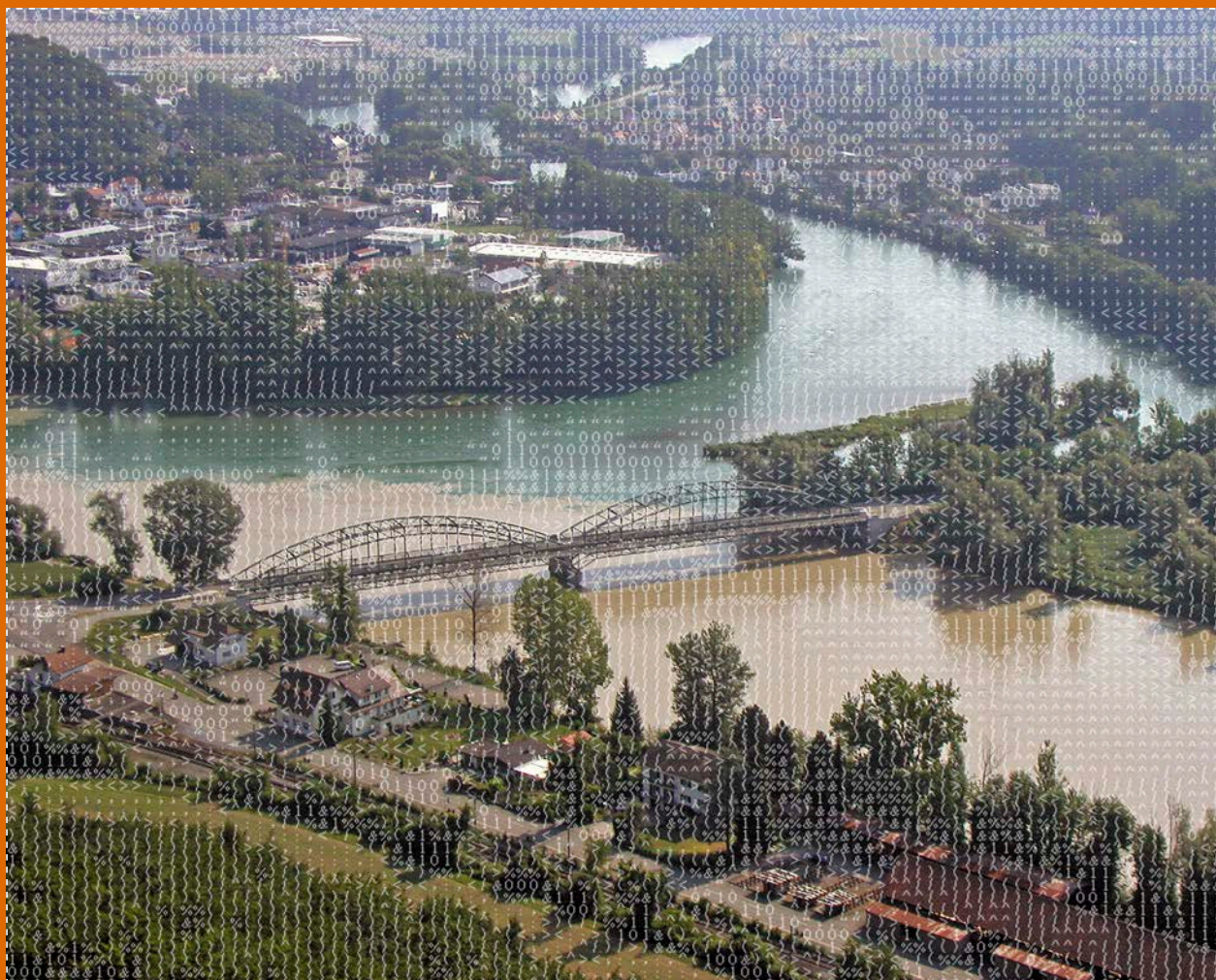


> Koordinierte biologische Untersuchungen an Hochrhein und Aare 2001 bis 2013

Zusammenfassender Kurzbericht



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

> Koordinierte biologische Untersuchungen an Hochrhein und Aare 2001 bis 2013

Zusammenfassender Kurzbericht

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

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

Autoren

Peter Rey, John Hesselschwerdt & Stefan Werner,
HYDRA AG, St. Gallen

Begleitung

Sabine Zeller, BAFU, Abteilung Wasser; Fachexperten der kantonalen
Gewässerschutzfachstellen AG, BL, BS, TG, SH, ZH

Zitierung

Rey P., Hesselschwerdt J., Werner S. 2016: Koordinierte biologische
Untersuchungen an Hochrhein und Aare 2001 bis 2013.
Zusammenfassender Kurzbericht. Bundesamt für Umwelt, Bern.
Umwelt-Zustand Nr. 1619: 72 S.

Fotos und Grafiken

John Hesselschwerdt, Peter Rey, Hydra AG

Layout

Karin Nöthiger, 5443 Niederrohrdorf

Titelbild

Zusammenfluss von Hochrhein und Aare zwischen Waldshut (D) und
Felsenau (AG), Foto: Kurt Wächter, Limnex AG, Brugg

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uz-1619-d

Eine gedruckte Fassung kann nicht bestellt werden.

> Inhalt

Abstracts	5		
Vorwort	7		
Zusammenfassung	8		
Resumé	10		
Riassunto	12		
Summary	14		
<hr/>			
1 Einleitung	16		
1.1 Biologisches Langzeitmonitoring an Hochrhein und Aare	16		
1.1.1 Monitoring biologischer Veränderungen und Besonderheiten	16		
1.2 Charakteristik von Hochrhein und Aare	17		
1.3 Probestellen, biologische Parameter und Untersuchungsmethoden	20		
<hr/>			
2 Umgebungsbedingungen	24		
2.1 Chemisch-physikalische Bedingungen	24		
2.1.1 Chemische Wasserqualität und Sauerstoffverhältnisse	24		
2.1.2 Wassertemperaturen	25		
2.2 Hydrologie und Feststoffhaushalt	27		
2.2.1 Abflussregimes	27		
2.2.2 Geschiebe – Kies als Kinderstube und Lebensraum	27		
2.2.3 Trübung	29		
<hr/>			
3 Ergebnisse der biologischen Untersuchungen	30		
3.1 Planktische Algen	30		
3.2 Aufwuchs und benthische Kieselalgen	32		
3.3 Makrophyten (Wasserpflanzen)	35		
3.4 Makroinvertebraten (Wirbellose Kleinlebewesen)	38		
3.4.1 Makroinvertebraten und der Strömungscharakter des Flusses	38		
3.4.2 Seltene oder schwer nachweisbare Arten	40		
3.4.3 Artenverteilung und Artenvielfalt	41		
3.4.4 Besiedlungsdichten	42		
3.4.5 Veränderungen im Vorkommen einzelner Arten	43		
3.4.6 Neozoeninvasion schreitet voran	45		
		3.5 Fische	49
		3.5.1 Fischbestand in Hochrhein und Aare	49
		3.6 Erhalt und Reaktivierung ökologischer Trittsteine	60
		3.6.1 Die Bedeutung naturnaher Flussabschnitte	60
		3.6.2 Reaktivierung der grossen Restwasserstrecken im alten Aarebett	62
<hr/>			
		4 Schlussfolgerungen und Ausblick	64
		4.1 Aktueller Zustand, Veränderungen und Tendenzen	64
		4.2 Ausblick	66
<hr/>			
		Literatur	68
		Verzeichnisse	71

> Abstracts

This report contains a summary of the status and trends of the aquatic biocenosis in the two largest rivers in Switzerland, the High Rhine and the Aare. It is based on the results of the fourth and fifth coordinated biological surveys on the High Rhine in 2006/2007 and 2011/2012 and the second survey campaign in 2011–2013 in the Aare between Lake Biel and the Rhine. Along with the small invertebrate organisms (macroinvertebrates) on the river bed and the fish, other groups of organisms such as phytoplankton and benthic algae (mainly diatoms) and macrophytes (higher aquatic plants) are also discussed. The report describes the different surveying methods used on the Swiss and German sides and gives information on a special programme which has studied the colonisation of alluvial zones in large residual flow sections of the Aare. A main theme of the discussion of biological changes over the last ten years is the rapid spread of non-native species, particularly among the macroinvertebrates.

Der vorliegende Bericht enthält einen zusammenfassenden Überblick über den Zustand und die Entwicklung der aquatischen Lebensgemeinschaften in den beiden grössten Schweizer Fließgewässern, dem Hochrhein und der Aare. Basis sind die Ergebnisse der vierten und fünften koordinierten biologischen Untersuchungen am Hochrhein der Jahre 2006/2007 und 2011/2012 sowie der zweiten Untersuchungskampagne 2011–2013 in der Aare zwischen Bielersee und Rhein. Neben den wirbellosen Kleinlebewesen der Flusssohle (Makroinvertebraten) und den Fischen werden weitere Organismengruppen wie Phytoplankton- und Algenaufwuchs (v.a. Kieselalgen) sowie Makrophyten (höhere Wasserpflanzen) thematisiert. Der Bericht stellt die verschiedenen Untersuchungsmethoden vor, die auf Schweizer und Deutscher Seite zum Einsatz kommen und informiert über ein Sonderprogramm, in dem die Besiedlung von Auengewässern in grossen Restwasserstrecken der Aare untersucht wurden. Zentrales Thema hinsichtlich der biologischen Veränderung in den letzten zehn Jahren ist die rasche Ausbreitung nicht-heimischer Arten, vor allem bei den Makroinvertebraten.

Le présent rapport livre un aperçu de l'état et de l'évolution de la biocénose aquatique dans les deux principaux cours d'eau de Suisse, le haut Rhin et l'Aar. Il se base sur les résultats des quatrième et cinquième analyses biologiques coordonnées du haut Rhin réalisées en 2006/2007 et 2011/2012 ainsi que sur ceux de la campagne d'analyses menée en 2011–2013 dans l'Aar entre le lac de Biemme et le Rhin. Parmi les sujets étudiés figuraient, outre les petits invertébrés benthiques (macroinvertébrés) et les poissons, d'autres types d'organismes tels que le phytoplancton et les algues du périphyton (surtout les diatomées) ainsi que les macrophytes (plantes aquatiques supérieures). Le rapport présente les différentes méthodes d'analyse utilisées du côté suisse et du côté allemand et un programme spécial se concentrant sur le peuplement des eaux alluviales des grands tronçons à débit résiduel de l'Aar. Depuis dix ans, le sujet principal lié à l'évolution biologique est la rapide propagation des espèces exotiques, en particulier des macroinvertébrés.

Keywords:

High Rhine, Aare, coordinated biological surveys, macroinvertebrates, fish, aquatic plants, non-native species

Stichwörter:

Hochrhein, Aare, Koordinierte biologische Untersuchungen, Makroinvertebraten, Fische, Wasserpflanzen, nichtheimische Arten

Mots-clés:

haut Rhin, Aar, analyses biologiques coordonnées, macroinvertébrés, poissons, flore aquatique, espèces non indigènes

Il presente rapporto comprende una panoramica riassuntiva dello stato e dello sviluppo delle biocenosi acquatiche nei due principali corsi d'acqua svizzeri, il Reno e l'Aar. Si basa sui risultati della quarta e quinta analisi biologica coordinata del Reno (nel tratto tra il lago Bodanico e Basilea) degli anni 2006/2007 e 2011/2012, nonché della seconda campagna di analisi del 2011–2013 dell'Aar tra il lago di Biemme e il Reno. Accanto ai piccoli organismi invertebrati dell'alveo fluviale (macroinvertebrati) e ai pesci l'analisi considera altri gruppi di organismi come il fitoplancton, le alghe (soprattutto diatomee) e le macrofite (piante acquatiche superiori). Il rapporto illustra i diversi metodi di analisi impiegati in Svizzera e in Germania e fornisce informazioni su un programma speciale in cui è analizzata la popolazione delle acque nelle zone golenali in lunghi tratti a deflussi residuali dell'Aar. Negli ultimi dieci anni il tema centrale dal punto di vista dei cambiamenti biologici è la rapida proliferazione di specie alloctone, in particolare tra i macroinvertebrati.

Parole chiave:

Reno tra il lago Bodanico e Basilea, Aar, analisi biologiche coordinate, macroinvertebrati, pesci, piante acquatiche, specie invasive

> Vorwort

Seit 1990 finden in Zusammenarbeit mit den Schweizer Behörden (Bundesamt für Umwelt BAFU, Hochrhein-Anliegerkantone) und der deutschen Fachstelle (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz LUBW) koordinierte biologische Untersuchungen am Hochrhein zwischen Bodensee und Basel statt. Erstmals 1993, danach wieder 2004 und 2015 wurden die Ergebnisse aus verschiedenen Jahren und über verschiedene Themen in einem Kurzbericht zusammengefasst und illustriert. Dabei ging es vor allem darum, eine Gesamtschau über die Gewässerqualität, den ökologischen Charakter und das biologische Inventar des Hochrheins zu erhalten.

In den Standard-Messprogrammen der Hochrhein-Anliegerkantone, des Bundes und des Landes Baden-Württemberg werden neben der Erfassung hydrologischer Kenndaten auch die chemisch-physikalische Wasserqualität kontrolliert, aber auch regelmässige Planktonuntersuchungen durchgeführt. In anderen, teilweise aufwändigeren, da mit Tauchereinsatz verbundenen Untersuchungsprogrammen wurden die Kleintierbesiedlung (Makroinvertebraten = wirbellose Lebewesen der Flusssohle), der pflanzliche Aufwuchs sowie die Fischbesiedlung erfasst, die bisher eine Vielzahl von Ergebnissen lieferten, an denen wichtige Prozesse verfolgt und Langzeitvergleiche durchgeführt werden konnten. Nachdem seit 2001 auch kantonsübergreifende biologische Untersuchungen an der Aare, dem grössten Schweizer Rheinzufluss, durchgeführt werden, wurden auch deren Ergebnisse in den zusammenfassenden Kurzbericht übernommen und liefern seither interessante Vergleiche im unterschiedlichen Ablauf biologischer Entwicklungen in Hochrhein und Aare.

Der nach 1993 und 2004 nun dritte zusammenfassende Kurzbericht über die koordinierten biologischen Untersuchungen an Hochrhein und Aare stellt die biologischen Entwicklungen innerhalb der letzten zehn Jahre vor. Aktuelle Themen sind unter anderem die massive Veränderung der Wirbellosenfauna durch die Ausbreitung gebietsfremder Arten, der Verlust an Lebensraum und rheintypischen Tier- und Pflanzenarten sowie die Bedeutung der letzten freifliessenden Flussabschnitte und Flussauen in Hochrhein und Aare.

Franziska Schwarz
Vizedirektorin
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

> Zusammenfassung

Im November 2011 und April 2012 fanden im Hochrhein zum fünften Mal seit 1990 *koordinierte biologische Untersuchungen* mit Beteiligung des Bundes, der Rheinanliegerkantone und des deutschen Bundeslandes Baden-Württemberg statt. Zur gleichen Zeit wurde im Auftrag der Kantone Aargau, Solothurn und Bern zum zweiten Mal die Aare zwischen Bielersee und Hochrhein untersucht. Der vorliegende Kurzbericht fasst die wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchungen zusammen und vergleicht sie mit den biologischen Verhältnissen früherer Jahre, insbesondere aus den Untersuchungskampagnen 2006/07 im Hochrhein und 2001/02 in der Aare. Untersuchungsobjekte waren: wirbellose Kleinlebewesen der Flusssohle (Makroinvertebraten), Fische, pflanzliches Plankton, Algenaufwuchs (vor allem Kieselalgen) sowie höhere Wasserpflanzen, Grossalgen und Moose (Makrophyten). Ergänzt wurden die Untersuchungen durch hydrologische Messdaten und Daten zur Wasserqualität.

Die Makroinvertebratenproben in Hochrhein und Aare sowie die Kieselalgenproben in der Aare wurden - wie schon bei den früheren Kampagnen - an denselben Flussquerschnitten vom Ufer aus und im Tiefen unter Einsatz von Tauchern gesammelt. Im Umkreis der Probestellen fanden auch die elektrofischereilichen Erhebungen der Jungfischbestände statt. Hierbei^[45] und bei der Beurteilung der Ergebnisse wurde die Methodik der bisherigen Kampagnen angewendet, die im Rheinmessprogramm der IKSR festgeschrieben ist^{[19],[20],[32],[33]}. Die Untersuchungen auf Baden-Württemberg Seite zum Bestand adulter Fische, zur Makrophytenverteilung sowie zur Phytobenthos- und zur Phytoplanktonzusammensetzung wurden nach den methodischen Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie durchgeführt^{[6]-[8],[15],[38]}.

Im Mittelpunkt der Ergebnisse bei den Makroinvertebraten steht das weitere Vordringen invasiver gebietsfremder Tierarten (Neozoen). Die meisten Neozoen haben seit 2007 noch bestehende Ausbreitungslücken im System geschlossen und nehmen in Bestand und Biomasse immer mehr zu. Unterhalb der Aaremündung machen Neozoen bereits mehr als 50 % der Individuenzahlen und weit über 80 % der Biomasse aus. Die Besiedlung dicht oberhalb der Aaremündung nähert sich ebenfalls diesen Werten. Etwa seit 2007 ist auch in der Aare eine rasch verlaufende Neozoenausbreitung zu beobachten. Dabei wurden deutliche Belege dafür gefunden, dass zumindest eine Neozoenart, der Grosse Höckerflohkrebs *Dikerogammarus villosus* in der Lage ist, angestammte Arten zu verdrängen.

Die Ergebnisse der Jung- und Kleinfischerhebungen geben Hinweise auf die Reproduktionspotenziale an den untersuchten Flussabschnitten. Besiedlungsunterschiede, die sich bereits bei den Untersuchungen der Wirbellosen zeigten, wurden durch die Erfassung der Jungfischfauna erhärtet. Auffällig war die unterschiedliche Zusammensetzung der Jungfischfauna an den verschiedenen Stellen in der Aare und im Hochrhein. Im Hochrhein scheint die Fischreproduktion generell erfolgreicher abzulaufen als in der Aare. Seltene und gefährdete Arten wurden aber in beiden Flüssen z. T. noch individu-

enreich nachgewiesen, wie beispielsweise die Nase (*Chondrostoma nasus*) im Hochrhein und der Steinbeisser (*Cobitis taenia*) in der Aare.

Beim Phytoplankton und mit wenigen Ausnahmen auch bei den Aufwuchs- bzw. Kieselalgen zeigten sich keine grundlegenden Veränderungen gegenüber früheren Untersuchungen. Die Bestände der Makrophyten scheinen aber zurückzugehen. Die bisher vorliegenden neueren Daten lassen allerdings noch keine endgültige Beurteilung zu. Die chemische Wasserqualität ist sowohl im Hochrhein als auch in der Aare auf hohem Niveau stabil. Allerdings treten Mikroverunreinigungen inzwischen regelmäßig in nachweisbaren Mengen auf.

Vor allem die Fisch- und die Wirbellosenbesiedlung verdeutlichen die ökologische Bedeutung der verbliebenen naturnahen und freifliessenden Flussabschnitte mit vielfältigem Habitatangebot im Hochrhein und der Aare. Hier besteht die Hoffnung, dass typische Flussarten trotz des Vordringens nichtheimischer Arten überleben können. In Zusammenhang mit dem besonderen Wert naturnaher Abschnitte für das gesamte Flusssystem stand daher auch ein Sonderprogramm im Rahmen des Aaremonitorings, in dem die Besonderheiten grosser Restwasserabschnitte im alten Aarelauf dokumentiert und Vorschläge zur weiteren Aufwertung als Trittsteinbiotope formuliert wurden.

> Résumé

En novembre 2011 et en avril 2012, des *analyses biologiques coordonnées* du haut Rhin ont été réalisées pour la cinquième fois depuis 1990, avec la participation de la Confédération, des cantons riverains et du Land allemand du Bade-Wurtemberg. Dans le même temps, les cantons d'Argovie, de Soleure et de Berne ont mandaté une deuxième étude sur l'Aar entre le lac de Bienne et le haut Rhin. Le présent rapport résume les principaux résultats de ces analyses et les compare à l'état biologique dressé lors des études précédentes, en particulier celles portant sur le haut Rhin en 2006/2007 et sur l'Aar en 2001/2002. Les objets étudiés étaient les suivants: les petits invertébrés benthiques (macroinvertébrés), les poissons, le phytoplancton, les algues du périphyton (surtout les diatomées) ainsi que les plantes aquatiques supérieures, les macroalgues et les bryophytes (macrophytes). Les analyses ont été complétées par des mesures hydrologiques et des données sur la qualité de l'eau.

Les échantillons de macroinvertébrés (pour l'Aar et le haut Rhin) et de diatomées (pour l'Aar) ont été prélevés aux profils transversaux déjà retenus lors des études précédentes, sur la rive et en plongée. Des relevés des effectifs de jeunes poissons par pêche électrique ont été réalisés dans le périmètre de ces prélèvements. Dans ce cas-là^[45] et pour l'analyse des résultats, on a repris la méthode employée lors des études précédentes, décrite dans le programme d'analyse du Rhin de la CIPR (Commission Internationale pour la Protection du Rhin)^{[19],[20],[32],[33]}. Les études sur les effectifs de poissons adultes, sur la répartition des macrophytes et sur la composition du phytobenthos et du phytoplancton réalisées dans le Bade-Wurtemberg^{[6]-[8],[15],[38]} reposent quant à elles sur les méthodes de la directive-cadre sur l'eau de l'UE.

Les résultats obtenus pour les macroinvertébrés montrent la prolifération continue des espèces exotiques envahissantes (néozoaires). Depuis 2007, la plupart des néozoaires ont étendu leur présence à des zones dont ils étaient encore absents et ne cessent d'augmenter en termes d'effectifs et de biomasse. En aval de l'embouchure de l'Aar, les néozoaires constituent déjà plus de 50 % du nombre d'individus et bien plus de 80 % de la biomasse. Dans les eaux immédiatement en amont de l'embouchure, les valeurs sont similaires. On observe également une rapide propagation des néozoaires dans l'Aar depuis 2007 environ. On a pu clairement démontrer qu'au moins une espèce de néozoaire, le gammare du Danube (*Dikerogammarus villosus*), est capable de supplanter des espèces indigènes.

Le relevé des effectifs de jeunes et de petits poissons fournit des indices sur le potentiel de reproduction dans les tronçons étudiés. Le constat fait concernant les différences de peuplement, déjà mises en évidence par les études sur les invertébrés, a été renforcé par le relevé des jeunes poissons. Chez ces derniers, la différence de composition des populations était frappante selon l'emplacement de l'Aar ou du haut Rhin considéré. La reproduction des poissons semble globalement plus élevée dans le haut Rhin que dans l'Aar. Des espèces rares et menacées ont néanmoins été observées dans les deux cours

d'eau et présentaient parfois des effectifs importants, comme le nase (*Chondrostoma nasus*) dans le haut Rhin et la loche de rivière (*Cobitis taenia*) dans l'Aar.

Concernant le phytoplancton et, à de rares exceptions près, les algues du périphyton et les diatomées, aucun changement significatif n'a été constaté par rapport aux analyses précédentes. Toutefois, les effectifs de macrophytes semblent régresser. Les données récentes ne permettent cependant pas une évaluation définitive. La qualité chimique de l'eau est stable à un niveau élevé aussi bien pour le haut Rhin que pour l'Aar. Néanmoins, la présence de micropolluants est régulièrement attestée en quantités mesurables.

Le peuplement par des poissons et des invertébrés témoigne de l'importance écologique des tronçons proches de l'état naturel à écoulement libre qui offrent des habitats variés dans le haut Rhin et l'Aar. Nous avons donc l'espoir que les espèces indigènes y survivent malgré la pression exercée par les espèces exotiques. Au vu de l'importance particulière que revêt la préservation de tels tronçons pour l'ensemble du système fluvial, un programme spécial a été élaboré dans le cadre du monitoring de l'Aar. Ce programme a permis de documenter les particularités de grands tronçons à débit résiduel dans l'ancien lit de l'Aar et de faire des propositions pour poursuivre sa valorisation en tant que biotope-relais.

> Riassunto

Nel novembre del 2011 e nell'aprile del 2012 hanno avuto luogo per la quinta volta dal 1990 *analisi biologiche coordinate* con la partecipazione della Confederazione, dei Cantoni rivieraschi del Reno e del Land Baden-Württemberg. Al contempo è stato analizzato per la seconda volta l'Aar tra il lago di Bienne e il Reno su mandato dei Cantoni di Argovia, Soletta e Berna. Il presente rapporto riassume i risultati principali di dette analisi e li confronta con le condizioni biologiche degli anni precedenti, nello specifico delle campagne di indagini del 2006/2007 del Reno tra il lago Bodanico e Basilea e del 2001/2002 dell'Aar. Sono oggetto di analisi: i piccoli organismi invertebrati dell'alveo fluviale (macroinvertebrati), i pesci, i fitoplancton, le alghe (in particolare diatomee) come pure le piante acquatiche superiori, le macroalghe e i muschi (macrofite). Dette analisi sono state integrate con dati di misurazione idrologici e della qualità delle acque.

Come nelle campagne precedenti, i campioni di macroinvertebrati, prelevati nel Reno, nel tratto tra il lago Bodanico e Basilea, e di diatomee, prelevati nell'Aar, provengono dalle stesse sponde dello stesso transetto di fiume, raccolti in profondità da sommozzatori. Nelle vicinanze dei luoghi in cui sono stati raccolti i campioni si sono svolti anche rilievi di pesca elettrica delle popolazioni di avannotti. In queste occasioni^[45] e per la valutazione dei risultati è stata utilizzata la metodologia delle campagne condotte fino a quel momento, stabilita nel programma di misurazione del Reno promosso dalla commissione internazionale per la protezione del Reno^{[19],[20],[32],[33]}. Le analisi da parte del Land Baden-Württemberger sulla popolazione di pesci adulti, sulla ripartizione delle macrofite come pure sulla composizione di fitobenthos e fitoplancton sono state condotte secondo le relative indicazioni della direttiva quadro sulle acque dell'Unione europea^{[6]-[8],[15],[38]}.

I risultati relativi ai macroinvertebrati mostrano la continua proliferazione delle specie animali esotiche invasive (neozoi). La maggior parte dei neozoi si è diffusa più capillarmente nel sistema a partire dal 2007 e la loro popolazione e biomassa sono in continua crescita. A valle della foce dell'Aar i neozoi costituiscono già più del 50 per cento del numero di esemplari e ben oltre l'80 per cento della biomassa. Anche la popolazione immediatamente a monte della foce dell'Aar è prossima a questi valori. All'incirca a partire dal 2007 anche nell'Aar si osserva una rapida diffusione di neozoi e sono state trovate prove evidenti che mostrano come almeno una specie di neozoe, il *Dikerogammarus villosus*, è in grado di soppiantare le specie indigene.

I risultati dei rilevamenti di avannotti e di pesci di piccola taglia forniscono indizi sui potenziali di riproduzione nelle sezioni di fiume analizzate. Le differenze di popolazione che risultano già dalle analisi degli invertebrati sono accentuate dai rilevamenti della popolazione di avannotti. Le differenze nella composizione di detta popolazione nelle varie zone dell'Aar e del Reno sono sorprendenti. In quest'ultimo il ripopolamento delle specie ittiche pare avvenire in modo più efficace rispetto all'Aar. Le specie rare e minacciate sono però state attestate in parte ancora numerose in entrambi i fiumi, come

ad esempio il naso (*Chondrostoma nasus*) nel Reno e il cobite fluviale (*Cobitis taenia*) nell'Aar.

Nel caso del fitoplancton e, con poche eccezioni, anche delle alghe e delle diatomee, non sono apparse differenze fondamentali rispetto alle analisi precedenti. I popolamenti di macrofite invece sembrano ridursi. I dati più recenti finora a disposizione, tuttavia, non permettono ancora una valutazione definitiva. La qualità chimica delle acque è stabile ad alto livello sia nel Reno che nell'Aar, tuttavia compaiono regolarmente microinquinanti in quantità rilevabili.

Le popolazioni di pesci e invertebrati rendono evidente l'importanza ecologica delle sezioni fluviali rimaste naturali e a scorrimento libero con una ricca offerta di habitat nel Reno e nell'Aar. Qui viene riposta la speranza che le specie fluviali tipiche sopravvivano alla proliferazione di quelle alloctone. Di conseguenza, considerata l'importanza dei tratti naturali per l'intero sistema fluviale, è stato creato un programma speciale nel quadro del monitoraggio dell'Aar. Questo programma ha permesso di documentare le caratteristiche di grossi tratti del vecchio corso dell'Aar interessati da deflussi residuali e di formulare proposte per la sua rivalutazione come biotopo di connessione.

> Summary

In November 2011 and April 2012, *coordinated biological surveys* were conducted on the High Rhine for the fifth time since 1990, involving the Swiss Federal Government, the Swiss cantons along the Rhine and the German State of Baden-Württemberg. At the same time, the Aare between Lake Biel and the High Rhine was surveyed for the second time on behalf of the cantons of Aargau, Solothurn and Bern. This brief report summarises the main results of the surveys and compares them with the biological conditions found in earlier years, particularly in the survey campaigns in 2006/07 on the High Rhine and in 2001/02 on the Aare. The subjects of the surveys were: macroinvertebrates on the river bed, fish, phytoplankton, benthic algae (mainly diatoms), and macrophytes such as higher aquatic plants, macroalgae, and bryophytes. The surveys were supplemented by hydrological measurement data and data on water quality.

The macroinvertebrate and diatom samples in the High Rhine and the Aare and the diatom samples in the Aare were collected from the same river cross sections as in the earlier campaigns, both from the bank and at depth using divers. Electric fishing surveys of young fish stocks were also carried out in the area surrounding the sampling points. In this case ^[45] and for evaluating the results, the methodology of the previous campaigns was used as defined in the Rhine measurement programme of the ICPR (International Commission for the Protection of the Rhine)^{[19],[20],[32],[33]}. The surveys on the Baden-Württemberg side on the adult fish stocks, macrophyte distribution and phytobenthos and phytoplankton composition used the methods specified in the EU Water Framework Directive^{[6]-[8],[15],[38]}.

The focal point of the results for macroinvertebrates is the further advance of invasive non-native species (neozoa). Since 2007 most neozoa have closed existing colonisation gaps in the system and are greatly increasing in terms of both numbers and biomass. Below the convergence of the Rhine and Aare, neozoa already make up more than 50 % of individuals and well over 80 % of the biomass. Colonisation just above the convergence of the Rhine and Aare is also close to these levels. The rapid spread of invasive species has also been observed in the Aare since about 2007. Clear evidence has been found that at least one species of neozoa, the killer shrimp, *Dikerogammarus villosus*, can displace indigenous species.

The results of the juvenile and small fish surveys give indications of the reproductive potential of the river sections studied. Population differences which were revealed by the invertebrate surveys were corroborated by recording the juvenile fauna. The variations in the composition of the juvenile fish fauna at the different points in the Aare and High Rhine were striking. Fish reproduction generally seems to be more successful in the High Rhine than in the Aare. Rare and endangered species were detected in both rivers, some of them still in significant numbers such as the common nase (*Chondrostoma nasus*) in the High Rhine and the spined loach (*Cobitis taenia*) in the Aare.

In relation to phytoplankton and, with few exceptions, also benthic algae and diatoms, no fundamental changes from previous surveys were apparent, but macrophyte stocks appear to be declining. Based on the latest data available, a final assessment is not possible. The chemical water quality is high and stable in both the High Rhine and the Aare, though micropollutants can still regularly be found at detectable levels.

The fish and invertebrate colonisation in particular illustrate the ecological importance of the remaining near-natural, free-flowing river sections with a diverse range of habitats in the High Rhine and the Aare. It is hoped that typical river species can survive here despite the advance of non-native species. In light of the special value of near-natural sections for the river system as a whole, there was also a special programme within the Aare monitoring system which documented the specific features of large residual flow sections in the old course of the Aare and made proposals for further upgrading to stepping stone biotopes.

1 > Einleitung

1.1 Biologisches Langzeitmonitoring an Hochrhein und Aare

Seit 1990 werden am **Hochrhein** im 5–6-jährigen Turnus koordinierte biologische Untersuchungen mit Beteiligung der zuständigen Fachstellen des Bundes, der Rheinanliegerkantone und Baden-Württembergs durchgeführt. Dieses Programm liefert einen wichtigen Beitrag zu den biologischen Bestandsaufnahmen, die für die Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) durchgeführt werden [iksr.org]. Auf deutscher Seite hat sich die Gewässerbewertung seit 2000 an die Vorgaben der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) zu halten¹, auf Schweizer Seite wurde vor allem Wert auf die Fortführung etablierter Methoden^[32] zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit der seit 1990 vorliegenden Langzeitdaten gelegt.

An der **Aare** haben sich die Kantone Aargau, Solothurn und Bern zu einem vergleichbaren Untersuchungskonzept zusammengeschlossen. Die Erhebungen fanden 2001/2002 und 2011–2013 im unteren Flussabschnitt zwischen Bielersee und der Mündung in den Hochrhein statt^{[30],[33]}. Zwischenzeitlich konnten mit der gleichen methodischen Herangehensweise und mit Tauchereinsatz auch das Benthos (die Lebensgemeinschaften der Flusssohle) in der Aare zwischen Thun und Bern^[27], im Alpenrhein^[31], in der unteren Limmat^[28] und in der Reuss^[29] unterhalb des Vierwaldstättersees untersucht werden.

1.1.1 Monitoring biologischer Veränderungen und Besonderheiten

Im Langzeitmonitoring wird dokumentiert, in welchem Masse und zu welchen Zeitpunkten es zu Veränderungen der Besiedlungsdichten und der Lebensgemeinschaften in den Flüssen kommt. Daraus lassen sich Rückschlüsse auf veränderte Umgebungsbedingungen ziehen. Besonderen Einfluss haben hierbei die Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten aus anderen Flussgebieten, klimatische Veränderungen, Änderungen in der Nutzung, steigende oder sinkende Belastungen des Gewässers und Revitalisierungen.

Im **Hochrhein** werden neben den wirbellosen Kleinlebewesen, den Makroinvertebraten, mit unterschiedlicher Probestellendichte auch die Planktonalgen (Kap. 3.1), die Aufwuchs- und Kieselalgen (Kap. 3.2), die Makrophyten (Wasserpflanzen, Kap. 3.3) sowie die Fische (Kap. 3.5) erfasst. Zudem finden regelmässige Messungen der chemischen Wasserqualität und der Abflüsse statt. In der **Aare** steht das Monitoring darüber hinaus im Kontext mit verschiedenen Gewässerschutzprogrammen, z. B. der Geschiebereaktivierung (Kap. 2.2.2) oder morphologisch-hydrologischen Verbesserungen in grossen Altläufen, durch die das Restwasser von Kraftwerk-Ausleitungsstrecken fliesst (Kap. 3.6.2).

¹ <http://www4.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/3577/>

Die seit dem letzten zusammenfassenden Bericht^[24] für die Aare gesammelten Daten erlauben nach etwas mehr als zehn Jahren eine neue Übersicht über die biologischen Veränderungen in Rhein und Aare zwischen Bodensee, Bielersee und Basel. Sie enthält viele Vergleiche, neue Aspekte wie die ufernahe Jungfischfauna kommen hinzu, andere, wie die Ökomorphologie, werden nur noch am Rande behandelt.

1.2 Charakteristik von Hochrhein und Aare

Der Hochrhein und die bei Waldshut-Felsenau mit ihm zusammenfliessende Aare sind die beiden grössten Flüsse der Schweiz und entwässern mit 35 500 km² rund zwei Drittel der Schweiz (Abb. 1). Allein 17 500 km² entfallen auf das Einzugsgebiet der Aare, die am Zusammenfluss mit dem Rhein ein tieferes Flussbett und in der Regel auch eine höhere Wasserführung hat. Zum oberen Rhein-Einzugsgebiet kommen dafür weitere Flusssysteme aus Bayern, Baden-Württemberg, Vorarlberg sowie ein kleiner Teil der italienischen Lombardei hinzu. Einzelne Quellen im Einzugsgebiet entspringen in über 3000 m Meereshöhe (z. B. Vorderrhein, Tödigletscher). Im Dreiländereck bei Basel, mit rund 250 m Meereshöhe dem tiefsten Punkt der Nordschweiz, verlässt dieses Wasser die Schweiz in Richtung Nordsee.

Hochrhein und Aare bündeln die biologischen und abiotischen Eigenschaften aus einem sehr heterogenen Einzugsgebiet von Gebirgsbächen über Mittelgebirgsflüsse bis hin zu grossen Voralpenseen. Dies und die Tatsache, dass sich der hydrologische und ökomorphologische Charakter der beiden Flüsse mehrfach ändert (Abb. 2), legt eine Flusszonierung nach biozönotischen Gesichtspunkten in unterschiedliche Abschnitte nahe. Anthropogene Elemente wie die Kraftwerkstufen und die damit zusammenhängenden Wechsel im Fliesscharakter beeinflussen eine solche Gliederung massgeblich.

Der Hochrhein weist 11 und die Aare unterhalb des Bielersees 12 Kraftwerkstufen auf (Abb. 1). Diese Staustufenketten wirken sich vor allem auf die biologische Systemdurchgängigkeit, die Abflusscharakteristik und den Geschiebetrieb aus; die Stauwurzeln reichen oft bis an die oberhalb liegende Staustufe heran, die oft weniger als 10 km Fliessstrecke entfernt liegt. Durch die Stauhaltungen werden zahlreiche Komponenten beeinflusst, neben den biologischen z.B. auch der Strömungscharakter, das Substrat der Sohle, die Wassertemperatur, der Sauerstoffgehalt und die Trübung.

Abb. 1 > Das Flussgebiet Hochrhein und untere Aare mit seinen Einzugsgebieten

Eingezeichnet sind neben den Zonierungsabschnitten (gelbe nummerierte Kreise) die insgesamt 23 Kraftwerkstufen (11 im Hochrhein, 12 in der Aare) und der Fließcharakter. A-D bezeichnen die auf Schweizer Seite seit 1995 verwendeten vier Hochrhein- und seit 2011 verwendeten drei Aareabschnitte mit unterschiedlicher Flusscharakteristik^{[32] [33]}. Auf Baden-württembergischer Seite werden am Hochrhein dagegen nur zwei „Wasserkörper“ unterschieden (oberhalb- und unterhalb der Aareinmündung)

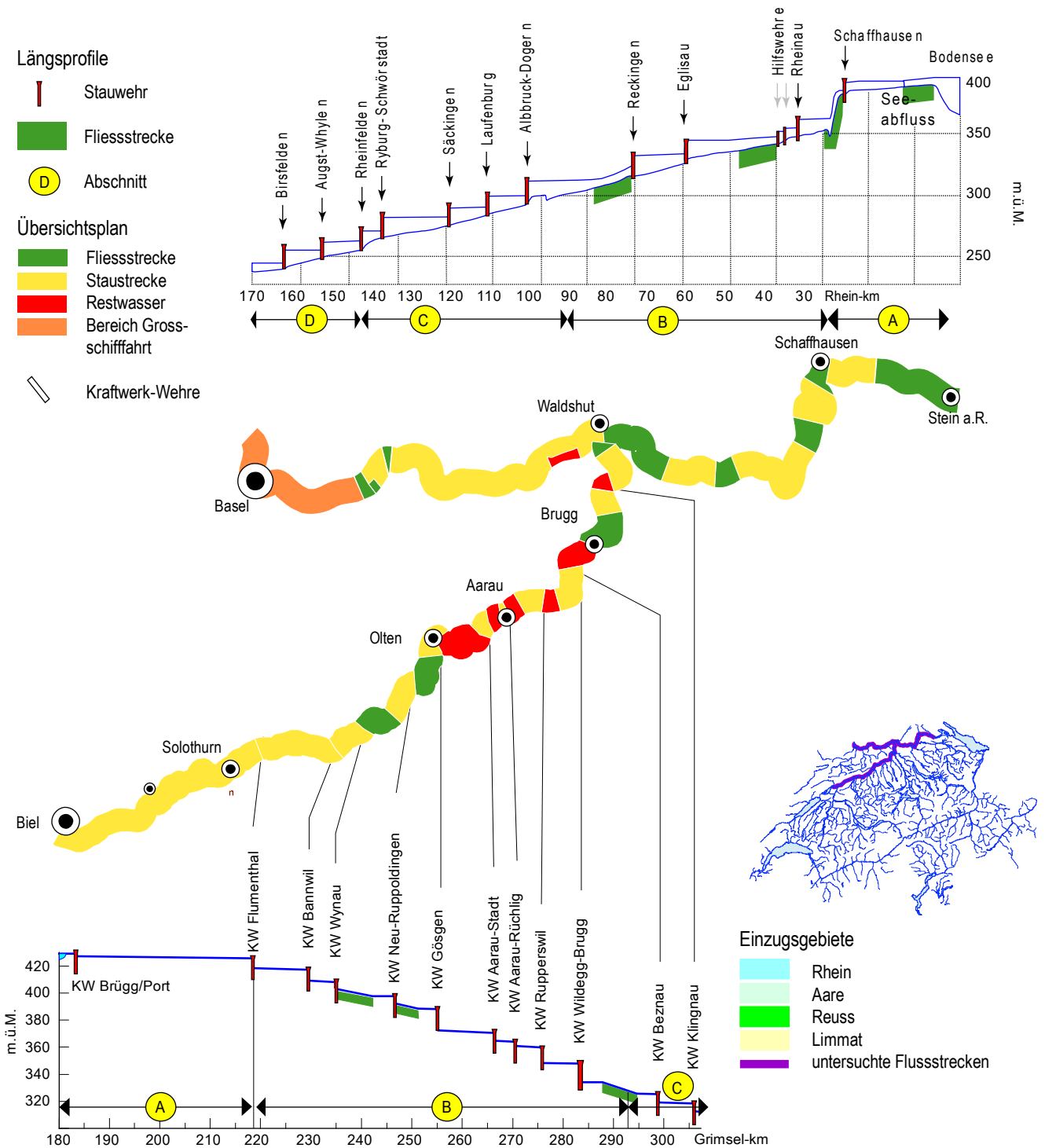


Abb. 2 > Flussabschnitte unterschiedlichen Charakters in Hochrhein und Aare

a) an den Koblenzer Laufen am Hochrhein



b) bei Wynau (BE) an der Aare



c) Staubereich des KW Albrück-Dogern am Hochrhein



d) Oberwasserkanal des KW Gösigen an der Aare



e) Hochrhein bei Schweizerhalle, im Abschnitt mit internationalem Fracht- und Personenschiffsverkehr



f) naturnahe Flusslandschaft mit Restwasser im Villnacher Schachen an der Aare

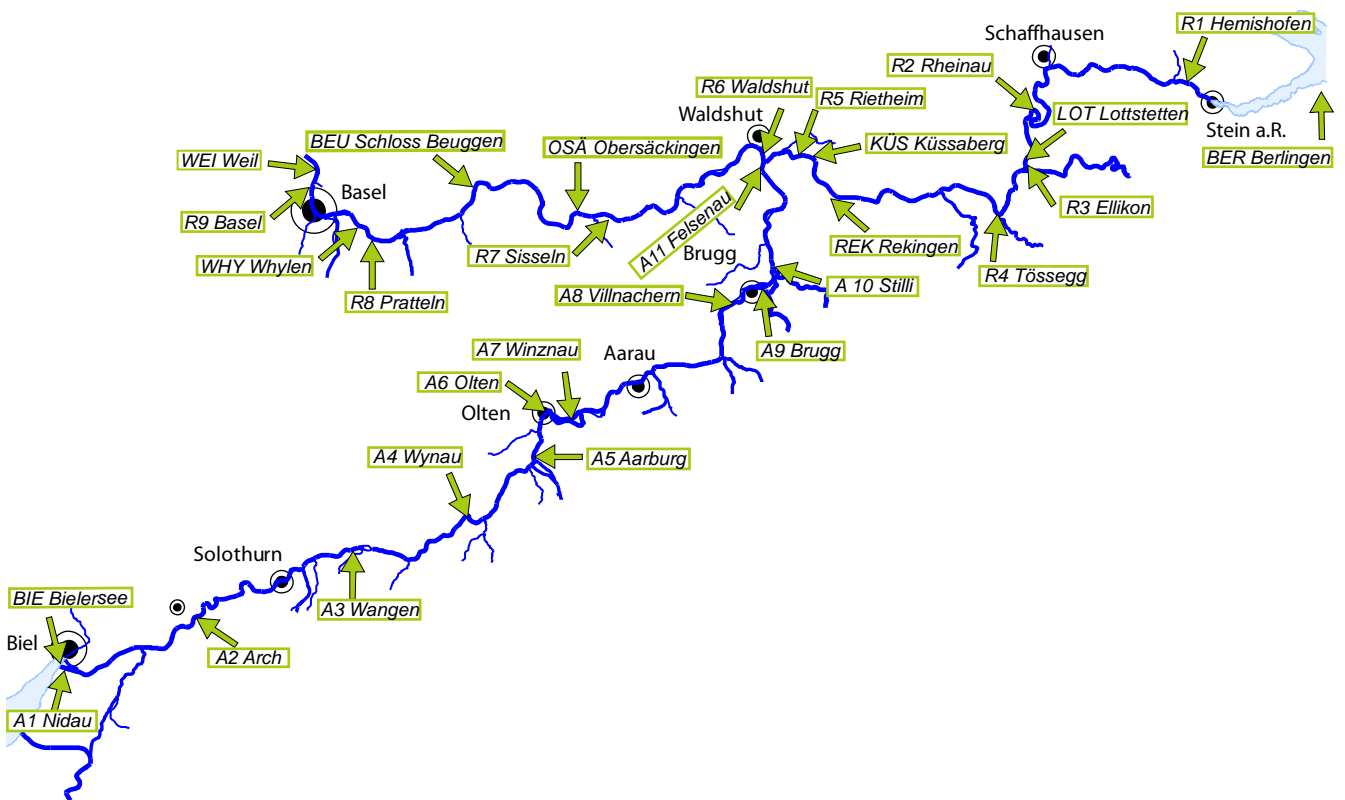


Auf ein weiteres Charakteristikum für eine Flusszonierung trifft man in der Aare in Form mehrerer längerer Ausleitungsstrecken im alten Flusslauf, sogenannter Schachen (= Wald, Gehölz, regional Synonym zu «Auwald»). Diese zeigen noch einen grossen Teil ihrer ursprünglichen Flussmorphologie, führen allerdings nur Restwasser (Abb. 2f).

1.3 **Probstellen, biologische Parameter und Untersuchungsmethoden**

Die Probstellen in Hochrhein und Aare liegen seit Beginn der Untersuchungsprogramme innerhalb derselben Flussstransekte^{[32],[33]} und repräsentieren dabei Flussabschnitte unterschiedlichen Charakters (Tab. 1).

Abb. 3 > Probstellen der koordinierten biologischen Untersuchungen in Hochrhein und Aare sowie Mess- und Pegelstellen zur Erfassung von Hydrologie und Wasserqualität



Probenahme mit dem Taucher an der Hochrheinstelle R1 Hemishofen



Tab. 1 > Probestellen der koordinierten biologischen Untersuchungen in Hochrhein und Aare sowie Mess- und Pegelstellen zur Erfassung von Hydrologie und Wasserqualität

Probestelle		km	Parameter	Charakteristik	Abschnitt
Hochrhein					
BER	Berlingen	24.0	P	Probenahmestelle See	Bodensee-Untersee
R1	Hemishofen	27.7	A, M, MP	Seeabfluss natürlich; ungestört (frei) fließend, stark strukturierte Sohle	A Stein a. Rh. – Wehr Schaffhausen: Seeabfluss mit dominierendem Einfluss des Bodensees (Wasserführung, Temperatur, Plankton); schiffsinduzierter Wellenschlag; im Staubereich Schaffhausen fehlender Geschiebetrieb.
R2	Rheinau	56.3	M, MP	Staubereich (oberer Hilfsstau); kaum Strömung; verbaute Ufer	B Wehr Schaffhausen – Aaremündung: Lange Strecken mit naturnahem Fließcharakter abwechselnd mit Staubereichen, Rheinfall als natürliche Unterbrechung; geringe Geschiebeumlagerung wegen Staustufen und Geschieberückhalt in den Zuflüssen (Thur, Töss).
LOT	Lottstetten-Nack	62.8	MP	wenig verbaut; starke Strömung	
R3	Ellikon	64.0	M	wenig verbaut; starke Strömung	
R4	Tössegg	70.5	M	Flussbett tief in Sedimentgestein eingeschnitten	
REK	Rekingen	90.0	P	Messstelle Landesanst. für Umweltschutz Baden-Württemberg (LUBW)	
KÜS	Küssaberg-Ettikon	98.1	MP	Flach durchströmtes Flussbett	
R5	Rietheim	98.2	M	flaches, breites und turbulent durchströmtes Flussbett	C Aaremündung – Rheinbrücke Rheinfelden: Deutliche Charakteränderung aufgrund der hohen Wasserführung durch die Aare und der grösseren Eintiefung des Flussbettes. Starke anthropogene Beeinflussung durch die durchgehende Staustufenkette und dem weitgehend harten Uferverbau.
R6	Waldshut	103.0	A, M	direkt unterhalb der Aaremündung 2 Stromrinnen; rechts Flachufer	
R7	Sisseln	126.5	A, M	Obergrenze Staubereich; gleichmässiger Querschnitt; Blockwurf	
OSÄ	Obersäckingen	126.6	MP	gleichmässiger Querschnitt; Blockwurf	
BEU	Schloss Beuggen	145.5	MP	gleichmässiger Querschnitt; Blockwurf	
R8	Pratteln	158.4	A, M	Regelquerschnitt; Ufer massiv verbaut	
WHY	Whylen	158.5	MP	Regelquerschnitt; Ufer massiv verbaut	
R9	Basel	168.2	A, M	Frachthafen; intensive Schifffahrt; Regelquerschnitt; Ufermauern	
WEI	Weil	171.0	P	LfU-Messung	
Aare					
BIE	Bielsee	-	P	Probenahmestelle See vor Seeabfluss	Bielsee
A1	Nidau	183	A, M	Seeabfluss; gestaut; kein Geschiebetrieb	A Bielsee – KW Flumenthal: Ursprünglich kleiner Seeabfluss (Alte Zihl) bis Büren (Zufluss alter Aarelauf), anschliessend Talmäander der Aare, heute künstlicher Kanal (Nidau-Büren-K.) und weitgehend verbaute Ufer, Stau Flumenthal, Schifffahrt. Kein Geschiebetransport (Seeabfluss; Geschiebezufuhr erst ab Emmemündung bei KW Flumenthal).
A2	Arch	183	A, M	Sedimentationsbereich; noch ursprünglicher Aareverlauf; gestaut; kein Geschiebetrieb	
A3	Wangen	222	A, M	Staubereich KW Bannwil	B KW Flumenthal – Wangen a.A.: Ursprünglich verzweigte Flussläufe und Auen der Aare zwischen Solothurn und Wangen mit reichem Geschiebetrieb (Emme); heute sind die Ufer steil und verbaut, der Abfluss auf ein eingetieftes Gerinne konzentriert und der Geschiebetrieb ist unterbunden. Wangen a.A. – Olten: Der Aarelauf ist von Wangen bis Olten in die Schotterterrassen eingetieft und von steilen Ufern begrenzt. Zwei frei fließende Abschnitte, ansonsten weitgehend verbaut, gestaut oder Ausleitungsstrecke. Olten – Brugg: Ursprünglich Auenlandschaft mit verzweigtem Flusslauf und starker Materialumlagerung; heute verschiedene Restwasserstrecken und eingeschränkter Geschiebetransport.
A4	Wynau	237	A, M (oT)	natürlicher Flusslauf; frei fließend, gut strukturierte Ufer; wenig Geschiebetrieb	
A5	Aarburg	248	A, M (oT)	frei fließend; Geschiebe aktiv	
A6	Olten	255	A, M	Staubereich Wehr Winznau; Geschiebe aktiv	
A7	Winznau	257	A, M (oT)	Restwasserstrecke; Geschiebe aktiv	
A8	Villnachern	285	A, M (oT)	Restwasser; kein Geschiebetrieb	
A9	Brugg	291	A, M (oT)	frei fließend; kein Geschiebetrieb	
A10	Stilli	294	A, M	frei fließend; unterhalb der Zuflüsse Reuss und Limmat; Geschiebe aktiv	
A11	Felsenau	307	A, M, P	Stauseeabfluss; frei fließend; Mündungsbereich	

Parameter: P=Planktonalgen; A=Aufwuchsalgen; M=Makroinvertebraten; MP=Makrophyten; F= Fische

Die Erhebung des *Phytoplanktons* erfolgte nach den Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie^[3]. Hierzu wurden Schöpfproben an Stellen mit sehr guter Wasserdurchmischung genommen; 100 ml davon wurden zur späteren Bestimmung der Planktonorganismen mit Lugol'scher Lösung fixiert. Im Labor erfolgten die qualitative Erfassung der Taxa und die Quantifizierung der Planktonorganismen in Form von Zellzahlen. Biomassen einzelner Arten und Biovolumina wurden nach spezifischen Zellvolumen und Gewichten abgeschätzt. *Planktische Kieselalgen* wurden aus definierten Volumina filtriert und getrocknet untersucht^{[15],[16]}.

Die Erfassung der *Makroinvertebraten* erfolgte wieder nach der seit 1990 etablierten Methode im Rahmen der koordinierten biologischen Untersuchungen^{[19],[32],[33]}. Proben von der Flusssohle wurden in verschiedenen Tiefenstufen und Uferabständen innerhalb eines Flussquerschnitts gesammelt (Abb. 4). Für die Probenahme an tieferen Stellen war ein Tauchereinsatz mit speziellem Unterwasser-Sammelgerät nötig. Innerhalb eines repräsentativen Sohlenareals von ca. 25 m² wurden dominante Substrattypen anteilmässig beprobt (Abb. 4).

Im Hochrhein wurde der *Algenaufwuchs* nach Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie^{[6],[15],[38]} jeweils durch eine ufernahe Beprobung erfasst. An der Aare erfolgten die Probenahme und -auswertung nach dem Schweizer Modul-Stufen-Konzept (MSK) – Modul Kieselalgen, Stufe F^[16]. Der Aufwuchs wurde sowohl ufernah als auch mit Tauchern auf der tiefen Flusssohle untersucht. Hierzu wurden grössere, gut überströmte Steine eingesammelt, von denen von einer definierten Fläche der Bewuchs abgekratzt und in Formollösung fixiert wurde (Abb. 4).

Die aktuelleren Makrophytenkartierungen (seit 2006) nach EU-Wasserrahmenrichtlinie können watend vom Ufer aus nach der Methode des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz durchgeführt werden^[38]. Frühere Erhebungen erfolgten vom Boot aus mit Krauthaken^{[42]-[44]}.

Die ufernahen Jungfischuntersuchungen wurden mittels Elektrofischerei und jeweils ufernah mit einer Stangen-Anode durchgeführt [gemäss 45]. Die Fische wurden auf Artniveau bestimmt und vermessen. Auf Baden-Württemberg Seite richteten sich die Befischungen nach den Vorgaben des Bewertungsverfahrens fiBS, sie erfolgten vom Boot aus^[8].

Abb. 4 > Untersuchungsmethoden an Hochrhein und Aare

Probenahme mit dem Unterwasser-Sammler durch einen Taucher



Algenbewachsene Steinsohle in Flussmitte

Säubern und Vorauslesen der Proben vor Ort



Kieselalgenprobenahme



Elektrobefischung ausgewählter Teilstrecken



Unterwasserbeobachtungen mit der Anodenkamera



2 > Umgebungsbedingungen

2.1 Chemisch-physikalische Bedingungen

Im Rahmen der qualitativen Gewässerschutzmassnahmen der 1970er bis 1990er Jahre konnte eine umfassende Verbesserung der Wasserqualität in Hochrhein und Aare erreicht werden. Messungen der chemisch-physikalischen Belastungen (stoffliche Komponenten, Sauerstoffversorgung, Wassertemperatur u.a.) werden seit dieser Zeit im Rahmen von Routineprogrammen an fixen Messstellen von Bund und Kantonen in der Schweiz und seitens der LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg) weitergeführt.

2.1.1 Chemische Wasserqualität und Sauerstoffverhältnisse

Unter den Standardparametern der stofflichen Belastung sind in biologischer Hinsicht, neben Mikroverunreinigungen, vor allem Nährsalze und deren Abbauprodukte von Bedeutung. Phosphat und Gesamphosphor sowie hohe Gehalte an Nitrat können zu Veralgung und Verkrautung des Gewässers führen. Nitrat kann darüber hinaus auch die Trinkwassernutzung beeinträchtigen. Ammonium und Nitrit können ab gewissen Konzentrationen als Fischgift wirken. Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) gilt als Indikator für die Summe der organischen Belastungen.

An allen offiziellen Messstellen im **Hochrhein** wurden die Messungen nach dem Modul-Stufen-Konzept (MSK) «Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe»^[23] durchgeführt. In den Jahren 2011/2012 wurden die Anforderungen an die Wasserqualität nach Gewässerschutzverordnung (GSchV) erfüllt (Tab. 2). Die nachgewiesenen Belastungen lagen nach den Qualitätsstufen des Modul-Stufen-Konzepts (MSK) in mehr als 50 % der Fälle bei «sehr gut», der Rest bei «gut». Es ist daher davon auszugehen, dass im Hochrhein die generell geringe Belastung mit Nährstoffen zu keiner Beeinträchtigung der Lebensgemeinschaften mehr führt. Kurzfristig kann es jedoch bei Einzelereignissen noch zu erhöhten Nährstoff-Konzentrationen kommen.

Die gesetzlichen Zielvorgaben für die Wasserqualität wurden auch in der **Aare** 2011/12 durchwegs erreicht (Tab. 2). Beim Auslauf der Aare aus dem Bielersee (Biel) weist die Wasserqualität einen weitgehend sehr guten Zustand auf. Mit der Einleitung von gereinigtem Abwasser durch die verschiedenen Kläranlagen im Verlauf der Fließstrecke verschlechtert sich die Wasserqualität nur geringfügig. Seit 2001/02 hat sich die Wasserqualität der Aare in Bezug auf Nährstoffe durch den Ausbau verschiedener Kläranlagen zur Nitrifikation insbesondere beim Nitrit und Ammonium verbessert. Der DOC verringerte sich als Folge der Stilllegung einer grossen Zellulosefabrik^{[5],[33]}.

Eine Herausforderung des 21. Jahrhunderts bildet die Erfassung und Eliminierung von Mikroverunreinigungen (Arzneimittelrückstände, hormonaktive Substanzen und andere

Spurenstoffe), die immer mehr in den Fokus des Gewässerschutzes rücken. Eine einheitliche Bewertungsmethode fehlt bisher. Auch können für diese Stoffe noch keine aktuellen Werte im Vergleich vorgestellt werden; Messungen der letzten zwei Jahrzehnte bei Weil am Rhein zeigen, dass für diese Stoffe die gesetzlichen Vorschriften meist eingehalten wurden^[37]. Bei Basel wird in Einzelfällen aber beispielsweise die numerische Anforderung von 0,1 µg/l für Pestizide überschritten. In mittelgrossen Oberflächengewässern des Schweizer Mittellandes werden die Grenzwerte regelmässig überschritten. Da diese als Zuflüsse zu den hier untersuchten Gewässern dienen, dürfte dies auch für Aare und Rhein von Relevanz sein.

Tab. 2 > Beurteilung der Wasserqualität des Hochrheins und der Aare nach Modul-Stufen-Konzept MSK

Bewertungsgrundlage: 90. Perzentil der monatlichen Messwerte. ■ = sehr gut (Schätzwert (S) ist kleiner als die halbe Zielvorgabe Z); ■ = gut (S ist kleiner als die Z); ■ = mässig (S ist kleiner als die eineinhalbfache Z); ■ = unbefriedigend (S ist kleiner als die doppelte Z); ■ = schlecht (S ist gleich oder grösser als die doppelte Z); K.M. = keine Messungen.

Fluss-Abschnitt		Hochrhein						Aare					
		A	B	C	D			A	B	C			
Messstelle →		Stein a. R.	Ellikon	Koblentz*	Kaiseraugst	Pratteln	Weil a. R.	Biel (Seeabfluss)	Büren a. A.	Solothurn	Murgenthal	Aarau	Felsenua
Parameter	Jahre												
Ammonium	2001/02	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	2006/07	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	2001/12	■	■	■	■	K.M.	■	■	■	■	■	■	■
Nitrit	2001/02	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	2006/07	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	2001/12	■	■	■	■	K.M.	■	■	■	■	■	■	■
Nitrat	2001/02	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	2006/07	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	2001/12	■	■	■	■	K.M.	■	■	■	■	■	■	■
Phosphat	2001/02	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	2006/07	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	2001/12	■	■	■	■	K.M.	■	■	■	■	■	■	■
Gesamt-Phosphor	2001/02	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	2006/07	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	2001/12	■	■	■	■	K.M.	■	■	■	■	■	■	■
DOC	2001/02	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	2006/07	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	2001/12	■	■	■	■	K.M.	■	■	■	■	■	■	■

*Datengrundlage 2011/12 von der nahegelegenen Probestelle Rekingen (ohne Einfluss der Wutach)

2.1.2 Wassertemperaturen

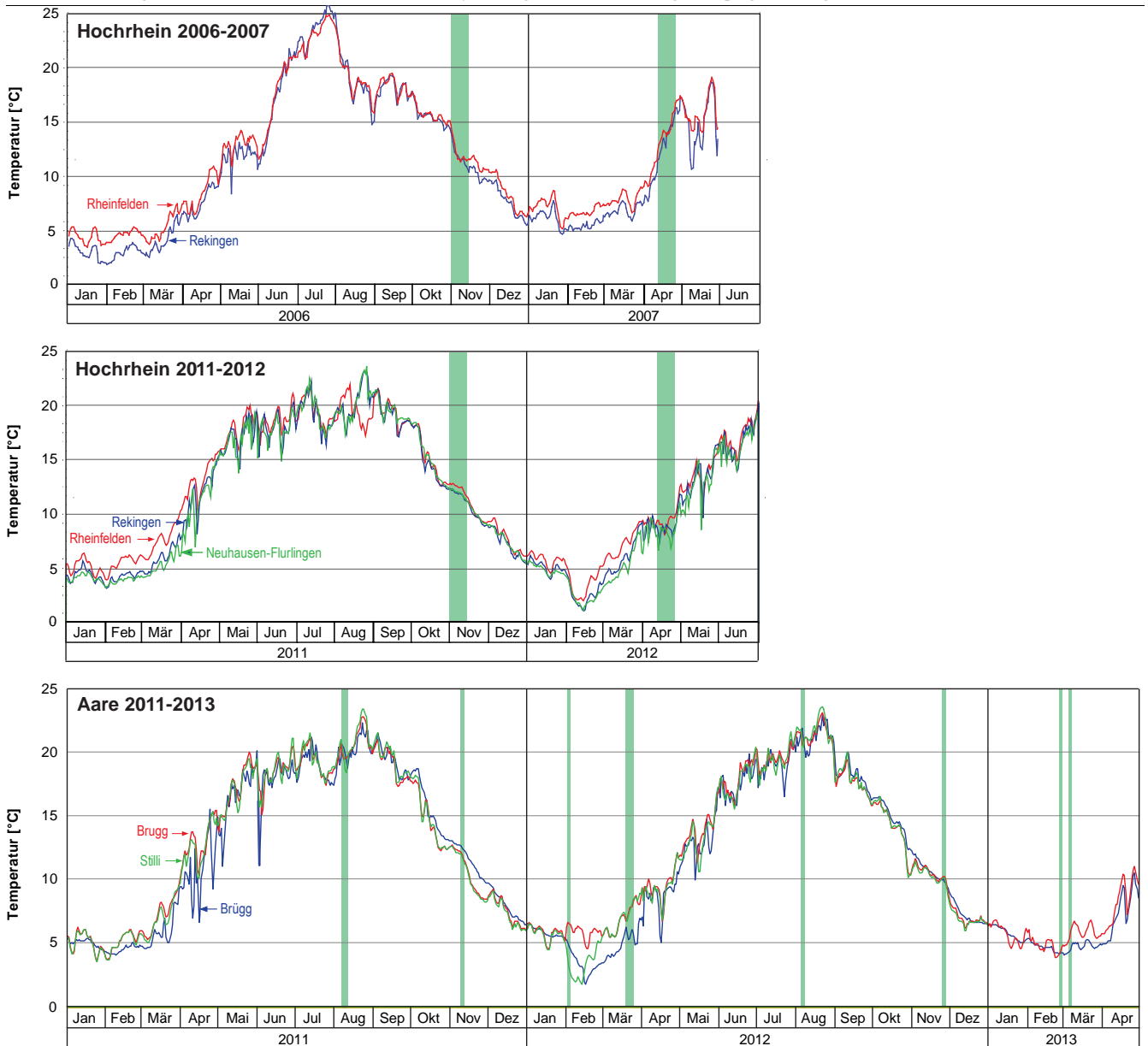
Der Hochrhein weist zwischen Bodensee und Basel keine grossen Temperaturunterschiede auf. Während im Winter die Rhein-Temperatur im Raum Rheinfelden bis zu

zwei Grad über derjenigen im oberen Hochrhein liegt, ist sie von Mai bis Dezember wieder ausgeglichen. Wie in der gesamten letzten Dekade, so lagen auch in den Jahren der beiden betrachteten Untersuchungskampagnen die Wassertemperaturen in Hochrhein und Aare oftmals über dem langjährigen Monatsmittel. Werte über 25 °C, wie sie im Juli 2006 auftraten, wurden 2011/2012 allerdings nicht mehr erreicht. Dagegen war der Rhein zwischen Ende Mai und Mitte September 2011 an allen Messstellen immer wieder auch über längere Zeiträume um oder knapp über 20 °C warm.

Abb. 5 > Wassertemperatur während der beiden letzten Untersuchungskampagnen im Hochrhein (oben und Mitte) und während des letzten Monitoringprogramms an der Aare (unten)

Jeweils aufgeführt sind die Messwerte der offiziellen Pegelstationen.

Als senkrechte grüne Balken sind die Zeiträume der jeweiligen Untersuchungskampagnen eingezeichnet.



Wie beim Abfluss, so zeigt die Aare auch bei den Wassertemperaturen einen sehr ähnlichen Verlauf wie der Hochrhein (Abb. 5). Hinzu kommt allerdings, dass die Wassertemperatur unterhalb der Rückgabe des Kühlwassers der beiden Kernkraftwerke Beznau 1 und 2 um noch einmal rund 0,5 °C anthropogen erwärmt wird. Während tiefe Temperaturen noch weitgehend abgepuffert werden, spielen langanhaltende hohe Wassertemperaturen auch hier eine immer grössere Rolle für die aquatischen Lebensgemeinschaften des Flusses. Hinzu kommt, dass Rückzugsgebiete z. B. für temperaturempfindliche Fischarten wie Äsche und Bachforelle, wie sie früher in den vielen von Grundwasser beeinflussten Auenbereichen existiert haben, heute weitgehend fehlen, weil die entsprechenden Giessengewässer in ihrer ursprünglichen Form und Funktion nicht mehr existieren oder zumindest selten geworden sind. Temperaturen um und über 20 °C, die sowohl im Hochrhein als auch in der Aare über mehr als 2 Monate herrschen können, liegen über dem Lebensraumoptimum wärmeempfindlicher Arten und beeinflussen deren Populationsentwicklung in entscheidendem Masse.

2.2 Hydrologie und Feststoffhaushalt

2.2.1 Abflussregimes

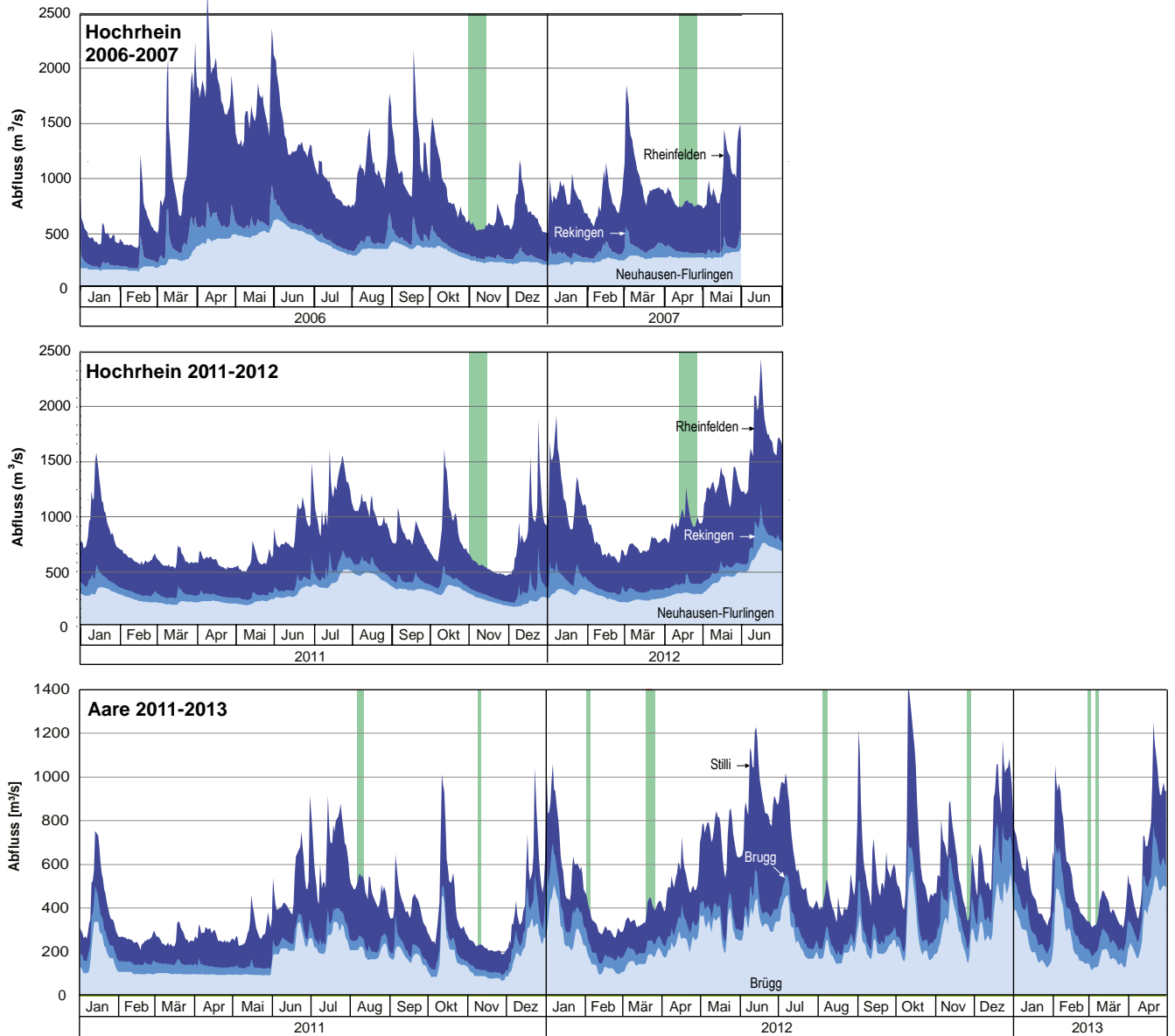
Die Aare beeinflusst als grösster Zufluss in entscheidendem Masse die Wasserführung im unteren Teil des Hochrheins, wie ein Vergleich der fast analog verlaufenden Abflüsse an den Pegelstationen Stilli (Aare) und Rheinfeld (Hochrhein) verdeutlicht (Abb. 6). Oberhalb der Aaremündung ist der Hochrheinabfluss, bedingt durch die Pufferwirkung des Bodensees, relativ konstant und zeigt nur selten grosse Abflussspitzen, die dann meist aus der Thur stammen und am Pegel Rekingen aufgezeichnet werden. Auch die Aare besitzt mit dem Durchfluss durch den Bielersee einen solchen Puffer, dessen Kapazität aber bei grösseren Regenereignissen und spätestens mit der alpinen Schneeschmelze ab Juni überschritten wird.

2.2.2 Geschiebe – Kies als Kinderstube und Lebensraum

Für kieslaichende Fischarten, aber auch für andere Gewässerorganismen ist ein funktionierender Geschiebehaushalt und damit eine lockere, gut durchströmte Kiessohle einer der wichtigsten Faktoren für sich selbst erhaltende Populationen. Diesbezüglich optimale Geschieberegimes waren früher in Hochrhein und Aare überall anzutreffen. Die Sohle beider Flüsse war ursprünglich von lockeren Kies- und Steinfraktionen dominiert. Darin liegt auch ihre historische Bedeutung als ideale Gewässer für die Reproduktion des Atlantischen Lachses (*Salmo salar*) sowie die früher sehr grossen Bestände von Äschen (*Thymallus thymallus*), Barben (*Barbus barbus*) und Nasen (*Chondrostoma nasus*). In beiden Flusssystemen wurde die Geschiebedynamik durch Kiesentnahmen und den Bau von Staustufen fast vollständig unterbunden. Allein durch ihre Zuflüsse wurden der Aare vor der ersten Juragewässerkorrektion (1868–1891) noch rund 50000 m³ Geschiebe pro Jahr zugeführt. Im Verlauf des 20. Jahrhunderts sank diese Fracht zeitweise auf Werte unter 1000 m³ pro Jahr. Die heutigen, durch unterschiedliche Nutzungen erzeugten und vor allem durch die Kraftwerkstufen weiter aufrecht erhaltenen Geschiebedefizite sind deshalb auch mitverantwortlich für die Gefährdung typischer Flussarten.

Abb. 6 > Abflüsse während der beiden letzten Untersuchungskampagnen im Hochrhein (oben und Mitte) und während des letzten Monitoringprogramms an der Aare (unten)

Jeweils aufgeführt sind die Messwerte der offiziellen Pegelstationen. Als senkrechte grüne Balken sind die Zeiträume der jeweiligen Untersuchungskampagnen eingezeichnet. Der Unterschied zwischen den Abflüssen bei Rekingen und Rheinfelden (dunkelblau) besteht fast vollständig aus dem Zufluss der Aare.



Geschiebezugaben und Geschiebemobilisierungen über Kraftwerkstufen hinweg (z. B. durch Öffnen der Schütze bei Hochwasser), aber auch in den Zuflüssen zählen aktuell zu den wichtigsten Gewässerschutzmassnahmen. Anlässlich der interkantonalen Aareplanung zur Sanierung des Geschiebetriebes werden derzeit entscheidende Grundlagen zur weiteren Verbesserung dieser Situation erarbeitet. Durch gezielte Sedimentzugaben wurden an der Aare zwischenzeitlich wieder deutlich erhöhte Geschiebefrachten er-

reicht. Nach Geschiebezugaben wurden hier in den Folgejahren eine erhöhte Laichaktivität und höhere Fischbestände erzielt^{[36],[47]}.

Im Hochrhein finden Massnahmen zur Verbesserung der Geschiebeverhältnisse zwar noch nicht in gleichem Masse wie an der Aare statt; dies soll sich künftig jedoch ändern. Der «Masterplan – Massnahmen zur Geschiebereaktivierung im Hochrhein»^[1] zeigt auf, wie der Geschiebetrieb wieder in Gang gebracht und die Lebensgrundlage für bedrohte Fischarten verbessert werden kann. Die von den deutschen und schweizerischen Behörden in Auftrag gegebene Studie wurde von einem interdisziplinären Team erarbeitet und von Umweltverbänden, Kraftwerksbetreibern und Behörden begleitet. Im Unterwasser des Kraftwerks Eglisau wurde im Jahr 2013 an mehreren Orten bereits Kies eingebracht. Diese Schüttungen sollen, abhängig von der Erosion der Kiesflächen, jährlich wiederholt und deren Erfolg evaluiert werden.

2.2.3 Trübung

Im Bereich des Bodenseeabflusses bis über den Rheinfall hinaus transportiert der **Hochrhein** in der Regel ausser Plankton nur wenige Trübstoffe. Etwa ab der Mündung der Thur nimmt die Wassertrübung durch die höhere Schwebstofffracht kontinuierlich zu^[32]. Vor allem bei Hochwasserereignissen in den Zuflüssen kann die Trübung im Rhein stark ansteigen und über längere Zeit anhalten. Die natürlich auftretende Trübung reduziert die Lichtintensität auf der Gewässersohle und limitiert dort das Pflanzenwachstum. Aus diesem Grund finden wir z. B. in den oberen Hochrheinabschnitten einen stärkeren Makrophytenbewuchs – auch in grösseren Tiefen – als im Rhein unterhalb der Aaremündung (Abb. 7).

In der **Aare** sind Unterschiede in der Lichtdurchflutung vor allem von der Wassertiefe abhängig. Abschnitte mit nahezu schwebstofffreiem Wasser wie im Hochrhein gibt es nicht^[33].

Abb. 7 > Unterschiedliche Trübung und Lichtdurchflutung im Hochrhein. Trübung und Licht sind entscheidende Faktoren für manche Besiedlungsunterschiede auf der Hochrheinsohle

Am Tössegg trifft man bei klarer Sicht auch in über 4 m Wassertiefe auf dichte Wasserpflanzenbestände.

Im trübere Wasser des Rheins bei Schweizerhalle wachsen in derselben Tiefe keine Pflanzen mehr, das Licht ist deutlich schwächer und stark gefiltert.



3 > Ergebnisse der biologischen Untersuchungen

3.1 Planktische Algen

In Flüssen spielt das Phytoplankton eine geringere Rolle als in Seen. Die Algenzusammensetzung wird weitgehend durch abgeschwemmte Aufwuchsalgen, durch den Eintrag aus stehenden Gewässern sowie die Entwicklung in Flusstauen bestimmt. Für den Hochrhein liegen aktuelle Ergebnisse über das Phytoplankton an drei Probestellen vor (Abb. 8), die im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW)^[35] bzw. der IKS^[7] gesammelt wurden. Die oberste Messstelle liegt noch im Bodensee bei Öhningen und zeigt an, welche Planktonorganismen in welcher Menge aus dem See in den Hochrhein eingetragen werden. Der nächste Messpunkt liegt bei Rekingen und repräsentiert den Rheinabschnitt vom See bis zur Aaremündung. Der Abschnitt unterhalb der Aaremündung wird durch eine Probestelle unterhalb des Rheinknies bei Basel in Weil vertreten. Zusätzlich wird mittels einer Messstelle an der Aare der Phytoplanktoneintrag durch die Aare bei Felsenau, kurz vor der Mündung in den Hochrhein erfasst.

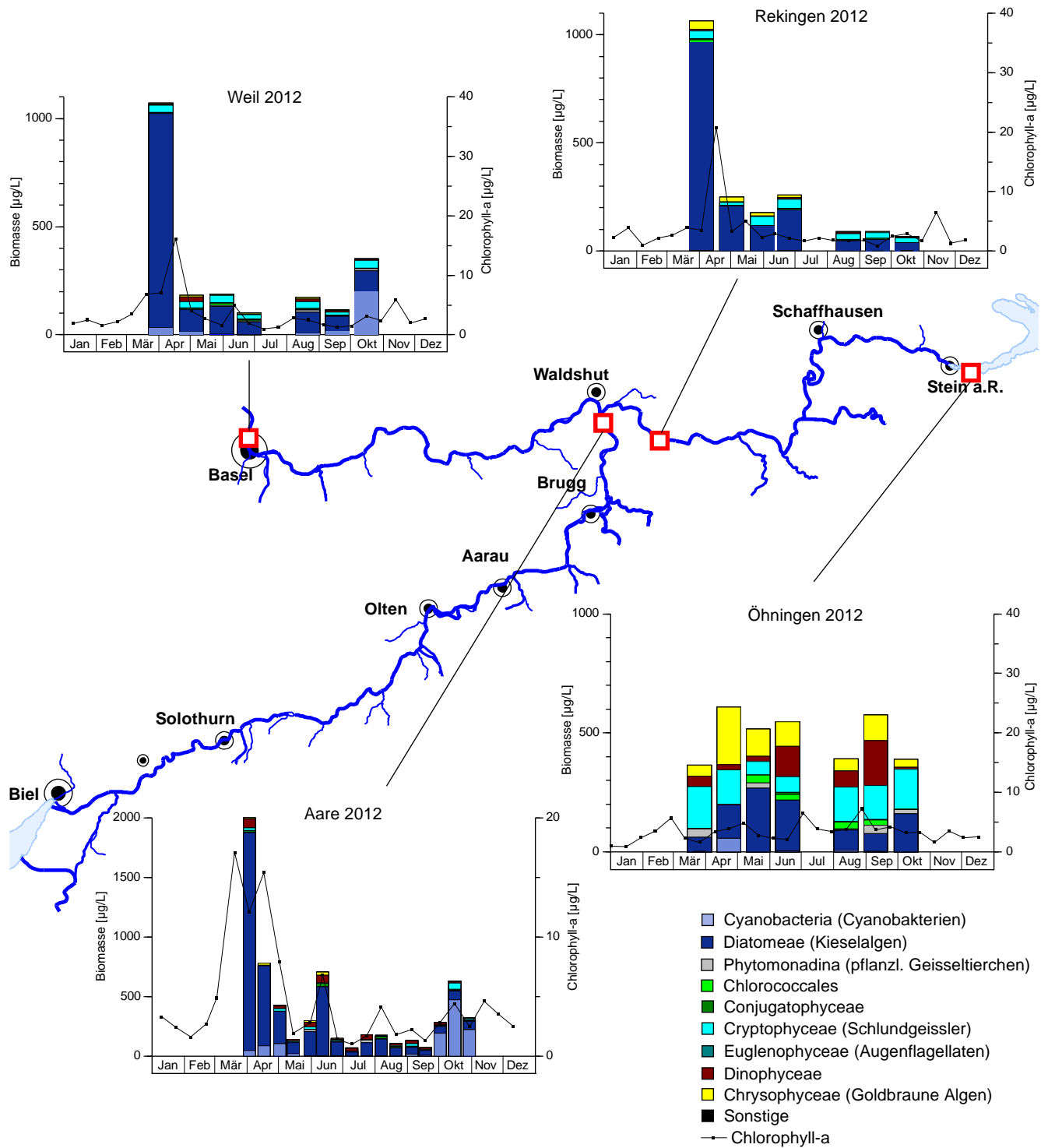
Die Plankton-Zusammensetzung im Hochrhein wird in entscheidendem Masse durch den Bodensee und die Aare sowie durch die Abschwemmung von Aufwuchsalgen beeinflusst. Eine Planktonproduktion im Fluss selbst ist nur in geringem Masse in Staureichen möglich. In der Aare zeigt sich der Einfluss des Bielersees in bestimmten Kieselalgenmaxima und der Einfluss eutropher Mittellandseen, z. B. des Hallwilersees, spiegelt sich im Vorkommen von Blaualgen (Cyanobakteria) in Aare und Hochrhein unterhalb der Aaremündung.

Von der Probestelle Öhningen bis etwa zum Rheinfall prägt die Seeabflussbiozönose des Bodensees die Planktongemeinschaft des Rheins. Darin enthalten sind hohe Anteile von Kieselalgen (Diatomeen), vor allem den Arten *Fragilaria crotonensis*, *Cyclotella cyclopuncta* und *C. radiosa*. Daneben treten über das gesamte Jahr hinweg winzig kleine Algen der Familie der Cryptophyceen sowie eine Mischgruppe von Dinophyceen auf. Goldalgen (Chrysophyceen) können an dieser Probestelle ebenfalls Biomasseanteile über 30 % erreichen^[35].

An den weiter flussabwärts liegenden Probestellen treten Chryso- und Dinophyceen zurück und die Gesellschaften werden immer stärker durch Kieselalgen geprägt. Die Planktonbiozönose bei Rekingen hat kaum mehr Ähnlichkeit mit derjenigen am Seeabfluss. In Weil am Rhein kommen dominante Anteile von Blaualgen (Cyanobacteria) hinzu, die insbesondere im Mai und im Spätsommer höhere Biomasseanteile (bis 57 %) erreichen. Diese aus Schweizer Seen über die Aare in den Rhein eingetragenen Arten können sich dort in der Regel gut weiterentwickeln.

Abb. 8 > Zusammensetzung und Biomasse des Phytoplanktons im Hochrhein und in der Aare im Untersuchungsjahr 2012

Angegeben sind die Anteile der häufigsten Gruppen sowie des jeweiligen Chlorophyllgehalts der Proben.



Quelle: LUBW

Die trophische Einstufung der dominanten Planktonarten (Tab. 3) zeigt im Mittel überall eine «gute bis sehr gute» Gewässergüte an. Die Bewertung erfolgte gemäss EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)^[31]. Die Kenngrössen lassen angesichts der wechselnden hydrologischen Begebenheiten allerdings kaum Aussagen über eine Verbesserung oder Verschlechterung gegenüber früheren Untersuchungen zu^[35].

Tab. 3 > Vergleich der ökologischen Qualität anhand der Trophie-Kenngrössen des Phytoplanktons in Hochrhein und Aare (Untersuchungsjahre 2006 und 2012)

Bewertung durch Baden-Württemberg im Rahmen des biologischen Untersuchungsprogramms der IKSR (Internationale Kommission zum Schutz des Rheins)^{[3],[7],[35]}.

Probestelle	Jahr	Ökologische Qualität, Gesamtindex, Phytoplankton
Aare bei Felsenau	2006	1,37
	2012	1,24
Seeabfluss bei Öhningen	2006	2,02
	2012	2,05
Hochrhein bei Rekingen	2006	1,27
	2012	1,36
Oberrhein bei Weil	2006	1,36
	2012	1,29

3.2

Aufwuchs und benthische Kieselalgen

Der Aufwuchs der Flusssohle (Abb. 9) setzt sich aus vielen verschiedenen Organismengruppen zusammen: Bakterien, Pilzen, tierischen Einzellern (Protozoen) und Algen. Er bildet wichtige Lebensraumstrukturen, trägt einen wesentlichen Teil zur Selbstreinigung des Fliessgewässers bei und ist Nahrung für viele kleine und grössere Tiere. Den Hauptanteil des Aufwuchses bilden meist festsitzende Algen, sowohl einzellige wie auch mehrzellige, krustenförmige oder fädige Formen, die zu verschiedenen taxonomischen Gruppen zählen (z. B. Grün-, Rot- und Goldalgen, Kieselalgen). Ihre Artenzusammensetzung wird durch das Licht- und Strukturangebot, durch die Geologie des Einzugsgebiets (Kalk- oder Urgestein), durch die Strömung sowie durch den Nährstoffgehalt und andere Stoffe im Wasser bestimmt. Das Arteninventar und seine relative Zusammensetzung im Aufwuchs geben deshalb wichtige Hinweise zur Bewertung der biologischen Gewässerqualität^{[16],[38]}.

Abb. 9 > Im Aufwuchs der Flusssohle leben verschiedenste Pflanzen, Tiere, Pilze und Bakterien zusammen

Am auffälligsten ist der Algenaufwuchs, der sich zu grossen Teilen aus den braunen, fädigen oder krustigen Algen zusammensetzt. Sie sind auch gute Zeiger der Gewässergüte und Trophie (Nährstoffsituation). Im Hochrhein und in der Aare sind viele Steine von der Alge *Hildenbrandia rot* überzogen.

Hochrheinsohle bei Ellikon im November



Aaresohle bei Villnachern im Hochsommer



Kieselalge der Gattung *Navicula*

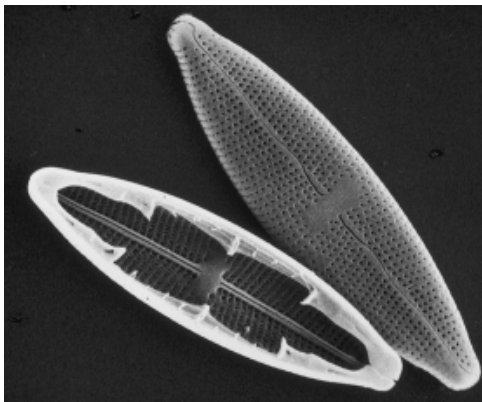
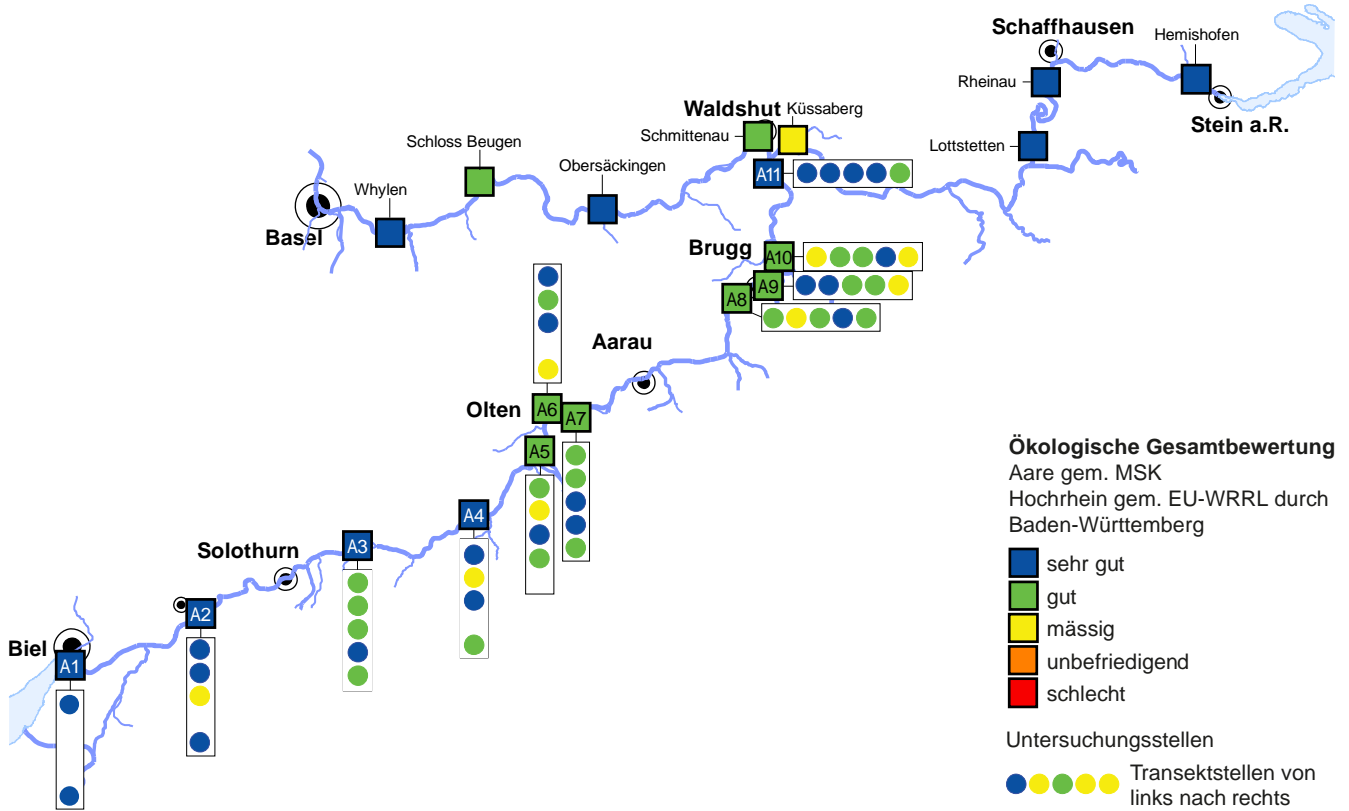


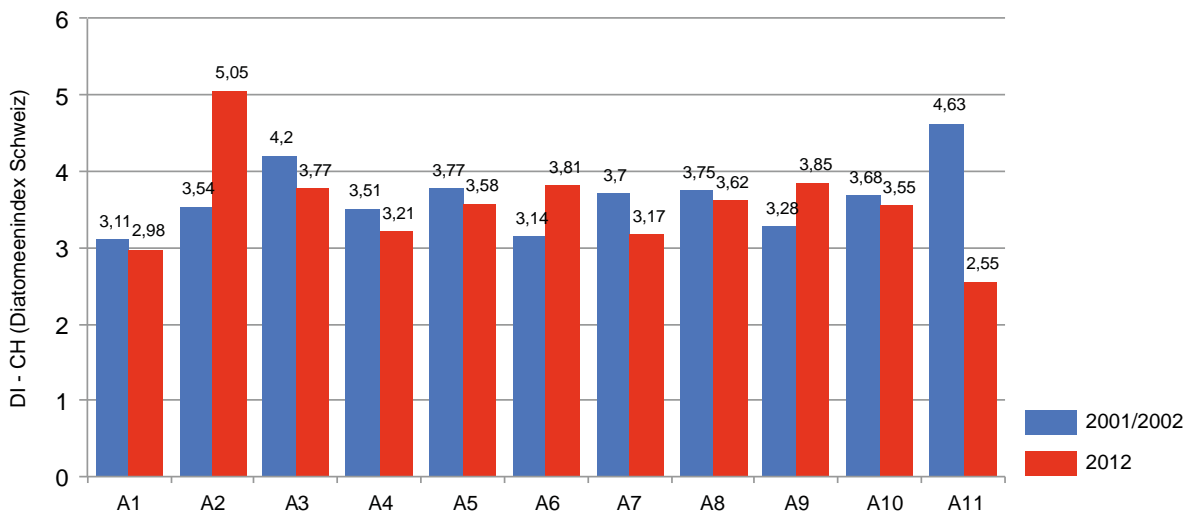
Foto: Hürimann

Im **Hochrhein** wurden im Rahmen der beiden letzten Messprogramme an acht Stellen Aufwuchs- und Kieselalgenproben im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) gesammelt^{[6],[15],[20]}. Anhand der ermittelten Gesamtartenzahlen, Artenzusammensetzungen und Häufigkeiten wurde eine Bewertung der biologischen/ökologischen Gewässerqualität gemäss der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) vorgenommen.

Abb. 10 > Anhand von Kieselalgen biologisch indizierte Gewässerqualität in Hochrhein (nach Methode SCHAUMBURG et al. 2012) und Aare (nach Modul-Stufen-Konzept, Kieselalgen, Stufe F). In der Aare wurden mehrere Stellen im Flussquerschnitt untersucht



Vergleich der Qualitäts-Indices (DI-CH) der letzten Kampagnen 2001/02 und 2012 in der Aare. Je geringer der DI-CH-Wert, desto besser die Gewässerqualität.



Im Vergleich zu den flussabwärts gelegenen Rheinabschnitten sind die Kieselalgen-Gesellschaften des Hochrheins relativ artenarm (insgesamt 25 Arten gegenüber 47 Arten im Oberrhein^[20]). Aspektbildend sind *Achnanthes minutissima* und *Amphora*

pediculus. Während *A. pediculus* nahezu im gesamten Rhein eine Massenform ist, wurden dichte Vorkommen von *A. minutissima* nur im Hochrhein verzeichnet. Gleichfalls charakteristisch für diesen Rheinabschnitt sind *Denticula tenuis*, *Nitzschia fonticola*, *Cymbella affinis*, *C. microcephala*, *C. silesiaca*, *Gomphonema pumilum* und *Achnanthes biasoletiana*, die überwiegend im oberen Teil des Hochrheins hohe Individuendichten erreichen. In der Zusammensetzung der Begleitarten weisen die Gesellschaften eine hohe Ähnlichkeit mit anderen alpin und subalpin geprägten Flüssen^[20] auf.

Aufwuchs- und Kieselalgen sind ebenfalls ein Indikator für die Nährstoffsituation (Trophie). In der Gesamtbewertung zeigen die Kieselalgen an beurteilten Hochrheinstellen eine gute bis sehr gute biologische Gewässerqualität an. Die geringsten Belastungen wurden für den Seeabfluss bei Hemishofen (Rhein-km 27,8), die höchsten für die Stelle Küssaberg-Ettikon ermittelt (Abb. 10).

Auch in der **Aare** wurden die Aufwuchs- und speziell die Kieselalgen eingehend untersucht^{[33],[16]}. In den 48 Proben von 2012 konnten insgesamt 149 Taxa (2001 = 176 Taxa) und damit 28 % der für mitteleuropäische Fliessgewässer typischen Arten gefunden werden. Die Proben einer naturnahen Stelle bei Wynau wiesen mit 50 Taxa eine überdurchschnittlich hohe Artenvielfalt auf. Geringe Artenzahlen traten immer dann auf, wenn ein einzelnes Taxon stark dominierte.

Die Kieselalgen-Lebensgemeinschaften in der Aare 2012 belegen gemäss der Bewertung des Modul-Stufen-Konzepts (MSK) mit zwei Ausnahmen (je eine Probe aus Arch und Olten) eine gute bis sehr gute Gewässerqualität (Abb. 10). Im Vergleich zu den Untersuchungen von 2001 hat sich die Gewässergüte damit insgesamt verbessert. Hatten 2001 erst 44 % aller Proben die ökologischen Ziele nach Gewässerschutzverordnung erfüllt, waren es 2012 bereits 84 %.

3.3 Makrophyten (Wasserpflanzen)

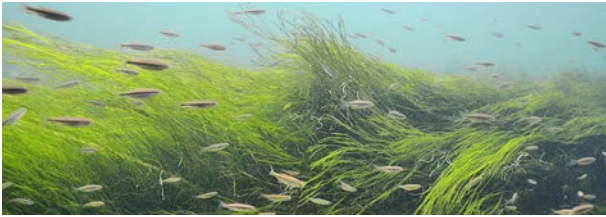
Der Begriff «Makrophyten» ist ein praxisbezogener Sammelbegriff für eine Gruppe von Wasserpflanzen, zu denen Gefässpflanzen, Armleuchteralgen und Moose gezählt werden (Abb. 10). Wenn Makrophyten in dichteren Beständen oder als «Polster» wachsen, sind sie bedeutende Lebensraumstrukturen für Fische und wirbellose Kleinlebewesen. Einige Fischarten legen ihren Laich an Wasserpflanzen ab.

Die letzten grossflächigen und koordinierten Erhebungen der Makrophyten in Hochrhein und Aare liegen fast 20 Jahre zurück^[42]. Aus der Aare liegen zwischenzeitlich keine neueren Erhebungen vor; im Hochrhein wurden Makrophyten 2006 stichprobenweise von Schweizer Seite^[45] und 2012 im Rahmen der Untersuchungen nach EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) durch Baden-Württemberg an acht Stellen untersucht^[6].

Die Hauptverbreitungsgebiete der strömungsliebenden Makrophytenarten liegen im Hochrhein im Bereich Stein a. Rhein bis Schaffhausen und Rheinau bis Rüdlingen, für die Stillwasserarten in den Staubereichen Albbruck-Dogern bis Rheinfelden. In der Aare gibt es keine vergleichbare Zonierung, die Bestände verschiedener Arten sind je nach Strömungscharakter grösser oder kleiner. Einige strömungsliebende Arten wie der Flutende Hahnenfuss sind in der Aare generell selten, Wassermoose dagegen überall

verbreitet. Im Durchschnitt waren bis ca. 1998 noch rund 40 % der ufernahen Sohlenflächen mit Makrophyten bewachsen (Angaben aus dem Rhein^{[43],[44]}).

Abb. 11 > Aspektbildende Makrophyten in Hochrhein und Aare



*Der Flutende Hahnenfuss (*Ranunculus fluitans*) ist im Hochrhein sehr dominant an Standorten mit Fliessgeschwindigkeiten bis zu 1m/s und wenig Beschattung. Grössere Bestände findet man vor allem zwischen Bodensee und Aaremundung. In der Aare ist die Art seltener.*



*Das Kammlaichkraut (*Potamogeton pectinatus*) gehört zu den häufigsten Arten in den Staubereichen von Hochrhein und Aare.*



*Das Ährige Tausendblatt (*Myriophyllum spicatum*) ist vor allem in der Aare sehr verbreitet. Die Art kommt häufig in kleineren Horsten und Gruppen vor.*



*Die Bestände der eingeschleppten Nuttalls Wasserpest (*Elodea nuttallii*) haben seit Beginn der 1990er Jahre stark zugenommen. Vielerorts hat die Art die Kanadische Wasserpest (*Elodea canadensis*) sowie das Kammlaichkraut (*Potamogeton pectinatus*) verdrängt. Sie bildet oftmals grossflächige, dichte Bestände.*



*Moose (*Bryophyta*) besiedeln in kleinen Gruppen oder als einzelne Polster häufig auch beschattete Stellen mit festem Untergrund. Sie sind zudem sehr strömungstolerant und besiedeln auch Habitate, die von den übrigen Wasserpflanzen gemieden werden.*



*Die Armeleuchteralgen (*Characeen*) bilden in den obersten Rheinabschnitten mit stabiler Gewässersohle und guter Lichtdurchflutung oftmals dichte Unterwasserrasen. Unterhalb der Thurmmündung konnten sie nicht gefunden werden.*

Tab. 4 > Verbreitungen und Häufigkeiten der Makrophyten im Hochrhein

Ergebnisse der Erhebungskampagne 2012^[6]. Häufigkeitsklasse ■ 1; ■ 2; ■ 3; ■ 4; ■ 5; weiss = kein Nachweis, grau = Nachweis vorhanden

Art oder höheres Taxon	Untersuchungsstelle							
	Hemishofen	Rheinau	Loftstetten	Küssberg	Schmittenu	Obersäckingen	Schloss Beugen	Whylen
Bryophyta (Moose)								
<i>Amblystegium fluviatile</i>								
<i>Amblystegium serpens</i> (Kriechendes Stumpfdeckelmoos)								
<i>Amblystegium tenax</i>								
<i>Amblystegium varium</i>								
<i>Barbula unguiculata</i> (Gespitzblättriges Bärtchenmoos)								
<i>Brachythecium rutabulum</i> (Gemeines Kurzbüchsenmoos)								
<i>Bryum spec.</i> , Birnmoos <i>spec.</i>								
<i>Calliergonella cuspidata</i> (Spitzblättriges Spiessmoos)								
<i>Cinclidotus danubicus</i>								
<i>Cinclidotus riparius</i> (Zungenblättriges Gitterzahnmoos)								
<i>Cratoneuron filicinum</i> (Farnähnliches Starknervmoos)								
<i>Didymodon luridus</i>								
<i>Eurhynchium swartzii</i>								
<i>Fissidens crassipes</i>								
<i>Fontinalis antipyretica</i> (Gewöhnliches Quellmoos)								
<i>Rhynchostegium murale</i> (Mauer-Schnabeldeckenmoos)								
Charales (Armelechteralgen)								
<i>Chara globularis</i> (Zerbrechliche Armelechteralge)								
Spermatophyta (Samenpflanzen)								
<i>Ceratophyllum demersum</i> (Raues Hornblatt)								
<i>Elodea canadensis</i> (Kanadische Wasserpest)								
<i>Elodea nuttallii</i> (Schmalblättrige Wasserpest)								
<i>Myriophyllum spicatum</i> (Ähriges Tausendblatt)								
<i>Phalaris arundinacea</i> (Rohr-Glanzgras)								
<i>Potamogeton pectinatus</i> (Kamm-Laichkraut)								
<i>Ranunculus fluitans</i> (Flutender Hahnenfuss)								
Bewertung	weit entfernt von Referenzzustand							
Tendenz Makrophytenverödung								

Aber schon bei den Kartierungen 1996–1998 berichtet WÄCHTER^[43] von einem drastischen Rückgang und einer Veränderung der Bestände. Unterhalb des Seeabflusses bis zur Thurmündung – dem Hauptverbreitungsgebiet des Flutenden Hahnenfusses – verschwanden ganze Makrophytenfelder. Die neuesten Untersuchungen belegen einen weiteren Rückgang. An der Stelle Hemishofen wurden 2010 noch sieben, 2012 nur

noch zwei bestandsbildende Makrophytentaxa in einer äusserst spärlichen Besiedlung vorgefunden. Erstmals wurde von einer Verödungstendenz gesprochen [in 06]. Ein tendenzieller Rückgang - vor allem der bisher dominierenden rheintypischen Arten - wurde bis auf die beiden Stellen Küssaberg und Karsau (vgl. Tab. 4) auch an den übrigen Untersuchungsstellen bis Basel festgestellt. Bei diesem Befund könnte jedoch die Sammelmethodik eine nicht unerhebliche Rolle gespielt haben. So wurden im Rahmen der im selben Jahr durchgeführten Beprobungen der Flusstransecte mit Tauchern an allen Stellen deutlich mehr Taxa (vor allem Spermatophyten) nachgewiesen und dokumentiert als im Bericht der LUBW^[6] beschrieben sind. Auffällig und noch nicht geklärt ist die starke Fluktuation in den Artenzahlen und Artenzusammensetzungen in den vergangenen Jahren. Dabei nehmen offenbar belastungstolerante Taxa zu, obwohl sich der Belastungshintergrund und der Nährsalzgehalt in den letzten Jahrzehnten immer mehr verringert hat^[6].

Betrachtet man die Ergebnisse in Tabelle 4, so befindet sich die Makrophytenvegetation des Hochrheins weit entfernt vom Referenzzustand eines kiesgeprägten Stromes wie dem Hochrhein. Zwischenzeitlich ging man davon aus, dass Hochwasserereignisse und damit verbundene Geschiebeumlagerungen eine entscheidende Rolle spielen. Weitere Faktoren sollten aber auch nicht ausser Acht gelassen werden; hierzu gehören der generelle Geschiebemangel mit Kolmationserscheinungen, Konkurrenzphänomene (vor allem durch invasive Neophyten) und Frassresistenzen (z. B. gegenüber Grosskrebse). Darüber hinaus fehlt zur Beurteilung auch die Referenz aus den Jahren vor der Eutrophierungsphase.

3.4 Makroinvertebraten (Wirbellose Kleinlebewesen)

3.4.1 Makroinvertebraten und der Strömungscharakter des Flusses

Im Hochrhein und in der Aare direkt unterhalb der Seen wird das Makrozoobenthos (Lebensgemeinschaft der bodenlebenden wirbellosen Kleinlebewesen) von Arten dominiert, die in besonderem Masse den Eintrag von organischem Material und Plankton aus den Seen nutzen können (Abb. 12a)^[32]. Frei fliessende Flussabschnitte sind das bevorzugte Habitat strömungsliebender und strömungstoleranter Arten (Abb. 12b). Über die grösseren Zuflüsse stossen auch immer wieder Bergbacharten hinzu, die ihren Verbreitungsschwerpunkt in diesen Zuflüssen haben.

Stillwasserarten (Abb. 12c) dominieren das Makrozoobenthos innerhalb eingestauter Flussstrecken, aber auch strömungsberuhigte Bereiche naturnaher Abschnitte. Typische Flussarten (Abb. 12d), die vor 100 Jahren den Hochrhein und die Aare in grossen Mengen besiedelt haben, werden immer seltener oder sind, wie die Eintagsfliege *Oligoneuriella rhenana*, im Untersuchungsgebiet bereits ausgestorben. Fast überall in Rhein und Aare, aber auch in anderen grösseren Fliessgewässern Mitteleuropas sind sogenannte «Allerweltsarten» (Ubiquisten) anzutreffen, zu denen viele Zuckmückenarten, Wasserschnecken und Egel und die meisten gebietsfremden Tierarten (Neozoen) zählen.

Abb. 12 > Typische Vertreter der Makroinvertebraten innerhalb unterschiedlicher Abschnitte und Bereiche des Hochrheins und der Aare

a) Seeabflussarten, v.l.n.r.:

Kolonie der neozoischen Wandermuschel
Dreissena polymorpha



Netze von Köcherfliegenlarven der Gattung
Neureclipsis

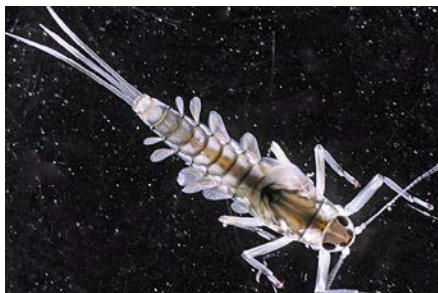


Netz einer Köcherfliegenlarve der Gattung
Hydropsyche



b) Strömungstolerante und strömungsliebende Arten, v.l.n.r.:

Eintagsfliegenlarve der Gattung *Baëtis*



Kriebelmückenlarve



Steinfliegenlarve der Gattung *Perlodes*



c) Stillwasser- und Auenarten, v.l.n.r.:

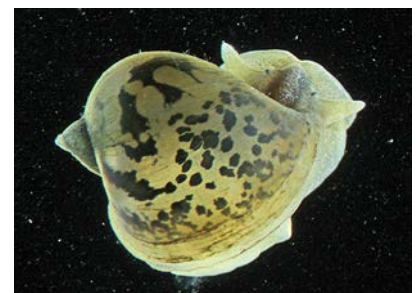
Schlammfliege *Sialis* sp.



Wasserwanze der Gattung *Sigara*



Schnecke *Radix auricularia*



d) Typische Fluss- und Stromarten: v.l.n.r.:

Grundwanze *Aphelocheirus aestivalis*



Eintagsfliege *Potamanthus luteus*



«köcherlose» Köcherfliege *Psychomyia pusilla*



3.4.2 Seltene oder schwer nachweisbare Arten

Einige Taxa im Hocht Rhein und der Aare werden durch die Probenahme kaum erfasst, weil sie entweder zu selten, zu verstreut, zu gross oder zu empfindlich sind, um in den Proben konserviert werden zu können. Hierzu zählen z. B. Grosskrebse, Grossmuscheln, Süsswasserpolyphen und Moostierchen. Ihr Nachweis gelingt aber immer wieder durch gesonderte Aufsammlungen, durch Beobachtungen in Ufernähe oder durch Unterwasseraufnahmen (Abb. 13). Schwämme sind sowohl im Hocht Rhein wie auch in der Aare anzutreffen. Im Raum Schweizerhalle bedecken sie das Blockssubstrat mit teilweise über 1 m² grossen Kolonien.

Libellenlarven treten auf der Flusssohle niemals in hohen Dichten auf, so dass sie in den Proben fehlen können, obwohl sie an der entsprechenden Stelle regelmässig vorkommen. Neben einigen anderen Kleinlibellenarten dürften die häufigsten Libellen in Hocht Rhein und Aare die Prachtlibellenarten (*Calopteryx splendens* und *C. virgo*) sein. In den Hocht Rheinproben tauchen vereinzelt auch flusstypische Libellenlarven aus der Familie Gomphidae (Keiljungfern und Zangenlibellen) auf. Die gesamte Gruppe ist als gefährdet einzustufen, die Gelbe Keiljungfer (*Gomphus simillimus*) ist sogar vom Aussterben bedroht.

Abb. 13 > Seltene oder schwer nachweisbare Makroinvertebraten im Hocht Rhein und in der Aare

a) Grossmuschel der Gattung *Anodonta* (Tössegg)



b) Süsswasserpolyphen *Hydra* sp. (Hemishofen)



c) Süsswasserschwamm *Ephydatia* (Schweizerhalle)



d) Moostierchenkolonie der Gattung *Fredericella* (Rietheim)



e) Männchen und Weibchen der Gebänderten Prachtlibelle (Tössegg)



f) Larve der Kleinen Zangenlibelle *Onychogomphus forcipatus* (Tössegg)



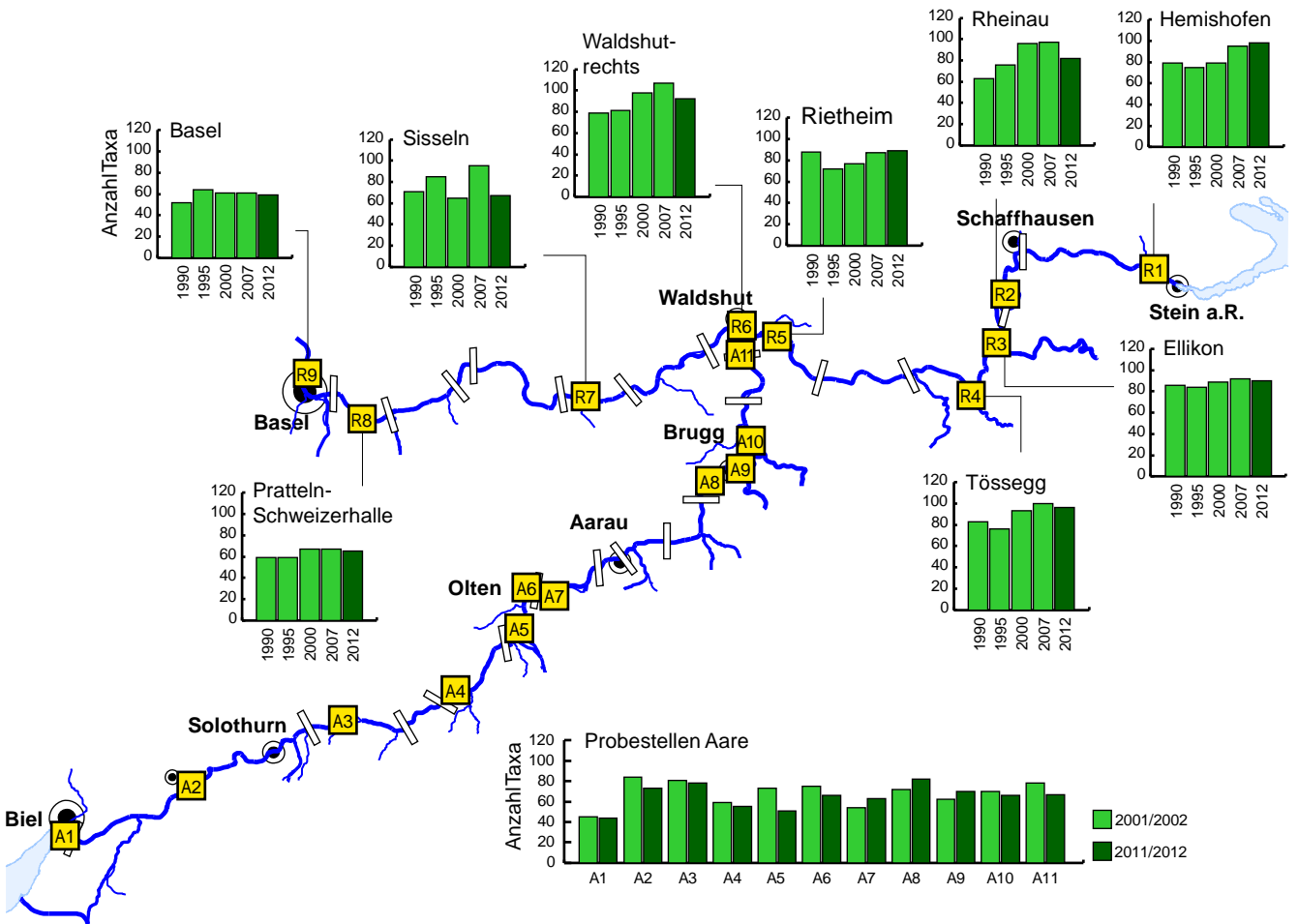
3.4.3 Artenverteilung und Artenvielfalt

Dass im Schweizer Einzugsbereich des Rheins noch immer ein grosses Artenreservoir an Wirbellosen vorkommt, belegen die Ergebnisse der letzten Untersuchungskampagnen. Die Gesamt-Taxazahlen der Dauerbeobachtungsstellen im Hochrhein (2000: 180 Taxa; 2007: 201 Taxa; 2012: 191 Taxa) und der Aare unterhalb des Bielersees (2002: 155 Taxa; 2012: 165 Taxa) liegen deutlich über denen aller anderen Rheinabschnitte, wobei im Hochrhein die im Schnitt höheren Artenzahlen pro Stelle nachgewiesen wurden. Die Taxazahlen waren in den letzten 22 Jahren scheinbar nur unerheblichen Schwankungen unterworfen (Abb. 14), allerdings hat sich das Artenspektrum deutlich verändert. Das Arten-Reservoir ist entlang von Hochrhein und Aare unterschiedlich verteilt. Im Hochrhein nehmen die Taxazahlen auf den Flussquerschnitten zwischen Bodensee und Basel tendenziell ab. In einem ungestörten Flusssystem würde man genau das Gegenteil erwarten: mit zunehmender Lauflänge und durch Zudrift aus den Hochrhinzufüssen sollten eigentlich immer neue Faunenelemente hinzukommen. Allerdings trifft man im unteren Hochrhein an naturnahen Abschnitten auf höhere Taxazahlen als an strukturell verarmten.

In der Aare sind kaum Unterschiede bezüglich der Taxazahlen im Längsverlauf erkennbar. Allerdings nimmt auch hier die Artenzahl flussabwärts nicht zu. Im Gegensatz zum Hochrhein stechen nicht einmal morphologisch abwechslungsreichere Stellen hervor, an denen aufgrund des vielfältigeren Habitatangebots höhere Taxazahlen erwartet werden konnten. Auf die wenigsten Taxa trifft man im Seeabfluss.

Abb. 14 > Taxazahlen der Makroinvertebraten in Hochrhein und Aare

Angegeben sind die maximalen Besiedlungsdichten an den jeweiligen Flussquerschnitten des Langzeit-Monitoringprogramms zwischen 1990 und 2012 (Hochrhein) sowie 2001/02 und 2011–13 an der Aare. Weisse Balken im Flusslauf = Kraftwerksstufen.

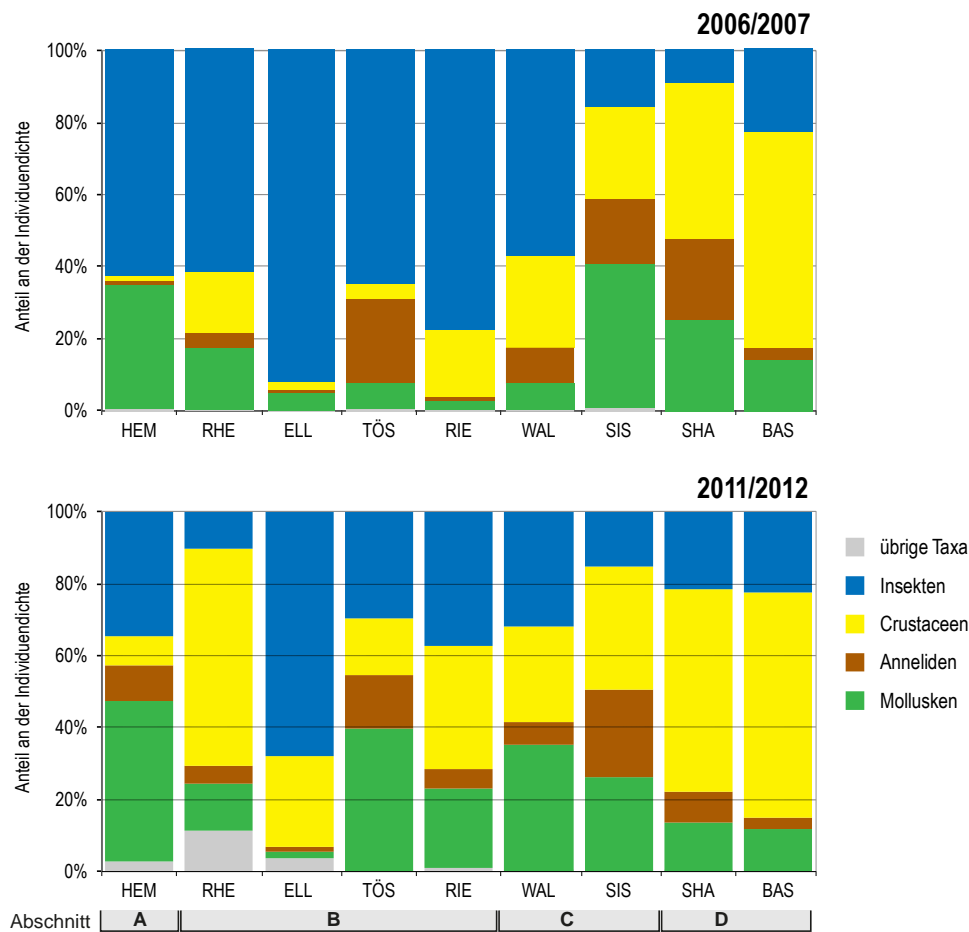


3.4.4 Besiedlungsdichten

Auch die Besiedlungsdichten der Makroinvertebraten liegen im Hochrhein deutlich über denen anderer Rheinstrecken. Dabei können mittlere Dichten von über 10000 Individuen/m² nicht nur bei sessilen Arten oder invasiven Neozoen auftreten, sondern auch von angestammten Taxa wie verschiedenen Mücken- oder Flohkrebsarten erreicht werden. Maximale Besiedlungszahlen von über 45000 Individuen/m² und bis zu 60000 Individuen/m², wie sie auch 2011/2012 in beiden Flüssen aufgetreten sind, findet man nur punktuell und nicht zu allen Zeiten. Dennoch belegen sie das z. T. enorme Reproduktionspotenzial der jeweiligen Lebensräume. In beiden Flüssen ist eine relative Zunahme der Krebse und Weichtiere gegenüber den Insektenarten zu verzeichnen, womit sich die heutige Lebensgemeinschaft auf der Flusssohle immer weiter von der Referenz-Biozönose vor rund 100 Jahren^[22] entfernt, die noch von typischen Fluss- und Bergbacharten dominiert wurde. Im Hochrhein hat diese Veränderung schon früher eingesetzt. Sie ist seit 2006/07 auch auf den oberen fünf Probestellen zwischen Hemishofen und Riethem zu beobachten (Abb. 15).

Abb. 15 > Zusammensetzung der Benthosbesiedlung im Hochrhein: Vergleich der Kampagnen 2006/2007 und 2011/2012

Anteile taxonomischer Grossgruppen an der Individuendichte für jeden Flussquerschnitt – gemittelt über sämtliche Teilproben. A-D bezeichnen die auf Schweizer Seite verwendeten vier Hochrheinabschnitte unterschiedlichen Flusscharakters.



3.4.5 Veränderungen im Vorkommen einzelner Arten

Was sich in der Gesamtschau nur als leichte Fluktuation zwischen grösseren taxonomischen Einheiten erahnen lässt, kann für einzelne Arten bereits eine existenzielle Veränderung im Bestand sein. Seit die Wasserqualität auch in den grossen Flüssen so gut ist, dass sie auch die Lebensgrundlagen für sensible Arten nicht mehr einschränkt, ist es vor allem das Habitatangebot, das den entscheidenden Unterschied für den Bestand einzelner Arten begründet. Seit etwa dem Jahre 2000 beeinflusst die Ausbreitung wirbelloser Neozoenarten – fast ausschliesslich aus der Gruppe der Krebstiere (Crustacea) und Weichtiere (Mollusca) – die Bestandsdichten angestammter Benthosorganismen. Hierbei spielt neben der Konkurrenz um geeignete Habitate die räuberische Lebensweise einiger Neozoenarten – wie des Grossen Höckerflohkrebses *Dikerogammarus villosus* – eine entscheidende Rolle. Neben den angestammten Flohkrebsarten (Abb. 16) sind auch mehrere EPT-Taxa (Eintags-, Stein- und Köcherfliegen) sowie heimische Wasserkäfer, Strudelwürmer und die Grundwanze *Aphelocheirus* von einem deutlichen Rückgang betroffen.

Ähnliche Tendenzen lassen sich inzwischen auch in der Aare beobachten, wenn auch noch nicht in so ausgeprägter Form. Aber nicht nur zwischen Neozoen und angestammten Arten gibt es einen Konkurrenzkampf. Grosse Veränderungen in der Besiedlung findet man vor allem auch, wenn sich Massenvorkommen unterschiedlicher Neozoenarten ablösen (Abb. 17).

Abb. 16 > Veränderungen der Besiedlungsdichten aspektbildender Flohkrebsarten im Hochrhein zwischen 1995 und 2012

Das Vordringen des Höckerflohkrebses *Dikerogammarus villosus* aus zwei Richtungen (Oberrhein und Bodensee) geht mit dem Rückgang heimischer Bachflohkrebse (hier: *Gammarus fossarum*) und Neozoen früherer Generationen wie dem Fluss-Flohkrebs (*Gammarus roeseli*) einher, der im unteren Hochrhein bereits vor über 50 Jahren aufgetaucht ist.

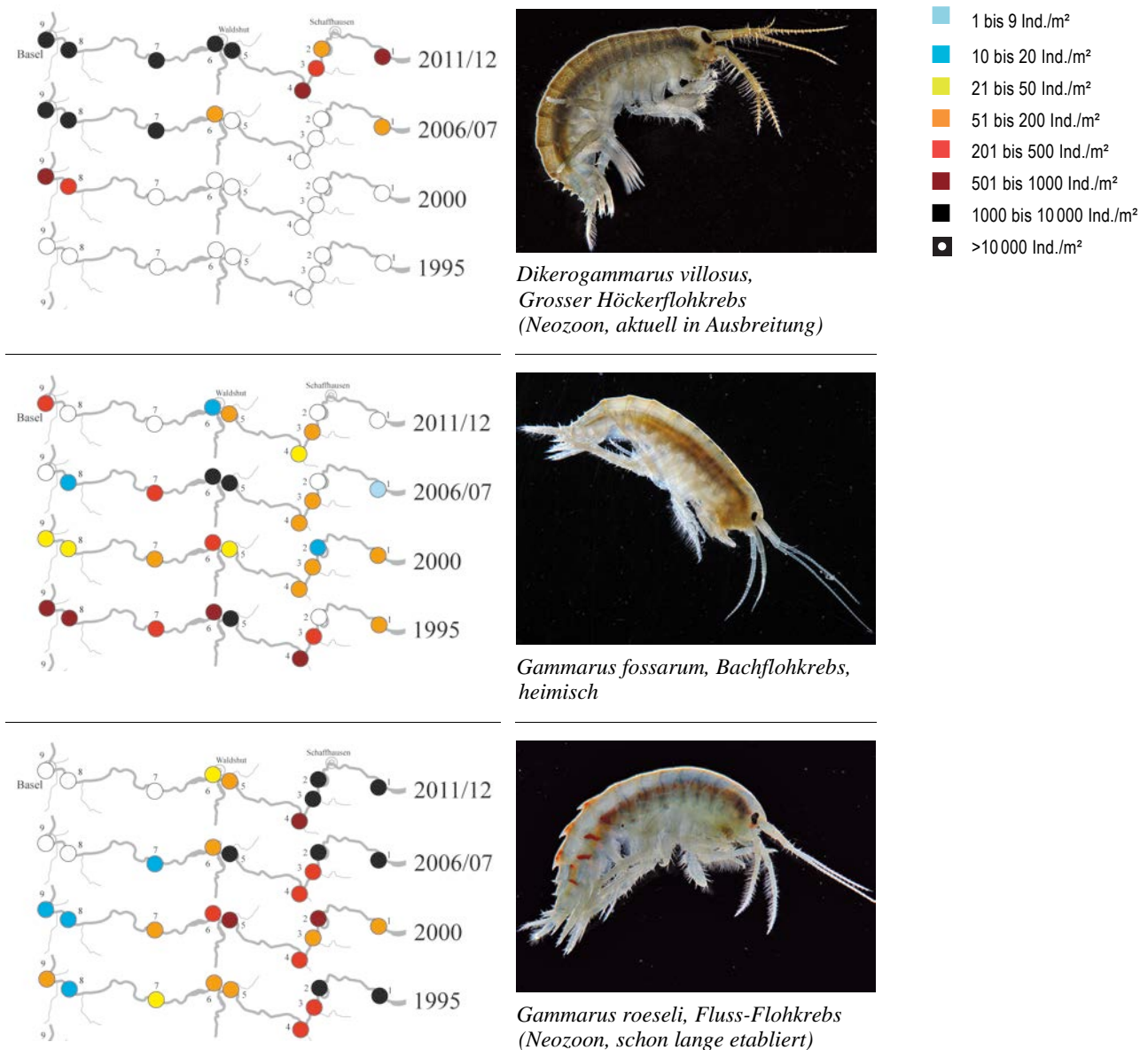
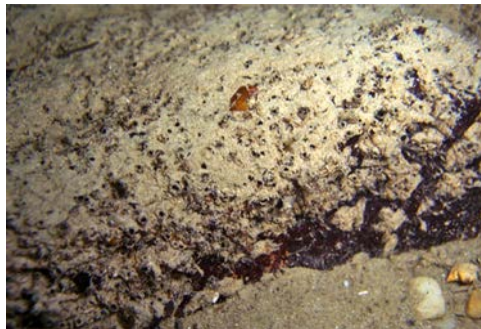


Abb. 17 > Kampf um das Hartsubstrat: seit 1990 hat sich die Besiedlung der grossen Uferblöcke an der Stelle Schweizerhalle im Hochrhein immer wieder verändert

Zunächst waren sie von Wandermuscheln (*Dreissena polymorpha*) besiedelt,

danach von den Wohnröhren der Schlickkrebse (*Chelicorophium* spp.) bedeckt.



Nachdem diese – wahrscheinlich vom Höckerflohkrebs (*Dikerogammarus villosus*) – dezimiert wurden, haben sich vor allem Schwämme (*Ephydatia* spp.) angesiedelt.



Schlickkrebs
(*Chelicorophium curvispinum*)



Höckerflohkrebs
(*Dikerogammarus villosus*)

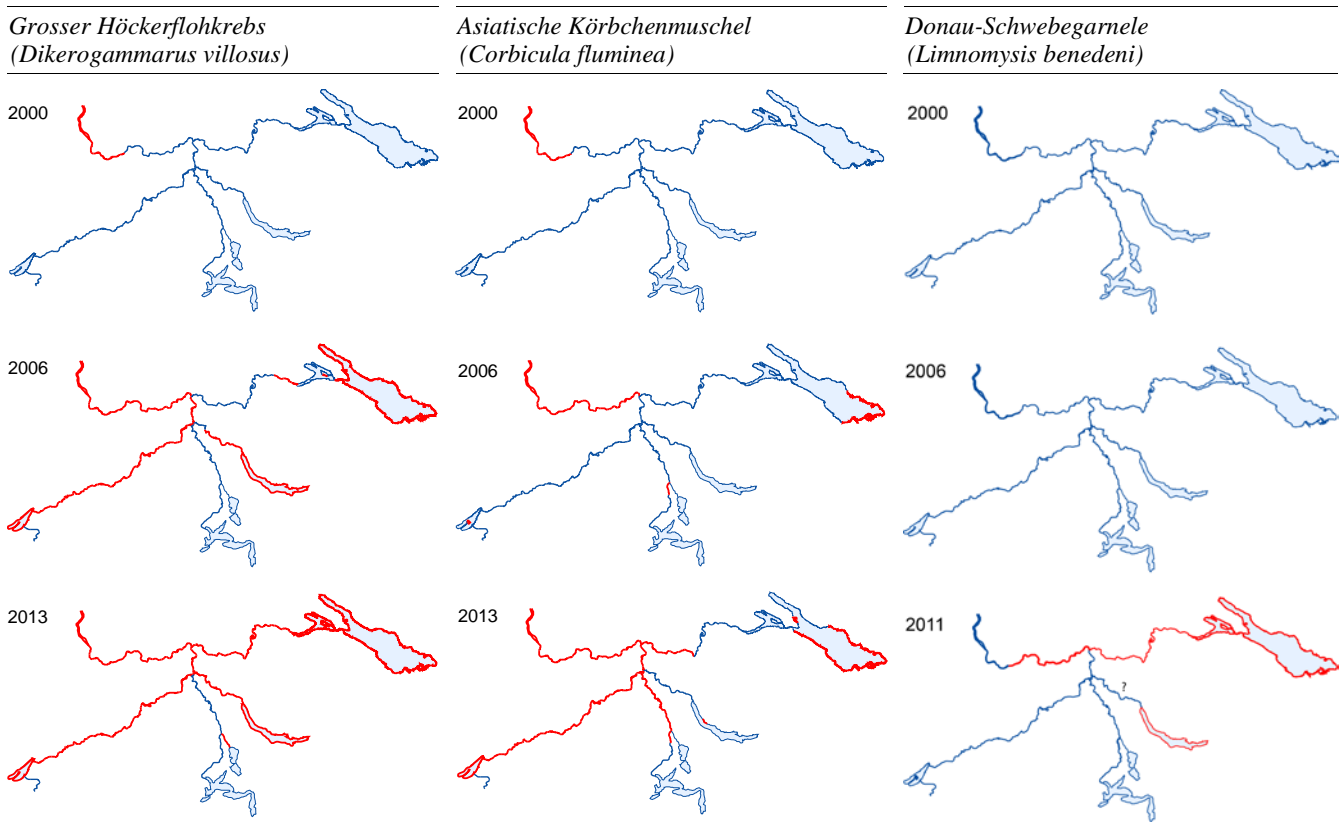
Meistens handelt es sich dabei um Arten, die für eine dichte Population auch viel Siedlungsfläche in Anspruch nehmen müssen. So ging mit der Ankunft des Schlickkrebse *Chelicorophium curvispinum* zwischen 1995 und 2006 der Bestand an Wandermuscheln *Dreissena polymorpha* radikal zurück. Die damals in Kolonien von bis zu 70000 Individuen/m² siedelnden Krebschen wurden aber zwischenzeitlich ihrerseits – wahrscheinlich vom Höckerflohkrebs – wieder auf Besiedlungsdichten von meist unter 800 Individuen/m² dezimiert. Die ehemals von ihnen genutzten Siedlungsflächen auf stabilem Hartsubstrat werden aktuell vor allem von grossen Schwämmen genutzt.

3.4.6 Neozoeninvasion schreitet voran

Im Rahmen der Untersuchungskampagnen 1995 wurden an den Probestellen in Basel und Schweizerhalle die ersten Exemplare der Körbchenmuschel *Corbicula fluminea* nachgewiesen. Die damalige Prognose «... Diese Arten könnten das Besiedlungsbild des Hochrheins in den nächsten Jahren ähnlich dramatisch beeinflussen wie die Wandermuschel *Dreissena polymorpha* in den 70er- und 80er-Jahren...» hat sich bewahrt und wurde zwischenzeitlich von weiteren Arten noch übertroffen. Seither wurde die Ausbreitung der Neozoen in der Schweiz regelmässig untersucht. Nachdem lange Jahre die Grenze der Grossschiffahrt bei Rheinfelden auch die Verbreitungsgrenze verschiedener Neozoen darstellte, kam es in den Jahren zwischen 2000 und 2006 zu

Verschleppungen über diese Stufe hinaus sowie in den Bodensee und weitere Schweizer Seen^[46]. Von diesen Seen aus wurden flussabwärts in Rekordzeit Besiedlungslücken geschlossen. Beste Beispiele für die Ausbreitung aus verschiedenen Richtungen sind der Höckerflohkrebs *Dikerogammarus sp.*, die Körbchenmuschel *Corbicula fluminea* und die Donau-Schwebegarnele *Limnomysis benedeni* (Abb. 18).

Abb. 18 > Ausbreitung (rot markiert) der drei neozoischen Wirbellosenarten im Einzugsgebiet von Hochrhein und Aare



Die Donau-Schwebegarnele *Limnomysis benedeni* (Abb. 18, Abb. 19) zeigt auch, wie schnell die Besiedlung eines 150 km langen Rheinabschnitts vom Bodensee her ablaufen kann. Im Bodensee hat die Art nicht länger als drei Jahre gebraucht, um 270 km Uferlinie massenhaft zu besiedeln^[46]. Die erstmals 2009 im Bodensee gefundene Gefleckte Schwebegarnele (*Katamysis warpachowskyi*) breitete sich ebenso rasant im See aus^[46]. Die Donauassel *Jaera sarsi*, die vierte massenhaft auftretende Neozoenart im Hochrhein, scheint sich im Rhein auch ohne menschliche Hilfe flussaufwärts neue Lebensräume zu erobern, während in der Aare die Besiedlung derselben Art wahrscheinlich in erster Linie flussabwärts verlief. *Dreissena rostriformis bugensis*, die Quaggamuschel, eine Schwesternart der Wander- oder Zebrauschel, besiedelt seit rund vier Jahren in hohen Dichten den Oberrhein und steht an der Pforte zum Hochrhein. Ihr weiteres Vordringen wird mit grosser Sorge verfolgt, da sie langfristig eine Gefahr für Wasserversorgung und Kühlkreisläufe darstellen kann, wo sie deren Rohrleitungen besiedeln und verstopfen könnte.

Abb. 19 > Neozoische Wirbellosenarten mit besonders hohen Ausbreitungsgeschwindigkeiten

Donau-Schwebegarnele *Limnomysis benedeni*



Massenvorkommen der Schwebegarnelen im Lichtkegel eines Tauchers im Bodensee



Donauassel *Jaera sarsi*



Die Grobgerippte Körbchenmuschel *Corbicula fluminea*



Die Quaggamuschel *Dreissena rostriformis bugensis*



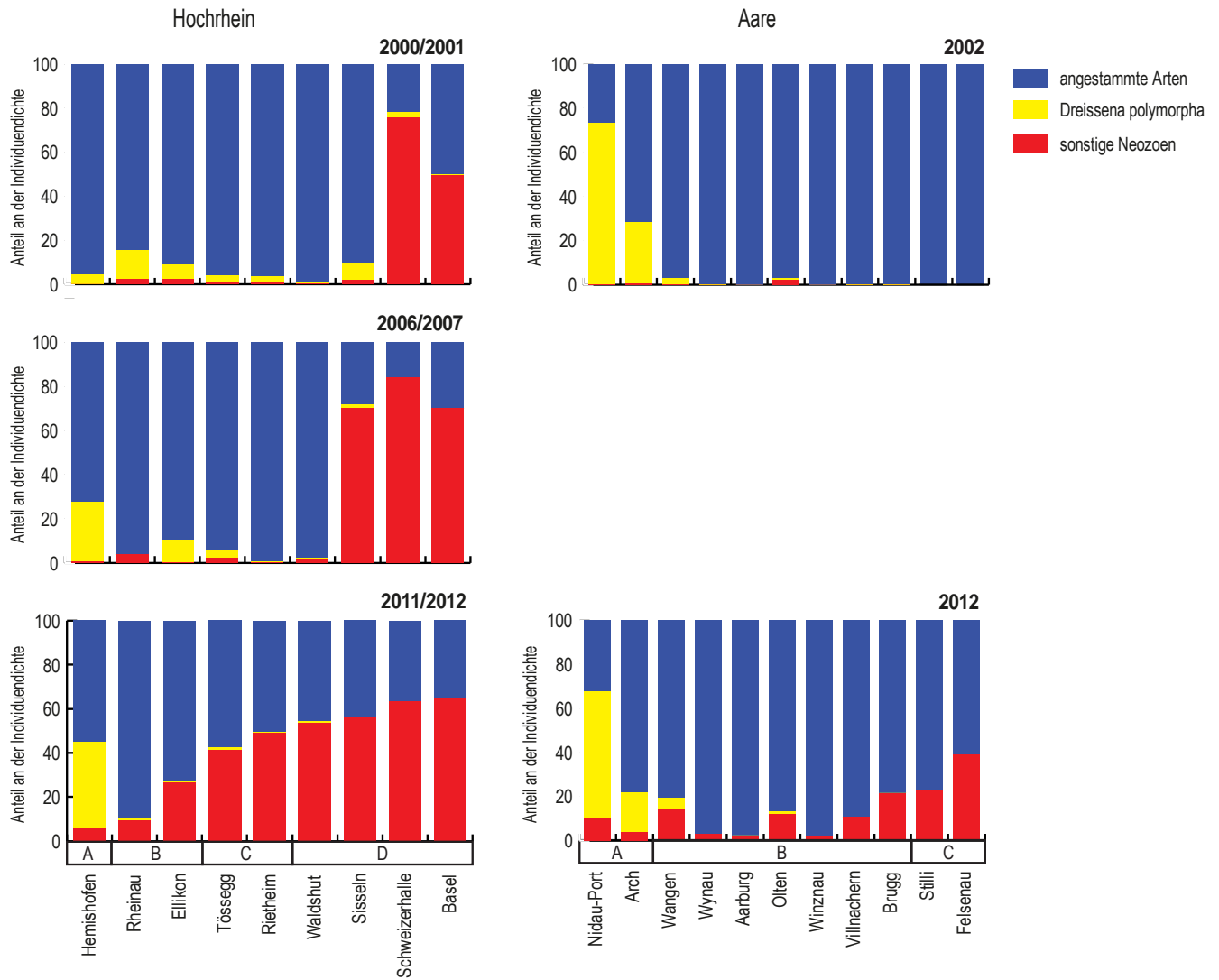
Die gefleckte Schwebegarnele *Katamysis warpachowskyi*



Welche Bedeutung die Neozoen hinsichtlich der Entwicklung der Individuendichten und der Biomassen besitzen, zeigt die Abb. 20. Die Wandermuschel *Dreissena polymorpha* wird dabei separat aufgeführt, da sie schon vor der aktuellen Neozoeninvasion über den Rhein-Main-Donau-Kanal das Einzugsgebiet des Hochrheins besiedelte^[34].

Abb. 20 > Relative Anteile der Besiedlungsdichten neozoischer und angestammter Makroinvertebraten – für jeden Flussquerschnitt, gemittelt über sämtliche Teilproben

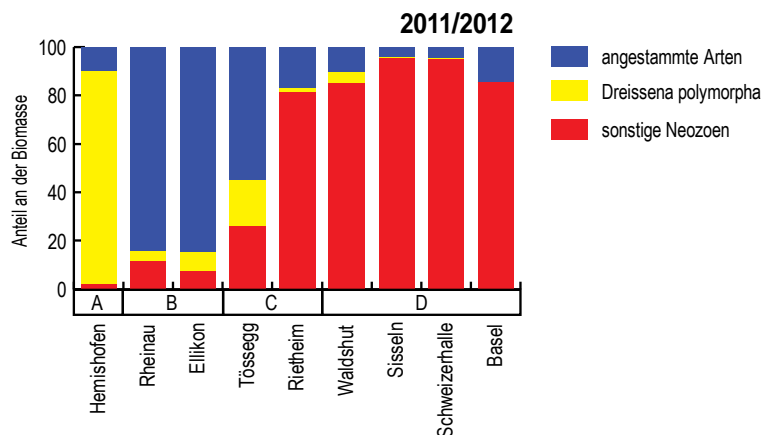
Vergleich der Kampagnen im Hochrhein zwischen 2001/2002, 2006/2007 und 2011/2012 (links) und der Aare-Untersuchungsstellen (rechts). Vergleich zwischen Frühjahr 2002 und 2012. Angaben in Prozent. A-D bezeichnen die auf Schweizer Seite verwendeten vier Hochrheinabschnitte unterschiedlichen Flusscharakters.



Im **Hochrhein** unterhalb der Aare hatten die Neozoen bereits 2006/07 bis zu 80 % Anteil an der Gesamt-Individuendichte und über 90 % an der Biomasse der Makroinvertebraten; zwischen Bodensee und Tössegg lag dagegen der Biomasseanteil der Neozoen auch 2012 noch unter oder um 25 % (Abb. 21). Erste Massenvorkommen zeigten sich jedoch bereits oberhalb der Aaremündung bei Rietheim und am Tössegg ^[32].

Abb. 21 > Biomasse der Makroinvertebraten im Hochrhein 2011/ 2012

Relative Anteile für jeden Flussquerschnitt, gemittelt über sämtliche Teilproben. Angaben in Prozent. A-D bezeichnen die auf Schweizer Seite verwendeten vier Hochrheinabschnitte unterschiedlichen Flusscharakters.



Nachdem die Aare noch 2001/02 nur sehr verstreut von wenigen Neozoenarten besiedelt war^[30], sind in den letzten Jahren weitere Arten eingeschleppt worden und haben sich ausbreiten können (Abb. 20). Ihre Ausbreitung ist in der Aare ebenso invasionsartig abgelaufen wie im Hochrhein. Korbchenmuschel (*Corbicula fluminea*) und Höckerflohkrebs (*Dikerogammarus villosus*) erschienen zwar zeitlich versetzt, haben sich aber beide innerhalb von vier Jahren über den gesamten Flusslauf verbreitet. Die Besiedlungsdichten dieser beiden Arten sowie der Donauassel *Jaera sarsi* (Abb. 19) sind stellenweise bereits sehr hoch. Dabei scheinen die Dichten im mittleren Aareabschnitt B mit den naturnahen Stellen von Wynau, Aarburg und Winznau geringer zu sein als in den Abschnitten A und C (vgl. Abb. 1). Typische Flussarten oder rheophile (strömungsliebende) Arten erweisen sich innerhalb dieses naturnahen Abschnittes offenbar noch als konkurrenzstark gegenüber den neozoischen Arten, bzw. letztgenannte kommen mit den rauerer Bedingungen in diesem Abschnitt schlechter zurecht. Die relativen Individuen-Anteile neozoischer Arten gegenüber den angestammten Arten liegen – ausser in Port und bei Felsenau – noch unter 25 %.

3.5 Fische

3.5.1 Fischbestand in Hochrhein und Aare

Die Fischfauna des Hochrheins und der Aare war in den letzten 150 Jahren einem starken Wandel unterzogen. Seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts sind allein im Hochrhein vier anadrome Wanderfischarten und zwei Rundmäuler ausgestorben: Atlantischer Lachs (*Salmo salar*), Atlantischer Stör (*Accipenser sturio*), Maifisch (*Alosa alosa*), Meerforelle (*Salmo trutta trutta*) sowie Flussneunauge (*Lampetra planeri*) und Meerneunauge (*Petromyzon marinus*). Ursächlich dafür war der Bau von Wasserkraftwerken, die ihnen die Rückkehr zu den Laichgründen verwehrten. Prominentestes Opfer ist der Lachs, der früher ein «Brotfisch» der Berufsfischer am Rhein war.

Fischfangstatistiken haben im Untersuchungsgebiet eine lange Tradition^{[10],[45]}, da die Fischerei hier ein wichtiger Wirtschaftsfaktor war und für die Angelfischerei auch geblieben ist. Obwohl dabei fast nur fischereilich interessante Arten geführt und die Verhältnisse deshalb nur selektiv abgebildet werden, geben Fangstatistiken einen ersten Hinweis auf Veränderungen im Fischbestand.

Am **Hochrhein** (Abb. 22) kam es mit der Eutrophierung und Nutzungsintensivierung zwischen Ende der 1950er- und Ende der 1970er-Jahre zunächst zu einer massiven Zunahme der Fänge. Im Gegensatz zu den typischen strömungsliebenden Flussarten hatten vor allem Rotaugen, Brachsen und andere Karpfenartige (Cypriniden), aber auch Barsche (Egli) von dem damals grossen Nahrungsangebot profitiert. Sie wurden hauptsächlich aus den eingestauten Abschnitten entnommen. Zunächst wurden aber auch die typischen Flussfischarten wie Nase, Barbe, Äsche und Forelle noch in grosser Zahl gefangen. Zeitgleich mit der Verbesserung der Wasserqualität und der Reduktion der Nährstoffe kam es zwischen 1980 und 1995 zu einem drastischen Rückgang im Rotaugenertrag. Die Äschenfänge, die sich zum überwiegenden Teil auf den Seeabfluss zwischen Bodensee und Schaffhausen konzentrierten, hielten sich dagegen bis ca. 2002 noch auf hohem Niveau.

Bis 1995 sank der Gesamtertrag in der Hochrheinfischerei stetig bis auf etwa 1/4 bis 1/6 der Maximalerträge aus den 1960er- und 1970er-Jahren. Im heissen Sommer 2003 brach der Äschenbestand des Hochrheins vollständig ein und erholt sich erst in den letzten Jahren langsam. Daneben ist auch der schweizweite Rückgang der Nasen- und Barbenbestände und – trotz massiver Besatzstützung – das fast völlige Verschwinden der Bachforellen aus der Fangstatistik abzulesen. Ebenfalls dieser Phase zuzurechnen ist der massive Rückgang der Aalbestände in Mitteleuropa, der sich nun vor allem im Rheineinzugsgebiet und im Bodensee manifestierte.

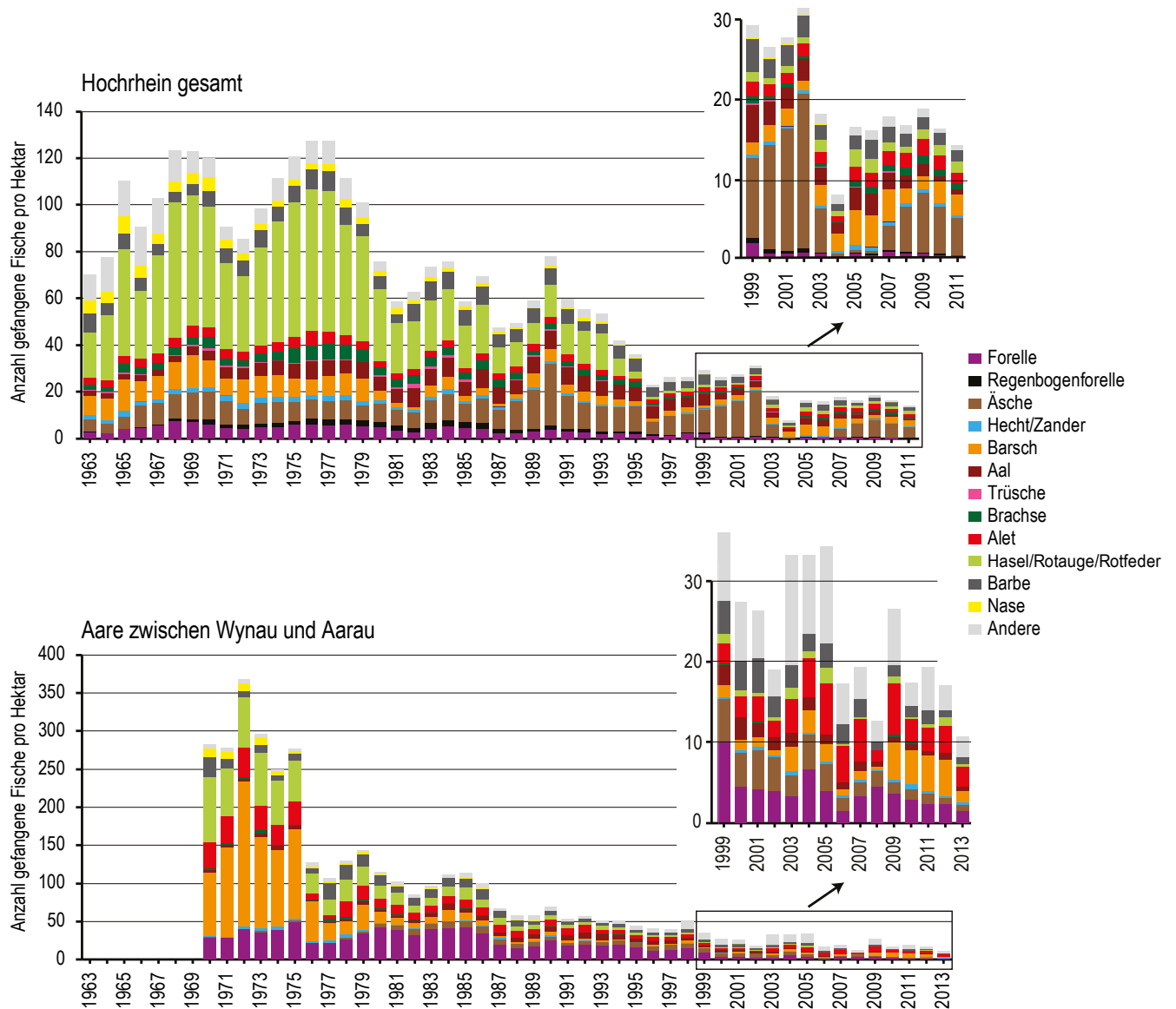
Unter der als «Andere» zusammengefassten Gruppe nahmen die Fänge der Welse seit 2004 deutlich zu, vermehrte Fänge des Rapiers bis hinauf nach Laufenburg dokumentieren den Vormarsch dieser im Hochrhein neuen Fischart. Im Oberrhein bereits die meist gefangenen Fische, im Hochrhein erst vor vier Jahren angekommen sind zwei Grundelarten aus dem Schwarzmeerraum: Kesslergrundel (*Ponticola kessleri*) und Schwarzmundgrundel (*Neogobius melanostomus*).

Für die **Aare** liegen zwar keine Angaben über den gesamten Flusslauf vor, an den Fängen für den Bereich Wynau bis Aarau erkennt man aber, dass die Statistik bezüglich der Fischarten nur wenig Ähnlichkeit mit der des Hochrheins besitzt (Abb. 22). Dagegen verläuft die Fangentwicklung nahezu analog, allerdings um etwas mehr als 5 Jahre verzögert. Der Fangertrag in der Aare lag bis 1975 beim Doppelten des Hochrheins und darüber. Einen grossen Anteil daran hatten hier im Gegensatz zum Rhein Barsche (Egli) und Forellen. Nach 1975, zu der Zeit, als im Hochrhein die meisten Fische gefangen wurden, sank der Fangertrag in der Aare bereits auf das Hochrheinniveau und nahm mehr oder weniger gleichzeitig mit diesem weiter ab. Vor allem der Barschfang ging in dieser Zeit massiv zurück. Aktuell gleichen sich die Fangerträge beider Flüsse in ihrer Dimension, nicht aber in der Zusammensetzung. Fangerträge sind sehr vom betriebenen Aufwand und anderen Faktoren abhängig. Sie sind daher zwischen beiden Flüssen nicht direkt vergleichbar. Auch als Indikator für die Fischdichte

sind sie deswegen nur bedingt anwendbar, allerdings deuten starke Fangrückgänge schon auf negative Bestandsveränderungen hin.

Abb. 22 > Fangstatistik der wichtigsten Fischarten für den gesamten Hochrhein von 1963 bis 2011 und die Aare ab 1970

Angaben in gefangenen Fischen pro Hektar (unterschiedliche Skalierung!)



Quelle: BAFU, Bern

Seit 1985/86 werden im Abstand von zehn Jahren koordinierte *Fischaufstiegskontrollen* an den Fischpässen der Hochrheinkraftwerke durchgeführt^[11]. Die Erhebungen wurden vom 01.04.2005 bis zum 31.03.2006 an zehn der elf Kraftwerke durchgeführt. Dabei wurden die Reusen einmal täglich kontrolliert. Die Fischaufstiegszahlen werden an einigen Kraftwerken auch ausserhalb dieser koordinierten Erhebung erfasst. Zwischenzeitlich existieren auch permanente Überwachungen in Zählkammern. Die Unter-

suchungen dienen primär der Funktionskontrolle, geben aber auch wertvolle Einblicke in die Artenzusammensetzung und das Wanderverhalten der Hochrheinfische. Die Gesamtbewertung der Aufstiegsanlagen beruhen auf einer technischen Beurteilung und einer Verschneidung der tatsächlichen Aufstiegszahlen^{[11]-[13]}. Auch an der Aare wurden im Jahr 2005 Fischaufstiegskontrollen durchgeführt^[12].

Soweit bisher bekannt, wandern die meisten Fischarten im Hochrhein und in der Aare vermehrt in der warmen Jahreszeit. Bei den Mitteldistanzwanderern Barbe und Nase geschieht dies oft in Zusammenhang mit Laichwanderungen im Frühjahr oder aber mit herbstlichen Wanderungen Richtung Winterquartier^[11]. Aber auch die meisten anderen Fischarten werden regelmässig in den Fangreusen der Fischaufstiege dokumentiert (Abb. 23). Dies belegt die generell grosse Mobilität der Fische in den grossen Flüssen. Vor allem nach Hochwasserereignissen werden grosse Aufstiegszahlen strömungssensibler Arten festgestellt. Dies zeigt, dass die uneingeschränkte Durchgängigkeit – auf- und abwärts – für alle Arten und Grössen gewährleistet sein muss, damit Populationsverluste vermieden werden und Kompensationswanderungen zurück zu den ursprünglichen Standorten möglich sind. Ähnlich wie die Fänge, so sind auch die Fischaufstiegszahlen seit Mitte der 1980er-Jahre erheblich zurückgegangen, obwohl sich seither die Funktionsfähigkeit einiger Fischwanderhilfen deutlich verbessert hat (Abb. 23). Auch wenn aufgrund dieser Aufstiegszahlen nicht direkt auf das Potenzial wanderwilliger Fische geschlossen werden kann, ist dieser Trend als Indiz für einen Fischbestandsrückgang zu werten. Nach wie vor bestehen aber an einigen Fischwanderhilfen erhebliche Defizite – allen voran am KW Eglisau. Die Kette von Kraftwerkstufen bleibt aber in beiden Flüssen für Mittel- und Langdistanzwanderfische in der Summe ein noch kaum überwindbares Hindernis auf dem Weg zu ihren historischen Laichgründen. Im Rahmen des Vollzugs «Sanierung Wasserkraft» des Bundes wurden aktuell auch die Hochrhein- und Aarekraftwerke hinsichtlich ihres Sanierungsbedarfs Fischdurchgängigkeit (Auf- und Abstieg) beurteilt. Wesentliche Defizite müssen bis 2030 behoben sein.

Weder Fischereistatistiken noch Aufstiegskontrollen liefern sichere Informationen über das Reproduktionspotenzial und die effektiven Häufigkeitsverhältnisse der Fische. Um solche Wissenslücken zumindest teilweise zu schliessen, wurde seit 2006 ein **Jungfischmonitoring** in die koordinierten Untersuchungen im Hochrhein und in der Aare aufgenommen^[45]. Hierfür wurden die ufernahen Bereiche der neun (Hochrhein) und elf (Aare) Flussquerschnitte aus der Benthosbeprobung jeweils im April und November befischt; somit sind zumindest theoretisch Jungfische aller Arten erfassbar. Mit den Ergebnissen dieser Kampagnen wurde vor allem die Zusammensetzung der Jungfischfauna erfasst (Abb. 24). Die Ergebnisse bilden bezüglich der Jungfischdichten den Fortpflanzungserfolg der verschiedenen Fischarten vom Untersuchungsjahr und dessen Vorjahr ab. Dieser wiederum ist an das Vorhandensein geeigneter Reproduktionsmöglichkeiten in räumlicher Nähe zum Fangort gekoppelt. Die Informationen wurden durch bei Elektrobefischungen im Rahmen der Bestandsaufnahmen nach EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) gewonnenen Informationen ergänzt, die seit einigen Jahren auch am Baden-Württembergischer Rheinufer durchgeführt werden^[aus 45].

Abb. 23 > Ausgewählte Ergebnisse der Aufstiegskontrollen am Hochrhein und an der Aare (jeweils 2005)^{[11],[12]}

In der Grafik sind die Bewertungen der verschiedenen Kraftwerkstufen bezüglich der Funktionsfähigkeit ihrer Fischaufstiegshilfen aufgeführt. An den zwei beigegefügten Diagrammen lässt sich ablesen, wie häufig die verschiedenen Fischarten in den Reusen der Fischaufstiegshilfen gefangen wurden (Gesamtzahlen Hochrhein und Aare).

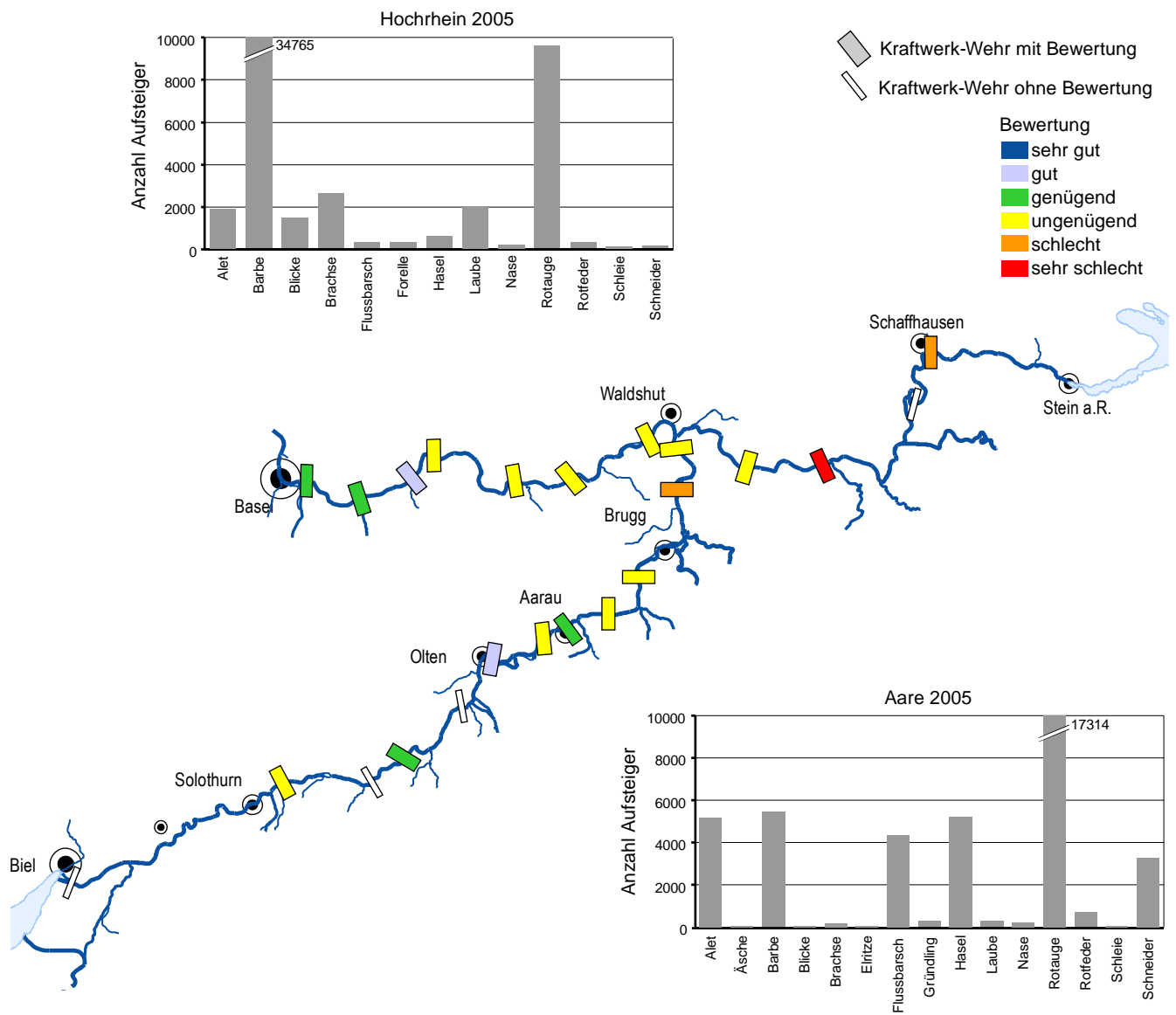




































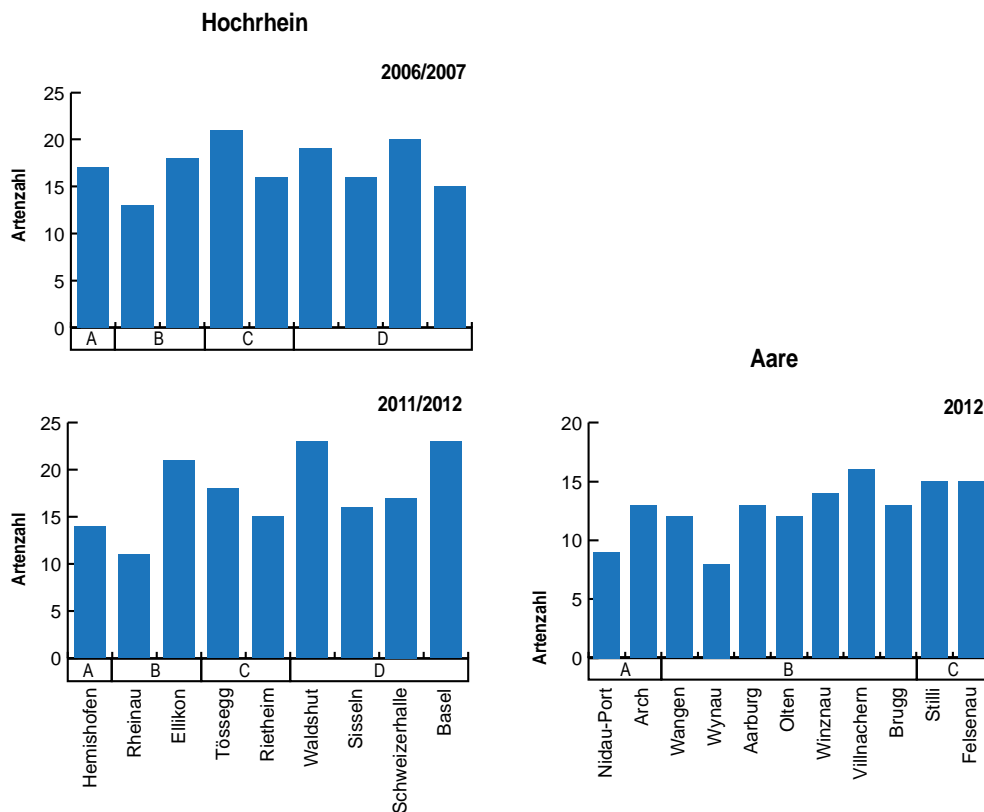


Abb. 24 > Im Rahmen koordinierter biologischer Untersuchungen an Hochrhein und Aare nachgewiesene Jungfische, Kleinfischarten und Rundmäuler

<i>Bachneunauge, Lampetra planeri</i>	<i>Aal, Anguilla anguilla</i>	<i>Alet, Squalius cephalus</i>	<i>Äsche, Thymallus thymallus</i>
			
<i>Bachforelle, Salmo trutta fario</i>	<i>Barbe, Barbus barbuis</i>	<i>Bitterling, Rhodeus amarus</i>	<i>Blaubandbärbling, Pseudorasbora parva</i>
			
<i>Brachse, Abramis brama</i>	<i>Elritze, Phoxinus phoxinus</i>	<i>Flussbarsch, Egli, Perca fluviatilis</i>	<i>Goldfisch, Carassius auratus</i>
			
<i>Groppe, Cottus gobio</i>	<i>Gründling, Gobio gobio</i>	<i>Hasel, Leuciscus leuciscus</i>	<i>Hecht, Esox lucius</i>
			
<i>Karpfen, Cyprinus carpio</i>	<i>Kaulbarsch, Gymnocephalus cernuus</i>	<i>Kesslergrundel, Ponticola kessleri</i>	<i>Lachs, Salmo salar</i>
			
<i>Laube, Alburnus alburnus</i>	<i>Moderlieschen, Leucaspis delineatus</i>	<i>Nase, Chondrostoma nasus</i>	<i>Rapfen, Aspius aspius</i>
			
<i>Rotaue, Plötze, Rutilus rutilus</i>	<i>Rotfeder, Scardinius erythrophthalmus</i>	<i>Schleie, Tinca tinca</i>	<i>Schmerle, Barbatula barbatula</i>
			
<i>Schneider, Alburnoides bipunctatus</i>	<i>Sonnenbarsch, Lepomis gibbosus</i>	<i>Steinbeisser, Cobitis taenia</i>	<i>Stichling, Gasterosteus aculeatus</i>
			
<i>Strömer, Leuciscus souffia agassizii</i>	<i>Trüsche, Lota lota</i>	<i>Wels, Silurus glanis</i>	<i>Zander, Sander lucioperca</i>
			

Der **Hochrhein** erweist sich nach wie vor als ausgesprochen fischartenreiches Gewässer. Seine Jungfischfauna spiegelt sowohl den wechselnden Charakter verschiedener Flussabschnitte als auch den unterschiedlicher Habitats gut wider. Dennoch hat sich das Fischartenspektrum gegenüber historischen Verhältnissen hin zu indifferenten, toleranten Fischarten verschoben. Die 2011/12 vorgefundenen Artenzahlen waren oberhalb der Aaremündung etwas geringer und unterhalb etwas höher als 2006/07. Grössere Veränderungen im Spektrum der Jung- und Kleinfische gab es im Raum Basel, u.a. durch das Auftreten invasiver neozoischer Grundelarten.

Abb. 25 > Vergleich der bei den Jungfischuntersuchungen festgestellten Fischartenzahlen an den jeweiligen Untersuchungsstellen im Hochrhein (2006/07 und 2011/12) und in der Aare (2012). A-D bezeichnen die auf Schweizer Seite verwendeten vier Hochrhein- und drei Aareabschnitte unterschiedlicher Flusscharakteristik.

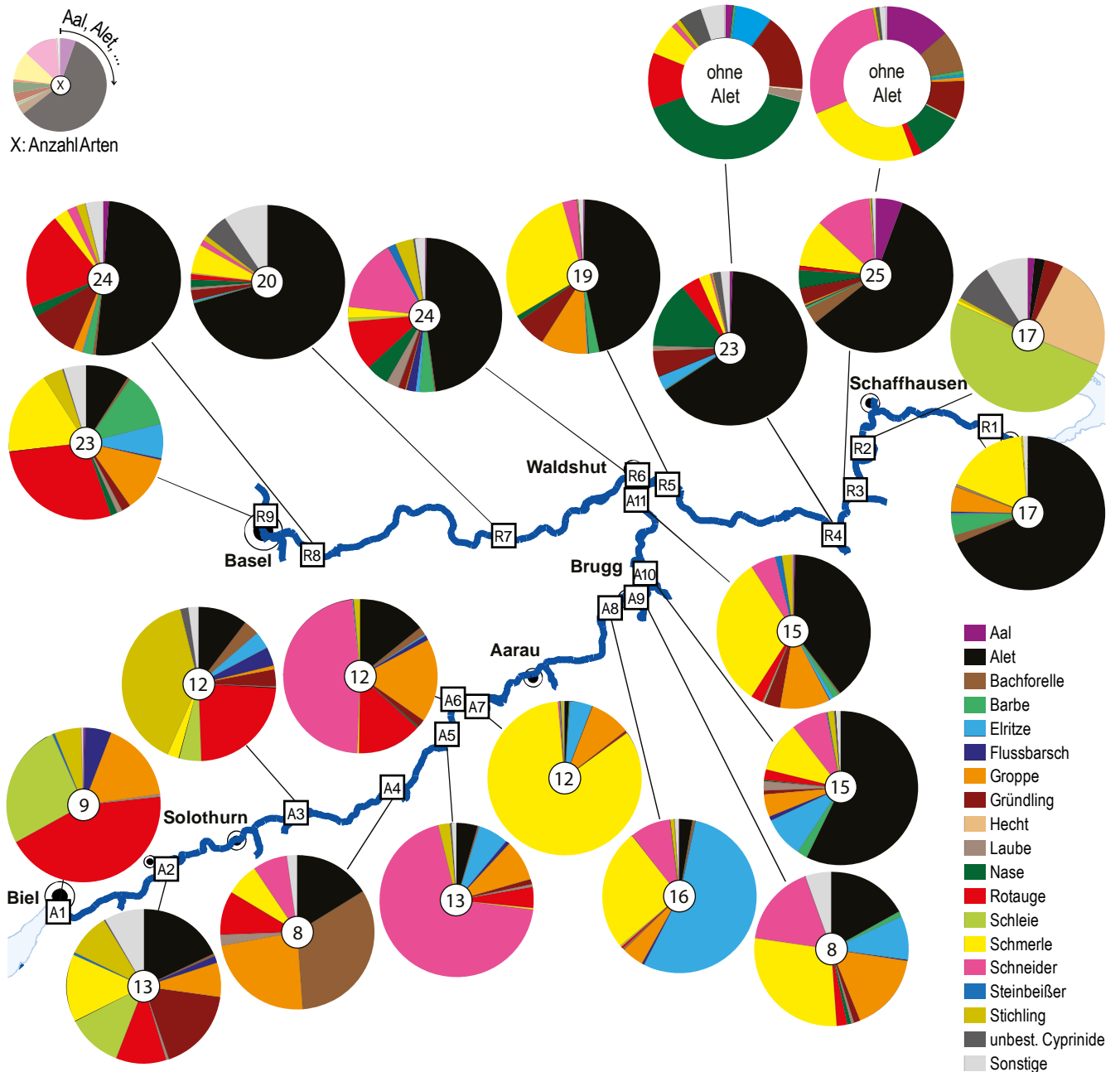


Die Artenzahl an Jung- und Kleinfischen in der **Aare** lag generell unter derjenigen im Hochrhein (Abb. 25), die Gründe hierfür sind unklar. Dabei weicht die heutige Jungfischfauna von der historischen Fischbesiedlung als Äschenregion (mit einem hohen Anteil Kieslaicher) jeweils deutlich ab. Ursächlich hierfür sind mehrere Faktoren: der Mangel an geeignetem Laichsubstrat, die häufige Störung der Gelege durch zunehmende Winterhochwasser, Wassertemperaturen, die ausserhalb des Lebensraumoptimums wärmeempfindlicher Arten liegen sowie Stauhaltungen, welche die Abflusscharakteristik von lotischen (stark strömenden) hin zu lenitischen (schwach strömenden oder stehenden) Systemen verschieben, als auch Langzeiteffekte der Wanderbarrieren, die zum Verschwinden der diadromen Fischarten (Langdistanz-Wanderfische zwischen

Meer und Süßwasser) führten. Dabei unterscheidet sich die Besiedlung je nach Abflusscharakter auffällig. Nur in den gefällearmen, staubeeinflussten Abschnitten bei Port, Arch und auch noch Wangen traten limnophile (Stillwasser liebende) Arten (z. B. Schleie, Rotfeder, Bitterling) und indifferente Arten auf (Rotauge, Flussbarsch). Auffälliger ist in den Stauhaltungen jedoch das Fehlen rheophiler (strömungsliebender) Arten wie Barbe, Nase, Hasel oder Schneider. Vor allem im Bereich freifliessender und naturnaher Abschnitte sind diese besser vertreten. Doch auch in struktureich ausgeprägten und strömungsreichen Abschnitten wie Wynau und Aarburg können indifferente Strömungstypen einen gewissen Anteil der Fischfauna ausmachen.

Abb. 26 > Individuen pro m². Relative Häufigkeiten einzelner Arten im Jungfischbestand von Hochrhein und Aare

Durchschnittliche Anteile aus den Befischungen der Jahre 2011 und 2012.



Die relativen Häufigkeiten der einzelnen Arten schwanken stark von Abschnitt zu Abschnitt. Im Hochrhein dominiert bei Weitem der Alet (Döbel), Ausnahmen sind der Stau Rheinau und das Rheinknie bei Basel (Abb. 26). Auch Barben und Gründlinge sowie Grundfische wie Schmerlen und Gropfen zeigen eine konstante Verbreitung über fast alle Untersuchungsstellen. Erfreulich ist, dass an allen Stellen unterhalb Rheinau auch junge Nasen nachgewiesen wurden, z. T. in grossen Schwärmen. Dieser

Befund steht allerdings im Widerspruch zu den stark rückläufigen Fang- und Aufstiegszahlen der Art (Abb. 22/Abb. 23). Kaltstenotherme (an niedrige Temperaturen gebundene) und damit wärmeempfindliche Arten sind weitgehend verschwunden.

Auch in der Aare ist der Alet die bei weitem häufigste Fischart, er fehlte lediglich im Seestau bei Port. Rotaugen, Groppe und der Stichling konnten an allen Stellen nachgewiesen werden. Die rheophilen (strömungsliebenden) Arten Bachforellen und Äschen wurden nur vereinzelt nachgewiesen; die Barbe fehlte an fünf von elf Stellen; erst ab Stilli war diese öfter zu finden. Insgesamt sind rheophile Fischarten (abgesehen vom Alet) auffallend selten. Die Elritze war stellenweise sehr häufig (v. a. im Villnacher Schachen), zeigte aber erst ab Aarburg flussabwärts konstante und individuenreiche Vorkommen.

Die Jungfischdichten sind im Hoahrhein aus bisher unbekanntem Gründen grösser als in der Aare, was die Tab. 5 verdeutlicht. Im Hoahrhein wurden bereits 2006/07 Jungfischuntersuchungen durchgeführt, so dass hier erste Vergleiche möglich sind. Um deutliche Trends zu erkennen, ist aber mindestens eine weitere Kampagne innerhalb der nächsten 4–7 Jahre erforderlich.

Erfreulich sind die Nachweise seltener Arten wie des Steinbeissers, des Bitterlings und des Bachneunauges, des letzten vertriebenen Vertreters der Rundmäuler in Hoahrhein und Aare. In beiden Flüssen konnten dagegen kaum mehr Jungfische von Bachforelle und Äsche nachgewiesen werden, wobei die verwendete Methodik zur repräsentativen Erfassung der letzteren Art nicht geeignet war. Das Reproduktionspotenzial der Äsche scheint allenfalls noch lokal zu bestehen, limitierend erscheint neben dem Laichplatzangebot zusehends auch die ansteigende Wassertemperatur.

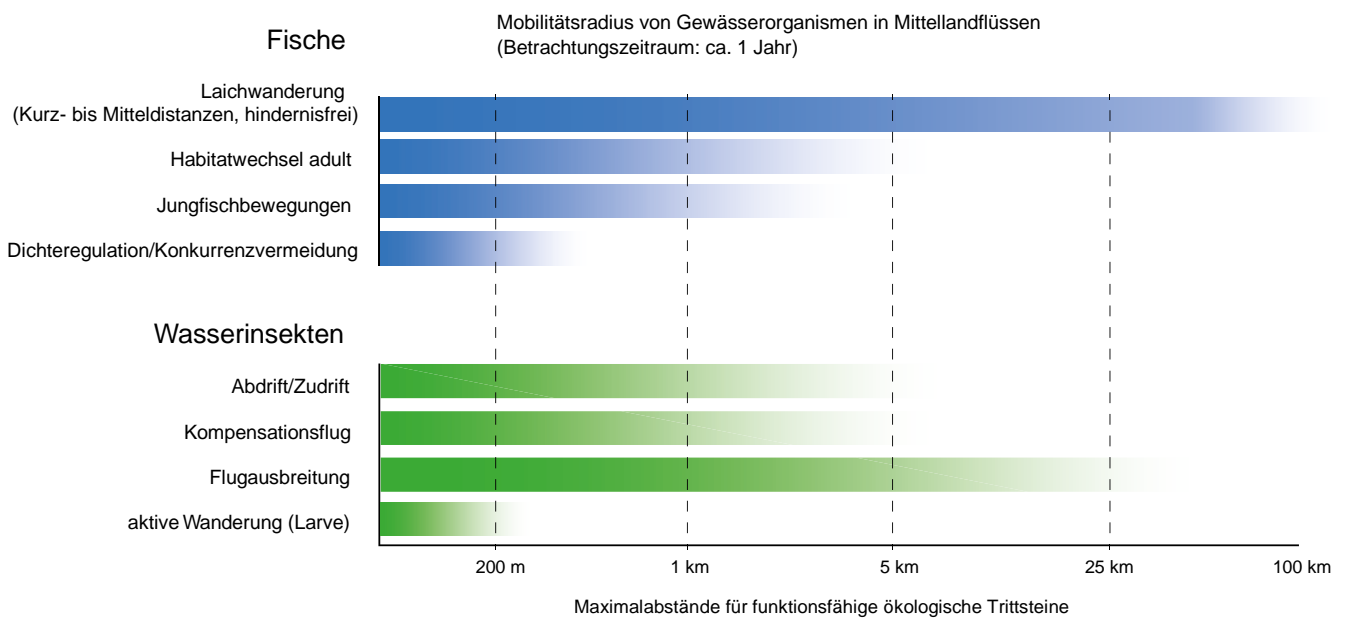
3.6 **Erhalt und Reaktivierung ökologischer Trittsteine**

3.6.1 **Die Bedeutung naturnaher Flussabschnitte**

Die starken Unterschiede in der Gewässerstruktur und im Abflusscharakter innerhalb des Hochrheins haben wesentlichen Einfluss auf die Häufigkeit, Verteilung und Ausprägung der Lebensräume für Tier- und Pflanzenarten. Ein entscheidender Grund dafür, dass man im **Hochrhein** oberhalb der Aaremündung noch ein grösseres Reservoir an typischen angestammten Lebensgemeinschaften antrifft als anderswo am Rhein, liegt in der Funktion mehrerer naturnaher Flussabschnitte als Trittsteinbiotop^[32]. Hier zeigen die Organismen noch eine hohe Reproduktionsrate und können sich deshalb in grösserem Umfang und unterschiedlich weit flussab- und aufwärts ausbreiten. Dieses Potenzial, das auch als «Strahlwirkung» bezeichnet wird^[48], beruht auf der aktiven oder passiven Migration von Tieren und Pflanzen und deren spezifischen Mobilitätsradien im Gewässer oder Gewässerumfeld (Abb. 27).

Abb. 27 > Mobilitätsradien beispielhafter Flussorganismen [nach 48, verändert]. Aus den beobachteten Mobilitätsradien der Tiere lässt sich der Wirkungsbereich, die «Strahlwirkung» ökologischer Trittsteine abschätzen

Die Strahlwirkung bestimmt den Maximalabstand, der zwischen zwei Trittsteinen eingehalten werden muss, ohne dass wichtige Prozesse unterbrochen werden. Zu einer solchen Unterbrechung kommt es, wenn der Abstand zwischen den Trittsteinen grösser wird als die maximale Strahlwirkung oder durch Kontinuumsunterbrechungen wie Flusstaus und regulierte, habitatarme Abschnitte.

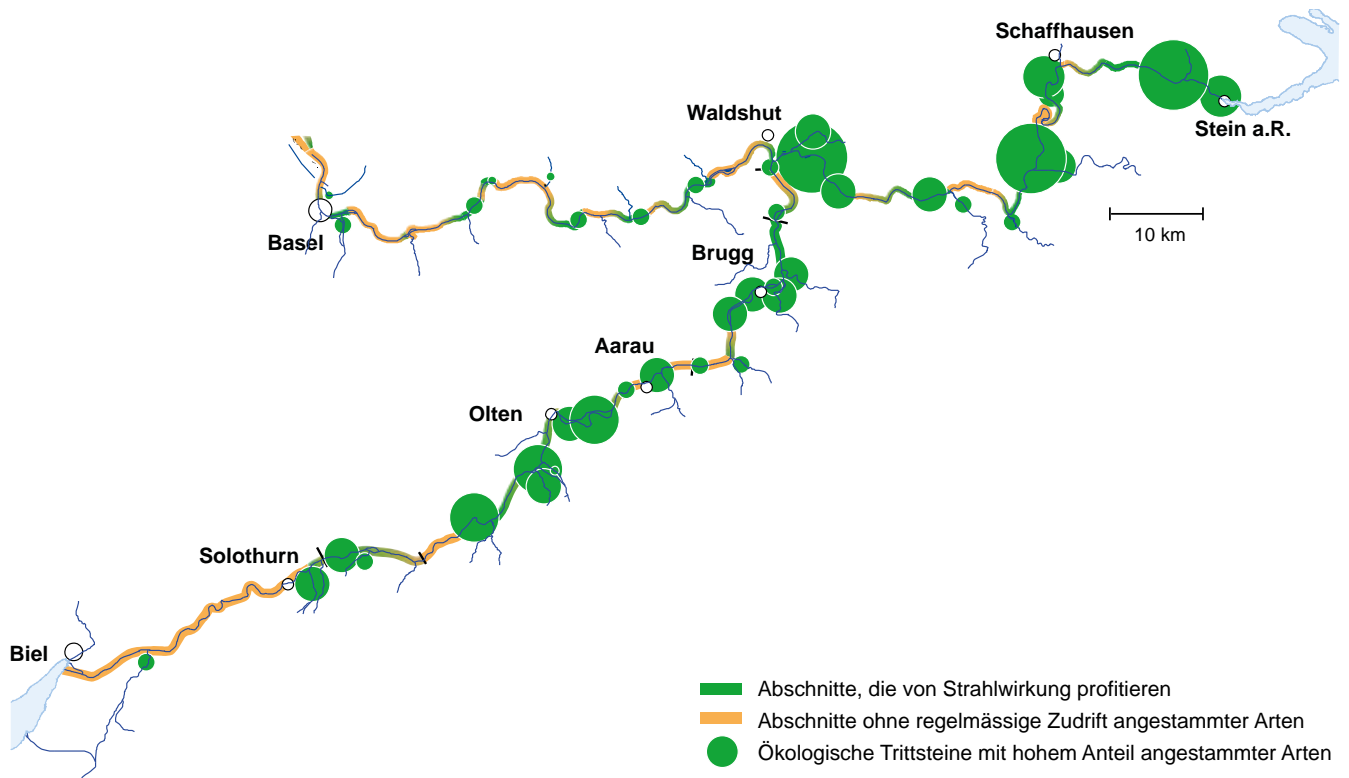


Naturnahe Flussabschnitte nehmen im **Hochrhein** zwischen Stein am Rhein und Basel kontinuierlich ab (Abb. 28). Unterhalb von Rheinfeldern nimmt der Fluss weitgehend den Charakter eines monotonen Schifffahrtkanals an. Die biologische Strahlwirkung wird durch die Rückstaubereiche und Wehre der Kraftwerkstufen hart unterbrochen. Auch in strukturarmen Abschnitten (im Hochrhein etwa ab der Aaremündung bei Waldshut) ist sie stark eingeschränkt.

In der **Aare** zeigt sich der oberste Abschnitt unterhalb des Bielersees faunistisch vergleichsweise verarmt, zumal sich hier bei sehr geringem Gefälle nur eine geographisch isolierte potamale Biozönose entwickeln kann. Auf die ersten bedeutenden biologischen Trittsteine trifft man erst im steileren Abschnitt B, vor allem zwischen Wynau (BE) und Olten (Abb. 28). Hier ist zu hoffen, dass die Populationsdichten angestammter Arten nicht noch weiter abnehmen. Deutlich produktiver zeigen sich mehrere bis über 7 km lange Restwasserstrecken zwischen Winznau und Brugg^[33]. Da die Strahlwirkung jedoch abflussabhängig ist, erfüllen Restwasserabschnitte mit unzureichender Wasserführung keine adäquate Trittsteinfunktion, selbst wenn sich in ihnen ein grosses Artenpotenzial erhalten hat. Da den genannten Restwasserstrecken aber seit einigen Jahren deutlich erhöhte Abflüsse zugestanden werden, ist auch hier von einer Strahlwirkung auf den Hauptstrom der Aare auszugehen.

Abb. 28 > Unterschiedlicher Fließcharakter und ökologische Trittsteine im Hochrhein und in der Aare [nach 32, ergänzt]

Die Grafik verdeutlicht den Zusammenhang zwischen naturnahen Flussabschnitten und ihrer Bedeutung als Besiedlungsquellen für beeinflusste/verarmte Abschnitte. Die Beurteilung basiert auf den Ergebnissen der Monitoringprogramme in Hochrhein und Aare 2001 bis 2012 (Jungfische, Makrozoobenthos).



In Zusammenhang mit der Ausbreitung wirbelloser Neozoen und dem Eindringen invasiver Grundelarten in den Hochrhein^{[32],[33],[34],[45],[46]} gewinnen Trittsteinbiotope an Bedeutung, die angestammten Arten noch Refugien oder auch einen Konkurrenzvorteil gegenüber den Neozoen mit Massenvermehrung bieten. Hierzu gehören sicher alle turbulenteren, freifliessenden Abschnitte, aber auch Strecken mit einem besonders vielfältigen Angebot an verschiedenen Kleinhabitaten^[32]. Eine weitere Voraussetzung dafür, dass flusstypische und seltene Faunen- und Florenelemente überleben können,

ist die Möglichkeit zu einem Arten- und Individuenaustausch im Flussverlauf. Durch die Staustufenketten von elf Hochrhein- und zwölf Aarekraftwerken ist das dafür nötige Kontinuum aber bereits verloren gegangen. Neben der Entwertung des Habitats rheophiler (strömungsliebender) Arten durch den Einstau sind auch die Wandermöglichkeiten über die Wehre eingeschränkt. Die Bewertung der bestehenden Fischauf- und -abstiegsanlagen zeigte, dass hier teilweise noch erhebliche Defizite bestehen (vgl. auch Abb. 23). Doch selbst sehr gut funktionierende Fischwanderhilfen sind nie so effizient, dass ein ungehinderter Austausch von Individuen möglich ist.

Lebensräume, die über ihre eigenen Grenzen hinaus wirken, müssen deshalb unbedingt in ihrer Ausprägung erhalten bleiben. Wo möglich, sollten sie in ihrer Strahlwirkung verbessert werden, z. B. durch Erhöhung der Driftgängigkeit über Staustufen hinweg und einer deutlich verbesserten Geschiebedynamik^[1]. Auf keinen Fall vertragen die wichtigsten Flüsse der Nordschweiz weitere Verbauungen, verlängerte Rückstaubereiche oder weitere Kontinuumsunterbrechungen^[31].

3.6.2 Reaktivierung der grossen Restwasserstrecken im alten Aarebett

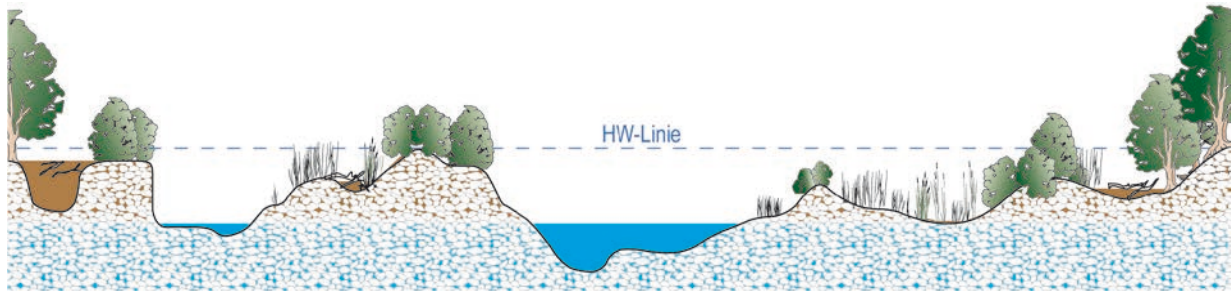
Bereits die biologischen Untersuchungen 2001/2002 wiesen auf die Besonderheiten der Benthosbesiedlung innerhalb grösserer Restwasserabschnitte in der Aare hin. In einem Sonderprogramm «Restwasser» wurden 2010 bis 2013 zwei Schachen (=Auen) bei Gösigen und bei Villnachern genauer untersucht. Die Ausleitungsstrecken der jeweiligen Kraftwerke verlaufen hier noch durch das alte, unverbaute Flussbett^[32].

Während der Untersuchungskampagne 2001/02 waren beide Schachen noch mit ca. 5 m³/s dotiert. Damals wurde eine Benthosbesiedlung beschrieben, die derjenigen in Aarezuflüssen mehr ähnelte als derjenigen in naturnahen Aareabschnitten. Zwischenzeitlich wurden die Dotierungen erhöht (bis 20 m³/s) und dynamisiert. Durch diese hydrologischen Annäherungen an den Hauptstrom kam es zu einer deutlichen Zunahme fluss- und auentypischer Lebensräume mit entsprechender Besiedlung. Die Benthoszusammensetzung variiert von Stelle zu Stelle stark und spiegelt damit das Besiedlungspotenzial der vielen verschiedenen Mesohabitate wider.

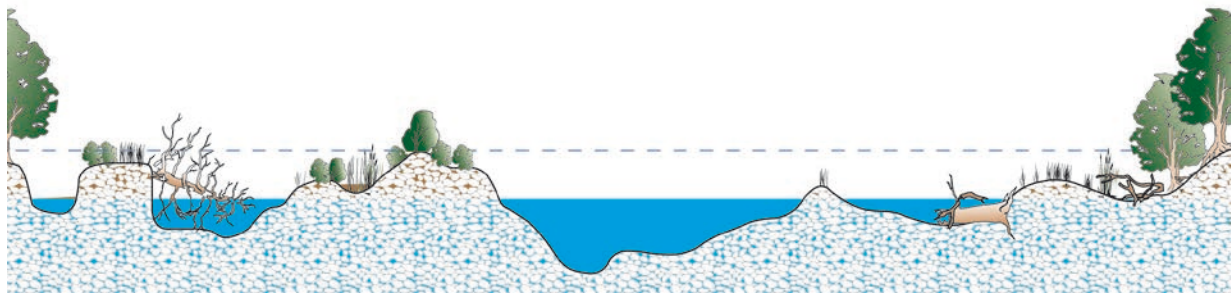
Höhere Wasserführung kann zu hohe und zu tiefe Wassertemperaturen auf flach benetzten Flächen abpuffern und über einen dynamischeren Wasseraustausch das Sauerstoffregime auf der Flusssohle verbessern. Bei den aktuell herrschenden Dotierwassermengen sind gegenüber dem Hauptfluss keine oder kaum höhere Wassertemperaturen messbar. Offenbar spielt dabei auch Grundwasserinfiltration noch eine Rolle. Die Erhöhung und Dynamisierung der Dotierwassermengen in den Restwasserstrecken haben nicht nur im Bereich des alten Aarebetts selbst, sondern auch im Hauptfluss – dort wo er durchgängig mit der Restwasserstrecke vernetzt ist – zu einer Verbesserung der gewässerökologischen Verhältnisse beigetragen. Im Rahmen von Monitoringprogrammen, die nicht nur die aquatischen, sondern auch die umgebenden amphibischen und terrestrischen Lebensräume untersuchen, wird es künftig möglich sein, auch bei Beibehaltung der Wasserkraftnutzung vernünftige und zielführende Lösungen zu finden. Die Schachen brauchen letztlich eine in ihrer Höhe abgestimmte, dynamische Wasserdotierung, bei der sich einerseits wertvolle Habitate im Wasser und an Land ausbilden können, die aber andererseits gegenüber Hochwasser relativ unempfindlich sind (Abb. 29).

Abb. 29 > Entwicklung von Wasser- und Landlebensräumen in naturnahen Restwassergerinnen am Beispiel der Aare-Schachen

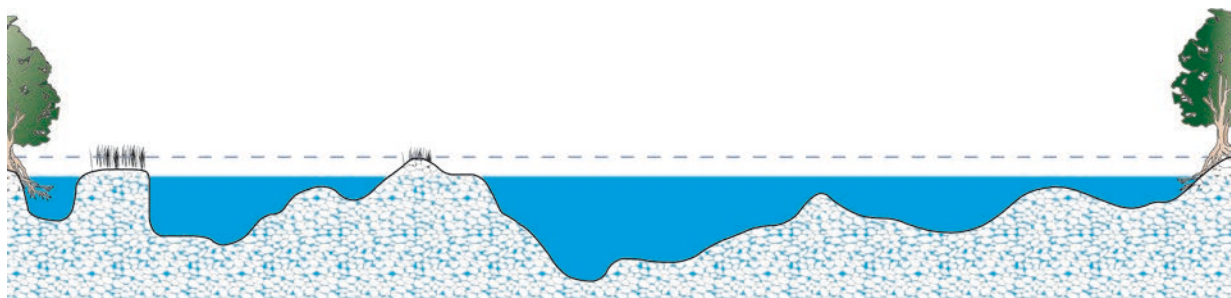
Habitatentwicklung bei stark unterschiedlichen Dotierwassermengen. Zeichnung A) und B) repräsentieren in etwa den Wechsel in der Dotierwassermenge von 5 auf $>15 \text{ m}^3/\text{s}$ bei einem Gerinne vom Typus Gösger Schachen. C) entspräche im selben Bereich einer Dotierung von $>50 \text{ m}^3/\text{s}$.



A) Dotierung unverhältnismässig gering: Anteil von Trockenvegetation hoch; amphibische Standorte und Ruderalflächen unterrepräsentiert. Mulden mit Detritus verfüllt. Biozönosen nicht flusstypisch. Artendiversität mässig. Produktivität: terrestrisch: hoch; aquatisch: gering. Hochwasser: Energieeintrag sehr hoch, ökologisches Schadenspotenzial sehr hoch.



B) Dotierung ausgewogen: Anteil von Trockenvegetation gering; amphibische Standorte und Ruderalflächen unterrepräsentiert. Biozönosen z.T. flusstypisch, z.T. auentypisch. Artendiversität sehr hoch. Produktivität: terrestrisch: hoch; aquatisch: hoch. Hochwasser: Energieeintrag hoch, ökologisches Schadenspotenzial mässig bis hoch.



C) Dotierung hoch: Trockenvegetation fehlt; amphibische Standorte und Ruderalflächen unterrepräsentiert. Gewässerbiozönosen flusstypisch; Landbiozönosen ruderal, ansonsten auf Ufer beschränkt. Artendiversität hoch. Produktivität: terrestrisch: gering; aquatisch: hoch. Hochwasser: Energieeintrag relativ gering, ökologisches Schadenspotenzial eher gering.

Quelle: [33]

Weitere Revitalisierungsmassnahmen – z.B. Abflachungen der Ufer oder Zugabe/Reaktivierung von Geschiebe – sind innerhalb der Restwasserstrecken sicher sehr effektiv und einfacher umzusetzen als im Hauptfluss oder gar in den Kraftwerkkämen. Eine Verbesserung der Geschiebedynamik durch Weiterleitung am Wehr, Geschiebezugaben und/oder Sohlenlockerungen in den Restwasserstrecken würde vor allem kieslaichenden Fischarten nützen. Dabei stehen die Perspektiven für Nasen und Barben wohl deutlich besser als für wärmesensible Arten wie die Leitfischart Äsche, Forellen oder den künftig wieder erwarteten Lachs.

4 > Schlussfolgerungen und Ausblick

Die hier vorgestellten Ergebnisse belegen, dass Art, Mass und Geschwindigkeit der biologischen Veränderungen im Rahmen der Langzeit-Monitoringprogramme sehr gut erfasst werden können. Seit 2006 werden als wichtige Organismengruppe nun auch Jungfisch-Bestände untersucht. Die Erhebungen der Makroinvertebraten (nur zwei statt drei Erhebungen pro Kampagnen und Jahr) und v. a. Makrophyten wurden dagegen gegenüber den ersten Kampagnen^{[42],[43]} in ihrem Umfang reduziert. Auch wenn dadurch ein gewisser Informationsverlust einhergeht, reicht die Qualität der Ergebnisse für die Fortführung von Langzeitvergleichen bisher noch aus. Die Datengrundlage der koordinierten biologischen Untersuchungen an Hochrhein und Aare war deshalb auch in den vergangenen 10 Jahren vielfältig und aufschlussreich. Die untersuchten Qualitätsparameter und Organismengruppen waren geeignet, ein gutes Bild der aktuellen Umgebungsbedingungen, der Besiedlungsverhältnisse und deren Veränderungen zu zeichnen. Unzureichend waren die Angaben allerdings bezüglich der Makrophyten, für die eine koordinierte Kampagne in Hochrhein und Aare vorgeschlagen wird, wie sie zuletzt 1996–1998 durchgeführt wurde^{[42],[43]}.

4.1 Aktueller Zustand, Veränderungen und Tendenzen

Die *chemische Wasserqualität* hat sich in Bezug auf Nährstoffe im Hochrhein auf hohem Qualitätsniveau stabilisiert, Phosphor- und Stickstoff-Komponenten haben weiter abgenommen. In der Aare hat sich die Wasserqualität bezüglich der Nährstoffparameter seit 2001 bei vier Parametern um eine oder zwei Stufen verbessert und musste 2012 nirgendwo mehr beanstandet werden. Mikroverunreinigungen treten inzwischen allerdings regelmässig in nachweisbaren Mengen auf, die ökologischen Folgen sind noch weitgehend unklar. Der globale Trend eines Anstiegs der *Wassertemperaturen*, der bei Langzeitvergleichen auch für Hochrhein und Aare zu erkennen ist, wird durch Jahresvergleiche, wie sie im Rahmen der Untersuchungen vorgestellt werden, nicht abgebildet. Aber auch während der Kampagnen gab es Jahre, in denen Wassertemperaturen über 25 °C erreicht wurden (2006), in denen sie im Winter nicht unter 5 °C gefallen sind (2006/07) oder in denen sie über Monate hinweg um 20 °C lagen (2011/12). Dabei zeigen sich Hochrhein und Aare in ihrem Temperaturverlauf nahezu identisch.

Geschiebe, das besonders als Laichsubstrat für Fische und Lebensraum zahlloser Wirbelloser benötigt wird, konnte trotz Geschiebezugaben, -umlagerungen und -weiterleitungen über Kraftwerkstufen hinweg noch nicht soweit dynamisiert und biologisch verfügbar gemacht werden, dass es sich den ursprünglichen Verhältnissen annähert. Die Anstrengungen, die in diesem Sinne in der Aare unternommen werden (im Rahmen der interkantonalen Geschiebehaushaltsstudie), gehen bisher weiter als am Hochrhein, wo das Geschiebeprobem nun aber im Rahmen eines Masterplans in Angriff genommen wird.

Beim *Phytoplankton* und mit wenigen Ausnahmen auch bei den *Aufwuchs-* und *Kieselalgen* zeigten sich keine grundlegenden Veränderungen gegenüber früheren Untersuchungen. Die *biologisch indizierte Gewässerqualität*, die durch beide Komponenten abgebildet werden kann, war im Hochrhein gut. In der Aare hat sie sich an acht Stellen tendenziell verbessert, an drei Stellen aber verschlechtert.

Wie bei der vorangegangenen Betrachtungsperiode (1995 bis 2002) wurden bei den *Makrophyten* für die letzten 10 Jahre noch einmal starke Veränderungen im Sinne einer Artenverarmung und Verödung der Bestände vermeldet. Hier liegen aktuellere Daten allerdings nur aus dem Hochrhein vor und auch diese decken sich bezüglich des Artenbestands nicht überall mit den Beobachtungen, die im Rahmen von Untersuchungen mit Tauchern gemacht wurden. Das Beispiel zeigt, dass die Makrophytendaten, die seit 2006 nach den Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie erhoben wurden, nicht mit den von Schweizer Seite gesammelten Informationen verglichen werden können. Auch ein Vergleich mit Kampagnen vor 2006^{[42],[43]} erscheint aufgrund unterschiedlicher Erfassungsmethodik kaum möglich. Um realistische Aussagen über die vermuteten Bestandsveränderungen der Makrophyten in Hochrhein und Aare treffen zu können, müssten in absehbarer Zeit noch einmal umfassendere Untersuchungen lanciert werden. Ansonsten besteht die Gefahr, dass ein möglicherweise gravierender Bestandsrückgang einzelner Arten nicht dokumentiert wird und dessen Ursachen nicht gefunden werden.

Die eindrücklichsten nachweislichen Veränderungen gab es bei den wirbellosen Kleinlebewesen, den *Makroinvertebraten*. Nachdem die Ausbreitung von Neozoen mit invasiver Vermehrungsstrategie über Jahre hinweg am Endpunkt der Grossschiffahrt bei Rheinfeldern stagnierte, ist sie etwa seit 2003 ungebremst abgelaufen – nicht nur in der Aare und im Hochrhein, sondern auch in der Limmat, der Reuss, im Zürichsee und vor allem im Bodensee (vgl. Abb. 18). Zwar beherbergt der Hochrhein noch immer das grösste trittsteinangestammte Arteninventar aller Rheinabschnitte. Zwischenzeitlich gab es jedoch bei mehreren angestammten Taxa drastische Bestandseinbrüche, an einzelnen Stellen konnten bereits Arten nicht mehr nachgewiesen werden, die zuvor häufig waren.

Grossen Informationsgewinn gegenüber den bisherigen Fang- und Aufstiegsstatistiken lieferten die seit 2006 durchgeführten ufernahen *Jungfischuntersuchungen* in beiden Flüssen. Hierbei konnten wichtige Kenntnisse über das Reproduktionspotenzial vieler Fischarten gewonnen werden. Wie zu erwarten, sind die kälteliebenden, kieslaichenden Arten wie Bachforelle und Äsche kaum noch in der Lage, durch Naturverlaichung stabile Populationen zu erhalten. Selbst durch intensiven Besatz kann ausserhalb bekannter Verbreitungsschwerpunkte kein fischereilich ertragreicher Bestand mehr gewährleistet werden. Im Hochrhein sind die Artenzahl und die Individuendichte der Fische grösser als in der Aare. Ob die beiden letzten Kampagnen im Hochrhein bereits die Aussage bezüglich einer Entwicklungstendenz erlauben, darf bezweifelt werden. Jedenfalls ist positiv zu vermerken, dass junge Nasen an den meisten Hochrheinabschnitten in mittleren Dichten anzutreffen waren und auch das Bachneunauge, in beiden Flüssen verbreitet, im Hochrhein stellenweise sogar häufig war.

Ausblick

Obwohl uns die teilweisen Erfolge des qualitativen Gewässerschutzes seit fast 30 Jahren wieder geringe Nährstoff-Belastungen des Oberflächenwassers ermöglichen, ist die Biologie unserer grossen Flüsse einem steten, zeitweise auch raschen Wandel unterworfen: die Bestände typischer und früher häufiger Tier- und Pflanzenarten nehmen immer mehr ab. Das Überleben vieler spezialisierter Tier- und Pflanzenarten kann heute nur noch durch naturnah verbliebene und frei fliessende Flussabschnitte gewährleistet werden, in denen ein grosses Artenspektrum erhalten geblieben ist, das sich auf weniger naturnahe Abschnitte auswirkt. Von hier aus ist eine Wiederbesiedlung zu künftig revitalisierten Abschnitten denkbar. Umso wichtiger wird es sein, den Erhalt und die Reaktivierung solcher Trittsteine als eine prioritäre Aufgabe des Gewässerschutzes an Hochrhein und Aare zu betrachten.

Wie es mit der Ausbreitung neozoischer Wirbelloser weiter geht, ist kaum absehbar. Auch hierbei bieten nur die eben angesprochenen Trittsteine als ökologisch hochwertige «Besiedlungsinseln» ein genügend grosses Repertoire an unterschiedlichen Habitaten an, in denen angestammte Arten Refugien vorfinden. Inwieweit dies letztlich zum Überleben angestammter flusstypischer Arten beitragen kann, sollte künftig an ausgewählten Trittsteinen intensiver untersucht werden. Aus den Entwicklungen in den Rheinabschnitten unterhalb Basel lässt sich prognostizieren, welche Neozoen in den nächsten Jahren wohl auch im Hochrhein und seinem Einzugsgebiet noch auftauchen könnten. Vor allem weitere Flohkrebsarten könnten noch einmal zu einer starken Veränderung der tierischen Besiedlung führen. Besondere Sorge gilt der möglichen Verschleppung der Quaggamuschel (*Dreissena rostriformis bugensis*), einer Schwesterart der Wandermuschel, die andernorts gezeigt hat, dass sie eine Gefahr für die Trinkwasserversorgung, die Wasserentsorgung und die Funktion von Kühlsystemen, z. B. in Kraftwerken, darstellt^{[32],[46]}. Die vergangenen zehn Jahre haben gezeigt: die Ausbreitung der wirbellosten Neozoen lässt sich möglicherweise verlangsamen, aber nicht gänzlich verhindern. Trotz umfangreicher Information der Öffentlichkeit durch verschiedene Arbeitsgruppen und Fachstellen war es bisher nicht möglich, die vom Menschen verursachten Verbreitungswege (Vektoren) zu kontrollieren oder gar zu schliessen, z. B. den Transport von Organismen in Wanderbooten, das fahrlässige Freilassen aus Aquarien, den Einsatz fremder Arten in Gartenteiche, das Verschleppen zusammen mit dem Wasser aus Fischbesatz u.a..

Leider droht nun mit der Zuwanderung verschiedener Grundelarten aus dem Schwarzmeerraum den Fischarten von Hochrhein und Aare eine neue Gefahr. Auf Basis der bisherigen Kenntnisse wurden bereits mehrere Informationsbroschüren in Umlauf gebracht, die auf die Probleme und Verschleppungswege aufmerksam machen und sie durch Handlungsempfehlungen minimieren wollen. Hierzu gehören z. B. die Ausführungen und Vorträge der Uni Basel zur Ausbreitung invasiver Grundelarten^[49] und die Positionspapiere, Informationsbroschüren und Informationstafeln der internationalen Arbeitsgruppe aquatische Neozoen (ANEBO/AKAN)^[50].

Bisher haben uns vor allem Neozoen aus ähnlichen Klimazonen Probleme bereitet. Künftig werden sich globale Klimaänderungen sowohl auf die Neozoenausbreitung, als auch auf die Verbreitung angestammter Arten auswirken. Wo es für kaltstenotherme

(an niedrige Temperaturen gebundene) Tiere und Pflanzen zu warm wird, öffnen sich für Arten aus wärmeren Klimazonen neue Lebens- und Reproduktionsräume.

Die koordinierten biologischen Untersuchungen an Hochrhein und Aare haben diese und weitere Entwicklungen umfassend dokumentiert. Eine Weiterführung dieses Langzeitmonitorings im bisherigen Turnus von fünf bis sechs (Hochrhein) bzw. zehn Jahren (Aare) bleibt die einzige Informationsquelle über die Zukunft der Lebewelt in den beiden grössten Schweizer Flüssen. Durch zusätzliche Untersuchungen wie das Sonderprogramm Restwasser an der Aare hat man wichtige Zusatzinformationen gewonnen und gelernt, dass bei künftigen Untersuchungen auch die Besiedlung der amphibischen Lebensräume, der gewässernahen Uferlebensräume und der Kiesbank-biozönosen zu berücksichtigen ist. Dies ist sowohl für die Gesamtbetrachtung und Beurteilung der Flussbiozönosen als auch für die Art und den Umfang von Verbesserungsmassnahmen von Bedeutung, z. B. bei der Bemessung von Dotierwassermengen oder bei flussbaulichen Revitalisierungsmassnahmen.

Die im Rahmen der koordinierten biologischen Untersuchungen erfassten biologischen Entwicklungen am Hochrhein und an der Aare zeigen deutlich, wie wichtig künftig der Schutz und die Wiederbelebung naturnaher Flussabschnitte sein wird. So sind sie für viele heimische Flussarten die einzige Möglichkeit, vor dem Hintergrund einer globalen Faunen- und Florenveränderung durch Neobiota zu überleben. Sie wirken als biologische Trittsteine im Längs- und Querverlauf der Flüsse und zeigen allein noch das ursprüngliche Inventar an Flusslebensräumen, zu denen neben den Gewässerbiotopen auch die Auen und Wasserwechselzonen (Kies-/Sandbänke, Kies-/Sandufer) zählen.

> Literatur

- [1] Abegg J., Kirchhofer A., Rutschmann P. 2013: Masterplan – Massnahmen zur Geschiebereaktivierung im Hoahrhein. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energie Schweiz (BFE) und des Regierungspräsidiums Freiburg. 110 S. und Anhänge.
- [2] Backhaus D. 2006: Litorale Aufwuchsalgen im Hoch- und Oberrhein.- *Carolinea* 64:5-68, Karlsruhe.
- [3] Böhmer J., Mischke U. 2011: Auswertungssoftware Version PhytoFluss 2.2 berichtigt und aktualisiert für die Taxaliste Phytoplankton (HTL_Mai_09) mit Anleitung und Eingabeformat zum deutschen Bewertungsverfahren von Fließgewässern mittels Phytoplankton modifiziert nach Mischke & Behrendt 2007.
- [4] BAFU: Nationale Daueruntersuchung der Fliessgewässer (NADUF) www.bafu.admin.ch/wasser/13462/14737/15108/15109/index.html?lang=de.
- [5] Basler & Hoffmann et al. 2011: Ökologisches Leitbild Aare. Aarau bis Olten. – Bericht i. A. Amt für Umwelt des Kantons Solothurn, 137 S..
- [6] Bostelmann R., Gutowski A. (ALAND) 2013: Biologisches Monitoring der Fließgewässer in Baden-Württemberg 2012: Makrophyten und Phytobenthos. Gebiet 337 (Rhein und schiffbarer Neckar). Unveröffentlichter Teilbericht für den Hoahrhein im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.
- [7] Christmann K-H. 2009: Rhein-Messprogramm Biologie 2006/2007 Teil II-A: Das Phytoplankton im Rhein (2006–2007).- IKSR: Bericht Nr. 169, IKSR 2009.
- [8] Dußling U. 2009: Handbuch zu fiBS – Hilfestellung und Hinweise zur sachgerechten Anwendung des fischbasierten Bewertungsverfahrens fiBS – Schriftenreihe des Verbandes Deutscher Fischereiverwaltungsbeamter und Fischereiwissenschaftler e.V., Heft 15.
- [9] Eberstaller J., Rey P., Eberstaller-Fleischanderl D., Becker A. 2007: Monitoringkonzept Alpenrhein, Konzept zur Koordination und Durchführung gewässerökologischer Untersuchungen. – i. A. Internationale Regierungskommission Alpenrhein (IRKA), Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie
- [10] Gerster S. 1991: Hoahrhein-Fischfauna im Wandel der Zeit. Internationale Fischereikommission für den Hoahrhein, Schriftenreihe Fischerei Nr. 49, 28 S.
- [11] Guthruf J. 2008: Fischaufstieg am Hoahrhein. Koordinierte Zählung 2005/06.– Umwelt Wissen UW-0810-D, Bundesamt für Umwelt, Bern 161 S.
- [12] Guthruf J. 2006: Koordinierte Fischaufstiegskontrollen an den Aare-Kraftwerken zwischen Solothurn und der Mündung in den Rhein. – Gutachten im Auftrag des Amtes für Umwelt des Kantons Solothurn, des Amtes für Wald, Jagd und Fischerei des Kantons Solothurn, der Sektion Jagd und Fischerei, BVU des Kantons Aargau und der Abt. Landschaft und Gewässer, BVU des Kantons Aargau: 99 S. + 44 S. Anhang.
- [13] Guthruf J. 2008: Fischbestandeskontrolle Aare Thun-Bern 2007.– Arbeitsbericht Aquatica, Auftrag: Fischereiinspektorat des Kantons Bern: 9 S.
- [14] Hofmann G. 2009: «Benthische Diatomeen des Rheins in den Jahren 2006–2007», Bericht im Auftrag der IKSR: Bericht Nr. 171, IKSR 2009.
- [15] Hofmann G. 2013: Untersuchung von benthischen Diatomeen im Hoahrhein im Rahmen des WRRL-Monitorings. Unveröffentlichter Kurzbericht im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 14 S., Karlsruhe.
- [16] Hürlimann J., Niederhauser P. 2007: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Kiesalgen Stufe F (flächendeckend).- Umwelt-Vollzug Nr. 0740. Bundesamt für Umwelt, Bern. 130 S.
- [17] Institut für Seenforschung der LUBW Baden-Württemberg: ANEBO Aquatische Neozoen im Bodensee. – www.neozoen-bodensee.de.
- [18] IKSR 2009: Masterplan Wanderfische Rhein.
- [19] IKSR 2009: Schöll F. Das Makrozoobenthos des Rheins 2006/2007. – Rhein-Messprogramm Biologie 2006/2007 Teil II-D. – Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR), Koblenz 41 pp., www.iksr.org/uploads/media/Bericht_172_d_01.pdf
- [20] IKSR 2009: Rheinmessprogramm Biologie 2006/2007, Teil II-C (Teilkompartiment Phytobenthos) Benthische Diatomeen im Rhein; Bericht Nr. 171, 32 S.
- [21] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen 2011: Strahlwirkungs- und Trittsteinkonzept in der Planungspraxis. LANUV-Arbeitsblatt 16. Recklinghausen, 99 S.
- [22] Lauterborn R. (1916–18): Die geographische und biologische Gliederung des Rheinstroms I-III. – Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Math. naturwiss. Klasse, Abt. B., 1916/6:1-61; 1917/5:1-70; 1918:1-87, Heidelberg.
- [23] Liechti P. 2010: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe. – Umwelt-Vollzug Nr. 1005. Bundesamt für Umwelt, Bern. 44 S.

- [24] Maurer V. 2004: Koordinierte biologische Untersuchungen an Hochrhein und Aare 1999–2002. Schriftenreihe Umwelt Nr. 375 – Gewässerschutz. Zusammenfassender Kurzbericht. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, 45 S.
- [25] Meyer E. 1989: The relationship between body length parameters and dry mass in running water invertebrates. – Archiv für Hydrobiologie, 117 (2): 191–203
- [26] Mürle U., Ortlepp J., Rey P. 2008: Koordinierte biologische Untersuchungen im Hochrhein 2006/07. Makroinvertebraten. – Umwelt-Wissen UW-0822, 106 S., Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern (Hrsg.).
- [27] Mürle U., Ortlepp J., Rey P. 2008: Biologische Untersuchungen der Aare zwischen Thunersee und Bielersee. Fachbericht Makroinvertebraten. i.A. des Gewässer- und Bodenschutzlabors, Kanton Bern, Bericht Hydra Öschelbronn und St. Gallen.
- [28] Ortlepp J. 2011: Biologische Untersuchung der Limmat bei Turgi und Wettingen A.G. Fachbericht Makrozoobenthos Untersuchungen vom 17. / 18. März 2010. i.A. des Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung für Umwelt, Kanton Aargau, Bericht Hydra AG St. Gallen.
- [29] Ortlepp J., Mürle U. 2012: Biologische Untersuchung der Mittelland-Reuss, Kleinen Emme und Unteren Lorze. Fachbericht Makrozoobenthos (Untersuchungen vom März 2011). – Bericht i.A. der Gewässerschutzfachstellen der Kantone Aargau, Zug, Zürich und Luzern, Hydra AG St. Gallen, Februar 2012.
- [30] Ortlepp J., Rey P. 2003: Biologische Untersuchungen an der Aare zwischen Bielersee und Rhein. Fachbericht: Makroinvertebraten (Untersuchungen 2001/ 2002). – i. A. der Gewässerschutzfachstellen der Kantone Bern, Solothurn und Aargau, 130 S., Bericht Hydra Öschelbronn und Konstanz, Oktober 2003 (überarbeitete Version 01/ 2004)
- [31] Rey P., Werner S., Mürle U., Becker A., Ortlepp J., Hürlimann J. 2011: Monitoring Alpenrhein. Basismonitoring Ökologie 2009/2010. Benthosbesiedlung – Sonderuntersuchungen: Jungfischhabitats, Besiedlung der Kiesbänke. – Bericht zuhanden Internationale Regierungskommission Alpenrhein (IRKA), Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie. 159 S.
- [32] Rey P., Mürle U., Ortlepp J., Werner S., Hesselschwerdt J., Unger B. 2015: Koordinierte biologische Untersuchungen im Hochrhein 2011/2012; Makroinvertebraten – Bericht i.A. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- [33] Rey P., Ortlepp J., Werner S., Mürle U., Becker A., Hesselschwerdt J. 2014: Koordinierte biologische Untersuchungen an der Aare zwischen Bielersee und Rhein 2011–2013. Abschlussbericht des Monitoringprogramms der Jahre 2011, 2012 und 2013 zuhanden der Gewässerschutz- und Fischereifachstellen der Kantone Aargau, Bern und Solothurn. St. Gallen, 121 S. + Datenanhang.
- [34] Rey P., Ortlepp J., Küry D. 2005: Wirbellose Neozoen im Hochrhein. – Schriftenreihe Umwelt 380 – Gewässerschutz. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern (Hrsg.).
- [35] Riedmüller U., Hoehn E. 2013: Phytoplankton in Flüssen des Landes Baden-Württemberg und deren Bewertung nach EG-WRRL – Untersuchungen der Jahre 2005 bis 2012. – Unveröffentlichter Bericht im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), 85 S., Karlsruhe.
- [36] Rippmann U. 2011: Das Monitoring der Äschenlarven als Instrument der Erfolgskontrolle für die wasserbaulichen Eingriffe des Projekts «Befahrbarkeit Aare / Reuss im Bereich Waffenplatz Brugg» zwischen Casinobrücke und Fischergraben an der Aare. Im Auftrag des Departements Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau.
- [37] Ruff M., Singer H. 2013: 20 Jahre Rheinüberwachung – Erfolge und analytische Neuausrichtung in Weil am Rhein. Aqua & Gas Nr. 5, S. 16–25.
- [38] Schaumburg J., Schranz C., Stelzer D., Vogel A., Gutowski A. 2012: Verfahrensanleitung für die ökologische Bewertung von Fließgewässern zur Umsetzung der EG- Wasserrahmenrichtlinie: Makrophyten und Phytobenthos, Phylib; Stand Januar 2012. Bayerisches Landesamt für Umwelt, 191 S.
- [39] Stucki P. 2010: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Makrozoobenthos Stufe F. – Umwelt-Vollzug 1026: 61 S., Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern (Hrsg.).
- [40] Van de Weyer K. 2008: «Makrophytenverbreitung im Rhein», Bericht im Auftrag der IKSR: Bericht Nr. 170, IKSR 2009.
- [41] Wächter K. 1989: Auswertung der Makrophyten-Grobkartierung in Rhein, Aare und Reuss zwischen 1984 und 1986. – Hydrobiol.-limnolog. Station Univ. Zürich, 1989 S. 1–53, A1-A31.
- [42] Wächter K. 2000: Auswertung der dritten Makrophyten-Grobkartierung in Rhein, Aare und Reuss 1996–1998 sowie Vergleich mit den Inventaren von 1984–1986 und 1990–1992. Bericht zHv Verband Aare-Rheinwerke, Baden, 110 S.
- [43] Wächter K. 2000: Makrophyten-Grobkartierung in Rhein, Aare und Reuss 1996–1998. Zusammenfassender Kurzbericht zHv Verband Aare-Rheinwerke, Baden, 24 S.
- [44] Wächter K. 2006: Stichprobenweise Erfassung der Makrophyten und der Fädigen Algen im Hochrhein. – IKSR 2006.
- [45] Werner S., Becker A., Rey P., Ortlepp J. (in Vorbereitung): Koordinierte biologische Untersuchungen im Hochrhein 2011/2012; Teil Jungfische, Kleinfische und Rundmäuler. – Bericht i.A. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- [46] Werner S., Hesselschwerdt J., Mürle U., Ortlepp J., Rey P. 2013: Ausbreitung gebietsfremder aquatischer Wirbellosenarten im

Bodensee. Bericht über die Untersuchungsjahre 2008 bis 2013.
Zwischenbericht i.A. Institut für Seenforschung ISF (LUBW),
Langenargen, 62 S.

- [47] WFN 2011: Reaktivierung des Geschiebehaushaltes der Aare,
fischökologische Untersuchungen – Erhebungen 2005–2011.
Bericht i.A. Fischereiinspektorat des Kantons Bern: 17 S.
- [48] Wurzel A., Borchers U., Drews M, Weinberger P. (Red.) 2008:
Kompensation von Strukturdefiziten in Fließgewässern durch
Strahlwirkung. Schriftenreihe des Deutschen Rates für
Landespflege. 81/2008, ISSN 0930–5165, Meckenheim, 138 S.

Weiterführende Informationen aus dem Internet:

- [49] Invasive Grundelarten:
<https://www.baselland.ch/fileadmin/baselland/files/docs/vsd/vjf/fisch/grundeln.pdf>
- [50] www.neozoen-bodensee.de,
<https://www.vorarlberg.at/pdf/neuankoemmlingeimbodensee.pdf>

> Verzeichnisse

Abbildungen

Abb. 1	Das Flussgebiet Hochrhein und untere Aare mit seinen Einzugsgebieten	18	Abb. 12	Typische Vertreter der Makroinvertebraten innerhalb unterschiedlicher Abschnitte und Bereiche des Hochrheins und der Aare	39
Abb. 2	Flussabschnitte unterschiedlichen Charakters in Hochrhein und Aare	19	Abb. 13	Seltene oder schwer nachweisbare Makroinvertebraten im Hochrhein und in der Aare	40
Abb. 3	Probestellen der koordinierten biologischen Untersuchungen in Hochrhein und Aare sowie Mess- und Pegelstellen zur Erfassung von Hydrologie und Wasserqualität	20	Abb. 14	Taxazahlen der Makroinvertebraten in Hochrhein und Aare	42
Abb. 4	Untersuchungsmethoden an Hochrhein und Aare	23	Abb. 15	Zusammensetzung der Benthosbesiedlung im Hochrhein: Vergleich der Kampagnen 2006/2007 und 2011/2012	43
Abb. 5	Wassertemperatur während der beiden letzten Untersuchungskampagnen im Hochrhein (oben und Mitte) und während des letzten Monitoringprogramms an der Aare (unten)	26	Abb. 16	Veränderungen der Besiedlungsdichten aspektbildender Flohkrebsarten im Hochrhein zwischen 1995 und 2012	44
Abb. 6	Abflüsse während der beiden letzten Untersuchungskampagnen im Hochrhein (oben und Mitte) und während des letzten Monitoringprogramms an der Aare (unten)	28	Abb. 17	Kampf um das Hartsubstrat: seit 1990 hat sich die Besiedlung der grossen Uferblöcke an der Stelle Schweizerhalle im Hochrhein immer wieder verändert	45
Abb. 7	Unterschiedliche Trübung und Lichtdurchflutung im Hochrhein. Trübung und Licht sind entscheidende Faktoren für manche Besiedlungsunterschiede auf der Hochrheinsohle	29	Abb. 18	Ausbreitung (rot markiert) der drei neozoischen Wirbellosenarten im Einzugsgebiet von Hochrhein und Aare	46
Abb. 8	Zusammensetzung und Biomasse des Phytoplanktons im Hochrhein und in der Aare im Untersuchungsjahr 2012	31	Abb. 19	Neozoische Wirbellosenarten mit besonders hohen Ausbreitungsgeschwindigkeiten	47
Abb. 9	Im Aufwuchs der Flusssohle leben verschiedenste Pflanzen, Tiere, Pilze und Bakterien zusammen	33	Abb. 20	Relative Anteile der Besiedlungsdichten neozoischer und angestammter Makroinvertebraten – für jeden Flussquerschnitt, gemittelt über sämtliche Teilproben	48
Abb. 10	Anhand von Kieselalgen biologisch indizierte Gewässerqualität in Hochrhein (nach Methode SCHAUMBURG et al. 2012) und Aare (nach Modul-Stufen-Konzept, Kieselalgen, Stufe F). In der Aare wurden mehrere Stellen im Flussquerschnitt untersucht.	34	Abb. 21	Biomasse der Makroinvertebraten im Hochrhein 2011/ 2012	49
Abb. 11	Aspektbildende Makrophyten in Hochrhein und Aare	36	Abb. 22	Fangstatistik der wichtigsten Fischarten für den gesamten Hochrhein von 1963 bis 2011 und die Aare ab 1970	51
			Abb. 23	Ausgewählte Ergebnisse der Aufstiegskontrollen am Hochrhein und an der Aare (jeweils 2005) ^{[11],[12]}	53
			Abb. 24	Im Rahmen koordinierter biologischer Untersuchungen an Hochrhein und Aare nachgewiesene Jungfische, Kleinfischarten und Rundmäuler	54
			Abb. 25	Vergleich der bei den Jungfischuntersuchungen festgestellten Fischartenzahlen an den jeweiligen Untersuchungsstellen im Hochrhein (2006/07 und 2011/12) und in der Aare (2012). A-D	

bezeichnen die auf Schweizer Seite verwendeten vier Hochrhein- und drei Aareabschnitte unterschiedlicher Flusscharakteristik. 55

Abb. 26

Individuen pro m². Relative Häufigkeiten einzelner Arten im Jungfischbestand von Hochrhein und Aare 57

Abb. 27

Mobilitätsradien beispielhafter Flussorganismen [nach 48, verändert]. Aus den beobachteten Mobilitätsradien der Tiere lässt sich der Wirkungsbereich, die «Strahlwirkung» ökologischer Trittsteine abschätzen 60

Abb. 28

Unterschiedlicher Fliesscharakter und ökologische Trittsteine im Hochrhein und in der Aare [nach 32, ergänzt] 61

Abb. 29

Entwicklung von Wasser- und Landlebensräumen in naturnahen Restwassergerinnen am Beispiel der Aare-Schachen 63

Tabellen**Tab. 1**

Probestellen der koordinierten biologischen Untersuchungen in Hochrhein und Aare sowie Mess- und Pegelstellen zur Erfassung von Hydrologie und Wasserqualität 21

Tab. 2

Beurteilung der Wasserqualität des Hochrheins und der Aare nach Modul-Stufen-Konzept MSK 25

Tab. 3

Vergleich der ökologischen Qualität anhand der Trophie-Kenngrößen des Phytoplanktons in Hochrhein und Aare (Untersuchungsjahre 2006 und 2012) 32

Tab. 4

Verbreitungen und Häufigkeiten der Makrophyten im Hochrhein 37

Tab. 5

Untersuchungsergebnisse der ufernahen Befischungen im Hochrhein (2006/07 und 2011/12) und in der Aare (2012) 59