

Biologische Untersuchung Aare zwischen Bielersee und Rhein 2022

Kurzbericht

*Makroinvertebraten inkl. Libellen, Jungfische, Äusserer Aspekt,
pflanzlicher Bewuchs inkl. Kieselalgen, Umwelt-DNA (eDNA)*

Untersuchungen März bis Oktober 2022



Impressum

- Auftraggeber: **Kanton Aargau**, Abteilung für Umwelt, Departement Bau, Verkehr und Umwelt
Entfelderstrasse 22, 5001 Aarau, Lukas DeVentura
- Kanton Solothurn**, Amt für Umwelt, Abteilung Wasser
Werkhofstrasse 5, 4509 Solothurn, Sabine Flury
- Kanton Bern**, Bau- und Verkehrsdirektion, Amt für Wasser und Abfall, Gewässer- und Bodenschutzlabor
Schermenweg 11, 3014 Bern, Kristina Rehberger
- Dieses Projekt wurde realisiert mit Unterstützung des Bundesamt für Umwelt (BAFU)
- Auftragnehmer: HYDRA AG, Hauptstrasse 48, 8020 Kreuzlingen
AquaPlus AG, Gotthardstrasse 30, CH-6300 Zug
SimplexDNA, Else-Züblin-Strasse 11, 8404 Winterthur
- Bericht: Dr. John Hesselschwerdt, Pauline App, Niklas Bosch, HYDRA AG
Yvonne Bernauer, Christa Gufler, Joachim Hürlimann, AquaPlus AG
Elvira Mächler, SimplexDNA
- Bearbeiter: Feld- und Laborarbeiten: Dr. John Hesselschwerdt, Pauline App, Boris Unger, Dorothea Makarow,
Sarah Oexle, Niklas Bosch: HYDRA AG
Johannes Ortlepp, Uta Mürle: HYDRA Öschelbronn
Yvonne Bernauer, Christa Gufler, Joachim Hürlimann, AquaPlus AG
Elvira Mächler, SimplexDNA
- Fotos auf der Titelseite: Nebenarm mit Kolk im Restwasserabschnitt «Villnachern» (HYDRA AG); Quagga-Muschel (*Dreissena*
(von oben links nach *rostriformis bugensis*) (HYDRA AG); Mikroskopisches Bild von *Monostroma bullosum* und der gebietsfrem-
unten rechts) den Kieselalge *Didymosphenia geminata* (AquaPlus AG); Blick vom Zusammenfluss der Aare flussauf-
wärts auf das Wasserkraftwerk und den Staubereich Klingnau (HYDRA AG).
- Bildnachweis: Wenn nicht anders angegeben, alle Abbildungen und Fotos HYDRA AG

Inhalt

1	Einleitung	4
1.1	Ausgangslage und Auftrag	4
1.2	Die Aare und Einflüsse auf ihre Gewässerbiologie	4
2	Untersuchungen	7
3	Ergebnisse & Diskussion.....	8
3.1	Äusserer Aspekt	8
3.2	Pflanzlicher Bewuchs.....	10
3.3	Kieselalgen.....	12
3.4	Makroinvertebraten	13
3.5	Libellen	16
3.6	Jungfischbesiedlung	17
3.7	Umwelt-DNA (eDNA).....	18
4	Zusammenfassung	20
5	Literatur	22

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Auftrag

Die Biologie der Aare wird seit 2001/2002 im 10-Jahresturnus auf der Strecke vom Bielersee bis zum Rhein untersucht, letztmals im Jahr 2022. Auftraggeber waren jeweils die Gewässerschutzfachstellen der Kantone Bern, Solothurn und Aargau. Ausgehend von der Untersuchung des Makrozoobenthos (MZB) und des pflanzlichen Bewuchses inkl. Kieselalgen kamen 2012 die Jungfischbesiedlung, 2022 der Schwerpunkt Libellen und ebenfalls 2022 die eDNA-Untersuchung auf Neozoa hinzu. 2012 wurden einmalig auch die Sonderaspekte Saisonalität und Restwasser untersucht. Das damalige Sonderprogramm Restwasser ging 2022 in eine dauerhafte erweiterte Untersuchung dieser Bereiche über. Das Probestellenetz blieb gegenüber den früheren Untersuchungen bis auf die Erweiterung um zwei Stellen (Flumenthal & Rapperswil-Auenstein) gleich (Abb. 1-2).

Die zahlreichen biologischen Parameter wurden von einer Arbeitsgruppe aus mehreren auf Gewässerökologie spezialisierten Firmen untersucht:

- HYDRA AG, Kreuzlingen:
Projektleitung, Taucharbeiten, Makrozoobenthos, Jungfische, Probenahme eDNA & Sonderprogramm Libellen
- AquaPlus AG, Zug:
Äusserer Aspekt, pflanzlicher Bewuchs, Kieselalgen & Sondenmessungen
- SimplexDNA, Winterthur:
Analytik und Auswertung eDNA

Der gemeinsam erstellte Kurzbericht enthält die wichtigsten Kernaussagen der drei Fachberichte «Makroinvertebraten inkl. Libellen und Jungfische» [HESSELSCHWERDT et al 2023], «Äusserer Aspekt und pflanzlicher Bewuchs inkl. Kieselalgen» [BERNAUER et al 2023] und «Neobiota eDNA» [SIMPLEXDNA 2023].

1.2 Die Aare und Einflüsse auf ihre Gewässerbiologie

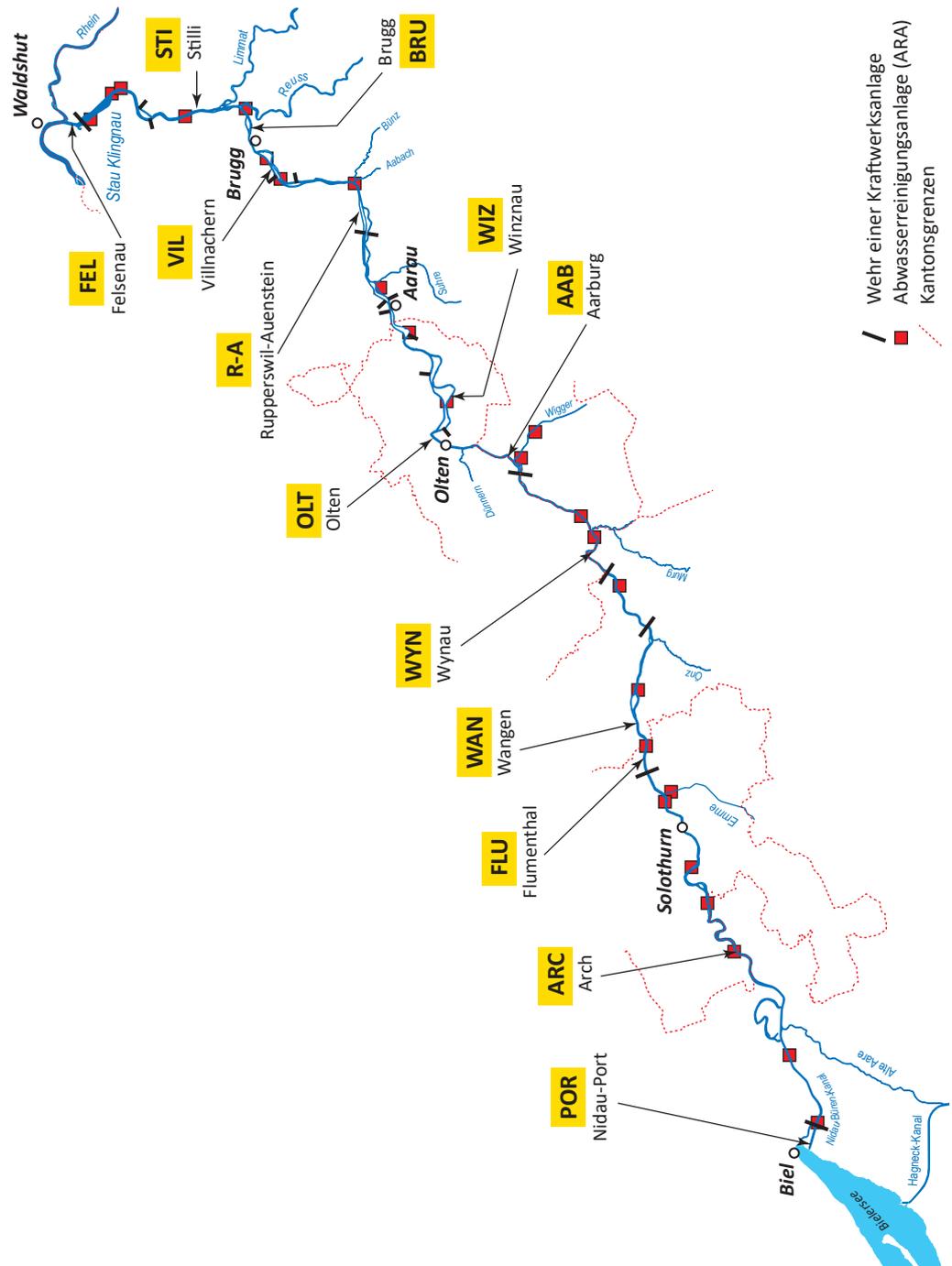
Die Aare ist, nach dem Rhein, der zweitlängste Fluss der Schweiz. Sie entspringt in den östlichen Berner Alpen und passiert auf ihrer Fließstrecke mehrere grosse Seen. Nach Passage der tief eingeschnittenen Aareschlucht erreicht sie den Brienersee und entlang einer kurzen Fließstrecke den Thunersee. Von dort aus gelangte sie ursprünglich durch das Aaretal, an Bern vorbei, durch die heutige «Alte Aare» bei Büren in ihren Unterlauf. Seit Ende des 19ten Jahrhunderts wurde sie über den Hagneckkanal in den Bielersee umgeleitet und von dort aus über den Nidau-Büren-Kanal in ihren auch heute noch bestehenden Unterlauf. Im Rahmen des Monitorings 2022 wurde der Bereich vom Bielersee, über den Nidau-Büren-Kanal bis zur Einmündung in den Rhein betrachtet (Abb. 1-1 & 1-2).

Neben den grossen Umgestaltungen des Verlaufs um den Bielersee, wurde die Aare in vielen Bereichen eingeeengt und verbaut. Der spätere Bau der zahlreichen Wasserkraftwerke führte zu einer Veränderung des Charakters der Aare von einem Fluss zu fast einem Stillgewässer. Dieser Vorgang verstärkt sich auch heute noch durch die fortschreitende Sedimentation in den Staubereichen.

Abbildung 1-1:
Links: Seeabfluss aus dem Bielersee in die Aare,
Mitte: Naturnahe Restwasserstrecke des WK Gösgen,
rechts: Stau Klingnau von Felsenau aus betrachtet.



Abbildung 1-2:
Übersichtskarte des Untersuchungsgebiets an der Aare mit eingezeichneten Wehren der Wasserkraftanlagen, Abwasserreinigungsanlagen (ARA) und Messstellen (gelb) des Monitorings.



Die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Biologie der Aare sind:

- Seeabfluss des **Bielersees** mit mesotrophen Nährstoffverhältnissen und für Seeausflüsse typisch gedämpftem Abflussregime und wenig Geschiebetrieb.
- Zufluss von **Reuss** und **Limmat** als grosse Zuflüsse mit geringer Geschiebe-, aber verstärkter Trübstofffracht während Hochwasserereignissen.
- Wehre der **Wasserkraftnutzung** mit Stauhaltungen beeinflussen Abfluss- und Strömungsverhältnisse, Geschiebetrieb, Kolmation der Gewässersohle und Sedimentation. Den grössten Einfluss hat dabei der **Klingnauer Stausee** mit Stauwurzelbeginn bei Döttingen.
- Insgesamt beeinträchtigte **Ökomorphologie** mit oft weitgehend verbauten Ufern. Naturnahe Abschnitte finden sich oft nur innerhalb der Restwasserstrecken.
- Viel versiegelte Flächen in **Siedlungsgebieten** (Häuser, Gewerbe, Industrie) und entsprechenden Entlastungen aus der Kanalisation (Mischwasser, Regenwasser) direkt in die Vorfluter.

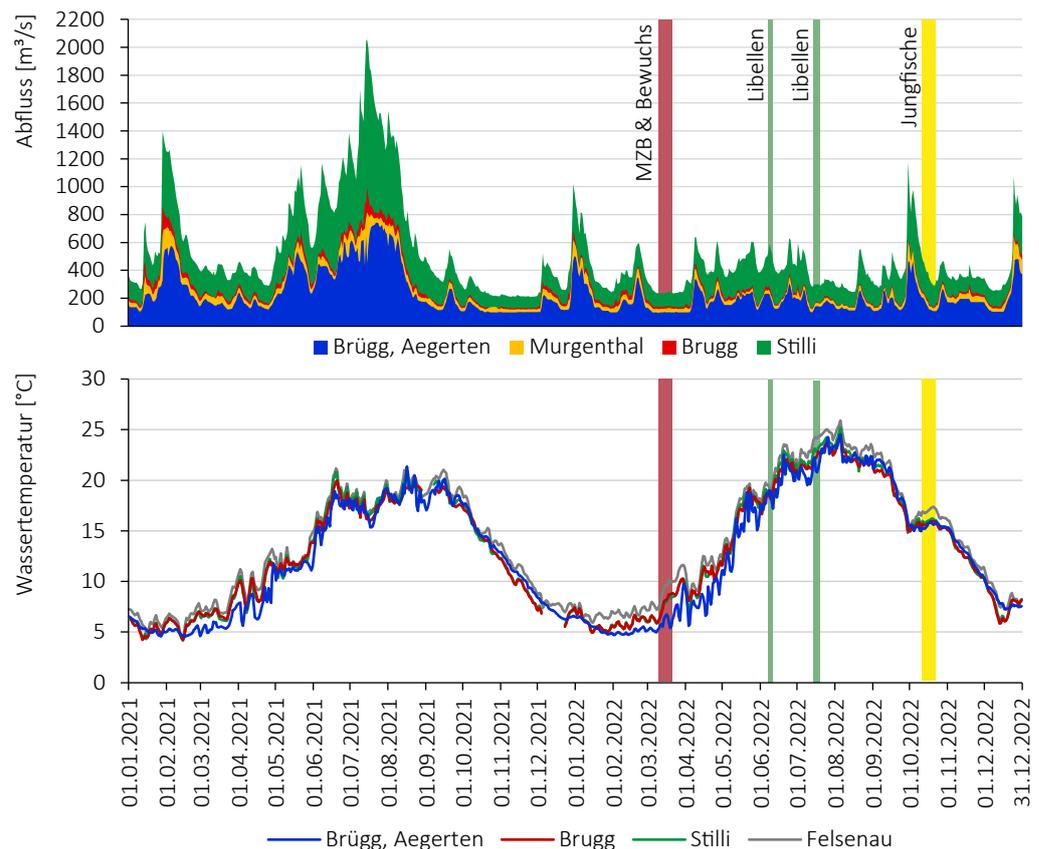
- Die Einleitung von gereinigtem Abwasser aus **Kläranlagen** führt Nährstoffe und gelösten organischen Kohlenstoff in die Aare. Total werden in die Aare vom Bielersee bis zur Mündung in den Rhein rund 1,34 Millionen Einwohnerwerte (EW) mehr oder weniger direkt eingeleitet.
- Strassen und die Einleitung von **Strassenabwasser** (Partikel, Kohlenwasserstoffe, Schwermetalle).
- Diffuse Einleitungen aus **landwirtschaftlichen Nutzungen** (vor allem Ackerbau und Grünland).
- Zunehmende Dichten an **Neobiota** (gebietsfremde Arten) mit teils grosser Dominanz und damit Verdrängung auch von heimischen Arten. Muschelarten beispielsweise verändern vor allem die Beschaffenheit der Gewässersohle und den Nährstoffhaushalt, räuberische Flohkrebse führen zur direkten Reduktion heimischer Arten.

Neben der langjährigen Wasserführung wird die Gewässerbiologie sehr stark von kurzfristigen Änderungen beeinflusst. Dies sind ganz besonders grosse Hochwasser, die viele Tiere oder über längere Zeit angewachsenen Bewuchs auf dem Substrat wegspülen können. Die Mobilisation der Sohle kann - je nach Feinstofffracht - zur Verringerung oder Verstärkung von Kolmation führen. Auch die Wassertemperatur spielt eine wesentliche Rolle, vor allem sehr hohe Sommertemperaturen können für viele Tiere kritisch werden.

Für die vorliegenden Untersuchungsergebnisse ist vor allem der Zeitraum vor der Hauptkampagne (MZB & Bewuchs) relevant. Der Sommer 2021 war ungewöhnlich feucht und kühl (Abb. 1-3). Die Niederschläge führten im Juli 2021 zu einer 10jährigen Hochwasserspitze und extrem lang andauernden Zeiträumen mit erhöhtem Abfluss. Auch die Hochwasser im Februar 2021 und Januar 2022 waren für den Winter ungewöhnlich.

Demgegenüber war der Sommer 2022 sehr niederschlagsarm und heiss. So wurden im August in Felsenau mit 25,9°C Wassertemperaturen erreicht, die z.B. für Äsche und Forelle auch kurzfristig kritisch sind. In den nur gering durchflossenen Restwassertrecken dürften die Wassertemperaturen noch höher gewesen sein. Sowohl Jungfischuntersuchung, als auch das Sonderprogramm Libellen wurden von den Bedingungen im Sommer 2022 geprägt.

Abbildung 1-3:
Abflüsse (oben) und Wassertemperaturen (unten) der unteren Aare 2021 und 2022 [Quelle: BAFU].
Senkrechte Banden:
Zeiträume der Untersuchungskampagnen



2 Untersuchungen

Insgesamt wurden 13 Messstellen zwischen Bielersee und Rhein bearbeitet (Abb. 1-2, Tab. 2-1). Gegenüber 2001/2002 und 2012 kamen zwei Probestellen hinzu: Flumenthal und Rapperswil-Auenstein. Die meisten Untersuchungen (Äusserer Aspekt, MZB, pflanzlicher Bewuchs inkl. Kieselalgen und eDNA) fanden im März 2022 statt. Die Sonderuntersuchung Libellen wurde jeweils an zwei Terminen im Sommer 2022 und die Jungfischuntersuchung im Oktober 2022 durchgeführt (siehe auch Abb. 1-3).

Tabelle 2-1:
Messstellen und Daten der unterschiedlichen Untersuchungskampagnen des biologischen Monitorings 2022. Hauptuntersuchung: Äusserer Aspekt, Makroinvertebraten, pflanzlicher Bewuchs inkl. Kieselalgen und teilweise Entnahme von eDNA.

Stellencode	Bezeichnung/ Ortslage	Kanton	Charakter	Anzahl Transekt- messstellen	Entnahme eDNA
POR	Nidau-Port	Bern	Seeabfluss	5	X
ARC	Arch	Bern/Solothurn	staubeinflusst	5	X
FLU	Flumenthal	Solothurn		5	X
WAN	Wangen	Bern	staubeinflusst	5	X
WYN	Wynau	Bern/Solothurn	freifliessend	5	
AAB	Aarburg	Solothurn/Aargau		5	
OLT	Olten	Solothurn/Aargau	staubeinflusst	5	X
WIZ	Winznau	Solothurn	Restwasser	6	
R-A	Rapperswil-Auenstein	Aargau	Restwasser	6	
VIL	Villnacher Schachen	Aargau	Restwasser	6	
BRU	Brugg	Aargau	freifliessend	5	X
STI	Stilli	Aargau	freifliessend	5	
FEL	Felsenau	Aargau	freifliessend	5	X

Das vom BAFU für entsprechende Untersuchungen vorgegebene Modul-Stufen-Konzept für die biologische Untersuchung von Fliessgewässern enthält für grosse Flüsse der Schweiz keine standardisierte Untersuchungs- und Bewertungsmethode. Daher wurde das am Hochrhein entwickelte und an anderen grossen Flüssen eingesetzte tauchergestützte Verfahren angewandt [Hydra 2017]. Mit diesem Verfahren wird ein Vergleich der Resultate der grossen Flüsse der Deutschschweiz gewährleistet. Dabei wurden die meisten Messstellen der Aare im Querschnitt von links nach rechts mit fünf Transektmessstellen beprobt: Das linke und rechte Ufer zuzüglich drei Taucherproben an der Sohle. In den Restwasserstrecken wurde die Anzahl Transektstellen aufgrund der höheren Komplexität der Bereiche auf sechs erhöht und es konnten mehr Transektstellen watend beprobt werden.

Die Feldaufnahmen der Firmen Hydra AG und AquaPlus AG im März 2022 umfassten im Wesentlichen die folgenden Untersuchungen:

- Aufnahme des Äusseren Aspektes mit den Parametern Trübung, Verfärbung, Geruch, Schaum, Verschlammung, heterotropher Bewuchs, Eisensulfid, Kolmation, Feststoffe und Abfälle gemäss Modul-Stufen-Konzept [BAFU, 2007a].
- Flächenbezogene Probenahme des Makrozoobenthos auf repräsentativen Habitaten mittels Kescher (watend) respektive Unterwasser-Sampler (Taucher), Vorsortierung im Feld und anschliessender Bestimmung und Zählung im Labor (Abb. 2-1) [HYDRA 2017].
- Probenahme des pflanzlichen Bewuchses (makroskopisch erkennbare Algenlager und Moose, submerse Makrophyten) zur Bestimmung der Arten im Labor und Bewuchsdichteschätzungen nach THOMAS & SCHANZ [1976] im Feld.

- Probenahme Kieselalgen mit anschliessender Präparation und Bestimmung im Labor gemäss Modul-Stufen-Konzept [BAFU, 2007b].
- Probenahme Umwelt-DNA (eDNA) und anschliessender Laboranalyse durch die Firma SimplexDNA mit Fokus Vorkommen von Neozoon und Fischkrankheiten.

Im Rahmen von zusätzlichen Kampagnen im weiteren Jahresverlauf 2022 wurden weitere biologische Gruppen erfasst:

- Ermittlung der lokalen Libellenvorkommen mittels Kartierung der Exuvien (leere Häute geschlüpfter Libellenlarven) entlang definierter Strecken und Beobachtung von adulten Libellen.
- Erfassung der ufernahen Jungfischbestände entlang definierter Strecken mittels Elektrofischerei.

Eine detailliertere Beschreibung der Untersuchungsmethoden, ausführliche Stellendokumentationen der 13 Messstellen sowie sämtliche Untersuchungsergebnisse können den jeweiligen Fachberichten entnommen werden [HESSELSCHWERDT et al 2023, BERNAUER et al 2023, SIMPLEXDNA 2023].

In den Diagrammen der folgenden Kapitel sind die Ergebnisse entweder mit der Messstellenbezeichnung (z.B. «Nidau-Port») oder dem Kürzel der Transektstelle gekennzeichnet (z.B. POR_2). Die Nummerierung erfolgt dabei entlang eines Transekts von links nach rechts.

Abbildung 2-1:
Links oben: Probenahme mit Unterwassersamplers am Gewässergrund;
rechts oben: Kicksampling Makrozoobenthos in Ufernähe;
links unten: Probenahme Kieselalgen.
rechts unten: Jungfischuntersuchung.



3 Ergebnisse & Diskussion

3.1 Äusserer Aspekt

Die Aufnahme des Äusseren Aspekts dient der groben Beurteilung der Aare bezüglich den gesetzlichen, allgemeinen Anforderungen an die Wasserqualität (GSchV Anhang 2).

Die Parameter der fliessenden Welle, zeigen weitestgehend «keine» bis «wenige» Beeinträchtigungen. Damit sind hier die Anforderungen an die ökologischen Ziele der Gewässerschutzverordnung Anhang 2 (1998) fast durchgehend erfüllt (Tab. 3-1). Lediglich stabiler Schaum konnte vereinzelt festgestellt werden, besonders stark bei Rupperswil-Auenstein. Die Anforderungen der Gewässerschutzverordnung gelten in diesen Fällen als fraglich respektive nicht erfüllt.

Ein deutlich schlechteres Bild zeigt sich bei Betrachtung von Gewässersohle und Uferbereich. Die starke Nutzung der Aare hinsichtlich Wasserkraft und der damit einhergehenden fehlenden Dynamik und einem Geschiebedefizit (Seeausfluss, Wehranlagen mit Stauhaltungen, Uferverbauungen), machte sich bei den in Fliessrichtung oberen Messstellen besonders stark bemerkbar. Als Folge der Stauwirkung waren Bereiche der Stellen so stark verschlammmt, dass die Anforderungen an die GSchV (1998) hinsichtlich dieses Parameters nicht mehr als erfüllt gelten. Auch Eisensulfid wurde regelmässig entlang der Aare nachgewiesen, dabei aber deutlich häufiger im Uferbereich, als in der Gewässermitte.

Die Uferbereiche der Aare wiesen sehr häufig Abfälle (Plastik, Eisenschrott, Glas, etc.), aber auch oft Feststoffe der Siedlungsentwässerung (Hygieneartikel) auf (Abb. 3-1). So wurden ausnahmslos an allen 13 untersuchten Messstellen Abfälle nachgewiesen. Abfälle der Siedlungsentwässerung kamen an 8 von 13 Messstellen vor. An vier davon in solchen Mengen, dass die Anforderungen an die GSchV (1998) als nicht mehr erfüllt gelten. Weiter waren sämtliche untersuchte Messstellen der Aare durch eine leichte bis mittlere, kolmatierte (Lückenraum verfüllt und Substrat verfestigt) Sohle gekennzeichnet.

Folglich waren an fast allen Messstellen die Anforderungen der Gewässerschutzverordnung Anhang 2 (1998) für den Äusseren Aspekt in mindestens einem Parameter nicht erfüllt. Der Einfluss der Siedlungsgebiete und der Nutzungsdruck auf die Aare spiegelt sich in den Befunden wider.

Tabelle 3-1:
Äusserer Aspekt pro Messstelle im Fliessverlauf der Aare zwischen Bielersee und Rhein im Jahr 2022.

Dargestellt sind die Parameter der fliessenden Welle und der Gewässersohle/Uferbereiche gemäss BAFU [2007a]. Für die Darstellung wird jeweils die schlechteste Bewertung pro Messstelle herangezogen.

RW: Restwasser

Erfüllung GSchV [1998]

■: Anforderungen erfüllt

■: Erfüllung der Anforderungen fraglich

■: Anforderungen nicht erfüllt

	Fließende Welle				Gewässersohle/Uferbereiche						
	Trübung	Verfärbung	Geruch Wasser	Schaum	Abfälle	Abfälle Siedlungsentwäss.	Geruch Sediment	Verschlämmung	Heterogener Bewuchs	Eisensulfid	Kolmation
POR Nidau-Port	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
ARC Arch	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
FLU Flumenthal	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
WAN Wangen	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
WYN Wynau	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
AAB Aarburg	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
OLT Olten	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
WIZ Winznau (RW)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
R-A Rapperswil-Auenstein (RW)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VIL Villnachern (RW)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
BRU Brugg	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
STI Stilli	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
FEL Felsenau	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Abbildung 3-1:
Feststoffe aus Siedlungsentwässerung (vor allem Feuchttücher) am Ufer von Flumenthal (links) und Wynau (rechts). Fotos: AquaPlus AG.



3.2 Pflanzlicher Bewuchs

Der pflanzliche Bewuchs bestand im Jahr 2022 vor allem aus Algen (44 Taxa, Gattungen oder Arten, ohne Kieselalgen) und bezüglich Deckung nur zu geringen Anteilen aus submersen Moosen (vier Arten) und Wasserpflanzen (zwei Arten).

An neun von insgesamt 68 Transektmessstellen traten nur Krustenalgen auf, wohingegen bei einem Großteil (87 %) fädiger Bewuchs (BD > 1) festgestellt wurde (Ergebnisse und Erläuterung BD-Werte: Abb 3-2). Bei knapp einem Viertel aller Transektmessstellen lag sogar eine atypische Veralgung (Algenwucherung) mit Bewuchsdichten von $BD \geq 4$ vor (Anhang 2, GSchV (1998), flache Transektstellen waren besonders betroffen. Im Vergleich zu den Untersuchungen von 2001/2002 zeigte sich generell eine starke Zunahme der Bewuchsdichten von fädigen Algen und auch hinsichtlich der Häufigkeit einzelner Arten kam es zu Verschiebungen. Submerse Moose sind hingegen damals wie heute regelmässig entlang der Aare zwischen dem Bielersee und dem Rhein verbreitet.

Die höchsten Dichten im gesamten Fliessverlauf (bis Deckungsgrad 75-100%) erreichten Kolonien bildende Kieselalgen (z.B. *Diatoma* sp.) sowie die fädigen Algen *Cladophora glomerata* (Grünalge) und *Vaucheria* sp. (Gelbgrünalge). Die erhöhte pflanzliche Produktion von *C. glomerata* und *Vaucheria* sp. ist für entsprechende Fliessgewässer atypisch und wird durch eine hohe Nährstoffverfügbarkeit gefördert.

Eine Bewertung des Algenbewuchses gemäss der Wasserrahmenrichtlinie [LANUV 2009] zeigt ein ähnliches Bild. In Tabelle 3-2 ist der Algenbewuchs der Transektmessstellen pro Indikationsgruppe zusammengefasst dargestellt. Die Indikationsgruppen fasst die Arten entsprechend ihrer Autökologie (Wechselwirkung der Arten und ihrer Umwelt) zusammen. Die Indikationsgruppe A (sensible Arten) trat nur an weniger als der Hälfte der Transektmessstellen auf. Weniger sensible Arten (Indikationsgruppe B) und sog. Störzeiger, welche einen mässigen bis unbefriedigenden Zustand der Eutrophierung (Gruppe C) anzeigen dominierten und wurden im Gewässerverlauf zunehmend häufiger.

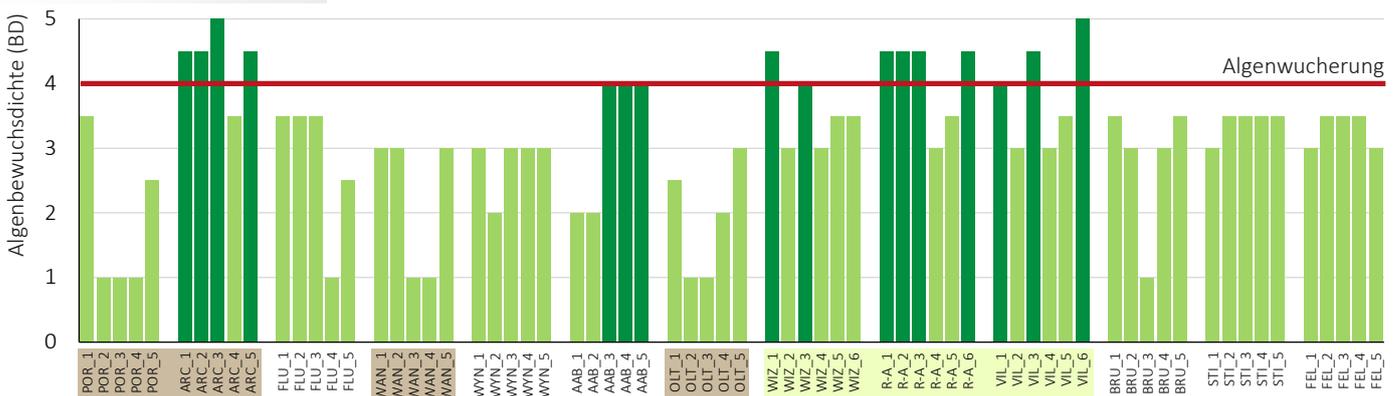
Eine deutliche Eutrophierung der Aare, welche flussabwärts noch zunimmt, wird angezeigt durch das dichte Vorkommen von Störzeigern (Indikationsgruppe C), die generell hohe Algenbewuchsdichte sowie der pflanzlichen Biomasse und die damit verbundenen Effekte Mineralisierung, Sedimentation und Kolmation. Nährstoffeinträge diverser Art fördern das Vorkommen nährstofftoleranter Arten, wie typischerweise *Vaucheria* sp., welche im gesamten Untersuchungsabschnitt regelmässig vorkommt. Insbesondere an den Messstellen der Restwasserstrecken häufte sich das Aufkommen eines atypisch hohen Algenbewuchses ($BD \geq 4$). Die im gesamten Fliessverlauf der Aare zwischen dem Bielersee und dem Rhein auffällig hohen Bewuchsdichten fädiger Algen, sowie der Krustenalge *Hildenbrandia rivularis* sind darüber hinaus Abbild des wenig dynamischen Flusslaufes der Aare mit stabiler Gewässersohle und wenig Geschiebetrieb. Zudem hat die lang andauernde Schönwetterperiode im Februar und März 2022 zu niedrigen Wasserständen sowie guten Lichtverhältnissen geführt und das Algenwachstum stark gefördert. Insgesamt sind bei 16 von 68 Transektmessstellen die Anforderungen an die GSchV (1998) in Hinblick auf die Algenbewuchsdichte nicht erfüllt.

Abbildung 3-2:
Algenbewuchsdichte (BD)
entlang der Transekte der Aare
zwischen Bielersee und Rhein
im Jahr 2022 im Fliessverlauf.

Bewuchsdichte (BD) gemäss
THOMAS & SCHANZ [1976]: BDO:
Kein Bewuchs, BD1: Krustenalgen,
BD2: Ansätze von Fäden und Zotten,
BD3: gut ausgebildete Fäden und Zotten,
BD4: Gewässersohle zum grössten Teil mit Algen bedeckt,
BD5: ganzer Bachgrund mit Algen bedeckt,
Konturen der Steine nicht mehr sichtbar.

Rote Linie: Ab Bewuchsdichte ≥ 4 liegt eine atypische Veralgung (Algenwucherung) vor. Betroffene Transektstellen sind dunkelgrün eingefärbt.

Beige hinterlegt: Staubereich;
hellgrün hinterlegt: Restwasserstrecke.



3.3 Kieselalgen

Insgesamt wurden an den 68 untersuchten Messstellen 179 Kieselalgenarten nachgewiesen. Pro Transektstelle traten im Mittel 36 Taxa auf (16 bis 63 Taxa), die Aare liegt damit im Rahmen der für grössere Schweizer Fliessgewässer typischen Artzahl.

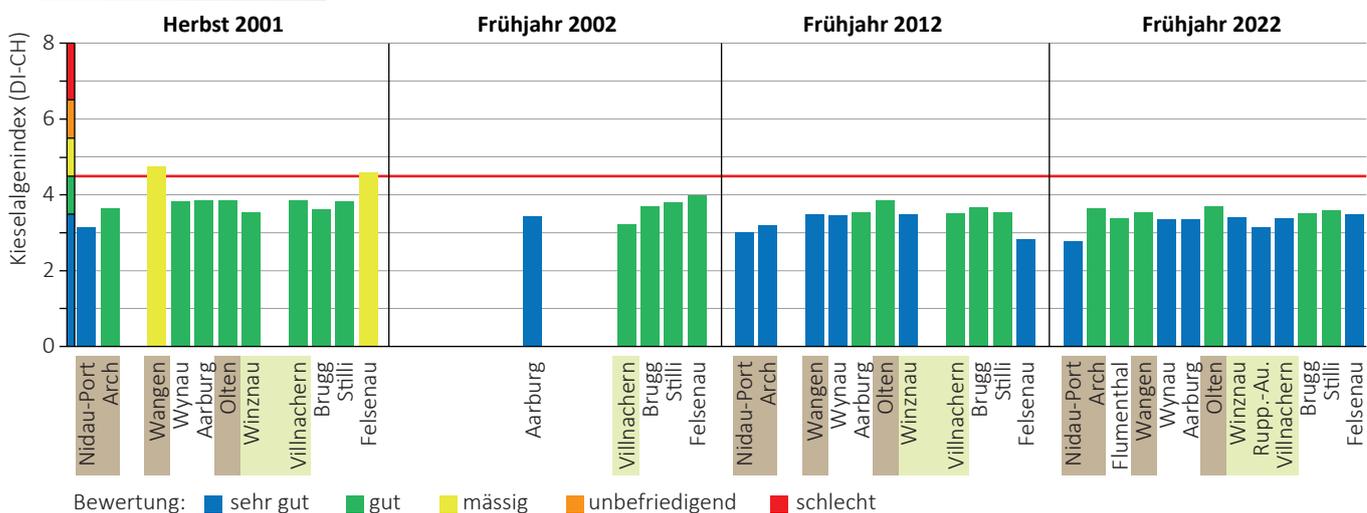
Die drei häufigsten vorhandenen Taxa waren *Achnantheidium delmontii* (gebietsfremd), *Achnantheidium minutissimum* var. *minutissimum* und *Amphora pediculus*. Die Mehrheit der im Untersuchungsgebiet vorkommenden Hauptarten (relative Häufigkeit von $\geq 10\%$) sind typisch für gering bis mittel nährstoffbelastete Fliessgewässer der Schweiz. Drei Hauptarten (*Amphora pediculus*, *Planothidium rostratoholarcticum*, *Navicula gregaria*) tolerieren hingegen höhere organische Belastungen und Nährstoffkonzentrationen (D-Wert $\geq 4,5$) und nur *Achnantheidium pyrenaicum* bevorzugt sehr sauberes und weitgehend unbelastetes Wasser (D-Wert 1,5).

Alle untersuchten Transektstellen der Aare befinden sich im Jahr 2022 in der Zustandsklasse «gut» respektive «sehr gut» und erfüllen somit hinsichtlich DI-CH Wert die ökologischen Ziele der Gewässerschutzverordnung Anhang 1 (1998) (Abb. 3-4). Dabei weist die oberste Messstelle bei Nidau-Port (POR) mit 2,8 den DI-CH Wert mit der besten Bewertung auf. Auf ihrem Fliessverlauf vom Bielersee in den Rhein werden zahlreiche gereinigte Abwässer aus dem Umland in die Aare geleitet und gleichzeitig steigt der DI-CH von 2,8 auf 3,5 an (höhere Werte zeigen eine höhere Nährstoffbelastung an).

Kieselalgen werden in der Aare seit 2001/2002 systematisch an den selben Messstellen untersucht, 2001/2002 lag der beauftragte Schwerpunkt allerdings noch auf einer Untersuchung im Herbst 2001. Vergleicht man die indizierten Verhältnisse hinsichtlich der DI-CH Werte der vorliegenden Untersuchungsjahre, so zeigen die meisten der seit 2001/2002 untersuchten elf Messstellen im Jahr 2022 gleichbleibende oder leicht bessere Verhältnisse an (Abb. 3-4). Üblicherweise spricht man ab einer Änderung des DI-CH um $\geq 0,4$ Einheiten von einer Änderung der Kieselalgen-Lebensgemeinschaft. Da die an der Aare beobachteten Verbesserungen fast durchgehend im ganzen Fliessverlauf auftraten, dürfte diese geringe bis markante Verbesserung einen Trend darstellen. Dies betrifft vor allem den Übergang von 2001/2002 zu 2012. In der ersten Untersuchungskampagne 2001/2002 erfüllten zwei der damals elf untersuchten Messstellen die Anforderungen der GSchV (1998) gemäss Anhang 1 nicht. Im Vergleich dazu erreichten die indizierten Verhältnisse in den Jahren 2012 und 2022 bei allen untersuchten Messstellen die Anforderungen der GSchV (1998). In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass DI-CH Werte im Herbst im Vergleich zu Frühlingsdaten schlechter ausfallen können. Dies daher, weil im Herbst Fliessgewässer oft Niederwasser führen und damit Belastungen aus der Siedlungs- und Strassenentwässerung (Entlastungen, Strassen- und Baustellenabwasser, Fehlanschlüsse, etc.) wie auch aus der Landwirtschaft (Drainage, Abschwemmungen) weniger verdünnt werden als im Frühling bei erhöhtem Abfluss.

Abbildung 3-4:
Kieselalgen-Indexwerte DI-CH pro Messstelle der Aare zwischen Bielersee und Rhein in den Untersuchungsjahren 2001/2002, 2012 und 2022. Die Farbskala bei der Y-Achse entspricht den Zustandsklassen gemäss BAFU Modul Kieselalgen [BAFU 2007]. Rote Linie: Ab einem DI-CH von $\geq 4,5$ werden die ökologischen Ziele der Gewässerschutzverordnung Anhang 1 nicht mehr erfüllt [GSchV 1998].

Beige hinterlegt: Staubereich;
hellgrün hinterlegt: Restwasserstrecke.



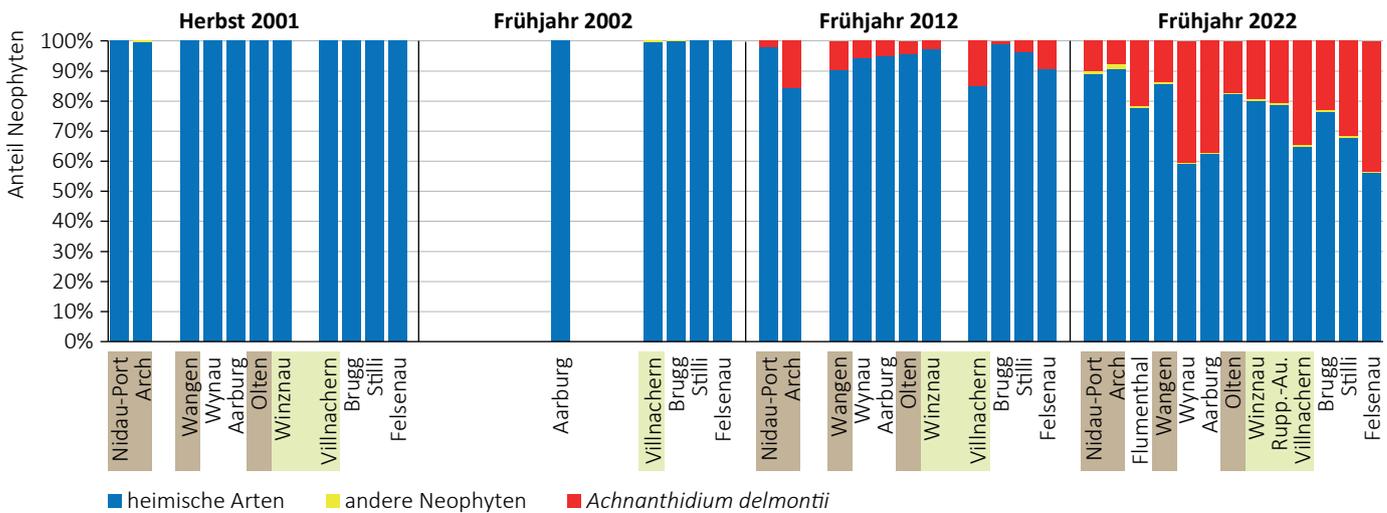
Die über den gesamten Untersuchungsabschnitt der Aare verteilte regelmässige Einleitung von Abwässern wirkt sich auf die Artenzusammensetzung aus, welche sich in einem konstant hohem Anteil abwassertoleranter Arten bemerkbar macht.

Neben dem Kieselalgenindex DI-CH wurde auch die Standortgerechtigkeit ermittelt. Diese galt an fünf Transektmessstellen als «unklar» und bei allen anderen Stellen als «nicht erfüllt». Grund für die Nichterfüllung der Standortgerechtigkeit ist der hohe Anteil der gebietsfremden Kieselalge *Achnanthydium delmontii*, welche andere standortgerechte Arten verdrängte, sowie der zu geringe Anteil an sehr nährstoffsensiblen Arten (D-Wert < 2,5).

Gebietsfremde Arten spielen auch bei den Kieselalgen eine zunehmende Rolle in der Aare (Abb. 3-5). Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden fünf gebietsfremde Arten nachgewiesen: *Achnanthydium delmontii*, *A. catenatum*, *A. druartii*, *Didymosphenia geminata*, und *Gomphoneis transsilvanica*. Die mittlerweile häufigste Art *A. delmontii* wurde 2012 erstmals beschrieben [PERES et al 2012], ab diesem Zeitpunkt bei der Bestimmung berücksichtigt und bereits im Frühjahr 2012 in relevanten Dichten gefunden. Ob die Art bereits 2001/2002 in geringen Dichten vorkam, lässt sich ohne zusätzliche Nachbestimmungen nicht aussagen. Im Jahr 2022 kam *A. delmontii* an allen 68 Transektstellen der Aare mit Anteilen von 0,8 bis 75,8% (Mittelwert: 24,7%) vor. Jeweils über alle Teilproben einer Messstelle gemittelt lag ihr Anteil mit 43,4% in Felsenau am höchsten. Die gebietsfremde Art *A. delmontii* dürfte für Mensch, Nutztiere und Infrastruktur keine Probleme darstellen. Das Taxon beeinflusst aber die Artenvielfalt in einem Fließgewässer sehr stark, indem es mit den hohen Zelldichten andere (standortgerechte) Arten verdrängt.

Abbildung 3-5:
Anteil Neophyta pro Messstelle der Aare zwischen Bielersee und Rhein in den Untersuchungsjahren 2001/2002, 2012 und 2022 im Fließverlauf. Anteil Neophyta in Prozent an der gesamten Kieselalgen-Lebensgemeinschaft (100% = 500 Schalen).

Beige hinterlegt: Staubereich; hellgrün hinterlegt: Restwas-serstrecke.



3.4 Makroinvertebraten

Die Besiedlungsdichten mit Makroinvertebraten sind seit Beginn des Monitorings 2002 rückläufig. Der stärkste Rückgang fand von 2002 nach 2012 statt, setzte sich aber bis 2022 weiter fort (Abb. 3-6). Nur in Nidau wurde 2022 wieder eine ähnliche Dichte wie 2002 erreicht - vor allem aufgrund von Massenvorkommen der gebietsfremden Quagga-Muschel (*Dreissena rostriformis bugensis*). An den meisten Stellen mit früheren Daten betragen die Gesamtdichten dagegen lediglich einen Bruchteil der Werte, die vorher gefunden wurden. Mittlere Dichten werden nur bei der neuen Messstelle Rupperswil-Auenstein erreicht, sie bestehen allerdings fast nur aus Mücken/Fliegen und Wenigborster. Bei Betrachtung der Zusammensetzung nach Grossgruppen fällt auf, dass vor allem Insektenlarven von 2012 nach 2022 abgenommen haben, besonders Eintagsfliegen, Köcherfliegen und Käfer (Abb. 3-7).

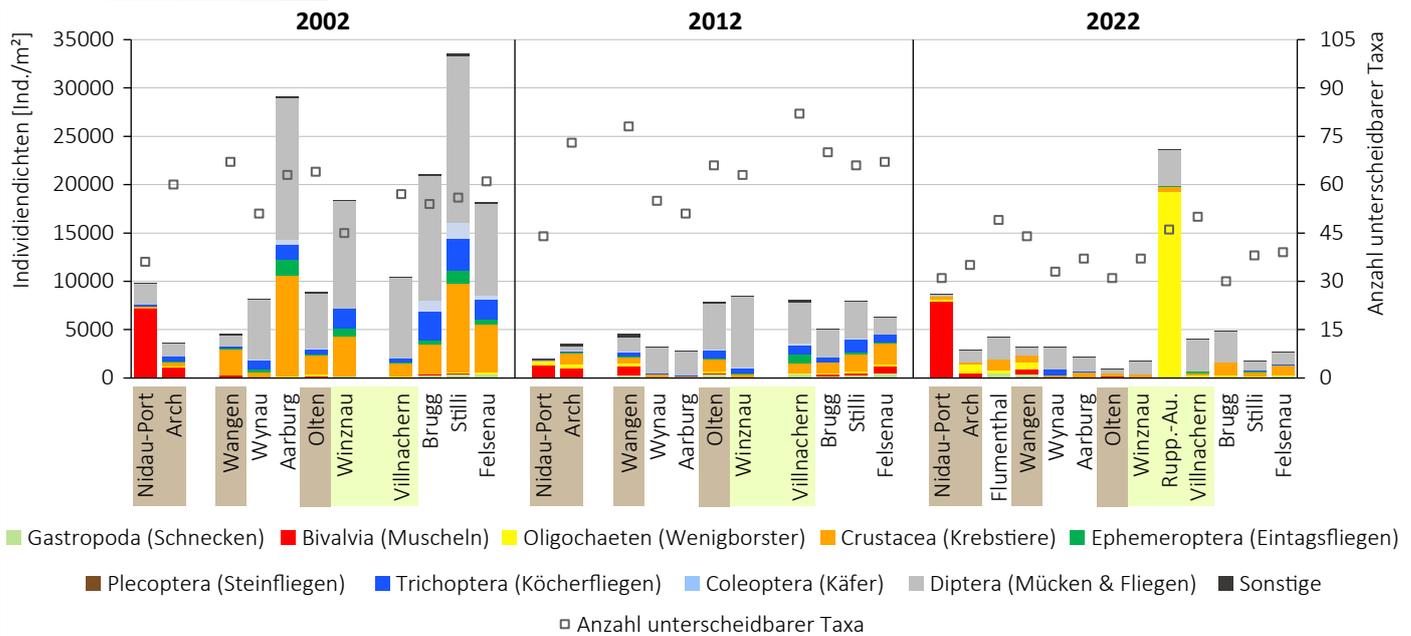


Abbildung 3-5: Makroinvertebraten in der Aare zwischen Bielersee und Rhein in den Untersuchungsjahren 2002, 2012 und 2022. Besiedlungsdichte und Zusammensetzung nach Grossgruppen (Balken, linke Y-Achse) und jeweils insgesamt festgestellte Anzahl Taxa (Vierecke, rechte Y-Achse).

Beige hinterlegt: Staubereich; hellgrün hinterlegt: Restwasserstrecke.

Als Ursache für diesen Rückgang ist vermutlich eine Kombination von Faktoren verantwortlich. Die vermutlich grösste Bedeutung hat die Zunahme von invasiven Neozoen, welche im folgenden Abschnitt ausführlich diskutiert wird. Aktuell spielt die Hauptrolle der räuberische Grosse Höckerflohkrebs (*Dikerogammarus villosus*). Die global zu einem Rückgang an terrestrischen Insekten führenden Faktoren dürften mittlerweile auch in Flüssen eine Rolle spielen, auch wenn dieser Effekt dort bisher noch schwierig nachzuweisen ist. Ein Sonderfall für die Untersuchungskampagne 2022 war die Hydrologie während der Jahre 2021/2022 mit einem fast den ganzen Sommer 2021 dauernden Hochwasser und für Winter ungewöhnlichen Hochwassern in 2021 und 2022. Neben der direkten Abschwemmung von Tieren dürften auch durch die Hochwasser verursachten Sandablagerungen zu einer Reduktion an Organismen geführt haben. Entsprechende Ablagerungen können den Lebensraum vieler Invertebraten - den Lückenraum zwischen Steinen - verfüllen. Solche Ablagerungen wurden von Flumenthal flussabwärts gefunden. Besonders umfangreich waren diese unterhalb des Zuflusses der Reuss, für die bereits im Sommer 2021 entsprechende Ablagerungen beobachtet wurden.

Abbildung 3-6: Bis 2022 an der Aare stark zurückgegangene Arten der insgesamt vor allem betroffenen Grossgruppen Eintagsfliegen (links), Köcherfliegen (Mitte) und Käfer (rechts)



Neben dem Rückgang der Makroinvertebraten insgesamt ist die auffälligste Änderung die bereits erwähnte Zunahme von gebietsfremden Arten. Seit 2012 ist ihr Anteil an der Gesamtdichte deutlich gestiegen (Abb. 3-7). Es gibt zudem immer mehr Arten, die für ihren negativen Einfluss auf das Makrozoobenthos in Flüssen bekannt sind. Neu hinzugekommen sind mehrere als stark invasiv geltende Arten, allen voran die Quagga-Muschel (*D. rostriformis bugensis*) und mehrere Amphipoden (Flohkrebse) (Abb. 3-8). Die 2022 in der Aare festgestellten und vermutlich invasiven Arten sind in Tabelle 3-2 aufgeführt. Weitere gefundene gebietsfremden Arten (sonstige Neozoen) treten meist ökologisch unauffällig auf.

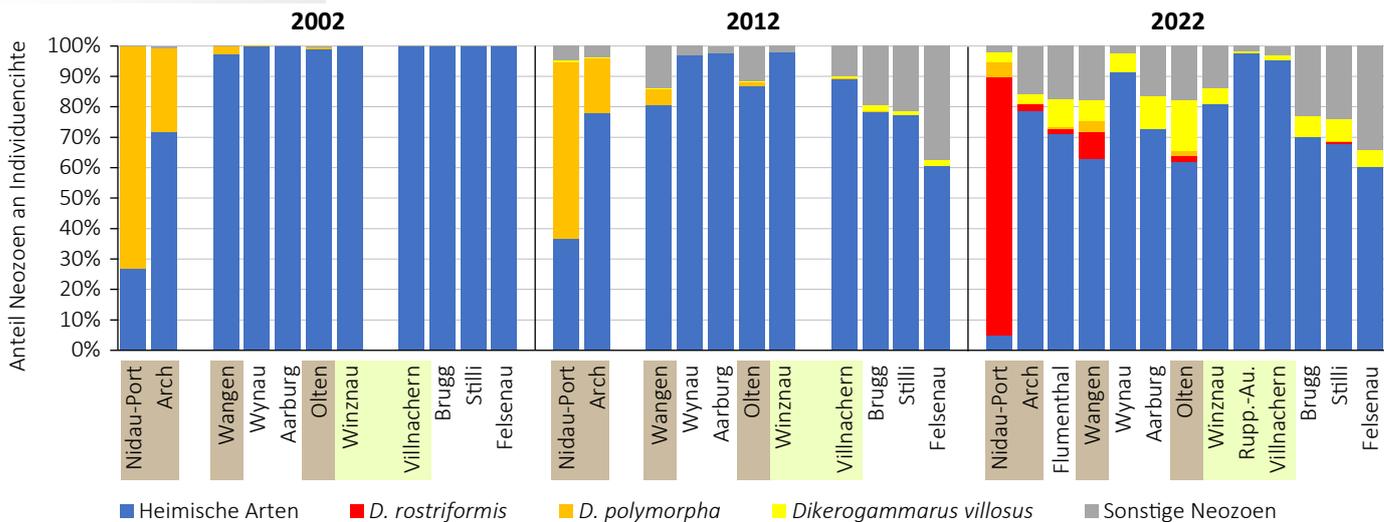


Abbildung 3-7: Anteil heimischer und gebietsfremder Makroinvertebraten an der Gesamtbesiedlung der Aare zwischen Bielersee und Rhein in den Untersuchungsjahren 2002, 2012 und 2022.

Beige hinterlegt: Staubereich; hellgrün hinterlegt: Restwasserstrecke.

Die an den meisten Messstellen einflussreichste Art ist der Grosse Höckerflohkrebs (*Dikerogammarus villosus*). Er wirkt bereits seit Jahrzehnten stark negativ auf das Makrozoobenthos in mehreren grossen Flüssen der Schweiz. Die für die Schweiz längsten Erfahrungen gibt es vom Hochrhein [Hesselschwerdt & Rey 2021]. In dem untersuchten Abschnitt der Aare war er 2012 zwar bereits über die gesamte Länge verbreitet, die Dichten haben seitdem aber stark zugenommen (Abb. 3-7). Das damals bereits als «potenziell invasiv» angenommene Potenzial hat sich damit bestätigt. Ein Teil des Verlustes an heimischen Invertebraten dürfte – wie z.B. auch am Hochrhein – durch diese Art verursacht sein. Die Donauassel (*Jaera istri*) erreicht entlang der Aare teils auch hohe Dichten, ihr ökologischer Einfluss dürfte als Zerkleinerer allerdings geringer sein.

Weitere Krebstiere wurden erst frisch eingeschleppt, dürften aber zukünftig noch weiter an Bedeutung gewinnen und die Problematik daher verschärfen. Dies sind vor allem *Echinogammarus ischnus* und *E. trichatus*. Beide treten aktuell erst selten auf, werden in anderen Flüssen aber für starke Beeinträchtigungen anderer Arten verantwortlich gemacht. Die Quagga-Muschel (*Dreissena rostriformis bugensis*) könnte zukünftig vor allem das Substrat

Tabelle 3-2: Ökologisch relevante Neozoen die 2022 entlang der Aare zwischen Bielersee und Rhein gefunden wurden.

Name	Ökologische Einschätzung
Quagga-Muschel <i>Dreissena rostriformis bugensis</i>	Stark invasive Art, die sich vom Bielersee flussabwärts ausbreitet.
Dreikant-, Zebra-, oder Wandermuschel <i>Dreissena polymorpha</i>	Invasive Art, die früher um den Seeabfluss sehr häufig war. Wird von Quagga-Muschel verdrängt.
Körbchenmuschel <i>Corbicula fluminea</i>	2012 entlang der ganzen Aare häufig, geht seitdem wieder zurück. Ähnliches wird auch in Hoch- und Oberrhein beobachtet.
Grosser Höckerflohkrebs <i>Dikerogammarus villosus</i>	Räuberische Art, deren Dichten stark zugenommen haben und die vermutlich für einen Teil des Rückgangs von heimischen Arten verantwortlich ist.
<i>Dikerogammarus haemobaphes</i>	In der Aare noch seltene Schwesterart des Grossen Höckerflohkrebses, die bei gleichzeitigem Auftreten meist weniger dominant ist.
Granataugen-Flohkrebs <i>Echinogammarus ischnus</i>	In der Aare aktuell nur unterhalb des Zuflusses der Limmat. Dort könnte die Art für den Rückgang von Insektenarten verantwortlich sein.
<i>Echinogammarus trichatus</i>	Bisher nur wenige Exemplare in Aarburg gefunden. Wird als invasiv eingestuft, aber weniger dominant als <i>D. villosus</i> .
Donauassel <i>Jaera istri</i>	Breitete sich seit 2012 weiter entlang der Aare aus und erreicht teils sehr hohe Dichten.

der Aare verändern. Sie ist aktuell dabei, die Aare vom Bielersee aus zu erobern, dabei die bereits früher eingeschleppte Dreikantmuschel (*D. polymorpha*) zu verdrängen und dabei auch die weichen Substrate der Staubereiche zu besiedeln.

Abbildung 3-8:
Für die Aare bedeutende ge-
bietsfremde Invertebraten.



Dreikant- oder Zebromuschel
(*Dreissena polymorpha*)

Quagga-Muschel
(*Dreissena bugensis rostriformis*)

Grosser Höckerflohkrebs
(*Dikerogammarus villosus*)

3.5 Libellen

Die Libellenfunde entlang der Aare umfassten mit 18 erfreulich viele Arten. Die Dichte einzelner, häufiger Arten wie der Gebänderten Prachtlibelle (*Calopteryx splendens*) war gut, die der anderen Arten insgesamt eher gering. Zur Fortpflanzung benötigen die meisten Arten unter anderem ruhige Uferbereiche mit Vegetation am Ufer und unter Wasser. Sobald diese zahlreich vorhanden waren, konnten auch viele adulte Libellen beobachtet werden, besonders innerhalb eines grossen Flachwasserbereichs bei Arch. Entlang der morphologisch meist stark beeinträchtigten Aare hat der dortige makrophytenreiche Flachwasserbereich aber Seltenheitswert. Entsprechende Bereiche sind normaler Bestandteil natürlicher Flüsse dieser Grösse. Die Restwasserstrecken können dieses Defizit offenbar nur teilweise ausgleichen, auch dort gibt es viele steile Ufer.

Sehr erfreulich waren die Funde der «vom Aussterben bedrohten» Gelben Keiljungfer (*Gomphus simillimus*) in Arch. Sie kommt in der Schweiz eigentlich nur an Hochrhein, Limmat und Reuss vor. Eine weitere Ausbreitung entlang der Aare wäre zu begrüssen. Ebenfalls auf der Roten Liste vertreten sind die Grüne Flussjungfer (*Ophiogomphus cecilia*, «verletzlich») in Stilli und Felsenau und das Kleine Granatauge (*Erythromma viridulum*, «potenziell gefährdet») in Arch. Die Vorkommen der Grünen Flussjungfer stehen vermutlich mit den zahlreichen Funden in der naheliegenden Reuss in Verbindung, in der Aare wurde sie bisher nur flussabwärts des Zufluss der Reuss gefunden.

Abbildung 3-9:
Vier der 18 an der Aare gefun-
denen Libellenarten.

a) Kleine Zangenlibelle (*Oncygogomphus forcipatus*) früher selten, heute Charakterart an der Aare

b) Blauflügel-Prachtlibelle (*Calopteryx virgo*) ist eher selten

c) Grosse Königslibelle (*Anax imperator*) bei der Eiablage

d) Kleines Granatauge (*Erythromma viridulum*)



3.6 Jungfischbesiedlung

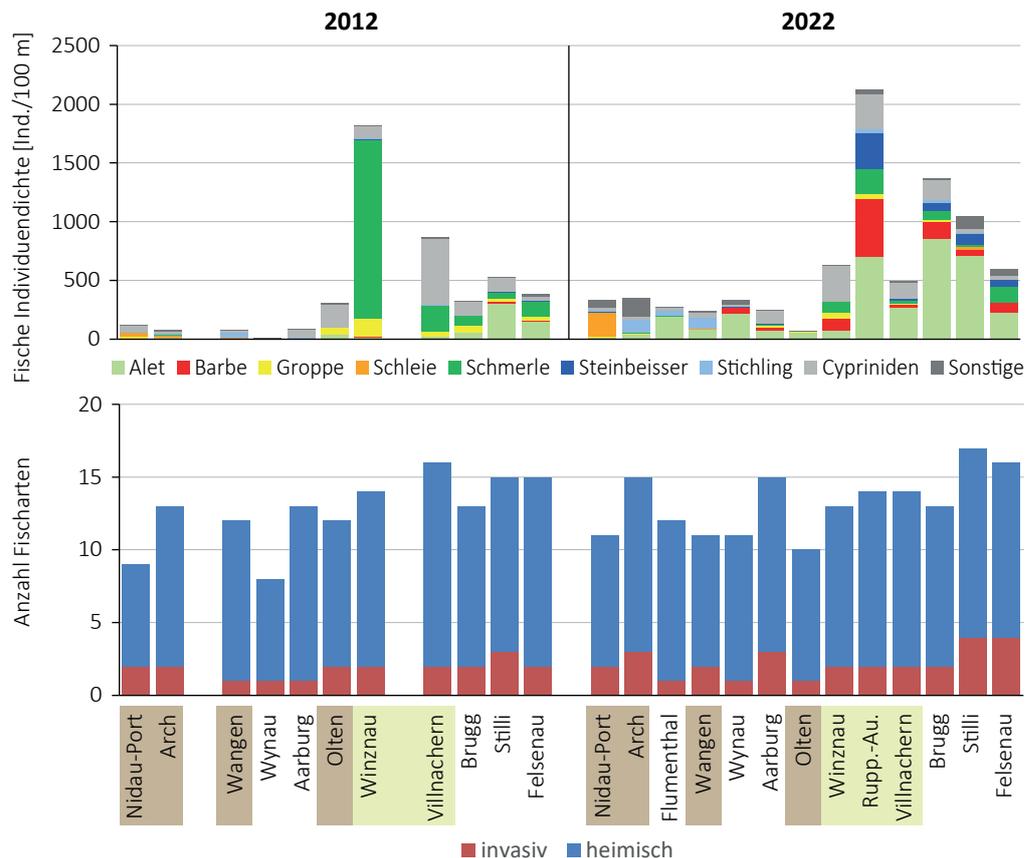
Während der Untersuchungskampagne 2022 in der Aare wurden insgesamt 17'143 Individuen aus 23 Fisch- und zwei Krebsarten zuzüglich des Bachneunauges nachgewiesen. Dies entspricht knapp über der Hälfte des historisch und aktuell bekannten Artenspektrums der Aare. Die 23 gefundenen Fischarten setzen sich aus 18 heimischen und fünf gebietsfremden Arten zusammen.

Die Fischdichten variierten 2022 stark im Längsverlauf der Aare, von 74,6 Ind./100 m in Olten bis 2'120 Ind./100 m in Rupperswil-Auenstein (Abb. 3-10). Die besonders geringen Dichten in Olten sind vor allem dem strukturarmen Steilufer geschuldet, welches den Fischen wenig Aufenthaltsmöglichkeiten bietet. Höhere Dichten wurden vor allem in den diverseren Restwasserabschnitten oder Bereichen mit strukturellen Aufwertungen gefunden (Brugg). Der 2012 angelegte Seitenarm bei Wangen enthielt dagegen kaum Fische. Die Fischzahlen Rupperswil/Auenstein zeigen das für die Aare bestehende Potenzial. Wobei vor allem die Restwasserstrecken über den Hitzesommer 2022 mit extrem niedriger Wasserführung besonders gelitten haben dürften und normalerweise mehr Fische beherbergen könnten. Im Vergleich mit der Untersuchung 2012 zeigt sich, dass die Fischdichten, von einem sehr geringen Niveau ausgehend, vor allem im Oberlauf bis Olten deutlich zugenommen haben. Die damalige Verteilung von höheren Fischdichten im Unterlauf zeigte sich auch 2022.

Diese Zunahme im Längsverlauf der Aare scheint auch bei Betrachtung der Anzahl der gefundenen Fischarten zu bestehen, wenn auch in geringerem Ausmass. Insgesamt variieren die durchschnittlich gefundenen 13 Fischarten zwischen 11 und 17 an den einzelnen Messstellen. Wie auch bei den Fischdichten kam es von 2012 nach 2022 zu einer Zunahme der Artenzahlen pro Messstelle. Im Jahr 2022 neu nachgewiesen wurden Sonnenbarsch, Giebel, Rotfeder, Karpfen und Wels, wogegen Aal, Edelkrebs, Trüsche, Nase und Seeforelle fehlten.

Trotz der beobachteten Zunahme von Artenzahl und Fischdichten sind diese weiterhin niedrig, der Lebensraum der Fische ist weiterhin stark beeinträchtigt. Allem voran sorgen Wasserkraftnutzung und Uferverbau zu einer Reduktion der Fischgängigkeit, einem Mangel an Fischhabitaten und geringer Substrat-, Tiefen- und Strömungsvielfalt.

Abbildung 3-10: Jungfische in der Aare zwischen Bielersee und Rhein in den Untersuchungsjahren 2012 und 2022. Besiedlungsdichte und Zusammensetzung nach Grossgruppen (oben). Anzahl unterschiedlicher gebietsfremder und heimischer Arten (unten).



Eine weitere und zukünftig zunehmende Belastung ist die Klimaerwärmung. Bei Betrachtung der Artenzusammensetzung fällt bereits eine Verschiebung weg von typischen kälteliebenden Arten hin zu wärmeliebenden und gebietsfremden Arten auf. Ganz besonders kritisch scheint es für Bachforelle und Äsche zu werden. Im Rahmen des Monitorings wurden 2022 weniger Bachforellen gefangen als 2012, Äschen konnten nur noch mittels eDNA nachgewiesen werden. Bereits 2012 waren beide Arten nur noch vereinzelt zu finden. Beide Arten leiden in der Aare auch unter einem starken Mangel an geeigneten Laichflächen mit offenem Kies, aber auch zunehmend hohen Sommertemperaturen. Im Sommer 2022 wurden selbst in der Hauptströmung bei Stilli Wassertemperaturen gemessen, die für beide Arten kritisch werden können (Abb. 1-3). In den Restwasserbereichen kann sich das Wasser aufgrund der gerinden Wasserführung noch stärker aufheizen (Abb. 3-11). Diese Bereiche sind in der Aare zwar möglichst naturnah gestaltet, sie führen jedoch nur noch die Mindestwassermenge, die nach Wasserentnahme für die Wasserkraftnutzung im Flussbett verbleiben muss. Vor allem für die Äsche ist fraglich, ob sie in einer zukünftig noch wärmeren Aare überleben kann.

Abbildung 3-11:
Restwasserstrecke Villnachern
an der Aare im Sommer 2022,

Links: Langsam durchflossener flacher Bereich des Hauptarms.

Rechts: Zeitweise komplett trockengefallener westlicher Arm. Steinige Sohle dick mit abgestorbenen Algen bedeckt.



Gebietsfremde Arten spielen auch bei den Fischen eine zunehmende Rolle, aber noch nicht so stark wie bei Kieselalgen und Invertebraten. Giebel und Kaulbarsch waren in der Aare Einzelfunde und entstammen vermutlich dem benachbarten Hochrhein und möglicherweise der Limmat. Der Sonnenbarsch wurde an knapp der Hälfte der Untersuchungstransecte gefunden und gilt als sicher etabliert. Der italienische Steinbeisser hat in der Aare seit 2012 deutlich zugenommen und erreichte teilweise sehr hohe Dichten (Rupperswil-Auenstein) (Abb. 3-9). Diese Art ist in der Ostschweiz mittlerweile weit verbreitet und hat vermutlich die Lebensräume des früher heimischen Steinbeissers übernommen. Der Stichling konnte dank der parallel durchgeführten eDNA-Untersuchung zwar der für die Schweiz typischen Art (*Gasterosteus gymnurus*) zugeordnet werden, historisch dürfte er im Hochrhein nie bis zur Aaremündung vorgekommen sein und wird hier daher als gebietsfremd geführt. Bisher scheinen sich die gebietsfremden Fischarten in der Aare noch weitestgehend einzugliedern. Die invasiven Grundelarten, die sich derzeit im Rhein ausbreiten und heimische Fische verdrängen (aktueller Stand bei RANDEGGER [2022]), wurden in der Aare bisher nicht gefunden.

Erfreulicherweise haben Funde des vom Aussterben bedrohten Bachneunauges zugenommen. Auch die Dichten der Barben stiegen, ähnlich wie in anderen großen Schweizer Fließgewässern an.

3.7 Umwelt-DNA (eDNA)

Primäres Ziel der Untersuchung der eDNA war die grössflächige Überwachung der Aare auf das Vorkommen bestimmter invasiver Tierarten (Neozoen) und Wassertierkrankheiten (Tab. 3-3). Hierzu wurden an sieben Messstellen eDNA-Proben entnommen (Tab. 2-1) und anschliessend mittels spezieller Sequenzierungsart (Metabarcoding) auf DNA-Spuren untersucht (Details siehe SIMPLEXDNA 2023).

Das Monitoring mittels eDNA ermittelte 21 nicht-einheimische Arten (Tab. 3-3). Die genutzte Analysemethoden lieferte Ergebnisse mit einer grossen evolutionären Breite. Mit den angewandten Methoden konnten neben Arten der prioritären Liste auch zusätzliche,

3 Ergebnisse & Diskussion

Tabelle 3-3:

Liste gebietsfremder Arten und Krankheitserreger deren Vorkommen im Rahmen der eDNA-Untersuchung primär abgeklärt wurde. Vergleich mit Nachweisen bei MZB- und Jungfischuntersuchung.

Grau hinterlegt: methodisch (noch) nicht sicher erkennbar.

heimische Arten festgestellt werden. Trotz der insgesamt zahlreichen Funde bestehen bei einzelnen Tiergruppen noch Defizite bei der Erkennbarkeit mittels eDNA. Dies lag unter anderem an den ausgewählten Primer-Sets, da eher universelle und breite Primer verwendet wurden. Dies betrifft vor allem einzelne Arten der Grosskrebse (Decapoden), Moostierchen (Bryozoen) und Töpfchenpilze (Chytridiomycota).

Mit Hilfe der eDNA konnten Fischarten gefunden werden, die im Rahmen des Jungfischmonitorings (Kapitel 3.5) nicht erfasst wurden. Dies betrifft Arten die in der Aare nur

Gruppe	Artnamen	Deutscher Name/ Beschreibung	Nachweis mittels MZB-Probenahme/ Jungfischuntersuchung	Nachweis mittels eDNA
Krebstiere-Krabbe	<i>Eriocheir sinensis</i>	Chinesische Wollhandkrabbe		
Krebstiere-Grosskrebse	<i>Cherax destructor</i>	Yabbie-Krebs		Erkennung evtl. schwach
	<i>Faxonius immunitus</i>	Kalikkrebs		Erkennung evtl. schwach
	<i>Faxonius limosus</i>	Kamberskrebse		Erkennung evtl. schwach
	<i>Pacifastacus leniusculus</i>	Signalkrebs		
	<i>Pontastacus leptodactylus</i>	Galizischer Sumpfkrebs		Erkennung evtl. schwach
	<i>Procambarus clarkii</i>	Roter Sumpfkrebs		Erkennung evtl. schwach
	<i>Procambarus fallax forma virginialis</i>	Marmorkrebs		Erkennung evtl. schwach
Krebstiere-andere	<i>Chelicorophium corvispinum</i>	Schlickkrebse		
	<i>Crangonyx pseudogracilis</i>	Aufrechter Flohkrebse		
	<i>Dikerogammarus haemobaphes</i>			
	<i>Dikerogammarus villosus</i>	Grosser Höckerflohkrebs		
	<i>Echinogammarus ischnus</i>	Stachelflohkrebs		
	<i>Echinogammarus trichatus</i>	Stachelflohkrebs		
	<i>Gammarus roeselii</i>	Flussflohkrebs		
	<i>Jaera istri</i>	Donauassel		nur Gattung
	<i>Katamysis warpachowskyi</i>	Gefleckte Schwebegarnele		
	<i>Limnomysis benedeni</i>	Donau-Schwebegarnele		
	<i>Proasellus coxalis</i>			
	<i>Synurella ambulans</i>			
	Muscheln	<i>Corbicula fluminea</i>	Asiatische Körbchenmuschel	
<i>Dreissena polymorpha</i>		Dreikantmuschel		
<i>Dreissena rostriformis bugensis</i>		Quagga-Muschel		
Schnecken	<i>Ferrisia californica</i>			
	<i>Gyraulus parvus</i>	Amerikanisches Posthörnchen		
	<i>Lithoglyphus naticoides</i>	Fluss-Steinkleber		
	<i>Physella acuta</i>	Spitze Blasenschnecke		
	<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	Neuseeländische Zwergdeckelschnecke		
	<i>Theodoxus fluviatilis</i>	Fluss-Kahnschnecke		
	<i>Viviparus ater</i>	Italienische Sumpfdeckelschnecke		
Andere Wirbellose	<i>Alboglossiphonia hyalina</i>	Kleiner Schneckenegel		
	<i>Barbronia weberi</i>			
	<i>Branchiura sowerbyi</i>	Kiemenwurm		
	<i>Caspiobdella fadejewi</i>			
	<i>Craspedacusta sowerbyi</i>	Süsswasserqualle		
	<i>Dugesia tigrina</i>	Gefleckter Strudelwurm		
	<i>Girardia tigrina</i>	Gefleckter Strudelwurm		
	<i>Hypania invalida</i>	Süsswasser-Borstenwurm		
	<i>Quistadrilus multisetosus</i>			
Fische	<i>Gymnocephalus cernua</i>	Kaulbarsch		
	<i>Lepomis gibbosus</i>	Sonnenbarsch		
	<i>Neogobius kessleri</i>	Kesslergrundel		
	<i>Neogobius melanostomus</i>	Schwarzgrundel		
Krankheitserreger für Tiere	<i>Aphanomyces astaci</i>	Erreger Krebspest (Pilz)		nur Gattung
	<i>Batrachochytrium dendrobatidis</i>	Erreger Chytridiomykose (Pilz)		Erkennung evtl. schwach
	<i>Saproglenia parasitica</i>	Wasserschimmel/Fischschimmel (Pilz)		
	<i>Tetracapsuloides bryosalmonae</i>	Erreger PKD (Nesseltiere)		
Wirt für Krankheitserreger	<i>Fredericella sultana</i>	Wirt PKD (Moostierchen)		Erkennung evtl. schwach

sehr selten vorkommen oder die vor allem in der Hauptströmung zu finden sind. Diese lassen sich mittels des pragmatischen Ansatzes von ufernahen Jungfischuntersuchungen nicht zuverlässig erfassen. Erfreulich waren vor allem die Nachweise von Äsche und Nase, die im Jungfischmonitoring 2022 nicht mehr gefunden wurden, aber zumindest im März 2022 (Probenahmezeitpunkt eDNA) offenbar noch nicht ganz aus der Aare verschwunden waren. Auch konnte mittels eDNA bestätigt werden, dass noch keine invasiven Grundeln in der Aare verbreitet sind.

Die eDNA-Ergebnisse bezüglich Wirbellosen bestätigten die Ergebnisse der Untersuchungen des Makrozoobenthos (MZB, Kapitel 3.4) weitestgehend. Mittels eDNA zusätzlich erfasst wurde entlang der gesamten Aare ein schwaches Signal der gebietsfremden Schnecke *Ferrissia californica*. Hier werden zukünftige Benthosuntersuchungen zeigen, ob die Art noch höhere Dichten bilden wird. Dafür wurden nur mittels MZB-Beprobung *Synurella ambulans* und *Limnomysis benedeni* nachgewiesen.

Eine spannende Ergänzung der in Kapitel 3.4 beschriebenen MZB-Probenahmen stellt die Analyse von Cnidaria (Nesseltiere) mittels eDNA dar. Es kommen im Süsswasser zwar mehrere Arten vor, diese sind aber meist nur äusserst schwierig erkennbar. Alle Arten sind meist nur als millimeterkleine, nur aus Weichkörper bestehende Polypen vorhanden und bilden - wenn überhaupt - nur unter bestimmten Bedingungen gut erkennbare Medusen («Quallen»). Diese Tiergruppe wird daher in bisherigen Monitorings weitestgehend übersehen und über ihre Verbreitung in Flüssen und Seen ist relativ wenig bekannt. In der Aare wurden acht unterschiedliche Taxa gefunden, darunter auch die für manche Seen bekannte, gebietsfremde «Süswasserqualle» (*Craspedacusta sowerbii*). Letztere fällt in grossen Seen der Schweiz in heissen Sommern vereinzelt auf, sie bildet nur bei sehr hohen Wassertemperaturen sichtbare Quallen aus. Alle diese Arten sind sehr unauffällig und stellen für Menschen und Haustiere keinerlei Gefahr dar.

Insgesamt ergänzen sich folglich die Ergebnisse von MZB-Probenahme und Fischuntersuchung mit der genetischen Analyse.

4 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Untersuchungen 2022 wurden auch durch die aussergewöhnliche Hydrologie der Jahre 2021/2022 geprägt. 2021 gab es starke und ungewöhnlich lang andauernde Sommerhochwasser, die zudem zeitweise Feinsediment entlang der Aare verteilten. Hinzu kamen Winterhochwasser, jeweils im Februar 2021 und Januar 2022. Dies beeinflusste die Hauptkampagne (MZB, Äusserer Aspekt & Bewuchs). Bis zur Jungfischuntersuchung im November 2022 folgte dagegen ein heisser Sommer mit sehr niedriger Wasserführung.

Beim Äusseren Aspekt zeigten fast alle untersuchten Messstellen an mindestens einem Parameter der Gewässersohle (Verschlammung, Eisensulfid, etc.) starke Beeinträchtigungen an, bezüglich der fliessenden Welle war nur der Parameter des stabilen Schaums auffällig. Feststoffe der Siedlungsentwässerung, Abfälle, Verschlammung, das Auftreten von Eisensulfid, Kolmation und Schaum zeigen die zahlreichen menschlichen Einwirkungen auf die Aare an. Einige Parameter werden durch die starke Nutzung der Aare hinsichtlich Wasserkraft und den mehrheitlich verbauten Ufern beeinträchtigt. Dadurch fehlt es an Dynamik, ausgeprägter Seitenerosion, Geschiebe sowie an Substrat-, Tiefen- und Strömungsvielfalt.

Auf Ebene des pflanzlichen Bewuchses ist eine im Fliessverlauf zunehmende Eutrophierung der Aare klar ersichtlich. Mitunter bedingt die Einleitung gereinigter Abwässer das folglich hohe pflanzliche Wachstumspotenzial. Diese Bedingungen fördern das Aufkommen von Störzeigern und für entsprechende Fliessgewässer atypischen Algenwucherungen, welche nicht dem ökologischen Zielzustand gemäss Anhang 2 der Gewässerschutzverordnung (GSchV, 1998) entsprechen. Der dichte, fädige Algenbewuchs und das regelmässige Vorkommen der krustenförmigen Rotalge *Hildenbrandia rivularis* zeigen, dass eine Geschiebeumlagerung fehlt.

Einfluss des wasserreichen, kühlen Sommers 2021 und des Hitzesommers 2022 erkennbar

Äusserer Aspekt zeigt durchgehend Beeinträchtigungen

Pflanzlicher Bewuchs deutlich durch fädige Algen geprägt, teilweise «Algenwucherungen»

Haupteinflüsse Eutrophierung und fehlende Geschiebeumlagerung

Kieselalgen: «guter» bis «sehr guter» Zustand, aber Standortgerechtigkeit fast immer nicht gegeben

Im Rahmen der Kieselalgenuntersuchungen sind hinsichtlich der DI-CH-Zustandsklassen alle Messstellen in einem «sehr guten» bis «guten» Zustand, während die Standortgerechtigkeit an fünf Transektmessstellen als «unklar» und bei allen anderen Messstellen als «nicht erfüllt» gilt (hoher Anteil gebietsfremde Arten, zu geringer Anteil an sehr nährstoffsensiblen Arten). Alle Transektmessstellen der Aare sind durch die dominierende gebietsfremde Kieselalgenart *A. delmontii* gekennzeichnet, welche andere (standortgerechte) Arten verdrängte. Damit wurde auch die Artenvielfalt beeinträchtigt, jedoch scheint das Ausmass weniger ausgeprägt wie beispielsweise in der Reuss [AquaPlus 2022].

Neophyten verdrängen heimische Arten

Starker Rückgang von Makroinvertebraten (Dichten und Taxazahlen)

Die Besiedlung mit Makrozoobenthos hat sich gegenüber den früheren Untersuchungen deutlich verringert, wobei die Dichten bereits von 2002 nach 2012 stark abgenommen hatten. Dieser Trend setzte sich bis 2022 fort. Noch gravierender ist der Rückgang der gefundenen Artenzahl, dies besonders bei Wasserinsekten (v.a. Eintagsfliegen, Köcherfliegen und Käfern). Positiv ist die Ausbreitung der vor wenigen Jahren noch in der Schweiz vermeintlich ausgestorbenen Eintagsfliege *Brachycentrus subnubilus*. Der Anteil gebietsfremder Arten hat deutlich zugenommen, auf ca. 20–30% der Gesamtdichten. Ganz besonders hoch ist der Anteil bei Nidau, hier sind über 95% der Individuen vom Bielersee eingebrachte Quagga-Muscheln (*Dreissena rostriformis bugensis*). An der restlichen Aare hat vor allem die Dichte des räuberischen Grossen Höckerflohkrebses (*Dikerogammarus villosus*) in den letzten zehn Jahren stark zugenommen, welcher negativ auf die heimische Lebensgemeinschaft einwirkt. Zwei der neu hinzugekommenen invasiven Neozoen, Granataugen-Flohkrebs (*Echinogammarus ischnus*) und *E. trichiatus* könnten zu einem noch verstärkten Druck auf die heimische Lebensgemeinschaft führen.

Gebietsfremde Arten haben stark zugenommen und beeinträchtigen angestammte Lebensgemeinschaft

Der 2022 beobachtete Rückgang des Makrozoobenthos in der Aare hat vermutlich mehrere Ursachen: Die zunehmende Auswirkung von Neozoen, eine noch immer zunehmende Verringerung der Habitatqualität durch die Wasserkraftnutzung und die vielen Hochwasser 2021 mit ihrer Sedimentfracht, die zu einem zeitweisen Lebensraumverlust geführt haben dürften.

Rückgang durch mehrere Faktoren verursacht

Libellen in vielen Arten vertreten

Im Libellenmonitoring wurden erfreuliche 18 Arten festgestellt, bei zehn gelang auch der direkte Reproduktionsnachweis in der Aare. Bei Flumenthal wurde eine Exuvie der vom Aussterben bedrohten Gelben Keiljungfer (*Gomphus simillimus*) gefunden. Die früher bedrohte Kleine Zangenlibelle (*Onychogomphus forcipatus*) ist mittlerweile die häufigste Grosslibellenart. Die Libellendichten sind dagegen aufgrund von Habitatmangel entlang der Aare reduziert.

Libellendichten durch Habitatmangel beeinträchtigt

Dichte an Jungfischen hat zugenommen, aber weiterhin durch Strukturarmut reduziert

Die Jungfischdichten haben gegenüber 2012 von Olten flussaufwärts zugenommen, sind aber weiterhin durch die Strukturarmut beeinträchtigt. Hauptursache ist die Wasserkraftnutzung und der Verbau der Ufer. Vor allem ausserhalb der Restwasserstrecken machen sich die fehlenden, ruhigen Flachwasserbereiche bemerkbar. Die Artenzahlen pro Messstelle sind ebenfalls leicht gestiegen. Das bedrohte Bachneunauge hat, wie auch Barben, leicht zugenommen.

Klimaerwärmung könnte zu Verlust von Äsche und Forelle führen

Die an kühle Gewässer angepassten Fischarten Äsche und Bachforelle standen bereits bisher vor allem wegen Mangel an Laichhabitaten stark unter Druck. Der Klimawandel führt zu zunehmend kritisch hohen Wassertemperaturen, die besonders empfindliche Äsche könnte dadurch ganz verschwinden.

Mit eDNA zahlreiche Neozoenarten nachgewiesen

Die Untersuchungen der eDNA (Umwelt-DNA) auf aquatische invasive Organismen ermittelte 21 nicht-einheimische Arten. Ergebnisse decken sich grösstenteils mit denen der MZB-Beprobung.

Neben Neobiota wurden auch zahlreiche weitere Arten erfasst

Neben Neobiota wurden auch zahlreiche heimische Arten mittels eDNA erfasst. Bei den Fischen konnten damit die Ergebnisse des Jungfischmonitorings um mehrere Arten ergänzt werden. Die artenreichen Funde von Cnidaria (Nesseltiere) stellen eine interessante Ergänzung der klassischen Methoden dar, da diese Gruppe anderweitig fast gar nicht erfasst wird.

5 Literatur

- BAFU (2007a): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Äusserer Aspekt. Umwelt-Vollzug Nr. 07101. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- BAFU (2007b): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Kieselalgen Stufe F (flächendeckend). Umwelt-Vollzug Nr. 0740. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- BERNNAUER Y, GUFLER C, HÜRLIMANN J (2023): Biologische Untersuchung Aare zwischen Bielersee und Rhein 2022. Fachbericht Äusserer Aspekt und pflanzlicher Bewuchs inkl. Kieselalgen. Untersuchungen März 2022.
- Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998 (Stand vom 1. Januar 2021), Gesetzes-Nr. 814.201.
- HESSELSCHWERDT J, REY P (2021): Koordinierte biologische Untersuchungen am Hochrhein 2017/2018. Zusammenfassender Bericht.
- HESSELSCHWERDT J, APP P, BOSCH N (2023): Biologische Untersuchung Aare zwischen Bielersee und Rhein 2022. Fachbericht Makroinvertebraten inkl. Libellen und Jungfische. Untersuchungen März bis Oktober 2022.
- HYDRA (2017): Methode zur Untersuchung und Beurteilung grosser Fliessgewässer Teil 1: Erhebungsmethode Makroinvertebraten Hochrhein. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Bern.
- LANUV (2009): Benthische Algen ohne Diatomeen und Characeen - Bestimmungshilfe. LANUV-Arbeitsblatt 9. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen.
- PÉRÈS F, BARTHÈS A, PONTON E, COSTE M, TEN-HAGE L, LE COHU R (2012): *Achnantheidium delmontii* sp. nov., a new species from French rivers. *Fottea* 12: 189–198.
- SIMPLEXDNA (2023): Biologische Untersuchung Aare zwischen Bielersee und Rhein 2022: Fachbericht Neobiota eDNA.
- RANDEGGER F (2022): Schwarzmeergrundeln auf dem Vormarsch. *Umwelt Aargau* 90: 51-54.
- THOMAS E A, SCHANZ F (1976): Beziehungen zwischen Wasserchemismus und Primärproduktion in Fliessgewässern, ein limnologisches Problem. *Vjsschr. Natf. Ges. Zürich*, 121(4), 309-317.

