Vernetzung und Überlagerung einer Vielzahl von Einflussparametern. KINZELBACH (1990) zeigte, dass das Besiedlungsmuster der Rheinflauna ein dynamisches Gebilde hoher Komplexität, Instabilität und Inhomogenität darstellt, in dem zeitliche, kleinräumige (im Querschnitt) und grossräumige (Längszonierung) Unterschiede in der Verbreitung der Taxa zu erkennen sind.

Die vorliegende Bestandesaufnahme zeigt eine Makrofaunazusammensetzung, die geprägt ist durch die grundsätzlich veränderten ökologischen Randbedingungen infolge der anthropogenen Einflüsse innerhalb der vergangenen 100 Jahre. Insbesondere die Veränderungen der Flussmorphologie spielen dabei eine wichtige Rolle. In vielen Rheinabschnitten ist heute eine Faunenzusammensetzung zu finden, die stark von Ubiquisten dominiert und zT. auch von Stillwasserformen (vgl. Kap. 4.2.1, Typ 1 und Typ 2, S. 26) geprägt wird.

Die Auswirkungen schlechter Wasserqualität auf die benthische Besiedlung, die vor allem die Rheinabschnitte unterhalb von Basel betroffen hatte, verloren aufgrund der Massnahmen im Bereich der Abwasserreinigung in den vergangenen Jahren an Bedeutung. Ein Beispiel für diese Tendenz stellt das Vorkommen von *Theodoxus fluviatilis* dar. Die Verbreitung dieser Schnecke nimmt nach dem fast vollständigen Erlöschen des Bestandes im Rhein in den siebziger Jahren mit der Verbesserung der Rheinwasserqualität, ausgehend von einem Restvorkommen im südlichen Oberrhein, wieder zu. Die Schnecke hat den Unterlauf des Hochrheins bereits erreicht (bis etwa Rheinfeldern) (vgl. Abb. A 4.2, Anh. 4). Die Besiedlung stromaufwärts geht jedoch nur langsam voran, da hier Rückstaubereiche und Staustufen einschneidende Ausbreitungshindernisse darstellen.

Eine Referenz für die Besiedlung des Rheins in der Zeit vor dem Bau der verschiedenen Staustufen bilden die drei Bestandesaufnahmen bei Hemishofen (Rhein-km 29), Ellikon (km 63.8) und Rietheim (km 97.8). Die genannten Probenahmestellen repräsentieren die letzten Abschnitte des Hochrheins, die noch annähernd einen ursprünglichen Fliessgewässercharakter aufweisen. Für viele rheophile Arten (vgl. Kap. 4.2.1, Typ 5, S. 27) bilden diese Abschnitte die letzten Trittsteine, von denen aus eine gewisse Ausbreitung auf den restlichen Hochrhein noch stattfinden kann. Insbesondere wegen dieser beiden Abschnitte nimmt der Hochrhein (neben dem Restrhein) hinsichtlich der Makrofauna des gesamten Rheinstromes heute eine Sonderstellung ein, da er immer noch mehr Ephemeropteren und Plecopteren beherbergt als die weiter unten liegenden Flussstrecken. Arten dieser beiden Insektenordnungen sind vom nördlichen Oberrhein an nur sehr selten oder nicht mehr zu finden. Ausnahmen bilden bei den Ephemeropteren die Caeniden (ganzer Rheinstrom, nicht rheophil) und *Ephoron virgo* (im Mittelrhein).

Laut KINZELBACH (1990) ist im Hinblick auf die Verbreitung einzelner Arten allerdings auch zu beachten, dass Inhomogenitäten in der Längszonierung nicht ausschliesslich mit anthropogenen Eingriffen ins Flussregime oder durch die aktuellen ökologischen Randbedingungen erklärt werden können, sondern häufig die paläogeographische Besiedlungsgeschichte über lange Zeit die Verbreitung einer Art bestimmt, selbst wenn die früheren historischen Ausbreitungsschranken gar nicht mehr existieren.

Als Beispiel soll hier die Köcherfliege *Hydropsyche contubernalis* erwähnt werden, die auf Grund ihrer Verbreitungsmuster in Mitteleuropa missverständlich als potamale Art eingestuft wurde. So nimmt ihr relativer Anteil bezüglich der gesamten Gattung im Hochrhein stromabwärts kontinuierlich zu (vgl. Abb. A 4.1, Anh.4). In Wirklichkeit ist *H. contubernalis* eine Art mit Verbreitungsschwerpunkt rund um das Mittelmeer und besiedelt z.B. in Nordafrika auch kleinste Fliessgewässer. Sie hat sich vermutlich im Altpleistozän über das Rhône-Doubs-Aare System bis in den südlichen Oberrhein ausgebreitet.

Die ursprünglichen Verbreitungsgrenzen der meisten Arten im Rhein wurden jedoch durch anthropogene Veränderungen (Rheinkorrekturen, chemische Belastung) verschoben. Dies führte bei einzelnen Arten zu einer Ausbreitung über den ganzen Rhein, bei andern dagegen zu einem Rückzug auf natürlich verbliebene Resthabitats oder zum völligen Verschwinden. Neben dieser anthropogen induzierten Verschiebung rheinbürtiger Arten muss jedoch auch die Einwanderung von Arten aus anderen Gewässersystemen oder Erdteilen in unserem Jahrhundert in die Betrachtungen miteinbezogen werden. Die Ansiedlung solcher Neozoa (vgl. Kap. 4.2.1, Typ 6, S. 27), welche meist durch den Menschen eingeschleppt werden, ist am ganzen Rhein beobachtbar. Neozoen, welche die vorhandenen Lebensräume im heutigen Zustand besser ausnützen können oder dort ehemals lebende Arten ersetzen, fallen nicht selten durch Massenvorkommen besonders auf (*Dreissena polymorpha*).

5.3 Zusammenhänge zwischen Umgebungsfaktoren und Makroinvertebratenbesiedlung

Unterschiedliche Aussagen am Ufer und in Strommitte

Verallgemeinernd lässt sich sagen, dass im exponierten Uferbereich des Rheins eine Organismenverteilung zu erwarten ist, die sich in gewisser Masse den dort im Tages- und Jahresgang differierenden Umgebungsfaktoren anpasst (schnelle Wassererwärmung im Flachwasserbereich, Sauerstoffzehrung, Änderung der Strömung bei Wasseranstieg, etc.). Zusammenhänge zwischen einzelnen gemessenen abiotischen Parametern und der Besiedlungsdichte waren deshalb vor allem im Uferbereich zu finden (Kap. 4.2.5.).

Auf der Stromsohle und an ständig überströmten Uferabschnitten ist das Organismenvorkommen offensichtlich geringeren Veränderungen unterworfen. Hier ist der Gesamtcharakter eines Rheinabschnittes für die Besiedlungsverhältnisse entscheidend.

Physikalisch-chemische Parameter und Wasserchemie

Die grossen Schwankungen der Wassertemperatur im Jahresgang sind ein charakteristisches Element potamaler Ökosysteme. Für einen Fluss von der Grösse des Rheins sind sie natürlich und daher vor allem ausschlaggebend für die Zusammensetzung der Rhein-Biozönose. Wir haben gesehen, dass sich die Werte vieler anderer physikalisch-chemischer Parameter in relativ stabilen Bereichen bewegen (pH, Lf, N- und P- Komponenten, Kap. 4.1). Auswirkungen der Temperaturschwankungen auf die Makrofauna waren vor allem an exponierten Stellen im Uferbereich oder bei besonders empfindlichen Organismen zu erwarten.

NEUMANN (1990) nennt folgende Arten, die wegen ihrer relativ hohen Ansprüche an den Sauerstoffgehalt als Indikatororganismen für eine verbesserte Rheinwasserqualität in Mittel- und Niederrhein geeignet sind: *Hydropsyche pellucidula*, *Radix peregra*, *Theodoxus fluviatilis*. Für den Hochrhein kann dies nicht gelten, da hier die Sauerstoffverhältnisse überall ausreichend sind und nicht limitierend auf die Verbreitung wirken. Die Beschränkung von *T. fluviatilis* auf den untersten Hochrheinabschnitt hat andere Gründe (vgl. Kap.5.1).

Strömung und Substrat der Flussole

Kleinräumige Beziehungen zwischen Umgebungsfaktoren und Besiedlung werden bei der Betrachtung der Strömungsverhältnisse und der Substratzusammensetzung erkennbar. Im Uferbereich konnte ein deutlicher Zusammenhang zwischen der in situ gemessenen Fließgeschwindigkeit und dem Vorkommen einzelner Makroinvertebraten (Kap. 4.2.4) festgestellt werden. An der Stromsohle war dagegen ein solcher Zusammenhang nur über die Substratzusammensetzung, also die mittelfristige Folge unterschiedlicher Strömungsverhältnisse erkennbar.

Es ist bekannt, dass die Siedlungsmuster der Organismen im Fließgewässer von den lokalen Strömungsverhältnissen abhängen (rheophile Organismen in gut durchströmten, limnophile Organismen in strömungsarmen Bereichen). Schwierigkeiten tauchen dann auf, wenn eine ökologisch relevante Strömung über dem Substrat gemessen oder definiert werden soll.

Korrekte Fließgeschwindigkeitswerte lassen sich nur bei annähernd laminaren Strömungen angeben, also über glattem Substrat oder bei sehr geringer Strömung. Sobald die Strömung stärker wird und der Untergrund rauh ist, werden die Strömungsverhältnisse im Mikrohabitat der Organismen komplex und können nicht mehr allein durch die Fließgeschwindigkeit in Hauptströmungsrichtung - einer eindimensionalen Komponente dieses Raums - charakterisiert werden. Abundanz und Artenzusammensetzung von Organismen, die sich in einem solch komplexen Strömungsraum befinden, lassen sich daher nicht allein durch die Ergebnisse der Fließgeschwindigkeitsmessung erklären. In diesem Bereich müssten in Zukunft andere Wege zur Beschreibung des Lebensraumes gefunden werden.

5.4 Beschreibung des biologischen Gewässerzustandes

5.4.1 Anwendung von Bioindices

Die Ergebnisse der Bestandesaufnahme wurden unter anderem dazu verwendet, die Anwendbarkeit von Interpretationsansätzen zur Beschreibung des biologischen Gewässerzustandes am Hochrhein zu prüfen. Dazu wurden der Saprobienindex nach PANTLE & BUCK (1955) und der Rheoindex nach BANNING (1991) errechnet. Für die Berechnungen wurden nur die Taucherproben verwendet.

Saprobienindex

Der Saprobienindex der einzelnen Taxa wurde den Listen von MAUCH (1985;1987) entnommen, ergänzt durch Angaben von BRAUCKMANN (1987) für die im Rhein vertretenen Chironomidengruppen. Die genaue Zuordnung für die im Rheingebiet vorkommenden Taxa ist der Tabelle A 3.8 (Anh. 3) zu entnehmen.

Der Saprobienindex lag gemittelt für die Teilproben A-C zwischen 2,1 und 2,4. Die jahreszeitlichen Unterschiede sind zu vernachlässigen. Die Einzelproben lagen in der Regel ebenfalls in diesem Bereich; eine Ausnahme bildet der Rhein bei Rheinau mit Saprobienindex zwischen 2,0 (B) und 2,7 (C) im Juni 1990.

Ein Vergleich der ermittelten Werte mit den Erkenntnissen, die direkt aus der Bestandesaufnahme und aus der morphologischen Charakterisierung der Probenahmestellen hervorgingen, zeigte, dass der Saprobienindex (bezogen auf Makroinvertebraten) für eine Differenzierung des biologischen Gewässerzu-

standes im Längsverlauf des Hochrheins keine ausreichende Relevanz besitzt. Für diese Behauptung möchten wir zwei Gründe anführen:

1. Der Indikatorwert der im Saprobienindex aufgeführten Taxa kann nur für diejenigen, spezifizierbaren Fließgewässertypen gelten, an denen er entwickelt wurde.
2. Der Hochrhein mit seinem grossen Einzugsgebiet und dem steten Wechsel von Fließstrecken und Rückstauereichen stellt flussmorphologisch, biologisch und chemisch ein nicht kategorisierbares Mischgewässer dar. Sein Habitatsangebot für Benthosorganismen hält an vielen Stellen nahezu alle Möglichkeiten bereit. So finden wir zum Beispiel auch innerhalb natürlicher, biologisch hochwertiger Flussabschnitte strömungsarme Zonen mit schlammigem Sediment und den dazugehörigen "Bioindikatoren". Es liegt nahe, dass hier auch die Saprobienindices unterschiedlicher Substrate stark schwanken. Ein einheitlicher Index lässt sich hier nicht berechnen.

Rheoindex

Mehr im Sinne einer biologischen Fließgewässercharakterisierung ist der Ansatz über den Rheoindex (BANNING, 1991) zu sehen, auch eine Möglichkeit, die ökologischen Auswirkungen anthropogener Eingriffe abschätzen zu können.

Am Beispiel der staugeregelten Donau hat BANNING (1991) einen Index entwickelt, der die Relation zwischen den Abundanzverhältnissen der Fließwasserarten, der Ubiquisten und der Stillwasserarten wiedergibt. Der Index wird berechnet aus der Summe der relativen Häufigkeiten der Fließwasserarten, dividiert durch die Gesamtsumme der relativen Häufigkeiten der Fließwasserarten (Gewichtung 2), Stillwasserarten (Gewichtung 2) und Ubiquisten (Gewichtung 1). Die Zuordnung zu diesen drei Siedlungstypen erfolgte nach den ökologischen Angaben der Limnofauna Europaea (ILLIES 1978). Einschränkend ist aber festzustellen, dass eine laut ILLIES dem Rhithral und Potamal zuzuordnende Species in unserem Untersuchungsgebiet ein Ubiquist sein kann (z.Bsp. Vertreter der Hydroptiliden) oder eine als Stillwasserart charakterisierte Spezies bei uns nicht nur im Bodensee, sondern auch im gesamten Hochrhein vorkommen kann (z.Bsp. einige Gastropodenarten).

Der Rheoindex kann theoretisch Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Im Hochrhein lag der jeweils für die drei Teilproben A,B und C gemittelte Wert in der Regel über 0,5 und bei maximal 0,78. Die Minimum-Maximum-Werte für die Teilproben A,B und C wichen hiervon nur in einem Fall um mehr als 0,1 ab (Basel A im Oktober). Eine Ausnahme bildete erwartungsgemäss der Untersuchungsabschnitt im Staubereich Rheinau. Hier erreichte der Rheoindex für die Teilareale nur Werte zwischen 0,0 und 0,3. Diese Angaben zeigen, wie extrem sich die hier lebende Makrofauna von der Besiedlung eines Abschnittes mit noch ausgeprägtem Fließwassercharakter unterscheidet. Auch an der Probenahmestelle bei Tösseg waren im Januar und Oktober die Fließgeschwindigkeiten über der Stromsohle vergleichsweise niedrig, während der Rheoindex nicht unter 0,4 lag.

BANNING (1991) stellte im Bereich aller 8 Stauanlagen in der Donau zwischen Bad Abbach und Jochenstein eine deutliche Abnahme des Rheoindex in Korrelation zur mittleren Fließgeschwindigkeit fest. Dies traf im Hochrhein nur für den Staubereich Rheinau zu. Daraus sollte aber nicht gefolgert werden, dass wir in allen anderen Untersuchungsabschnitten noch die ursprüngliche Rheinafauna vorfinden. Ein Vergleich mit früheren Untersuchungen (Kap. 5.4) zeigt vielmehr, wie schon mehrfach betont, dass im Laufe dieses Jahrhunderts die Artenzahl der Ubiquisten zu, die Anzahl der Fließwasserarten dagegen dramatisch abgenommen hat. Hier hat die synergistische Wirkung der sich überlagernden Stauwurzeln im Zuge des Staustufenausbaus den Lebensraum rheophiler Fließwasserarten und die Einwanderungsmöglichkeiten aus Restvorkommen dermassen eingeschränkt, dass zahlreiche Arten aus dem Hochrhein verschwunden sind. Potamale Rheinarten, die im Einzugsgebiet

und den Zuflüssen aufgrund anderer Umgebungsbedingungen nicht existieren können, dürften im Hochrheingebiet endgültig ausgestorben sein.

Abschliessend kann gesagt werden, dass die Anwendung von Interpretationsansätzen in Form von Bioindices für die heutige Situation am Hochrhein nicht zu Ergebnissen führt, die für eine sinnvolle biologische Beurteilung der Rheinabschnitte verwendet werden kann.

5.4.2 Langzeitbeobachtung

Vergleich mit früheren Rheinuntersuchungen

Gehen wir chronologisch vor, so können wir feststellen, dass um die Jahrhundertwende einige intensivere Bestandsaufnahmen auf Artniveau mit präziser Angabe der Fundorte durchgeführt wurden. So haben Basler Zoologen wie FELBER (1908), NEERACHER (1910) und LINIGER (aus CASPERS 1980) eine Artenliste der Trichoptera im Hochrhein bei Rheinau und in Basel erstellt. Ein Vergleich mit unserer Taxaliste an den gleichen Flussstrecken (Tabellen A 5.2 und A 5.3, Anh. 5) zeigt den drastischen Artenrückgang an beiden Stellen, wobei vor allem ein grosser Teil typischer Fliesswasserarten verschwunden ist. Viele dieser Species finden wir heute noch in den montanen Zuflüssen aus dem Hochschwarzwald (SCHRÖDER & REY, 1991), andere, wie *Chimarra marginata*, einst die häufigste Trichoptere im Hochrhein, sind heute in Europa fast überall ausgestorben.

Ungefähr zur gleichen Zeit beginnen die Untersuchungen von LAUTERBORN (1916, 1930, 1934, 1938) zur Limnologie des Rheins. Da damals Limnologie noch allgemein als Seenkunde und Planktonforschung verstanden wurde, geben die Daten von LAUTERBORN in erster Linie ein gutes Bild der damaligen Planktonzusammensetzung wieder (vgl. KELLER & SCHRÖDER, 1992), die Angaben zur Verbreitung der Makroinvertebraten sind dagegen sehr lückenhaft.

In seiner Monographie "Die geographische und biologische Gliederung des Rheinstroms" (LAUTERBORN, 1916) gibt er eine allgemeine Beschreibung vom damaligen Artenspektrum der Wirbellosenfauna im Hochrhein, die heute kaum noch nachzuvollziehen ist:

"... Die niedere Tierwelt des Hochrheins erhält ihren charakteristischen Zug durch die ausserordentliche Häufigkeit bestimmter Insekten, vor allem der Ephemeriden, Perliden und Trichopteren, die hier in einem Reichtum an Arten und vielfach auch an Individuen auftreten, wie sonst kaum irgendwo am Rhein.....

....Von Ephemeriden treten besonders *Oligoneuria rhenana* und *Rhithrogena aurantiaca* in Massenfaltung auf; von Perliden *Perla cephalotes*, *Dictyopteryx imhoffi*, *Isopteryx tripunctata*, *Chloroperla grammatica*, etwas weniger zahlreich auch *Perla maxima*, *Dictyopteryx microcephala* und *Leuctra klapaleki*. Von Trichopteren erhebt sich im Mai *Micrasema nigrum* in Flügen von Millionen über den Strom und die Ufer, kaum weniger zahlreich ist *Chimarra marginata*. Massenhaft erscheinen ferner *Hydroptila forcipata*, *Rhyacophila tristis*, *Glossosoma vernale*, *Agapetus comatus*, *Psychomyia pusilla*, *Leptocerus cinereus*, *Silo piceus*. Dazu kommen noch als mehr oder weniger häufig *Agapetus laniger*, *Rhyacophila obtusidens*, *Hydropsyche pellucidula*, *H. lepida*, *Setodes punctata*, *Oecetis notata*, *Brachycentrus subnubilus*, *Oligopteryx maculatum*. Von seltenen Arten wäre das Vorkommen von *Hydroptila rheni* und *Rhyacophila pascoei* besonders hervorzuheben. Wie man sieht, alles in allem eine eigenartige Mischung von Formen der Ströme und Flüsse mit solchen der klaren Bergbäche, durchaus in Übereinstimmung mit dem ganzen Charakter des Hochrheins auf dieser Strecke.

Die übrigen Insekten treten gegen diesen Reichtum ganz zurück. Etwas zahlreicher sind nur noch die Libellen, deren geflügelte Tiere sich über dem Strome und den Uferwiesen tummeln. ... Von Wasservanzen fand ich den seltenen *Aphelocheirus aestivalis* unter Ufersteinen am Beginn des Hochrheins. Die Kalktuffbänke sind mit schlauchförmigen flutenden Larvengehäusen der Chironomide *Orthocladius rivularis* besetzt; auch die Larven von *Atherix ibis* sind nicht selten.

Die sonstige niedere Tierwelt ist noch wenig untersucht. Auffallend erscheint die große Armut des Hochrheins an Wassermollusken. Von Schnecken fand ich bis jetzt nur *Limnaeus ovatus* und vereinzelt *Ancylus fluviatilis*, in Ufertümpeln auch *Physa fontinalis*; beim Rheinfall und oberhalb Basel tritt noch *Bithynia tentaculata* hinzu. Die Najaden scheinen nur durch *Unio cytherea (consentaneus)* vertreten zu sein, den ich an stilleren sandigen Stellen des Flusses vom Bodensee bis in die Gegend von Säkingen verfolgen konnte. ..."

RIGGENBACH (1928) führte zwischen 1925 bis 1928 im Rhein bei Augst-Wyhlen, im Rückstaubereich der Ergolz und im sogenannten Gewert, dem damaligen Altrheinarm des gegenüberliegenden Ufers mit Bodengreifern quantitative Bestandsaufnahmen durch.

Im Uferbereich des Rheins ermittelte RIGGENBACH in 23 Benthosproben Besiedlungsdichten zwischen 1.200 und 200.000 Oligochaeten/m² und 500 bis 40.000 Chironomidenlarven/m². Andere Makroinvertebraten machten in den meisten Proben weniger als 5 % aus.

Quantitative Untersuchungen zur Besiedlungsdichte der Makroinvertebraten im Transekt des Rheinprofils wurden bisher nur auf der Strecke zwischen Rheinfeldern und Kaiseraugst zwischen 1969-1972 (BLOESCH 1977) durchgeführt. Hier werden zwar nicht Abundanzen sondern Häufigkeitsklassen angegeben, ein Vergleich zu unseren Daten lässt sich jedoch auf qualitativem Niveau durchführen (Tabelle 5.4, Anh. 5). Für eine Verbesserung der Milieubedingungen in den letzten 20 Jahren sprechen die Neufunde von *Aphelocheirus aestivalis*, *Epemerella ignita*, *Heptagenia sulphurea*, *Glossosoma spec.* und *Cheumatopsyche lepida*.

Die Tabelle 5.5 in Anhang 5 zeigt einen Vergleich des Artenspektrums im Rhein bei Schweizerhalle Dez. 1986 (EAWAG, 1986 und 1987, STÖSSEL 1990) und Okt. 1990 (IfAH Konstanz). Die Stelle liegt oberhalb des Rheinabschnittes, in den bei der Brandkatastrophe von Schweizerhalle im November 1986 die Schadstoffe mit dem Löschwasser flossen. Diese Stelle diente bei Untersuchungen der Schadenswirkung auf die Makroinvertebraten als Referenz. Die Übereinstimmung beider Untersuchungsjahre ist relativ gut. Unterschiede lassen sich wohl teilweise auf unterschiedliche Schwerpunkte im taxonomischen Bearbeitungsniveau zurückführen.

Die Tabelle 5.6 in Anhang 5 gibt das Artenspektrum im Rhein zwischen Dreirosenbrücke und Rheinhafen St.Johann wieder. Die Benthosfauna dieses Abschnittes zeigte damals grosse Schäden nach der Brandkatastrophe in Schweizerhalle. Auch hier ergibt sich bei allen drei Untersuchungsteams (EAWAG, Bundesforschungsanstalt für Gewässerkunde, IfAH Konstanz) eine relativ gute Übereinstimmung. Ergänzt durch die Angaben von CASPERS (1990) für Imaginesfänge von Ephemeropteren, Trichopteren und Dipteren gibt die Summe aller vier Bestandsaufnahme ein relativ vollständiges Bild des rezenten Artenbestandes an dieser Stelle wieder.

Möglichkeiten für eine zukünftige Beobachtung

Unsere Untersuchung zeigt, dass zur Beobachtung einer Verbesserung oder Verschlechterung der Lebensbedingungen nicht für alle Rheinabschnitte die gleichen Organismen geeignet sind. Die ursprüngliche Idee, auf internationaler Ebene eine Liste der Bioindikatoren für die in Aussicht gestellten Verbesserungen im Rhein zusammenzustellen, die für den gesamten Rhein Gültigkeit hat, wurde daher zwischenzeitlich wieder aufgegeben.

Unter Berücksichtigung eines überall anwendbaren taxonomischen Niveaus können für den Hochrhein vor allem die Bestände einiger Ephemeropteren, Plecopteren sowie der Grundwanze *Aphelocheirus* geeignete Anhaltspunkte für eine weitere Verbesserung der Umgebungsbedingungen sein. So ist zu vermuten, dass sich bei Massnahmen zur Wiederherstellung der natürlichen Uferstrukturen und Biotopvernetzung insbesondere die Heptageniiden und *Potamanthus luteus* (nur oberhalb der Aaremündung zahlreich) weiter ausbreiten kann und heute verschwundene, früher sehr häufige Arten wie *Oligoneuriella rhenana* oder *Ephoron virgo* wieder nachgewiesen werden könnten.

Makroinvertebratenarten, die vor allem innerhalb ökomorphologisch wertvoller Flussabschnitte im Hochrhein noch häufig anzutreffen sind und deren Vorkommen für eine Verbesserung der ökologischen Qualität des Hochrheins stehen könnte, sind in der Tabelle 7 zusammengefasst.

Tab. 7: Makroinvertebratenarten ökomorphologisch wertvoller Flussabschnitte im Hochrhein.

EPHEMEROPTERA (Eintagsfliegen)

Heptagenia sulphurea
Ecdyonurus sp.
Rithrogena sp.
Potamanthus luteus
*Oligoneuriella rhenana**)
*Ephoron virgo**)

PLECOPTERA (Steinfliegen)

Leuctra sp.
 Nemouridae
Perlodes sp.
Perla sp.
Brachyptera risi

TRICHOPTERA (Köcherfliegen)

Glossosomatidae
Rhyacophila sp.

COLEOPTERA (Käfer)

Limnius sp.
Stenelmis sp.

HETEROPTERA (Wanzen)

Aphelocheirus aestivalis

MOLLUSCA (Weichtiere)

a) Gastropoda (Schnecken)
Ancylus fluviatilis
Theodoxus fluviatilis

b) Bivalvia (Muscheln)
Unio crassus

*) heute nicht mehr nachgewiesen im Hochrhein

5.5 Schlussfolgerungen und Vorschläge für künftige Untersuchungen

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung über die benthische Besiedlung des Hochrheins mit Makroinvertebraten lassen folgende Schlussfolgerungen zu:

- Die Wahl der Probenahmestellen (natürliche Fließwasserstrecken, verbaute Strecken, Stauräume) und der Probenahmezeitpunkte (Winter, Sommer und Herbst) reichte für eine umfassende Beschreibung der Zusammensetzung der benthischen Makroinvertebraten und der Grössenordnungen der Besiedlungsdichten im Hochrhein aus. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse auf den ausgewählten Probenahmequerschnitten für die jeweiligen Rheinabschnitte im selben Untersuchungsjahr repräsentativ sind.
- 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. Nur so kann ausgeschlossen werden, dass es sich bei unterschiedlichen Ergebnissen in den Uferproben um methodische Artefakte oder populationsdynamische Ausnahmen handelt.
- Die Ergebnisse aus den Probenahmen im Uferbereich können unter Umständen stark durch die jahreszeitlichen Schwankungen verschiedener Umgebungsparameter beeinflusst sein. Stark wechselnde Wasserstände spielen dabei eine wichtige Rolle.
- Die heute vorherrschenden, anthropogen beeinflussten Randbedingungen der Flussmorphologie, bestimmen über weite Strecken die Verbreitung der Makroinvertebraten. Ursprünglich vorhandene strömungsliebende Arten haben vor allem anspruchsloseren Ubiquisten Platz gemacht.
- Die Makrofauna verändert sich im Längsverlauf des Hochrheins. Die beobachtbaren Veränderungen betreffen vor allem die Gesamtbesiedlungsdichte, die auf dem Abschnitt zwischen Aaremündung und Basel deutlich niedriger ist als auf den Abschnitten oberhalb der Aaremündung. Der wichtigste Faktor für diesen Unterschied ist die Flussmorphologie, die durch anthropogene Einflüsse (Uferverbauungen, Stauhaltungen) über weite Strecken geprägt ist.
- Ein Einfluss des Bodensees auf die Makroinvertebratenbesiedlung des Hochrheins kann eindeutig nur auf den ersten Rhein-Kilometern unterhalb des Ausflusses aus dem Bodensee-Untersee ausgemacht werden. Dort dominieren unter den Ernährungstypen die aktiven und passiven Filtrierer, die sich die hohe Partikelfracht (Plankton) aus dem Seewasser zunutze machen. Im Verlauf des Hochrheins wird dieser Effekt durch den Einfluss der Staubereiche überlagert. Einen regelrechten "Seeabflusseffekt" mit den dazugehörigen biologischen Charakteristika wie auf den obersten Hochrheinkilometern fanden wir jedoch unterhalb der einzelnen Staustufen nicht.

Für zukünftige Erhebungen im Bereich der Makrofauna des Hochrheins ergeben sich folgende Vorschläge:

- Die Auswahl der Probenahmestellen sowie die Wahl der Probenahmetechniken sollten unverändert bleiben.
- Die Probenahmezeitpunkte im Winter/Frühjahr/Sommer sollten im Hinblick auf die Abflusssituation und im Hinblick auf die Entwicklungszyklen geeigneter gelegt werden.

- Die methodische Abstimmung bei der Taucherprobenahme und bei der Probenahme am Ufer sollte noch optimiert werden.
- Die Möglichkeiten jährlicher Unterschiede in der Makroinvertebratenbesiedlung (ohne den Einfluss aussergewöhnlicher klimatischer Bedingungen), die für die Interpretation der Ergebnisse von Untersuchungen im mehrjährigen Abstand entscheidend sein können, sollten bei der Planung zukünftiger Untersuchungen berücksichtigt werden.
- Die eingehende Untersuchung der Makroinvertebratenfauna eines für die Situation am Hochrhein typischen Stauraumes sollte in die Erhebungen integriert werden.
- Die Makroinvertebratenbesiedlung sollte auch auf den unnatürlichen Substraten verbauter Ufer erfasst werden. Die Unterschiede zwischen natürlichen und verbauten Abschnitten sollten weitergehend dokumentiert werden.
- Werden Untersuchungen in kurzfristigen Abständen geplant (vierteljährlich, ev. monatlich), sollten sie so konzipiert werden, dass sie neben dem Zweck der Bestandesaufnahme zur Bearbeitung offener Fragen dienen, die im Zusammenhang mit den Untersuchungen im mehrjährigen Abstand von Interesse sind.
- Der Einfluss des Bodensees und der Aare sollte aufgrund zukünftiger Ergebnisse besser bewertet werden können.

6. LITERATURVERZEICHNIS

AUBERT, J. (1959): Plecoptera.- Insecta Helvetica (Lausanne), 139 S.

BANNING, M. (1991): Der Rheo-Index - eine Möglichkeit zur Berechnung der Auswirkungen des Flusstaus auf die benthische Lebensgemeinschaft.- Tagungsbericht der Deutschen Gesellschaft für Limnologie Jahrestagung 1990 in Essen: 186-190.

BECKER, G. (1990): Lebenszyklus und ökologische Anpassungen an grosse Fliessgewässer bei der Köcherfliege *Hydropsyche contubernalis* im Rhein.- Limnologie aktuell 1 (Stuttgart): 345-348.

BERTRAND, H. (1954): Les insectes aquatiques d'Europe. 1 u. 2.- Encyclopedie entomologique Serie A 31 (Paris).

BLOESCH (1977): Bodenfaunistische Untersuchungen in Aare und Rhein.- Schweiz.Z.Hydrol. 39: 46-68.

BOON, P.J. (1978): The use of ventral sclerites in the taxonomy of larval Hydropsychids.- Proc. of the 2nd Int. Symp. on Trichoptera 1977, Ser. Entomologica 165-173.- Junk, The Hague.

BOURNAUD, M. ET AL. (1982): Les Hydropsychidae (Trichoptera) du Haut-Rhône entre Genève et Lyon.- Annl. Limnol. 18: 61-80.

BRAUCKMANN, U. (1987): Zoozöologische und saprobiologische Beiträge zu einer allgemeinen regionalen Bachtypologie.- Arch.Hydrobiol.Suppl. 26, 317 S.

BRINKHURST, R.O. (1971): A guide for identification of British aquatic Oligochaeta.- Freshw. Biol. Assoc. Sci. Publ. 22, 55 pp.

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

CASPERS, N. (1980): Die Makrozoobenthos-Gesellschaften des Hochrhein bei Bad Säkingen.- Beitr.naturk.Forsch.SüdWdtl. 39: 115-142.

CASPERS, N. (1990): Die Insektenfauna im unteren Hochrhein und im Oberrhein- Stand Sommer 1987.- Limnologie aktuell 1: 349-359.

CRANSTON, P.S. (1982): A key to the larvae of the British Orthocladinae (Chironomidae).- Freshw. Biol. Assoc. Sci. Publ. 45, 152 S.

DAHL, F. (1916): Die Asseln oder Isopoden Deutschlands.- Jena, 90 S.

EAWAG (1983/86): Bericht über bodenfaunistische Untersuchungen im Rhein bei Sisseln.- Baudep. des Kt. Aargau.

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

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.- Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Dübendorf, 171 S.

EAWAG (1988): Schlussbericht an die Regierung des Kantons Basel-Landschaft über die Wiederbesiedlung des Rheins nach dem Brand in Schweizerhalle.- Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Dübendorf.

ELLIOTT, J.M. & MANN, K.H. (1979): A key to the British freshwater leeches.- Freshw. Biol. Assoc. Sci. Publ. 40, 72 pp.

ELLIOTT, J.M. ET AL. (1988): Larvae of the British Ephemeroptera: a key with ecological notes.- Freshw. Biol. Assoc. Sci. Publ. 49, 145 S.

FELBER, J. (1908): Die Trichopteren von Basel und Umgebung.- Diss. Univ. Basel, 90 S.

GERSTER, S. (1989): Veränderungen der Fischbestände am Hochrhein und deren Ursachen.- Auftragsarbeit zuhanden des BUWAL, 287 S. + Anhang.

GERSTER, S. (1991): Hochrhein-Fischfauna im Wandel der Zeit. Internationale Fischereikommission für den Hochrhein (Hrsg.). BUWAL Dokumentationsdienst, Bern, 28 S.

GLEDHILL, T. ET AL. (1976): A key to British freshwater Crustacea: Malacostraca.- Freshw. Biol. Assoc. Sci. Publ. 32.

GLOER, P. ET AL. (1987): Süßwassermollusken.- 6. Auflage, Hamburg.

HÄFLIGER, T. (1981): Limnologische Untersuchungen der Flüsse Rhein, Wiese und Birs bei Basel.- Diplomarbeit Bot. Inst. Univ. Basel.

HICKIN, N.E. (1967): Caddis larvae - Larvae of the British Trichoptera.- Hutchinson (London), 476 pp.

HILDREW, A.G. (1981): A key to the caseless caddis larvae of the British Isles.- Freshw. Biol. Assoc. Sci. Publ. 43, 91 pp.

HOLLAND, D.G. (1972): A key to the larvae, pupae and adults of the British species of Elminthidae.- Freshw. Biol. Assoc. Sci. Publ. 26.

HYNES, H.B.N. (1977): A key to the adults and nymphs of the British stoneflies (Plecoptera) with notes on their ecology and distribution.- Freshw. Biol. Assoc. Sci. Publ. 17, 90 pp.

IKSR (1974): Biologisches Zustandsbild des Rheins 1974.- In: Langfristiges Arbeitsprogramm (LZP) der Int. Kommission zum Schutze des Rheins gegen Verunreinigung (IKSR); Gesamtfassung, Koblenz, 151 S.

IKSR (1989): Mess- und Untersuchungsprogramm für 1990 zur Erfassung des Organismenbestandes des Rheins und der Kontamination von Rheinfischen.- Int. Kommission zum Schutze des Rheins gegen Verunreinigung (IKSR), Koblenz, 29 S.

- IKSR (1990): Zahlentafeln der physikalisch - chemischen Untersuchungen des Rheinwassers und des Schwebstoffes.- Int. Kommission zum Schutze des Rheins gegen Verunreinigung, Koblenz, 157 S.
- ILLIES, J. (1955): Steinfliegen oder Plecoptera.- In DAHL(Hrsg.): Die Tierwelt Deutschland (Jena) 43, 150 S.
- ILLIES, J. (1978): Limnofauna Europaea, 2.Auflage, Stuttgart.
- JAAG, O. (1951): Ergebnisse der biologischen Rheinuntersuchungen. Durchgeführt 31.3. 1949 bis 4.4. 1950 im Stromgebiet von Schweizerhalle bis unterhalb der Kraftwerks- und Schleusenanlagen Kembs.- Koord. Komm. für die Rheinsanierung Basel-Stadt.
- JAAG, O. (1971): Zustands- und Belastungsuntersuchungen an Aare und Hochrhein von 1965 bis Ende 1971.- Eidg. Amt f. Umweltschutz und EAWAG.
- 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* 2: 69 - 116.
- JORDAN, K.H.C. (1960): Wasserwanzen.- Neue Brehm Bücherei 23 (Leipzig).
- KELLER, I. & SCHRÖDER, P. (1992): Koordinierte biologische Untersuchungen im Hochrhein 1990 - Teil II: Phyto- und Zooplankton.- Hrsg. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern (Schriftenreihe Umwelt Nr. 191), 87 S.
- KINZELBACH, R. (1990): Besiedlungsgeschichtlich bedingte longitudinale Faunen-Inhomogenität am Beispiel des Rheins. *Limnologie aktuell* 1: 41-58.
- KLAUSNITZER, B. ET AL. (O.J.): Wasserinsekten.- Kulturbund der Deutschen Republik, Zentrale Kommission Natur und Heimat, Zentraler Fachausschuss Entomologie, 87 S.
- KLAUSNITZER, B. (1984): Käfer in und am Wasser.- Neue Brehm Bücherei 567.
- LANDESHYDROLOGIE (1990): Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 1990.- Hrsg. Landeshydrologie und -geologie, Bern, 370 S.
- LAUTERBORN, R. (1916): Die geographische und biologische Gliederung des Rheinstromes I/II.- Sitzungsber.Heidelberg.Akad.Wiss. Meth.-nat.- Kl., Abt.B, VII B (1916), 6: 1-61.
- LAUTERBORN, R. (1930): Der Rhein. Naturgeschichte eines deutschen Stromes 1, Freiburg/i.Br., 311 S.
- LAUTERBORN, R. (1934): Der Rhein. Naturgeschichte eines deutschen Stromes 2, Freiburg/i.Br., 324 S.
- LAUTERBORN, R. (1938): Der Rhein. Naturgeschichte eines deutschen Stromes 2, Ludwigshafen a.Rh., 439 S.
- MACAN, T.T. (1976): A key to British water bugs.- *Freshw. Bol. Assoc. Sci. Publ.* 16, 77 pp.

- MACAN, T.T. (1977): A key to British fresh- and brackish-water Gastropods.- Freshw. Biol. Assoc. Sci. Publ. 13, 44 pp.
- MACAN, T.T. (1979): A key to the nymphs of the British species of Ephemeroptera with notes on their ecology.- Freshw. Biol. Assoc. Sci. Publ. 20, 79 pp.
- MARBACH, R. (1983): Limnologische Untersuchungen der Flüsse Rhein, Wiese und Birs bei Basel.- Diplomarbeit Bot. Inst. Univ. Basel.
- MAUCH, E. (1985): Biologische Gewässeranalyse in Bayern.- Informationsberichte Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft (München) 1/85, 254 S.
- MAUCH, E. (1987): Biologische Gewässeranalyse - Taxaliste. Stand September 1987.- Informationsberichte Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft.
- MAURER, V. (1993): Koordinierte biologische Untersuchungen im Hochrhein 1990 - Teil IV: Zusammenfassender Kurzbericht.- Hrsg. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern (Schriftenreihe Umwelt Nr. 197).
- MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN, BADEN-WÜRTTEMBERG (1987): Gütezustand der Gewässer in Baden-Württemberg 4 (Stand 1985/86).- Wasserwirtschaftsverwaltung Heft 16, Karlsruhe, 59 S. + 1 Karte.
- MÜLLER-LIEBENAU, I. (1969): Revision der europäischen Gattung *Baetis* LEACH 1815 (Insecta, Ephemeroptera).- Gewässer/Abwässer 48/49, 214 S.
- NAGEL, P. (1989): Bildbestimmungsschlüssel der Saprobien - Makrozoobenthon.- Stuttgart, 183 S.
- NEERACHER, F. (1910): Die Insektenfauna des Rheins und seiner Zuflüsse bei Basel.-Revue Suisse de Zoologie, Annales de la Societe Zoologique Suisse Geneve, 18: 497-589.
- NEUMANN, D. (1990): Makrozoobenthos-Arten als Bioindikatoren im Rhein und seinen angrenzenden Baggerseen.- Limnologie aktuell 1: 87-105.
- PANTLE & BUCK (1955): Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse.- GWF Gas- und Wasserfach 96: 604.
- PERRET, P. (1977): Zustand der schweizerischen Fließgewässer in den Jahren 1974/75 (Projekt MAPOS).- Eidg. Amt für Umweltschutz/Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) Dübendorf, 276 S.
- REY, P. ET AL. (1991a): Austausch- und Besiedlungsprozesse zwischen dem Rhein und seinen Zuflüssen. Mitt.bad.Landesver. Naturkunde u. Naturschutz 14/5.
- REY, P. ET AL. (1991b): Drift Sampling in the Transition Areas between the River Rhine and some of its Tributaries. - Verh.Internat.Verein.Limnologie 24/3: 1795-1799.
- REYNOLDSON, T.B. (1978): A key to the British species of freshwater Triclad 2. Auflage.- Freshw. Biol. Assoc. Sci. Publ. 23, 32 S.

- RHYNER, B. (1981): Limnologische Untersuchungen der Flüsse Rhein, Wiese und Birs bei Basel.- Diplomarbeit Bot. Inst. Univ. Basel.
- RIGGENBACH, E. (1928): Bodenfaunauntersuchungen in Staugebieten von Kraftwerken am Rhein und an der Aare.- Schweizerische Fischerei-Zeitung (Bern) 36: 193-249.
- RIVOSECCHI, L. (1978): Simuliidi (Diptera, Simuliidae).- Guide per il Riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane. 3 Consiglio Nazionale delle Ricerche aq/1/7, 88 pp.
- SARTORI, M. (1987): Contribution à l'étude taxonomique et eco-faunistique des Ephéméroptères de Suisse (Insecta, Ephemeroptera).- Diss. Univ. Lausanne, 561 S.
- SCHMITZ, W. (1993): Koordinierte biologische Untersuchungen im Hochrhein 1990 - Teil III: Aufwuchs-Mikrophytenflora.- Hrsg. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern (Schriftenreihe Umwelt Nr. 196).
- SCHRÖDER, P. & REY, P. (1989): Erfassung des biologischen, chemischen und physikalischen Zustandes ausgewählter Zuflüsse des Rheins in der Region Basel. Zweiter, unveröffentlichter Zwischenbericht über den Zeitraum vom 1.9.1988 bis 31.8.1989, im Auftrag der Universität Fribourg, zuhanden der SANDOZ AG, Basel, 158 S.
- SCHRÖDER, P. & REY, P. (1990): Erfassung des biologischen, chemischen und physikalischen Zustandes ausgewählter Zuflüsse des Rheins in der Region Basel. Unveröffentlichter Abschlussbericht über den Zeitraum vom 1.9.1989 bis 31.8.1990, im Auftrag der Universität Fribourg, zuhanden der SANDOZ AG, Basel.
- SCHRÖDER, P. & REY, P. (1991): Fliegewässernetz Rhein und Einzugsgebiet - Besiedlungs- und Austauschprozesse der Wirbellosenfauna zwischen Bodensee und Taubergiessen.- IfaH-Scientific Publications Vol 1, 304 S.
- SCHRÖDER, P. ET AL. (1988a): Verbreitungsmuster und Ökologie der Simuliidae im Rhein und seinem Einzugsgebiet zwischen Bodensee und Taubergiessen. - Tagungsbericht 5. deutschsprachiges Simuliiden-Symposium Hamburg: 34-38.
- SCHRÖDER, P. ET AL. (1988b): Erfassung des biologischen, chemischen und physikalischen Zustandes ausgewählter Zuflüsse des Rheins in der Region Basel. Erster, unveröffentlichter Zwischenbericht über den Zeitraum vom 1.9.1987 bis 31.8.1988, im Auftrag der Universität Fribourg, zuhanden der SANDOZ AG, Basel, 137 S.
- SCHRÖDER, P. ET AL. (1989): Der Rhein und sein Einzugsgebiet zwischen Bodensee und Taubergiessen. I.-Verbreitungsmuster ausgewählter Makroinvertebraten. Deutsche Gesellschaft f. Limnologie, Jahrestagung 1988, Goslar, Mitt. I/89.
- SEDLAK, E. (1971): Bestimmungstabelle der Larven der häufigsten tschechoslowakischen Arten der Gattung *Hydropsyche* Pictet (Trichoptera).- Acta entomol. bohemoslov. 68: 185 - 187.
- STÖSSEL (1990): Schädigung und Erholung der Makroinvertebraten im schweizerischen Abschnitt des Rheins nach dem Brandfall in Schweizerhalle (1. November 1986):- Limnologie aktuell 1: 277-291.
- TITIZER, T. ET AL. (1990): Beitrag zur Struktur und Entwicklungsdynamik der Benthalfauna des Rheins von Basel bis Düsseldorf in den Jahren 1986 und 1987.- Limnologie aktuell 1: 293-323.

VAW (1986): Wellenerosion am Rhein - Ufererosion am Thurgauer Hochrhein zwischen Stein am Rhein und Schaffhausen - Auswirkungen der Wellen des Schiffs- und Motorbootverkehrs.- Hrsg. Prof.Dr.D.Vischer, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich (Mitteilungen der VAW Nr. 88).

WALLACE, I.D. (1980): The identification of British limnephilid larvae (Trichoptera: Limnephilidae) which have single filament gills.- Freshw. Biol. 10: 171 - 189.

WILSON, R. & WILSON, S. (1985): A survey of the distribution of Chironomidae of the Rhine by sampling pupal exuviae.- Hydrobiol. Bull. 18: 119 - 132.

7. ANHÄNGE

	Seite
ANHANG 1: Charakterisierung der Probenahmestellen mit Darstellung der Tiefenprofile; Abb. A 1.1 bis A 1.9.	76 - 84
ANHANG 2: Photographische Aufnahmen der Flussole an den Probenahmestellen; Bild A 2.1 bis A 2.9 (Photos: P. Stirnemann).	85 - 89
ANHANG 3: Datentabellen A 3.1 bis A 3.8.	90 - 96
ANHANG 4: Das Vorkommen einzelner Organismen im Längsverlauf des Hochrheins bei 3 Jahreszeiten; Abb. A 4.1. bis A 4.13.	97 - 109
ANHANG 5: Vergleich mit Angaben aus der Literatur; Tab. A 5.1 bis A 5.6.	110 - 127

Probenahmestelle: **HEMISHOFEN (Rhein-km 28)**

Lage des Probenahmequerschnittes:

Höhe Strandbad Hemishofen; Koord. Landeskarte 1:25'000 Blatt 1032: 704 350/281 400.

Nutzung des Gewässers:

Intensive Schifffahrt von Frühjahr bis Herbst; an der Probenahmestelle Freizeitbetrieb; Berufs- und intensive Sportfischerei.

Nutzung des angrenzenden Hinterlandes:

Rechte Rheinseite: Weide- und Landwirtschaft, Siedlung.

Linke Rheinseite: praktisch ungenutzt.

Charakterisierung der Probenahmestelle:

Allgemein:

Die Stelle liegt nur ca. 3 km unterhalb des Abflusses aus dem Bodensee-Untersee. Sie befindet sich innerhalb eines wenig verbauten Rheinabschnittes, dessen Ufer über weite Strecken bewaldet sind und nur wenig genutzt werden. Das Sohlenprofil (vgl. Abb. A 1.1) ist stark strukturiert. Bei Niedrigwasserstand fallen grössere Uferflächen trocken. Quer über den Rhein finden sich klar differenzierbare Strömungsmuster.

Rechtes Ufer:

Das Ufer ist zum Strandbad mit Kiesstrand und Ufermauer ausgebaut. Es ist bis zur Strömungsrinne langsam abfallend ausgestaltet (1-3% Gefälle). Der weitere Uferverlauf ist stellenweise beschattet. Ca. 50 m unterhalb der Probenahmestelle mündet der Hemishofer- (Schiener-) bach, in dessen Mündungsbereich durch Wellenerosion infolge der Schifffahrt Uferabbrüche entstanden sind (VAW, 1986).

Linkes Ufer:

Es handelt sich um ein schwer zugängliches Steilufer mit extensiv genutztem Mischwald. Der unmittelbare Uferbereich ist meist beschattet.

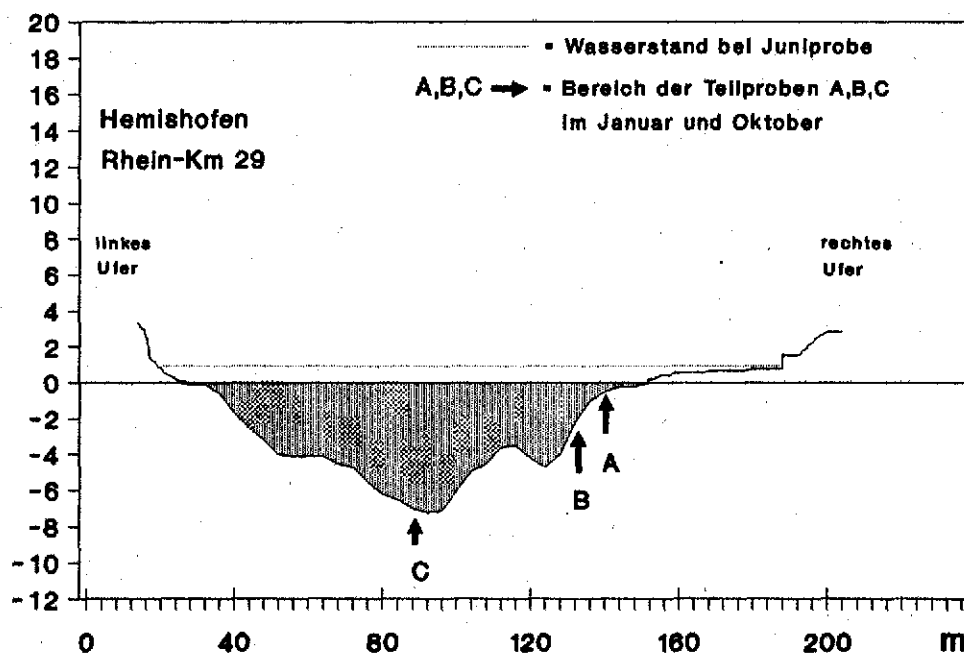


Abb. A 1.1: Probenahmequerschnitt bei Hemishofen: Tiefenprofil und Lage der Tauchpunkte.

Probenahmestelle: **RHEINAU (Rhein-km 56)**

Lage des Probenahmequerschnittes:

Ca. 1 km oberhalb des zweiten Hilfswehres des Staus Rheinau;
Koord. Landeskarte 1:25'000 Blatt 1031: 688 150/278 375.

Nutzung des Gewässers:

Wasserkraftnutzung im Stau Rheinau; Freizeitbetrieb durch kleinere Boote; stellenweise Badebetrieb.

Nutzung des angrenzenden Hinterlandes:

Auf der Höhe des Probenahmequerschnittes Wald mit extensiver forstwirtschaftlicher Nutzung; hinter dem Waldgürtel auf der linken Rheinseite Gemüseanbau.

Charakterisierung der Probenahmestelle:

Allgemein:

Die Stelle liegt im Rückstaubereich des Kraftwerkes Rheinau. Durch einen Querstollen oberhalb des Kraftwerkes sowie durch zwei zusätzliche Hilfswehre wird die Strömung stellenweise so stark vermindert (Fließgeschwindigkeiten an der Wasseroberfläche 0 bis 0.15 m/sec), dass die gesamte Rheinschleife ihren ursprünglichen Charakter als schnell und turbulent fließender Abschnitt verloren hat und nun einem stehenden Gewässer gleicht. Als Folge des veränderten Gewässercharakters herrscht heute eine flächendeckende starke Ablagerung von Feinsedimenten auf der Stromsohle vor.

Rechtes Ufer:

Entlang des locker verbauten Ufers führt ein Wanderweg mit Pappelallee. Der unmittelbare Uferbereich ist dadurch schwach beschattet. Es liegt ein Flachufer (2-5% Gefälle) mit schmalen Schilfgürtel vor. Nur an diesem Ufer ist noch eine gewisse Vielfalt in der morphologischen Ausprägung der Stromsohle zu finden.

Linkes Ufer:

Es handelt sich um ein mit Blockwurf gesichertes Steilufer (> 40% Gefälle), das durchgehend beschattet ist.

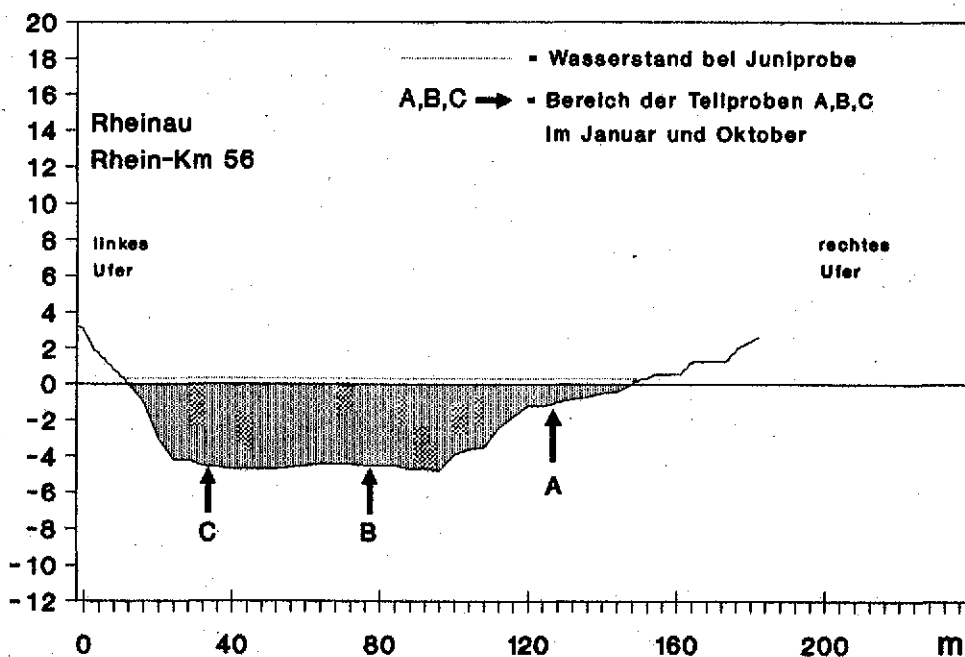


Abb. A 1.2: Probenahmequerschnitt bei Rheinau: Tiefenprofil und Lage der Tauchpunkte.

Probenahmestelle: **ELLIKON (Rhein-km 63.8)**

Lage des Probenahmequerschnittes:

Ca. 300 m oberhalb der Einmündung der Thur;

Koord. Landeskarte 1:25'000 Blatt 1051: 686 950/272 500.

Nutzung des Gewässers:

Früher zeitweise Kiesentnahme und -ablagerung; heute Freizeit- und Bootsbetrieb; Berufs- und Sportfischerei.

Nutzung des angrenzenden Hinterlandes:

Rechte Rheinseite: Wald mit extensiver Nutzung;

Linke Rheinseite: Gemüse- und Getreideanbau.

Charakterisierung der Probenahmestelle:

Allgemein:

Die Probenahmestelle liegt in einem Bereich, in dem starke Strömungen vorherrschen. Infolge des engen Abflussquerschnittes werden manchmal Fliessgeschwindigkeiten von mehr als 2 m/sec an der Wasseroberfläche erreicht. Eine Probenahme war an solchen Stellen aus Sicherheitsgründen nicht möglich. Der tatsächlich untersuchte Probenahmequerschnitt, der den einzigen Stillwasserbereich im ganzen Abschnitt beinhaltet, repräsentiert daher nur mit gewissen Einschränkungen die vorherrschenden Verhältnisse. Die Probenahmestelle Ellikon zeichnet sich darüber hinaus gegenüber den anderen Probenahmestellen durch einen fast flächendeckenden, bis zu 1.5 m mächtigen Makrophytenbewuchs aus, der hauptsächlich aus Flutendem Hahnenfuss (*Ranunculus fluitans*) besteht.

Rechtes Ufer:

Es liegt ein bewaldetes Steilufer vor, das stellenweise mit unverfugtem Blockwurf gesichert ist.

Linkes Ufer:

Einem niedrigen Hochwasserdamm ist ein Flachufer mit 1-3% Gefälle vorgelagert.

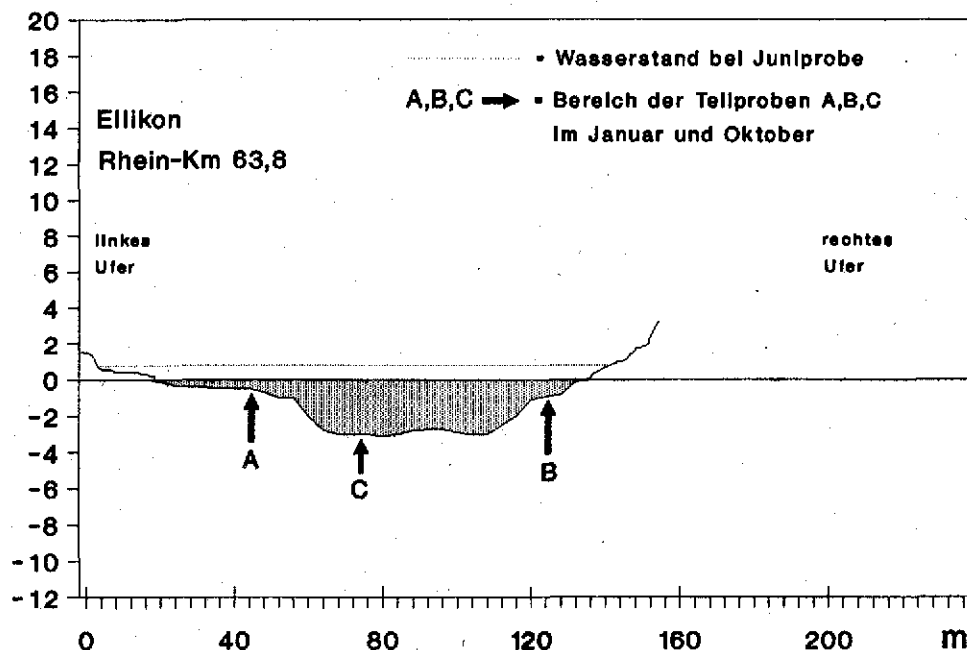


Abb. A 1.3: Probenahmequerschnitt bei Ellikon: Tiefenprofil und Lage der Tauchpunkte.

Probenahmestelle: TÖSSEGG (Rhein-km 70.6)

Lage des Probenahmequerschnittes:

Am Scheitelpunkt der Rheinschleife Tössegg; 25 m oberhalb der Einmündung der Töss;
 Koord. Landeskarte 1:25000 Blatt 1051: 684 075/267 475

Nutzung des Gewässers:

Zwischen Frühjahr und Herbst zeitweise reger Bootsbetrieb; Wasserkraftnutzung im Kraftwerk Eglisau.

Nutzung des angrenzenden Hinterlandes:

Rechte Rheinseite: Wald, ungenutzt und unzugänglich.

Linke Rheinseite: Ausflugstourismus, Weinbau.

Charakterisierung der Probenahmestelle:

Allgemein:

Die Rheinschleife ist tief eingeschnitten im Sedimentgestein, das auch auf der Stromsohle stellenweise freiliegt. Im Gegensatz zu den meisten anderen Probenahmestellen repräsentierten an der Stelle Tössegg die gesammelten Proben nur zu etwa 70% die Substratverhältnisse im dortigen Rheinquerschnitt. Auf den restlichen 20-30% findet man für eine normale Benthosbesiedlung ungeeignete Verhältnisse wie Fels, Schluff und sich verlagernde Sandbänke.

Rechtes Ufer:

Vor einem steilen, bewaldeten Uferhang liegt ein schmaler Schilfgürtel mit schlammigem Grund, der sofort bis auf eine Tiefe von 10 m abfällt.

Linkes Ufer:

An diesem Ufer befindet sich eine kleine Parkanlage mit Bootsanlegestegen und -liegeplätzen, die mit einer unverfugten Ufermauer geschützt sind.

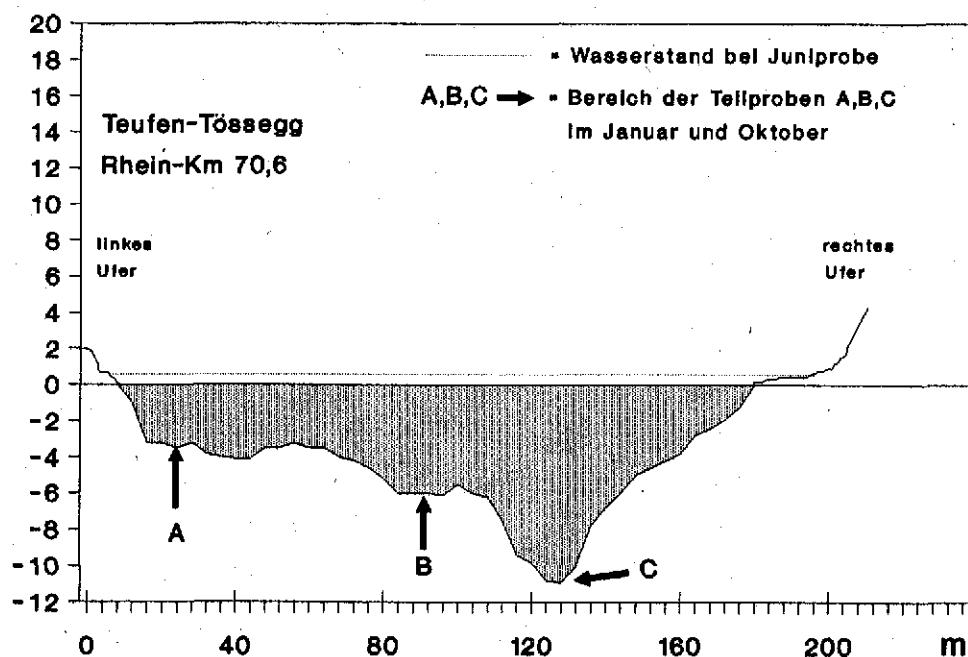


Abb. A 1.4: Probenahmequerschnitt bei Tössegg: Tiefenprofil und Lage der Tauchpunkte.

Probenahmestelle: **RIETHEIM (Rhein-km 97.8)**

Lage des Probenahmequerschnittes:

1.2 km oberhalb der Koblenzer "Lauffen" zwischen dem Ettiker Hof und dem Picknickplatz "Alt Rhi".
Koord. Landeskarte 1:25'000 Blatt 1050: 662 550/273 600

Nutzung des Gewässers:

Wegen Stromschnellen kaum Bootsverkehr; wenig Sportfischerei.

Nutzung des angrenzenden Hinterlandes:

Rechte Rheinseite: Weidewirtschaft bis ans Ufer; seit Ende der 80-er Jahre kleinräumiges Auen-Renaturierungsprogramm.

Linke Rheinseite: ca. 500 m breiter, bewirtschafteter Auenwaldgürtel, dahinter Gemüseanbau und Weidewirtschaft; in den Sommermonaten Freizeitbetrieb.

Charakterisierung der Probenahmestelle:

Allgemein:

Der Probenahmequerschnitt liegt im Einflussbereich der Stromschnellen des Koblenzer "Lauffen". Der hier teilweise über 200 m breite Rhein ist nur maximal 3.5 m tief, was zu starken lokalen Turbulenzen und differenzierten Strömungsmustern führt. In unmittelbarer Nähe befindet sich eine kleine, bewaldete Kiesinsel, die der Rhein vor rund 35 Jahren gebildet hat. Trotz ausgeprägter horizontaler und vertikaler Strukturierung der Stromsohle findet man im uferfernen Bereich eine relativ gleichmässige Verteilung der unterschiedlichen Substratkategorien.

Rechtes Ufer:

Die baum- und strauchbewachsene Uferböschung fällt zum Wasser hin steil ab. Der anschliessende wasserbedeckte Saum zeigt einen felsigen Untergrund mit lockerer Steinauflage und einzelnen schlammigen Vertiefungen.

Linkes Ufer:

Der Ufersaum mit schlammigen Vertiefungen und schnell überströmten kiesigen Bereichen fällt zur Strommitte hin flach ab.

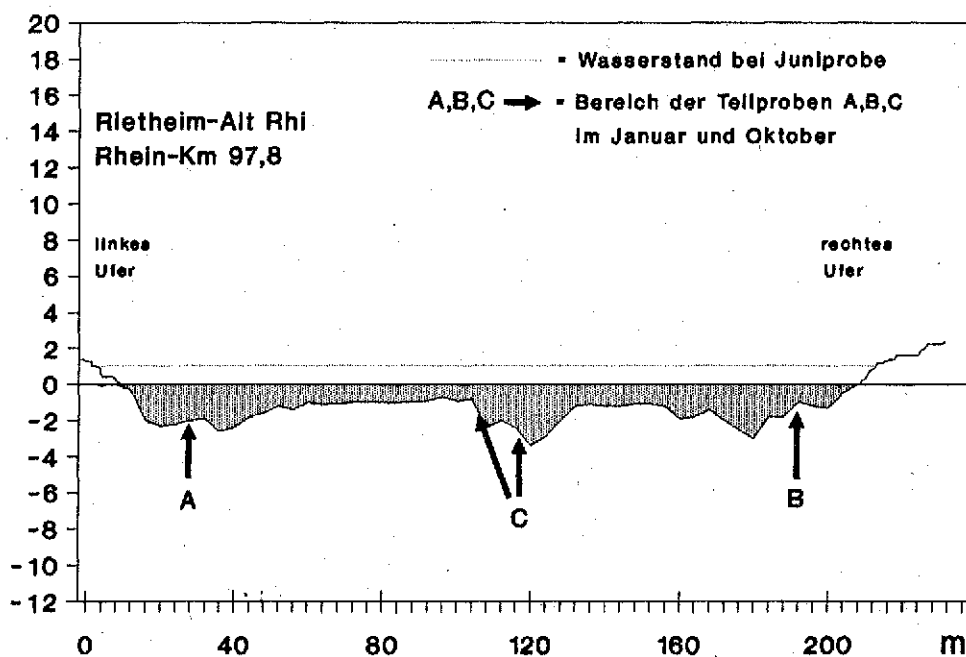


Abb. A 1.5: Probenahmequerschnitt bei Riethem: Tiefenprofil und Lage der Tauchpunkte.

Probenahmestelle: WALDSHUT (Rhein-km 102.2)

Lage des Probenahmequerschnittes:

Ca. 150 m unterhalb der Einmündung der Aare, zwischen dem Industriegebiet Waldshut-Schmittenu und Felsenau. Koord. Landeskarte 1:25'000, Blatt 1050: 659 050/273 200.

Nutzung des Gewässers:

Auf der Aareseite geringer Bootsverkehr; 500 m unterhalb des Probenahmequerschnittes Stauwurzelbereich des Kraftwerkes Albruck - Dogern.

Nutzung des angrenzenden Hinterlandes:

Rechte Rheinseite: Siedlungsgebiet Stadt Waldshut, Industrie;

Linke Rheinseite: Siedlung, stellenweise landwirtschaftliche Nutzflächen.

Charakterisierung der Probenahmestelle:

Allgemein:

Schon am Tiefenprofil (Abb. A 1.6) ist zu erkennen, dass der Probenahmequerschnitt zwei voneinander getrennte Stromrinnen (Rhein und Aare) zeigt, die sich auch in der Substratzusammensetzung voneinander unterscheiden.

Rechtes Ufer:

Dem Ufer vorgelagert ist eine flache Landzunge, auf der bei Niedrigwasser grosse Flächen trockenfallen.

Linkes Ufer:

Es ist ein Steilufer vorhanden mit einer ca. 3 m hohen Uferböschung, die jedoch nur stellenweise baulich gesichert ist.

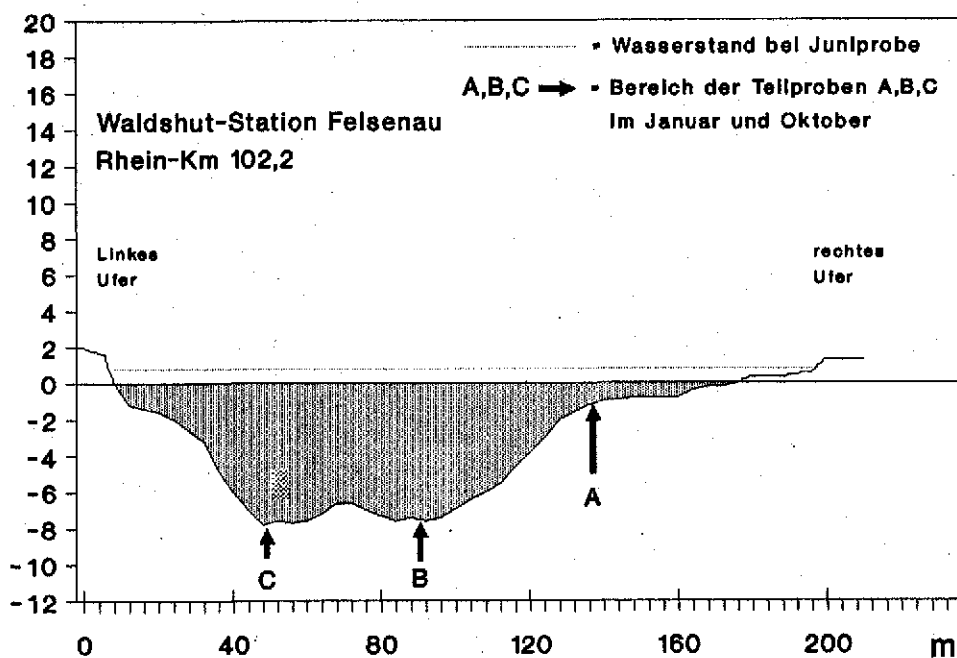


Abb. A 1.6: Probenahmequerschnitt bei Waldshut: Tiefenprofil und Lage der Tauchpunkte.

Probenahmestelle: SISSELN (Rhein-km 125.9)

Lage des Probenahmequerschnittes:

Höhe Pontonierverein Sisseln; zwischen den Staustufen Laufenburg und Bad Säckingen;
 Koord. Landeskarte 1:25'000 Blatt 1049: 641 700/267 350.

Nutzung des Gewässers:

Schiffs- und Sportbootsverkehr; Berufs- und Sportfischerei.

Nutzung des angrenzenden Hinterlandes:

Rechte Rheinseite: Weide- und Landwirtschaft;

Linke Rheinseite: Siedlungsgebiet.

Charakterisierung der Probenahmestelle:

Allgemein:

Obwohl die Stelle im Stauraum eines Kraftwerkes liegt, herrschen dennoch über den gesamten Flussquerschnitt mittlere bis hohe Fließgeschwindigkeiten an der Oberfläche vor (0.5 - 1.3 m/sec). Durch den Kraftwerksbetrieb kann es hier zeitweise innerhalb weniger Stunden zu Wasserspiegelschwankungen von mehr als 70 cm kommen (GERSTER, 1989; REY ET AL., 1991a). Das Tiefenprofil (Abb. A 1.7) zeigt zwar noch Strukturierung, nähert sich jedoch wegen der Fahrrinne und dem Uferverbau einem Regelquerschnitt. Die seit 1989 vom Kraftwerk Laufenburg durchgeführten Stromsohlenausbaggerungen auf der Höhe von Murg führten vor allem auf der linken Rheinseite zu grossflächigen und tiefgründigen Feinsandablagerungen.

Rechtes Ufer:

Der Uferbereich ist mittels Blockwurf stark befestigt. Flachüberströmte Bereiche fehlen völlig.

Linkes Ufer:

Grasüberwachsene Uferböschungen mit gleichförmiger Neigung prägen das Bild. Ein nur wenige Meter breiter flachüberströmter Bereich in Böschungsnähe weist einen sandig-kiesigen Untergrund auf und fällt zur Strommitte hin steil ab.

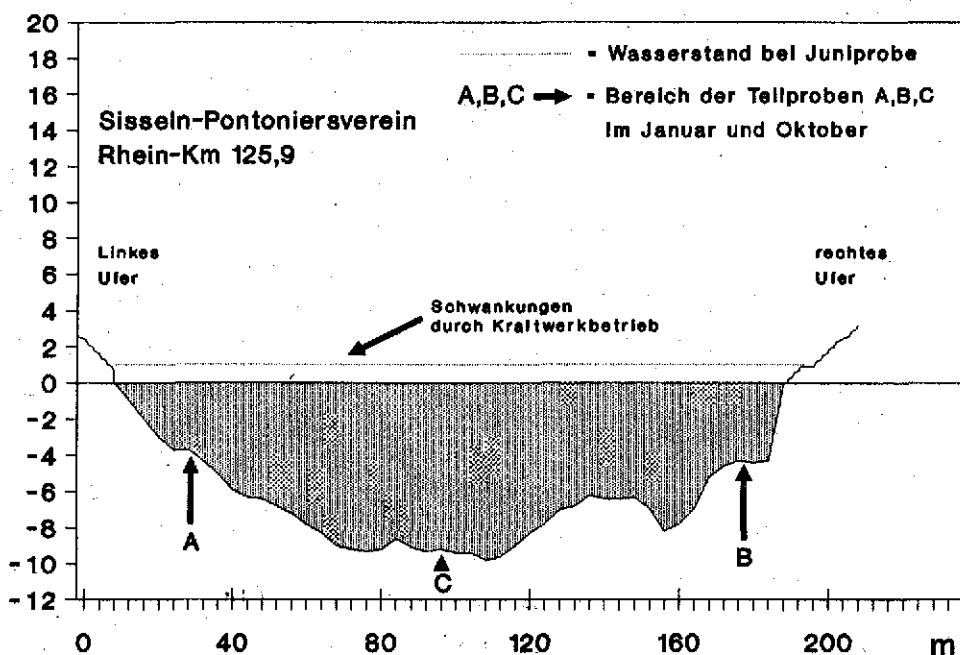


Abb. A 1.7: Probenahmequerschnitt bei Sisseln: Tiefenprofil und Lage der Tauchpunkte.

Probenahmestelle: **PRATTELN** (Rhein-km 157.2)

Lage des Probenahmequerschnittes:

An der Ortsgrenze zu Schweizerhalle beim Solbad; zwischen den Rheinkraftwerken Augst und Birsfelden;
Koord. Landeskarte 1:25'000, Blatt 1067: 618 575/264 650.

Nutzung des Gewässers:

Starker Personen- und Frachtschiffahrtsverkehr.

Nutzung des angrenzenden Hinterlandes:

Rechte Rheinseite: Siedlungsgebiet, Industrie, stellenweise landwirtschaftliche Nutzflächen;

Linke Rheinseite: Siedlungsgebiet, Industrie.

Charakterisierung der Probenahmestelle:

Allgemein:

Der Probenahmequerschnitt deckt sich mit der Referenzstelle anlässlich der Erhebungen der EAWAG nach dem Sandoz-Brandfall (EAWAG, 1987; STÖSSEL, 1990). Wie an der Stelle bei Sisseln gleicht auch hier der Rhein einem Regelquerschnitt mit vereinzelt vertikaler Strukturierung. Auf der Stromsohle findet man eine fast homogene Verteilung von Rheinschotter und Steinen, dazwischen Sandinseln.

Rechtes Ufer:

Das Ufer ist massiv verbaut mit Mauern und Blockwurf. Vereinzelt sind flachüberströmte kiesig-sandige Bereiche in Böschungsnähe zu finden.

Linkes Ufer:

Am Ufer befindet sich ein Bootsanlegesteg mit einer verputzten Ufermauer. Oberhalb und unterhalb finden sich überwachsene, steil abfallende Uferböschungen mit Blockwurf, die zum Teil einen hohen Baumbestand aufweisen. Der wasserbedeckte Ufersaum ist nur schmal und fällt nach wenigen Metern steil zur Strommitte hin ab.

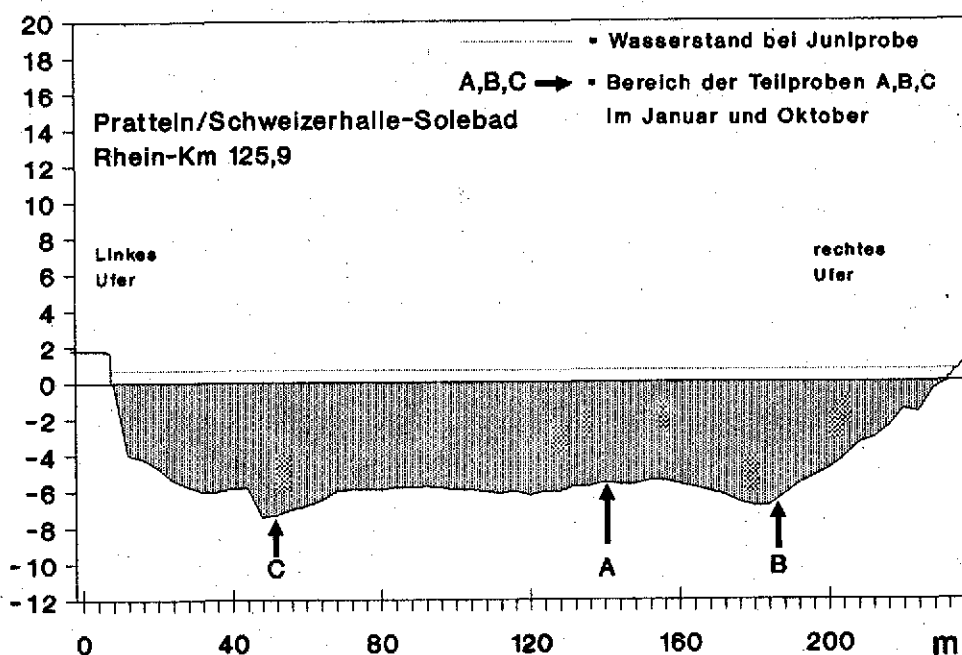


Abb. A 1.8: Probenahmequerschnitt bei Pratteln: Tiefenprofil und Lage der Tauchpunkte.

Probenahmestelle: BASEL (Rhein-km 167.1)

Lage des Probenahmequerschnittes:

Ca. 200 m unterhalb der Dreirosenbrücke, Höhe Gefahrgüterhafen St. Johann (Stephany);
Koord. Landeskarte 1:25'000, Blatt 1047: 611 000/269 225.

Nutzung des Gewässers:

Hafenanlage für Frachtschiffe, intensive Fracht- und Personenschifffahrt.

Nutzung des angrenzenden Hinterlandes:

Rechte und linke Rheinseite: Siedlung, Industrie (v.a. Chemie).

Charakterisierung der Probenahmestelle:

Allgemein:

Auf diesem Probenahmequerschnitt wurden nach dem Sandoz-Brandfall durch die EAWAG Erhebungen zur Beobachtung der Entwicklung der Makrofauna durchgeführt (EAWAG, 1987; STÖSSEL, 1990). Das Regelprofil zeigt so gut wie keine Vielfalt mehr in der Struktur der Stromsohle. Oberhalb der Probenahmestelle befindet sich in der Rheinmitte ein Kühlwasserstutzen, ca. 200 m unterhalb der Ablauf aus einer grossen Industriekläranlage.

Rechtes Ufer:

Das Ufer ist mittels einer verputzten Mauer befestigt, die einzelne Abbruchstellen aufweist.

Linkes Ufer:

Der Übergang ans Ufer wird durch eine Metallspundwand bzw. durch steil abfallende Blocksteinböschungen abrupt unterbrochen.

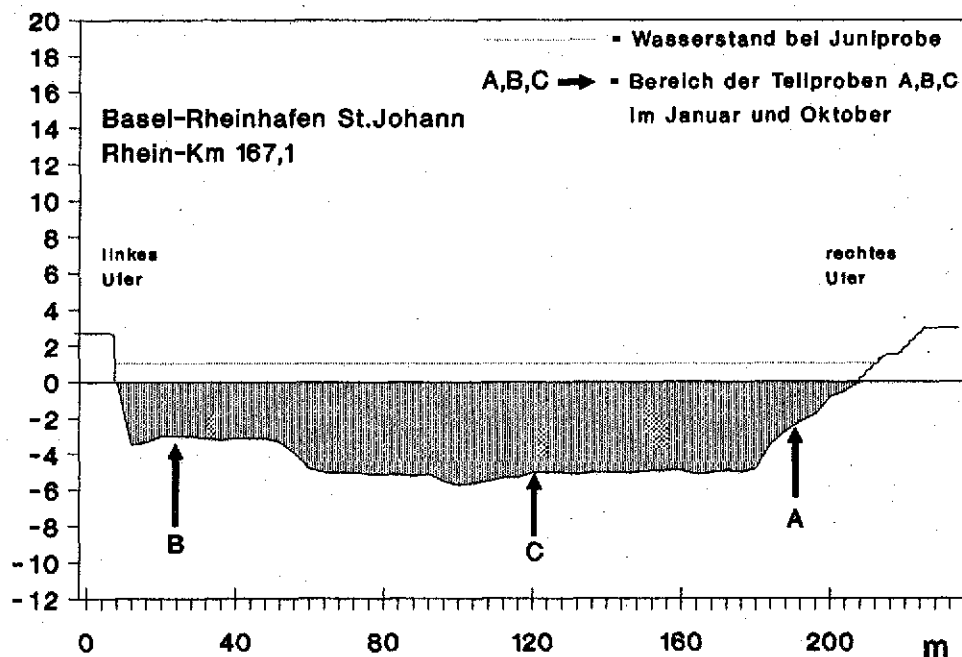


Abb. A 1.9: Probenahmequerschnitt bei Basel: Tiefenprofil und Lage der Tauchpunkte.

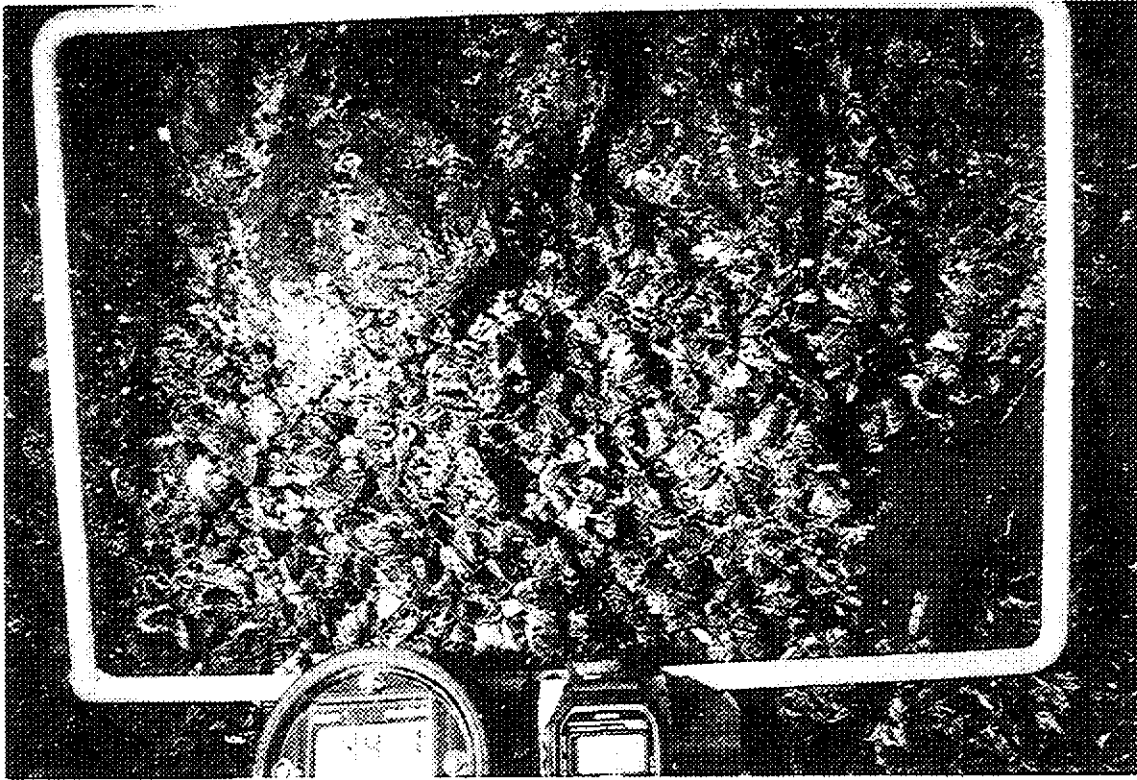


Bild A 2.1: Stromsohle bei Hemishofen 18. Okt. 1990; Tauchpunkt B (vgl. Abb. A 1.1); dichte Besiedlung mit *Dreissena polymorpha*; Grössenvergleich: Metallrahmen entspricht Format DIN A 4.

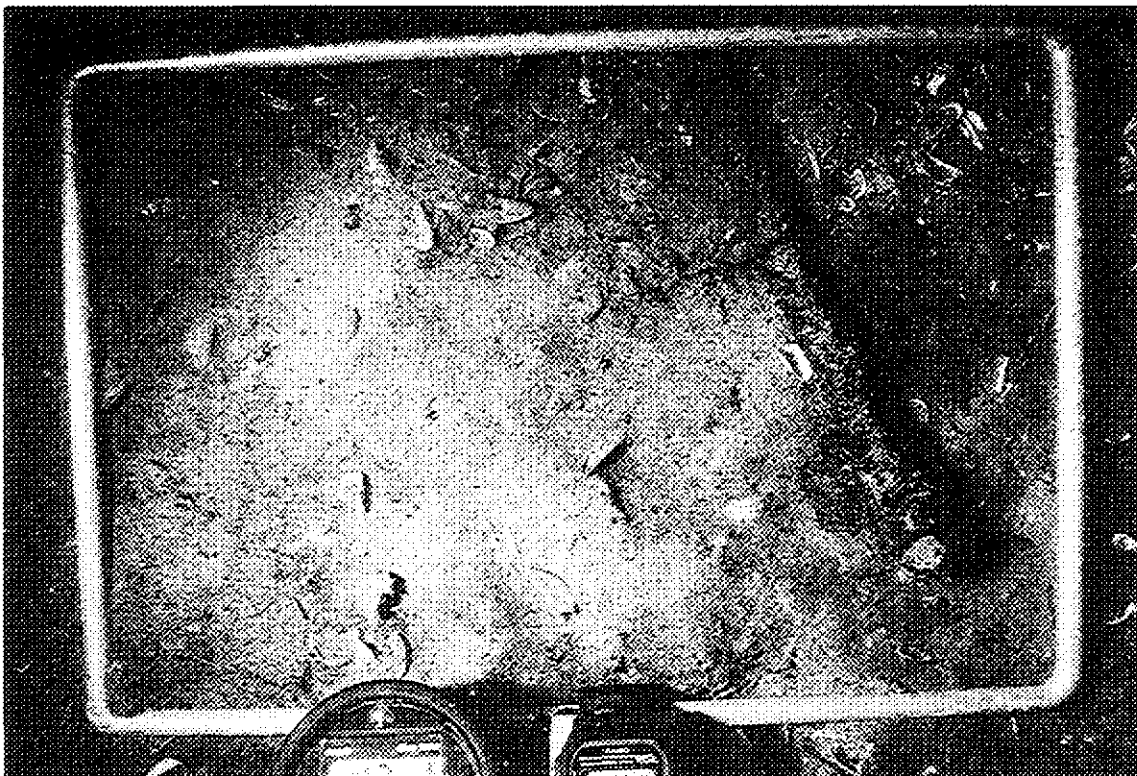


Bild A 2.2: Stromsohle bei Rheinau 19. Okt. 1990; Tauchpunkt C (vgl. Abb. A 1.2); lockere Feinsedimentauflage (Substratkategorien: Lehm, Ton, Schlamm) mit Kieselalgenüberzug (braun), darin Muschelschalen (*Dreissena polymorpha*); Grössenvergleich: vgl. Bild A 2.1.

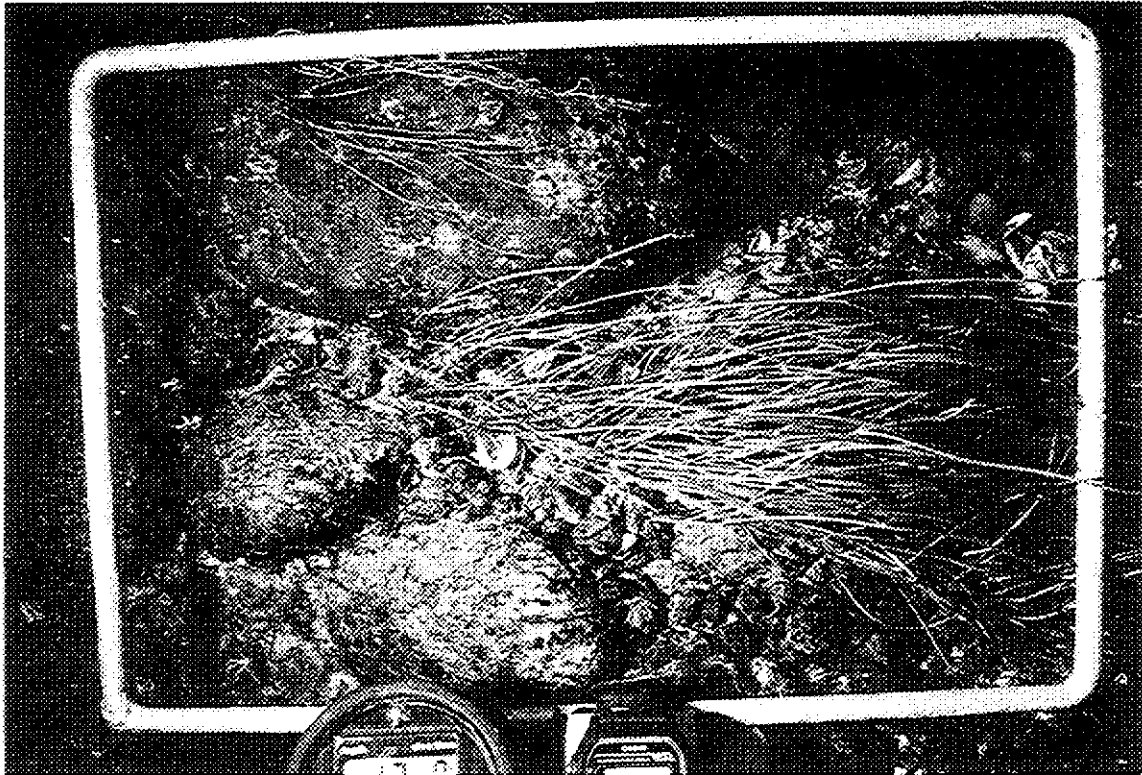


Bild A 2.3: Stromsohle bei Ellikon 22. Okt. 1990; Tauchpunkt B (vgl. Abb. A 1.3); lockeres Decksustrat (Kategorien: Kies, Schotter und Steine) mit Makrophytenbewuchs (*Ranunculus fluitans*), dazwischen Ansammlungen von *Dreissena polymorpha*; Grössenvergleich: vgl. Bild A 2.1.



Bild A 2.4: Stromsohle bei Tössegg 22. Okt. 1990; Tauchpunkt C (vgl. Abb. A 1.4); Stein-Schotter-Substrat mit Ablagerungen von Feinsediment, Steine mit Kieselalgenbewuchs (braun); Grössenvergleich: vgl. Bild A 2.1.

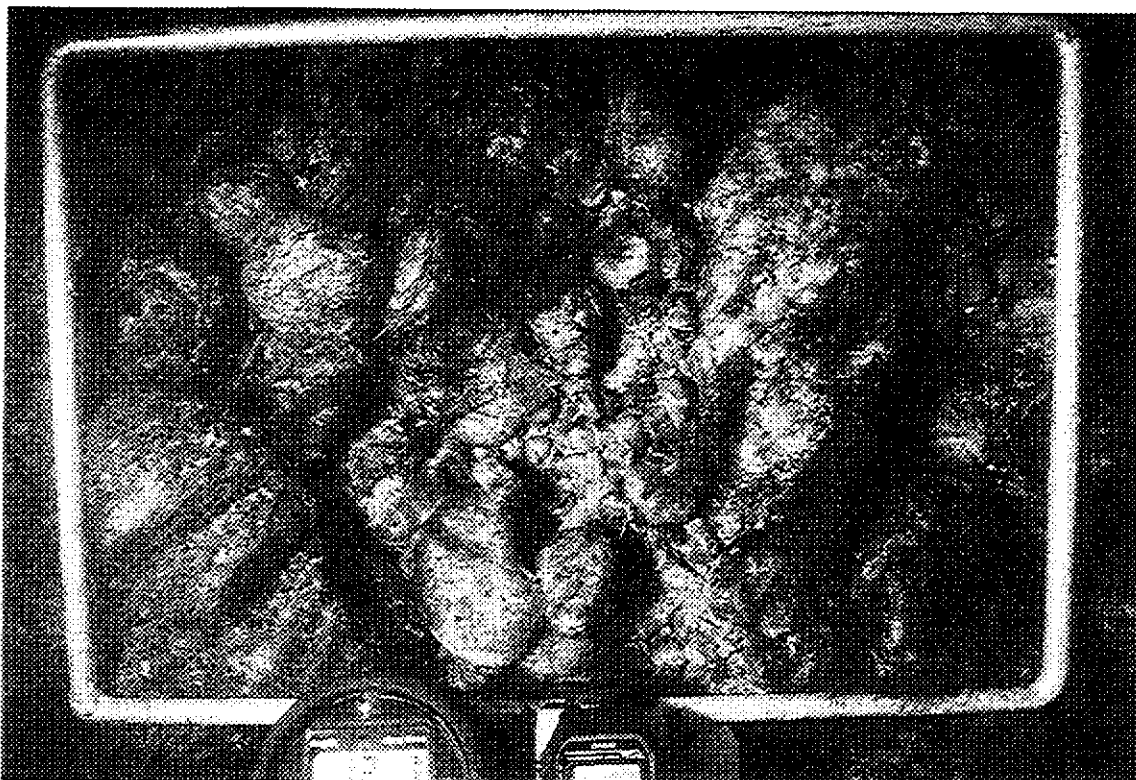


Bild A 2.5: Stromsohle bei Rietheim 23. Okt. 1990; Tauchpunkt C (vgl. Abb. A 1.5); lockeres Decksubstrat (vorherrschende Kategorien: Schotter und Steine) mit Fadenalgenbewuchs; Grössenvergleich: vgl. Bild A 2.1.

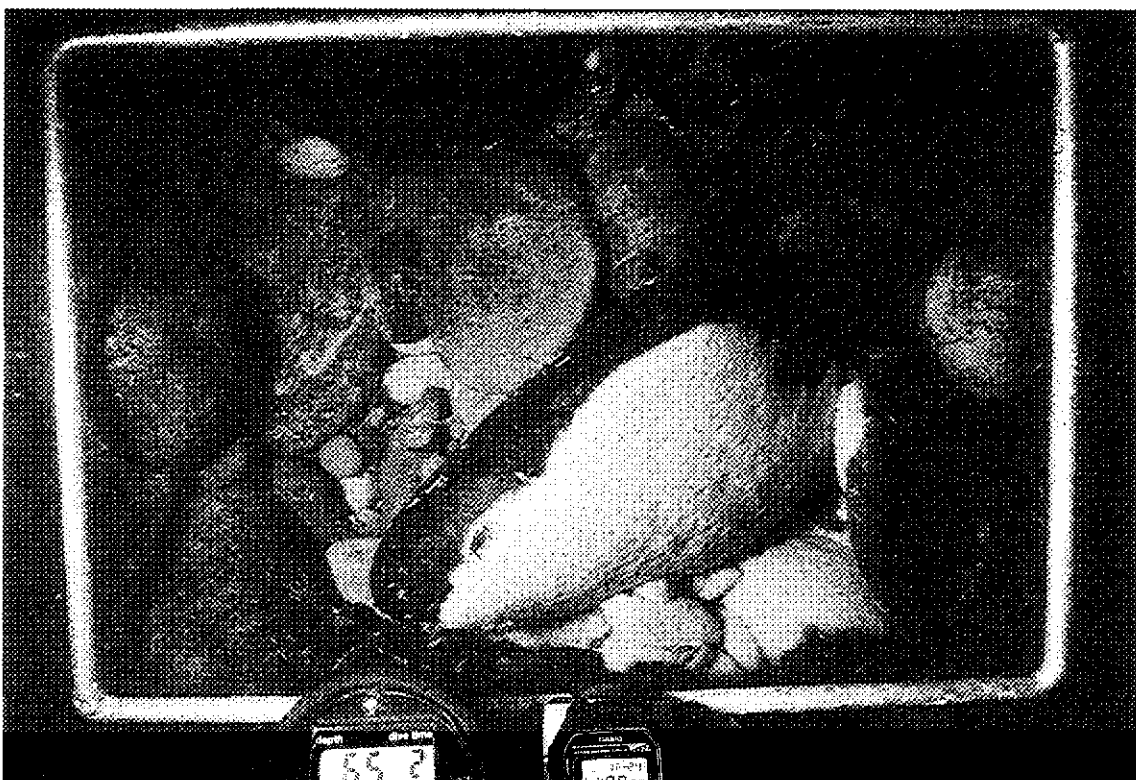


Bild A 2.6: Stromsohle bei Waldshut 24. Okt. 1990; Tauchpunkt B (vgl. Abb. A 1.6); lockeres Decksubstrat (v.a. Kategorie Steine) mit Kieselalgenbewuchs (braun) und Süsswasserschwamm (weiss); Grössenvergleich: vgl. Bild A 2.1.

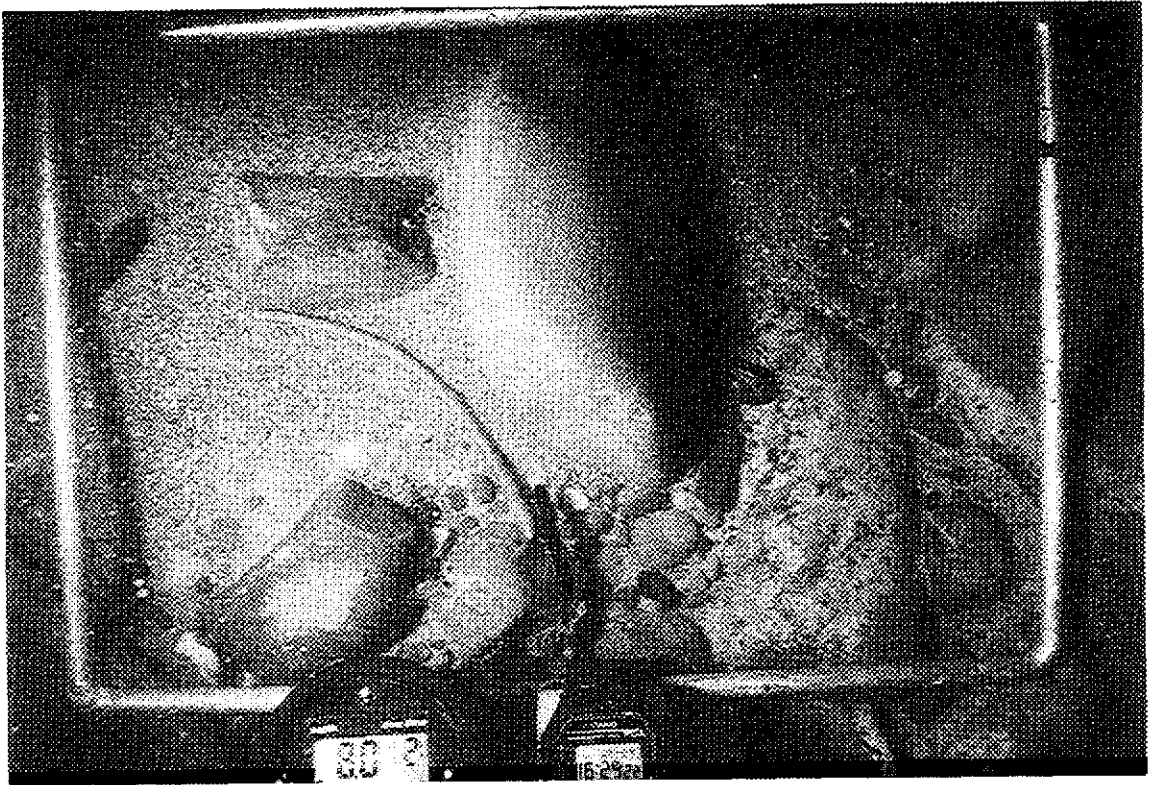


Bild A 2.7: Stromsohle bei Sisseln 24. Okt. 1990; Tauchpunkt C (vgl. Abb. A 1.7); Decksubstrat kolmatiert und stellenweise stark mit Sand überdeckt (Sohlensaubaggerungen oberhalb der Probenahme-stelle); Grössenvergleich: vgl. Bild A 2.1.

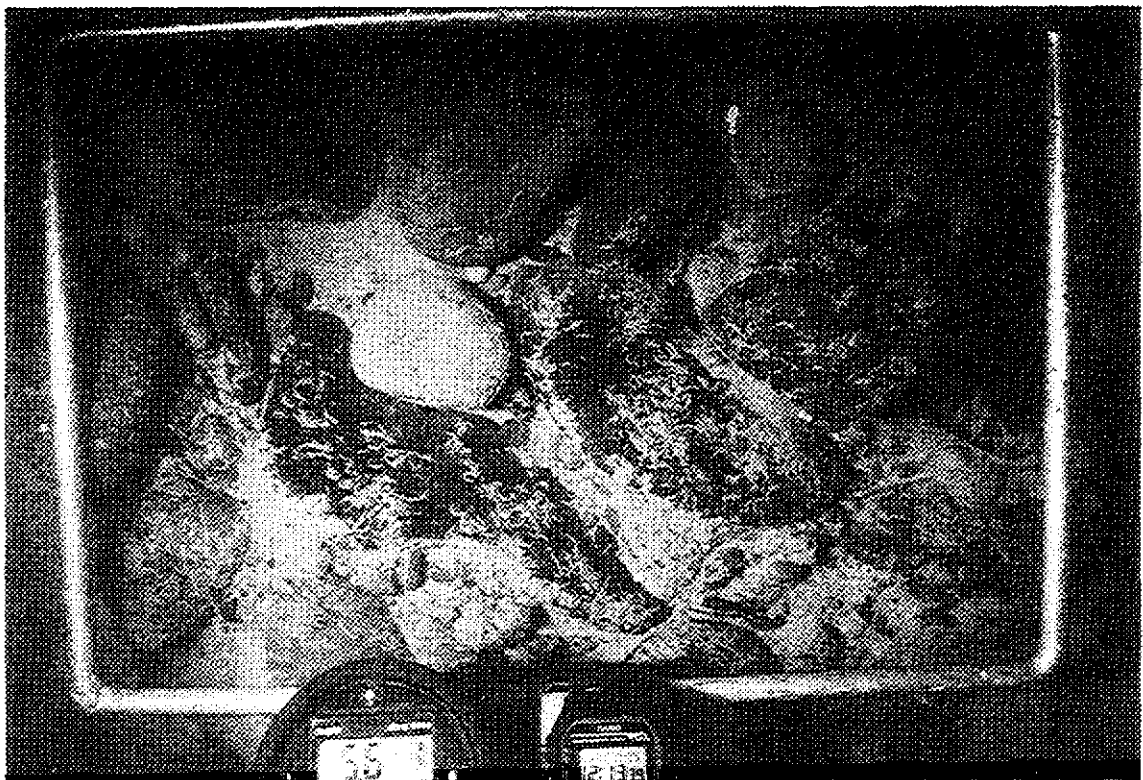


Bild A 2.8: Stromsohle bei Pratteln 25. Okt. 1990; Tauchpunkt A (vgl. Abb. A 1.8); vorherrschende Substratkategorien: Schotter und Steine (braun: Kieselalgenaufwuchs), stellenweise kolmatiert; Grössenvergleich: vgl. Bild A 2.1.

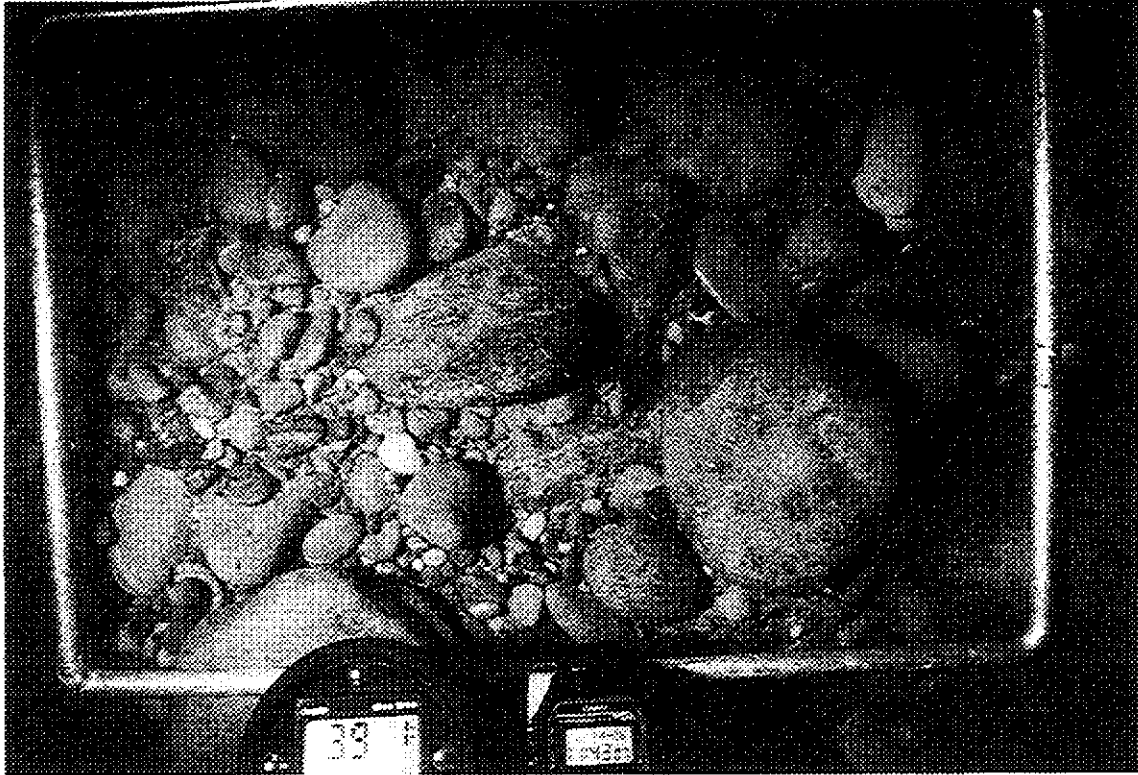


Bild A 2.9: Stromsohle bei Basel 26. Okt. 1990; Tauchpunkt B (vgl. Abb. A 1.9); lockeres Decksubstrat, Kategorien Schotter und Steine vorherrschend, praktisch kein Algenaufwuchs; Grössenvergleich: vgl. Bild A 2.1.

ANHANG 3

Tab. A 3.1: Beprobung der Ufersubstrate (Quantitative Probenahme Makroinvertebraten) im Januar, Juni und Oktober 1990; Kiessubstrat: d = 0.2 - 6 cm, Steinsubstrat: d = 6 - 20 cm)

Unters.stelle	Rhein-km	Linkes Ufer					Rechtes Ufer									
		Stein	Kies	Sand	Schlamm	Pflanzen	Stein	Kies	Sand	Schlamm	Pflanzen					
		Jan 90					Jan 90									
Hemishofen	29	X					X									
Ellikon	63,8	X					X									X
Tössegg	70,6	X												X		
Rietheim	97,8	X					X	X					X			X
Waldshut	102,2	X					X						X			
Sisseln	125,9	X					X									X
Pratteln	157,2	X														
Basel	167,1	X														
		Jun 90					Jun 90									
Hemishofen	29	X	X	X			X	X			X					
Rheinau	56	X					X	X					X			
Ellikon	63,8	X	X					X								
Tössegg	70,6	X	X					X					X			
Rietheim	97,8	X		X				X					X			X
Waldshut	102,2	X					X					X	X			
Sisseln	125,9	X						X			X					X
Pratteln	157,2	X	X					X	X							X
Basel	167,1	X						X								X
		Okt 90					Okt 90									
Hemishofen	29	X	X					X	X							
Rheinau	56	X	X					X	X							
Ellikon	63,8	X						X	X							
Tössegg	70,6	X	X											X		
Rietheim	97,8	X	X					X	X							
Waldshut	102,2	X	X					X	X							
Sisseln	125,9	X						X	X							
Pratteln	157,2	X	X					X	X							
Basel	167,1	X						X								X

Tab. A 3.2: Während der Untersuchungen direkt an den Orten der Probeentnahmen gemessene Wassertemperaturen in [°C]; A,B,C = Tauchpunkte im Querprofil.

Unt.stelle	Rhein-km	linkes Ufer			A			B			C			rechtes Ufer		
		Jan	Jun	Okt	Jan	Jun	Okt	Jan	Jun	Okt	Jan	Jun	Okt	Jan	Jun	Okt
Hemishofen	29	3,9	15,9	15	4,1	17,3	14,4	4,3	15,9	14,4	4,1	16,6	14,2	3,6	15,5	14,4
Rheinau	57		14,3	14,2		16,5	13,3		16,4	12,7		16	12,9		14,7	14
Ellikon	63,8	4,9	16,5	13,4	5,1	17,7	13	4,3	17,6	12,3	4,4	18,8	13,4	4,5	17,1	13,9
Tössegg	70,6	4,3	16,8	13,7	4,3	16,9	13,6	4,6	17,4	13,7	4,7	16,6	13,7	4,5	16,2	13,9
Rietheim	97,8	4,6	16,6	12,6	4,8		13,2	4,6		13,3	4,9		13,2	4,7	16,1	12,9
Waldshut	102,2	6,4	19,7	13,2	4,8	19,6	12,6	4,9	19,6	12,8	6,3	19,5	13,4	4	17,6	12,3
Sisseln	125,9	5,2	18,5	13,1	6	19,7	13,6	5,6	19,8	13,7	5,4	19,7	13,3	5,1	19,4	13,3
Pratteln	157,2	5,8	19,2	13,3	6	19,3	13,4	5,6	19,6	13,4	6,1	19,4	13,4	5,2	19,3	13
Basel	167,1	5,7		12,3	6,3		13,2	6,7		13,2	5,9		13,3	5,6	21,4 (Aug.)	12,6

Tab. A 3.3: Während der Untersuchungen direkt an den Orten der Probeentnahmen gemessene Leitfähigkeitswerte (κ_{25}) in [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]; A,B,C = Tauchpunkte im Querprofil.

Unt.stelle	Rhein-km	linkes Ufer			A			B			C			rechtes Ufer		
		Jan	Jun	Okt	Jan	Jun	Okt	Jan	Jun	Okt	Jan	Jun	Okt	Jan	Jun	Okt
Hemishofen	29	320	307	292	318	307	293	318	308	294	321	308	294	321	313	295
Rheinau	57		318	307		316	302		316	363		316	360		321	303
Ellikon	63,8	347	312	305	341	310	305	331	309	301	328	307	305	329	309	301
Tössegg	70,6	370	333	320	368	331	320	365	319	317	360	316	314	352	313	305
Rietheim	97,8	383	335	379	397		343	376		333	388		340	381	338	335
Waldshut	102,2	386	333	343	388	334	354	383	334	346	382	333	341	392	341	353
Sisseln	125,9	384	328	341	388	338	343	385	334	341	384	338	343	380	326	342
Pratteln	157,2	415	357	377	407	361	363	395	331	350	406	333	546	394	332	351
Basel	167,1	439	312	365	523		358	429		364	417		356	418	312 (Aug.)	353

Tab. A 3.4: Während der Untersuchungen direkt an den Orten der Probeentnahmen gemessene pH-Werte; A,B,C = Tauchpunkte im Querprofil.

Unt.stelle	Rhein-km	linkes Ufer			A			B			C			rechtes Ufer		
		Jan	Jun	Okt	Jan	Jun	Okt	Jan	Jun	Okt	Jan	Jun	Okt	Jan	Jun	Okt
Hemishofen	29	8,2	8,3	8,3	7,4	8,6	8,3	8,1	8,6	8,3	8	8,7	8,3	8,1	8,3	8,2
Rheinau	57		8,4	8,2		8,4	8,2		8,4	7,9		8,4	8		8,4	8,2
Ellikon	63,8	8,3	8,7	8,2	8,1	8,4	8,3	8,2	8,4	8,2	8,2	8,6	8,2	8,3	8,6	8,2
Tössegg	70,6	8,3	8,5	8,3	8,8	8,5	8,3	8	8,5	8,3	8,4	8,5	8,3	8,3	8,5	8,3
Rietheim	97,8	8,2	8,5	8,3	8,2		8,3	8,2		8,3	8,2		8,2	8,2	8,4	8,3
Waldshut	102,2	7,4	8,4	8	8,2	8,5	8,2	8,3	8,5	8,1	8,1	8,3	8	7	8,5	8
Sisseln	125,9	8,1	8,4	8,1	8,6	8,4	8	8,6	8,4	8,1	8,6	8,4	8,1	8,4	8,4	8
Pratteln	157,2	8,4	8,4	8	8,1	8,5	8	8,3	8,5	8	8,3	8,4	8	8,4	8,3	8
Basel	167,1	8,5		8	8,6		8	8,5		8	8,5		8	8,5	8,1 (Aug)	8

Tab. A 3.5: Während der Untersuchungen direkt an den Orten der Probeentnahmen gemessene Sauerstoffgehalte in [mg/l]; A,B,C = Tauchpunkte im Querprofil.

Unt.stelle	Rhein-km	linkes Ufer			A			B			C			rechtes Ufer		
		Jan	Jun	Okt	Jan	Jun	Okt	Jan	Jun	Okt	Jan	Jun	Okt	Jan	Jun	Okt
Hemishofen	29	10,6 85	9,8 105	9,3 99	11 87	9,3 103	9,3 100	10,6 84	10,1 106	8,9 101	10,8 84	10 108	9,2 96	10,8 85	9,6 102	8,9 93
Rheinau	57		10,1 104	9,6 98		10,5 110	8,3 91		10,6 114	5 47		10,5 112	5,4 54		9,7 101	9,7 99
Ellikon	63,8	11 90	10,3 111	11,1 109	11,2 92	10,7 118	11,3 111	12,5 99	10,6 116	10,6 104	12,5 104	10 111	11,1 109	11,6 95	10,3 114	10,9 110
Tössegg	70,6	12 96	10,2 110	11,1 108	11,3 91	10 109	11,1 113	12 97	10,2 113	11,2 108	11,8 97	10,4 112	10,7 104	11,8 97	10,1 109	10,5 106
Rietheim	97,8	10,7 89	9,5 103	11,6 113	11,8 99		11,1 112	11,8 99		10,5 105	12,4 99		11,2 111	12 98	9,3 100	11,5 113
Waldshut	102,2	13,9 103	9,3 107	9,6 94	12,2 96	9,3 107	10,4 102		9,3 106	9,9 98		9,1 106	8,9 89	13,3 104	9,7 106	9,6 96
Sisseln	125,9	12,7 105	9,6 108	9,5 94	10,4 84	9,4 107	8,2 83	12,6 106	9,6 111	9,1 92	13,8 114	9,4 107	8,5 85	12,9 105	9,5 109	9,3 94
Pratteln	157,2	12,5 106	9,3 105	9,3 93	11,5 95	9,2 105	9 90	11,2 100	9,4 107	9,1 92	10,7 90	9,5 109	8,8 88	12,4 101	9,4 106	9,4 94
Basel	167,1	12 98		9,9 97	11,5 95		9,1 93	11,6 99		9,4 93	11,7 98		9,2 92	12 100	8,6 101	10 98

Tab. A 3.6: Taxazahl rheobiont, limnobiont und ubiquistisch lebender Makroinvertebraten an beiden Ufern im Hochrhein zu 3 Jahreszeiten.

Rhein-km	Unters.stelle	Jan. 90			Jun. 90			Okt. 90			Mittl. Fließgeschw./m/sec
		Ubiquist	Rheobiont	Limnobiont	Ubiquist	Rheobiont	Limnobiont	Ubiquist	Rheobiont	Limnobiont	
km 29	Hemishofen	12	13	0	12	11	2	11	11	3	0,25
km 56	Rheinau				21	9	7	15	6	5	0,05
km 63,8	Ellikon	13	14	1	7	7	1	14	17	1	0,2
km 70,6	Tössegg	11	7	1	14	7	1	14	6	3	0,05
km 97,8	Rietheim	22	13	1	14	14	2	22	17	0	0,5
km 102,2	Waldshut	17	7	0	13	10	1	20	15	2	0,3
km 125,9	Sisseln	14	5	1	14	14	2	18	7	3	0,15
km 157,2	Pratteln	13	7	0	16	13	1	13	5	0	0,1
km 167,1	Basel	15	9	0	13	8	1	15	5	0	0,15

Tab. A 3.7: Individuenzahl rheobiont, limnobiont und ubiquistisch lebender Makroinvertebraten an beiden Ufern im Hochrhein zu 3 Jahreszeiten.

Rhein-km	Unters.stelle	Jan. 90			Jun. 90			Okt. 90			Mittl. Fließgeschw./m/sec
		Ubiquist	Rheobiont	Limnobiont	Ubiquist	Rheobiont	Limnobiont	Ubiquist	Rheobiont	Limnobiont	
km 29	Hemishofen	6358	6732	0	616	1353	11	6677	7062	11	0,25
km 56	Rheinau				3399	242	253	3157	99	1595	0,05
km 63,8	Ellikon	11352	968	0	660	517	44	1344	3388	0	0,2
km 70,6	Tössegg	1518	132	869	2123	550	0	2145	44	660	0,05
km 97,8	Rietheim	5154	2882	0	957	4268	33	1496	3190	0	0,5
km 102,2	Waldshut	4664	2772	0	1452	1364	11	2453	1320	22	0,3
km 125,9	Sisseln	924	55	132	1848	836	88	737	363	286	0,15
km 157,2	Pratteln	1881	418	0	4840	1166	22	902	451	0	0,1
km 167,1	Basel	8943	1991	0	1529	902	11	3190	1044	0	0,15

Tab. A 3.8: Zuordnung der in den Taucherproben nachgewiesenen Makroinvertebratentaxa zu funktionellen Gruppen, Saprobienindices und Gewässertypen. Legende: siehe am Schluss der Tabelle S. 95.

Taxa	Ernährungstyp ¹	Lokomotionstyp ²	Respirationstyp ³	Saprobienindex ⁴	Gewässertyp ⁵
<u>Turbellaria</u>					
<i>Dugeisa gonocephala</i>	R	Vk	Ht	1,5	r
<i>Dugesia lugubris/polychroa</i>	R	Vk	Ht	2	u
<i>Dugesia tigrina</i>	R	Vk	Ht	2	r
<i>Polycelis nigra /tenuis</i>	R	Vk	Ht	2	u
<i>Dendrocoelum lacteum</i>	R	Vk	Ht	2	u
<u>Oligochaeta</u>					
Tubificidae	S	S	Ht	3,5	u
Lumbriculidae	S	S	Ht	2,5	u
Lumbricidae	S	S	Ht		u
<i>Eiseniella tetraedra</i>	S	S	Ht	2,5	u
<u>Hirduinea</u>					
<i>Pisicicola geometra</i>	R	Vs	Ht	2,0	u
<i>Erpobdella octoculata</i>	R	Vk	Ht	3,0	u
<i>Helobdella stagnalis</i>	R	Vk	Ht	2,5	(l)
<i>Glossiphonia complanata</i>	R	Vk	Ht	2,5	r
<i>Glossiphonia heteroclita</i>	R	Vk	Ht	2,5	(r)
<u>Mollusca</u>					
<u>Gastropoda</u>					
<i>Theodoxus fluviatilis</i>	W	Vk	Bk	1,5	r
<i>Valvata cristata</i>	W	Vk	Bk		u
<i>Valvata piscinalis</i>	W	Vk	Bk	2,0	u
<i>Bithynia tentaculata</i>	W	Vk	Bk	2,0	u
<i>Segmentina nitida</i>	W	Vk	Bk		
<i>Viviparus viviparus</i>	W	Vk	Bk	2,0	l
<i>Acroloxus lacustris</i>	W	Vk	Bk	2,0	l
<i>Ancylus fluviatilis</i>	W	Vk	Bk	2,0	r
<i>Bathymphalus contortus</i>	W	Vk	Bk	2,0	l
<i>Gyraulus albus</i>	W	Vk	Bk	2,0	u
<i>Planorbis carinatus</i>	W	Vk	Bk	2,0	l
<i>Planorbis planorbis</i>	W	Vk	Bk	2,0	l
<i>Radix auricularia</i>	W	Vk	Bk	2,5	l
<i>Radix ovata</i>	W	Vk	Bk		u
<i>Radix peregra</i>	W	Vk	Bk	2,3	(r)

Tab. A 3.8: (Fortsetzung)

Taxa	Ernährungstyp ¹	Lokomotionstyp ²	Respirationstyp ³	Saprobienindex ⁴	Gewässertyp ⁵
<i>Galba trunculata</i>	W	Vk	Bk	2,0	u
<i>Physella acuta</i>	W	Vk	Bk	3,0	u
<i>Physa fontinalis</i>	W	Vk	Bk	2,5	r
<i>Hydrobia spec.</i>	W	Vk	Bk		u
<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	W	Vk	Bk	2,5	u
<i>Pot.antip.carinatus</i>	W	Vk	Bk		r
<u>Bivalvia</u>					
<i>Dreissena polymorpha</i>	Fa	S	Bk	2,0	u
<i>Sphaerium corneum</i>	Fa	S	Bk	2,5	u
<i>Pisidium spec.</i>	Fa	S	Bk		
<i>Anodonta cygnaea</i>	Fa	S	Bk	2,0	l
Unio crassus-Gruppe	Fa	S	Bk	2,0	r
<i>Unio pictorum</i>	Fa	S	Bk	2,0	l
<u>Crustacea</u>					
<i>Asellus aquaticus</i>	Z	Vk	Tk	2,5	u
<i>Gammarus fossarum</i>	Z	Vs	Tk	1,5	r
<i>Gammarus pulex</i>	Z	Vs	Tk	2,0	u
<i>Gammarus roeseli</i>	Z	Vs	Tk	2,0	u
<i>Orconectes limosus</i>	R	Vs	Tk	2,0	u
<u>Heteroptera</u>					
<i>Apheletocheirus aestivalis</i>	R	S-Vk	Tk	2,0	r
<u>Ephemeroptera</u>					
<i>Baetis spec.</i>	W(S)	Vk(s)	Tk		r
<i>Cloen spec.</i>	W,S	Vk(s)	Tk	2,0	u
<i>Caenis spec.</i>	S	Vk	Tk	2,0	r
<i>Ephemerella ignita</i>	S(W)	Vk	Tk	2,0	r
<i>Ephemerella major</i>	S(W)	Vk	Tk	2,0	r
<i>Ephemerella notata</i>	S(W)	Vk	Tk		r
<i>Ephemera danica</i>	S	(S)K,grabend	Tk	2,0	r
<i>Potamanthus luteus</i>	S	Vk	Tk	2,0	r
<i>Paraleptophlebia spec.</i>	S	Vk	Tk		r
<i>Habroleptoides confusa</i>	S(W)	Vk	Tk	1,5	r
<i>Heptagenia sulphurea</i>	S(W)	Vk	Tk	2,0	r
<i>Ecdyonurus spec.</i>	W(S)	Vk	Tk	1,5	r
<i>Rhithrogena semicolorata</i>	W(S)	Vk	Tk	1,5	r

Tab. A 3.8: (Fortsetzung)

Taxa	Ernährungstyp ¹	Lokomotionstyp ²	Respirationstyp ³	Saprobienindex ⁴	Gewässertyp ⁵
<i>Epeorus sylvicola</i>	W(S)	Vk	Tk	1,0	r
<u>Plecoptera</u>					
Nemouridae					
<i>Amphinemoura spec.</i>	W(Z)	Vk	Tk	1,0	r
<i>Nempura spec.</i>	W	Vk	Tk	1,5	r
<i>Protonemoura spec.</i>	W	Vk	Tk	1,0	r
<i>Leuctra spec.</i>	W	Vk	Tk	1,5	r
<i>Brachyptera risi</i>	W	Vk	Tk	1,0	r
<i>Perlodes spec.</i>	R	Vk	Tk	1,0-1,5	r
<i>Isoperla spec.</i>	R(S)	Vk	Tk	1,0-2,0	r
<i>Dinocras cephalotes</i>	R	Vk	Tk	1,5	r
<i>Perla marginata</i>	R	Vk	Tk	1,0	r
<u>Diptera</u>					
Tipulidae	S(R)	Vk	Tk		
Psychodidae	S	Vk	Tk		
Limoniidae					
Rhagionidae					
Simuliidae	Fp	S	H,Tk	1,5-2,0	r
Chironomidae					
Diamesinae	S	S	H	2,0	r
Tanypodinae	S(R)	S	H		
Orthocladinae	S	S	H		
Chironomini	S	S	H		
Tanytarsini	S(teilw.F)	S	H		
<i>Rheotanytarsus spec.</i>	Fp	S	H	2,0	r
<u>Trichoptera</u>					
<i>Rhyacophila spec.</i>	R	Vk	Tk		r
<i>Agapetus fuscipes</i>	W	Vk	Tk	1,0	r
<i>Glossosoma spec.</i>	W	Vk	Tk	1,0-1,5	r
<i>Agraylea spec.</i>	W(S)	Vs/k	Tk	2,0	u
<i>Hydroptila spec.</i>	W(S)	Vs/k	Tk	2,0	u
<i>Cheumatopsyche lepida</i>	Fp	S(Vk)	Tk	2,0	r
<i>Hydropsyche spec.</i>	Fp	S(Vk)	Tk	2,0	r
<i>Hydropsyche contubernalis</i>	Fp	S(Vk)	Tk	2,0	r
<i>Cyrnus spec.</i>	Fp	S	Tk	2,0	u

Tab. A 3.8: (Fortsetzung)

Taxa	Ernährungstyp ¹	Lokomotionstyp ²	Respirationstyp ³	Saorobienindex ⁴	Gewässertyp ⁵
<i>Polycentropus flavomaculatus</i>	Fp(R,S)	S	Tk	2,0	u
<i>Neureclipsis bimaculata</i>	Fp(R)	S	Tk	2,0	r
<i>Psychomyia pusilla</i>	Fp(S)	S	Tk	2,0	u
<i>Tinodes waeneri</i>	Fp(S)	S	Tk	2,0	l
<i>Anabolia nervosa</i>	Z(W,S)	Vk	Tk	2,0	l
<i>Potamophylax spec.</i>	Z(W)	Vk	Tk	2,0	r
<i>Athirpsodes spec.</i>	W,Z,S	Vk	Tk	2,0	u
<i>Mystacides spec.</i>	W,S	Vk	Tk	2,0	l
<i>Lepidostoma hirtum</i>	Z	Vk	Tk	2,0	r
Sericostomatidae	W,Z,S	Vk	Tk	2,0	r
<u>Megaloptera</u>					
<i>Sialis spec.</i>	R	Vk	Tk	2,5	r
<u>Neuroptera</u>					
<i>Sisyra spec.</i>	R	S	Tk		u
<u>Coleoptera</u>					
Dryopidae					
<i>Elmis maugetii/aenea</i>	W	Vk	Tk	1,5	r
<i>Limnius spec.</i>	W	Vk	Tk	1,5	r
<i>Stenelmis spec.</i>	W	Vk	Tk	1,5	r
<i>Platambus maculatus</i>	R	Vks	Tk	2,0	u
<i>Potamonectes depressus</i>	R	Vks	Tk	2,0	u
<i>Orectochilus villosus</i>	R	Vs	Tk	2,0	u

Zeichenerklärung	Ernährungstyp ¹	Lokomotionstyp ²	Respirationstyp ³	Saprobienindex ⁴	Gewässertyp ⁵
	R = Räuber, Parasit	S = sessil/halb-sessil	H = Hautatmung		r = Fließgewässer (rheobiont)
	F = Filtrierer	V = vagil	Bk = Blutkiemen		l = steh. Gewässer (rheophob)
	Fa = aktiver Filtrierer (Strudler)	Vk = kriechend	Tk = Tracheenkiemen		u = Ubiquist
	Fp = passiver Filtrierer (Driftfänger)	Vs = schwimmend			(Zuordnung nach Angaben Limnofauna Europaea)
	W = Weidegänger				
	Z = Zerkleinerer				
	S = Sedimentfresser				

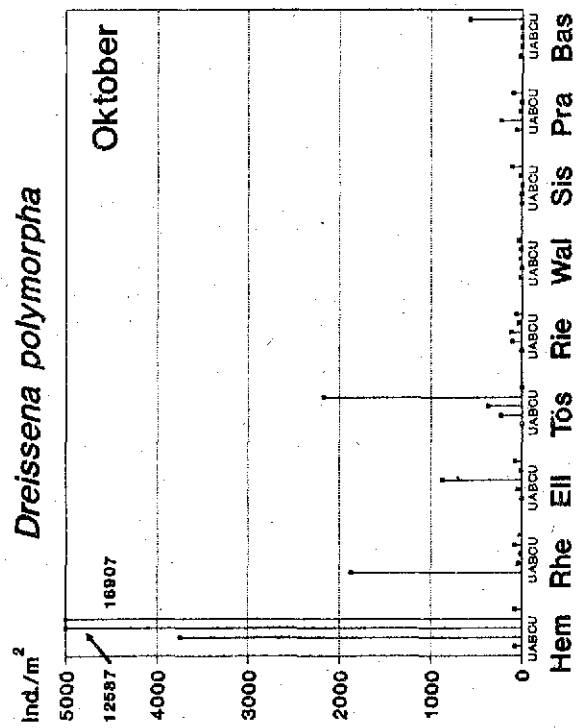
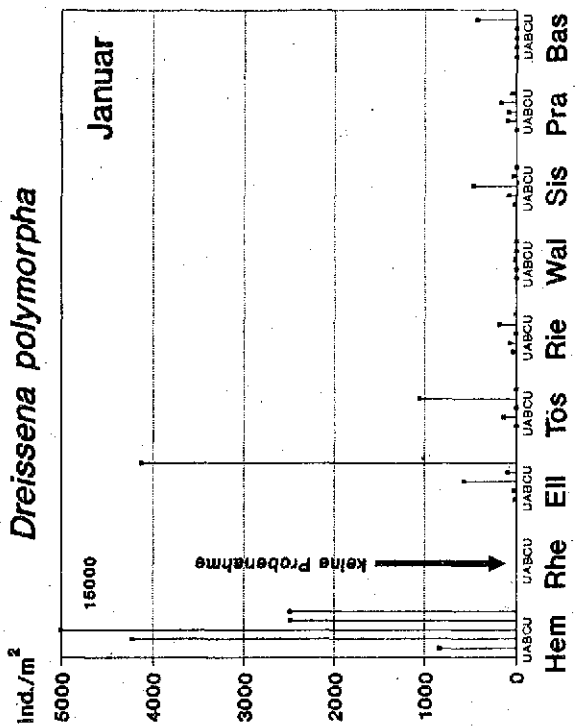
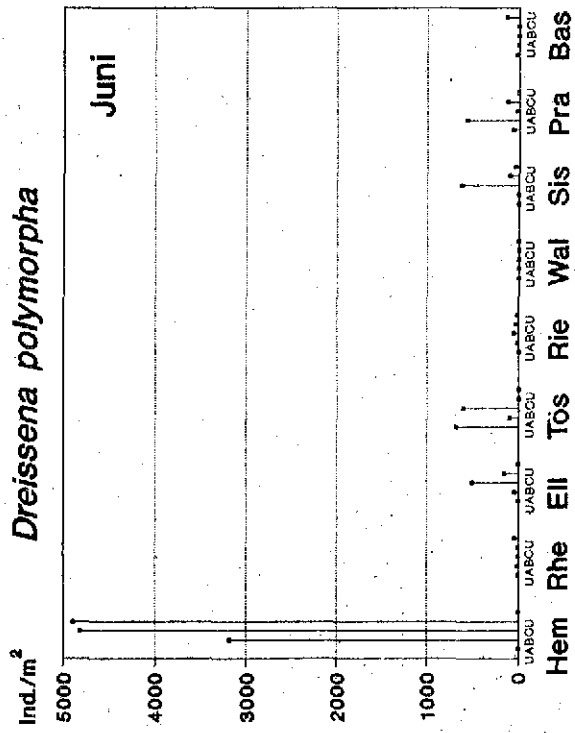


Abb. A 4.1: Das Vorkommen von *Dreissena polymorpha* im Längsverlauf des Hochrheins zu 3 Jahreszeiten; A, B, C = Tauchpunkte für Teilproben, U = Uferproben.

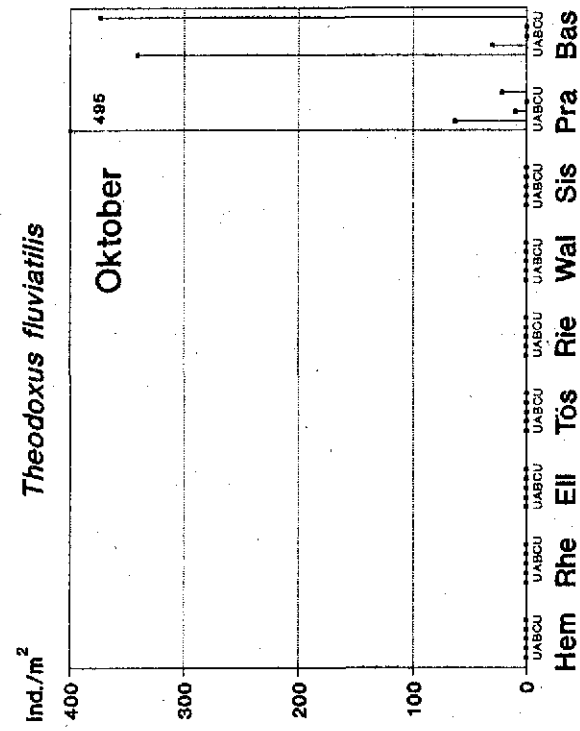
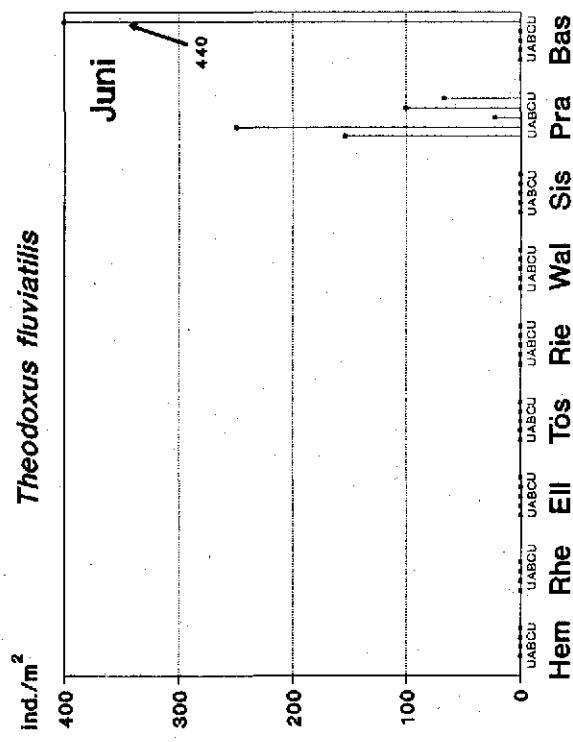
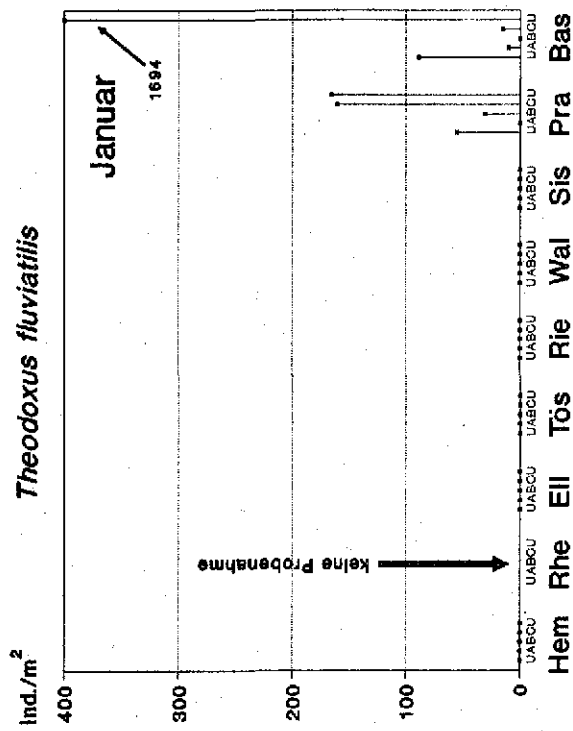


Abb. A 4.2: Das Vorkommen von *Theodoxus fluviatilis* im Längsverlauf des Hochrheins zu 3 Jahreszeiten; A, B, C = Tauchpunkte für Teilproben, U = Uferproben.

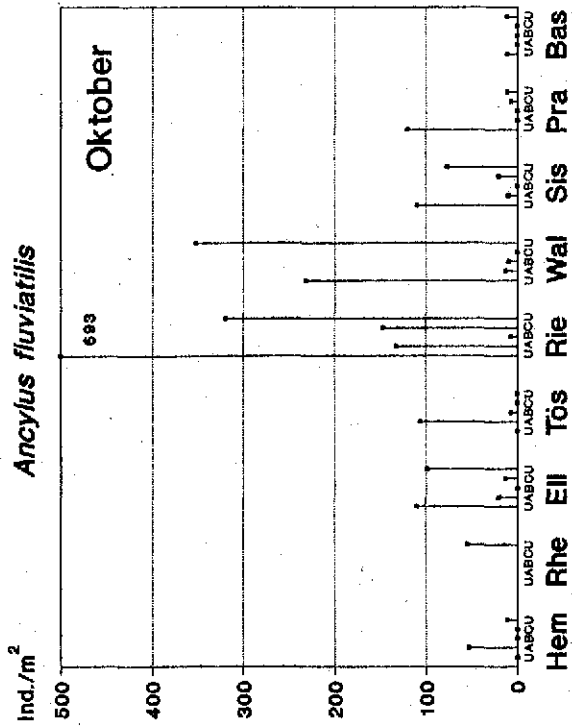
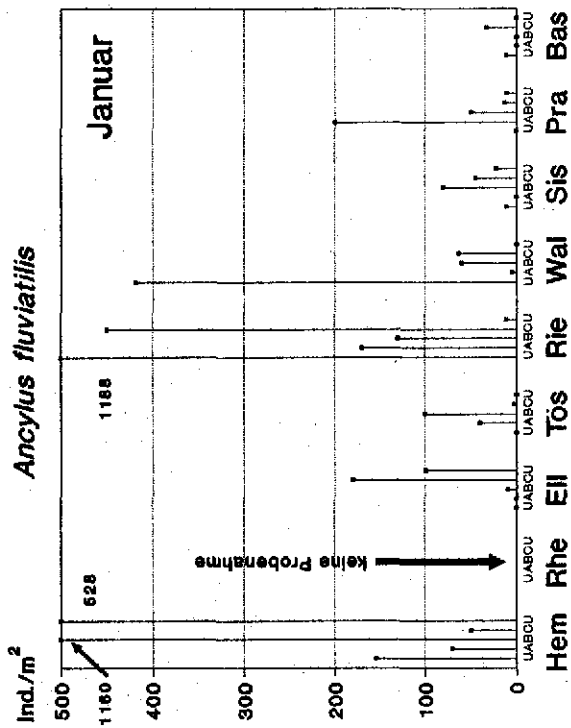
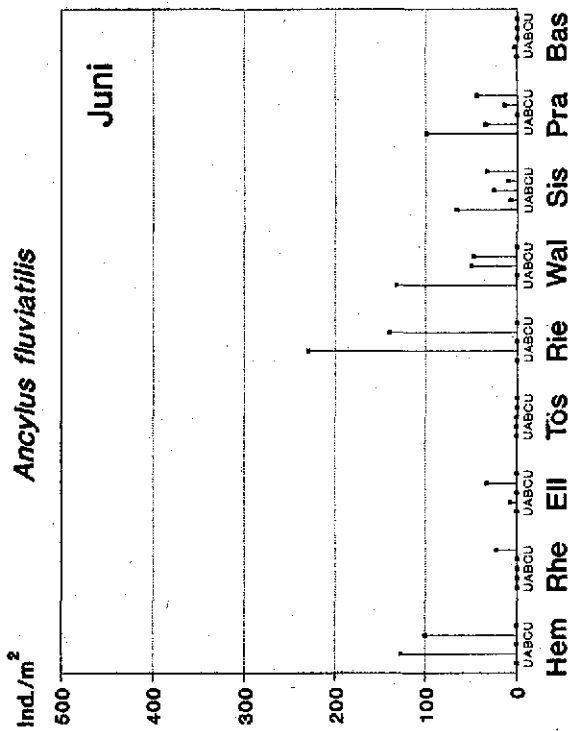


Abb. A 4.3: Das Vorkommen von *Ancyclus fluviatilis* im Längsverlauf des Hochrheins zu 3 Jahreszeiten; A,B,C = Tauchpunkte für Teilproben, U = Uferproben.

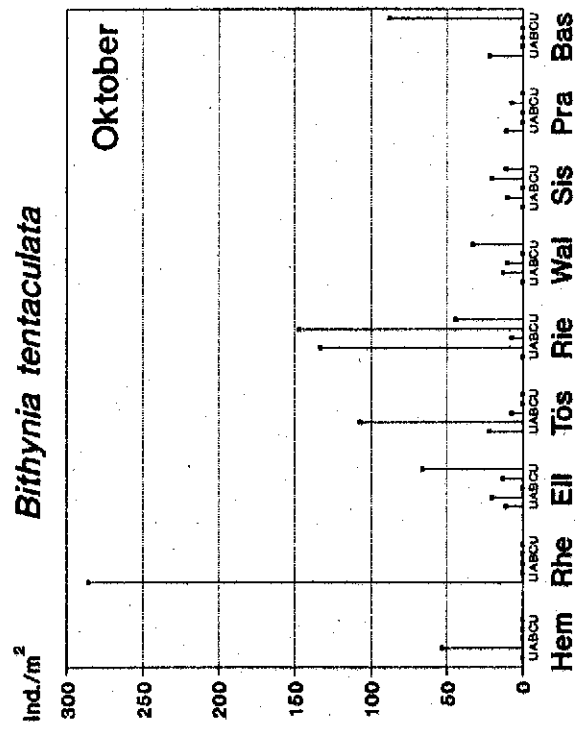
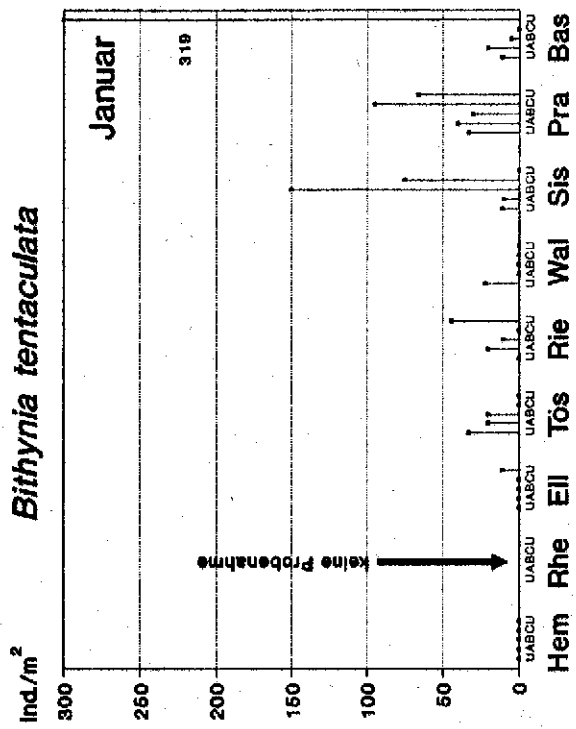
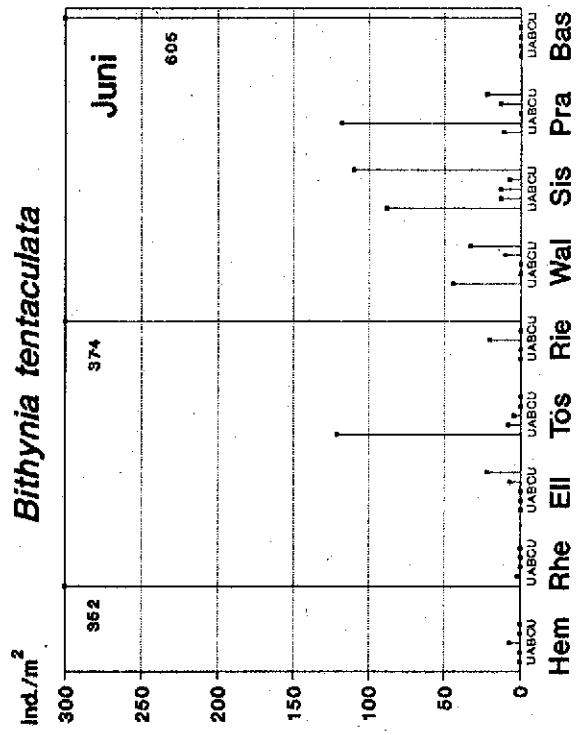
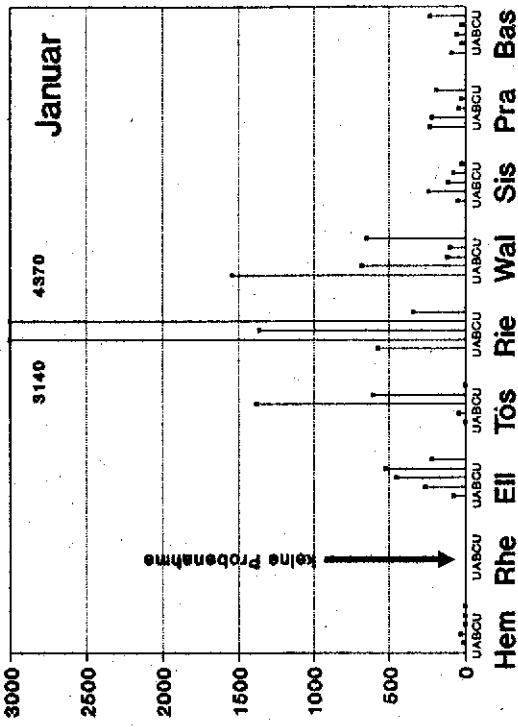


Abb. A 4.4: Das Vorkommen von *Bithynia tentaculata* im Längsverlauf des Hochrheins zu 3 Jahreszeiten; A, B, C = Tauchpunkte für Teilproben, U = Uferproben.

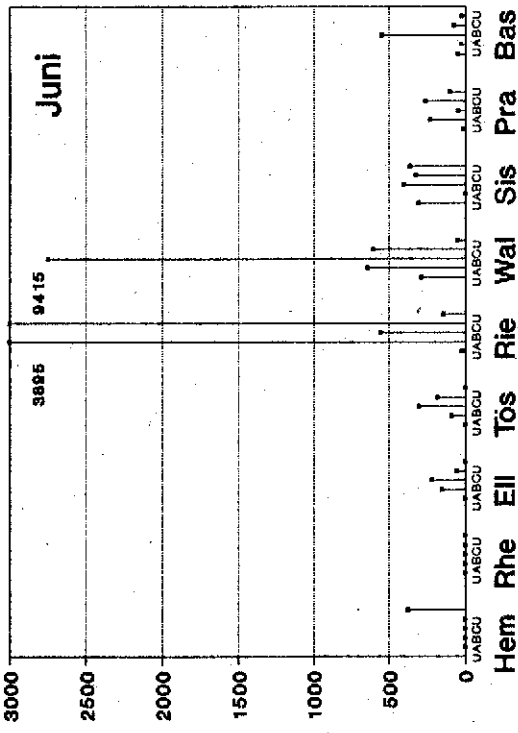
Gammarus-pulex-Gruppe

Ind./m²



Gammarus-pulex-Gruppe

Ind./m²



Gammarus-pulex-Gruppe

Ind./m²

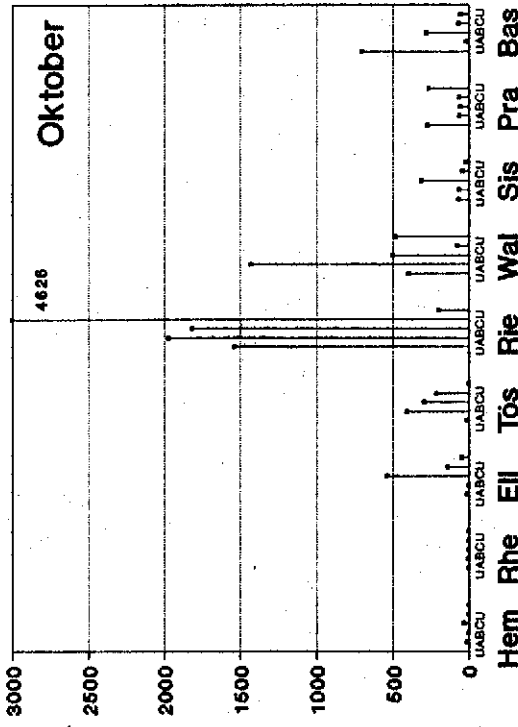


Abb. A 4.5: Das Vorkommen von *Gammarus pulex* im Längsverlauf des Hochrheins zu 3 Jahreszeiten; A, B, C = Tauchpunkte für Teilproben, U = Uferproben.

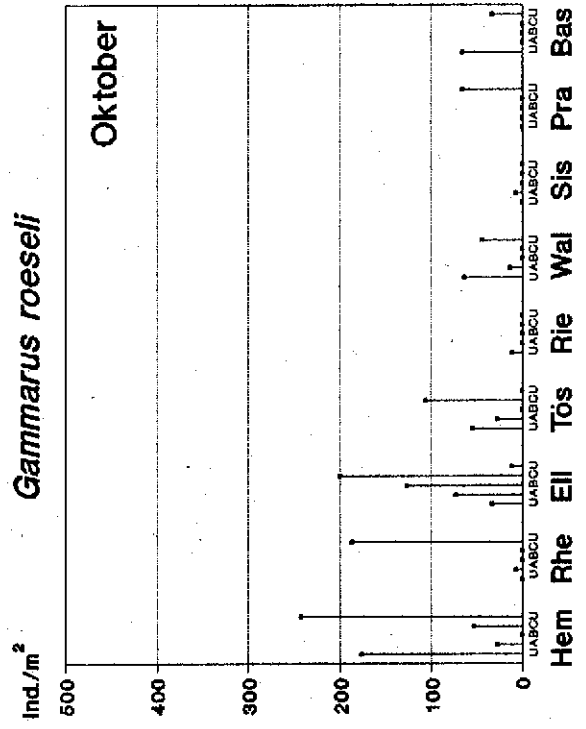
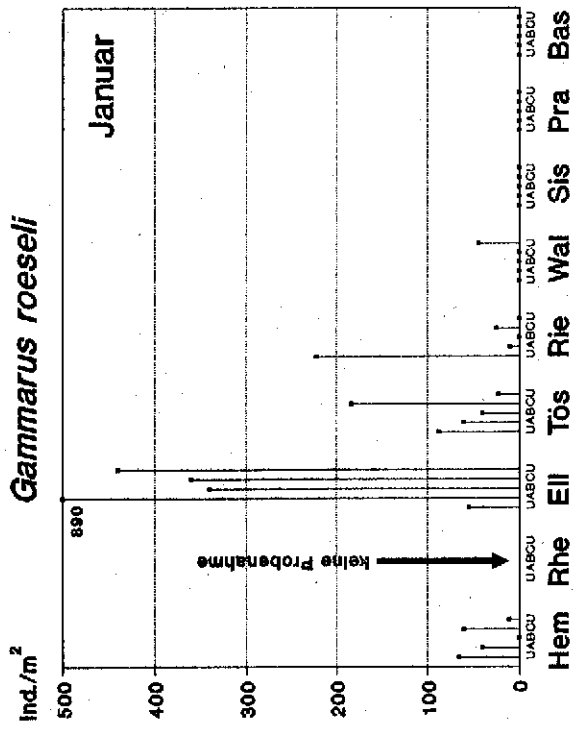
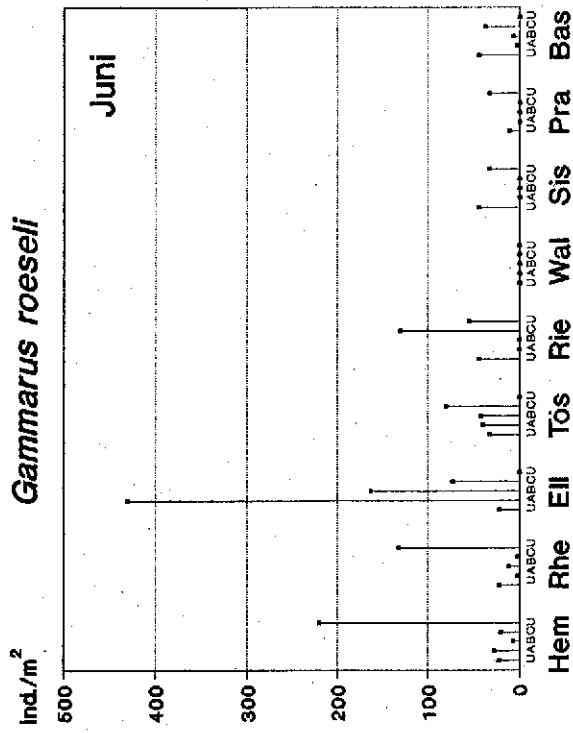


Abb. A 4.6: Das Vorkommen von *Gammarus roeselii* im Längsverlauf des Hochrheins zu 3 Jahreszeiten; A, B, C = Tauchpunkte für Teilproben, U = Uferproben.

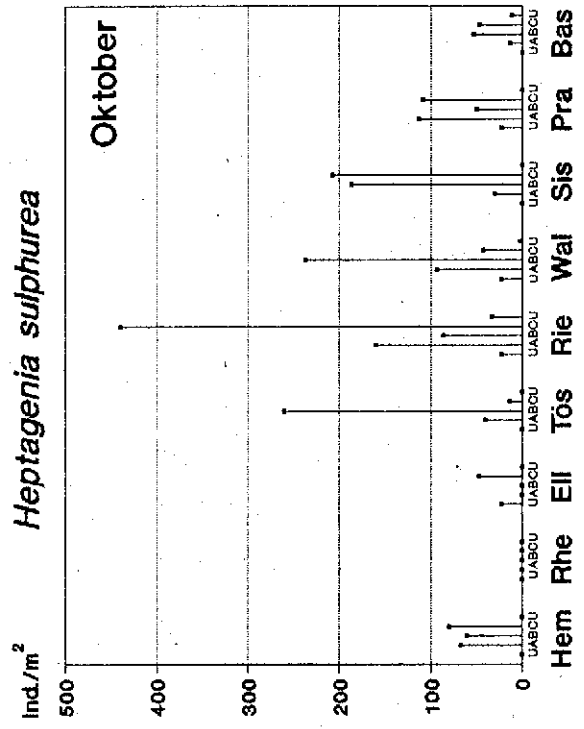
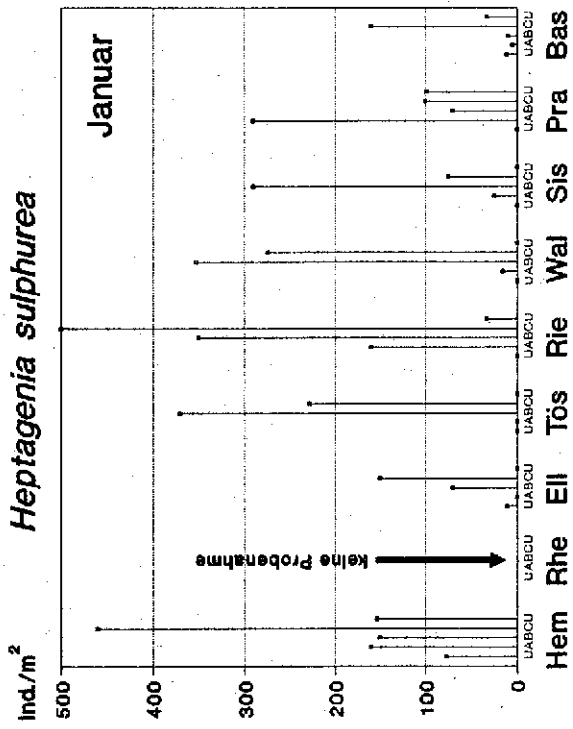
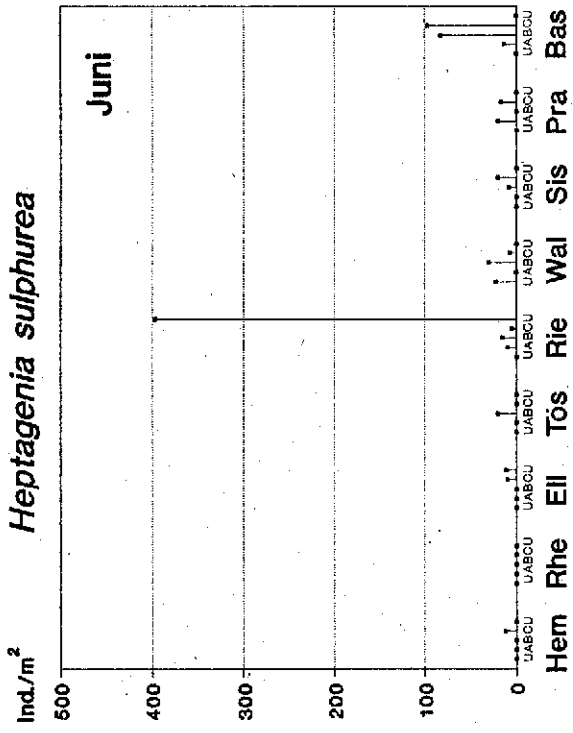


Abb. A 4.7: Das Vorkommen von *Heptagenia sulphurea* im Längsverlauf des Hochrheins zu 3 Jahreszeiten; A,B,C = Tauchpunkte für Teilproben, U = Uferproben.

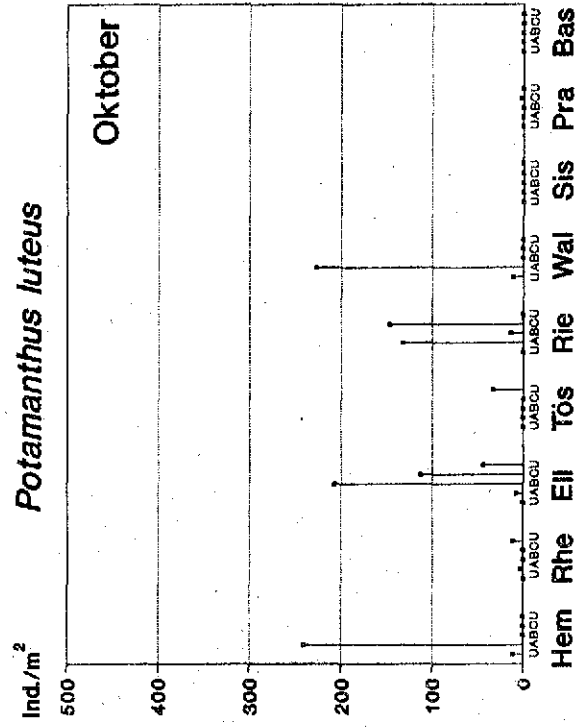
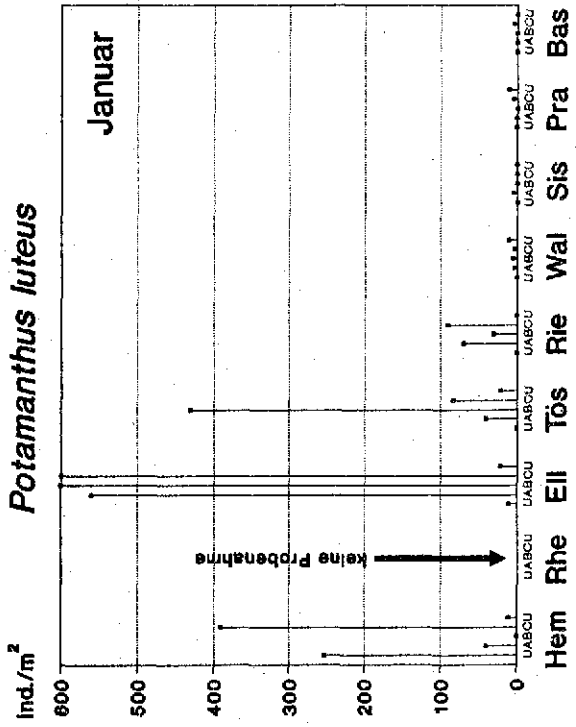
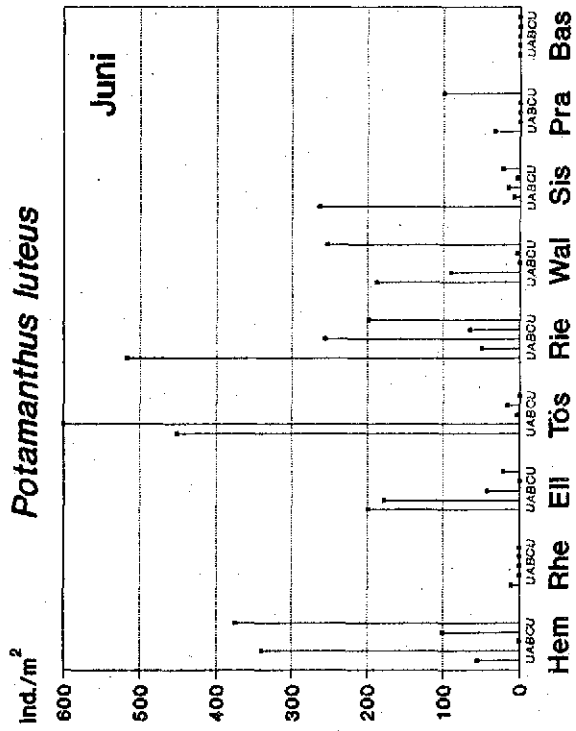


Abb. A 4.8: Das Vorkommen von *Potamanthus luteus* im Längsverlauf des Hochrheins zu 3 Jahreszeiten; A,B,C = Tauchpunkte für Teilproben, U = Uferproben.

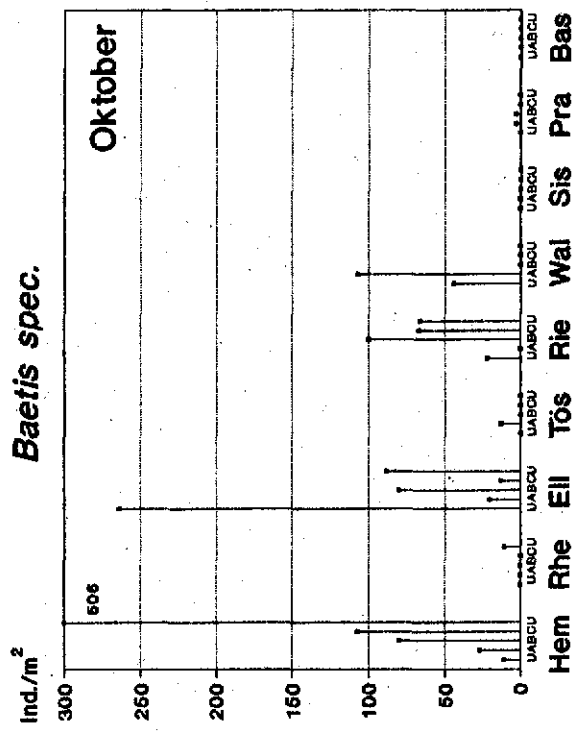
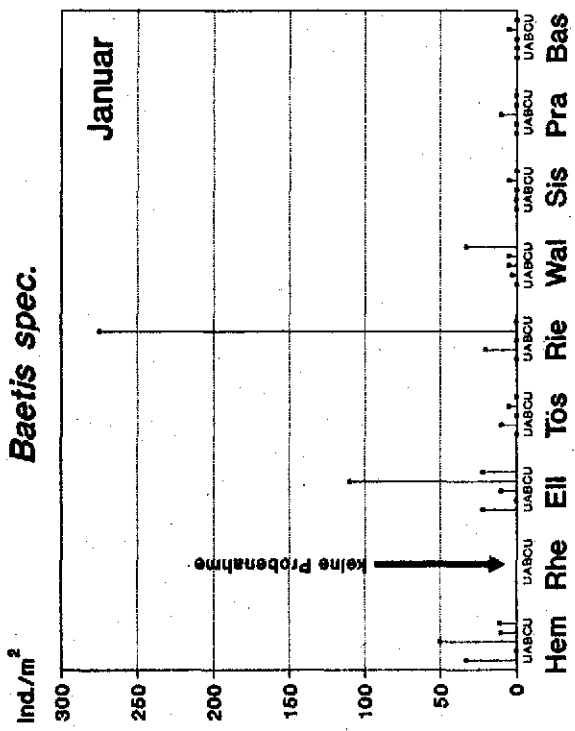
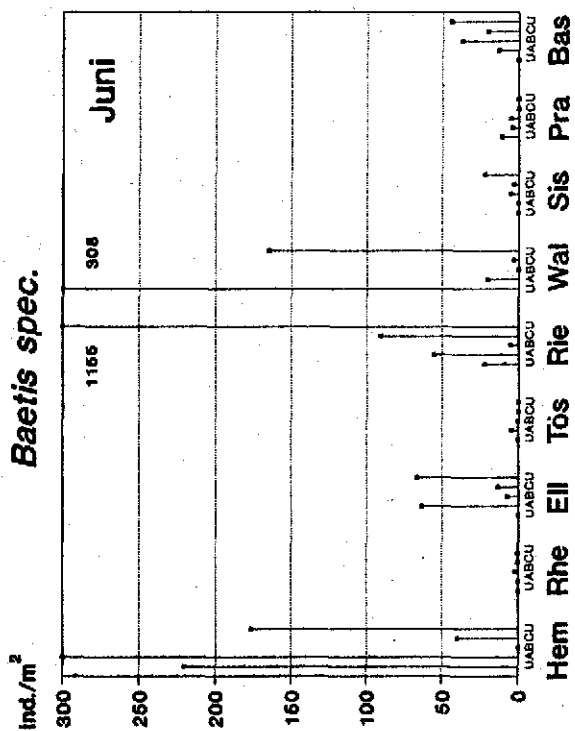


Abb. A 4.9: Das Vorkommen von *Baetis sp.* im Längsverlauf des Hochrheins zu 3 Jahreszeiten; A, B, C = Tauchpunkte für Teilproben, U = Uferproben.

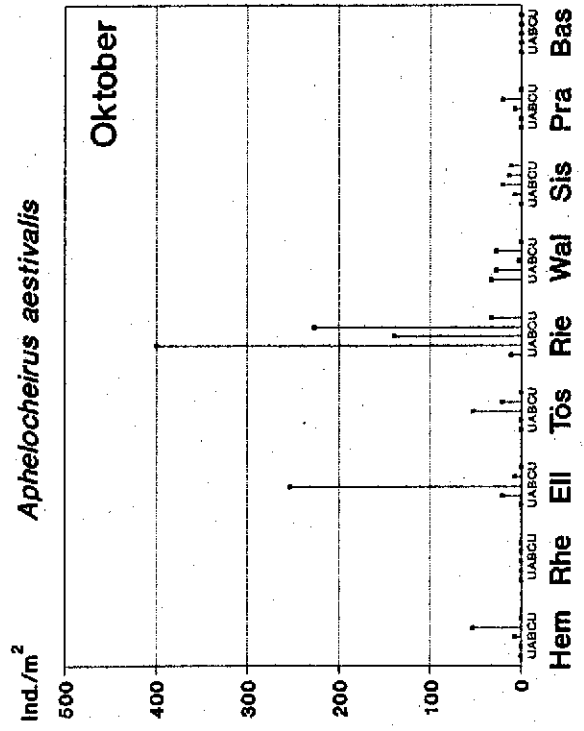
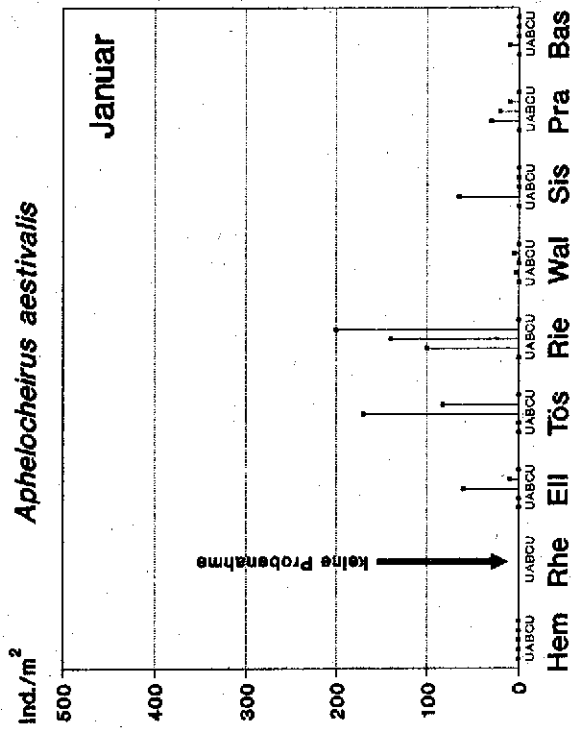
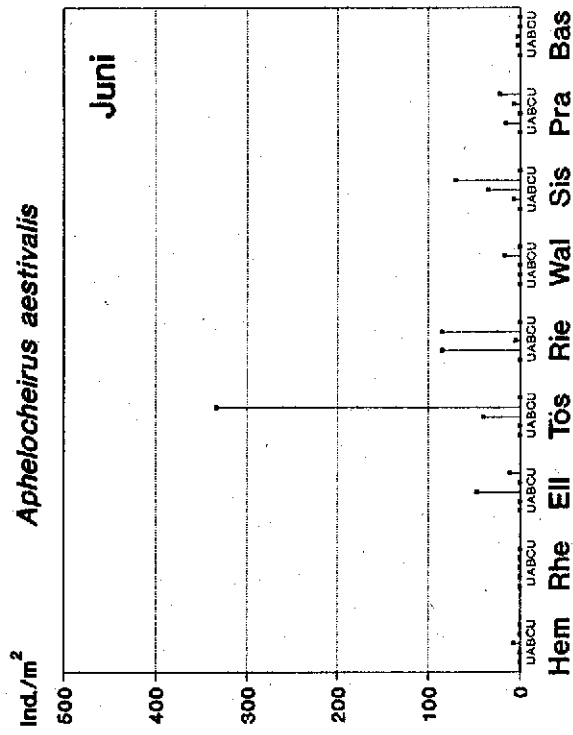


Abb. A 4.10: Das Vorkommen von *Aphelocheirus aestivalis* im Längsverlauf des Hochrheins zu 3 Jahreszeiten; A,B,C = Tauchpunkte für Teilproben, U = Uferproben.

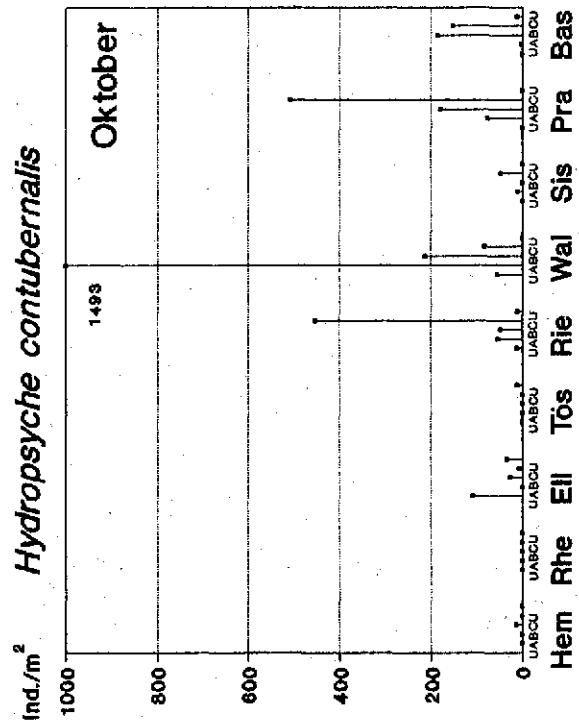
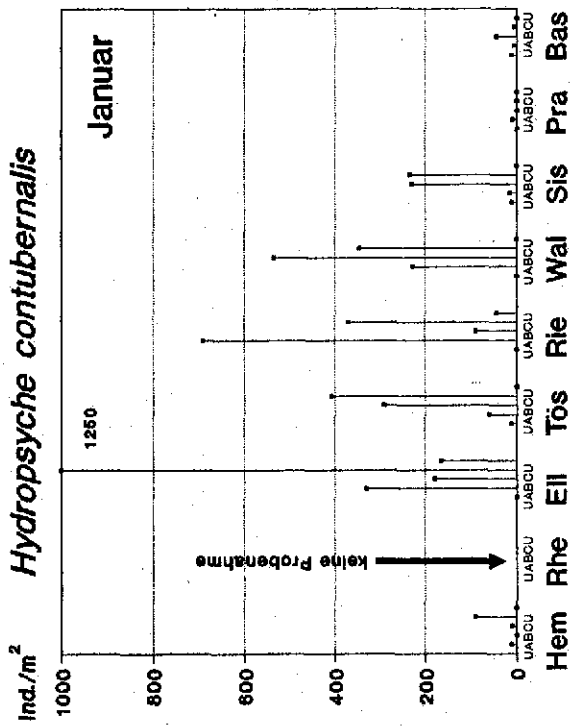
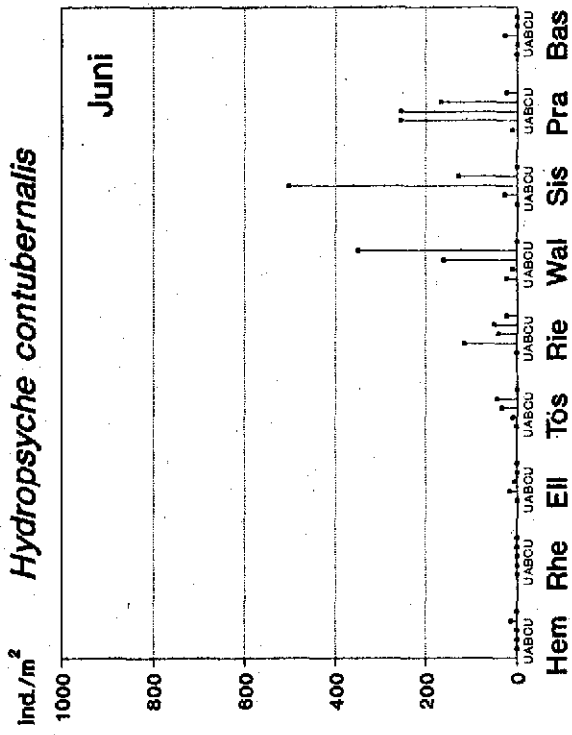


Abb. A 4.11: Das Vorkommen von *Hydropsyche contubernalis* im Längsverlauf des Hochrheins zu 3 Jahreszeiten; A,B,C = Tauchpunkte für Teilproben, U = Uferproben.

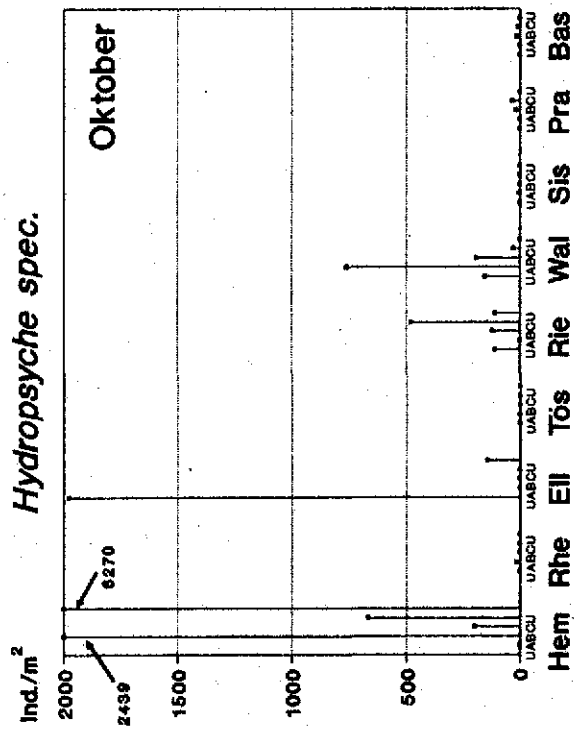
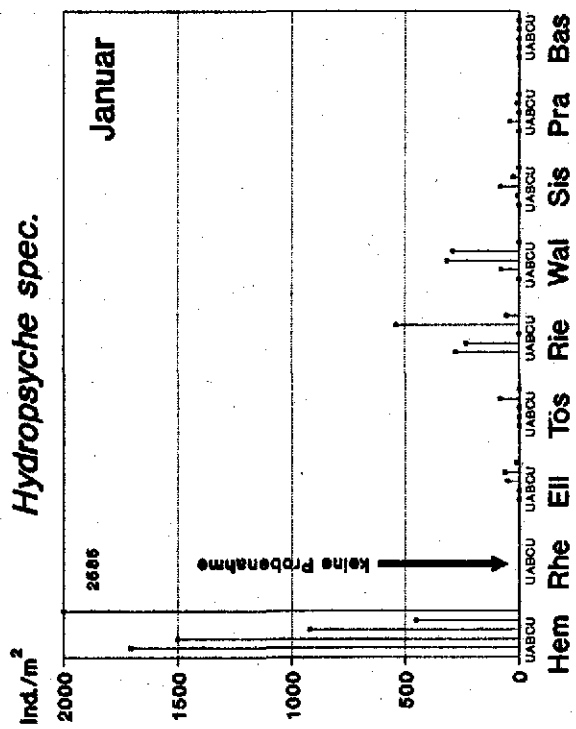
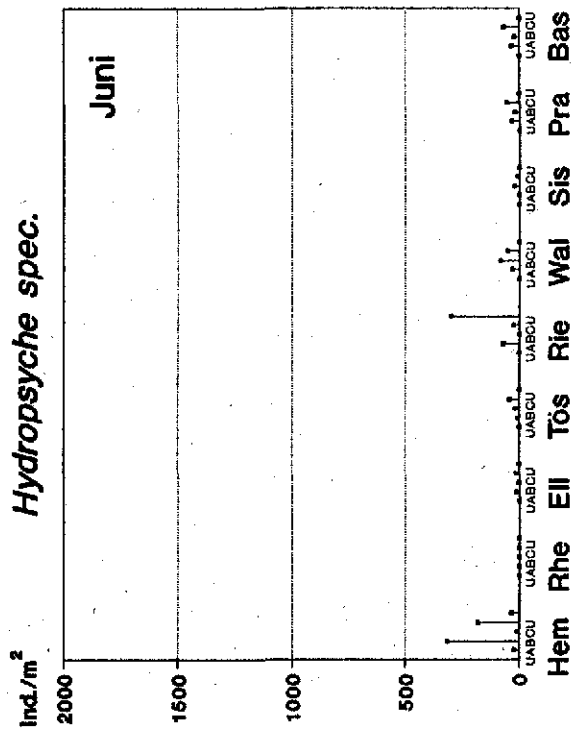


Abb. A 4.12: Das Vorkommen von *Hydropsyche sp.* im Längsverlauf des Hochrheins zu 3 Jahreszeiten; A, B, C = Tauchpunkte für Teilproben, U = Uferproben.

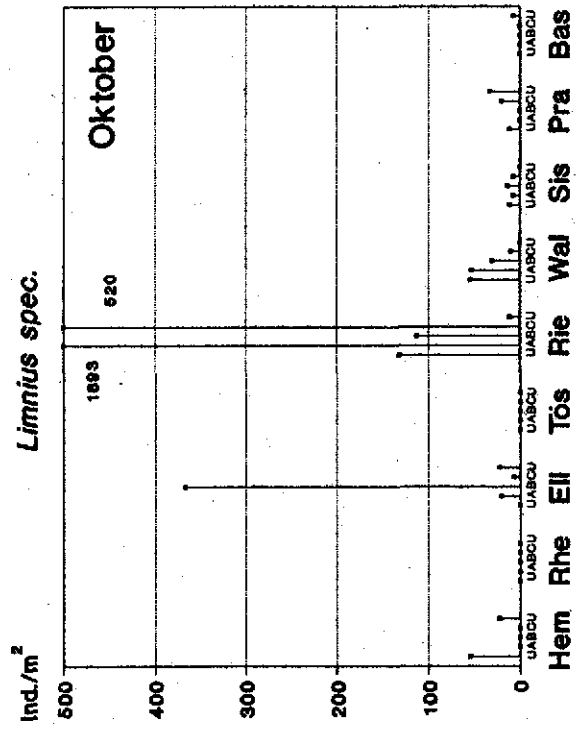
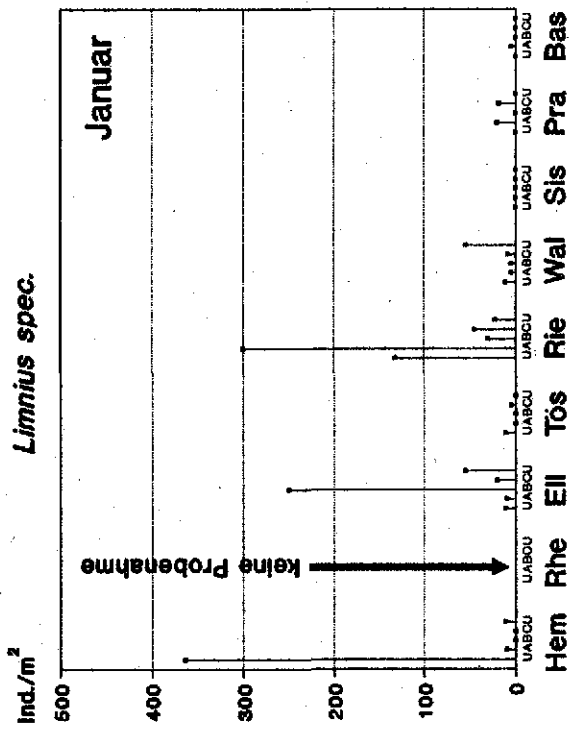
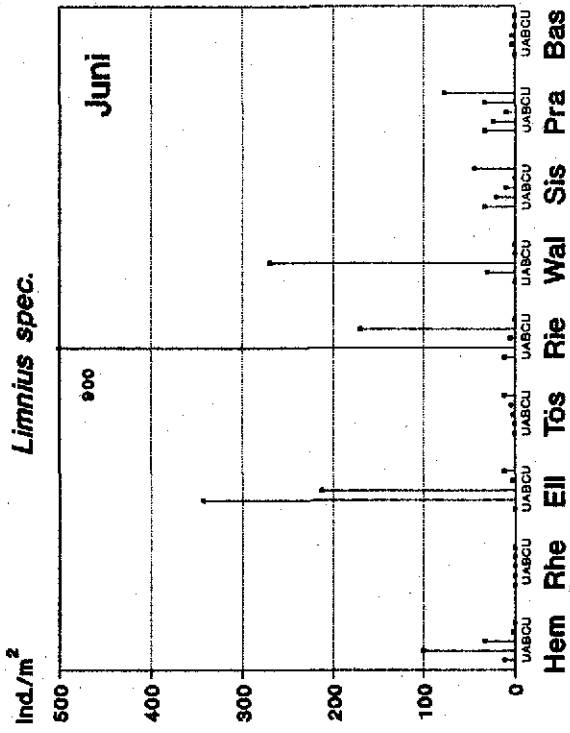


Abb. A 4.13: Das Vorkommen von *Limnius sp.* im Längsverlauf des Hochrheins zu 3 Jahreszeiten; A, B, C = Tauchpunkte für Teilproben, U = Uferproben.

Tab. A 5.1: Bisherige Untersuchungen des Makrozoobenthons am Hochrhein.

- 1910: Untersuchung der Insektenfauna des Rheins im Raume Basel (NEERACHER, 1910).
- 1916–1918: Biologische Gliederung des Rheinstromes aufgrund der Organismenbesiedlung. Untersuchungen auch im Hochrhein (LAUTERBORN, 1916).
- 1949/1959: Biologische Untersuchung (Makrozoobenthon und Aufwuchsorganismen: Algen, Sphaerotilus) des Rheins von Schweizerhalle bis unterhalb der Kraftwerksanlagen von Kembs (JAAG, 1951).
- 1965–1971: Biologische Untersuchungen (Makrozoobenthon, Bakteriologie) im Rahmen von Zustands- und Belastungsuntersuchungen am Hochrhein von 1965 bis Ende 1971 von der Mündung der Aare bis Basel durch das Eidg. Amt für Umweltschutz (JAAG, 1971).
- 1969–1972: Untersuchung des Makrozoobenthons bei Kaiseraugst im Rahmen einer Studie über die Auswirkungen der Erwärmung infolge Kühlwassereinleitung auf die Bodenfauna des Vorfluters (BLOESCH, 1977).
- 1974: Biologische Untersuchung (Aufwuchsproben und Makrozoobenthon) am Hochrhein durch die Internationale Rheinschutzkommission im Rahmen der Ermittlung eines Biologischen Zustandsbildes des Rheins. Probenahmen zwischen Stein am Rhein und Basel im Abstand von 10 km (IKSR, 1974).
- 1974–1975: Untersuchung des Makrozoobenthons im Rahmen des Projektes MAPOS in einmaligen Probenahmen an 7 Stellen zwischen Stein am Rhein und Basel (PERRET, 1977).
- 1977: Untersuchung des Makrozoobenthons bei Bad Säckingen (CASPER, 1980).
- 1981–1983: Untersuchung des Rheins (Makrozoobenthon) bei Basel durch das Botanische Institut der Universität Basel (Diplomarbeiten) im Auftrag des GSA Basel-Stadt (HÄFLIGER, 1981; RHYNER, 1981; MAREBACH, 1983).
- 1983/1986: Untersuchung des Makrozoobenthons im Rahmen der ökologischen Beurteilung einer industriellen Abwassereinleitung bei Sisseln (EAWAG, 1983/1986).
- 1986–1987: Untersuchung des biologischen Zustandes (Makrozoobenthon, Aufwuchsorganismen) des Rheins nach dem Brand in Schweizerhalle durch die EAWAG im Auftrag des Kantons Basel-Landschaft (EAWAG, 1987, 1987, 1988).
- 1987–1989: Erfassung des biologischen, chemischen und physikalischen Zustandes ausgewählter Zuflüsse des Rheins in der Region Basel. Forschungsprojekt mit finanzieller Unterstützung der Sandoz AG, Basel (SCHROEDER et AL. 1988).
- 1990: Besiedlungsgeschichtliche Betrachtung der Makrofauna im Längsverlauf des Rheins (KINZELBACH, 1990).

Tab. A 5.2: Trichoptera-Arten im Hochrhein bei **Basel**: Ein Vergleich der Angaben von FELBER (1908), NEERACHER (1910) und LAUTERBORN (1916) (zusammengestellt und verifiziert von CASPERS, 1980) mit den Taucherproben der vorliegenden Arbeit in Schweizerhalle (**Pra**) und Rheinhafen St. Johann (**Bas**) von Januar, Juni/Juli und Oktober 1990.

Species	FELBER u.a. ca.1900-1910	Vorliegende Arbeit - Tauchproben	
		Schweizerhalle	St. Johann
Rhyacophilidae			
<i>Rhyacophila dorsalis</i>	x	-	-
<i>Rhyacophila fasciata</i>	x	-	-
<i>Rhyacophila nubila</i>	?	-	-
<i>Rhyacophila pascoei</i>	x	-	-
<i>Rhyacophila tristis</i>	x	-	-
<i>Rhyacophila vulgaris</i>	?	-	-
Glossosomatidae			
<i>Glossosoma boltoni</i>	x	-	-
<i>Glossosoma conformis</i>	x	-	-
<i>Synagapetus dubitans</i>	?	-	-
<i>Agapetus laniger</i>	x	-	-
<i>Agapetus ochripes</i>	x	-	-
Hydroptilidae			
<i>Stactobiella risi</i>	x	-	-
<i>Oxyethira flavicornis</i>	x	-	-
<i>Hydroptila forcipa</i>	x	-	-
<i>Hydroptila tineoides</i>	x	-	-
<i>Hydroptila spec.</i>	-	-	x
<i>Allotrichia pallicornis</i>	x	-	-
Philopotamidae			
<i>Philopotamus ludificatus</i>	?	-	-
<i>Philopotamus montanus</i>	?	-	-
<i>Wormaldia subnigra</i>	x	-	-
<i>Chimarra marginata</i>	x	-	-
Psychomyidae			
<i>Psychomyia pusilla</i>	x	x	x
<i>Tinodes waeneri</i>	x	-	-
Hydropsychidae			
<i>Hydropsyche angustipennis</i>	-	?	?

Tab. A 5.2: (Fortsetzung)

Species	FELBER u.a. ca.1900-1910	Vorliegende Arbeit - Tauchproben	
		Schweizerhalle	St. Johann
<i>Hydropsyche contubernalis</i>	-	x	x
<i>Hydropsyche guttata</i>	?	-	-
<i>Hydropsyche instabilis</i>	x	-	-
<i>Hydropsyche pellucidula</i>	x	x	x
<i>Hydropsyche saxonica</i>	x	-	-
<i>Cheumatopsyche lepida</i>	x	x	x
Polycentropodidae			
<i>Neureclipsis bimaculata</i>	x	x	-
<i>Polycentropus irroratus</i>	x	-	-
<i>Polycentropus flavomaculatus</i>	x	x	x
<i>Holocentropus dubius</i>	?	?	?
Ecnomidae			
<i>Ecnomus tenellus</i>	x	-	-
Phryganeidae			
<i>Agrypnia varia</i>	?	-	-
<i>Agrypnea pagetana</i>	?	-	-
<i>Phryganea bipunctata</i>	?	-	-
<i>Oligotrichia striata</i>	?	-	-
<i>Oligostomis reticulata</i>	?	-	-
Brachycentridae			
<i>Brachycentrus subnubilus</i>	x	-	-
<i>Oligopteryx maculatum</i>	x	-	-
<i>Micrasema minimum</i>	?	-	-
<i>Micrasema setiferum</i>	x	-	-
Limnephilidae			
<i>Drusus chrysotus</i>	?	-	-
<i>Ecclisopteryx guttulata</i>	?	-	-
<i>Limnephilus auricula</i>	?	-	-
<i>Limnephilus extricatus</i>	x	-	-
<i>Limnephilus griseus</i>	x	-	-
<i>Limnephilus ignavus</i>	x	-	-
<i>Limnephilus lunatus</i>	?	-	-
<i>Limnephilus rhombicus</i>	x	-	-
<i>Limnephilus vittatus</i>	?	-	-
<i>Grammotaulius nigropunctatus</i>	x	-	-
<i>Glyphotaelius pellucidus</i>	x	-	-
<i>Anabolia nervosa</i>	x	-	-

Tab. A 5.2: (Fortsetzung)

Species	FELBER u.a. ca.1900-1910	Vorliegende Arbeit - Tauchproben	
		Schweizerhalle	St. Johann
<i>Potamophylax cingulatus</i>	?	-	-
<i>Potamophylax latipennis</i>	?	-	-
<i>Potamophylax rotundipennis</i>	?	-	-
<i>Halesus tessellatus</i>	x	-	-
<i>Melampophylax mucoreus</i>	?	-	-
<i>Anisogammus difformis</i>	?	-	-
<i>Allogamus auricollis</i>	?	-	-
<i>Stenophlyax permistus</i>	?	-	-
<i>Micropterna testacea</i>	x	-	-
<i>Mesophyalx impunctatus</i>	?	-	-
<i>Chaetopteryx villosa</i>	x	-	-
<i>Annitella obscurata</i>	x	-	-
Goeridae			
<i>Goera pilosa</i>	x	-	-
<i>Lithax niger</i>	?	-	-
<i>Silo nigricornis</i>	x	-	-
<i>Silo pallipes</i>	x	-	-
<i>Silo piceus</i>	x	-	-
Lepidostomatidae			
<i>Lepidostoma hirtum</i>	x	x	-
<i>Lasiocephala basalis</i>	x	-	-
Leptoceridae			
<i>Athripsodes aterrimus</i>	?	?	-
<i>Athripsodes bilineatus</i>	x	?	-
<i>Athripsodes cinereus</i>	x	?	-
<i>Athripsodes spp.</i>		x	-
<i>Ceraclea annulicornis</i>	x	-	-
<i>Ceraclea aurea</i>	x	-	-
<i>Ceraclea dissimilis</i>	x	-	-
<i>Leptocerus interruptus</i>	x	?	-
<i>Leptocerus spec.</i>	-	x	x
<i>Mystacides azurea</i>	?	?	x
<i>Mystacides longicornis</i>	?	?	-
<i>Mystacides nigra</i>	?	?	-
<i>Mystacides spec.</i>	?	x	-
<i>Trienodes conspersus</i>	?	-	-
<i>Oecetis lacustris</i>	?	-	-

Tab. A 5.2: (Fortsetzung)

Species	FELBER u.a. ca.1900-1910	Vorliegende Arbeit - Tauchproben	
		Schweizerhalle	St. Johann
<i>Oecetis ochracea</i>	?	-	-
<i>Setodes punctatus</i>	x	-	-
Sericostomatidae			
<i>Notidobia ciliaris</i>	x	-	-
<i>Sericostoma flavicorne</i>	x	-	-
<i>Sericostoma personatum</i>	x	-	-
Beraeidae			
<i>Beraea pullata</i>	?	-	-
<i>Beraeodes minutus</i>	?	-	-
<i>Ernodes articularis</i>	?	-	-
Odontoceridae			
<i>Odontocerum albicorne</i>	x	-	-
Molannidae			
<i>Molanna angustata</i>	?	-	-

Tab. A 5.3: Trichoptera-Arten im Hochrhein bei **Rheinau (Rhe)**: Ein Vergleich der Angaben von CASPERS (1980) zu Coll. Liniger (det. Ris & Ulmer) aus Aufsammlungen aus dem 1. Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts mit den Taucherproben im Rahmen der vorliegenden Arbeit von Juni und Oktober 1990.

Species	Coll.Liniger ca.1900-1910	Vorliegende Arbeit - Tauchproben Juni und Oktober 1991
Rhyacophilidae		
<i>Rhyacophila dorsalis</i>	x	-
<i>Rhyacophila pascoei</i>	x	-
Glossosomatidae		
<i>Glossosoma conformis</i>	x	-
<i>Synagapetus dubitans</i>	?	-
<i>Agapetus laniger</i>	x	-
<i>Agapetus ochripes</i>	x	-
Hydroptilidae		
<i>Agraylea spec.</i>	-	x
<i>Ptilocolepus granulatus</i>	?	-
<i>Orthotrichia angustella</i>	x	-
<i>Hydroptila sparsa</i>	x	-
<i>Hydroptila vectis</i>	x	-
Philopotamidae		
<i>Wormaldia subnigra</i>	x	-
<i>Chimarra marginata</i>	x	-
Psychomyidae		
<i>Tinodes waeneri</i>	-	x
Hydropsychidae		
<i>Hydropsyche angustipennis</i>	-	x
<i>Hydropsyche contubernalis</i>	-	x
<i>Hydropsyche instabilis</i>	x	-
<i>Hydropsyche pellucidula</i>	-	x
<i>Cheumatopsyche lepida</i>	x	-
Polycentropodidae		
<i>Neureclipsis bimaculata</i>	x	-
<i>Polycentropus flavomaculatus</i>	-	x
Brachycentridae		
<i>Brachycentrus subnubilus</i>	x	-
<i>Oligoplectrum maculatum</i>	x	-
<i>Micrasema setiferum</i>	x	-

Tab. A 5.3: (Fortsetzung)

Species	Coll.Liniger ca.1900-1910	Vorliegende Arbeit - Tauchproben Juni und Oktober 1991
Limnephilidae		
<i>Drusus trifidus</i>	?	-
<i>Ecclisopteryx guttata</i>	x	-
<i>Limnephilus ignavus</i>	x	-
<i>Potamophylax nigricornis</i>	x	-
<i>Stenophlyax permistus</i>	?	-
<i>Micropterna testacea</i>	x	-
<i>Einoicyla reichenbachii</i>	x	-
<i>Chaetopteryx villosa</i>	x	-
Goeridae		
<i>Silo nigricornis</i>	x	-
<i>Silo piceus</i>	x	-
Lepidostomatidae		
<i>Lepidostoma hirtum</i>	x	-
Leptoceridae		
<i>Athripsodes albifrons</i>	x	?
<i>Athripsodes bilineatus</i>	x	?
<i>Athripsodes cinereus</i>	x	?
<i>Athripsodes spp.</i>	-	x
<i>Ceraclea alboguttata</i>	x	-
<i>Ceraclea annulicornis</i>	x	-
<i>Ceraclea aurea</i>	x	-
<i>Ceraclea nigronervosa</i>	x	-
<i>Leptocerus spec.</i>	-	x
<i>Mystacides azurea</i>	?	x
<i>Oecetis notata</i>	x	-
<i>Setodes punctatus</i>	x	-
Sericostomatidae		
<i>Sericostoma flavicorne</i>	x	-
<i>Sericostoma personatum</i>	x	-
Gesamtartenzahl (ohne ?)	36	9
Fließwasserarten	30	2
Stillwasserarten	1	3
Ubiquisten	4	4
terrestrische Arten	1	0

Tab. A 5.4: Das Artenspektrum des Makrozoobenthos im Rhein zwischen Rheinfelden und Kaiser-augst: Ein Vergleich der Transektproben von 1969-1972 (BLOESCH 1977) mit den Taucherproben im Rahmen der vorliegenden Arbeit.

Taxa	1969-1972 (BLOESCH 1977)	1990 Vorliegende Arbeit - Tauchproben
Turbellaria		
<i>Planaria torva</i>	x	-
<i>Polycelis nigra / tenuis</i>	-	x
<i>Dendrocoelum lacteum</i>	-	x
Oligochaeta		
<i>Chaetogaster spec.</i>	x	-
<i>Stylaria lacustris</i>	x	-
<i>Nais sp.</i>	x	-
Tubificidae	x	x
<i>Limnodrilus spec.</i>	x	?
<i>Tubifex spec.</i>	x	?
<i>Peloscloex spec.</i>	x	?
Enchytraeidae		
<i>Enchytraeus spec.</i>	x	-
Lumbriculidae		
<i>Stylodrilus heringianus</i>	x	-
<i>Lumbriculus variegatus</i>	x	-
Criodilidae		
<i>Criodrilus lacuum</i>	x	-
Hirudinea		
<i>Erpobdella octoculata</i>	x	x
<i>Helobdella stagnalis</i>	-	x
<i>Glossiphonia complanata</i>	x	x
Nematoda	x	x
Mollusca		
Gastropoda		
<i>Ancylus fluviatilis</i>	x	x
<i>Bithynia tentaculata</i>	x	x
<i>Valvata naticina</i>	x	-
<i>Radix peregra/ovata</i>	x	x
Bivalvia		
<i>Pisidium spec.</i>	x	-

Tab. A 5.4: (Fortsetzung)

	BLOESCH 1977	Vorliegende Arbeit - Tauchproben
<i>Sphaerium corneum</i>	X	X
<i>Dreissena polymorpha</i>	X	X
Crustacea		
<i>Gammarus fossarum</i>	X	X
<i>Gammarus pulex</i>	X	X
<i>Gammarus roeselii</i>	-	X
<i>Asellus aquaticus</i>	X	X
Heteroptera		
<i>Aphe locheirus aestivalis</i>	-	X
Ephemeroptera		
<i>Baetis spec.</i>	X	X
<i>Caenis spec.</i>	X	X
<i>Ephemerella ignita</i>	-	X
<i>Heptagenia sulphurea</i>	-	X
<i>Ecdyonurus spec.</i>	-	-
<i>Potamanthus luteus</i>	X	X
Diptera		
Chironomidae		
Tanypodinae	X	X
Orthoclaadiinae	X	X
Chironominae	X	X
Tanytarsini	-	X
Simuliidae	X	-
Ceratopogonidae		
<i>Bezzia spec.</i>	-	X
<i>Culicoides spec.</i>	X	-
Psychodidae	X	-
Empididae	X	-
Trichoptera		
Glossosomatidae		
<i>Glossosoma spec.</i>	-	X
Psychomyidae		
<i>Psychomyia pusilla</i>	-	X
Hydropsychidae		
<i>Hydropsyche spec.</i>	X	X
<i>Hydropsyche contubernalis</i>		X
<i>Hydropsyche pellucidula</i>		X
<i>Cheumatopsyche lepida</i>	-	X
Polycentropodidae		

Tab. A 5.4: (Fortsetzung)

	BLOESCH 1977	Vorliegende Arbeit - Tauchproben
<i>Neureclipsis bimaculata</i>	-	X
<i>Polycentropus flavomaculatus</i>	X	X
Lepidostomatidae		
<i>Lepidostoma hirtum</i>	-	X
Leptoceridae	X	
<i>Athripsodes spp.</i>	-	X
<i>Ceraclea spec.</i>	-	X
<i>Leptocerus spec.</i>	-	X
<i>Mystacides spec.</i>	-	X
Sericostomatidae	-	X
Coleoptera		X
<i>Elmis aenea/maugeii</i>	X	X
<i>Limnius spec.</i>	-	X

Tab. A 5.5: Das Artenspektrum des Makrozoobenthos im Rhein bei Schweizerhalle (Pra) zwischen Dezember 1986 und Oktober 1990: Ein Vergleich der Transektproben der EAWAG (1987, 1988) von der unbetroffenen Referenzstelle bei den Untersuchungen nach der Brandkatastrophe bei Schweizerhalle mit den Taucherproben im Rahmen der vorliegenden Arbeit.

Taxa	Rhein - km 157,2					
	(Stössel et al.)			Vorliegende Arbeit - Tauchproben		
	Dez 86	März 87	Nov 87	Jan 88	Jun 88	Okt 88
Turbellaria						
<i>Dugesia gonocephala</i>	x	x	x	x	-	x
<i>Dugesia tigrina</i>	x	x	x	-	-	-
<i>Dugesia lugubris/polychroa</i>	-	-	-	-	x	x
<i>Polycelis spec.</i>	-	x	x	-	-	-
<i>Dendrocoelum lacteum</i>	x	-	x	-	-	x
Oligochaeta						
<i>Stylodrilus heringianus</i>	x	-	x	-	-	-
Lumbriculidae	x	x	x	x	-	x
<i>Haplotaxis spec.</i>	x	-	-	-	-	-
Tubificidae	x	x	-	x	x	x
<i>Nais spec.</i>	x	x	x	-	-	-
<i>Stylaria lacustris</i>	x	-	x	-	-	-
Lumbricidae				x		
<i>Eiseniella tetraedra</i>	x	x	x	x	x	x
Enchytraeidae	-	x	-	-	-	-
Hirudinea						
<i>Piscicola geometra</i>	-	x	-	-	x	-
<i>Erpobdella geometra</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Glossiphonia complanata</i>	-	-	-	x	x	-
Nematoda	x	x	x	x	-	-
Mollusca						
Gastropoda						
<i>Theodoxus fluviatilis</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Bithynia leachi</i>	x	-	-	-	-	-
<i>Bithynia tentaculata</i>	-	-	-	x	x	x
<i>Anisus contortus</i>	x	-	x	-	-	-
<i>Ancylus fluviatilis</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Radix peregra ovata</i>	-	-	-	-	x	-

Tab. A 5.5: (Fortsetzung)

Taxa	Rhein - km 157,2					
	(Stössel et al.)			Vorliegende Arbeit - Tauchproben		
	EAWAG ZH			Jan	Jun	Okt 90
	Dez 86	März	Nov 87			
<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	-	-	-	-	x	-
Bivalvia						
<i>Dreissena polymorpha</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Sphaerium corneum</i>	x	-	x	-	x	-
<i>Pisidium spec.</i>	x	x	x	x	-	-
Crustacea						
<i>Asellus aquaticus</i>	x	x	x	x	-	-
<i>Gammarus pulex</i>	x	x	x	-	x	x
<i>Gammarus fossarum</i>	-	-	-	x	x	-
<i>Gammarus pulex</i> -Gruppe				x	x	x
Heteroptera						
<i>Aphelocheirus aestivalis</i>	x	x	x	x	x	x
Ephemeroptera						
<i>Baetis spec.</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Caenis spec.</i>	x	x	x	-	-	-
<i>Paraleptophlebia submarginata</i>	-	x	-	-	-	-
<i>Heptagenia sulphurea</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Epeorus sylvicola</i>	-	-	-	-	x	x
<i>Potamanthus luteus</i>	x	x	x	x	-	x
<i>Ephemerella ignita</i>	-	-	-	-	x	-
<i>Ephemerella major</i>	-	-	-	-	x	-
<i>Ephemera danica</i>	-	-	-	-	x	-
Plecoptera						
<i>Nemoura spec.</i>	-	x	-	-	-	-
<i>Perlodes dsipar</i>	-	x	-	-	-	-
Diptera						
Tipulidae	x	x	x	-	-	-
<i>Antocha spec.</i>	-	x	-	-	-	-
<i>Dicranota spec.</i>	x	-	x	-	-	-
Limoniidae	-	x	-	-	-	-
Simuliidae	x	x	x	x	x	-
Tanypodinae	-	x	?	x	x	x
Chironominae	-	x	?	x	x	x
Orthoclaadiinae	?	?	?	x	x	x
Tanytarsini	-	-	-	x	x	x

Tab. A 5.5: Fortsetzung)

Taxa	Rhein - km 157,2					
	(Stössel et al.)			Vorliegende Arbeit - Tauchproben		
	EAWAG ZH			Jan	Jun	Okt 90
	Dez 86	März	Nov 87			
Ceratopogonidae	-	x	-	-	-	-
Stratiomyidae	-	x	-	-	-	-
Empedidae	-	x	-	-	-	-
Trichoptera						
<i>Rhyacophila dorsalis</i>	-	x	-	-	-	-
<i>Cheumatopsyche lepida</i>	-	x	-	x	x	x
<i>Hydropsyche spec.</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Hydropsyche contubernalis</i>				x	x	x
Polycentropodidae	x	x	x			
<i>Neureclipsis bimaculata</i>	-	-	-	-	x	-
<i>Polycentropus flavomaculatus</i>	x	-	-	-	-	-
<i>Psychomyia pusilla</i>	x	-	-	-	-	x
Limnephilidae	x	-	x	-	-	-
<i>Lepidostoma hirtum</i>	-	x	-	x	x	-
<i>Athripsodes annulicornis</i>	-	x	-	-	-	-
<i>Athripsodes spec.</i>	-	-	-	-	x	-
<i>Oecetis spec.</i>	-	x	-	-	-	-
<i>Setodes punctatus</i>	-	x	-	-	-	-
<i>Leptocerus spec.</i>	x	x	x	-	x	x
<i>Mystacides spec.</i>	-	-	-	x	-	x
<i>Aideclla spec.</i>	x	x	x	-	-	-
<i>Sericostoma spec.</i>	x	x	x	x	-	-
<i>Beraea spec.</i>	-	x	-	-	-	-
<i>Odontocerum albicorne</i>	x	-	x	-	-	-
Neuroptera						
<i>Sisyra spec.</i>	-	-	x	-	-	-
Coleoptera						
<i>Elmis spec.</i>	x	x	x	-	x	-
<i>Limnius spec.</i>	x	x	x	x	x	-
<i>Riolus spec.</i>	x	x	-	-	-	-

Tab. A 5.6: Das Artenspektrum des Makrozoobenthos im Rhein bei Basel zwischen Rhein-km 166.5 und 172 zwischen Dezember 1986 und Oktober 1990: Ein Vergleich zwischen den Ufer- und Lichtfangproben von CASPERS (1990), den Transektproben der EAWAG (1987, 1988) nach der Brandkatastrophe bei Schweizerhalle, den Proben der Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz (TITTIZER ET. AL., 1990) und den Taucherproben im Rahmen der vorliegenden Arbeit.

Rhein - km	166,5-166,7	166,9	167,1	166-172
Zeitraum	Sommer 87	XII 86-XI 87	I-X 90	XI 86-X 87
Autoren/Arbeit sgruppe	CASPERS ¹	EAWAG ²	Vorl. Arb. ³	BfG ⁴
Taxa	(nur Insecta)			
Porifera				
Spongilidae				
<i>Eunapius fragilis</i>				x
<i>Spongilla lacustris</i>				x
Turbellaria				
<i>Plagiostomum lemanii</i>		x	-	-
<i>Dugesia gonocephala</i>		x	-	-
<i>Dugesia tigrina</i>		x	-	x
<i>Dugesia lugubris/polychroa</i>		-	x	x
<i>Polycelis spec.</i>		x	-	-
<i>Planaria torva</i>		x	-	-
<i>Dendrocoelum lacteum</i>		x	-	x
Oligochaeta				
<i>Stylodrilus heringianus</i>		x	-	-
Lumbriculidae				
<i>Haplotaxis spec.</i>		x	-	<i>gordiodes</i>
Tubificidae				
<i>Criodrilus lacuum</i>		-	-	x
Naididae				
<i>Stylaria lacustris</i>		x	-	<i>spec.</i>
Lumbricidae				
<i>Eiseniella tetraedra</i>		x	x	x
Enchytraeidae				
<i>Enchytraea spec.</i>		x	-	-
Hirudinea				
<i>Piscicola geometra</i>		x	-	-
<i>Dina lineata</i>		-	-	x
<i>Erpobdella octoculata</i>		x	x	x
<i>Helobdella stagnalis</i>		-	x	x
<i>Glossiphonia complanata</i>		x	-	x
<i>Glossiphonia spec.</i>		x	-	-
<i>Haemopsis sanguisuga</i>		-	-	x

Tab. A 5.6: (Fortsetzung)

Rhein - km	166,5-166,7	166,9	167,1	166-172
Zeitraum	Sommer 87	XII 86-XI 87	I-X 90	XI 86-X 87
Autoren/Arbeitsgruppe	CASPERS ¹	EAWAG ²	Vorl. Arb. ³	BFG ⁴
Taxa	(nur Insecta)			
Nematoda		x	-	x
Mollusca				
Gastropoda				
<i>Theodoxus fluviatilis</i>	x		x	x
<i>Bithynia spec.</i>	x		-	-
<i>Bithynia tentaculata</i>	x		x	x
<i>Ancylus fluviatilis</i>	x		x	x
<i>Anisus contortus</i>	x		-	-
<i>Acroloxus lacustris</i>	-		-	x
<i>Radix peregra</i>	-		-	x
<i>Physa fontinalis</i>	-		-	x
<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	-		-	x
Bivalvia				
<i>Dreissena polymorpha</i>	x		-	x
<i>Sphaerium corneum</i>	x		-	x
<i>Pisidium spec.</i>	x		-	x
Crustacea				
<i>Asellus aquaticus</i>	x		x	x
<i>Gammarus pulex</i>	x		x	x
<i>Gammarus fossarum</i>	-		x	x
<i>Gammarus roeselii</i>	-		x	-
Heteroptera				
<i>Aphelocheirus aestivalis</i>	x		x	x

Tab. A 5.6: (Fortsetzung)

Rhein - km	166,5-166,7	166,9	167,1	166-172
Zeitraum	Sommer 87	XII 86-XI 87	I-X 90	XI 86-X 87
Autoren/Arbeit sgruppe	CASPERS ¹	EAWAG ²	Vorl. Arb. ³	BfG ⁴
Taxa	(nur Insecta)			
Ephemeroptera				
<i>Baetis spec.</i>	x	x	x	x
<i>Caenis spec.</i>	-	x	-	<i>luctuosa</i>
<i>Paraleptophlebia submarginata</i>	-	x	-	x
<i>Habroleptoides spec.</i>	-	x	-	-
<i>Habrophlebia spec.</i>	-	x	-	-
<i>Heptagenia sulphurea</i>	x	x	x	x
<i>Ecdyonurus spec.</i>	<i>dispar</i>	x	-	-
<i>Rhithrogena semicolorata</i>	-	-	-	x
<i>Epeorus sylvicola</i>	-	x	-	-
<i>Potamanthus luteus</i>	x	x	x	x
<i>Ephemerella ignita</i>	x	x	x	x
Plecoptera				
<i>Nemourella spec.</i>		x	-	-
<i>Nemoura spec.</i>		-	-	-
Leuctridae		-	x	<i>Leuctra</i>
<i>Chloroperla spec.</i>		x	-	-
<i>Perlodes dispar</i>		-	-	x
Diptera				
<i>Dicranota spec.</i>		x	-	-
<i>Antocha spec.</i>		x	-	-
Limoniidae		x	-	-
Simuliidae		x	x	x
<i>Simulium erythrocephalum</i>			-	x
<i>Simulium galeratum</i>			-	x
<i>Simulium (Wilhelmia)lineatum</i>			x	x
Chironomidae	x	x	x	x
Tanypodinae				
<i>Rheopelopia ornata</i>	x			
Orthoclaadiinae				
<i>Briilia longifurca</i>	x			
<i>Cardiocladius fuscus</i>	x			
<i>Cricotopus annulator</i>	x			
<i>Cricotopus bicinctus</i>	x			

Tab. A 5.6: (Fortsetzung)

Rhein - km	166,5-166,7	166,9	167,1	166-172
Zeitraum	Sommer 87	XII 86-XI 87	I-X 90	XI 86-X 87
Autoren/Arbeit sgruppe	CASPERS ¹	EAWAG ²	Vorl. Arb. ³	BfG ⁴
Taxa	(nur Insecta)			
<i>Cricotopus triannulatus</i>	x			
<i>Cricotopus trifascia</i>	x			
<i>Cricoptous intersectus</i>	x			
<i>Eukiefferiella brevicar</i>	x			
<i>Eukiefferiella claripennis</i>	x			
<i>Eukiefferiella devonica</i>	x			
<i>Orthocladius fuscimanus</i>	x			
<i>Orthocladius rivicola</i>	x			
<i>Orthocladius oblidens</i>	x			
<i>Paratrichocladius rufiventris</i>	x			
<i>Rheocricotopus chalybeatus</i>	x			
<i>Synorthocladius semivirens</i>	x			
<i>Tvetenia calvescens</i>	x			
<i>Tvetenia discoloripes</i>	x			
Chrionomini				
<i>Cryptochironomus spec.</i>	x			
<i>Dictrotendipes nervosus</i>	x			
<i>Microtendipes pedellus</i>	x			
<i>Parachironomus frequens</i>	x			
<i>Paracladopelma mikiana</i>	x			
<i>Polypedilum acifer</i>	x			
<i>Polypedilum cultellatum</i>	x			
<i>Polypedilum laetum</i>	x			
<i>Polypedilum pedestre</i>	x			
<i>Polypedilum scalaenum</i>	x			
<i>Xenochironomus xenolabis</i>	x			
Tanytarsini				
<i>Micropscetra atrofasciata</i>	x			
<i>Neozavrelia fuldensis</i>	x			
<i>Paratanytarsus confusus</i>	x			
<i>Rheotanytarsus photophilus</i>	x			
<i>Rheotanytarsus rhenanus</i>	x			
<i>Tanytarsus pallidicronis</i>	x			
<i>Tanytarsus usmaensis</i>	x			
Ceratopogonidae		x	-	x
Straiomyidae		x	-	-
Empedidae		x	-	x
<i>Hemerodromia spec.</i>		x	-	-

Tab. A 5.6: (Fortsetzung)

Rhein - km	166,5-166,7	166,9	167,1	166-172
Zeitraum	Sommer 87	XII 86-XI 87	I-X 90	XI 86-X 87
Autoren/Arbeitsgruppe	CASPERS ¹	EAWAG ²	Vorl. Arb. ³	BFG ⁴
Taxa	(nur Insecta)			
Trichoptera				
<i>Rhyacophila spec.</i>	-	x	-	x
<i>Cheumatopsyche lepida</i>	x	-	x	x
<i>Hydropsyche spec.</i>		x	x	x
<i>Hydropsyche contubernalis</i>	x		x	x
<i>Hydropsyche pellucidula</i>	x		x	x
Ecnomidae				
<i>Ecnomus tenellus</i>	-	-	-	x
Polycentropodidae				
<i>Polycentropus flavomaculatus</i>	-	x	x	-
<i>Psychomyia pusilla</i>	x	x	x	x
<i>Tinodes spec.</i>	-	-	-	x
Leptoceridae				
<i>Athripsodes annulicornis</i>	-	x		
<i>Athripsodes spec.</i>	-	-	x	
<i>Ceraclea spec.</i>		-	-	x
<i>Ceraclea alboguttata</i>	x	-	-	
<i>Ceraclea dissimilis</i>	x			
<i>Mystacides spec.</i>	-	-	x	
<i>Oecetis spec.</i>	-	-	-	x
<i>Adieclla spec.</i>	-	x	-	
<i>Odontocerum albicorne</i>	-	x	-	x
<i>Lepidostoma hirtum</i>	x	x	x	x
Neuroptera				
<i>Sisyra spec.</i>		-	-	x
Coleoptera				
Dryopidae				
<i>Elmis spec.</i>		x	x	x
<i>Limnius spec.</i>		x	x	x
<i>Stenelmis spec.</i>		x	-	-
<i>Esolus spec.</i>		x	-	-
Gyrinidae				
<i>Orectochilus spec.</i>		x	-	x
<i>Oulimnius spec.</i>		-	-	x
Hydrphilidae				
<i>Haliplidae</i>		x	-	-

¹ CASPERS (1990)² STÖSSEL (1990); EAWAG (1987, 1988)³ Vorliegende Arbeit - Tauchproben⁴ TITIZER, SCHÖLL & SCHLEUTER (1990)