

Biologische Veränderungen im Rhein – Ergebnisse des Trendbiomonitoring 1995-2002



Biologische Veränderungen im Rhein – Ergebnisse des Trendbiomonitoring 1995-2002



Herausgegeben von der
Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg

Karlsruhe 2004

IMPRESSUM

- Herausgeber** Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
D-76157 Karlsruhe, Postfach 21 07 52
<http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de>
- Bearbeitung** Bericht
Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Referat 23 Biologische Umweltbeobachtung
Dr. Michael Marten
- Chemische Messdaten
Referat 41 Fließgewässer (SG 41.3)
- Biologische Messdaten
Dr. Rainer Brinkmann ((BAL, Suhlendorf)
Brigitte Fabel (BAL, Suhlendorf)
Dipl. Biol. Folker Fischer (ehem. Uni Marburg)
Dipl. Biol. Matthias Gorka (BfGÖ, Karlsruhe)
Dipl. Biol. Werner Hackbarth (BfGÖ, Karlsruhe)
Dr. Michael Marten (LfU Baden-Württemberg)
Dr. Claus-Joachim Otto ((BAL, Suhlendorf)
Dr. Herbert Reusch (BAL, Suhlendorf)
Dipl. Biol. Peter Roos (BfGÖ, Karlsruhe)
Dr. Stephan Speth ((BAL, Suhlendorf)
- Nachbestimmung kritischer Arten durch:
Prof. Dr. Hans-Wilhelm Bohle (Marburg, Trichoptera)
Dipl. Biol. Clemens Grosser (Leipzig, Hirudinea)
Dr. Arne Haybach (Koblenz, Ephemeroptera)
Prof. Dr. Hans Malicky (Lunz, Trichoptera)
Dr. Claus Meier-Brook (Tübingen, Mollusca)
Dr. Hasko Neseman (Wien, Hirudinea)
Dipl. Biol. Wolfgang Pankow (Waldshut, Coleoptera)
Dipl. Ing. Armin Weinzierl (Landshut, Trichoptera)
- Titelbild** Imago von *Besdolus imhoffi*, eine im Rhein ausgestorbene Steinfliegenart
(M. Marten)
- Fotos** Dipl. Biol. Matthias Gorka (BfGÖ, Karlsruhe)
Dipl. Biol. Werner Hackbarth (BfGÖ, Karlsruhe)
Dr. Michael Marten (LfU Baden-Württemberg)
Dipl. Biol. Peter Roos (BfGÖ, Karlsruhe)
- Druck** Schnelldruck, LfU Karlsruhe
- Umwelthinweis** gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier
- Bezug** Bibliothek der LfU Karlsruhe

Nachdruck - auch auszugsweise - nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

Karlsruhe, Juli 2004

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	1
2. Einleitung und Auftrag	3
3. Untersuchungsgebiet und Probestellen	5
4. Methoden	8
4.1 Untersuchungsstrategie.....	8
4.2 Biologische Erhebung, Bearbeitung und Auswertung des Materials.....	8
5. Ergebnisse	10
5.1 Gewässermorphologische Charakterisierung der Probestellen.....	10
5.2 Die stoffliche Belastung des Rheins im Verlauf der letzten Jahrzehnte.....	12
5.3 Die Gewässergüteentwicklung im Hoch- und Oberrhein.....	14
5.4 Ergebnisse der biologischen Erhebungen.....	17
5.4.1 Methodische Grundlagen.....	17
5.4.2 Die Makrozoobenthosfauna des Hoch- und Oberrheins – Artenlisten...	19
5.4.3 Summarischer Vergleich der Besiedlung im zeitlichen Verlauf	28
5.4.4 Einwanderung und Ausbreitung von Neozoen in Konkurrenz zur einheimischen Fauna.....	31
5.4.5 Wiederauftreten von Gütezeigern.....	38
5.4.6 Seltene, gefährdete, so genannte Rote-Liste-Arten.....	38
5.4.7 Vergleich der Diversität der Fauna des Rheins mit der anderer Fließgewässer Baden-Württembergs.....	40
6. Schlussfolgerungen und Ausblick	41
7. Literatur	43

1. Zusammenfassung

Der Rhein ist eines der anthropogen am meisten beeinflussten Ökosysteme Europas. Von je her ist der Rhein aber auch Lebensraum für unzählige Mikroorganismen sowie für höhere Tiere und Pflanzen.

In Baden-Württemberg hat die LfU unmittelbar nach dem Sandoz-Unfall bis 1989 eine intensive biozönotische Überwachung wirbelloser Tiere (Makrozoobenthos) im Rhein durchgeführt, um die Wiederbesiedlung nach der Beeinträchtigung durch die Sandoz-Giftwelle zu verfolgen. Seit 1995 wird die Überwachung der Fließgewässer-Biozönose landesweit an bedeutenden Gewässern mit dem Teilprogramm Trendbiomonitoring gemäß dem "Vorgehenskonzept zur Überwachung der Fließgewässerbeschaffenheit in Baden-Württemberg" durch die LfU gewährleistet. Seither wurde umfangreiches Datenmaterial gesammelt, dessen Vergleich auch mit älteren Daten vom Beginn des letzten Jahrhunderts und weiteren Erhebungen der LfU die bisherige faunistische Entwicklung im Rhein dokumentiert.

Insgesamt wurden bisher im gesamten Rhein 584 verschiedene Arten des Makrozoobenthos aufgefunden. Durch die Untersuchungen der LfU wurden seit 1987 in Hoch- und Oberrhein 443 Arten nachgewiesen. Die Zahl der im Rhein insgesamt nachgewiesenen Arten ist bei den Zweiflüglern (158) am höchsten, gefolgt von den Köcherfliegen (117), Eintagsfliegen (57), Weichtieren (49) und Käfern (37). Mit 27 Arten vergleichsweise artenreich ist auch die Gruppe der Makrocrustacea (größere Krebse). Mit seit 1987 nur noch 11 Arten der Steinfliegen ist diese sauberes Wasser bevorzugende Tiergruppe für einen Fluss dieser Dimension als Einzige sehr schwach vertreten. Die hohe Artenvielfalt der Weichtiere und Krebse im Rhein ist auf zahlreiche zugewanderte Arten (Neozoa) zurückzuführen.

Im zeitlichen Verlauf betrachtet weist der Rhein heute wieder eine hohe biologische Vielfalt auf, höher als zu Beginn des letzten Jahrhunderts bekannt. Dagegen war die Artenvielfalt im Rhein in den fünfziger bis siebziger Jahren auf einem Tiefpunkt angekommen. Die Artenzahl lässt aber nur bedingt den Rückschluss auf eine Erholung der Lebensgemeinschaft aufgrund wieder hergestellter guter Lebensbedingungen zu, da heute ökologisch anspruchsvollere (standorttypische) Arten durch ökologisch anspruchslosere Neozoen und andere Arten ersetzt sind.

Die Ähnlichkeit zwischen den faunistischen Befunden im zeitlichen Ablauf ist eher gering. Bereits nach den Befunden von 1987-1989 sind 34 % der Arten ausschließlich vom Beginn des 20. Jahrhunderts bekannt. 40 % dieser Arten wurden erst im Zuge dieser Untersuchungsperiode festgestellt. Lediglich 26 % der Arten waren beiden Untersuchungen gemeinsam. Der Vergleich der historischen Befunde mit den Ergebnissen der nachfolgenden Untersuchungsperiode zeigt einen zunehmenden Anteil von Arten, die erstmalig nachgewiesen wurden.

Durch die vorliegende Untersuchung konnten auch viele seltene und bedrohte Tierarten im und am Rhein nachgewiesen werden. 20 % der gegenwärtigen Makrozoobenthosfauna des Rheins ist, beurteilt nach den drei wichtigen Tiergruppen Steinfliegen, Eintagsfliegen und Köcherfliegen und nach der Roten Liste, sind als mindestens 'gefährdet' eingestuft. Die Köcherfliege *Ceraclea aurea* galt bisher als in Deutschland ausgestorben; die Eintagsfliege *Caenis pusilla* und die Köcherfliege *Allogamus ligonifer* werden in der Schutzkategorie 1 - vom Aussterben bedroht - geführt. Regelmäßige Nachuntersuchungen müssen die weitere Entwicklung und den künftigen Schutzstatus dieser Arten belegen.

Die beschriebenen großen Veränderungen der Tierartenzusammensetzung im Rhein im Laufe des letzten Jahrhunderts werden durch das zur Zeit übliche Gewässergüte-Beurteilungssystem, das im wesentlichen die Auswirkungen der organischen Belastung auf die Sauerstoffverhältnisse beschreibt, nicht dargestellt. Die generelle Beurteilung der Gewässergüte des Rheins fällt sowohl zu Beginn des Jahrhunderts als auch derzeit mit β -mesosaprob (Gewässergütekategorie II) gleich aus. Das Auftreten von Arten wie *Baetis muticus*, *Heptagenia flava*, *Ephoron virgo*, *Ephemera vulgata*, *Limnius perrisi* und *Macronychus quadrituberculatus* bestätigen aber die tendenziell zunehmend bessere Wasserqualität zum Ausgang des 20. Jahrhunderts. Dem entsprechen auch die Ergebnisse der chemischen Trenduntersuchungen der LfU. Viele Arten, die gute Wasserqualität bevorzugen, sind aus Refugien, z. B. in ungestörten Nebengewässern, in den Hauptstrom zurückgekehrt. Aber auch die Invasion von Neozoa ist nach wie vor in vollem Gange.

Insbesondere infolge der sich derzeit abzeichnenden Klimaänderung ist mit dem weiteren Einwandern Wärme liebender Arten zu Lasten der Bewohner sommerkalter Fließgewässer zu rechnen. Die Beurteilung, inwieweit dadurch die Funktionalität des Ökosystems Fließgewässer nachhaltig beeinträchtigt wird, muss der Auswertung der Ergebnisse weiterer Untersuchungsjahre vorbehalten bleiben. Im Strategiepapier der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser wird aus einer Reihe vorgestellter und bewerteter Untersuchungsmethoden ein intensives Trendmonitoring des Makrozoobenthos als effektivste und praktikabelste Methode zum Monitoring von meist schleichend eintretenden Langzeiteffekten der Verunreinigung oder sonstigen Einflüssen auf die Gewässer empfohlen (LAWA 2000).

2. Einleitung und Auftrag

Der Rhein ist bei einer Länge von 1320 km Europas wasserwirtschaftlich wichtigster Strom. Er ist Trinkwasserlieferant für nahezu 20 Millionen Menschen und gleichzeitig Vorfluter für kommunale und industrielle Abwässer. Als Transportweg für über 180 Millionen Tonnen Güter im Jahr wird der Rhein ebenso genutzt wie zur Energiegewinnung und als Kühlwasserreservoir für Kraftwerke. Von je her ist der Rhein aber auch Lebensraum für unzählige Mikro- und Makroorganismen sowie für höhere Tiere und Pflanzen.

Der Oberrhein ist eines der anthropogen am meisten beeinflussten Ökosysteme Europas. Bereits zwischen 1817 und 1879 wurde der Verlauf des Rheins entsprechend den Plänen von J. G. Tulla stark verändert, der Fluss in seiner Ausdehnungsmöglichkeit in der Aue erheblich eingeeignet. In den folgenden Dekaden wurde der Strom in weiten Abschnitten durch verschiedene zusätzliche wasserbauliche Maßnahmen weiter begradigt, kanalisiert und gestaut. Die Zunahme der mittleren Strömungsgeschwindigkeit und eine dadurch induzierte Sohleeintiefung sowie die Reduzierung der Strömung im Bereich der Stauwasser oberhalb der neu geschaffenen Wehranlagen waren die Konsequenzen. Ziele dieser Maßnahmen waren Verbesserung der Hochwassersteuerung, Erzeugung der hydroelektrischen Energie und Verbesserung der Schiffbarkeit. Alle diese verschiedenen Nutzungen bedeuten tief greifende Eingriffe in den Naturhaushalt des Ökosystems Rhein, mit der Folge der Veränderung der Lebensgemeinschaft und der fast komplett verloren gegangenen ursprünglichen ökologischen Funktion der Flussaue.

Die leicht abbaubare organische Belastung aus häuslichen Abwässern und die Verunreinigungen mit verschiedenen anorganischen und organischen chemischen Stoffen aus industriellen Abwässern nahmen im Laufe des letzten Jahrhunderts, insbesondere während der fünfziger und sechziger Jahre stark zu. Folge dieser Belastungen waren weitere, mehr oder weniger kontinuierliche Veränderungen in der Lebensgemeinschaft des Rheins. Die ökologische Qualität erreichte ihre niedrigste Stufe in den sechziger und siebziger Jahren. Als Folge traten wiederholt Fischsterben im Rhein auf.

Aus der Erfahrung mit der sich verschlechternden Situation im Fluss (Verunreinigung, Überschwemmung, lokale Grundwasser-Absenkung, ökologische Verarmung) erfolgten erhebliche Investitionen in Abwasserreinigungsanlagen am Rhein und seinem Einzugsgebiet. Renaturierungsbemühungen für den Fluss und seine Aue wurden im Rahmen des Integrierten Rheinprogramms seit 1988 fokussiert.

Gewässergüte und Vielfalt von Fischen und wirbellosen Tieren hatten sich seither sichtbar verbessert. Die eingetretene positive Entwicklung erlitt jedoch im November 1986 einen schweren Rückschlag. Bei der Brandkatastrophe in einer Chemikalienlagerhalle der Schweizer Firma Sandoz bei Basel gelangten mit dem Löschwasser große Mengen verschiedener Insektenvertilgungsmittel in den Rhein. Nach zehn Tagen erreichte das vergiftete Wasser die holländische Grenze und nach ca. zwei Wochen war die gelöste Fraktion dieser Gifte in die

Nordsee gelangt. Besonders das Makrozoobenthos, d. h. die mit bloßem Auge sichtbaren wirbellosen Tiere wie Schnecken, Krebse und Insekten, aber auch Fische wurden erheblich in Mitleidenschaft gezogen (BRAUKMANN et al. 1987). Nach der 'Sandoz-Katastrophe' wurden noch weitere kleinere Gifteinleitungen in den Rhein bekannt.

Beauftragung der biologischen Intensivüberwachung des Rheins

Infolge dieser Ereignisse wurden verschiedene Gewässerschutzmaßnahmen seitens der Industrie und der Kommunen ergriffen sowie die chemische und biologische Gewässerüberwachung intensiviert (VOBIS 1996). Es wurde ein Aktionsprogramm Rhein - "LACHS 2000" – beschlossen, mit dem Ziel, "das Ökosystem Rhein in einen Zustand zu versetzen, bei dem heute verschwundene aber früher vorhandene höhere Arten (z. B. der Lachs) im Rhein wieder heimisch werden können". Um dem Wunsch der Umweltminister der Rheinanliegerstaaten nach einer zeitlich lückenlosen biologischen Überwachung des Rheins nachzukommen und zur Kontrolle der kurzfristig ergriffenen Maßnahmen zur Verbesserung des Ökosystems Rhein wurde in der Folgezeit die biologische Überwachung des Rheins intensiviert. Neben der am die Messstation gebundenen biologischen Störfallüberwachung mit Hilfe kontinuierlicher Biotestverfahren (Algentest, Wasserflohtest, Fischttest) wurden im Rhein biologische Inspektionen der Lebensgemeinschaft durchgeführt. Die Überwachungsmaßnahmen entsprechen den Empfehlungen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser zum Aufzeigen kurzfristiger Störfall bedingter und langfristiger schleichender Belastungen (LAWA 1996 und LAWA 2000).

In Baden-Württemberg erfolgte durch die LfU im Auftrag des Umweltministeriums bereits unmittelbar nach dem Sandoz-Unfall zwischen 1987 und 1989 eine regelmäßige (monatliche) und intensive biozönotische Überwachung des Makrozoobenthos im Rhein, zunächst um die Wiederbesiedlung zu verfolgen (MARTEN, THEEG & VOBIS 1990, MARTEN 1990, MARTEN 1994b). Seit 1995 wird die Überwachung der Biozönose auch des Rheins an einer begrenzten Auswahl von Untersuchungsstellen im größeren, vierteljährlichen Turnus im Rahmen eines landesweiten Messnetzes gewährleistet (Trendbiomonitoring, MARTEN 1994a, 1996a, 1997). Seither konnte umfangreiches Datenmaterial gesammelt werden, dessen Vergleich mit Daten aus dem "Sandoz-Projekt" (MARTEN, THEEG & VOBIS 1990) und mit älteren Daten vom Beginn des letzten Jahrhunderts (NEERACHER 1910, LAUTERBORN 1917 und FELBER und LININGER in CASPERS 1980) die bisherige faunistische Entwicklung im Rhein dokumentiert. Zum Vergleich herangezogen wurden auch die Untersuchungsergebnisse der Bundesanstalt für Gewässerkunde aus der Sandoz-Nachuntersuchungsperiode (TITTIZER & SCHÖLL 1988 in TITTIZER & KREBS 1996). Weiterhin berücksichtigt werden die Ergebnisse der – am Hoch- und Oberrhein von der LfU veranlassten – Erhebungen, die seit 1990 im fünfjährigen Turnus an einem dichten Probestellennetz am gesamten Rhein im Auftrag der Internationalen Kommission zum Schutze des Rheins durchgeführt werden (IKSR 1996, SCHÖLL 2002). Auf die Neu-

Einwanderung von Arten in den Rhein (Neozoen) nehmen auch die Arbeiten von REY et al. (2000) und TITTIZER et al. (2000) Bezug.

3. Untersuchungsgebiet und Probestellen

Der Oberrhein hat nach dem Ausbau durch Tulla und weiteren gravierenden Veränderungen, vor allem durch Errichtung von insgesamt 10 Staustufen zur Wasserkraftnutzung in den Jahren 1928-1977, das Erscheinungsbild eines schnell fließenden Kanals, unterbrochen durch große Staubereiche mit Flussee-Charakter.



Abb. 1: XX102,5 - Hochrhein bei Waldshut - rechtes Ufer im fließenden Abschnitt.

Begleitend zum teilweise in neuem Bett angelegten Rheinkanal finden sich parallel verschiedene Strecken des alten Mutterbettes, so genannte Restrheinstrecken, die von erheblich weniger Wasser durchflossen werden und in Bereichen von Senken zu

Niedrigwasserzeiten stagnierenden Charakter aufweisen (BEEGER 1990). Hydrologisch ist der Oberrhein durch das alpine Einzugsgebiet des Alpen- und Hochrheins geprägt, d. h. durch niedrigen mittleren Wasserstand in den Wintermonaten und hohen mittleren Wasserstand in den Sommermonaten gekennzeichnet. Diese Wasserstandsdynamik wirkt sich nur gedämpft auf die Restrheinstrecken aus (20 m³/s von Dezember bis Februar und 30 m³/s von März bis November). Die Kraftwerksskanäle des Rheins nehmen Abflüsse bis zu 1400 m³/s auf (vertraglich geregelte Abnahmemenge der Kraftwerksbetreiber). Hochwässer werden oberhalb dieser Marke unregelmäßig über die Restrheinstrecken geleitet. Das dadurch seltenere Ausspülen des Flussbettes der Restrheinstrecken führt zu einer stärkeren Verschlammung.

Der erste große Restrhein zwischen Markt und Breisach ist gekennzeichnet durch kiesige, weitgehend unverbaute Ufer. Aufgrund des flachen Profils wird der Restrhein auf der ganzen Breite überwiegend gut durchströmt.



Abb. 2: XX174,0 - Restrhein bei Markt – Blick in Fließrichtung (links) und typisches Solesubstrat (oben).

Im gesamten Verlauf sind jedoch in tieferen Abschnitten, zwischen alten Bühnenanlagen und in seitlichen Auskolkungen, auch ausgeprägte lenitische Habitate vorhanden. An den weiter flussabwärts liegenden kürzeren Restrheinschlingen wirken sich die Einflüsse der den Wasserabfluss regelnden Kulturwehre in Form von weitläufigem Aufstau aus. Infolge der Staubedingungen ist das aus Steinschüttungen auf Kies bestehende Substrat oberhalb der Wehre mit reichlich Schlammablagerungen angereichert.

Abb. 3 : Schlammablagerungen in der Staustufe Kehl mit Kriechspur der Teichmuschel, sichtbar nach Ablassen des Wassers zwecks Reparatur des Kulturwehres Kehl.



Unterhalb der Wehre an den dazwischen liegenden Vollrheinstrecken überwiegen zwischen alten Bühnenanlagen Kiesufer. Der Vollrhein insbesondere unterhalb von Iffezheim bis Karlsruhe und Mannheim

weist Strömungsgeschwindigkeiten von über 1 m/s in der Strommitte, bei mittlerem bis niedrigem Wasserstand aber auch gering durchströmte bis strömungsfreie Bezirke im Bereich der Bühnenfelder auf. Die Ufer dort sind mit geschütteten oder gesetzten Blocksteinen hart verbaut.



Abb. 4: XX361,5 - Rhein bei Maxau – rechtes Ufer (Bild links, Blick stromauf) und Substrat am Ufer (unten).



Aufgrund der in diesem Abschnitt besonders hohen Strömungsgeschwindigkeit in der Strommitte ist das aus Kieselsteinen mit 3 bis 15 cm Durchmesser bestehende Sohlsubstrat ständig in stromabwärts gerichteter Umlagerung begriffen und wird mit Hilfe von Kiesverklappungsschiffen unterhalb der Staustufe Iffezheim regelmäßig nachgeliefert.



Abb. 5: Kiesverklappung auf dem Rhein.

Sechs der acht Probestellen am Rhein liegen am Oberrhein zwischen Basel und Mannheim: km 174,0 Restrhein bei Märkt; km 198,8 Restrhein bei Neuenburg; km 272,5 Restrhein bei Ottenheim; km 318,8 Rhein bei Grauelsbaum;

km 361,5 Rhein bei Karlsruhe; km 435,7 Rhein bei Kirschgartshausen. Sie sind mit den zwischen 1987 und 1989 im Rahmen des 'Sandozprojektes' (MARTEN, THEEG & VOBIS 1990) beprobten Stellen identisch. Zwei zusätzliche Probestellen liegen am Hochrhein zwischen dem Bodensee und Basel (km 035,5 Hochrhein unterhalb von Gailingen und km 102,5 Hochrhein bei Waldshut) (Abb. 6).

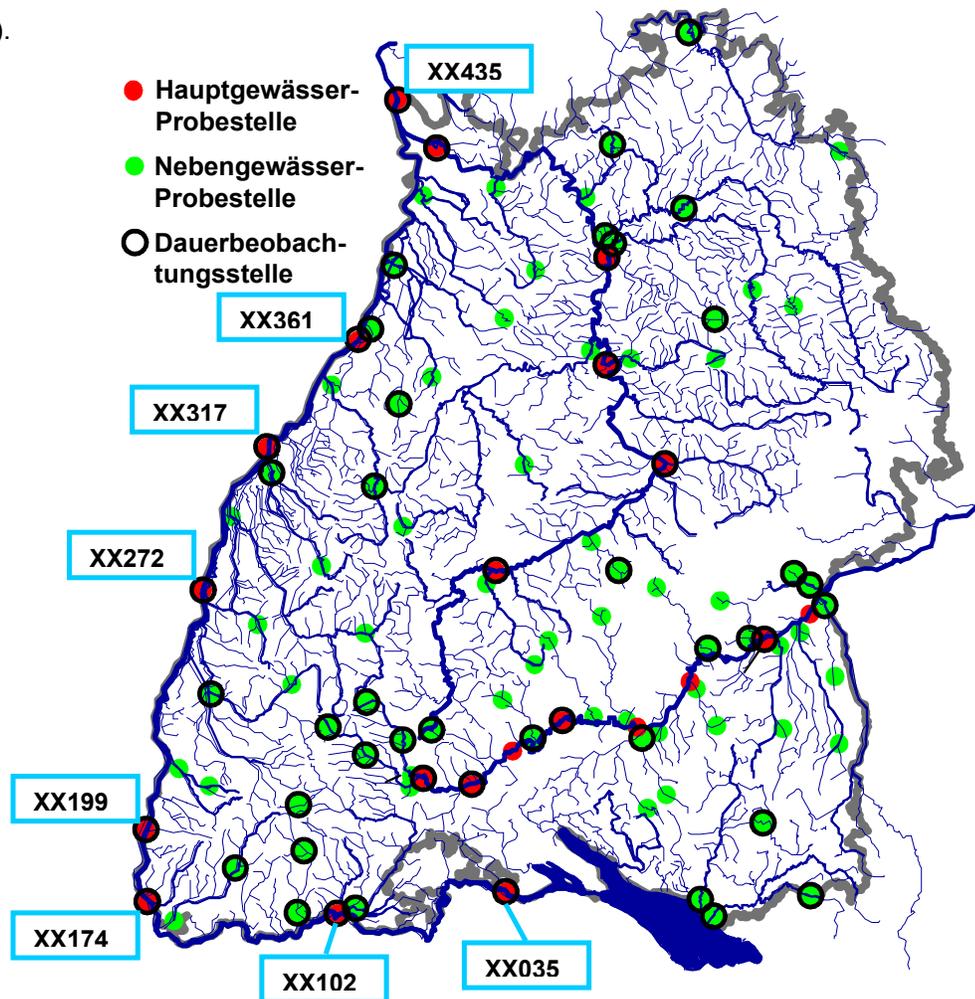


Abb. 6: Karte vom Untersuchungsgebiet mit Probestellen des biozönotischen Trendmonitoring; mit Nummern versehen, die Untersuchungsstellen am Rhein.

4. Methoden

4.1 Untersuchungsstrategie

In Baden-Württemberg wird seit 1995 mit regelmäßigen biologisch-biozönotischen Untersuchungen das Makrozoobenthos (Tiergruppen wie Libellen, Eintagsfliegen, Wasserkäfer, Krebstiere, Schnecken, Würmer) landesweit im Rahmen des sog. Trendbiomonitoring überwacht. Im Vordergrund steht dabei die zunächst wertfreie Erhebung des Arteninventars zur Beschreibung biozönotischer Veränderungen im mittelfristigen zeitlichen Entwicklungsverlauf der Fließgewässer. Die Untersuchungen dienen primär der ökologischen Beweissicherung für Auswirkungen schleichender und daher erst längerfristig im Trend wahrnehmbarer Umweltveränderungen infolge diffuser Belastungen, z. B. atmogener Natur oder klimatische Veränderungen. Die Untersuchungsstellen am Rhein sind Dauerbeobachtungsstellen und wurden wie die übrigen Dauerbeobachtungsstellen an weiteren bedeutenden Gewässern in Baden-Württemberg eingerichtet, um generell die erforderliche Datengrundlage für die Ermittlung langfristiger Trends in der Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft zu schaffen (gemäß LAWA 2000).

Mit den Untersuchungen werden zusätzlich die Referenzdaten zur unmittelbaren ökologischen Wirkungskontrolle bei Stoßbelastungen (Havarien, Warn- und Alarmdienst Rhein der IKSR) generiert. Das Monitoring der Gewässer-Lebensgemeinschaft dient damit sowohl der Bewertung langfristiger Veränderungen unserer Gewässersysteme, als auch der Ereignis bezogenen ökologischen Beweissicherung.

Aufgrund der Erfahrungen der ersten Untersuchungsjahre ist mit einer halbwegs soliden Erfassung des Artenspektrums der Lebensgemeinschaft einer Untersuchungsstelle, d. h. mit 80 - 90 % aller dort vorkommenden Arten bei viermal jährlicher Beprobung frühestens nach drei Jahren zu rechnen (MARTEN 1996, 1997, 1998). Derartige Untersuchungen erhalten ihren Wert daher erst bei Vorliegen längerer Datenreihen.

4.2 Biologische Erhebung, Bearbeitung und Auswertung des Materials

An den acht Probestellen (Abb. 6) wurde das Makrozoobenthos aufgenommen, und zwar unter Berücksichtigung der Saisonalität des Vorkommens durch viermalige Beprobung im Jahresverlauf unter Anwendung der Kicksampling- und Flotationsmethode (HYNES 1961). Zusätzlich wurden verschiedene Substratmaterialien (Steine, Totholz etc.) gezielt von Hand abgesammelt. Die in vielen Fällen einzig die Artbestimmung erlaubenden, terrestrisch lebenden Adulten, wurden durch Beprobung der Uferbereiche (Streifnetzfänge, Handaufsammlung), im gleichen Rhythmus, hinzugezogen. Angesichts der Zielsetzung der Erfassung Artenspektrums wurde halbquantitativ, nach der Zeitsammelmethode (2 Std./ Stelle, 90 Min. aquatischer Bereich, 30 Min. terrestrisch) gesammelt. Bei der Erfassung wurden folgende Tiergruppen des Makrozoobenthos berücksichtigt: Schwämme (Porifera), Strudelwürmer (Turbellaria),

Wenigborster (Oligochaeta), Schnecken und Muscheln (Mollusca, ohne *Pisidium* spp.), Egel (Hirudinea), Krebstiere (Crustacea, nur Amphipoda, Isopoda, Decapoda), Eintagsfliegen (Ephemeroptera), Steinfliegen (Plecoptera), Libellen (Odonata), Wanzen (Heteroptera), Käfer (Coleoptera), Schlammfliegen (Megaloptera), Netzflügler (Neuroptera), Köcherfliegen (Trichoptera), Zweiflügler (Diptera) und Bryozoa. Das aufgesammelte Tiermaterial wurde entsprechend dem Stand der taxonomischen Literatur bis zur Art bestimmt; ausgenommen Oligochaeta und Diptera, die nur grob in dem Maße wie für eine Gewässergüteeinstufung (Saprobienindex nach DIN) erforderlich angesprochen wurden. Alle an der betreffenden Gewässerstrecke vorhandenen Habitate wurden gleichwertig beprobt.

Gemäß der unterschiedlichen Bestimmbarkeit verschiedener Stadien (Adulte besser bestimmbar als Juvenile) enthalten die aufgestellten Roh-Artenlisten oft für ein und dasselbe Taxon Angaben für bis zur Art bestimmte Tiere und für solche, die nur bis zur Gattung oder Familie bestimmbar waren. Für die nachfolgenden Auswertungen wie Artensummenkurven, qualitative Zeitreihenvergleiche und Ähnlichkeitsberechnungen wurden nur die letztlich bis zur Art bestimmten Nachweise berücksichtigt, um Doppelzählungen auszuschließen.

Um Vergleiche von Taxalisten verschiedener Autoren und Zeitepochen durchzuführen, mussten die Listen zuvor auf vergleichbares Bestimmungsniveau gebracht werden. D. h. Arten, die zu früheren Zeiten in den aufgenommenen Stadien (bei Insekten meist Larven) mangels wissenschaftlichem Kenntnisstand (Literatur) nicht bestimmbar waren, zu denen also damals keine Imaginalfunde vorlagen, können auch in den neuen Befundlisten für den Vergleich nicht berücksichtigt werden. Entsprechend war mit Arten zu verfahren, die erst nach den damaligen Erhebungen beschrieben wurden oder für die evident ist, dass die damaligen Untersucher die bereits vorhandene Literatur nicht genutzt haben. Darüber hinaus waren Änderungen der Nomenklatur von Arten sowie des taxonomischen Status (Art/Unterart) zu berücksichtigen. Je nachdem welche Artenlisten miteinander verglichen wurden, resultieren aus diesen Vorbedingungen für den Zeitreihenvergleich an ein und derselben Probestelle unterschiedliche Zahlen "vergleichbarer Arten".

Entsprechend war mit der Angabe von Sammelhäufigkeiten einzelner Arten zu verfahren: Da solche Angaben für die Vergleichsdaten vom Beginn des letzten Jahrhunderts weitgehend fehlen, wurde auch bei den jüngeren Untersuchungen auf die Berücksichtigung der miterfassten Häufigkeiten bei den Ähnlichkeitsanalysen verzichtet. Die Vergleiche konnten nur auf Präsenzniveau durchgeführt werden. Dagegen konnten Häufigkeitsänderungen dominanter Arten, wie z. B. der Neueinwanderer (Neozoen), innerhalb der mit definierter Methodik erstellten letzten Datenreihe (ab 1995) beschrieben werden (s. u.).

5. Ergebnisse

5.1 Gewässermorphologische Charakterisierung der Probestellen

Die Probestellen wurden nach dem Verfahren zur Strukturgütekartierung der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA 2001) bewertet. Das Verfahren verwendet als Maßstab für die Bewertung nicht den ursprünglich natürlichen, sondern den aus heutiger Sicht potenziell natürlichen Gewässerzustand. Es werden folgende Güteklassen unterschieden:

Tab.1: Gewässerstrukturgüteklassen nach LAWA 2001.

Strukturgüteklasse	Grad der Beeinträchtigung	Farbe in der Kartendarstellung
1	unverändert	dunkelblau
2	gering verändert	hellblau
3	mäßig verändert	grün
4	deutlich verändert	hellgrün
5	stark verändert	gelb
6	sehr stark verändert	orange
7	vollständig verändert	rot

Eingeschränkter Anwendungsbereich der Strukturgütekartierung nach LAWA (2001)

Die verwendete Anleitung zur Gewässerstrukturgütekartierung bezieht sich auf kleine und mittelgroße Gewässer bis höchstens 10 m Breite. Die untersuchten Abschnitte am Rhein sind deutlich breiter und entsprechen somit keinem der Gewässertypen (bzw. deren spezifischem Leitbild) für die die Gewässerstrukturgüteanleitung vorgesehen ist. Mit Einschränkungen lässt sich die Anleitung aber dennoch verwenden:

Trotz seiner enormen Breite hat sich der Oberrhein in den letzten 2 Jahrhunderten stark eingetieft. Vor der Tulla'schen Rheinkorrektur war der stark verzweigte Rhein bis Karlsruhe nirgends tiefer als hüfthoch (TÜMMERS, 1999). Der Rhein wird nach der Strukturgüteanleitung immer als flaches Gewässer bewertet. Dies führt wie allgemein bei größeren Flüssen zu einer Aufwertung des Hauptparameters Querprofil und damit des gesamten Bereichs Ufer. Um diesen Fehler zu umgehen, wurden bei der Indexgestützten Bewertung die Einzelparameter Profiltiefe und Breitenerosion (EP 3.2 und 3.3) und bei der Bewertung anhand der funktionalen Einheiten der Einzelparameter Profiltiefe bei der Bewertung der Hauptparameter nicht mit einbezogen.

Zusammenfassende Bewertung der acht Probestellen am Hoch- und Oberrhein

Die untersuchten Probestellen sind wie folgt anhand ihrer Gewässerstruktur zu gruppieren:

Deutlich veränderte Gewässerabschnitte (Strukturklasse 4)

Die Probestelle Restrhein bei Neuenburg (XX198,8) hat von allen untersuchten Stellen die beste Gesamtbewertung in der Gewässerstrukturgüte, ist aber nach LAWA dennoch in die Strukturklasse 4 - deutlich verändert – einzustufen. Die Probestelle weist aber noch naturnahe

typische Merkmale auf, wie hohe Strömungsdiversität, deutlich ausgeprägte Tiefenvarianz sowie besondere Strukturen, wie z. B. Tiefrinnen, Schnellen und Sturzbäume. Das Abflussgeschehen, der Geschiebetransport und die Wasserqualität sind hier jedoch gestört, da diese stark von Bereichen oberhalb des untersuchten Abschnitts beeinflusst werden. Ebenfalls gerade noch zu dieser Klasse zu rechnen ist der Restrhein bei Märkt (XX174,0). Diese Probestelle weist jedoch eine sehr unmittelbare Beeinflussung durch das nahe, gestaute Oberwasser auf.

Stark veränderte Gewässerabschnitte (Strukturklasse 5)

Zur Kategorie mäßig geschädigte Gewässerabschnitte werden die Probestellen Hochrhein bei Waldshut (XX102,5) an der oberen Klassengrenze und der Restrhein bei Ottenheim (XX272,5) an der unteren Klassengrenze gerechnet. Sie weisen vor allem eine für die meisten Gewässerorganismen bedeutsame, noch verhältnismäßig naturnahe Ausprägung der Gewässersohle auf, allerdings macht sich am Restrhein bei Ottenheim bei geringer Wasserführung der Rückstau-Effekt deutlich bemerkbar.

Sehr stark geschädigte Gewässerabschnitte (Strukturklasse 6)

Einige der untersuchten Gewässerabschnitte sind als stark geschädigt oder übermäßig geschädigt einzustufen. Dies sind häufig kanalisierte Abschnitte mit verbautem Ufer, gleichmäßig schnell fließender Strömung und weitgehend fehlenden Stillwasserbereichen, oder aber gleichmäßig geringer Strömung infolge von Aufstau. Zu dieser Kategorie sind drei Probestellen Hochrhein bei Gailingen (XX035,5), Rhein bei Grauelsbaum (XX318,8) und Rhein bei Kirschgartshausen (XX435,7) zu rechnen.

Vollständig veränderte Gewässerabschnitte (Strukturklasse 7)

Am Rhein bei Karlsruhe-Maxau (XX361,5) ist die Gewässerstruktur durch Eingriffe in die Linienführung, durch Bühnenbau und Uferverbau vollständig verändert, wenngleich auch Bühnen und Bühnenfelder beachtliche Ersatzlebensräume für Schnellen und natürliche Stillwasserbereiche darstellen.

Die vorgenommenen Einstufungen können nur bedingt mit den Einstufungen im Gewässergüteatlas der Bundesrepublik Deutschland, Teil Gewässerstruktur (LAWA 2002a) verglichen werden, da die Auflösung der diesem zugrunde liegenden Karte zu gering ist, um hinreichend probestellenscharf Auskunft zu geben. Gemäß der Zuordnung zu den in der Karte der LAWA dargestellten Bewertungen fallen die hier vorgenommenen Bewertungen im Schnitt eher besser aus: XX361,5 und XX102,5 eine Klasse schlechter, XX435,7 gleich, XX318,8 um eine Klasse besser, XX035,5 XX272,5 um zwei Klassen besser und XX174,0 und XX198,8 um drei Klassen besser. Die lokal im Flussverlauf in der Regel sehr variablen Verhältnisse der Lebensraumausprägung sind im großräumigen Maßstab weder erfassbar noch darstellbar. Zur Einschätzung insbesondere der für die Besiedlung relevanten Strukturen, ist die dezidierte

Vorortanalyse unabdingbar. Aber auch diese zeigt, dass an allen acht Probestellen noch Verbesserungsbedarf besteht. Wenngleich die Strukturkarte Rhein der IKS (IKSR 2003) eine räumlich stärker differenzierte Betrachtung darstellt, kann mit diesen Erhebungen noch weniger verglichen werden, da eine andere Klassenabstufung (5 statt 7 Klassen) gewählt wurde.

5.2 Die stoffliche Belastung des Rheins im Verlauf der letzten Jahrzehnte

Die Frachten von abwasserbürtigen Inhaltsstoffen wie Stickstoff- und Phosphorverbindungen sowie von Chlorid sind bis in die 70er (PO_4) und 80er Jahre (NO_3 , Cl) des letzten Jahrhunderts stetig angestiegen (RIJN COMMISSIE WATER LEIDING BEDRIJVEN 1979). Erst in den letzten 20 Jahren ist infolge der zunehmenden Abwasserreinigung die stoffliche Belastung des Rheins generell wieder deutlich zurückgegangen, die Belastung mit Chlorid erst im Zuge der Verringerung der Salzeinleitung aus den elsässischen Kaliminen in den letzten 10 Jahren. Diese Entwicklung lässt sich am Beispiel verschiedener regelmäßig gemessener Parameter der Routinemessungen am Rhein bei Mannheim aufzeigen: Der Gehalt an gelösten organischen Substanzen (DOC) hat in den letzten drei Jahrzehnten deutlich, bis auf ein Drittel der ehemals gemessenen Werte, abgenommen. Die Gehalte liegen derzeit mit durchschnittlich 2 mg/l im Bereich geringer Belastung. Als Folge davon hat sich der Sauerstoffhaushalt bis hin zur Sättigungsgrenze erholt. Ammonium nahm im gleichen Zeitraum auf Werte unterhalb von 0,1 mg/l, d. h. geringe Belastung ab; Nitrat stabilisierte sich bei etwa 2 mg/l im Bereich mäßiger Belastung. Der Phosphorgehalt und die adsorbierbaren organischen Halogenverbindungen (AOX) erreichten im Zuge der Reinigung schnell Werte unterhalb von 0,1 mg/l (Gesamtphosphor) bzw. 15 µg/l (AOX) und sind damit heutzutage auch unkritisch. Die Chloridbelastung des Rheins, vorrangig durch den Eintrag aus den elsässischen Kaliminen ab Rhein-Kilometer 220, hat sich in den letzten Jahren deutlich verringert, ist aber mit über 50 mg/l Chlorid gegenüber dem geogenen Hintergrund immer noch erhöht. Erfreulicherweise gehen auch Gehalte von Stoffen wie den Komplexbildnern EDTA und NTA zurück, die nicht unmittelbar durch die Abwasserreinigung beseitigt werden, deren Rückgang z. T. durch Ersatz mit anderen, wirkgleichen Stoffen erreicht wurde. Alle Messparameter zeigen heute eine nur noch mäßige Belastung oder sogar geringe (DOC, Ammonium) Belastung des Rheinwassers an (Abb. 7, a-h, LfU 2003).

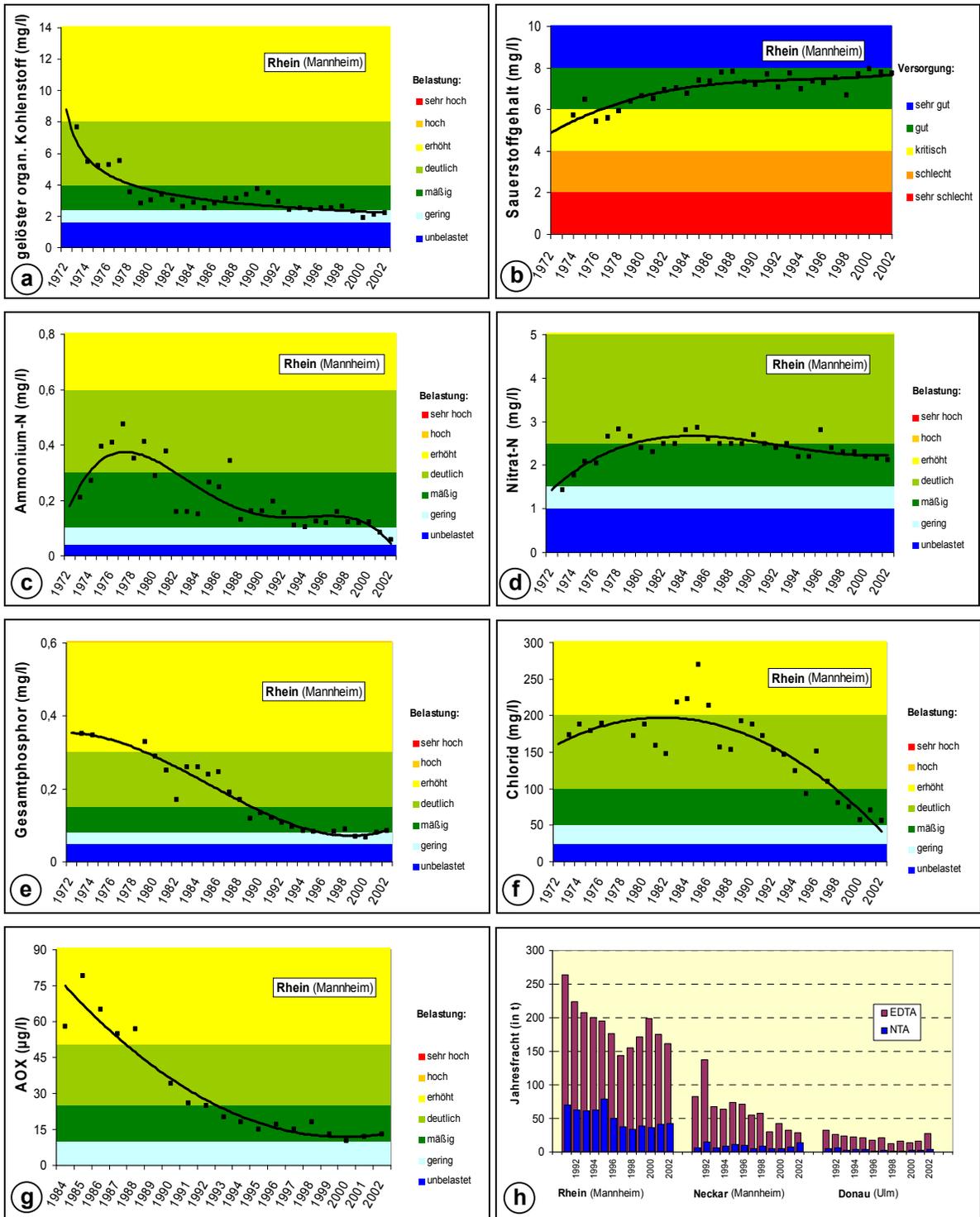


Abb. 7: DOC (a), O₂ (b), NH₄ (c), NO₃ (d), PO₄ (e), Cl (f), AOX (g), EDTA und NTA (h) im Rhein bei Mannheim (LfU 2003).

5.3 Die Gewässergüteentwicklung im Hoch- und Oberrhein

Die Bestimmung der Gewässergüte mit dem Saprobien-System

Schon frühzeitig haben Biologen die infolge starker Abwasserbelastung negativen Veränderungen im Gewässer wie Nährstoffanreicherung, Faulschlamm- und Sauerstoffschwund beschrieben und auf die Auswirkungen dieser Veränderungen auf Pflanzen und Tiere der Gewässer hingewiesen (LAUTERBORN 1901, 1903; KOLKWITZ & MARSSON 1908, 1909, neueste Übersicht in MAUCH 1998). Die ursprünglichen Lebensgemeinschaften der Gewässer werden durch die Belastung zerstört, können sich aber im weiteren Verlauf der Fließstrecke, der sogenannten Selbstreinigungsstrecke, schrittweise wieder erholen. Aufbauend auf diesen Beobachtungen und Erfahrungen wurde das im Grundprinzip heute noch gültige Saprobien-System entwickelt. Das Saprobien-System (von griechisch *sapros* = faul) beschreibt die Abfolge der Organismen, die den Abbau der fäulnisfähigen organischen Belastungsstoffe indizieren, über verschiedene Belastungsstufen. Bedingt durch diese methodische Festlegung auf das Saprobien-System werden mit Hilfe der Gewässergütekarte im Wesentlichen Belastungen mit leicht abbaubaren (fäulnisfähigen) organischen Substanzen beschrieben.

Beim Saprobien-System in seiner neuesten Form (DIN 38410, Teil 2) werden 90 Mikroorganismen (i. d. R. unter 1 mm Größe) und 159 Makrozoobenthos-Arten mit einem spezifischen Indikatorwert zwischen 1 und 4 benannt und zur Indikation vorgeschrieben. Die Zuordnung der Indikatorwerte entspricht dem Vorkommensschwerpunkt in den ursprünglich 4 Gewässergüteklassen: 1 = oligosaprob, gering verunreinigt; 2 = β -mesosaprob, mäßig belastet; 3 = α -mesosaprob, stark verschmutzt; 4 = polysaprob, übermäßig verschmutzt. Indikatorisch für die Beurteilung der organischen Belastung eines Gewässers verwertbar sind alle im Saprobien-System aufgeführten Arten, das sind in der Regel etwa 10 % der tatsächlich im Gewässer lebenden Arten (MARTEN 1996).

Zur kartographischen Wiedergabe der Gewässergüte werden derzeit in Deutschland sieben Stufen unterschieden und als so genannte Gewässergüteklassen in Form farbiger, über die Flussverläufe gelegter Bänder dargestellt (LAWA 2002b). Blaue Gewässerabschnitte kennzeichnen unbelastete bis gering belastete Gewässer (Güteklasse I, I-II), grün sind mäßige bis kritische Belastungen dargestellt (Güteklasse II, II-III) und gelb, orange oder gar rot markierte Abschnitte weisen starke bis übermäßige Verschmutzung auf (Güteklasse III, III-IV, und IV). Die Abgrenzung der Stufen erfolgt aufgrund des biologischen Besiedlungsbildes anhand definierter Saprobienindexbereiche. Die in der Regel parallel gemessenen physiographischen Merkmale und chemischen Belastungsgrößen dienen der weiteren Charakterisierung der Belastungsursachen im praktischen Gewässerschutzvollzug, werden aber nicht gesondert in der Gewässergütekarte dargestellt. Nur in besonders schwerwiegenden Fällen, in denen die saprobiologische Einstufung durch Überlagerung anderer augenfälliger Beeinträchtigungen, wie

Salzbelastung, Versauerung, Toxizität etc. unsicher oder unmöglich ist, werden die entsprechenden Gewässerabschnitte mit einer spezifischen Sondersignatur belegt.

Die Entwicklung der Gewässergüte im Hoch- und Oberrhein

Der Rhein ist durch verschiedenste Einflüsse innerhalb des letzten Jahrhunderts gekennzeichnet. Eine der Hauptverschmutzungsursachen war hier, wie in anderen Flussgebieten, die Verunreinigung mit leicht abbaubaren organischen Substanzen aus häuslichen und industriellen Abwässern.

Die älteste Gewässergütekarte vom Hoch- und Oberrhein, datiert auf das Jahr 1958, weist starke bis sehr starke Verschmutzungen im Bereich von Basel, hinter Straßburg, Karlsruhe und Mannheim aus. Bis in die achtziger Jahre werden beträchtliche Verbesserungen der Wasserqualität angezeigt. Die Karten der letzten Jahre weisen aber nur noch kleine Änderungen der Wasserqualität aus. Heutzutage überwiegen mäßige Wasserbelastungen (Gewässergütekategorie II) im gesamten baden-württembergischen Rheingebiet (Abb. 8).

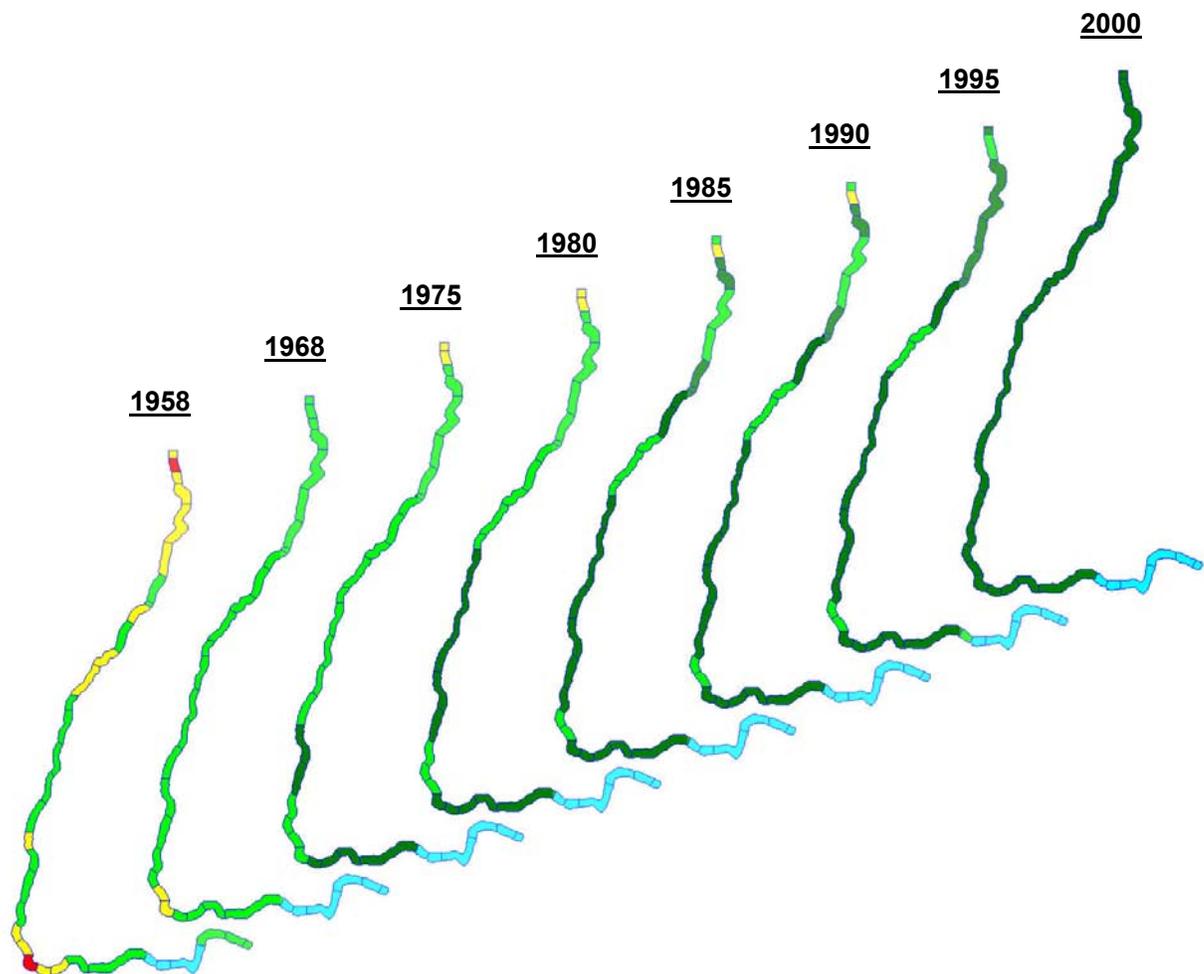


Abb. 8 : Synoptische Darstellung der Gewässergüte im Hoch- und Oberrhein zwischen 1958 und 2000.

Mit fortschreitender Industrialisierung und Technisierung unserer Umwelt sowie mit den ständig gestiegenen Komfortansprüchen der Menschen hat sich das stoffliche Spektrum der Gewässerbelastungen gewandelt. Die Sauerstoff zehrenden Prozesse bei der Zersetzung leicht abbaubarer organischer Substanzen laufen heutzutage bereits in den Kläranlagen ab. Die Abbauprodukte werden z. T. jedoch nach wie vor in großen Mengen als Nährstoffe dem Gewässer zugeführt. Der Anteil der verschmutzten und mit Nährstoffen überbelasteten Küsten- und Mündungsgewässer hat in den letzten Jahren stetig zugenommen und steigt weiter. Neu bzw. vermehrt hinzu kamen seit einigen Jahrzehnten schwer abbaubare organische Substanzen wie chlororganische und schwermetallhaltige Verbindungen aus chemischer Produktion und Haushaltsprodukten sowie als so genannte diffuse Einträge Nährstoffe und Pestizide aus der Landwirtschaft, deren Folgen für die Gewässer bisher nur grob umrissen werden können. Schad- und Nährstoffe aus der Luft tragen als atmogener Eintrag zusätzlich zu Gewässerbelastungen bei. Diese Belastungen können mit dem Saprobien-system nicht oder nur sekundär abgebildet werden, sie können aber auch zur strukturellen Veränderung der Gewässerbiozöten beitragen, kommen somit als steuernde Einflussgrößen für die biozönotischen Veränderungen im Rhein in Frage und beeinflussen damit die Funktionalität des gesamten Ökosystems.

5.4 Ergebnisse der biologischen Erhebungen

5.4.1 Methodische Grundlagen

Die Auswertung biologischer Daten im Hinblick auf Veränderungen von Lebensgemeinschaften und Lebensräumen erfordert eine besondere Sorgfalt und Plausibilitätskontrolle sowohl hinsichtlich der Taxonomie der Untersuchungsobjekte als auch hinsichtlich der Absicherung der Datengrundlage der die Veränderungen oder den Bestand der Lebensgemeinschaft ausweisenden Untersuchungsbefunde. Jede biologische Beprobung in einem ausgewählten Lebensraum, die sich nicht auf rein visuelle Freiland-Beobachtungswerte (wie z. B. Makrophyten-Vegetationsaufnahme, einige Wirbeltierkartierungen) stützt, kann nur eine Stichprobe des Gesamtlebensraumes umfassen, andernfalls würde der Lebensraum bei der Beprobung zerstört, was nicht im Sinne des Untersuchers sein kann. Für den Vergleich der Besiedlung spezifischer Lebensräume über verschiedene Zeitabschnitte, aber auch verschiedener Untersuchungsstellen, ist unerlässlich, die Gewissheit zu haben, dass die entnommenen, dem Vergleich zugrunde liegenden Stichproben, das tatsächlich an dem Untersuchungsabschnitt vorkommende Artenspektrum der Lebensgemeinschaft repräsentieren. Je kleiner die Untersuchungsobjekte sind, desto weniger ist die Repräsentativität der gezogenen Stichprobe im Freiland visuell subjektiv abzuschätzen. Der mit den Stichproben abgedeckte Anteil der Gesamtlebensgemeinschaft ist daher im Zuge der Auswertung zu ermessen und der sich aus dem Vergleich zweier Bestände ergebenden Ähnlichkeit gegenüber zu stellen. Ergibt der Vergleich beider Größen beispielsweise, dass die Lebensgemeinschaft zweier Untersuchungsabschnitte mit den gewonnenen Stichproben nur zu 30 - 40 % erfasst ist, so ergibt es wenig Sinn über Unterschiede in der Lebensgemeinschaft beider Probestellen in der gleichen Größenordnung zu diskutieren. Die Unterschiede zwischen beiden Probestellen können allein aus der mangelhaften Erfassung an den einzelnen Probestellen resultieren.

Ergebnisse faunistischer Untersuchungen werden zunächst in der Regel als Artenliste dargestellt. Hierbei ist die Angabe des Namen des Autors und des Jahres der Erstbeschreibung aus Gründen der Überprüfbarkeit der Datenplausibilität von entscheidender Bedeutung. Die Artenlisten enthalten dann Individuenzahlen der gesammelten Tiere oder häufigkeitsklassierte Abundanzzahlen für die Reihe der Untersuchungstermine einer Stelle oder für den synoptischen Vergleich mehrerer Standorte. Bereits aus solchen Zusammenstellungen geht der Stichprobencharakter der Untersuchungsergebnisse einzelner Beprobungen hervor. Viele der nachgewiesenen Arten werden während zahlreicher Untersuchungen in einer längeren Untersuchungsperiode nur einmal nachgewiesen, andere, dominante Arten sind regelmäßig am Untersuchungsort anzutreffen. Zwischen diesen Extremen gibt es jede denkbare Zwischenstufe. Die Befunde jeder einzelnen Beprobung stellen also nur einen Teil des Gesamtbefundes dar.

Der im Verlauf verschiedener Beprobungen erreichte Sammelerfolg an jeder untersuchten Stelle im Vergleich zu dem tatsächlich vorhandenen Artenspektrum der zu erfassenden Gesamtzönose,

d. h. die Vollständigkeit der Artenerfassung, ist mit Hilfe von Artensummenkurven abzuschätzen (MARTEN 1994a, 1996, 1997). Artensummenkurven durch Aufsummation der im Laufe der Beprobungen neu hinzugekommenen Arten geben generell Aufschluss über den Anteil der Einzelbeprobungsergebnisse am Gesamtbefund. So ist mit einer Beprobung in der Regel nur 20 – 25 % der Artenzahl einer Sammelstelle zu erfassen. Mit Artensummenkurven kann der Sammelerfolg anschaulich dargestellt und in Bezug zum tatsächlichen Artenvorkommen abgeschätzt werden. In vielen Fällen sind, je nach Lebensraumstruktur, 12 – 20 Stichproben verteilt über mehrere Jahre erforderlich, um etwa 90 % der örtlichen Lebensgemeinschaft zu erfassen (MARTEN 2001).

Am Rhein liegt bedingt durch den raschen Faunenaustausch über den Rhein-Main-Donaukanal eine besondere Situation vor. Immer wieder wandern neue Arten ein bzw. werden über den Schiffsverkehr eingeschleppt, so dass die Artensummenkurven sämtlicher Standorte stetig weitersteigen (Abb. 9). Nur noch im Ansatz ist die nach 2-3 Jahren bzw. 8-12 Beprobungen übliche Sättigungsphase der Artenerfassung in den Kurven erkennbar. Eine Abschätzung der Vollständigkeit der faunistischen Erfassung ist daher in diesem Falle schwierig. Aufgrund der Erfahrungen an Standorten mit geringer Änderungen der Biozönose ist jedoch bei den hier vorgestellten Ergebnissen von einer soliden Datenbasis auszugehen.

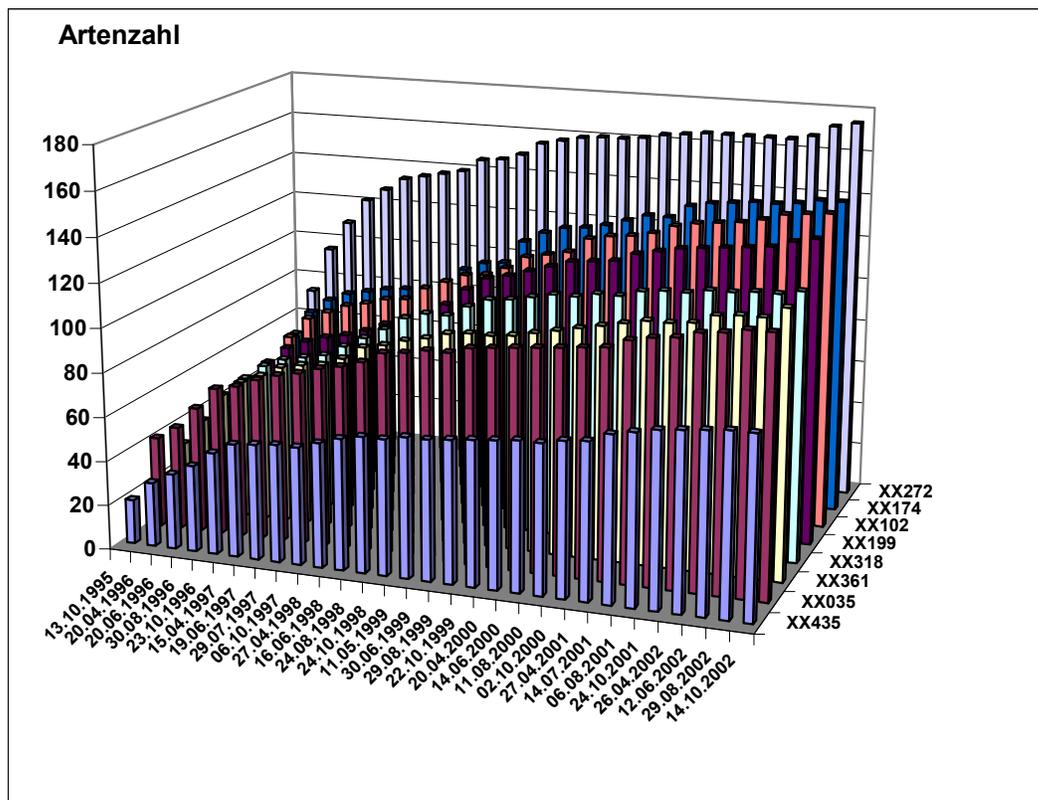


Abb. 9: Artensummen über die Zeitachse, berechnet für die Untersuchungsergebnisse der 8 Probestellen an Hoch und Oberrhein.

5.4.2 Die Makrozoobenthosfauna des Hoch- und Oberrheins - Artenlisten

Bisher liegen die Ergebnisse dreier Perioden intensiver Besammlung der Fauna des Rheins vor. Die erste Möglichkeit zur Einschätzung der Beschaffenheit des Lebensraumes Rhein unter dem Blickwinkel der Vielzahl der wirbellosen Tiere geben die Befunde aus der Zeit um die Jahrhundertwende von FELBER, LINNINGER, NEERACHER and LAUTERBORN (l. c.). Die zweite Periode liegt zwischen 1987 und 1989, der Zeitraum in dem die intensiven Nachuntersuchungen der Sandoz-Katastrophe durchgeführt wurden (MARTEN, THEEG & VOBIS 1990, MARTEN 1994b, MARTEN & FISCHER 1998). Der dritte umfassende Datensatz ergibt sich aus den ab 1995 am Rhein durchgeführten Untersuchungen zum Trendbiomonitoring.

Die erzielten Ergebnisse werden in Tabelle 2 und 3 dargestellt und sind um weitere Befunde aus den Untersuchungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) (TITTIZER & SCHÖLL 1988 in TITTIZER & KREBS 1996) sowie den Erhebungen der IKSR (SCHÖLL 2002) ergänzt. Insbesondere letztere schließen als Untersuchungsgebiet den gesamten Rheinverlauf ab dem Bodensee bis zur Nordsee ein.

Nach diesen verschiedenen Befunden wurden bis heute im gesamten Rhein 584 verschiedene Arten wirbelloser Tiere des Makrozoobenthos erfasst (Tabelle 2). Durch die Untersuchungen der LfU wurden seit 1987 in Hoch- und Oberrhein 443 Arten nachgewiesen, 59 weitere Arten im selben Zeitraum durch BfG und IKSR in diesem Rheinabschnitt, sowie zusätzlich 44 Arten in Mittel- und Niederrhein durch BfG und IKSR. 38 Hoch- und Oberrhein-Arten aus den ersten Jahren nach 1900 konnten trotz der intensiven Nachuntersuchungen im gesamten Rheinverlauf nicht wieder aufgefunden werden.

Die Zahl von 59 weiteren Arten, nachgewiesenen im selben Zeitraum und Bereich durch BfG und IKSR, zusätzlich zu den im Zuge intensiver Untersuchungen der LfU aufgefundenen 443 Arten, ist erklärbar durch die von BfG und IKSR zusätzlich verwendeten aufwändigen Verfahren wie die Untersuchung vom Schiff aus mit Polypgreifer und Dredge, Probenahme durch Taucher und Einsatz spezieller Schiffe mit Taucherschacht und Taucherglocke. Aber auch durch eine wesentlich höhere Zahl von Untersuchungsstellen - ebenfalls viermal im Jahr beprobt: am Hochrhein 11 Stellen gegenüber 2 der LfU (diese erst ab 1995), am Oberrhein 24 Probestellen gegenüber 6 der LfU. Die Daten der IKSR des Untersuchungsjahres 2000 wurden darüber hinaus um Daten weiterer Rheinabschnitte und weiterer Untersuchungen zwischen 1995 und 2001 ergänzt (SCHÖLL 2002). Leider ist Art und Umfang dieser Ergänzungen nicht angegeben. Die Aufstellung von SCHÖLL (2002) enthält auch die Ergebnisse von Spezialanalysen einzelner Tiergruppen. So erbrachte die Spezialanalyse der Oligochaeta allein 19 Arten der 59 zusätzlichen Arten der IKSR Erhebung!

Interessant ist aber der unmittelbare Vergleich der mit ähnlicher Fragestellung im gleichen Zeitraum aber mit unterschiedlichem Probenahmeregime durchgeführten Untersuchungen von IKSR und LfU ab 1995. Beide Untersuchungsprogramme haben die Beschreibung der Änderung der Artenzusammensetzung und Artenvielfalt im Rhein zum Ziel: Die Untersuchungen der IKSR von 1995 und 2000 (IKSR 1996, SCHÖLL 2002) zusammengenommen für den gesamten Rheinverlauf vom Bodensee bis zur Nordsee einschließlich der Ergebnisse der Spezialanalysen der Oligochaeta und Diptera erbrachten zwar insgesamt 378 Makrozoobenthosarten, für den Oberrhein aber lediglich 201 Arten. Die Untersuchungen der LfU zum Trendbiomonitoring ab 1995 ergaben für den Oberrhein ohne Spezialanalysen der Oligochaeta und Diptera 296 Arten, d. h. eine um 50 % höhere Artenzahl bei niedrigerem Bestimmungsaufwand (keine Spezialanalysen). Die höhere Artenzahl der IKSR-Untersuchungen für den gesamten Rheinverlauf ist bereits dadurch bedingt, dass nie alle Arten im Flusslängsverlauf gleich verteilt sind, d. h. am gesamten Rhein ist in jedem Falle eine höhere Artenzahl zu erwarten als an einem seiner Teilabschnitte. Insofern damit keine Aussagen über die Effizienz der Untersuchungen getroffen werden.

Die Befunde von LfU und IKSR bezogen auf den gleichen Untersuchungsabschnitt, den Oberrhein, verdeutlichen aber im Hinblick auf den materiellen und zeitlichen Verfahrensaufwand erhebliche Unterschiede hinsichtlich des resultierenden Kosten/Nutzenverhältnisses. Die Ergebnisse der IKSR Untersuchung am Hoch- und Oberrhein wurden mit mindestens 192 Einzelbeprobungen generiert (24 Probestellen, 2 x 4 Probenahmeserien, ohne ergänzende Befunde), also mit mehr Einzelbeprobungen als beim Trendbiomonitoring der LfU (6 Probestellen, 7 x 4 (1996-2002) + 1 (1995) Probenahmeserien = 186 Einzelbeprobungen). Im Hinblick auf die dabei auch eingesetzte Methodik wie Schiffe mit Taucherglocke und anderem schweren Gerät, muss der Aufwand der IKSR jedoch als erheblich höher eingestuft werden. Hinsichtlich der Kosten-Nutzenanalyse für die Erhebung der Besiedlung des Rheins schneiden die Untersuchungen zum Trendbiomonitoring wegen des geringeren Aufwandes, aber vor allem auch wegen der besseren Ausbeute, d. h. der um 50 % höheren Artenzahl, sichtlich besser ab.

Generell sind die von den verschiedenen Untersuchern gewählten Strategien in ihren grundsätzlichen Aussagemöglichkeiten unterschiedlich begrenzt. Während BfG und IKSR wohl eher die Erfassung und Ausbreitung der Makrozoobenthosfauna im Rheinverlauf zu verschiedenen Zeitepochen vor Augen hatten, ist das Trendbiomonitoring in Baden-Württemberg mit der strikten Zielsetzung der Erfassung der zeitlichen Entwicklung der Lebensgemeinschaft an ausgewählten Dauerbeobachtungsstellen ins Leben gerufen worden. Erstere ist eine Mischstrategie, die nur erfolgreich sein kann, wenn gewährleistet ist, dass die zu erfassenden Objekte zu den wenigen Untersuchungskampagnen tatsächlich zuverlässig anzutreffen sind. Nur dann kann die Ausbreitung einer Art im Flussverlauf beschrieben werden und das Aufkommen oder Verschwinden einzelner Arten zwischen den Kampagnen in Abschnitten oder dem ganzen

Fluß nachgewiesen werden. Die zweite Strategie wurde aus der Kenntnis der intraannuellen (jahreszeitlichen) und auch der interannuellen (über die Jahre) Fluktuation des Vorkommens der Makrozoobenthosarten begründet. Diese Strategie erlaubt (begünstigt) eine zuverlässige Aussage über die Entwicklung der Biozönose im Zeitverlauf mit den Einbußen einer geringeren räumlichen Auflösung. Die Ergebnisse zeigen, dass die räumliche Auflösung beim Trendbiomonitoring am Rhein aber genügend hoch ist, um den Nachweis der im gesamten betrachteten Rheinabschnitt vorkommenden Arten zu erbringen.

Die hier genannten Artenzahlen sind vor allem auch zur Demonstration der doch recht beträchtlichen Artenvielfalt im Rhein geeignet: Die Zahl der im Rhein insgesamt nachgewiesenen Arten ist bei den Zweiflüglern (158) am höchsten, gefolgt von den Köcherfliegen (117). Mit größerem Abstand folgen dann Eintagsfliegen (57), Weichtiere (49) und Käfer (37). Mit 27 Arten eine vergleichsweise hohe Artenzahl erreicht auch die Gruppe der Makrocrustacea (Krebse). Mit 11 verbliebenen Arten der Steinfliegen (Nachweise ab 1987!) ist diese Tiergruppe für einen Fluss dieser Dimension zu schwach vertreten. Abgesehen von den Weichtieren und den Krebsen, die in natürlichen Fließgewässern in unseren Breiten nicht zu den artenreicheren Tiergruppen zählen und deren derzeitige Artenvielfalt im Rhein auf die zahlreichen eingewanderten Neozoa zurückzuführen ist, und auch abgesehen von den infolge Gewässerverschmutzung zurück gedrängten und bisher nicht vollständig wieder zurückgekehrten Steinfliegen, entspricht die Reihung der Tiergruppen im Rhein nach Artenvielfalt durchaus natürlichen Verhältnissen.

Tabelle 2: Artenzahlen des Makrozoobenthos am Hoch- und Oberrhein aufgrund der Untersuchungen der LfU 1987 – 2002 sowie, in Klammern, die Zahl aller bisher bekannten Arten für den gesamten Rheinverlauf nach verschiedenen Autoren (vgl. Tabelle 3).

Taxonomische Gruppe	Artenzahl
Porifera (Schwämme)	5 (5)
Turbellaria (Strudelwürmer)	9 (10)
Nematomorpha (Saitenwürmer)	1 (1)
Mollusca (Weichtiere)	36 (49)
Polychaeta (Vielborster)	1 (1)
Oligochaeta (Wenigborster), unvollständig, s. Text	9 (28)
Hirudinea (Egel)	15 (21)
Crustacea (Krebstiere)	20 (26)
Ephemeroptera (Eintagsfliegen)	44 (57)
Plecoptera (Steinfliegen)	11 (22)
Odonata (Libellen)	14 (19)
Hymenoptera (Hautflügler)	1 (1)
Coleoptera (Käfer)	31 (37)
Heteroptera (Wanzen)	16 (18)
Neuroptera (Netzflügler)	5 (5)
Trichoptera (Köcherfliegen)	90 (117)
Lepidoptera (Schmetterlinge)	2 (2)
Diptera (Zweiflügler), unvollständig, s. Text	132 (158)
Bryozoa (Moostierchen)	1 (7)
Gesamtartenzahl	443 (584)

Wie eingangs erwähnt wurden Oligochaeta und Diptera im Rahmen der Untersuchungen zum Trendbiomonitoring ab 1995 Aufwand bedingt nur grob, in dem Maße wie für eine Gewässergüteeinstufung erforderlich (Saprobienindex nach DIN), angesprochen. Daraus resultieren automatisch geringere Artenzahlen für diese Gruppen. Dies wurde in der Untersuchungsperiode 1987-89 für die Diptera durch zusätzliche Untersuchungen mit Hilfe von Lichtfallen und separaten Analysen durch Spezialisten ausgeglichen (vgl. MARTEN et al. 1990, MARTEN & FISCHER 1998). Bei den Untersuchungen durch die IKSR wurden dagegen beide Tiergruppen, die Oligochaeta und die Diptera, durch Spezialuntersuchungen erschlossen (SCHÖLL 2002). Dadurch ist die vergleichsweise sehr viel höhere Artenzahl der Oligochaeta basierend auf allen Meldungen (28 Arten) im Gegensatz zu den Ergebnissen der LfU 1987-2002 (9 Arten) zu erklären. Wäre es möglich gewesen, beide Tiergruppen zu jeder Zeit Spezialdiagnosen zu unterziehen, d. h. komplett in die Artbestimmung mit aufzunehmen, wäre mit Sicherheit für diese Gruppen ein erheblich höherer Artenreichtum zu melden. Die nachgewiesenen Arten sind in der Tabelle 3 aufgeführt.

Änderungen in der Nomenklatur und Fortschritte der Taxonomie wurden, wie bei faunistischen Vergleichen erforderlich (MARTEN 1994b), berücksichtigt. Für den Vergleich der Besiedlungen während der verschiedenen Zeitabschnitte bedeutet dies, dass folgende Arten, die erst nach der ersten Erhebung in 1903-1910 beschrieben wurden, aber ab 1987 im Rhein nachgewiesen wurden, von weiteren Vergleichen ausgeschlossen sind: *Ferrissia wautieri*, *Gammarus tigrinus*, *Baetis liebenauae*, *Baetis pentaplebedes*, *Baetis vardarensis*, *Procloeon bifidum*, *Ecdyonurus torrentis*, *Ephemerella mucronata*, *Torleya major*, *Caenis beskidensis*, *Caenis pusilla*, *Hydroptila angulata*, *Hydroptila martini*, *Hydropsyche bulgaromanorum*, *Hydropsyche incognita*, *Hydropsyche siltalai* und *Lype phaeopa*.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, dass einige Arten nur als Imagines am Ufer des Rheins nachgewiesen wurden, z. T. nur in wenigen Exemplaren wie beispielsweise die Köcherfliege *Allogamus ligonifer*. Einige dieser Arten haben ihren Verbreitungsschwerpunkt in anderen Gewässertypen (z. B. Stillgewässern) und können auch aus diesen im Randbereich des Rheines zugeflogen sein. Dies ist im Einzelfall bei keiner der aufgeführten Untersuchungen auszuschließen und bleibt daher unberücksichtigt, d. h. alle bei den Untersuchungen am Rhein gefangenen und auch bestimmten Tiere werden in den Befundlisten aufgeführt.

Tabelle 3: Artenliste Makrozoobenthos im Rhein 1903 – 2002. Die Tabelle listet die Ergebnisse der Untersuchungen durch NEERACHER (1910), LAUTERBORN (1917) und FELBER und LININGER in CASPERS (1980) in der Spalte 1903 -10 mit "X" auf. Die Ergebnisse der LfU in den Perioden 1987-89 und 1995-2002 für Hoch- und Oberrhein sind ebenfalls mit "X" gekennzeichnet. Diese beiden letzten Spalten wurden um weitere Artnachweise von TITTIZER & SCHÖLL (1988) in TITTIZER & KREBS (1996) mit "T", um weitere Nachweise der IKSR (SCHÖLL 2002) mit "S" sowie weitere Artnachweise von KINZELBACH (1987) mit "K" ergänzt. Angaben in runden Klammern beziehen sich auf Nachweise ausschließlich im Hochrhein, Angaben in eckigen Klammern bedeuten Nachweise ausschließlich in Mittel- und Niederrhein.

	1903-10	1987-89	1995-02		1903-10	1987-89	1995-02		1903-10	1987-89	1995-02
Haemopidae				Astacidae				<i>Caenis lactea</i> (BURMEISTER, 1839)		X	
<i>Haemopsis sanguisuga</i> (LINNAEUS, 1758)		X	X	<i>Orconectes limosus</i> (RAFINESQUE, 1817)		X	X	<i>Caenis luctuosa</i> (BURMEISTER, 1839)		X	X
Erpobdellidae				Xanthidae				<i>Caenis macrura</i> STEPHENS, 1835		X	X
<i>Erpobdella nigricollis</i> (BRANDES, 1900)			X	<i>Rhithropanopeus harrissii</i> (GOULD, 1841)			[S]	<i>Caenis pusilla</i> NAVAS, 1913		X	X
<i>Erpobdella octoculata</i> (LINNAEUS, 1758)	X	X	X	Grapsidae				<i>Caenis rivulorum</i> EATON, 1884			(S)
<i>Erpobdella vihnensis</i> LISKIEWICS, 1925			X	<i>Eriocheir sinensis</i> H. MILNE-EDWARDS, 1853			[(S)]	<i>Caenis robusta</i> EATON, 1884		X	
<i>Erpobdella testacea</i> SAVIGNY, 1820		T		EPHEMEROPTERA				<i>Brachycercus harisella</i> CURTIS, 1834			X
<i>Dina lineata</i> (O.F.MÜLLER, 1774)		T		Siphonuridae				Prosopistomatidae			
<i>Dina punctata</i> JOHANSSON, 1927		X	X	<i>Siphonurus lacustris</i> (EATON, 1870)			X	<i>Prosopistoma pennigerum</i> (MUELLER, 1785)		X	
Salifidae				Baetidae				Leptophlebiidae			
<i>Barbronia weberi</i> (BLANCHARD, 1897)			[S]	<i>Baetis alpinus</i> (PICTET, 1845)			(S)	<i>Leptophlebia marginata</i> (LINNAEUS, 1767)		X	
MYSIDACEA				<i>Baetis buceratus</i> EATON, 1870		X	X	<i>Leptophlebia vespertina</i> (LINNAEUS, 1758)		X	
Mysidae				<i>Baetis fuscatus</i> (LINNAEUS, 1761)	X	X	X	<i>Paraleptophlebia submarginata</i> (STEPHENS, 1835)			T X
<i>Hemimysis anomala</i> SARS, 1907			X	<i>Baetis gemellus</i> EATON, 1885			(S)	<i>Habroleptoides confusa</i> SARTORI et JACOB, 1986		X	X
<i>Limnomysis benedeni</i> CZERNIAVSKY, 1882			X	<i>Baetis liebenauae</i> KEFFERMÜLLER, 1974			X	<i>Habrophlebia lauta</i> EATON, 1884			X
ISOPODA				<i>Baetis lutheri</i> MÜLLER-LIEBENAU, 1967			X	Polymitarcidae			
Asellidae				<i>Baetis muticus</i> (LINNAEUS, 1758)			X	<i>Ephoron virgo</i> (OLIVIER, 1791)		T	X
<i>Asellus aquaticus</i> (LINNAEUS, 1758)	X	X	X	<i>Baetis pentaphlebodes</i> UJHELYI, 1966			X	Ephemeridae			
<i>Proasellus coxalis</i> (DOLLFUS, 1892)		X	X	<i>Baetis rhodani</i> (PICTET, 1845)		X	X	<i>Ephemerella danica</i> MÜLLER, 1764		X	X
<i>Proasellus meridianus</i> (RACOVITZA, 1919)		X		<i>Baetis scambus</i> EATON, 1870			X	<i>Ephemerella glaucops</i> PICTET, 1843		X	X
Janiridae				<i>Baetis vardarensis</i> IKONOMOV, 1962			X	<i>Ephemerella lineata</i> EATON, 1870		X	[S]
<i>Jaera istri</i> VIEUILLE, 1979			X	<i>Baetis vernus</i> CURTIS, 1834		X	X	<i>Ephemerella vulgata</i> LINNAEUS, 1758			X
Ligididae				<i>Centropitulum luteolum</i> (MÜLLER, 1776)		X	X	Potamanthidae			
<i>Ligidium hypnorum</i> (CUVIER, 1792)			X	<i>Cloeon dipterum</i> (LINNAEUS, 1761)		X	X	<i>Potamanthus luteus</i> (LINNAEUS, 1767)		X	X X
AMPHIPODA				<i>Cloeon simile</i> EATON, 1870			X	PLECOPTERA			
Corophiidae				<i>Procloeon bifidum</i> (BENGTSSON, 1912)			X	Taeniopterygidae			
<i>Corophium curvispinum</i> G.O.SARS, 1895		T	X	<i>Procloeon pennulatum</i> (EATON 1870)		X	X X	<i>Brachyptera risi</i> (MORTON, 1896)			X
<i>Corophium lacustre</i> VANHÖFEN, 1911			[S]	Oligoneuriidae				<i>Brachyptera spp.</i>		X	X
<i>Corophium multisetosum</i> STOCK, 1953			[S]	<i>Oligoneuriella rhenana</i> (IMHOFF, 1852)		X		Nemouridae			
Gammaridae				Heptageniidae				<i>Amphinemura spp.</i>		X	X
<i>Crangonyx pseudogracilis</i> BOUSFIELD, 1958			[S]	<i>Epeorus sylvicola</i> (PICTET, 1865)		X	X X	<i>Amphinemura sulcicollis</i> (STEPHENS, 1835)			(S)
<i>Dikerogammarus haemobaphes</i> (EICHWALD, 1841)			X	<i>Rhithrogena alpestris</i> EATON, 1885		X		<i>Nemoura cinerea</i> (RETZIUS, 1783)			(S)
<i>Dikerogammarus villosus</i> MARTINOV, 1894			X	<i>Rhithrogena beskidensis</i> ALBA-TERCEDOR et SOWA, 1987		X	X	<i>Nemoura spp.</i>		T	X
<i>Echinogammarus berilloni</i> (CATTI, 1878)		X	X	<i>Rhithrogena germanica</i> EATON, 1885		X		Leuctridae			
<i>Echinogammarus ischnus</i> (STEBBING, 1899)			X	<i>Rhithrogena semicolorata</i> (CURTIS, 1834)		X	X X	<i>Leuctra armata</i> KEMPNY, 1899			(S)
<i>Echinogammarus trichiatus</i> (MARTYNOV, 1932)			X	<i>Ecdyonurus dispar</i> (CURTIS, 1834)		X	X	<i>Leuctra albida</i> KEMPNY, 1899			(S)
<i>Gammarus fossarum</i> KOCH, 1835		X	X	<i>Ecdyonurus insignis</i> (EATON, 1870)		X		<i>Leuctra fusca</i> (LINNAEUS, 1758)		X	X
<i>Gammarus pulex</i> (LINNAEUS, 1758)	X	X	X	<i>Ecdyonurus torrentis</i> KIMMINS, 1942			X	<i>Leuctra geniculata</i> (STEPHENS, 1835)		T	X
<i>Gammarus roeseli</i> GERVAIS, 1835	X	X	X	<i>Ecdyonurus venosus</i> (FABRICIUS, 1775)		X	X X	<i>Leuctra hippopus</i> KEMPNY, 1899			X
<i>Gammarus tigrinus</i> SEXTON, 1939		X	X	<i>Heptagenia coeruleans</i> ROSTOCK, 1877		X		<i>Leuctra spp.</i>		X	X X
Talitridae				<i>Heptagenia flava</i> ROSTOCK, 1877			T X	Capniidae			
<i>Orchestia cavimana</i> HELLER, 1865		T	X	<i>Heptagenia longicauda</i> (STEPHENS, 1836)		X		<i>Capnia nigra</i> (PICTET, 1833)		X	
DECAPODA				<i>Heptagenia sulphurea</i> (MÜLLER, 1776)		X	X X	Perlodidae			
Atyidae				Ephemerellidae				<i>Besdolos imhoffi</i> (PICTET, 1841)		X	
<i>Atyaephyra desmaresti</i> (MILLET, 1831)		X	X	<i>Ephemerella mucronata</i> (BENGTSSON, 1909)		X	X	<i>Besdolos ventralis</i> (PICTET, 1841)		X	
Palaemonidae				<i>Ephemerella notata</i> EATON, 1887			(X)	<i>Isogenus nubecula</i> NEWMAN, 1833		X	
<i>Palaemon longirostris</i> H. MILNE-EDWARDS, 1837			[S]	<i>Serratella ignita</i> (PODA, 1761)		X	X X	<i>Isoperla grammatica</i> (PODA, 1761)		X	X
				<i>Torleya major</i> (KLAPALEK, 1905)		X	X	<i>Isoperla obscura</i> (ZETTERSTEDT, 1840)		X	
				Caenidae				<i>Perlodes dispar</i> (RAMBUR, 1842)		X	
				<i>Caenis beskidensis</i> SOWA, 1973		X	X	<i>Perlodes microcephalus</i> (PICTET, 1833)		X	T X
				<i>Caenis horaria</i> (LINNAEUS, 1758)		X	X				

	1903-10	1987-89	1995-02
Perlidae			
<i>Dinocras cephalotes</i> (CURTIS, 1827)	X	X	
<i>Perla grandis</i> RAMBUR, 1842	X		
<i>Perla marginata</i> (PANZER, 1799)	X	X	
Chloroperlidae			
<i>Chloroperla tripunctata</i> (SCOPOLI, 1763)	X		
<i>Siphonoperla torrentium</i> (PICTET, 1841)		X	
<i>Xanthoperla apicalis</i> (NEWMAN, 1836)	X		
ODONATA			
Calopterygidae			
<i>Calopteryx splendens</i> (HARRIS, 1782)		X	X
<i>Calopteryx virgo</i> (LINNAEUS, 1758)		X	X
Lestidae			
<i>Sympetma fusca</i> (VAN DER LINDEN, 1820)			S
<i>Chalcolestes viridis</i> (VAN DER LINDEN, 1825)		X	X
Platycnemididae			
<i>Platycnemis pennipes</i> (PALLAS, 1771)	X	X	
Coenagrionidae			
<i>Erythromma najas</i> (HANSEMANN, 1823)		X	
<i>Cercion lindenii</i> SELYS, 1840		X	
<i>Coenagrion puella</i> (LINNAEUS, 1758)		X	
<i>Enallagma cyathigerum</i> (CHARPENTIER, 1840)		(X)	
<i>Ischnura elegans</i> (VAN DER LINDEN, 1820)		X	
Aeshnidae			
<i>Anax imperator</i> LEACH, 1815		S	
Gomphidae			
<i>Gomphus flavipes</i> (CHARPENTIER, 1825)		S	
<i>Gomphus pulchellus</i> SELYS, 1840		X	
<i>Gomphus simillimus</i> SELYS, 1840		S	
<i>Gomphus vulgatissimus</i> (LINNAEUS, 1758)		X	
<i>Gomphus spp.</i>	X		
<i>Onychogomphus forcipatus</i> (LINNAEUS, 1758)		X	
<i>Ophiogomphus cecilia</i> (GEOFFROY IN FOURCROY, 1785)		S	
Corduliidae			
<i>Somatochlora metallica</i> (VAN DER LINDEN, 1825)		X	
Libellulidae			
<i>Sympetrum striolatum</i> (CHARPENTIER, 1840)		X	
HYMENOPTERA			
Ichneumonidae			
<i>Agriotypus armatus</i> CURTIS, 1832		X	
COLEOPTERA			
Halipidae			
<i>Brychius elevatus</i> (PANZER, 1794)	X	X	
<i>Halipus flavicollis</i> STURM, 1834		(X)	
<i>Halipus fluviatilis</i> AUBE, 1836	X	X	
<i>Halipus laminatus</i> (SCHALLER, 1783)		X	
<i>Halipus lineatocollis</i> (MARSHAM, 1802)	X	X	
<i>Halipus obliquus</i> (FABRICIUS, 1787)		(X)	

Dytiscidae			
<i>Stictotarsus duodecimpustulatus</i> (FABRICIUS, 1792)			(S)
<i>Nebrioporus elegans</i> (PANZER, 1794)		X	X
<i>Oreodytes sanmarkii</i> (C. R. SAHLBERG, 1826)		(X)	
<i>Laccophilus hyalinus</i> (DE GEER, 1774)		X	X
<i>Laccophilus minutus</i> (LINNAEUS, 1758)		X	
<i>Platambus maculatus</i> (LINNAEUS, 1758)		X	X
<i>Agabus nitidus</i> (FABRICIUS, 1801)		X	
<i>Ilybius spp.</i>			S
Gyrinidae			
<i>Orectochilus villosus</i> (O. F. MÜLLER, 1776)		X	X
Hydraenidae			
<i>Hydraena riparia</i> KUGELANN, 1794		X	
<i>Helophorus arvernicus</i> MULSANT, 1846			X
Hydrophilidae			
<i>Anacaena bipustulata</i> (MARSHAM, 1802)			X
<i>Hydrobius spp.</i>			S
<i>Laccobius minutus</i> (LINNAEUS, 1758)		X	X
<i>Laccobius striatulus</i> (FABRICIUS, 1801)		X	
<i>Enochrus testaceus</i> (FABRICIUS, 1801)		X	
Dryopidae			
<i>Dryops ernesti</i> DES GOZIS, 1886		(X)	
<i>Dryops luridus</i> (ERICHSON, 1847)		X	
Elmidae			
<i>Stenelmis canaliculata</i> (GYLLENHAL, 1808)	X	X	
<i>Elmis aenea</i> (P. W. J. MÜLLER, 1806)	X	X	
<i>Elmis maugetii</i> LATREILLE, 1798		X	
<i>Elmis rietscheli</i> STEFFAN, 1958		(S)	
<i>Elmis rioloides</i> KUWERT, 1890	X	X	X
<i>Esolus angustatus</i> (P. W. J. MÜLLER, 1821)			X
<i>Esolus parallelepipedus</i> (P. W. J. MÜLLER, 1806)		(S)	
<i>Oulimnius tuberculatus</i> (P. W. J. MÜLLER, 1806)		X	X
<i>Oulimnius rivularis</i> (ROSENHAUER, 1856)		(S)	
<i>Limnius perrisi</i> (DUFOUR, 1843)		X	
<i>Limnius volckmari</i> (PANZER, 1793)	X	X	X
<i>Riolus subviolaceus</i> (P.W.J.MÜLLER, 1817)		X	
<i>Macronychus quadrituberculatus</i> P.W.J.MÜLLER, 1806		X	
HETEROPTERA			
Corixidae			
<i>Callicorixa praeusta</i> (FIEBER, 1848)			(S)
<i>Paracorixa concinna</i> (FIEBER, 1848)		X	
<i>Sigara falleni</i> (FIEBER, 1848)		X	X
<i>Sigara lateralis</i> (LEACH, 1817)		X	
<i>Sigara striata</i> (LINNAUS, 1758)		X	X
<i>Micronecta griseola</i> HORVATH, 1899		X	X
<i>Micronecta minutissima</i> (LINNAEUS, 1758)	X	X	(S)
<i>Micronecta scholtzi</i> (FIEBER, in SCHOLTZ, 1846 [1847])		X	X
Naucoridae			
<i>Aphelocheirus aestivalis</i> (FABRICIUS, 1794)	X	X	X
<i>Ilyocoris cimicoides</i> (LINNAEUS, 1758)		(S)	

Nepidae			
<i>Nepa cinerea</i> LINNAEUS, 1758			X
Notonectidae			
<i>Notonecta maculata</i> FABRICIUS, 1794			X
Gerridae			
<i>Gerris lacustris</i> (LINNAEUS, 1758)			X
<i>Aquarius najas</i> (DE GEER, 1773)			X
<i>Aquarius paludum</i> FABRICIUS, 1794			X
Hydrometridae			
<i>Hydrometra stagnorum</i> (LINNAEUS, 1758)			X
Veliidae			
<i>Microvelia spp.</i>			X
<i>Velia spp.</i>			X
NEUROPTERA			
Sialidae			
<i>Sialis fuliginosa</i> PICTET, 1836			X
<i>Sialis lutaria</i> (LINNAEUS, 1758)			X
<i>Sialis nigripes</i> PICTET, 1865			X
Sisyridae			
<i>Sisyra fuscata</i> (FABRICIUS, 1793)			X
<i>Sisyra terminalis</i> CURTIS, 1854			X
TRICHOPTERA			
Rhyacophilidae			
<i>Rhyacophila aurata</i> BRAUER, 1857			(S)
<i>Rhyacophila dorsalis</i> (CURTIS, 1834)		X	X
<i>Rhyacophila fasciata</i> HAGEN, 1859		X	
<i>Rhyacophila pascoei</i> McLACHLAN, 1879		X	
<i>Rhyacophila tristis</i> PICTET, 1834		X	
Glossosomatidae			
<i>Glossosoma boltoni</i> CURTIS, 1834		X	X
<i>Glossosoma conformis</i> NEBOISS, 1963		X	(S)
<i>Agapetus delicatulus</i> McLACHLAN, 1884			(S)
<i>Glossosoma intermedium</i> KLAPALEK, 1892			(S)
<i>Agapetus fuscipes</i> CURTIS, 1834		X	X
<i>Agapetus laniger</i> (PICTET, 1834)		X	X
<i>Agapetus ochripes</i> CURTIS, 1834		X	X
Hydroptilidae			
<i>Stactobia moselyi</i> KIMMINS, 1949			(S)
<i>Stactobiella risi</i> (FELBER, 1908)		X	
<i>Orthotrichia costalis</i> (CURTIS, 1834)			X
<i>Ithytrichia lamellaris</i> EATON, 1873		X	X
<i>Oxyethira flavicornis</i> (PICTET, 1834)		X	X
<i>Hydroptila angulata</i> MOSELY, 1922			X
<i>Hydroptila forcipata</i> (EATON, 1873)		X	X
<i>Hydroptila martini</i> MARSHALL, 1977			X
<i>Hydroptila sparsa</i> CURTIS, 1834			X
<i>Hydroptila tineoides</i> DALMAN, 1819		X	
<i>Hydroptila vectis</i> CURTIS, 1834			X
<i>Agraylea multipunctata</i> CURTIS, 1834			X
<i>Agraylea sexmaculata</i> CURTIS, 1834			X
<i>Allotrichia pallicornis</i> (EATON, 1873)		X	

1903-10	1987-89	1995-02		1903-10	1987-89	1995-02		1903-10	1987-89	1995-02	
<i>Cricotopus tremulus</i> (LINNAEUS, 1758)	X			<i>Cryptochironomus albofasciatus</i> (STAEGER, 1839)	X			<i>Micropsectra lindrothi</i> GOETGHEBUER, 1931	X		
<i>Cricotopus triannulatus</i> MACQUART, 1826	X	[S]		<i>Cryptochironomus defectus</i> (KIEFFER, 1913)				<i>Micropsectra recurvata</i> GOETGHEBUER, 1928	X		
<i>Cricotopus trifascia</i> EDWARDS, 1929	X			<i>Cryptochironomus rostratus</i> KIEFFER, 1921	X			<i>Neozavrelia</i> spp.		[S]	
<i>Cricotopus intersectus</i> (STAEGER, 1839)	X	[S]		<i>Cryptochironomus supplicans</i> (MEIGEN, 1830)	X			<i>Paratanytarsus confusus</i> PALMEN	X		
<i>Cricotopus isocladus</i>		[S]		<i>Cryptotendipes pseudotener</i> (GOETGHEBUER, 1922)	X			<i>Paratanytarsus laetipes</i> (ZETTERSTEDT, 1850)	X		
<i>Cricotopus obnixus</i> (WALKER, 1856)	X			<i>Demicrochironomus vulneratus</i> (ZETTERSTEDT, 1838)	X			<i>Paratanytarsus natvigi</i> (GOETGHEBUER)	X		
<i>Cricotopus sylvestris</i> (FABRICIUS, 1794)	X	[S]		<i>Dicrotendipes nervosus</i> (STAEGER, 1839)	X	[S]		<i>Rheotanytarsus muscicola</i> THIENEMANN, 1929	X		
<i>Eukiefferiella brevicar</i> (KIEFFER, 1911)	X			<i>Dicrotendipes tritonus</i> (KIEFFER, 1916)	X			<i>Rheotanytarsus photophilus</i> (GOETGHEBUER, 1921)	X		
<i>Eukiefferiella claripennis</i> (LUNDBECK, 1898)	X			<i>Endochironomus impar</i> (WALKER, 1856)	X			<i>Rheotanytarsus</i> spp.		X	
<i>Eukiefferiella ilkleyensis</i> (EDWARDS, 1929)	X			<i>Endochironomus lepidus</i> (MEIGEN, 1830)	X			<i>Stempellina bausei</i> (KIEFFER, 1911)	X	[S]	
<i>Eukiefferiella lobifera</i> GOETGHEBUER, 1934	X			<i>Endochironomus tendens</i> (FABRICIUS, 1775)	X			<i>Tanytarsus brundini</i> LINDBERG, 1963	X		
<i>Eukiefferiella potthasti</i> LEHMANN	X			<i>Glyptotendipes foliicola</i> KIEFFER	X			<i>Tanytarsus ejujnicidus</i> (WALKER, 1856)	X		
<i>Limnophyes pusillus</i> (EATON, 1875) EDWARDS	X			<i>Glyptotendipes gripekoveni</i> (KIEFFER, 1913)	X			<i>Tanytarsus eminulus</i> (WALKER, 1856)	X		
<i>Metriocnemus fuscipes</i> (MEIGEN, 1818)	X			<i>Glyptotendipes pallens</i> (MEIGEN, 1804)		[S]		<i>Tanytarsus heusdensis</i> GOETGHEBUER, 1923	X		
<i>Metriocnemus picipes</i> (MEIGEN, 1818)	X			<i>Glyptotendipes paripes</i> (EDWARDS, 1929)	X	[S]		<i>Tanytarsus holochlorus</i> EDWARDS, 1929	X		
<i>Metriocnemus terrester</i> PAGAST, 1941		[S]		<i>Hamischia curtillamellata</i> (MALLOCH, 1915)	X			<i>Tanytarsus lestagei</i> GOETGHEBUER, 1922	X		
<i>Nanocladius bicolor</i> (ZETTERSTEDT, 1838)	X	[S]		<i>Hamischia fuscimana</i> KIEFFER, 1921	X			<i>Virgatanytarsus triangularis</i> (GOETGHEBUER, 1928)	X		
<i>Nanocladius rectinervis</i> (KIEFFER, 1911)	X			<i>Kloosia pusilla</i> (LINNAEUS, 1767)		[S]		<i>Zavrelia</i> spp.		[S]	
<i>Orthocladus obtexens</i> BRUNDIN	X			<i>Microchironomus tener</i> (KIEFFER, 1918)	X	[S]		Ceratopogonidae	X		
<i>Orthocladus excavatus</i> BRUNDIN	X			<i>Microtendipes chloris</i> (MEIGEN, 1818)				<i>Bezzia</i> spp.	X		
<i>Orthocladus frigidus</i> (ZETTERSTEDT, 1838)	X			<i>Microtendipes confinis</i> (MEIGEN, 1830)	X			Stratiomyidae	X		
<i>Orthocladus oblidens</i> (WALKER, 1856)	X			<i>Microtendipes pedellus</i> (DE GEER, 1776)	X			Empidiidae	X		
<i>Orthocladus lignicola</i> (KIEFFER, 1915)	X			<i>Parachironomus arcuatus</i> (GOETGHEBUER, 1919)	X	[S]		Dolichopodidae	X		
<i>Paracladius conversus</i> (WALKER, 1856)	X	[S]		<i>Parachironomus digitalis</i> (EDWARDS, 1929)	X			Tabanidae	X		
<i>Paratrichocladus rufiventris</i> (MEIGEN, 1830)	X	[S]		<i>Parachironomus frequens</i> (JOHANNSEN, 1905)	X			Athericidae		(S)	
<i>Psectrocladius sordidellus</i> (ZETTERSTEDT, 1838)	X	[S]		<i>Parachironomus kampen</i>		[S]		<i>Atherix ibis</i> (FABRICIUS, 1798)	X		
<i>Rheocricotopus atripes</i> (KIEFFER, 1913)		(S)		<i>Paracladopelma laminata</i> (KIEFFER, 1921)	X			<i>Atrichops crassipes</i> (MEIGEN, 1820)	X		
<i>Rheocricotopus chalybeatus</i> (EDWARDS, 1929)	X			<i>Paracladopelma nigrigula</i> (GOETGHEBUER, 1942)	X			Ephydriidae		(S)	
<i>Rheocricotopus dispar</i> (GOETGHEBUER, 1913)	X			<i>Paratendipes albimanus</i> (MEIGEN, 1818)	X			Muscidae			
<i>Smittia aterrima</i> (MEIGEN, 1818)	X			<i>Paratendipes intermedius</i>		[S]		<i>Limnophora</i> spp.		(S)	
<i>Smittia edwardsi</i> GOETGHEBUER, 1932	X			<i>Phaenopsectra flavipes</i> (MEIGEN, 1818)	X			Anthomyiidae	X		
<i>Smittia pratorum</i> (GOETGHEBUER, 1927)	X			<i>Polypedilum sordens</i> (VAN DER WULP, 1874)	X						
<i>Symbiocladius rhithrogenae</i> (KIEFFER et ZAVREL, 1924)		S		<i>Polypedilum bicrenatum</i> KIEFFER, 1922		[S]		BRYOZOA			
<i>Synorthocladus semivirens</i> (KIEFFER, 1909)	X	[S]		<i>Polypedilum breviantennatum</i>		[S]		Bryozoa			
<i>Thalassosmittia thalassophila</i> (BEQUAERT & GOETGHEBUER, 1913)	X	[S]		<i>Polypedilum convictum</i> (WALKER, 1856)	X			<i>Paludicella articulata</i> (EHRENBERG, 1831)		K/T	S
<i>Thienemanniella obscura</i> BRUNDIN, 1947	X			<i>Polypedilum cultellatum</i> GOETGHEBUER, 1931	X			<i>Fredericella sultana</i> (BLUMENBACH, 1779)	X	T	S
<i>Tvetenia calvescens</i> (EDWARDS, 1929)	X			<i>Polypedilum laetum</i> (MEIGEN, 1818)	X			Plumatellidae			
<i>Tvetenia discoloripes</i> (GOETGHEBUER, 1936)	X			<i>Polypedilum nubeculosum</i> (MEIGEN, 1804)	X	[S]		<i>Plumatella emarginata</i> ALLMAN, 1844	X	T	S
Chironomini	X			<i>Polypedilum pedestre</i> (MEIGEN, 1830)	X			<i>Plumatella fruticosa</i> ALLMAN, 1844		T	
<i>Chironomus acutiventris</i> WÜLKER, RYSER et SCHOLL, 1983		[S]		<i>Polypedilum quadrimaculatum</i> (MEIGEN, 1838)	X			<i>Plumatella repens</i> (LINNAEUS, 1758)		K	
<i>Chironomus bernensis</i> KLÖTZLI, 1973		(S)		<i>Polypedilum scalaenum</i> (SCHRANK, 1803)	X			<i>Plumatella</i> spp.		X	
<i>Chironomus cingulatus</i> MEIGEN, 1830	X			<i>Robackia demeijeri</i> (KRUSEMANN, 1933)		[S]		<i>Hyalinella punctata</i> (HANCOCK, 1850)		K	
<i>Chironomus dorsalis</i> MEIGEN, 1818	X			<i>Stenochironomus fascipennis</i> (ZETTERSTEDT, 1838)	X			Cristatellidae			
<i>Chironomus nudiventris</i> RYSER, SCHOLL & WÜLKER, 1984		[S]		<i>Stenochironomus</i> spp.		X		<i>Cristatella mucedo</i> CUVIER, 1798	X	X	
<i>Chironomus obtusidens</i> -Gruppe	X			<i>Tribelos intextus</i> (WALKER, 1856)	X						
<i>Chironomus plumosus</i> (LINNAEUS, 1758)	X			<i>Xenochironomus xenolabis</i> KIEFFER, 1916	X	[S]					
<i>Chironomus plumosus</i> -Gruppe	X			Tanytarsini		X					
<i>Chironomus thummi</i> -Gruppe	X			<i>Cladotanytarsus atridorsum</i> KIEFFER, 1924	X						
<i>Chironomus luridus</i> STRENZKE	X			<i>Cladotanytarsus mancus</i> (WALKER, 1856)		[S]					
<i>Chironomus pseudothummi</i> STRENZKE	X			<i>Cladotanytarsus nigrovittatus</i> (GOETGHEBUER, 1922)	X						
<i>Cladopelma virescens</i> (MEIGEN, 1818)	X			<i>Micropsectra atrofasciata</i> (KIEFFER, 1911)	X						
<i>Cladopelma viridula</i> (LINNAEUS, 1767)	X			<i>Micropsectra junci</i> (MEIGEN, 1818)	X						

5.4.3 Summarischer Vergleich der Besiedlung im zeitlichen Verlauf

Der einfache Vergleich der Anzahl der Arten der drei Intensiv-Untersuchungsperioden vermittelt den Eindruck, dass die Fauna des Rheins im Vergleich zu der zu Beginn des letzten Jahrhunderts und vor allem gemessen an der zwischenzeitlich recht verarmten Fauna heute in einer nie da gewesenen Fülle und Vielfalt vorliegt (vgl. auch [Abb. 10](#)). Selbst 1987, d. h. 1 Jahr nach dem Sandozunfall, ist die Artenfülle mit 155 Arten größer als sie aus der Zeit zu Beginn des Jahrhunderts im Oberrhein bekannt ist (129 Arten). Die Diversität steigt dann noch einmal kräftig im Laufe des letzten Jahrzehnts an. Die leeren Säulen des vorliegenden Diagramms geben die Ergebnisse der bis dahin üblichen amtlichen Gewässergüteuntersuchungen wieder, sie beruhen im Wesentlichen auf einmaligen Untersuchungen, allerdings an einer deutlich größeren Anzahl von Untersuchungsstellen, so dass der infolge der fehlenden Wiederholungen geringe Sammelerfolg durch die Anzahl der Lokalitäten zumindest teilweise wieder ausgeglichen wird. Weiterhin wurden bei diesen Einzeljahresbefunden (1955-86) im Vergleich zu den Intensiv-Untersuchungsperioden Taxa der Gruppen Oligochaeta und Diptera mitgezählt, wodurch die Ergebnisse besser erscheinen können, als sie tatsächlich wären, wenn sie auf gleiches taxonomisches Maß gebracht würden. Die Ergebnisse sind nur mit Einschränkungen vergleichbar, da nicht auf tatsächlich vergleichbare Arten geprüft sind. Dennoch spiegeln sie im Ergebnis gut die zu erwartende Entwicklung der Artenzahl, infolge der beschriebenen schlechten Bedingungen im Fluss, insbesondere hinsichtlich der Wasserqualität, wieder: Die Artenvielfalt im Rhein war in den sechziger und siebziger Jahren auf einem Tiefpunkt (vgl. auch KINZELBACH 1987). Für weitere Darstellungen werden diese Daten aus den genannten Gründen nicht verwendet.

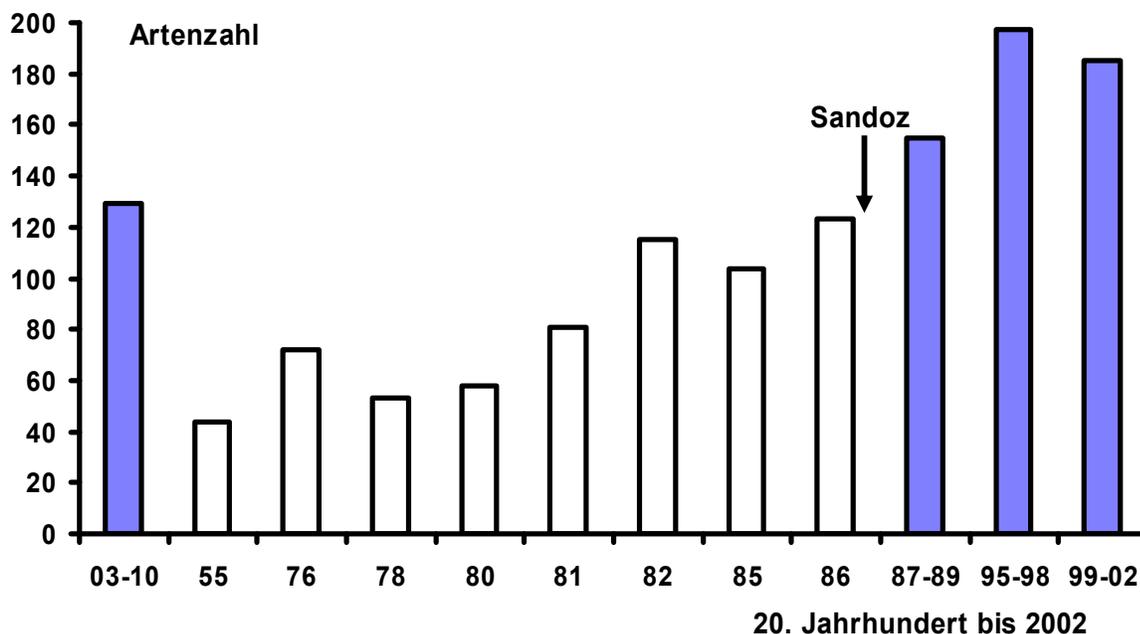


Abb. 10: Entwicklung der Artenzahl des **Makrozoobenthos*** im Oberrhein im Verlauf des letzten Jahrhunderts bis zum Jahr 2002 (vgl. Text). * *Tricladida, Mollusca, Hirudinea, Crustacea, Insecta excl. Diptera*

Die vorstehende Darstellung lässt keinen unmittelbaren Rückschluss etwa auf eine vollständige Erholung der Lebensgemeinschaft aufgrund wieder hergestellter guter Lebensbedingungen zu. Vielmehr hat, wie bereits beschrieben (MARTEN 1994b), ein starker qualitativer Wechsel in der Artzusammensetzung in der betrachteten Zeitspanne stattgefunden. Viele Makrozoobenthosarten sind in der Vergangenheit aus Nordamerika und dem Mittelmeergebiet in den Rhein eingeschleppt worden oder eingewandert. Die meisten dieser Einwanderer (sog. Neozoen) sind Schnecken und Muscheln sowie Krebstiere mit geringen ökologischen Ansprüchen (KINZELBACH 1972, 1977, 1978). Dies erklärt die heute immer noch hohe oder sogar beträchtlich höhere Artenzahl in diesen Tiergruppen.

Die Ergebnisse von Ähnlichkeitsberechnungen spiegeln die Veränderungen der Fauna im Oberrhein während des letzten Jahrhunderts besser wider:

Bereits im Vergleich zu der Untersuchungsperiode 1987-1989 sind 34 % der Arten ausschließlich vom Beginn des Jahrhunderts bekannt. 40 % der Arten wurden erst im Zuge der zweiten Untersuchungsperiode festgestellt. Lediglich 26 % der Arten waren beiden Untersuchungen gemeinsam (Abb. 13, oben). Der Vergleich der historischen Befunde mit den Ergebnissen der beiden letzten Untersuchungsperioden offenbart einen zunehmenden Anteil von Arten im Rhein, die erstmalig nachgewiesen wurden. Viele der ehemals häufigen Besiedler sind dagegen heute im Rhein ausgestorben (s. z. B. Abb. 11 und Abb. 12).



Abb. 11: Im Rhein ausgestorben aber in Reliktpopulationen aus Nebenflüssen bekannt: die Rheinmücke *Oligoneuriella rhenana* (eine Eintagsfliegenart).



Abb. 12: Ebenfalls im Rhein ausgestorben: Die Steinfliege *Besdolos imhoffi* ist aus Nebenflüssen der Donau bekannt.

Dagegen ist der Anteil der gemeinsamen Arten, z. B. im Vergleich der Befunde 1987-1989 und 1995-2002, mit 47 % vergleichsweise hoch, nur wenige Arten der ersteren Untersuchungsperiode (1987-1989, 11 %) wurden nicht wieder gefunden (Abb. 13, Mitte). Insbesondere aber die vielen Neufunde der letzten Periode bedingen den Unterschied in der Faunenzusammensetzung. Wird der Wechsel im Artenspektrum über den gesamten Zeitraum verglichen, so ergibt sich eine niedrige faunistische Ähnlichkeit von 28 %. Aus diesem Vergleich ergibt sich auch, dass mehr als 50 % der aus dem Rhein bekannten Tierarten des Makrozoobenthos zum ersten Mal im Zeitraum 1995-2002 gefunden wurden (Abb. 13, unten).

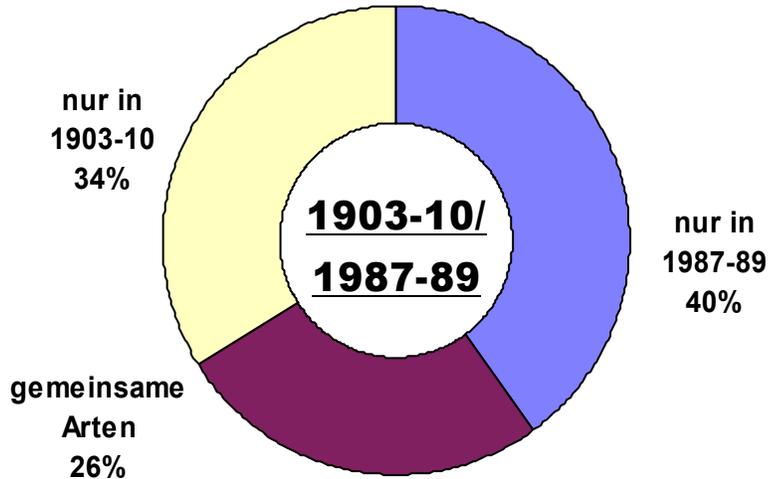
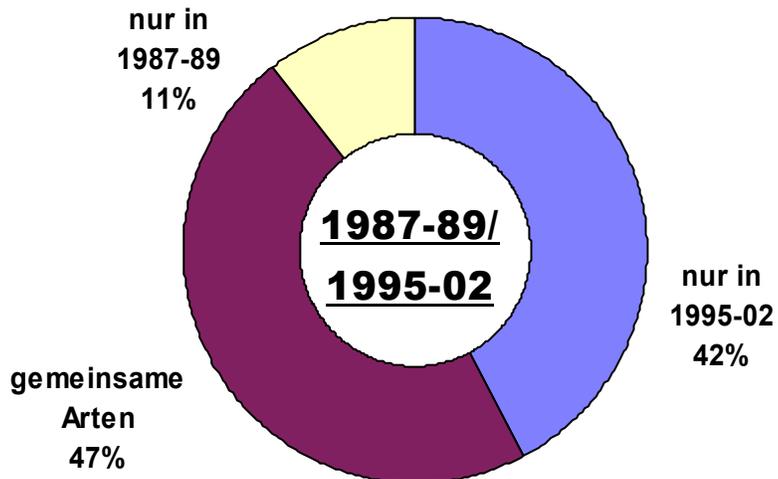
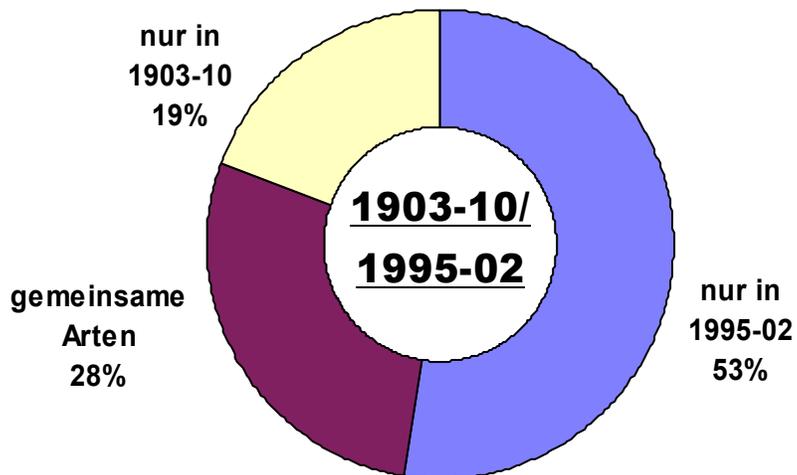
Gesamtzahl der verglichenen Arten: 215**Gesamtzahl der verglichenen Arten: 265****Gesamtzahl der verglichenen Arten: 272**

Abb. 13: Tortendiagramme mit Ähnlichkeiten der Besiedlung im Vergleich dreier Untersuchungsperioden.

Die beschriebenen gewaltigen Veränderungen in der Tierartenzusammensetzung im Rhein im Laufe des letzten Jahrhunderts werden durch das zurzeit übliche Gewässergüte-Beurteilungssystem nicht erfasst. Der Unterschied im Ergebnis für den Saprobienindex beträgt lediglich 0,27 Saprobienindexeinheiten und liegt in der Spanne der Gewässergüteklasse II (MARTEN 1994b). Die generelle Beurteilung der Gewässergüte des Rheins fällt also sowohl zu Beginn des Jahrhunderts als auch derzeit mit β -mesosaprob, d. h. mäßiger organischer Belastung, gleich aus. Die Veränderungen in der Tierartenzusammensetzung weisen auf weitere Belastungsqualitäten hin, die nicht durch den Saprobienindex wiedergespiegelt werden. Neben der Veränderung der Wasserzusammensetzung, z. B. dem Gehalt an Salzen, haben auch bauliche Veränderungen Auswirkungen auf die Besiedlung. Zumindest im Falle des Rheines, für den das Wissen über die Faunengeschichte und die derzeitige Biozönose größer ist als für jeden anderen Fluss dieser Größenordnung, wird die aktuelle faunistische Qualität in Zukunft zur Darstellung der Wasserqualität und noch viel mehr zur Beschreibung der Gewässerqualität mit herangezogen werden müssen. Die Vorgaben der neuen EG-Wasserrahmenrichtlinie mit der Forderung einer guten ökologischen Qualität als Entwicklungsziel, zu der neben geringer Belastung auch eine naturgemäße Besiedlung der Lebensräume gehört, weisen in die richtige Richtung. Ein allgemein anerkanntes Beurteilungssystem zur Feststellung und Bewertung der ökologischen Qualität besteht jedoch noch nicht.

Verschiedene Arten, die vom Beginn des 20. Jahrhunderts gemeldet wurden, konnten während der letzten Intensivuntersuchungen in Hoch- und Oberrhein nicht mehr aufgefunden werden. Unter diesen sind eine Reihe von Arten, die in ganz Baden-Württemberg als ausgestorben gelten, so z. B. der Strudelwurm *Bdellocephala punctata*, die Schnecke *Myxas glutinosa*, die Muscheln *Pseudanodonta elongata* und *Sphaerium solidum*, die Eintagsfliegen *Ephemera lineata*, *Heptagenia coeruleans*, *Leptophlebia vespertina* und *Rhithrogena alpestris*, die Steinfliegen *Besdolus ventralis*, *Isogenus nubecula*, *Isoperla obscura* und *Xanthoperla apicalis* sowie die Köcherfliegen *Rhyacophila pascoei*, *Stactobiella risi* und *Triaenodes conspersus*. Einige Arten der damaligen Listen wurden im Zuge der jüngsten Aufsammlungen aber im Hochrhein oberhalb von Basel wieder aufgefunden. Von diesen Arten, ist anzunehmen, dass sie sich bei besseren Wasserverhältnissen wieder im Oberrhein ansiedeln und ausbreiten können: die Eintagsfliege *Rhithrogena germanica*, die Steinfliege *Perlodes microcephalus* und die Köcherfliegen *Agapetus ochripes*, *Hydropsyche instabilis*, *Lasiocephala basalis* sowie *Odontocerum albicorne*.

5.4.4 Einwanderung und Ausbreitung von Neozoen in Konkurrenz zur einheimischen Fauna

Die Liste der Tierarten-Bestandsaufnahme von 1987-89 enthält bereits einige Arten, die als Neozoa für den Rhein inzwischen wohlbekannt sind (TITTIZER et al. 2000) und in alten Arbeiten nicht genannt werden: *Dugesia tigrina*, *Potamopyrgus antipodarum*, *Physella acuta* (Abb. 14),

Proasellus meridianus, *Echinogammarus berilloni*, *Atyaephyra desmaresti*, *Orconectes limosus* (Abb. 15).



Abb. 14: Die spitze Blasenschnecke *Physella acuta*.



Abb. 15: Der Nordamerikanische Flusskrebis *Orconectes limosus*. Pärchen in Kopula.

Bis zur Sammelperiode 1995-98 erreichten dann weitere Neozoen den Oberrhein: *Hypania*



Abb. 16: Der Süßwasserpolychaet *Hypania invalida*.

invalida (Abb. 16), *Limnomysis benedeni*, *Jaera istri* und *Echinogammarus ischnus*. Diejenigen, die höchste Abundanzwerte und großen Bekanntheitsgrad erreichten (z. B. Muschelsterben im Neckar) waren die beiden Muschelarten der Gattung *Corbicula*, *C. fluminalis* and *C. fluminea* (Abb. 17), gefolgt vom Schlickkrebis *Corophium curvispinum*, der im Verdacht steht den Rückgang der Dreikantmuschel *Dreissena polymorpha* durch unmittelbare Nahrungskonkurrenz infolge

Überziehens der Muscheln mit seine Fangnetzen ursächlich bewirkt zu haben. *Corophium* ist gegenwärtig weitgehend durch die aus dem Donaeinzugsgebiet stammenden beiden Flohkrebis-Arten der Gattung *Dikerogammarus*, *D. haemobaphes* und *D. villosus* (Abb. 18), ersetzt. In letzter Zeit kamen noch der



Abb. 17: Die Körbchenmuschel *Corbicula fluminea*.



Abb. 18: Der große Höckerflohkrebis *Dikerogammarus villosus*.

Strudelwurm *Dendrocoelum romanodanubiale*, die Süßwassergarnele *Hemimysis anomalia* und der Flohkrebis *Echinogammarus trichiatus* hinzu (Übersicht über Art, Herkunft und Ausbreitung der Neozoa siehe Tab. 4).

Tabelle 4: Herkunft, Erstnachweis in Deutschland und Nachweise (Konstanz in %) von Neozoa an Untersuchungsstellen von Hoch- und Oberrhein 1995 bis 2002 (in Klammern zusätzlich aus 1987-89).

	Herkunft	Erster Nachweis in Deutschland	XX035	XX102	XX174	XX198	XX272	XX318	XX361	XX435
TURBELLARIA										
<i>Dugesia tigrina</i> (GIRARD, 1850)	Nordamerika	1931	55	24	23	32	3	23	10	3
<i>Dendrocoelum romanudanubiale</i> (CODREANU, 1949)	Pontokaspis	1992					3		3	3
MOLLUSCA										
<i>Potamopyrgus antipodarum</i> (GRAY, 1843)	Neuseeland Pontokaspis	etwa 1900	3	3	87	84	97	93	93	90
<i>Lithoglyphus naticoides</i> (C. PFEIFFER, 1828)	(Dnjepr-Gebiet)	1883								7
<i>Physella acuta</i> (DRAPARNAUD, 1805)	Südwesteuropa	1895			16	39	53	7	7	41
<i>Physella heterostropha</i> (SAY, 1817)	Nordamerika Südost- und Südwesteuropa	vor 1927					3			3
<i>Ferrissia wautieri</i> (MIROLLI, 1960)		1952			(4)			3		(4)
<i>Corbicula fluminalis</i> O.F.MÜLLER, 1774	Asien	1983			3		10	20	17	45
<i>Corbicula fluminea</i> O.F.MÜLLER, 1774	Asien	1983			87	65	97	83	83	72
<i>Dreissena polymorpha</i> (PALLAS, 1771)	Pontokaspis	1826	93	79	52	39	60	67	57	79
POLYCHAETA-ARCHIANNELIDA										
<i>Hypania invalida</i> (GRUBE, 1860)	Pontokaspis	1958			35	26	67	73	50	76
OLIGOCHAETA										
<i>Branchiura sowerbyi</i> BEDDARD, 1892	Südasien	1959	7	21						79
HIRUDINEA										
<i>Caspiobdella fadejewi</i> (EPSHTEIN, 1961)	Pontokaspis	vor 1987	48	28	19	3	10	60	13	72
MYSIDACEA										
<i>Hemimysis anomala</i> SARS, 1907	Pontokaspis	1997					7			7
<i>Limnomysis benedeni</i> CZERNIAVSKY, 1882	Pontokaspis	1994					47	47	20	52
ISOPODA										
<i>Proasellus coxalis</i> (DOLLFUS, 1892)	Mittelmeerraum Westeuropa,	etwa 1931		14	16		40	3	3	3
<i>Proasellus meridianus</i> (RACOVITZA, 1919)	Mittelmeerraum	1984				(4)	(4)	(17)	(9)	
<i>Jaera istri</i> VIEUILLE, 1979	Pontokaspis	1958			42	23	53	63	53	52
AMPHIPODA										
<i>Corophium curvispinum</i> G.O.SARS, 1895	Pontokaspis	1912			58	13	90	67	47	90
<i>Dikerogammarus haemobaphes</i> (EICHWALD, 1841)	Pontokaspis	1976					23	10	3	14
<i>Dikerogammarus villosus</i> MARTINOV, 1894	Pontokaspis	1991		3	77	68	93	93	90	0
<i>Echinogammarus berilloni</i> (CATTI, 1878)	Mittelmeerraum	1924					70	40	10	
<i>Echinogammarus ischnus</i> (STEBBING, 1899)	Pontokaspis	1977			39	45	57	20	90	34
<i>Echinogammarus trichiatus</i> (MARTYNOV, 1932)	Pontokaspis	1996			6		3			21
<i>Gammarus tigrinus</i> SEXTON, 1939	Nord-Amerika	1957				(4)	23	47	13	48
<i>Orchestia cavimana</i> HELLER, 1865	Ostmediteran- pontischer Raum	1920					10			
DECAPODA										
<i>Atyaephyra desmaresti</i> (MILLET)	Mittelmeerraum	1932					47	10	3	17
<i>Orconectes limosus</i> (RAFINESQUE, 1817)	Nord-Amerika	1880		10	3	3	30	10		7

Einige dieser Neozoen haben beachtliche Verbreitung und Häufigkeit im Rhein erreicht (Abb. 19) und bedeuten für viele einheimische bzw. schon seit längerem eingewanderte Tierarten eine erhebliche Raum- und Nahrungskonkurrenz. Einige mit den Neueinwanderern im unmittelbaren Wettbewerb stehende Arten sind demzufolge insgesamt in ihrer Populationsdichte eher degressiv (Abb. 20).

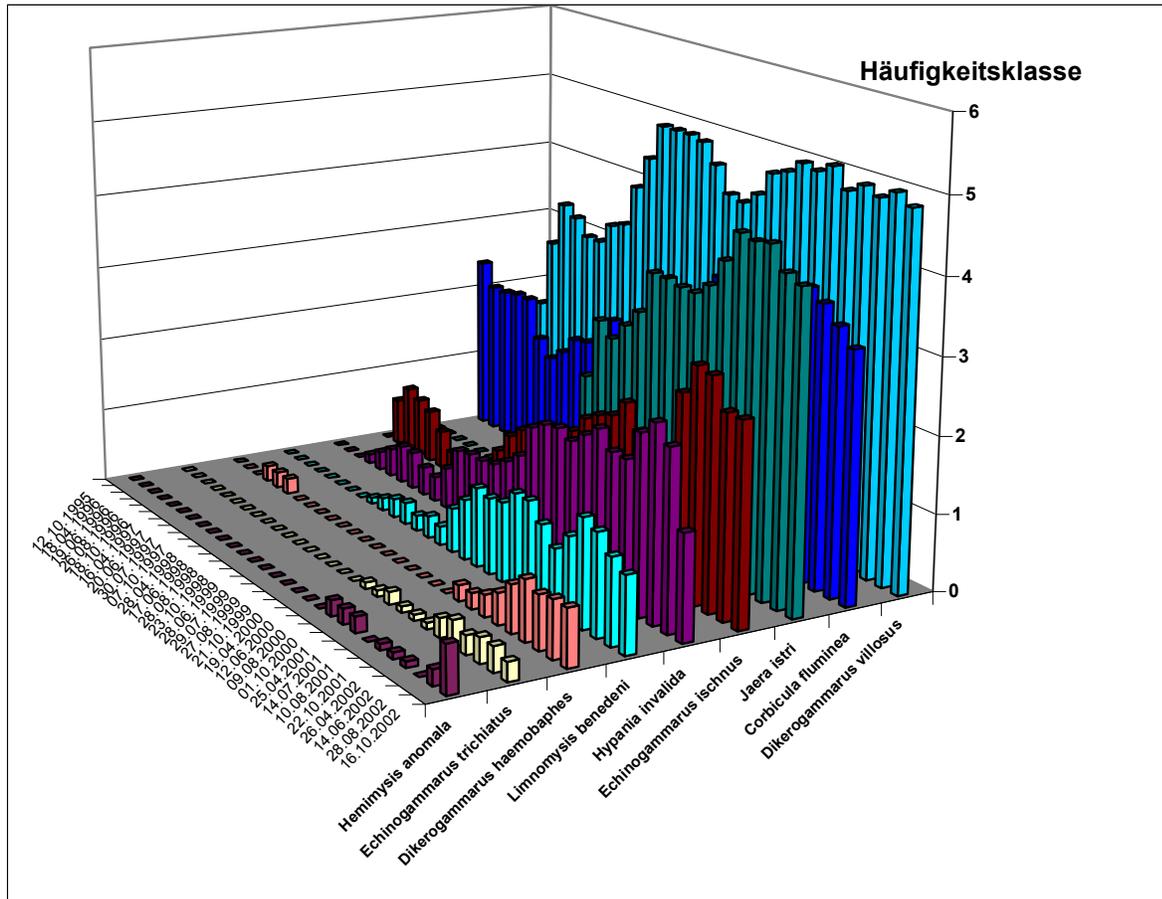


Abb. 19: Zunahme der Häufigkeit verschiedener Neozoenarten im Untersuchungszeitraum 1995-2002. Die dargestellten Häufigkeiten sind über alle 8 Probestellen gemittelte Werte eines 7-stufigen exponentiell skalierten Häufigkeitsklassensystems. Die Häufigkeitswerte jeder Art sind zur Verdeutlichung der Tendenz zusätzlich über die Zeitachse gemittelt (running mean über 3 Werte).

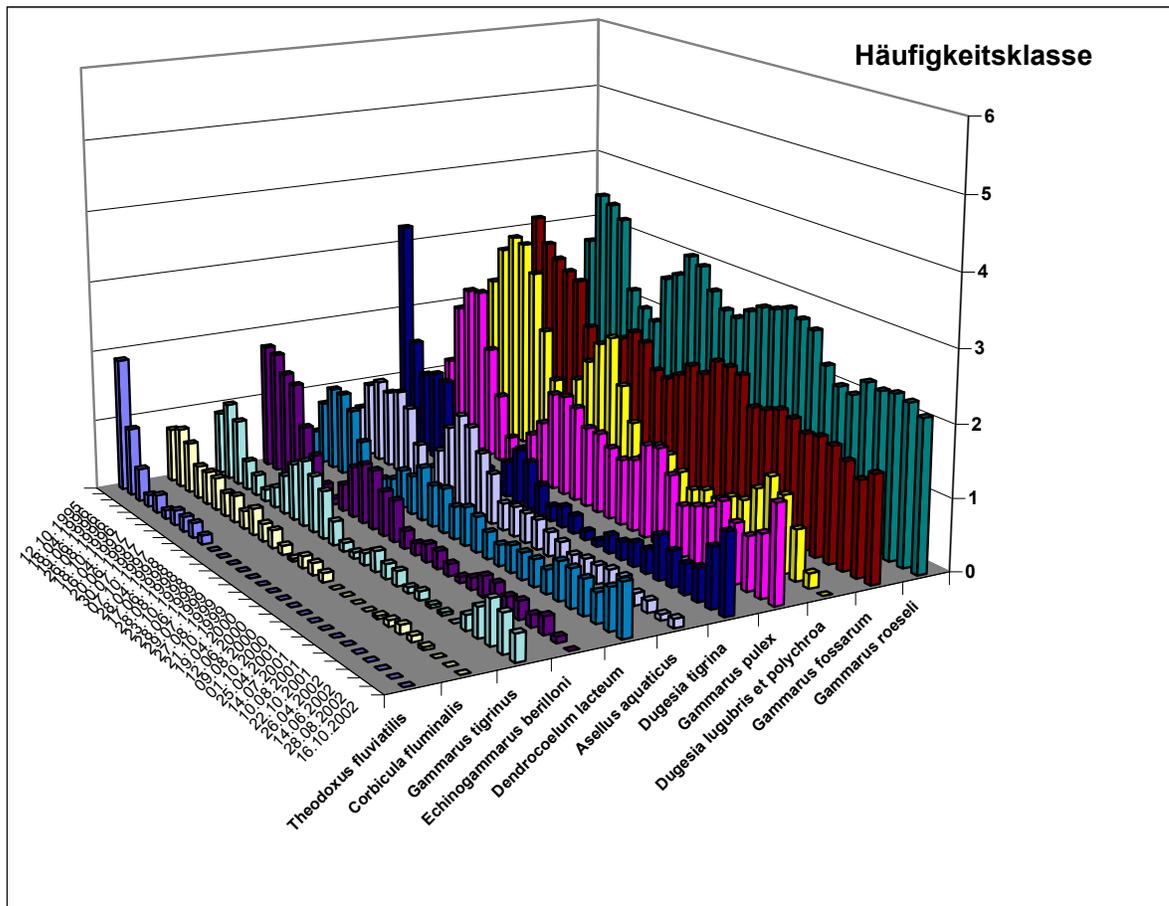
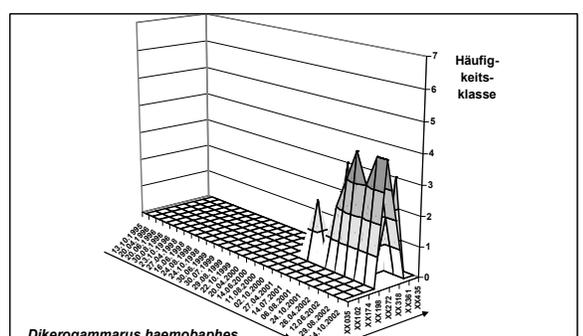
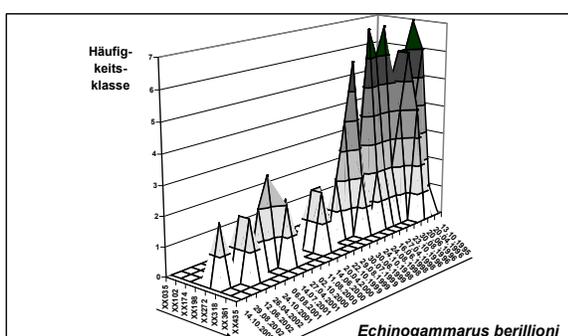
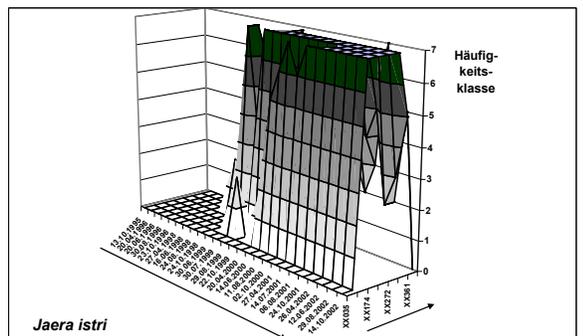
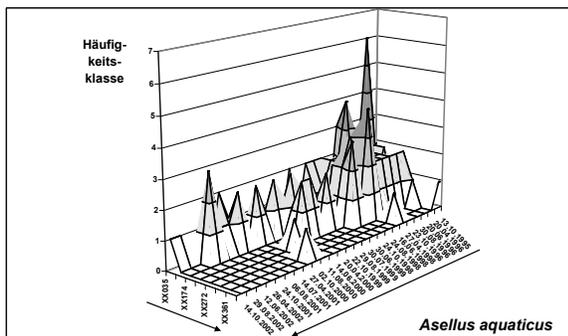
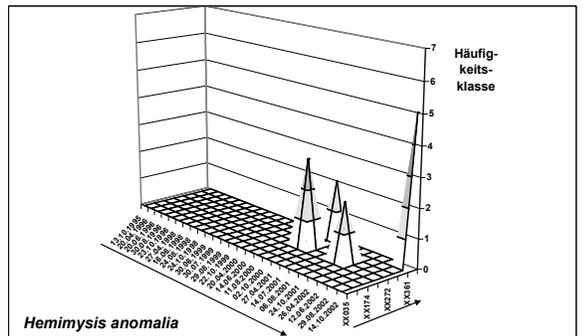
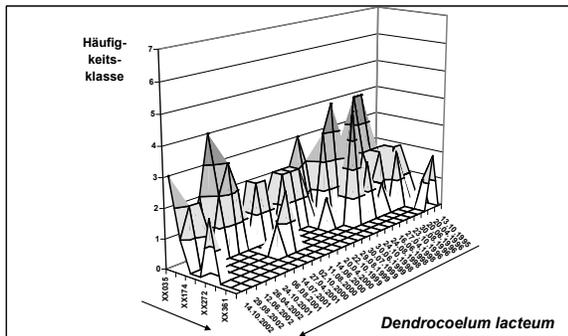
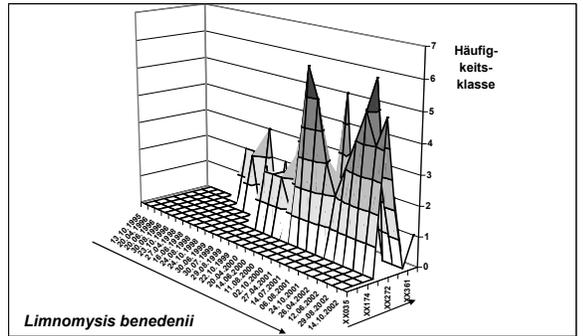
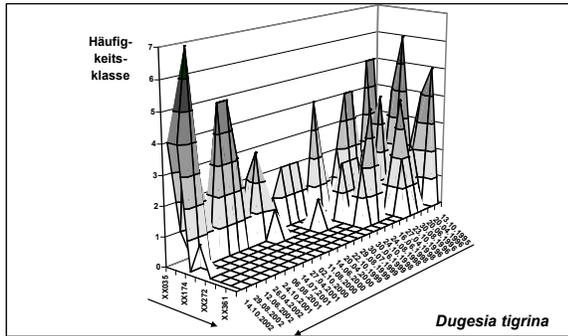
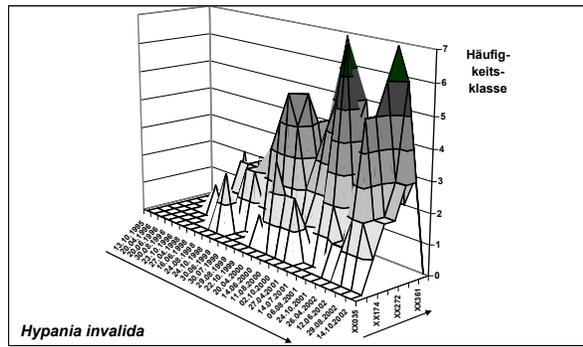
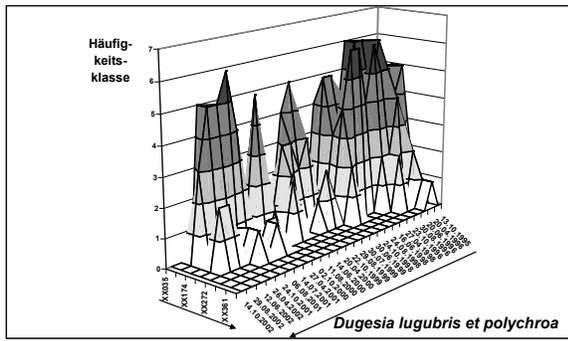


Abb. 20: Abnahme der Häufigkeit verschiedener langjähriger Besiedler (auch Neozoa) des Rheins im Untersuchungszeitraum 1995-2002. Die dargestellten Häufigkeiten sind über alle 8 Probestellen gemittelte Werte eines 7-stufigen exponentiell skalierten Häufigkeitsklassensystems. Die Häufigkeitswerte jeder Art sind zur Verdeutlichung der Tendenz zusätzlich über die Zeitachse gemittelt (running mean über 3 Werte).

Sich abzeichnende Tendenzen in der Bestandsentwicklung als Folge der im Zuge des Rückgangs der organischen Belastung zunehmend begrenzten Nahrungs-Ressourcen sind für einige der hier behandelten Arten aus der nachfolgenden Gegenüberstellung der Verteilung der Häufigkeitsklassenwerte einzelner Arten über die Probestellen und die Zeitachse zu erahnen (Abb. 21). Die Arten sind in der Gegenüberstellung (linkes und rechtes Diagramm) überwiegend so gewählt, wie sie sich aus biologischer Sicht in ihrer Konkurrenz bedingen könnten, in einigen Fällen aber auch nur zufällig nach Passgenauigkeit (gute Ergänzung beider Verbreitungsbilder links und rechts). Die tatsächlichen Abhängigkeiten zwischen den Arten können nur autökologische Studien aufklären.



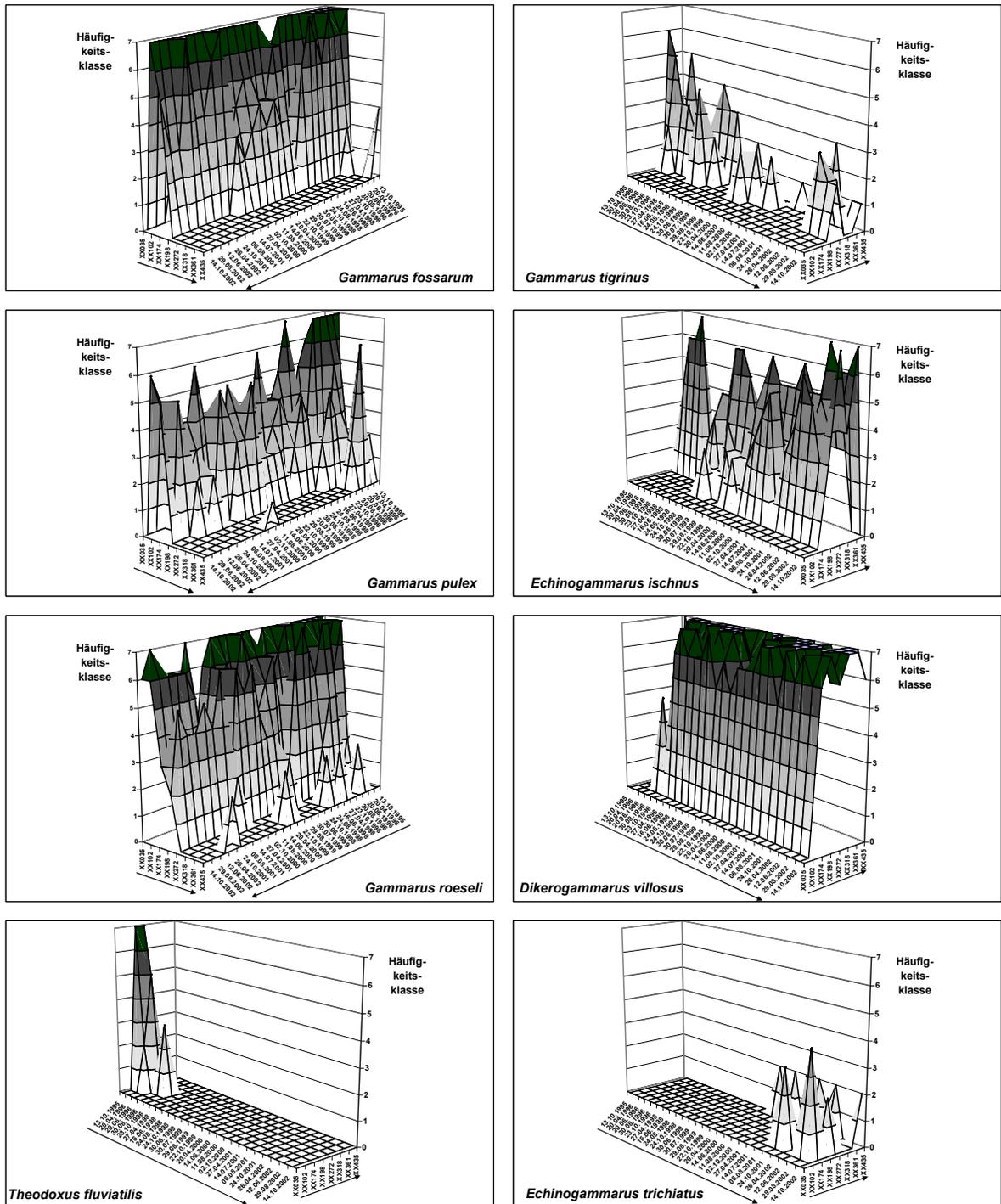


Abb. 21: Häufigkeitsverteilung einzelner Arten über Raum und Zeit in Hoch- und Oberrhein. Die Pfeile geben die Orientierung der Zeitachse (Beprobungstermine von 1995 bis 2002) und die Fließrichtung (Probestellen XX035-XX435) an.

5.4.5 Wiederauftreten von Gütezeigern

Das Auftreten von Arten wie *Baetis muticus*, *Heptagenia flava*, *Ephoron virgo*, *Ephemera vulgata*, *Limnius perrisi* und *Macronychus quadrituberculatus* bestätigen die bessere Wasserqualität zum Ausgang des 20. Jahrhunderts.

Einige Arten wie *Polycelis felina*, *Planorbis carinatus*, *Baetis lutheri*, *Baetis scambus*, *Ephemerella notata*, *Paraleptophlebia submarginata*, *Haliplus flavicollis*, *Haliplus obliquus*, *Oreodytes sanmarkii* und *Mesophylax impunctatus*, die bisher nur vom Rhein oberhalb von Basel gemeldet wurden, können durchaus noch als künftige Besiedler des Oberrheins in Frage kommen. Unter diesen Arten ist die typische hyporhithrale/epipotamale Eintagsfliege *Ephemerella notata* sicherlich die interessanteste, da sie in ganz Deutschland als selten und bedroht gilt.

5.4.6 Seltene, gefährdete, so genannte Rote-Liste-Arten

Faunistische Monitoringprogramme liefern auch interessante Befunde für Naturschutzfragestellungen, insbesondere hinsichtlich des Vorkommens seltener Arten für den Artenschutz. In Tabelle 5 sind die Artenzahlen für Deutschland, Baden-Württemberg und den Rhein sowie Art und Anzahl bedrohter Tierarten des Rheins dreier faunistisch und ökologisch gut bekannter Fließgewässer-Tiergruppen vergleichend dargestellt.

Tabelle 5: Artenzahlen und Schutzstatus der Eintagsfliegen (Ephemeroptera), Steinfliegen (Plecoptera) und Köcherfliegen (Trichoptera). Kategorien: 0 = Ausgestorben oder verschollen, 1 = Vom Aussterben bedroht, 2 = Stark gefährdet, 3 = Gefährdet, D = Daten defizitär.

Artenzahl:	Ephemeroptera ⁽¹⁾	Plecoptera ⁽²⁾	Trichoptera ⁽³⁾
in Deutschland:	102	120	311
in Baden-Württemberg:	84	78	242
aktuelle Artenzahl im Rhein (87-02):	44	11	90
davon Rote Liste Arten:	14	1	13
	1 - <i>Caenis pusilla</i>	3 - <i>Leuctra geniculata</i>	0 - <i>Ceraclea aurea</i>
	2 - <i>Ephemerella notata</i>		1 - <i>Allogamus ligonifer</i>
	3 - <i>Baetis buceratus</i>		2 - <i>Leptocerus interruptus</i>
	3 - <i>Baetis pentapleboodes</i>		3 - <i>Ithytrichia lamellaris</i>
	3 - <i>Baetis vardarensis</i>		3 - <i>Hydroptila forcipata</i>
	3 - <i>Caenis lactea</i>		3 - <i>Hydroptila martini</i>
	3 - <i>Brachycercus harisella</i>		3 - <i>Hydroptila vectis</i>
	3 - <i>Procloeon pennulatum</i>		3 - <i>Brachycentrus subnubilus</i>
	3 - <i>Heptagenia flava</i>		3 - <i>Drusus trifidus</i>
	3 - <i>Ephemera glaucops</i>		3 - <i>Mesophylax impunctatus</i>
	3 - <i>Ephoron virgo</i>		3 - <i>Micropterna testacea</i>
	3 - <i>Potamanthus luteus</i>		3 - <i>Ceraclea nigronervosa</i>
	3 - <i>Procloeon pennulatum</i>		3 - <i>Oecetis testacea</i>
	D - <i>Baetis liebenauae</i>		
Erstnachweise im Rhein, neu für Baden-Württemberg:	<i>Baetis liebenauae</i>		<i>Hydroptila martini</i>
	<i>Baetis vardarensis</i>		

⁽¹⁾ MALZACHER et al. 1998; MARTEN et al. 1996, 1999 ⁽²⁾ REUSCH & WEINZIERL 1998; MARTEN et al. 1996, 1999 ⁽³⁾ KLIMA et al. 1994, 1998

Ein bedeutender Anteil der im Rahmen des baden-württembergischen Projektes zum biologischen Trendmonitoring nachgewiesenen Tierarten sind in einer der verschiedenen Schutzkategorien der Roten Liste Deutschlands angesiedelt: Zwischen 30 und 40 % aller Arten der Ephemeroptera, Plecoptera und Trichoptera Baden-Württembergs sind gefährdet. Von der rezenten Wirbellosen-Fauna des Rheins sind 10 bis 32 % (abhängig von der Gruppe) gefährdet (Tabelle 5). Von diesen sei die Köcherfliege *Ceraclea aurea* genannt, die bisher als in Deutschland ausgestorben galt, aber auch *Caenis pusilla* und *Allogamus ligonifer*, die in die Schutzkategorie 1 - vom Aussterben bedroht - eingeordnet sind.

SCHÖLL (2002) meldet im Rahmen der IKSR Aktivitäten die Eintagsfliegen *Ephemera lineata* (in Kategorie 1), *Caenis rivulorum* (Kategorie 3) und *Baetis gemellus* (Kategorie R). Bei *Ephemera lineata* ist eine Verwechslung mit der vergleichsweise ähnlichen *Ephemera glaucops* unter Berücksichtigung der damals spärlichen Bestimmungsliteratur nicht auszuschließen, *Baetis gemellus* gilt als fragliches Taxon. Allein *Caenis rivulorum* ist unbedenklich zu den oben genannten 14 Rote-Liste-Eintagsfliegenarten hinzuzurechnen. Weiterhin nennt SCHÖLL (l. c.) die Steinfliege *Leuctra armata* (Kategorie R) aus dem Hochrhein und die Köcherfliegen *Agapetus delicatulus* (Kategorie 3) und *Stactobia moselyi* (Kategorie 2) ebenfalls beide aus dem Hochrhein.

Nur regelmäßige Nachuntersuchungen können die weitere Entwicklung dieser Arten belegen, mit dem Ziel deren Schutzstatus fortzuschreiben.

5.4.7 Vergleich des Artenreichtums der Fauna des Rheins mit dem anderer Fließgewässer Baden-Württembergs

Die seit 1995 regelmäßig durchgeführten Untersuchungen der Lebensgemeinschaft an Bächen und Flüssen Baden-Württembergs ermöglichen erste regionale Vergleiche (Abb. 22). Der Rhein weist an einigen Stellen eine verhältnismäßig hohe Artendichte auf. Grund dafür ist der hohe Anteil eingewanderter, gebietsfremder Arten, die in einem Maße die heutzutage infolge der zurückliegenden Wasserverschmutzung noch immer defizitäre standorttypische Fauna des Rheins ergänzen, wie es in anderen Gewässern nicht der Fall ist.

Klasse	Bezeichnung Biomonitoring	Artenzahl
I	herausragende Artenfülle	> / = 160
I-II	sehr hohe Artenvielfalt	130 - 159
II	hohe Artendichte	100 - 129
II-III	mäßige Artendichte	70 - 99
III	geringes Artenspektrum	40 - 69
III-IV	stark verarmtes Artenspektrum	10 - 29
IV	abiotisch	< 10

- Hauptgewässer-Untersuchungsstelle
- Nebengewässer-Untersuchungsstelle
- ● Dauerbeobachtungsstelle

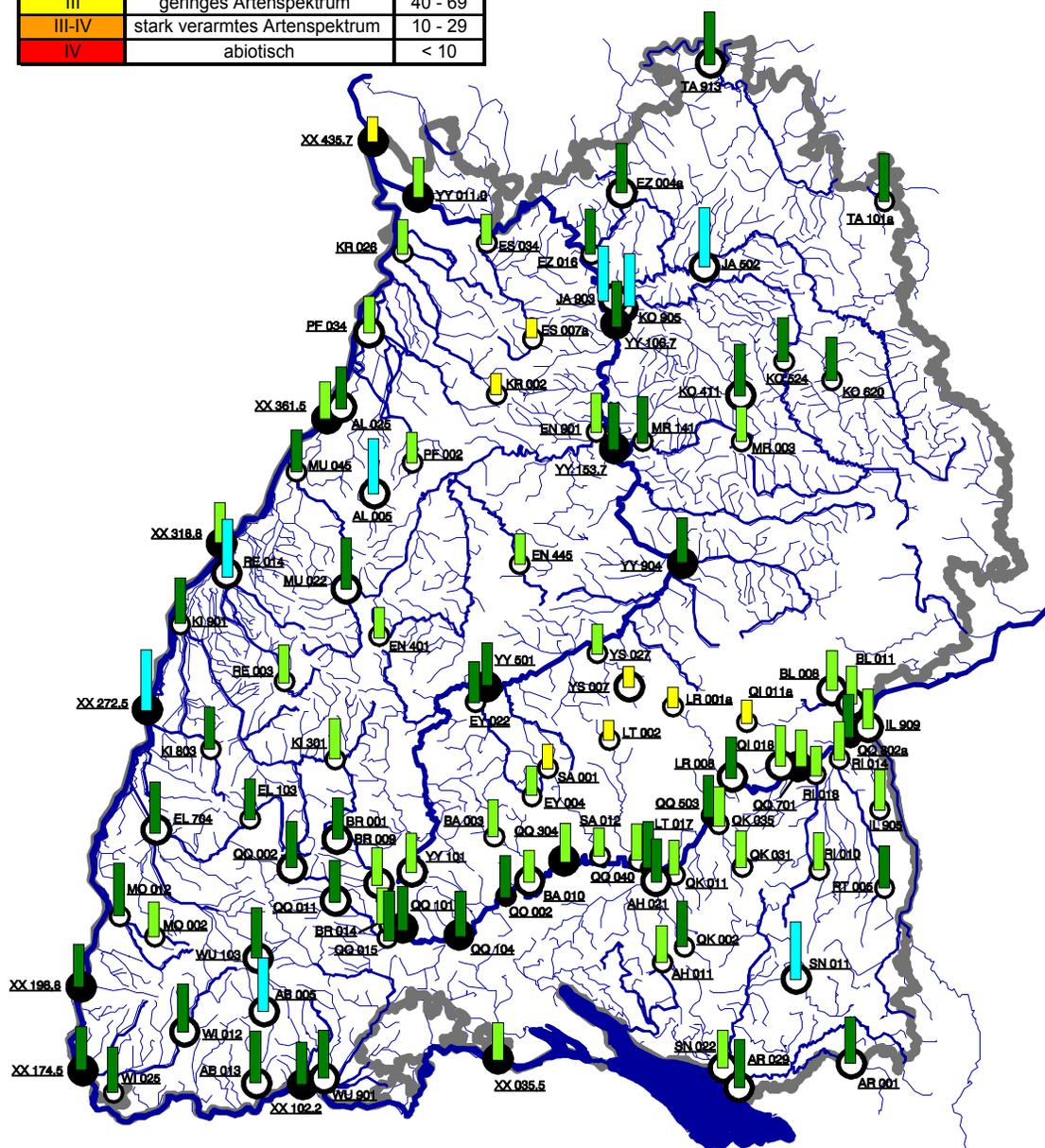


Abb. 22: Biodiversität in Fließgewässern Baden-Württembergs auf Basis der Befunde von 1995-1998 an Probestellen gemäß Code-Nummern.

6. Schlussfolgerungen und Ausblick

Der Zustand des Makrozoobenthos des Rheins hat sich in den letzten Jahren sowohl im Hinblick auf seinen Artenreichtum als auch bzgl. der Qualität, beurteilt nach den ökologischen Ansprüchen der Arten, deutlich verbessert. Im Vergleich zur Untersuchung 1987-1989 konnte während der jüngsten Untersuchungen im Rahmen des biologischen Trendmonitoring eine 30 % höhere Artenvielfalt festgestellt werden. Viele Arten, die gute Wasserqualität bevorzugen, sind aus Refugien, z. B. in ungestörten Nebengewässern, in den Hauptstrom zurückgekehrt.

Aber auch die Invasion von ökologisch anspruchsloseren Neozoen ist nach wie vor in vollem Gange. Auch gut 10 Jahre nach Anschluss des Rhein-Main-Donau-Kanals wandern immer wieder neue Arten aus dem pontokaspischen Raum in das Rheingebiet ein bzw. werden über den Schiffsverkehr, hauptsächlich mit deren Ballastwasser, auch aus anderen Flussgebieten als dem Donaoraum eingeschleppt. Mit nachhaltigen Folgen für die autochthone Makrozoobenthos-Fauna ist zu rechnen. Von den höheren Krebsen ist die Besetzung der ökologischen Nische des um 1900 infolge Bejagung und Krebspest stark zurückgegangenen autochthonen Edelkrebses *Astacus astacus* durch den gezielt vom Menschen als Ersatz eingebrachten Nordamerikanischen Flusskrebs *Orconectes limosus* bekannt. Für das Makrozoobenthos sind solche Entwicklungen aufgrund der noch recht kurzen Beobachtungsreihe derzeit noch nicht in vollem Umfang absehbar. Es ist aber heute schon zu beobachten, dass die Besiedlungsdichte einheimischer Wasserinsekten und Bachflohkrebse durch Massenvorkommen der Körbchenmuschel *Corbicula spp.* sowie des Schlickkrebschens *Corophium spp.* und vor allem der als Allesfresser geltenden *Dikerogammarus*-Arten, nahen Verwandten der einheimischen Bachflohkrebse, völlig überdeckt wird. Langfristig werden entsprechende Populationseinbußen zum vollständigen Verschwinden von Arten führen, da der Fortpflanzungserfolg bei zu geringer Populationsdichte nicht mehr garantiert ist. Erst längerfristige Datenreihen können ein eindeutiges Bild von den Populationsentwicklungen einzelner Arten zeichnen, da kurzfristig immer mit Dichteschwankungen aufgrund vielfältiger Einflüsse zu rechnen ist.

Schon jetzt liefern die faunistischen Erhebungen im Rahmen des Trendbiomonitoring interessante Daten zu den aktuellen Gefährdungsgraden einzelner Arten und leisten damit einen wichtigen Beitrag zur Bewertung der Gefährdung für die Fortschreibung der Roten Listen. Viele seltene und bedrohte Tierarten konnten bei diesen Untersuchungen in Baden-Württemberg nachgewiesen werden. 20 % der gegenwärtigen Makrozoobenthos-Fauna des Rheins ist, beurteilt nach den drei wichtigen Tiergruppen Steinfliegen, Eintagsfliegen und Köcherfliegen und nach den geltenden Kategorien der Roten Liste als gefährdet eingestuft. Berücksichtigt man die Fundmeldungen früherer Autoren über Makrozoobenthos-Arten am Rhein, so ist in der heutigen Faunenkomposition ein noch immer großes Defizit an ehemaligen Besiedlern des Rheins festzustellen. Die damals z. T. häufigen Arten sind inzwischen auch andernorts in Baden-Württemberg selten und werden aus faunistischer Sicht generell als bedeutsam angesehen.

Die im Rahmen des biologischen Trendmonitoring erzielten Untersuchungsergebnisse setzen Maßstäbe für die Beschreibung und Beurteilung aquatischer Lebensgemeinschaften auf naturwissenschaftlicher Grundlage, insbesondere auch als Voraussetzung für die Planung und Effizienzkontrolle wasserbaulicher Eingriffe bei Renaturierungsvorhaben, oder für die Bewertung biologischer Veränderungen im Zuge ökologischer Beweissicherungsverfahren. Im Hinblick auf die noch bevorstehende Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie für Gewässer sind grundlegende Erkenntnisse über die Erfassung und ökologische Bewertung der vorkommenden Organismen im und am Gewässer auf Basis der Lebensgemeinschaften erforderlich. Insbesondere vor dem Hintergrund der inzwischen kaum noch Sanierungsbedarf ausweisenden Gewässergütekarten sind Untersuchungsstrategien, die geeignet sind Veränderungen der Artenvielfalt im Hinblick auf die ökologische Funktionsfähigkeit aufzuzeigen, von großer Bedeutung. Die ökologische Qualität von Gewässern ist nicht mit wenigen Indikatorarten zu beschreiben. Vielmehr ist mit solchen Methoden zu operieren, die der Komplexität der Gewässerökosysteme und der Eigenart der untersuchten Indikatoren zumindest ausschnittsweise gerecht werden. Dem Makrozoobenthos als einem wesentlichen Teil der gesamten Biomasseproduktion im Gewässer kommt dabei eine wesentliche Rolle zu. Die in diesem Sinne durchgeführten biozönotischen Untersuchungen des biologischen Trendmonitoring sind eine wesentliche Ergänzung der zur Ursachenanalyse unabdingbaren chemischen Beschaffenheitsanalysen. Aufgrund ihrer aufwandsabhängig zwangsläufig begrenzten Faktorenauswahl können chemische Analysen hinsichtlich der Überwachungssicherheit jedoch mit Lücken behaftet sein. Lücken, die mit biologisch/biozönotischen Untersuchungen zu Veränderungen im Gewässersystem gemäß ihrem integrierenden, indikatorischen Wert geschlossen werden.

Im Strategiepapier der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser wird aus einer Reihe vorgestellter und bewerteter Untersuchungsmethoden ein intensives Trendmonitoring des Makrozoobenthos als effektivste und praktikabelste Methode zum Monitoring von meist schleichend eintretenden Langzeiteffekten der Verunreinigung der Gewässer empfohlen (LAWA 2000).

Insbesondere unter dem Gesichtspunkt der sich derzeit abzeichnenden Klimaänderung ist mit dem weiteren Einwandern Wärme liebender Arten zu Lasten der Bewohner sommerkalter Fließgewässer zu rechnen. Die Antwort auf die Frage, inwieweit dadurch die Funktionalität des Ökosystems Fließgewässer nachhaltig beeinträchtigt wird, bleibt den Ergebnissen weiterer Untersuchungsjahre und der Auswertung weiterer Untersuchungsreihen vorbehalten.

7. Literatur

BEEGER, H. (1990): Staustufen, Polder und kein Ende. Die Ausbaumaßnahmen am Oberrhein von Tulla bis heute. - Mitt. Pollichia 77: 55-72.

BRAUKMANN, U., G. JÖCHLE, I. PINTER, W. SCHMITZ & H. VOBIS (1987): Der ökologische Zustand des Rheins und seiner Nebengewässer nach dem Sandoz-Unfall. - Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Editor).

CASPERS, N. (1980): Die Makrozoobenthos-Gesellschaften des Hochrheins bei Bad Säckingen. - Beitr. naturk. Forsch. Südwdtl. 39: 115-142.

EIDEL, K. (1937): Beiträge zur Insektenfauna des Rheins. - Beitr. naturk. Forsch. Südwestdeutschland 2 (1): 40-48.

FELBER, J. (1908): Die Trichopteren von Basel und Umgebung mit Berücksichtigung der Trichopterenfauna der Schweiz. - Archiv für Naturgeschichte (Berlin) 74: 7-90.

HYNES, H. B. N. (1961): The invertebrate fauna of a Welsh mountain stream. - Arch. Hydrobiol. 57/3: 344-388

KINZELBACH, R. (1972): Einschleppung und Einwanderung von Wirbellosen in Ober- und Mittelrhein. - Mz. Naturw. Arch. 11: 109-150.

KINZELBACH, R. (1977): Übersicht über das Makrozoobenthon des Rheins im Jahre 1976. - Gewässer und Abwässer (Krefeld) 62/63: 63-84.

KINZELBACH, R. (1978): Veränderungen der Fauna des Oberrheins. - Beih. Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ. 11: 291-301.

KINZELBACH, R. (1987): Die Tierwelt im Rhein nach dem November 1986. - Natur und Landschaft 62 (12): 521-526.

KLIMA, F. et al. (1994): Die aktuelle Gefährdungssituation der Köcherfliegen Deutschlands (Insecta, Trichoptera). - Natur und Landschaft (Stuttgart), 69 (11): 511-518.

KLIMA, F. et al. (1998): Rote Liste der Köcherfliegen (Trichoptera). In: Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.) (1998): Rote Liste gefährdeter Tiere Deutschlands. - Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, Heft 55: 112-118.

KOLKWITZ, R. & M. MARSSON (1908): Ökologie der pflanzlichen Saprobien. - Ber. Dt. Botan. Ges. 26a: 505-519.

KOLKWITZ, R. & M. MARSSON (1909): Ökologie der tierischen Saprobien. - Int. Revue ges. Hydrobiol. 2: 126-152.

LAUTERBORN, R. (1901): Die Saproelische Lebewelt. - Zoologischer Anzeiger 24: 50-59.

LAUTERBORN, R. (1903): Die Verunreinigung der Gewässer und die biologische Methode ihrer Untersuchung. Ludwigshafen: 33 S.

LAUTERBORN, R. (1917): Die geographische und biologische Gliederung des Rheinstroms, II. - S. Ber. Heidelb. Akad. Wiss. Math.- natw.-Kl. VIII B, 5. Abh.: 1-70.

LAWA (1996): Empfehlungen zum Einsatz von kontinuierlichen Biotestverfahren für die Gewässerüberwachung. - Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA, Hrsg.), Arbeitskreis 'Biomonitoring', Kulturbuch, Berlin: 1-38.

LAWA (2000): Einsatzmöglichkeiten des Biomonitorings zur Überwachung von Langzeit-Wirkungen in Gewässern. - Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA, Hrsg.); LAWA-Arbeitskreis 'Biomonitoring': Becker, A., Blübaum-Gronau, E., V. Danwitz, B., P. Diehl, K. Digel, V. Herbst, L. Höhne, L. Kuchler, M. Marten, & B. Rechenberg; Kulturbuch, Berlin: 44 S.

LAWA (2001): Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland - Verfahren für kleine und mittelgroße Fließgewässer. - Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA, Hrsg.), 1. Auflage 2001, Kulturbuchverlag Berlin.

LAWA (2002a): Gewässergüteatlas der Bundesrepublik Deutschland – Gewässerstruktur in der Bundesrepublik Deutschland 2001. – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Hannover 2002. Kulturbuchverlag Berlin.

LAWA (2002b): Gewässergüteatlas der Bundesrepublik Deutschland - Biologische Gewässergütekarte 2000. – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Hannover 2002. Kulturbuchverlag Berlin.

MALZACHER, P., U. JACOB, A. HAYBACH & H. REUSCH (1998): Rote Liste der Eintagsfliegen (Ephemeroptera). - In: Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.): Rote Liste gefährdeter Tiere Deutschlands. - Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, Heft 55: 264-267, Bonn

LfU (2003): Umweltdaten 2003 Baden-Württemberg. – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe: 272 S.

MARTEN, M. (1990): Die Wiederbesiedlung des Oberrheins nach dem Sandoz-Unfall. - In: Kinzelbach, R. & G. Friedrich (Hrsg.) (1990): Limnologie Aktuell 1, Biologie des Rheins. Gustav Fischer Stuttgart/New York: 227-238.

MARTEN, M. (1994a): Langzeitbiomonitoring in Fließgewässern Baden-Württembergs. Ökologische Beweissicherung zur Beschreibung der Auswirkung diffuser Belastungen unter besonderer Berücksichtigung des Makrozoobenthos - Methodologische Betrachtungen. - Deutsche Gesellschaft für Limnologie e. V. (1995), Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 1994, Band II, Kaltenmeier Söhne, Krefeld: 518-522.

MARTEN, M. (1994b): Faunistics of the upper Rhine River: Changes in the faunal composition caused by industrial contamination (e. g. the Sandoz accident). - Verh. Internat. Verein. Limnol. 25: 2502-2506.

MARTEN, M. (1996): Das Makrozoobenthos der oberen Donau, Arteninventar, Erfassungsstand, Längszonierung und saprobiologische Auswertungen. - Deutsche Gesellschaft für Limnologie e. V., Tagungsbericht 1995, Band II, Kaltenmeier Söhne, Krefeld: 582-586.

MARTEN, M. (1997): Ephemeroptera and Plecoptera of the Danube River in Baden-Württemberg (Germany). - In: LANDOLT, P. & M. SARTORI (eds.): Ephemeroptera and Plecoptera, Biology-Ecology-Systematics. Proceedings of the VIIIth International Conference on Ephemeroptera and XIth International Symposium on Plecoptera, MTL Fribourg: 167-174.

MARTEN, M. (1998): Möglichkeiten und Grenzen der Beschreibung und Bewertung der Abweichung des aktuellen Zustandes vom gewässerökologischen Leitbild am Beispiel des Makrozoobenthos. – Deutsche Gesellschaft für Limnologie e. V. (1998), Tagungsbericht 1997, Band II, Kaltenmeier Söhne, Krefeld: 695-699.

MARTEN, M. (2001): Environmental monitoring in Baden-Württemberg with special reference to biocoenotic trendmonitoring of Macrozoobenthos in rivers and methodical requirements for evaluation of long-term biocoenotic changes. - Aquatic Ecology 35: 159-171.

MARTEN, M., W. HACKBARTH & A. HOFFMANN (1996): Die Köcherfliegen des oberen Donaueinzugsgebietes in Baden-Württemberg. - Lauterbornia H. 25: 63-79.

MARTEN, M. & H. REUSCH (1992): Anmerkungen zur DIN "Saprobienindex" (38410 Teil 2) und Forderung alternativer Verfahren. - Natur und Landschaft 67 (11): 544-547.

MARTEN, M., R. THEEG & H. VOBIS (1990): Sonderprojekt "Ökologische Schäden im Rhein infolge des Sandoz-Schadensfalles". Biomonitoring aquatischer Lebensgemeinschaften im Rhein und in den Rhein-Nebengewässern. - Projektbericht der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe: 54 Seiten zzgl. Tabellen und Abbildungen.

MARTEN, M. & F. FISCHER (1998): Ergebnisse von Lichtfallenfängen am Oberrhein, Baden-Württemberg - Teil 1: Trichoptera. - Lauterbornia H. 34: 175-192.

- MARTEN, M., W. HACKBARTH & C. - J. OTTO (1999): Neue Eintags- und Steinfliegenfunde aus Baden-Württemberg und Stand der derzeitigen Erfassung im Rahmen der biologischen Umweltbeobachtung an Fließgewässern. - *Lauterbornia*, H. 37: 63-86.
- MAUCH, E. (1988): Die Auswirkungen des Chemie-Unfalls in Basel im November 1986 auf die Bodenbesiedlung des Rheins bei Karlsruhe. – *Das Gas und Wasserfach Wasser Abwasser* (München) 129: 168-171.
- NEERACHER, F. (1910): Die Insektenfauna des Rheins und seiner Zuflüsse bei Basel. - Dissertation Univ. Basel.
- REY, P., D. KÜRY, B. WEBER & J. ORTLEPP (2000): Neozoen im Hochrhein und im südlichen Oberrhein. – *Mitt. Bad. Landesver. Naturkunde u. Naturschutz*, N. F. 17 (3): 509-524.
- REUSCH, H. & A. WEINZIERL (1998): Rote Liste der Steinfliegen (Plecoptera).- In: Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.): Rote Liste gefährdeter Tiere Deutschlands. - Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz (Bonn), Heft 55: 264-267.
- RIJN COMMISSIE WATER LEIDING BEDRIJVEN (1979): Jahresbericht 1979.
- SCHÖLL, F. (1996): Das Makrozoobenthos des Rheins 1990-1995 im Rahmen des Programms "Lachs 2000". – Internationale Kommission zum Schutze des Rheins (IKSR), Koblenz: 29 S + 9 S. Anh.
- SCHÖLL, F. (2002): Das Makrozoobenthos des Rheins 2000. – Internationale Kommission zum Schutze des Rheins (IKSR), Koblenz, Bericht Nr. 128-d.doc, <http://www.iksr.org>: 38 S + 8 S. Anh.
- TITTIZER, T. & F. KREBS (1996): Ökosystemforschung: Der Rhein und seine Auen – Eine Bilanz. – Springer Berlin, Heidelberg, New York: 468 S.
- TITTIZER, T. & F. SCHÖLL (1988): Faunistische Erhebungen an der Rheinsohle zur Feststellung und Bewertung der Schädigung der Benthosbiozönose durch den Brand bei der Fa. Sandoz in Basel. 2. Teil - Forschungsbericht der Bundesanstalt für Gewässerkunde (Editor), Forschungsvorhaben 10607073, Koblenz.
- TITTIZER, T., F. SCHÖLL, M. BANNING, A. HAYBACH & M. SCHLEUTER (2000): Aquatische Neozoen im Makrozoobenthos der Binnenwasserstraßen Deutschlands. - *Lauterbornia* 39: 1-72.
- TÜMMERS, H. J. (1999): Der Rhein – Ein europäischer Fluss und seine Geschichte. 2., überarbeitete und aktualisierte Auflage. – Beck Verlag München.
- VOBIS, H. (1996): 10 Jahre nach Sandoz, 10 Jahre Gewässerschutz am Oberrhein – eine Erfolgsbilanz. – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe: 18 S.