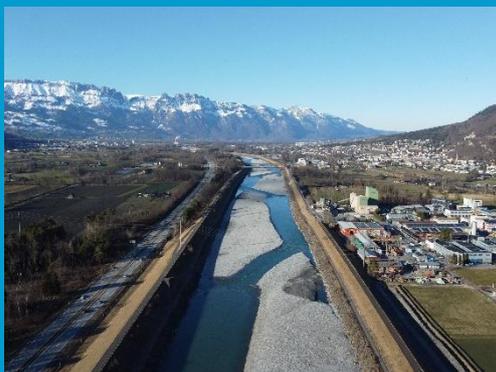




# IRKA

Internationale Regierungskommission Alpenrhein  
Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie



## Alpenrhein - Basismonitoring Benthosbesiedlung 2022

Makrozoobenthos und Phytobenthos

Band 1 – Hauptbericht

Wien, Mai 2023

## Impressum

---

**Herausgeber:**

IRKA Internationale Regierungskommission Alpenrhein  
Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie

**Bericht, Grafik und Gestaltung:**



Technisches Büro für Ökologie  
Neubaugasse 66/2/10 1070 Wien

**Bezugsadresse:**

IRKA Internationale Regierungskommission Alpenrhein  
Programmbeauftragte: Aurelia Spadin, Unterdorf 17, CH-7411 Sils im Domleschg  
e-mail: [info@alpenrhein.net](mailto:info@alpenrhein.net), [www.alpenrhein.net](http://www.alpenrhein.net)

**Mitglieder der Projektgruppe Gewässer und Fischökologie:**

Regula Imhof (Liechtenstein, Vorsitz), Roland Jehle (Liechtenstein), Michael Kugler (St. Gallen),  
Marcel Michel (Graubünden), Nikolaus Schotzko (Vorarlberg), Gerhard Hutter (Vorarlberg),  
Alexander Dürregger (Vorarlberg)

# IRKA

Internationale Regierungskommission Alpenrhein

---

## **Alpenrhein - Basismonitoring Benthosbesiedlung 2022**

Makrozoobenthos und Phytobenthos

Band 1 – Hauptbericht

**Freiland und Bericht:**

Benjamin Berntatz, Laura Berntatz, Anita Biester, Philipp Oberrisser, Karl Panek

**Analytik:**

Benjamin Berntatz, Laura Berntatz, Anita Biester, Michaela Brojer, Axel Gauer, Nella Ilinčić,  
Lukas Kühschelm, Wolfgang Lechthaler, Philipp Oberrisser, Karl Panek, Wolfgang Siegl



## Inhaltsangabe

1	Zusammenfassung und Ausblick.....	1
2	Basismonitoring Benthos .....	5
2.1	Ziele des Monitoringprogramms .....	5
2.2	Projektgebiet und Untersuchungsstellen.....	6
2.3	Methodik .....	7
2.4	Abkürzungsverzeichnis .....	11
3	Hydrologie und Wassertemperaturen .....	13
4	Aufwuchsalgen .....	19
4.1	Lebensräume der aquatischen Primärproduzenten .....	19
4.2	Aufwuchsdeckung und Taxazahlen .....	20
4.3	Artenspektrum und Zusammensetzung der Algengemeinschaften .....	21
4.4	Rote Liste Arten .....	27
4.5	Gewässergüte und Ökologischer Zustand .....	28
5	Wirbellose Bodenfauna.....	33
5.1	Lebensräume der wirbellosen Bodenfauna .....	33
5.2	Taxazahlen und Individuendichten.....	36
5.3	Großgruppenzusammensetzung .....	38
5.4	Funktionelle Gruppen.....	40
5.5	Rote Liste Arten .....	48
5.6	Die Bedeutung der Nebenchoriotope .....	49
5.7	Zieltaxa.....	57
5.8	Gewässergüte und Ökologischer Zustand .....	63
6	Literatur.....	71



# 1 Zusammenfassung und Ausblick

Für die Fortführung des Basismonitorings Alpenrhein wurden an elf Untersuchungsstellen vom 04. bis zum 08.02.2022 Aufnahmen der Aufwuchsalgen und der benthischen wirbellosen Fauna durchgeführt. Zum Zeitpunkt der Entnahme lagen in den vom Schwall beeinflussten Strecken ausgeprägte Sunkphasen vor, wodurch eine repräsentative watende Beprobung aller Untersuchungsstellen möglich war. Probenahme, Bearbeitung und Auswertung erfolgten dabei nach der Österreichischen Methode zur Ermittlung des ökologischen Zustands, die Ergebnisse nach der Schweizer und der Deutschen Methode wurden vergleichend dargestellt. Bei den Aufwuchsalgen wurden daher sowohl die Kieselalgen als auch die Gruppe der Nicht-Kieselalgen bearbeitet, die benthische wirbellose Fauna wurde mittels Multi-Habitat-Sampling (MHS) beprobt. Das Aufnahmeprogramm wurde dahingehend erweitert, dass die 20 Teilproben der MHS-Gesamtprobe einer Untersuchungsstelle auf die hydraulisch unterschiedlichen Bereiche aufgeteilt und diese getrennt ausgewertet wurden. Zusätzlich wurden in allen von der MHS-Probenahme nicht erfassten Nebenchoriotopen, deren Flächenausdehnung unter 5 % lag, qualitative Proben gewonnen und ausgewertet. Ergänzende Adultfänge im Ufer- und Böschungsbereich erfolgten im Zuge der Benthosaufnahmen sowie vom 02. bis 04. Juli 2022.

Aufwuchsalgen sind im Gewässermonitoring wichtige Zeigerorganismen mit hoher Aussagekraft zur Erfassung stofflicher Belastungen, sowohl organischen als auch anorganischen Ursprungs.

Die Gruppe der Kieselalgen weist dabei auf unbelastete Verhältnisse im Vorderrhein, Hinterrhein und Alpenrhein sowie in der Landquart und der Ill hin. Dies entspricht den Ergebnissen der vorangegangenen Erhebungen an den Untersuchungsstellen des Rheins. Im Liechtensteiner Binnenkanal zeigt die Österreichische Methode bereits leichte Defizite hinsichtlich der Trophie an und ergibt den guten ökologischen Zustand.

Die Gesamtbewertung nach Österreichischer Methode, mit Kiesel- und Nicht-Kieselalgen, weist jedoch für die Bewertungsmodule „Trophie“ und „Referenzarten“ an beinahe allen Stellen auf gewisse Defizite hin. Aus Expertensicht zeigen diese Defizite jedoch nicht unbedingt stoffliche Belastungen (wie z.B. Nährstoffeintrag) an, da die Verschlechterungen der Indices meist nur durch eine einzige Art verursacht werden, während die übrige Algengemeinschaft weitgehend unbelastete Verhältnisse widerspiegelt. Eine Anpassung der Aufwuchsalgen an die vom Menschen beeinflussten hydromorphologischen Verhältnisse (Schwallbetrieb, massive Einengung des Flussraumes) ist hier jedenfalls nicht auszuschließen.

Die benthische wirbellose Fauna ist ein guter Indikator für die organische Belastung eines Gewässers, Struktur und Zusammensetzung der Zönose geben aber auch Aufschluss über bestehende hydromorphologische Belastungen. Im natürlichen Fischlebensraum wird zwar die Fischfauna als indikativstes Element für die Bewertung des hydromorphologischen Zustands betrachtet, die wirbellose Bodenfauna reagiert aber ebenso auf hydromorphologische Veränderungen und kann als unterstützender Befund sowie zur Schärfung von Ergebnissen herangezogen werden. Die Bewertung des ökologischen Zustands beruht daher neben dem Befund über die organische Belastung (Modul Saprobie) auch auf dem Modul Allgemeine Degradation, womit strukturelle Defizite in der Zönose erfasst werden sollen. In den methodischen Grundlagen wird allerdings darauf hingewiesen, dass die österreichische Zustandsmethode die Auswirkung von Stressoren, welche vorwiegend quantitative Aspekte einer Biozönose verändern, nicht erfassen kann. Dazu zählen auch die Auswirkungen von Schwallbetrieb, weshalb die rechnerischen Ergebnisse der Zustandsbewertung in schwallbelasteten Gewässerabschnitten stets mit Unsicherheiten behaftet und oftmals auch unplausibel sind. Eine nachvollziehbare Bewertung erfordert daher eine Experteneinschätzung, bei der im Rahmen einer Plausibilitätsprüfung jene Defizite in der Zönose zu beschreiben sind, die einen Zusammenhang mit dem jeweiligen Stressor vermuten lassen, die aber bei der methodenkonformen Berechnung nicht berücksichtigt werden. In der vorliegenden Arbeit wurde daher ein erster Versuch unternommen, mit Hilfe eines Parametersets die Experteneinschätzung zu unterstützen und zu plausibilisieren. So zeigen sich in der Detailanalyse der schwallbelasteten Untersuchungsstellen große Defizite, etwa durch den Ausfall gewässertypischer Gruppen bzw. Taxa (Artinventar) oder auch bei der Individuendichte. Ein weiteres Indiz ist der zu beobachtende Rhithralisierungseffekt, wodurch die wirbellose Bodenfauna eine höhere Gewässer-



region widerspiegelt, als es dem Gewässertyp entsprechen würde. Auch das Fehlen bzw. Vorhandensein der durch die anthropogenen Veränderungen flächenmäßig zwar unterrepräsentierten, für die Diversität und das Vorkommen gewässertypischer Faunenelemente aber überaus wichtigen Nebenchoriotope wurde bei der Experteneinschätzung berücksichtigt.

Während die organische Belastung durchgehend als sehr gering bis gering zu bewerten ist, zeigen sich in den schwallbeeinflussten Zönosen teilweise erhebliche Defizite in ihrer Struktur und Zusammensetzung. Die Experteneinschätzung ergibt im Hinterrhein bei Bonaduz und im Vorderrhein bei Haldenstein einen mäßigen Zustand, an den Stellen im Alpenrhein, in der Landquart und in der Ill hingegen einen unbefriedigenden Zustand (Abbildung 1). Diese zönotischen Defizite sind auf die massiven hydromorphologischen Belastungen zurückzuführen, wodurch die ökologische Funktionsfähigkeit stark beeinträchtigt wird. Als maßgebliche Stressoren sind die Flussbegradigung und der Schwallbetrieb zu nennen. Auch die Ergebnisse vom IRKA-Fischmonitoring 2019 (Frangé & Eberstaller, 2020) zeigen aufgrund der anthropogenen Eingriffe große fischökologische Defizite auf, sie belegen einen extrem geringen und weiter schwindenden Fischbestand. Beide Qualitätselemente weisen somit übereinstimmend auf einen Handlungsbedarf im Hinblick auf die Erreichung des guten ökologischen Potentials hin.

Im Zuge der aktuellen Aufnahme wurden alle Untersuchungsstellen watend beprobt. Vergleicht man die aktuelle Taxaliste mit den bisherigen Monitoringprogrammen, zeigen sich große Übereinstimmungen. Einige Taxa wurden in der aktuellen Untersuchung nicht wiedergefunden, im Gegenzug sind aber einige Neufunde hinzugekommen. Diese Abweichungen zeigen jedoch keine nachhaltigen Veränderungen der Zönosen und liegen innerhalb einer natürlich zu erwartenden Schwankungsbreite. Im Zuge des Monitoringprogramms 2015 wurden bevorzugt gut besiedelte Flächen beprobt (Rey & Hesselschwerdt 2016). Diese Bereiche können jedenfalls auch bei einer watend durchgeführten Beprobung ausreichend abgebildet werden. Bei optimalen Niederwasserbedingungen in Kombination mit Sunkphasen ist eine watende Beprobung für die gegenständlichen Untersuchungsstellen im Alpenrhein als ausreichend anzusehen, wodurch der Aufwand erheblich verringert werden kann. In Jahren mit deutlich höheren Basisabflüssen sowie für spezielle Fragestellungen, wie etwa die benthische Besiedlung der stark durchflossenen Hauptströmungsrinne, müssen andere, aufwändigere Methoden zum Einsatz kommen. Um einen Einblick in die Artenvielfalt und das damit verbundene Potential an biologischer Diversität des Alpenrheins zu eröffnen zeigt sich die aktuelle Vorgehensweise als sehr gut geeignet. Für eine Gesamtbetrachtung scheint es wichtig, dass die Bestimmungen mit größtmöglicher taxonomischer Genauigkeit erfolgen und die vorhandenen Nebenchoriotope ebenso detailliert in die Analysen miteinzubeziehen. Durch die Bestimmung der Wenigborster, Zuckmücken und Kriebelmücken auf das bestmögliche taxonomische Niveau und die zusätzliche Besammlung der Nebenchoriotope konnte die Gesamtzahl im Vergleich zum Monitoringprogramm 2015 von 141 auf 290 erhöht werden.

Im Zusammenhang mit der Bedeutung der Nebenchoriotope ergeben sich Synergien zum Hochwasserschutzprojekt Rhesi ([www.rhesi.org](http://www.rhesi.org)). Im Zuge des Ausbaus der Hochwassersicherheit im unteren Abschnitt des Alpenrheins von der Illmündung bis zum Bodensee ergeben sich auch für die Ökologie große Chancen, die Diversität im Alpenrhein zu erhöhen. Im Zuge des vorliegenden Monitoringprogramms konnte gezeigt werden, dass in den Nebenchoriotopen ein enormes Potential an Artenvielfalt der benthischen Fauna steckt. Durch die Umsetzung der geplanten Maßnahmen kann dieses Potential abgerufen werden und die Ausbildung von aktuell stark unterrepräsentierten, hydraulisch stabilen Nebenchoriotopen ermöglicht und somit deren Flächenanteil maßgeblich erhöht werden. Zusätzlich haben zusammenhängende, einen längeren Flussabschnitt abdeckende Maßnahmen wie etwa die Aufweitung der Flusssohle einen positiven Effekt auf die Schwalldämpfung. Aus fachlicher Sicht wäre eine biologische Beweissicherung der durch die Maßnahmen initiierten Sukzessionsprozesse wünschenswert, auch in Hinblick auf das Wissensdefizit hinsichtlich der benthischen Zönosen großer, alpin geprägter Fließgewässer wie dem Alpenrhein unter naturnahen Bedingungen. Eine weiterführende Detailanalyse der hydraulischen Teilhabitate der mit der MHS-Methode beprobten Hauptchoriotope und der qualitativ besammelten Nebenchoriotope könnte hier aussagekräftige Ergebnisse liefern.

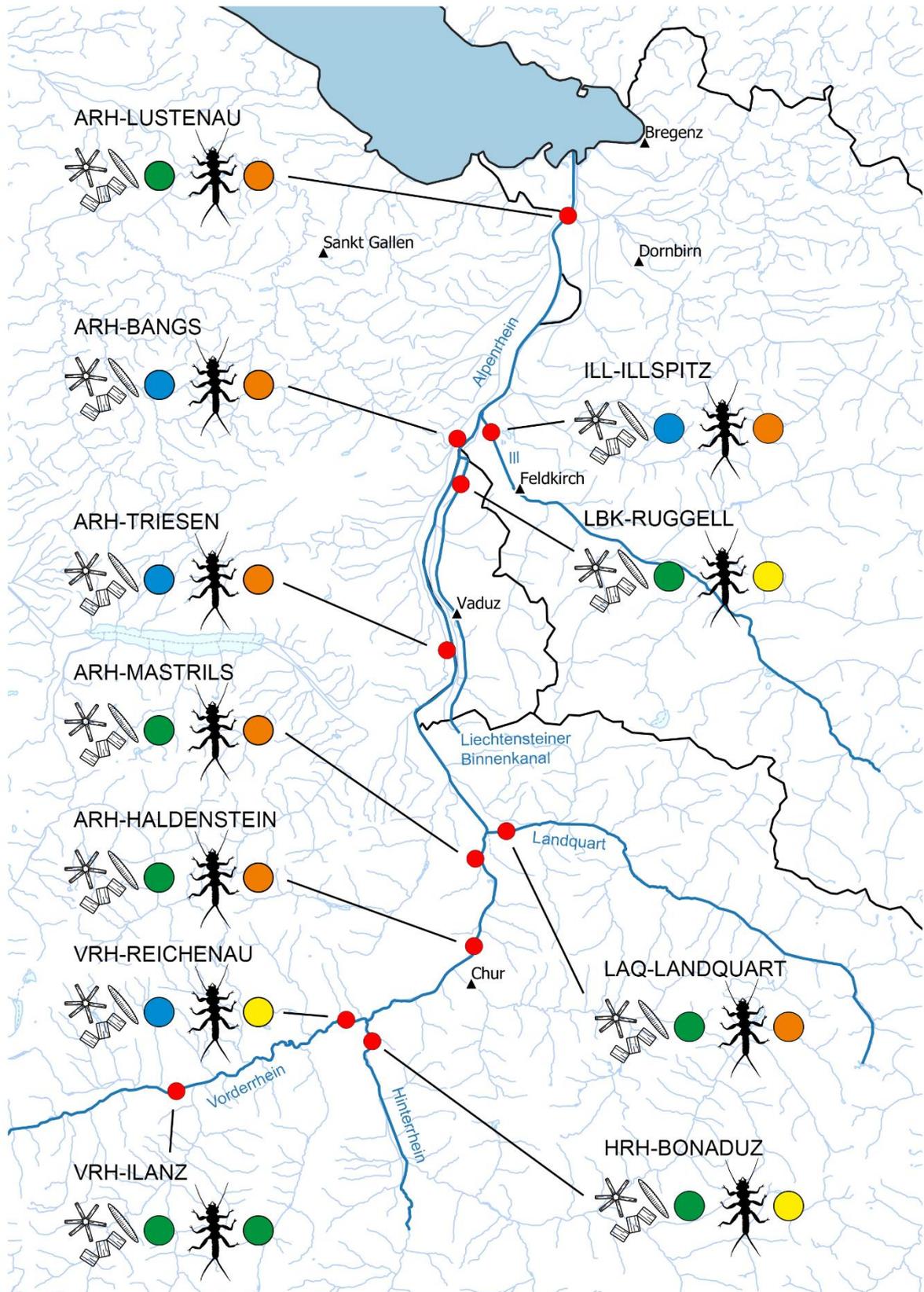


Abbildung 1. Übersicht über die Ergebnisse der Aufwuchsalgen und der bodenlebenden wirbellosen Fauna an den Untersuchungsstellen im Vorderrhein (VRH), Hinterrhein (HRH), Alpenrhein (ARH), Landquart (LAQ), Liechtensteiner Binnenkanal (LBK) und in der Ill (ILL). In den schwallbeeinflussten Strecken erfolgte die Bewertung der bodenlebenden wirbellosen Fauna auf Basis einer Experteneinschätzung. ● sehr guter Zustand, ● guter Zustand, ● mäßiger Zustand, ● unbefriedigender Zustand. Kartengrundlage: Bundesamt für Landestopografie, swissTLMRegio, [www.swisstopo.admin.ch/de/geodata/landscape/tlmregio.html](http://www.swisstopo.admin.ch/de/geodata/landscape/tlmregio.html)



## 2 Basismonitoring Benthos

Das Konzept Monitoring Alpenrhein - Teilbereich Gewässerökologie wurde im Jahr 2007 durch die Regierungskommission genehmigt und stellt die Grundlage zur grenzüberschreitenden Koordination und Durchführung des ökologischen Monitorings am Alpenrhein dar (Eberstaller et al., 2007). Verantwortlich für das Alpenrhein-Monitoring ist die Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie der IRKA mit ihren derzeitigen Fachvertretern aus Graubünden (Marcel Michel), St. Gallen (Dominik Thiel, Michael Kugler), Liechtenstein (Regula Imhof, Vorsitz und Roland Jehle) sowie Vorarlberg (Nikolaus Schotzko, Gerhard Hutter<sup>1</sup>, Alexander Dürregger<sup>2</sup>). Das Team der ARGE Ökologie, Wien, wurde 2021 mit der Fortführung der Benthosaufnahmen beauftragt.

### 2.1 Ziele des Monitoringprogramms

Mit dem Basismonitoring Ökologie Alpenrhein sind mehrere Zielsetzungen verbunden. Als Langzeitmonitoring sichert es mit wiederkehrenden Aufnahmen eine Datenbasis, welche die jeweils aktuelle Situation im Alpenrhein abbildet und mit deren Hilfe mögliche Veränderungen, im konkreten Fall im Bereich der pflanzlichen und tierischen Besiedlung des Gewässerbodens, erfasst werden können.

Daher wurde das Untersuchungsprogramm 2022 konsequenter Weise an den bereits bisher bearbeiteten Fließgewässermessstellen für die Aufwuchsalgen und die benthische wirbellose Fauna fortgesetzt. Wie 2015 stellt auch die aktuelle Erfassung der Struktur und Zusammensetzung dieser Lebensgemeinschaften und der Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen einen Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit dar.

Die Untersuchungsreihe des Basismonitorings Ökologie Alpenrhein bietet auch die Möglichkeit, spezifische Fragestellungen durch eine Modifikation der Aufnahmemethodik zu bearbeiten. Für die aktuellen Erhebungen an der Gewässersohle wurde die Anwendung der österreichischen Methode zur Ermittlung des ökologischen Zustands zugrunde gelegt. Bei den Aufwuchsalgen wurden sowohl die Kieselalgen als auch die Gruppe der sogenannten Nicht-Kieselalgen qualitativ erfasst. Die bodenlebende wirbellose Fauna wurde mit Hilfe der MHS-Methode (Multi Habitat Sampling) erfasst, Proben wurden daher nur in jenen Gewässerbereichen gewonnen, die – teilweise mit Sicherungstechniken – bewatbar, also mit einer Wathose begehbar waren. Üblicherweise umfasst eine vollständige MHS-Aufnahme 20 Teilproben. Habitats, deren Flächenanteil unter 5 % liegt (Nebenchoriotope), bleiben bei dieser Aufnahmetechnik unberücksichtigt. Um dennoch eine Aussage über deren Bedeutung für die untersuchten Fließgewässerabschnitte machen zu können, wurden sämtliche dieser Nebenchoriotope zusätzlich qualitativ beprobt und ausgewertet. Der Vergleich der Ergebnisse aus den mittels MHS gesammelten Hauptchoriotopen und den qualitativen Proben aus den kleinräumigen Nebenchoriotopen (Mikrohabitaten) stellt einen weiteren Schwerpunkt dieses Berichts dar.

Wie in den bisherigen Erhebungen wurden auch für den aktuellen Bericht die der Probennahme vorausgehenden Jahressgänge der Hydrologie sowie der Wassertemperaturen dargestellt.

<sup>1</sup> bis 2022

<sup>2</sup> ab 2023



## 2.2 Projektgebiet und Untersuchungsstellen

Die im vorliegenden Bericht bearbeiteten Untersuchungsstellen entsprechen jenen der Untersuchungsjahre 2009 und 2015. Die 2015 beprobte Sonderstelle Stau Reichenau wurde 2022 nicht erhoben (Rey & Hesselschwerdt 2016). Fünf der insgesamt elf Untersuchungsstellen liegen im Alpenrhein zwischen dem Zusammenfluss des Vorder- und Hinterrheins und der Rheinmündung in den Bodensee. Es handelt sich dabei um die Stellen Haldenstein (ARH-HAL), Mastrils (ARH-MAS), Triesen (ARH-TRI), Bangs (ARH-BAN) und Lustenau (ARH-LUS).

Der Hinterrhein ist im Monitoringprogramm mit der Stelle Bonaduz vertreten (HRH-BON), der Vorderrhein mit den beiden Stellen oberhalb Illanz (VRH-ILA) und Reichenau (VRH-REI). Während die Stelle oberhalb Illanz eine Ausleitungsstrecke darstellt, stehen alle übrigen genannten Untersuchungsstellen unter mehr oder minder starkem Schwallenfluss. Dies gilt auch für die beiden Alpenrheinzubringer Landquart (LAQ) und Ill (ILL), in deren mündungsnahen Bereich ebenfalls Untersuchungsstellen situiert sind. Eine weitere Monitoringstelle liegt schließlich im Liechtensteiner Binnenkanal bei Ruggell (LBK), einem künstlich angelegten Kanal ohne maßgebliche hydrologische Beeinflussung im Untersuchungsabschnitt.

In Abbildung 2 ist die Lage der elf Untersuchungsstellen des Monitoringprogramms 2022 dargestellt.

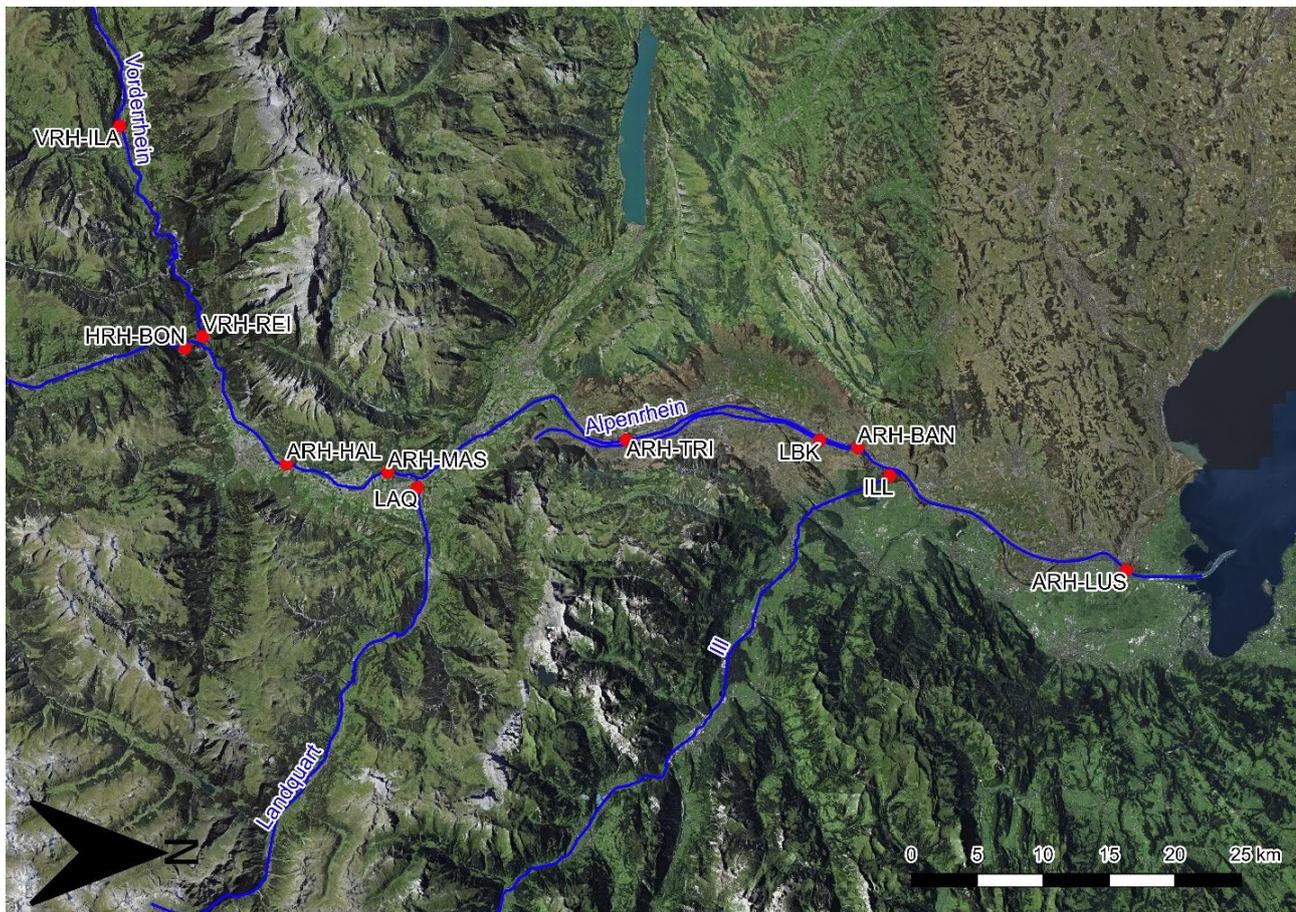


Abbildung 2. Übersicht über die Untersuchungsstellen im Vorderrhein (VRH), Hinterrhein (HRH), Alpenrhein (ARH), Landquart (LAQ), Liechtensteiner Binnenkanal (LBK) und in der Ill (ILL). Kartengrundlage SWISSIMAGE, [www.swisstopo.ch](http://www.swisstopo.ch).

## 2.3 Methodik

### 2.3.1 Ortsbefund

Von jeder Untersuchungsstelle wird ein umfangreiches Probenahmeprotokoll angefertigt. Allgemeine Angaben zum Standort können dabei bereits vor der Freilandarbeit erhoben werden, wie etwa Flusskilometer, Seehöhe, Flussordnungszahl und Einzugsgebietsgröße sowie die Zuordnung zur Bioregion.

Im Zuge der eigentlichen Probenahme werden neben den aktuellen Witterungsverhältnissen morphologische Daten (mittlere und maximale Gewässertiefe, Angaben zur Gewässerbreite, Beschreibung der Ufer und Böschungen, Uferbewuchs, Umland als auch allfällige anthropogene Sicherungsmaßnahmen), die hydraulischen Bedingungen (mittlere und maximale Strömungsgeschwindigkeit in den beprobten Habitaten, Strömungsbild), die Kolmation nach Schälchli (1993), sowie nach Schälchli et al. (2002) und die aktuelle hydrografische Situation (Niederwasser, Schwall, Sunk, Bezugspegel) erfasst. Dazu kommen die Messung physikalisch-chemischer Parameter wie Wassertemperatur, Sauerstoffgehalt, Sauerstoffsättigung, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit sowie ein organoleptischer Befund über die Beschaffenheit des Oberflächenwassers (Trübe, Verfärbung, Schaumbildung, Geruch, Schwimm- und Schwebstoffe).

Zu Dokumentationszwecken werden Übersichts- und Detailfotos angefertigt, für Überblicksbilder der Untersuchungsstellen wird auch eine Drohne eingesetzt. Abbildung 3 soll einige Eindrücke von den Freilandaufnahmen vermitteln.



Abbildung 3. Probenahme an den Untersuchungsstellen. A...*in situ* Messung chemisch-physikalischer Parameter. B bis E...Phytobenthosaufnahme, Begehung mit dem Sichtkasten, Abschaben der Kieselalgenbeläge. F bis H...Probenahme des Makrozoobenthos (MHS-Methode), in starker Strömung auch vom Ufer aus gesichert. I...Drohne für Überblicksaufnahmen.



### 2.3.2 Makrozoobenthos (MZB)

Aufnahme und Auswertung der benthischen wirbellosen Fauna (Makrozoobenthos) erfolgten gemäß dem Leitfaden des BMNT vom Juli 2019 (Ofenböck et al., 2019).

Das Multi-Habitat-Verfahren bei der Probenahme aus Fließgewässern ermöglicht eine standardisierte, flächenanteilig gewichtete Besammlung aller repräsentativen Habitate innerhalb einer Untersuchungsstelle. Die Gesamtprobe einer Untersuchungsstelle setzt sich dabei aus 20 Einzelproben zu je 25 x 25 cm beprobter Fläche zusammen, die proportional auf alle Habitate verteilt werden, die mindestens 5 % des Gewässerbodens bedecken. Jede Einzelprobe repräsentiert somit 5 % des besammelten Gewässerbereiches, Habitate mit einem Flächenanteil unter 5 % werden bei dieser Beprobung nicht berücksichtigt. Insgesamt wird eine Fläche von 1,25 m<sup>2</sup> beprobt. Dieses Multi-Habitat-Sampling (MHS) stellt die methodische Grundlage für die Erhebung des ökologischen Zustands auf Basis des Qualitätselements Makrozoobenthos dar.

Vor Beginn der Beprobung werden zunächst die unterschiedlichen Habitate erfasst und ihr Anteil abgeschätzt. Ergänzend wird eine Skizze der Choriotopeaufteilung angefertigt, in der die zu beprobenden Habitate verzeichnet werden.

Die MHS-Proben werden mittels standardisiertem Handnetz mit einer Kantenlänge von 25 cm und einer Maschenweite von 500 µm entnommen, wobei der Netzsack mindestens 1 m lang zu sein hat, damit ein Rückstau und ein Ausspülen der Probe unterbunden wird. Die Probennahme ist dabei auf jene Bereiche eines Fließgewässers beschränkt, die durchwatenbar sind und/oder hinsichtlich des Strömungsdrucks sicher begangen werden können. Dies bedeutet insbesondere bei großen Flüssen naturgemäß eine gewisse Einschränkung im Hinblick auf die Ausdehnung des tatsächlich beprobaren Bereiches.

Im Zuge der Probenahme wird überprüft, ob reduzierte Bedingungen in den Sedimenten vorliegen, etwa in Form von Faulschlamm oder als schwarze Reduktionsflecken auf Steinen.

Bei den Habitaten bzw. Choriotopen unterscheidet man abiotische (minerogene) und biotische (organische) Typen. Minerogene Choriotope werden nach der vorherrschenden Korngröße eingeteilt, bei den biotischen Choriotopen trennt man nach lebenden Pflanzen oder Pflanzenteilen (Algen, Makrophyten, Wurzelbärte) und totem organischem Material (Totholz, grobes und feines partikuläres Material). Tabelle 1 und Tabelle 2 geben einen Überblick über die verschiedenen Teillebensräume.

Um die Besiedlung der an einer Untersuchungsstelle vorkommenden, unterschiedlichen hydraulischen Habitate vergleichen zu können, wurden die Teilproben aus jedem dieser Habitate getrennt in Behälter überführt. So konnten diese einzelnen Teilflächen im Labor gesondert analysiert und ausgewertet werden. Für eine methodenkonforme Zustandsbewertung wurden alle mittels MHS besammelte Teilflächen rechnerisch zu einer MHS-Gesamtprobe zusammengeführt. In den Ergebnistabellen von Band 2 der einzelnen Untersuchungsstellen ist die jeweilige Anzahl an Teilproben für jede Teilfläche angegeben (am Beispiel Hinterrhein – Bonaduz: Tabelle 3 in Band 2).

Tabelle 1. Abiotische (minerogene) Choriotope des Makrozoobenthos nach Moog et al. (1999).

Minerogene Choriotope		Korngröße
Hygropetrische Stellen	Dünner Wasserfilm über steinigem (felsigem) Substrat	-
Megalithal	Große Steine, Blöcke und anstehender Fels	>40 cm
Makrolithal (Blöcke)	Grobes Blockwerk, etwa kopfgroße Steine vorherrschend mit variablen Anteilen von Steinen, Kies und Sand	20-40 cm
Mesolithal (Steine)	Faust- bis handgroße Steine mit variablen Kies- und Sandanteil	6,3-20 cm
Mikrolithal (Grobkies)	Taubenei- bis Kinderfaustgröße mit Anteilen von Mittel- Feinkies sowie Sand	2-6,3 cm
Akal (Kies)	Fein- und Mittelkies	0,2-2 mm
Psammal (Sand)	Sand	0,063-2 mm
Psammopelal	Mischung aus Feinsand und Pelal	-
Pelal	Schlack, Schluff und Schlamm	<0,063 mm
Argillal	Tonfraktion	-

Tabelle 2. Biotische (organische) Choriotope des Makrozoobenthos nach Moog et al. (1999).

Organische Choriotope	
Mikro-Algen	Aufwuchsalgen
Makro-Algen	Algenbüschel, Fadenalgen, Algenwatten
submerse Makrophyten	Submerse Wasserpflanzen, inkl. Moose, Farne und Characeen
emerse Makrophyten	z.B. <i>Typha</i> , <i>Carex</i> , <i>Phragmites</i>
lebende Pflanzenteile	Wurzelbärte, ins Wasser hängende Pflanzenteile
Xylal	Totholz, Baumstämme, Äste etc.
CPOM	Grobes partikuläres organisches Material > 1 mm, z.B. Falllaub
FPOM	Feines partikuläres organisches Material < 1 mm, Detritus
Genist	Organisches und minerogenes Material nahe der Uferanschlagslinie abgelagert durch Wellenschlag, Wasserspiegelschwankungen etc., u.a. Muschel- und Schneckenschalen
Abwasserbakterien, Saprobien	Abwasserbakterien, -pilze ( <i>Sphaerotilus</i> , <i>Leptomitus</i> ), Schwefelbakterien ( <i>Beggiatoa</i> , <i>Thiothrix</i> ), Faulschlamm

Ergänzend zur MHS-Aufnahme erfolgte in allen Habitaten, deren Flächenanteil unter 5 % lag und die daher nicht in der MHS-Probe enthalten waren, eine qualitative Aufsammlung. Dabei handelt es sich um minerogene Substrate wie Blockwurf, Sand oder Kies ebenso wie um organische Substrate wie etwa Falllaub, Totholz oder Wurzelbärte. Die Bedeutung dieser aufgrund ihrer sehr geringen Ausdehnung auch als Mikrohabitate bezeichneten aquatischen Lebensräume ist eines der Schwerpunktthemen der vorliegenden Arbeit.

Zusätzlich erfolgten noch Adultfänge im Zuge der Benthosaufnahmen im Februar 2022 sowie vom 02. bis zum 04. Juli 2022. Dazu wurden verschiedene Kescher eingesetzt.

Die Auswertung der MHS-Proben und der qualitativen Proben erfolgte mit der firmeneigenen Datenbank der ARGE Ökologie. Für die Ermittlung des ökologischen Zustands nach der Österreichischen Methode sind in der Regel zwei Bewertungsmodule heranzuziehen: das Modul Saprobie und das Modul Allgemeine Degradation. Jede Untersuchungsstelle ist dabei einer der 15 aquatischen Bioregionen Österreichs (Moog et al., 2001) zuzuordnen. Innerhalb einer Bioregion bestimmen die Seehöhe in Kombination mit der Einzugsgebietsgröße den jeweiligen saprobiellen Grundzustand. Die Untersuchungsstelle Vorderrhein – oberhalb Illanz wurde der Bioregion Unvergletscherte Zentralalpen (UZA) mit einem saprobiellen Grundzustand von 1,5 zugeordnet, alle übrigen Rheinstellen wurden aufgrund der Einzugsgebietsgröße > 1.000 km<sup>2</sup> der Bioregion „Große Flüsse – Rhein“ mit einem saprobiellen Grundzustand von 1,75 zugeordnet. Die Untersuchungsstelle in der Landquart wurde der Bioregion Unvergletscherte Zentralalpen (UZA) mit einem saprobiellen Grundzustand von 1,5 zugeordnet, für den Liechtensteiner Binnenkanal wurde das Vorarlberger Alpenvorland (VAV) zugrunde gelegt. Alle Einstufungen für die im Basismonitoring Alpenrhein 2022 untersuchten Stellen sind in Band 2 in der Anhangstabelle 3 aufgelistet.

Zusätzlich erfolgte die Zustandsberechnung nach der Deutschen Methode, ebenfalls auf Basis der beiden Module Saprobie und Allgemeine Degradation (Perلودes Deutschland). Mit Perلودes Österreich wurden die Parameter Potamotypie-Index, Shannon-Diversität, Evenness und EPTCBO Taxa Bewertung berechnet.

Nach der Schweizer Methode erfolgte die Ermittlung des Biologischen Zustands auf Basis der Teilmodule Diversitätsklasse und Indikatorgruppe.



### 2.3.3 Phytobenthos (PHB)

Aufnahme und Auswertung der Aufwuchsalgen (Phytobenthos) erfolgten gemäß dem Leitfaden des BMNT vom Juni 2018 (Pfister & Pipp, 2018).

Im Zuge der Feldaufnahmen wurde mittels Sichtkasten möglichst der gesamte Gewässerquerschnitt bzw. der bewatbare Bereich nach Aufwuchsalgen abgesucht. Alle differenzierbaren Algenlager wurden hinsichtlich ihres Deckungsgrades geschätzt und protokolliert. Nicht-Kieselalgenbestände wurden auf ganzen Steinen bzw. als abgelöste Fäden und Büschel in getrennten Gefäßen gekühlt und abgedunkelt ins Labor transportiert, Kieselalgenbestände wurden vor Ort mit einer Zahnbürste von mindestens fünf Steinen aus den dominanten Choriotopen abgebürstet und mit Standortwasser in ein gut verschließbares Gebinde überführt. Die Fixierung der Proben bis zur weiteren Verarbeitung erfolgte mittels Tieffrieren.

Nach der Herstellung von Kieselalgen-Säurepräparaten erfolgte die Zählung nach Österreichischer sowie nach Schweizer Methode (BAFU, 2019). Deutliche Abweichungen ergeben sich aus der Tatsache, dass in der Schweizer Methode 400-500 Schalen gezählt und bestimmt werden, während in der Österreichischen Methode zusätzlich zu der Zählung von mindestens 500 Schalen noch das gesamte restliche Präparat nach weiteren Taxa abgesucht wird, welche in die Zählliste mit jeweils einem Individuum aufgenommen werden. Daraus kann sich in der Österreichischen Methode eine wesentlich höhere Taxazahl pro Untersuchungsstelle ergeben. Ein weiterer, geringfügiger Unterschied ist, dass in der Österreichischen Methode jedes Kieselalgen-Objekt als „1“ gezählt wird, in der Schweizer Methode jedoch jede Schalenhälfte. Eine ganze Zelle, deren Schalenhälften durch die Präparation nicht auseinandergefallen sind, zählt demnach „2“.

Die Auswertung nach Österreichischer Methode sowie die Berichterstellung erfolgte mit der firmeneigenen Datenbank der ARGE Ökologie. Als Grundlage für die Berechnungen der drei Österreichischen Bewertungsmodule Trophie, Saprobie und Referenzarten muss jeder Untersuchungsstelle eine der 15 aquatischen Bioregionen Österreichs (Moog et al., 2001) zugeordnet werden. In Kombination mit der Höhenstufe ist der Untersuchungsstelle ein trophischer bzw. saprobieller Grundzustand zuzuweisen. Zusätzlich sind für das Modul Referenzarten alle stromauf liegenden Bioregionen zu erfassen, die von dem untersuchten Gewässer und dessen Zubringern bis zur Untersuchungsstelle durchflossen werden. Für die Zuordnung wurden daher die geologischen Gegebenheiten an der Untersuchungsstelle sowie im Einzugsgebiet berücksichtigt. Die Bioregion „Große Flüsse – Rhein“ beschreibt den Bereich < 500 m Seehöhe und beinhaltet die Bioregionen AM, FL, HV, KH, UZA, VAV und VZA. Die Bioregion „Große Flüsse - Rhein“ wurde demnach für das Phytobenthos erst ab der Stelle Triesen verwendet. Den flussaufwärts gelegenen Stellen wurde die Bioregion „Unvergletscherte Zentralalpen“ zugeordnet. Alle Einstufungen für die im Basismonitoring Alpenrhein 2022 untersuchten Stellen sind in der Anhangstabelle 3 aufgelistet.

Zusätzlich wurde der Kieselalgendatensatz nach Schweizer Methode ausgewertet und der Diatomeen Index der Schweiz (Hürlimann & Niederhauser, 2007) berechnet. Die Diversität H wurde als Shannon-Weaver-Index ( $\log_2$ ) (Shannon et al., 1949) berechnet. Um Vergleiche zu den vorangegangenen Untersuchungen aus den Jahren 2009 und 2015 herstellen zu können, wurde für die Indices nach Shannon-Weaver, Jaccard (Jaccard, 1901) und Renkonen (Renkonen, 1938) der Datensatz nach Schweizer Methode verwendet.

## 2.4 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bezeichnung
AM	Alpine Molasse
BAFU	Bundesamt für Umwelt; Schweiz
BMNT	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Tourismus; Österreich
BR	Bergrücklandschaft und Ausläufer der Zentralalpen
CPOM	grobes organisches Material, etwa Falllaub ( <i>coarse particulate organic matter</i> )
CR	vom Aussterben bedroht ( <i>critically endangered</i> ) Gefährdungsstufe der Roten Liste
D	Indikatorwert einzelner Kieselalgenarten im Rahmen der Schweizer Bewertungsmethode
DI-CH	Kieselalgenindex Schweiz
Diversität (S-W)	Shannon-Index (auch als Shannon-Wiener oder Shannon-Weaver-Index bezeichnet)
DK	Diversitätsklasse
EN	stark gefährdet ( <i>endangered</i> ); Gefährdungsstufe der Roten Liste
EPT	<b>E</b> phemeroptera (Eintagsfliegen), <b>P</b> lecoptera (Steinfliegen) und <b>T</b> richoptera (Köcherfliegen)
EQR	<i>ecological quality ratio</i>
EZG [km <sup>2</sup> ]	Einzugsgebietsgröße in Quadratkilometer
FL	Flysch
FLOZ	Flussordnungszahl
FPOM	feines organisches Material, Detritus ( <i>fine particulate organic matter</i> )
HV	Helvetikum
IG	Indikatorgruppe
Ind/m <sup>2</sup>	Individuen pro Quadratmeter (Maß für die Besiedlungsdichte)
KH	Nördliche Kalkhochalpen
LF [ $\mu$ S/cm]	elektrische Leitfähigkeit in $\mu$ S/cm (Mikrosiemens pro Zentimeter)
LZI	Längenzonationsindex (Biozönotischer Regionsindex)
max.	maximal
MHS	Multi-Habitat-Sampling
MMI	Multimetrischer Index
mt	mesotroph
MZB	Makrozoobenthos (wirbellose Bodenfauna)
NT	Vorwarnstufe ( <i>near threatened</i> ); Gefährdungsstufe der Roten Liste
O <sub>2</sub> [%]	gelöster Sauerstoff in Prozent Sättigung
O <sub>2</sub> [mg/l]	gelöster Sauerstoff in Milligramm pro Liter
om	oligo- bis mesotroph
PETI	Potamon-Ernährungstypen-Index
PHB	Phytobenthos (Aufwuchsalgen)
pH-Wert	negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration (Maß für den sauren oder basischen Charakter des Wassers)
PN	Probennahme
RE	ausgestorben ( <i>regionally extinct</i> ); Gefährdungsstufe der Roten Liste
RETI	Rhithron-Ernährungstypen-Index
RI	Referenzarten Index
SI	Saprobitäts-Index
Temp. [°C]	Temperatur in Grad Celsius
TI	Trophie-Index
UZA	Unvergletscherte Zentralalpen
VAV	Vorarlberger Alpenvorland
VU	gefährdet ( <i>vulnerable</i> ); Gefährdungsstufe der Roten Liste
VZA	Vergletscherte Zentralalpen
WRRL	Wasser-Rahmen-Richtlinie
WSG84	geodätisches Referenzsystem von 1984 für weltweit einheitliche Positionsangaben



### 3 Hydrologie und Wassertemperaturen

Das Einzugsgebiet des Alpenrhein liegt zum größten Teil innerhalb hochalpiner Höhenlagen. Am Pegel Domat/Ems, unterhalb des Zusammenflusses von Vorderrhein und Hinterrhein, beträgt das Einzugsgebiet 3.229 km<sup>2</sup>, der Anteil der Vergletscherung liegt bei 0,9 %. Es liegt ein nivo-glaziales Abflussregime vor. Dies bedeutet, dass aufgrund der Speicherung der winterlichen Niederschläge als Schnee und Gletschereis der höchste jährliche Abfluss im Zeitraum der Schneeschmelze vom Frühjahr bis in den Sommer verzeichnet wird, also in den Monaten Mai bis August. Im Herbst und Winter, von November bis März, herrscht natürlicher Weise Niederwasser vor, also die Phase mit den geringsten Abflüssen im Jahresgang.

In Abbildung 5 ist die saisonale Entwicklung der Abflüsse ein Jahr vor den Erhebungen für das Basismonitoring Alpenrhein der Jahre 2009, 2015 und 2022 auf Basis von Tagesmittelwerten dargestellt. Dazu werden über den Längsverlauf die Pegel des BAFU vom Vorderrhein bei Illanz, Hinterrhein bei Fürstenu, dann zu Beginn des Alpenrheins bei Domat/Ems bis zum Unterlauf bei Diepoldsau herangezogen (<https://www.hydrodaten.admin.ch/de/>). Trotz des erheblichen Wasserrückhaltes in Speicherseen ist dabei für alle Untersuchungsjahre ein ausgeprägter Jahresgang erkennbar. Während in den Jahren 2009 und 2021 kein zweites Abflussmaximum vorliegt, konnte aufgrund herbstlicher Niederschläge im Zeitraum von Oktober bis Dezember 2014 ein zweiter pluvialer, durch Regen verursachter Abflussschwerpunkt beobachtet werden. Die Probennahmen 2009 fanden während einer herbstlichen Niederwasserphase statt, für die Jahre 2015 und 2022 fanden die Probennahmen im Spätwinter im Februar statt. Wie alle drei Diagramme zeigen, ist in diesem Monat mit dem geringsten Abfluss im Alpenrhein zu rechnen.

Der Abfluss des Alpenrheins wird stark durch den Schwallbetrieb als Folge der Energieproduktion geprägt: Es kommt damit zu künstlichen Abflussschwankungen im Tagesverlauf. Exemplarisch ist dies für den Alpenrhein anhand der Pegel Domat/Ems (Abbildung 6) und Lustenau (Abbildung 7) dargestellt, ebenso wie für den Pegel Felsenbach in der Landquart (Abbildung 8) und den Pegel Giesingen in der Ill (Abbildung 9) als die beiden maßgeblichen Zubringer zum Alpenrhein, die ebenfalls schwallbelastet sind. Auf Basis von 15-minütigen Messwerten zeigen die Grafiken die täglichen Schwankungen anhand der Minima und Maxima sowie deren Verhältnis. Das tägliche Verhältnis zwischen der Abflussspitze bei Schwall und dem Abflussminimum (Sunk) schwankt unterhalb des Zusammenflusses von Vorder- und Hinterrhein (Pegel Domat/Ems) deutlich stärker als im Unterlauf bei Lustenau. Von Jänner 2021 bis Ende Februar 2022 zeigen sich am Beginn des Alpenrheins Abflussschwankungen zwischen Schwall und Sunk im Verhältnis von bis zu 1:17, im Längsverlauf geht das Schwall-Sunk-Verhältnis laufend zurück und erreicht bei Lustenau ein Verhältnis von bis zu 1:3,3. In Lustenau werden beispielsweise tägliche Schwankungen des Wasserstandes bis über 130 cm gemessen, im Mittel schwankt der Wasserspiegel hier täglich um 55 cm. Die Landquart, als Beispiel für einen Zubringer zum Alpenrhein, weist ein tägliches Verhältnis zwischen Schwall und Sunk von bis zu 1:4,5 auf. Einen Eindruck über die Verhältnisse bei Sunk und Schwall vermittelt an diesem Abschnitt des Alpenrheins Abbildung 4. Im Alpenrhein sind bei hohen Basisabflüssen in den Sommermonaten, also im Zeitraum April/Mai bis September, auch die geringsten täglichen Abflussschwankungen festzustellen, während die höchsten Verhältnisse zwischen Schwall und Sunk in die Zeiträume mit Niederwasser fallen. Dieser Effekt zeigt sich in der Landquart viel weniger stark ausgeprägt.



Abbildung 4. Alpenrhein bei Lustenau am 06.02.2022 bei einem Abfluss von 74 m<sup>3</sup>/s und 02.07.2022 bei einem Abfluss von 250 m<sup>3</sup>/s.

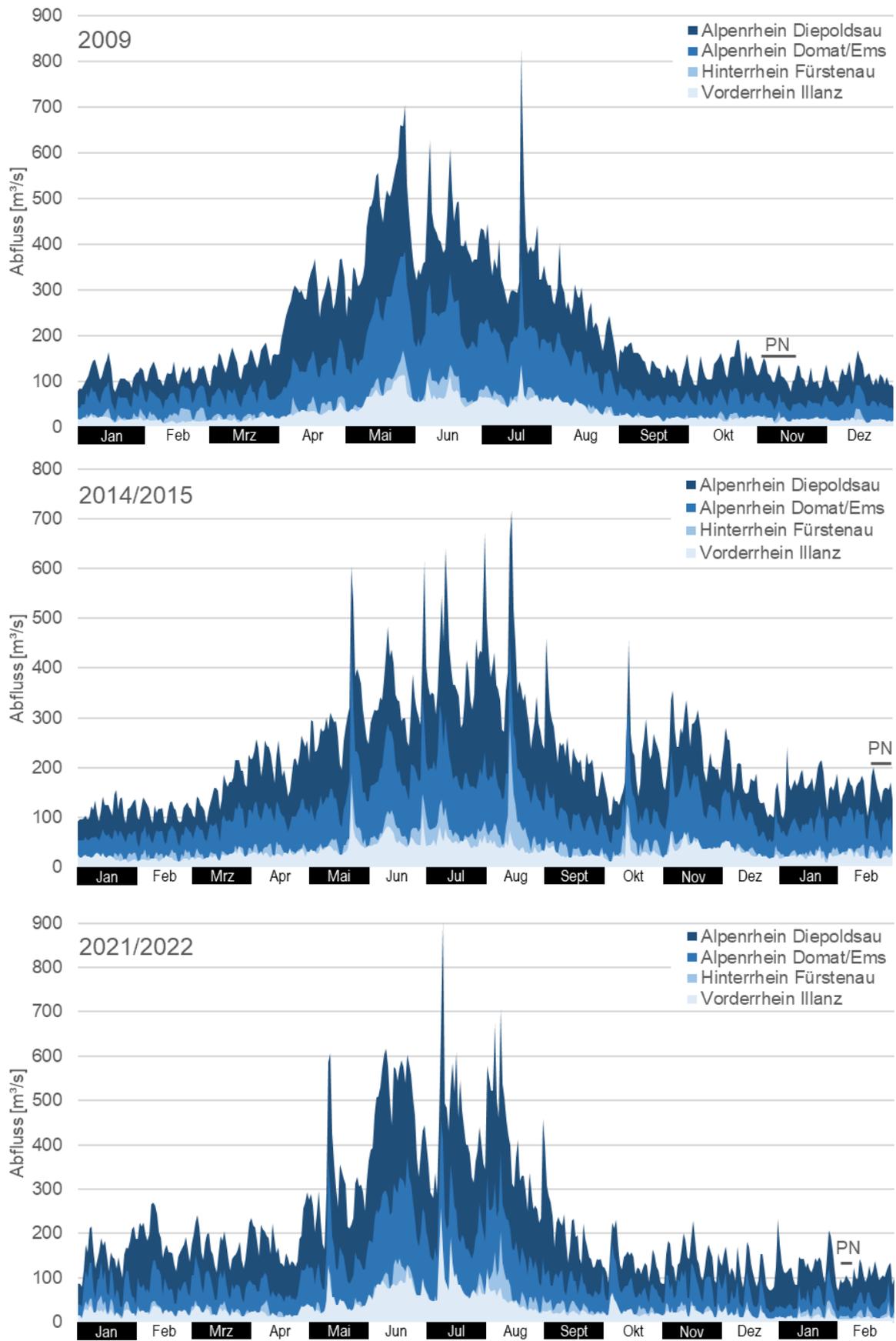


Abbildung 5. Entwicklung der Abflüsse in [m³/s] an den Pegeln Illanz (Vorderrhein), Fürstenau (Hinterrhein), Domat/Ems und Diepoldsau (Alpenrhein) im Untersuchungsjahr (2009) bzw. bis ein Jahr vor den Erhebungen (2015, 2022). PN... Zeitraum der Probenahmen. Quelle: www.hydrodaten.admin.ch.

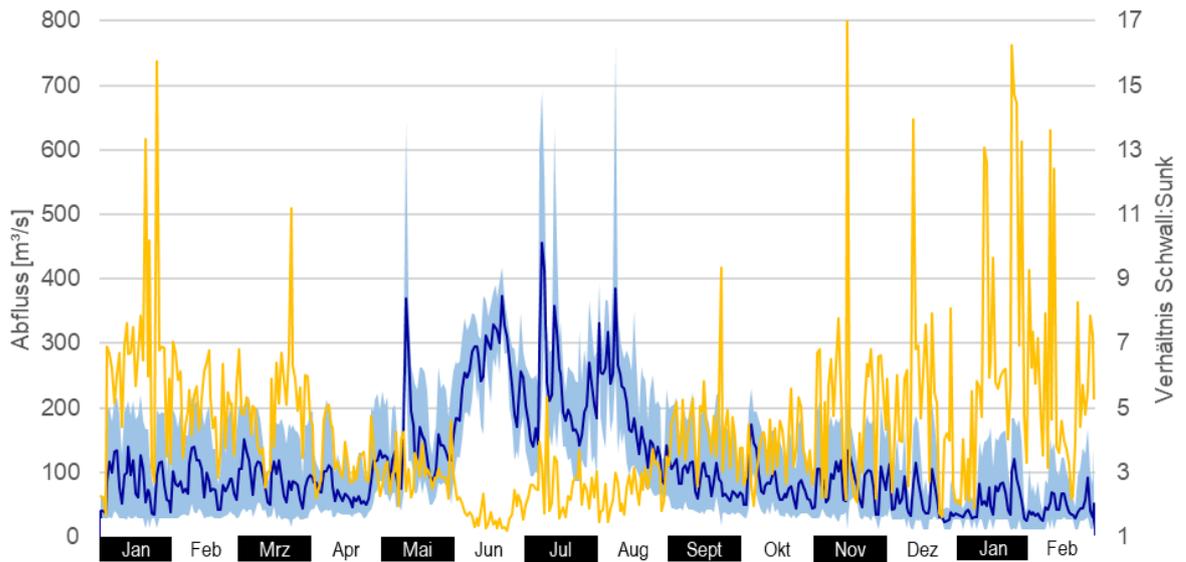


Abbildung 6. Abflussgeschehen am Pegel Alpenrhein-Domat/Ems von Jänner 2021 bis Februar 2022. Tagesmittel (dunkelblau) sowie Abflussminima und -maxima (hellblau) in [m³/s]. Verhältnis zwischen Schwall- und Sunkabfluss (gelb) auf Basis der täglichen Abflussminima und -maxima.

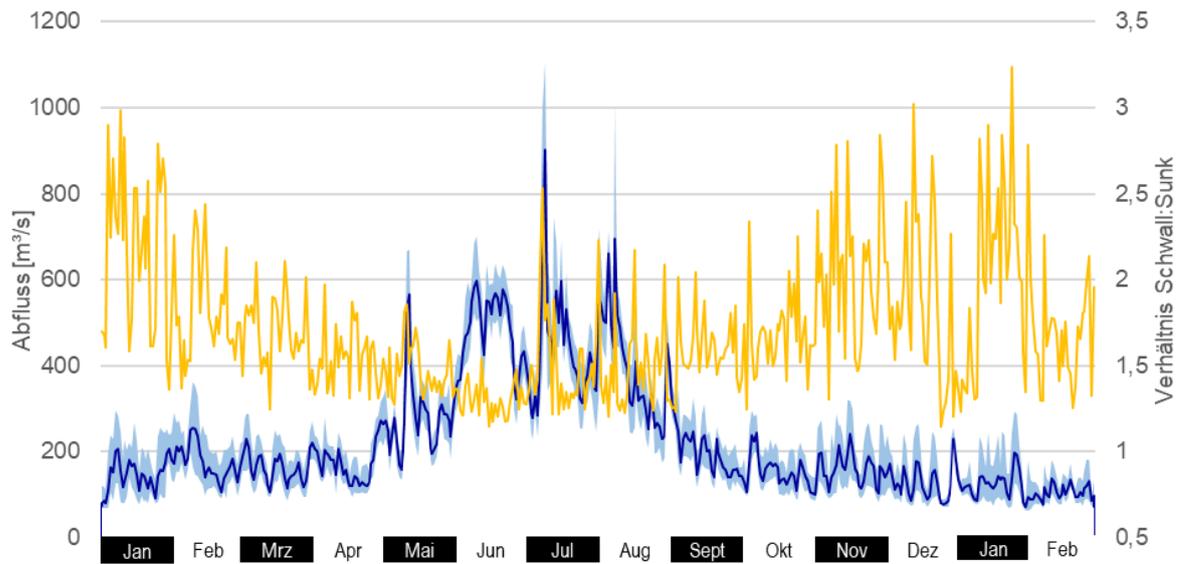


Abbildung 7. Abflussgeschehen am Pegel Alpenrhein-Lustenau von Jänner 2021 bis Februar 2022. Tagesmittel (dunkelblau) sowie Abflussminima und -maxima (hellblau) in [m³/s]. Verhältnis zwischen Schwall- und Sunkabfluss (gelb) auf Basis der täglichen Abflussminima und -maxima. Quelle: <https://vowis.vorarlberg.at/stationswrapper/abfluss>.

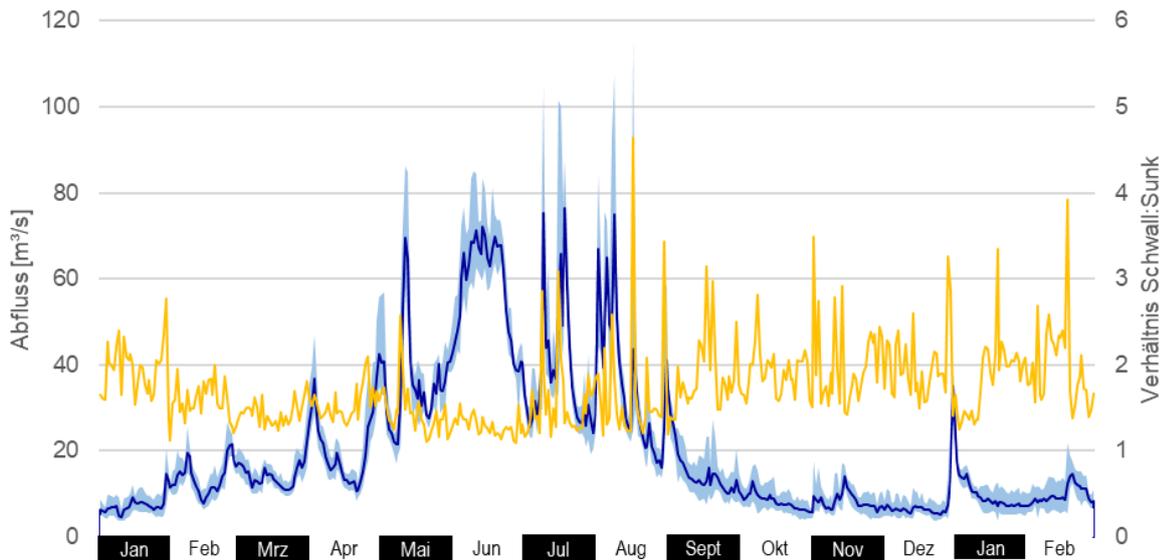


Abbildung 8. Abflussgeschehen am Pegel Landquart-Felsenbach von Jänner 2021 bis Februar 2022. Tagesmittel (dunkelblau) sowie Abflussminima und -maxima (hellblau) in [m³/s]. Verhältnis zwischen Schwall- und Sunkabfluss (gelb) auf Basis der täglichen Abflussminima und -maxima.

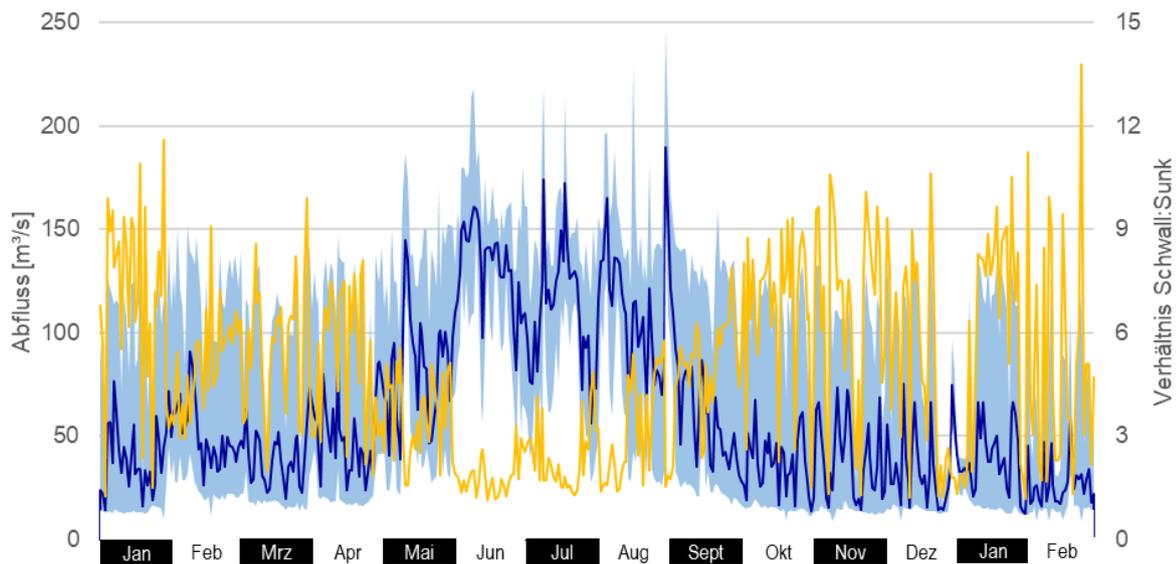


Abbildung 9. Abflussgeschehen am Pegel Ill-Giesingen von Jänner 2021 bis Februar 2022. Tagesmittel (dunkelblau) sowie Abflussminima und -maxima (hellblau) im [m³/s]. Verhältnis zwischen Schwall- und Sunkabfluss (gelb) auf Basis der täglichen Abflussminima und -maxima.

Die Entwicklung der Wassertemperatur von Ilanz im Vorderrhein bis zum Pegel Diepoldsau im Alpenrhein für die einzelnen Untersuchungsjahre vor den jeweiligen Probenahmen ist in Abbildung 10 dargestellt. Die mittlere Zunahme der Wassertemperatur von Ilanz bis Diepoldsau beträgt im Jahr vor der Probenahme rund 2 °C.

Aufgrund der zum Teil bis in den Hochsommer anhaltenden Schneeschmelze erreichte der Alpenrhein im Jahr 2022 seine höchsten Temperaturwerte von Mitte Juli bis Ende September, wobei die niedrigsten Wassertemperaturen analog zur Lufttemperatur von Dezember bis Februar aufgezeichnet wurden. Ein ähnliches Temperaturregime war in den Jahren 2014/15 sowie 2009 zu beobachten.

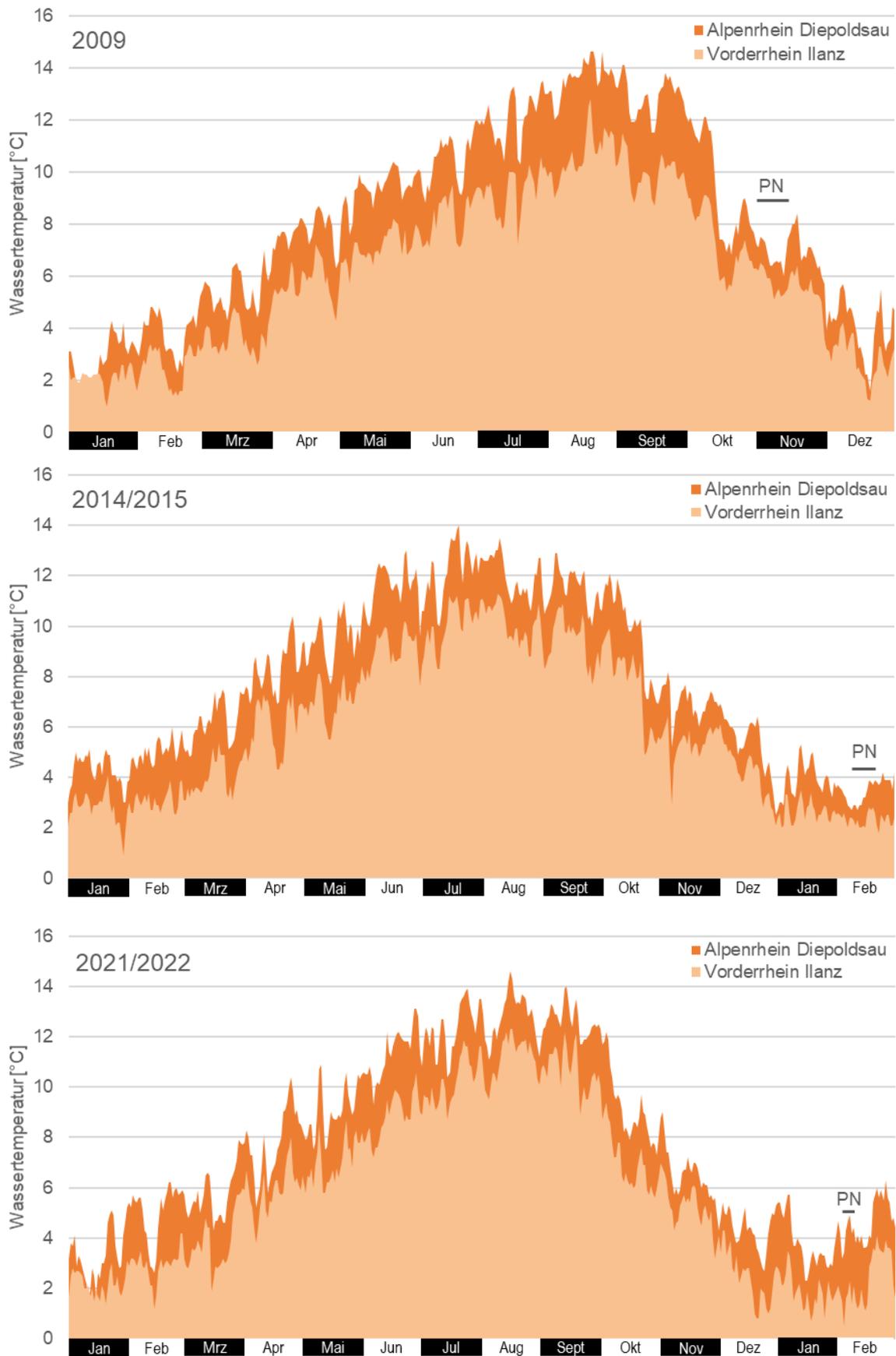


Abbildung 10. Entwicklung der Wassertemperaturen in [°C] an den Pegeln Ilanz (Vorderrhein) und Diepoldsau (Alpenrhein) im Untersuchungsjahr (2009) bzw. bis ein Jahr vor den Erhebungen (2015, 2022). PN... Zeitraum der Probenahmen.



## FAKTEN: HYDROLOGIE & WASSERTEMPERATUR

- ◆ Der Abfluss am Alpenrhein zeigt einen Jahresgang mit erhöhten Abflüssen im Sommerhalbjahr, einem ausgeprägten Abflussmaximum im Juni sowie anhaltenden Niederwasserabflüssen im Winterhalbjahr.
- ◆ Die aktuellen Aufnahmen fanden im Februar 2022 während einer Niederwasserphase statt.
- ◆ Durch den Schwallbetrieb zur Stromproduktion kommt es zu künstlichen Abflussschwankungen im Tagesverlauf.
- ◆ Der Schwalleinfluss nimmt im Längsverlauf ab, das Verhältnis zwischen Schwall- und Sunkabfluss ist im Hinterrhein bei Bonaduz (18:1), im Vorderrhein bei Reichenau und im Alpenrhein bei Haldenstein am größten, bei Lustenau (3,3:1) am geringsten.
- ◆ Auch die Zubringer Ill (13,5:1) und Landquart (4,5:1) sind stark durch den Schwallbetrieb geprägt.
- ◆ Thermopeaking ist eine Folge des Schwallbetriebs und bezeichnet die Veränderung der Wassertemperatur mit dem Abarbeiten von gespeichertem Wasser zur Stromproduktion. Im Sommer kann es im Vergleich zum natürlichen Jahresrhythmus zu „kalten“ - und im Winter zu „warmen“ Schwallereignissen kommen.

## 4 Aufwuchsalgen

### 4.1 Lebensräume der aquatischen Primärproduzenten

Aufwuchsalgen zählen wie auch Wassermoose und höhere Wasserpflanzen zu den aquatischen Primärproduzenten, da sie als Photosynthese betreibende Organismen aus anorganischen Stoffen mit Hilfe von Sonnenlicht Biomasse aufbauen. Damit stellen sie die Grundlage der Nahrungskette dar und geben zudem Sauerstoff an das Gewässer ab. Aufwuchsalgen können als Makroalgen in Form von Fäden, Zotten oder Pusteln, aber auch als flache, unscheinbare Überzüge wahrgenommen werden.

Die Gruppe der Aufwuchsalgen, auch Phytobenthos genannt, umfasst eine Vielzahl an verschiedenen Arten, die an unterschiedlichste Bedingungen hinsichtlich Strömung, Licht, Nährstoffe und anderer chemisch-physikalischer Parameter angepasst sind. Es können daher auch innerhalb eines Gewässers verschiedenste Bereiche zwischen reißender Strömung und stehenden Bereichen, lichtdurchfluteten oder stark beschatteten Stellen besiedelt werden. Weitgehend oder auch gänzlich aufwuchsfreie Zonen sind vorwiegend dort zu finden, wo es aufgrund hoher Strömungsgeschwindigkeiten zu häufigen Umlagerungen des Sediments kommt.

In der vorliegenden Untersuchung erfolgte die Besammlung der Kieselalgen im Hauptchoriotop und gut durchströmten, aber noch bewatbaren Bereich, während die Nicht-Kieselalgen im gesamten zugänglichen Bereich jeder Probenstelle erhoben wurden (Pfister & Pipp, 2018). Demnach finden hier auch randliche, teilweise strömungsarme Bereiche, Feinsediment sowie Einzelblöcke Berücksichtigung.

Besonders bei den makroskopisch auffälligen Algenbeständen kann eine deutliche Zonierung im Gewässerquerschnitt beobachtet werden. Während im stark überströmten Bereich die Goldalgen *Hydrurus foetidus* und *Phaeodermatium rivulare* starke Bestände entwickeln, sind im randlichen Bereich, wo schwallbedingt starke Wasserstandschwankungen herrschen, die Grünalge *Ulothrix zonata* sowie die Rotalge *Bangia atropurpurea* zu finden, da diese die Phasen der Austrocknung gut überstehen können (Abbildung 11). In natürlichen Systemen sind sie für die Wellenschlagzone bzw. Spritzwasserbereiche charakteristisch, während die genannten Goldalgen stets an hohe Strömungsgeschwindigkeiten gekoppelt sind. Ein ähnliches Bild wurde bereits im Jahr 2001 im Rahmen von Transektuntersuchungen festgestellt (Moritz & Pfister, 2001). Die Habitatvielfalt im Alpenrhein ist aufgrund der Regulierung im Vergleich zu einem natürlichen Flusssystem stark reduziert und wird vom stark überströmten Hauptchoriotop sowie den schwallbeeinflussten Wasserwechselzonen geprägt.

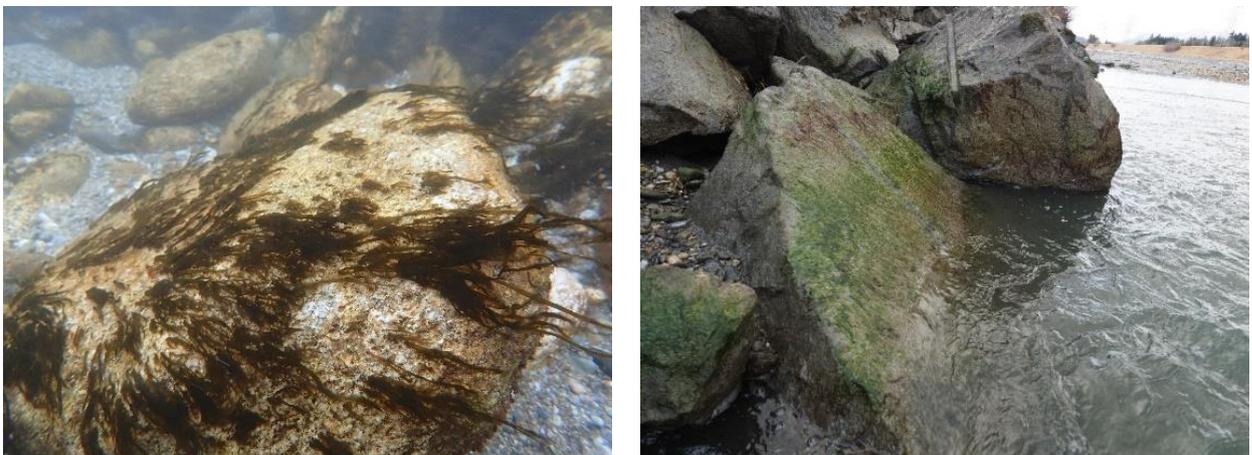


Abbildung 11. links: *Hydrurus foetidus* auf einem Stein in der Strömung an der Stelle Vorderrhein-oberhalb Illanz. rechts: in Sunkphase trocken gefallener Blockwurf mit typischer Zonierung von *Bangia atropurpurea* (roter Streifen oben) und *Ulothrix zonata* (grüne Fläche) im Alpenrhein bei Bangs.



**FAKTEN: LEBENSÄRÄUME DER ALGEN**

- ◆ Algen besiedeln verschiedenste Zonen eines Gewässers.
- ◆ Verschiedene Arten bevorzugen unterschiedliche Bedingungen vor allem hinsichtlich Licht, Temperatur, Strömung, Nährstoffe und chemischer Parameter.
- ◆ Goldalgen charakterisieren ständig überflossene Bereiche mit starker Strömung.
- ◆ Grünalgen und Rotalgen sind besonders im Bereich der schwallbedingten Wasserstandsschwankungen zu finden.

**4.2 Aufwuchsdeckung und Taxazahlen**

Die Gesamtdeckung der Aufwuchsalgen liegt zwischen 35 % und 90 %, wobei die höchsten Werte im Vorderrhein an der nicht schwallbeeinflussten Restwasserstrecke in Illnau, aber auch in der Landquart zu finden sind. In der Landquart herrscht zwar Schwallbetrieb, jedoch ist hier keine eingetiefte Strömungsrinne, sondern ein eher gleichmäßiges Tiefen-Querprofil ausgebildet. Im Alpenrhein werden die niedrigsten Deckungswerte bei Triesen und Lustenau festgestellt, da hier nur wenige Bereiche zu finden sind, die auch im Sunk flach überronnen sind. Besonders in Triesen fällt die Schotterbank relativ steil zur Hauptströmungsrinne hin ab. Auch in der Ill ist eine niedrige Gesamtdeckung festzustellen. Der geringe Deckungsgrad im Liechtensteiner Binnenkanal ist hingegen nicht auf hydrologischen Stress, sondern auf den starken Bewuchs von Wasserpflanzen (Makrophyten) zurückzuführen.

An den untersuchten Stellen im Alpenrhein und dessen Zubringern können aktuell nach Österreichischer Untersuchungsmethode insgesamt 186 verschiedene Algentaxa festgestellt werden. Die Anzahl pro Untersuchungsstelle liegt zwischen 43 (Haldenstein) und 74 (Lustenau), als besonders taxareich erweist sich der Liechtensteiner Binnenkanal mit 126 Taxa (Abbildung 12). Nach Schweizer Methode liegen die Taxazahlen lediglich zwischen 11 (Vorderrhein Reichenau) und 42 (Liechtensteiner Binnenkanal), was dem üblichen Bereich für Schweizer Fließgewässer von 10-50 Taxa entspricht (Hürlimann & Niederhauser, 2007). Im

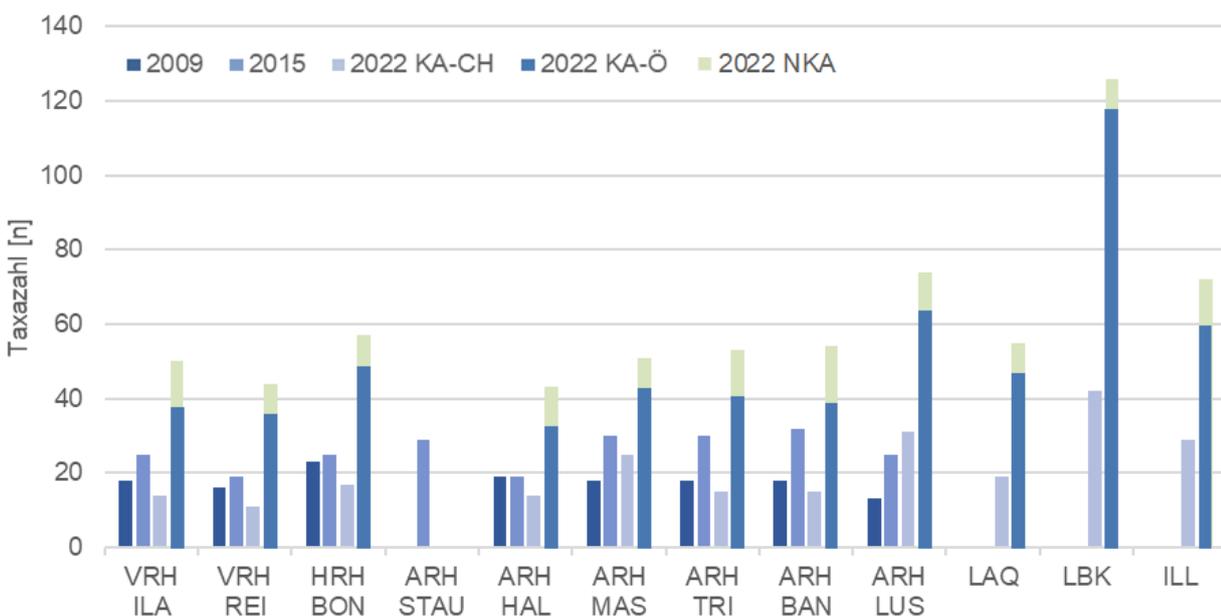


Abbildung 12. Taxazahlen der Kieselalgen an den Probenstellen des Basismonitorings Alpenrhein in den Jahren 2009, 2015 und 2022 (blaue Balken). KA-CH Anzahl Kieselalgentaxa nach Schweizer Methode. KA-Ö Anzahl Kieselalgentaxa nach Österreichischer Methode. Anzahl der Nicht-Kieselalgen im Untersuchungsjahr 2022 (grüne Balken).

Vorder- und Hinterrhein sowie im Alpenrhein an den Stellen Haldenstein, Triesen und Bangs ist auf Basis der Kieselalgen im Vergleich zu den vorangegangenen Untersuchungen der Jahre 2009 und 2015 ein Rückgang festzustellen, während der Wert bei Mastrils zwischen jenem aus 2009 und 2015 liegt und in Lustenau ein kontinuierlicher Anstieg der Taxazahl zu erkennen ist (Abbildung 12).

Entsprechend der Österreichischen Methode zur Zustandsbewertung wurde aktuell auch die Gruppe der Nicht-Kieselalgen erhoben, wobei hier pro Stelle acht bis 15 Taxa aus fünf verschiedenen Algengruppen hinzukommen.

Insgesamt lässt sich im Längsverlauf kein deutliches Muster erkennen, auch starke morphologische und hydrologische Unterschiede (z.B. Ilanz, Mastrils, Triesen) spiegeln sich nicht in einer Veränderung der Taxazahlen wider.

#### FAKTEN: AUFWUCHSDECKUNG & TAXAZAHLEN

- ◆ Die Gewässersohle an den Untersuchungsstellen ist zu 35 % bis 90 % von Algen bewachsen.
- ◆ Stark besiedelt werden Stellen, die auch im Sunk flach überronnen sind.
- ◆ In der Hauptströmungsrinne ist der Algenaufwuchs durchwegs deutlich geringer.
- ◆ Insgesamt ist eine hohe Artenvielfalt festzustellen: nach Österreichischer Methode können 186 Algentaxa, nach Schweizer Methode 76 Taxa differenziert werden. Die abweichenden Taxazahlen sind auf unterschiedliche Zählweisen der Kieselalgen zurückzuführen.
- ◆ Die artenreichste Stelle mit 126 Taxa ist jene im Liechtensteiner Binnenkanal, einem künstlichen Gewässer. Hier treten verstärkt Taxa auf, die ein höheres Nährstoffniveau widerspiegeln.
- ◆ Der Vergleich der Kieselalgenzönosen mittels Schweizer Methode der Untersuchungsjahre 2009, 2015 und 2022 zeigt deutliche Schwankungen, aktuell sind die Artenzahlen vergleichsweise niedrig.
- ◆ Die Artenzahl hat keinen direkten Einfluss auf die Zustandsbewertung.

### 4.3 Artenspektrum und Zusammensetzung der Algengemeinschaften

Die Untersuchung von Aufwuchsalgengemeinschaften sieht in der Regel eine getrennte Analyse der Kieselalgen und Nicht-Kieselalgen vor. An den im vorliegenden Projekt untersuchten Stellen werden die Nicht-Kieselalgen durch die Gruppen der Blaualgen (Cyanophyceae), Goldalgen (Chrysophyceae), Grünalgen (Chlorophyceae), Rotalgen (Rhodophyta) und Gelbgrünalgen (Xanthophyceae) repräsentiert. Abbildung 13 zeigt die wichtige Bedeutung der Gold- und Grünalgen, aber auch Rotalgen sind stellenweise stark entwickelt. Die Goldalgen werden hier ausschließlich durch die zwei Taxa *Hydrurus foetidus* und *Phaeodermatium rivulare* vertreten, Rotalgen treten mit fünf Taxa (z.B. *Bangia atropurpurea*, *Audouinella hermannii*) auf. Deutlich diverser entwickelt zeigen sich die Grünalgen mit insgesamt zehn Vertretern (mit den Hauptarten *Ulothrix zonata* und *Cladophora glomerata*, in der III auch *Gongrosira incrustans*) und die Blaualgen mit 13 verschiedenen Taxa. Die im Liechtensteiner Binnenkanal dominierenden Gelbgrünalgen werden ausschließlich durch *Vaucheria* sp. vertreten.

Die Verteilung der Kieselalgen-gattungen wird in Abbildung 14 dargestellt. Deutlich sichtbar ist die Dominanz der Gattung *Achnantheidium* an allen untersuchten Stellen, wobei diese vorwiegend durch *A. minutissimum* Gruppe und *A. pyrenaicum* vertreten wird. Beide Taxa sind typische Vertreter in höher gelegenen Gewässern mit geringer organischer und anorganischer Belastung. An der Stelle Triesen tritt nahezu gleich stark die Gattung *Gomphonema* in Erscheinung. Diese wird vorrangig von *G. pumilum* Gruppe und *G. tergestinum* dominiert, welche im Österreichischen Bewertungssystem die gleiche Einstufung wie *A. minutissimum* Gruppe aufweisen. Während die Stellen im Rhein sowie in der Landquart und der III eine durchaus ähnliche Verteilung der Gattungen aufweisen, fällt der Liechtensteiner Binnenkanal hier aus der Reihe. Die Aufwuchsalgen sind

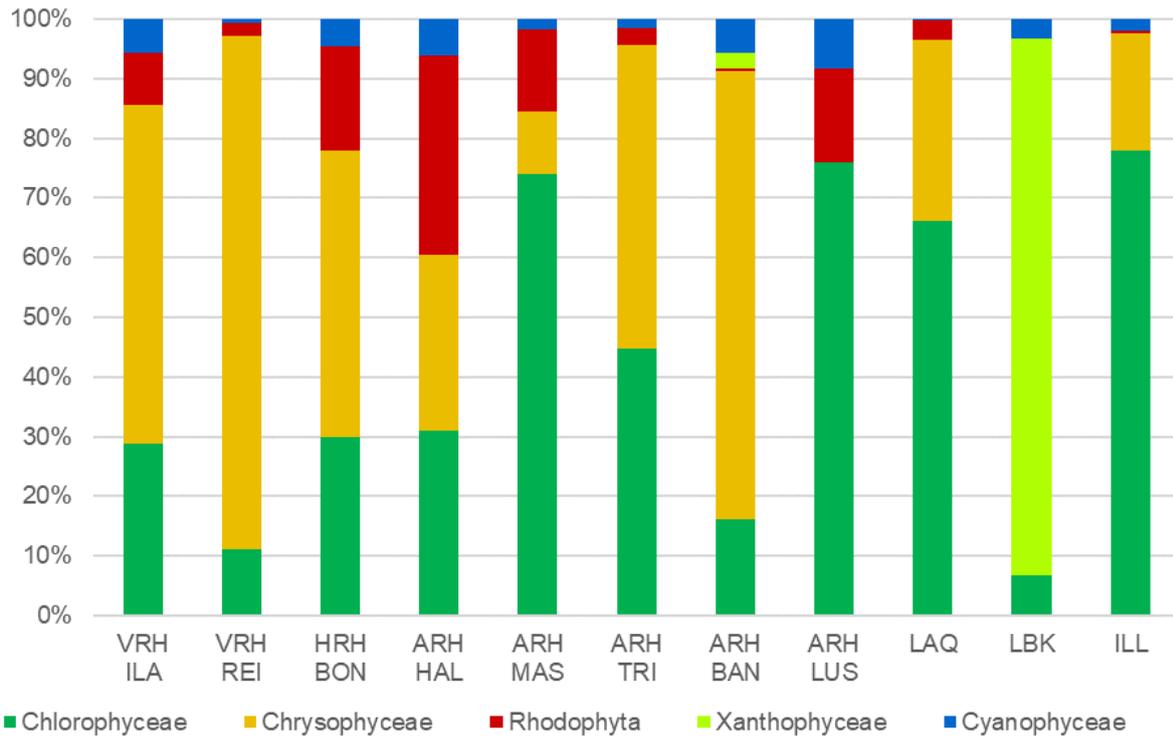


Abbildung 13. Relative Anteile [%] der Nicht-Kieselalgengruppen an den Probestellen des Basismonitorings Alpenrhein im Jahr 2022. Grünalgen (Chlorophyceae), Goldalgen (Chrysophyceae), Rotalgen (Rhodophyta), Gelbgrünalgen (Xanthophyceae) und Blaualgen (Cyanophyceae).

hier anderen Verhältnissen ausgesetzt, einhergehend mit der äußerst hohen Taxazahl ist der Anteil der Gattungen *Achnanthydium* und *Gomphonema* deutlich geringer. Die Kategorie „andere“ ist stärker entwickelt und enthält 34 Gattungen, während sie sich an den übrigen Stellen aus 14 bis 21 Gattungen zusammensetzt. Verglichen mit den Erhebungen aus dem Jahr 2009 und 2015 weist die Stelle Ilanz eine unverändert starke Dominanz der Gattung *Achnanthydium* auf, während die übrigen Stellen im Laufe der Zeit durchaus Veränderungen aufweisen. Im Jahr 2009 ist die Gattung *Gomphonema* allgemein nur schwach vertreten, während die Gattungen *Cocconeis* und *Cymbella* verstärkt ausgeprägt sind. Im Jahr 2015 ist vor allem in Reichenau, Haldenstein und Triesen die Gattung *Gomphonema* deutlich stärker ausgeprägt als 2022.

Die Betrachtung der Kieselalgen-Gemeinschaft auf Artniveau zeigt im aktuellen Befund, dass nur wenige Taxa als häufigste oder zweithäufigste Art pro Stelle auftreten (Abbildung 15). Es handelt sich dabei um *Achnanthydium pyrenaicum*, *A. minutissimum* Gruppe und *Cocconeis placentula* Gruppe. Nur in der Landquart tritt *Diatoma moniliformis* ssp. *moniliformis* als zweithäufigste Art auf.

Während die Stellen im Vorderrhein, aber auch jene in Bangs und Lustenau sowie in der Landquart, im Liechtensteiner Binnenkanal und in der Ill von einem einzigen Taxon stark dominiert werden, treten in Bonaduz, Haldenstein, Mastrils und Triesen beide *Achnanthydium*-Arten mit ähnlich hohen Anteilen auf. *Achnanthydium minutissimum* Gruppe und *A. pyrenaicum* sind beide typisch für höhere Lagen mit geringer trophischer und saprobieller Belastung, wobei *A. minutissimum* Gruppe auch tiefere Regionen besiedelt. Sie tritt demnach auch im Liechtensteiner Binnenkanal als häufigste Art auf. Beide Arten sind als Primärbesiedler in der Lage, instabilen Substrat- und Strömungsverhältnissen zu widerstehen. Die belastungstolerantere *Cocconeis placentula* Gruppe tritt im Längsverlauf erst an der Stelle Haldenstein mit nennenswerten Anteilen auf und nimmt bis Lustenau deutlich zu. Stark vertreten ist sie außerdem im Liechtensteiner Binnenkanal. Stellenweise mit Anteilen über 10 %, jedoch höchstens an dritthäufigster Stelle, sind Vertreter der Gattung *Gomphonema* (*G. tergestinum*, *G. olivaceum* var. *olivaceum*) zu finden.

Als gebietsfremde Art (Neophyt) ist die Kieselalge *Achnanthydium delmontii* zu nennen, die in der Schweiz seit 2013 beobachtet wird und vor allem in tiefen Lagen sehr hohe Individuenanteile erreichen kann (Gufler et al.,

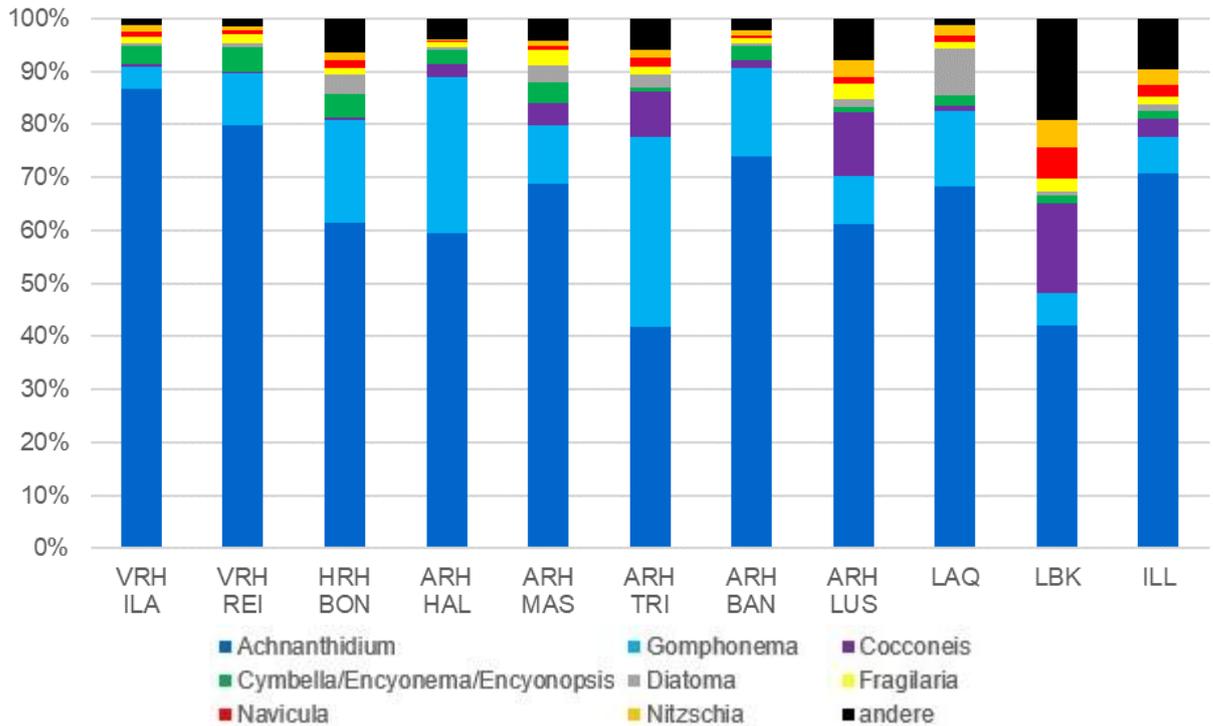


Abbildung 14. Relative Anteile [%] der Kieselalpengattungen an den Probestellen des Basismonitorings Alpenrhein im Jahr 2022 nach Österreichischer Methode.

2021). Im Alpenraum ist sie jedoch von geringerer Bedeutung, und auch in den vorliegenden Erhebungen tritt sie zwar an acht Untersuchungsstellen auf, erreicht jedoch nur relative Häufigkeiten zwischen 0,2 % und 0,6 %. Im Datensatz nach Schweizer Methode sind es nur vier Stellen mit 0,4 % bis 0,9 % relativem Anteil. *Didymosphenia geminata* und *Navicula veneta* gelten zwar auch noch als gebietsfremd, sind jedoch schon sehr lange in der Schweiz zu finden. Auch diese beiden Arten treten mit minimalen Anteilen (0,2-0,4 %) auf. Nach der Schweizer Zählmethode fällt *N. veneta* überhaupt ganz weg.

Missbildungen in der Schalenstruktur der Kieselalgen, sogenannte Teratologien, konnten an den untersuchten Stellen nur in sehr geringem Maß festgestellt werden. An drei Untersuchungsstellen wurden insgesamt vier

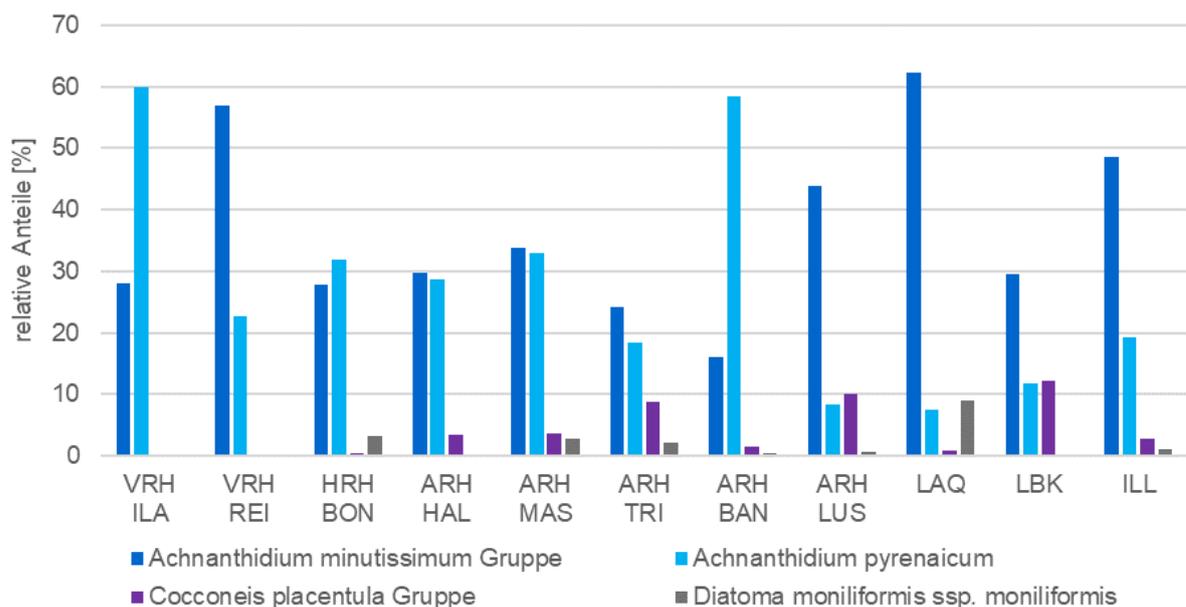


Abbildung 15. Anteile der häufigsten Kieselalgen an den Probestellen des Basismonitorings Alpenrhein nach Österreichischer Methode.



deformierte Schalen von *Diatoma moniliformis* ssp. *moniliformis* festgestellt. Der relative Anteil liegt zwischen 0,2 % und 0,4 % und liefert damit keinen Hinweis auf anthropogene Ursachen (z.B. häusliches Abwasser, hohe Ammonium- und Nitritkonzentrationen, Schwermetalle, Mikroverunreinigungen, atypisch hoher Salzgehalt). Natürliche Ursachen können z.B. erhöhte UV-Strahlung im Gebirge oder Siliziummangel sein.

Aus der Anzahl der Taxa sowie den relativen Häufigkeiten kann die Diversität H berechnet werden (Abbildung 16), wobei sich geringe Taxazahlen aber auch hohe Individuenanteile einzelner Arten negativ auf die Diversität auswirken. Untersuchungen Schweizer Fließgewässer ergeben selten Werte unter 2,00 bzw. über 4,50, meist zwischen 2,75 und 3,75 (Hürlimann & Niederhauser, 2007). Im Vergleich dazu liegen die aktuell erhobenen Werte im unteren Bereich. Besonders die Stellen im Vorderrhein, im Alpenrhein bei Bangs und in der Landquart weisen für den Schweizer Datensatz nur geringe Werte zwischen 1,5 und 2,0 auf, da hier die jeweils häufigste Art mit sehr hohen Individuenanteilen (> 60 %) vorkommt (Abbildung 15). Der Datensatz nach Österreichischer Methode ergibt aufgrund der deutlich höheren Taxazahl durchwegs auch höhere Werte für die Diversität.

Verglichen mit den Erhebungen aus den Jahren 2009 und 2015 ergeben sich im zeitlichen Verlauf gewisse Schwankungen in der Diversität (Abbildung 17). Im Jahr 2009 waren die Werte tendenziell geringer, während 2015 die höchste Diversität festgestellt wurde. Nach Schweizer Methode liegen die Werte im aktuellen Befund durchwegs unter jenen aus 2015, während nach Österreichischer Methode bei den Untersuchungsstellen Bonaduz und Haldenstein etwas höhere Wert festgestellt werden können. Insgesamt liegen die aktuellen Werte zwischen den im Jahr 2009 und 2015 erhobenen Dominanzwerten.

Die Übereinstimmung des Kieselalgen-Artenspektrums, berechnet mit dem Jaccard Index, ergibt im Paarvergleich an den untersuchten Stellen im Vorder-, Hinter- und Alpenrhein für den Schweizer Datensatz Werte zwischen 22 % (Ilanz-Lustenau) und 71 % (Haldenstein-Bangs). Der Großteil der Werte liegt, wie auch bereits im Jahr 2015, zwischen 30 % und 60 % und zeigt damit nur eine mäßig hohe Übereinstimmung im Artenspektrum an (Abbildung 18).

Für den nach Österreichischer Methode erhobenen Datensatz ergibt der Jaccard Index eine Übereinstimmung zwischen 41 % bis 64 %. Die höchsten Übereinstimmungen (> 60 %) zeigen sich zwischen den beiden Stellen im Vorderrhein Ilanz und Reichenau, sowie den benachbarten Stellen Haldenstein und Mastrils im Alpenrhein. Die geringste Ähnlichkeit (41 % bis 43 %) besteht zwischen den Stellen im Vorderrhein und der untersten

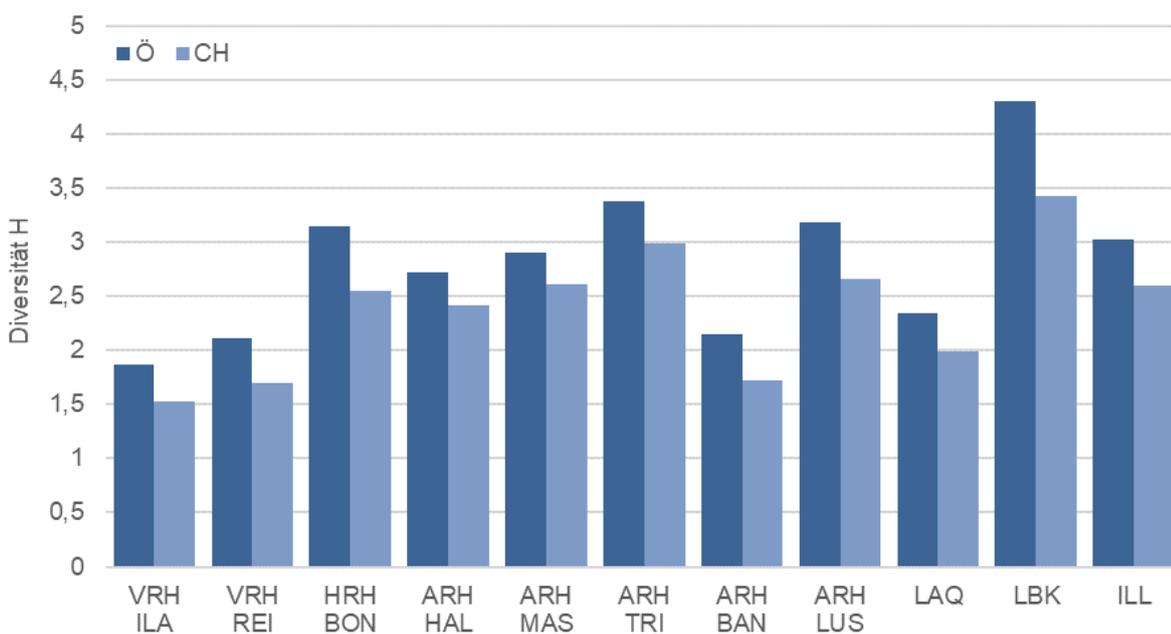


Abbildung 16. Diversität H (log Basis 2) der Kieselalgenzönosen an den Probestellen des Basismonitorings Alpenrhein nach Österreichischer Methode (Ö, dunkle Balken) und Schweizer Methode (CH, helle Balken).

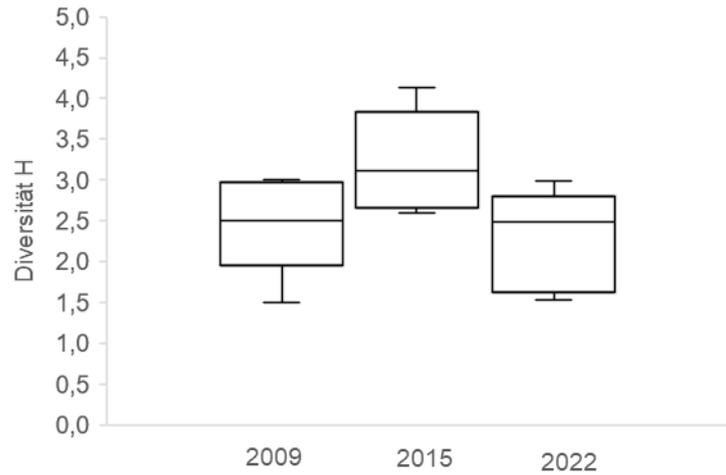


Abbildung 17. Diversität H der Kieselalgenzönosen der Untersuchungsstellen im Vorderrhein, Hinterrhein und Alpenrhein in den Jahren 2009, 2015 und 2022 nach Schweizer Methode. Die Boxplots zeigen das Minimum, das untere Quartil (25 %), den Median, das obere Quartil (75 %) und das Maximum.

Stelle im Alpenrhein Lustenau, zwischen Ilanz (Vorderrhein) und Bangs (Alpenrhein), aber auch zwischen den weniger weit voneinander entfernten Stellen Bonaduz (Hinterrhein) und Haldenstein (Alpenrhein).

Die Dominanzidentität beschreibt die Ähnlichkeit zweier Untersuchungsstellen bezogen auf die relativen Häufigkeiten der gemeinsam darin vorkommenden Arten und wird hier durch den Renkonen Index dargestellt. Es zeigen sich deutlich stärkere Schwankungen als bei der Übereinstimmung des reinen Artenspektrums und ergibt für den Österreichischen Datensatz im Bereich Vorder-, Hinter- und Alpenrhein Werte zwischen 37 % und 82 %. Demnach gibt es Stellen mit sehr ähnlichen aber auch mit sehr unterschiedlichen Dominanzstrukturen, was vor allem durch Massenvorkommen weniger Arten (z.B. *Achnantheidium minutissimum* Gruppe, *A. pyrenaicum*) beeinflusst wird. Der größte Unterschied in der Dominanzstruktur herrscht zwischen den benachbarten Stellen Bangs und Lustenau, da in Bangs ein für diesen Abschnitt ungewöhnlich hoher Anteil an *A. pyrenaicum* auftritt. Ein ähnlich hoher Anteil dieser Art tritt nur in Ilanz auf, demnach kann auch die höchste Ähnlichkeit (82 %) zwischen Bangs und Ilanz festgestellt werden.

Da der Unterschied zwischen dem Österreichischen und dem Schweizer Datensatz auf zusätzlichen Einzelfunden beruht, die häufigsten Arten aber in gleicher Weise abgebildet werden, zeigt auch der Renkonen



Abbildung 18. Paarvergleiche zur Ähnlichkeit zwischen den Untersuchungsstellen im Vorderrhein, Hinterrhein und Alpenrhein auf Basis der Schweizer Methode. Ähnlichkeitsindices nach Jaccard (1901) und Renkonen (1938).



Index hier keine wesentlichen Unterschiede an. Verglichen mit den Erhebungen aus dem Jahr 2015 liegt der Großteil der Werte unverändert zwischen 40 % und 80 %.

Vergleicht man die Kieselalgenzönose der Stelle Illanz mit allen unterhalb gelegenen Stellen, so werden großteils Ähnlichkeiten zwischen 30 % und 70 % festgestellt (Abbildung 19). Der Jaccard Index ist im aktuellen Befund zwischen Illanz und Reichenau deutlich höher als 2015, der Vergleich zwischen Illanz und den übrigen Stellen ergibt jedoch durchwegs Werte unter 60 %. Der Schweizer Datensatz zeigt für das Jahr 2022 ab Bonaduz deutlich geringere Artenübereinstimmungen mit Illanz an als 2015, der Österreichische Datensatz ergibt ähnliche Werte wie 2015. Die Dominanzstruktur der Kieselalgenzönosen (Renkonen Index) ist an den Stellen Reichenau, Bonaduz, Haldenstein und Mastrils ähnlich wie in Illanz. In Bangs liegt die Übereinstimmung zu Illanz im aktuellen Befund aufgrund der starken Entwicklung von *Achnanthydium pyrenaicum* sogar bei über 80 %. An den entfernteren Stellen Triesen und Lustenau ist sowohl im Jahr 2015 als auch 2022 eine geringere Übereinstimmung mit Illanz festzustellen.

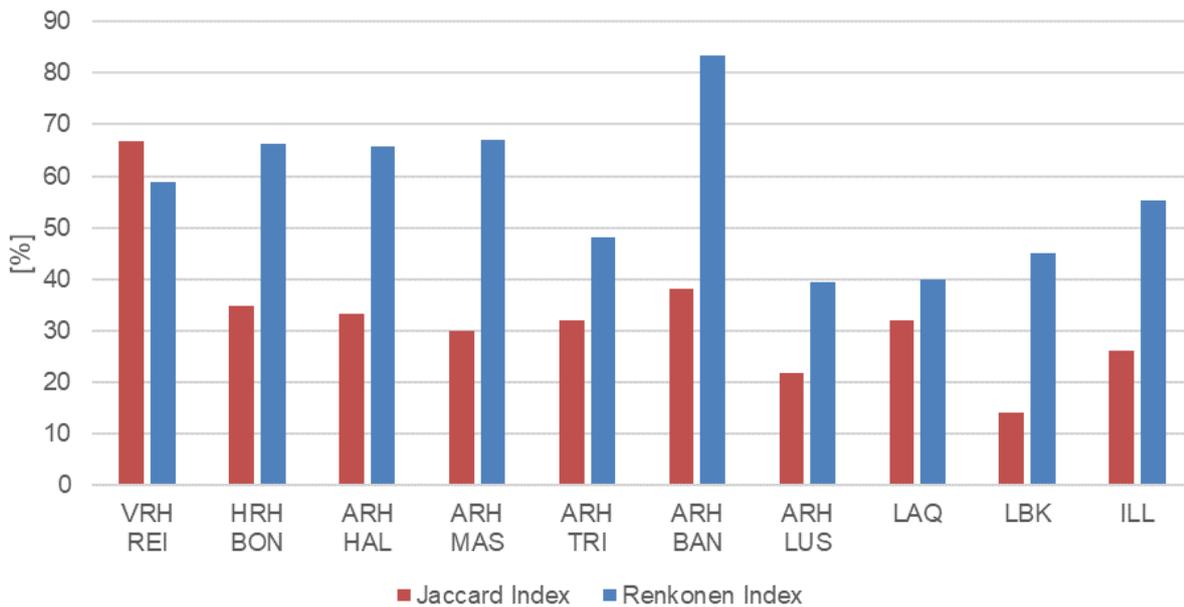


Abbildung 19. Ähnlichkeit der Kieselalgenzönosen der untersuchten Stellen mit der Stelle VRH-Illanz nach Schweizer Methode. Ähnlichkeitsindices nach Jaccard (1901) und Renkonen (1938).

### FAKTEN: STRUKTUR & ZUSAMMENSETZUNG DER ALGENGEMEINSCHAFTEN

- ◆ Die meisten Arten stammen aus der Gruppe der Kieselalgen.
- ◆ Die häufigsten Vertreter der Nicht-Kieselalgen sind Goldalgen und Grünalgen.
- ◆ Nur wenige Arten sind dominant, daraus folgt eine geringe Diversität (Shannon-Weaver Index).
- ◆ Hinsichtlich des Auftretens gemeinsamer Arten sind die Ähnlichkeiten zwischen den Untersuchungsstellen gering (Jaccard Index).
- ◆ Die Ähnlichkeiten mit Berücksichtigung der relativen Häufigkeiten sind zwischen den Stellen Bonaduz/Haldenstein/Mastrils/Triesen sowie zwischen den beiden Stellen Illanz/Bangs hoch (Renkonen Index).

### 4.4 Rote Liste Arten

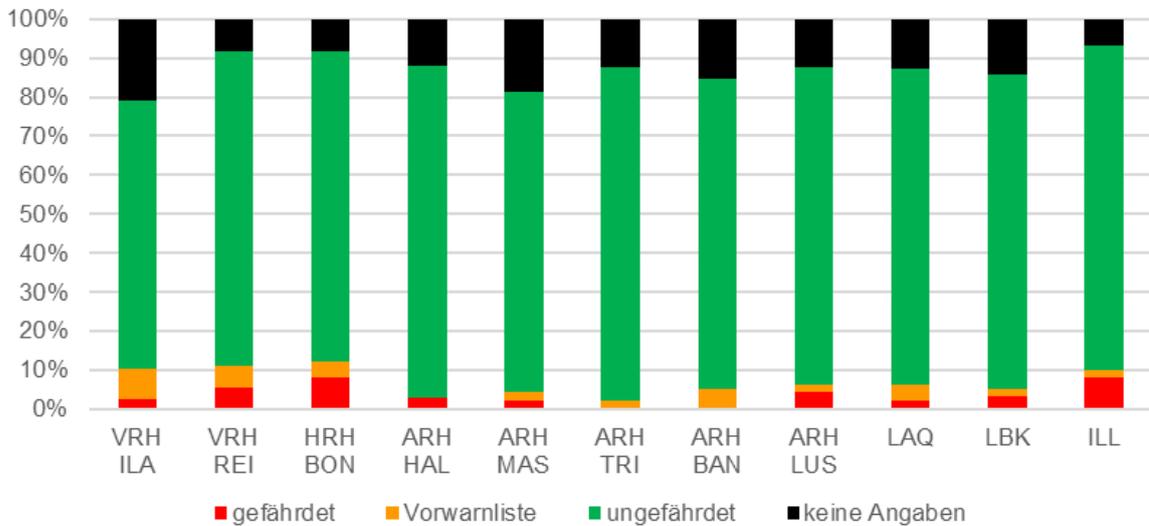


Abbildung 20. Anteil [%] der Rote Liste Arten an der Gesamttaxazahl (Kieselalgen) nach Österreichischer Methode. Einstufungen gemäß Roter Liste Deutschlands (Metzing et al., 2018).

Der Hauptanteil der insgesamt 155 festgestellten Kieselalgen gilt laut der Roten Liste Deutschlands (Metzing et al., 2018) als ungefährdet. 18 Taxa werden als gefährdet bzw. in der Vorwarnliste geführt, die genaue Auflistung ist in Tabelle 3 zu finden. Es handelt sich dabei um Einzelfunde von ein bis sechs Taxa pro Stelle. Die geringste Anzahl (ein bis zwei Taxa) weisen die Untersuchungsstellen im Alpenrhein zwischen Haldenstein und Bangs auf. Bezogen auf die Gesamttaxazahl pro Stelle liegt der Anteil der gefährdeten Taxa (inkl. Vorwarnstufe) im Vorder- und Hinterrhein sowie in der Ill über 10 % (Abbildung 20). Die vorgefundenen Taxa mit der Gefährdungsstufe „stark gefährdet“ und „gefährdet“ gelten aus saprobieller und trophischer Sicht durchwegs als sehr sensibel. Nach der Schweizer Kieselalgenmethode können lediglich in Mastrils, Lustenau sowie im Liechtensteiner Binnenkanal gefährdete Arten festgestellt werden, weiters sind bei Illanz, Reichenau, Ill und Liechtensteiner Binnenkanal Arten der Vorwarnliste zu finden.

Tabelle 3. Kieselalgen und ihr Gefährdungsstatus gemäß der Roten Liste Deutschlands, relative Häufigkeiten nach der Österreichischen Methode.

Taxon	VRH ILA	VRH REI	HRH BON	ARH HAL	ARH MAS	ARH TRI	ARH BAN	ARH LUS	LAQ	LBK	ILL
<b>stark gefährdet</b>											
<i>Navicula dealpina</i>								0,2		0,2	
<i>Navicula praeterita</i>											0,2
<b>gefährdet</b>											
<i>Cymbella excisiformis</i>			0,2								0,2
<i>Delicata delicatula</i>								0,2			0,2
<i>Eunotia arcubus</i>										0,2	
<i>Fragilaria amphicephaloides</i>		0,2									0,2
<b>Gefährdung unbekanntes Ausmaßes</b>											
<i>Cymbella parva</i>			0,2								
<i>Cymboplectra amphicephala</i>										0,2	
<i>Epithemia goeppertiana</i>											0,4
<i>Eunotia boreoalpina</i>			0,2								
<i>Fragilaria austriaca</i>	0,2	0,2		0,2	0,2			0,2	0,2		0,2
<i>Navicula splendidula</i>			0,2								
<b>Vorwarnliste</b>											
<i>Eucocconeis laevis</i>		0,2	0,2							0,2	0,4
<i>Gomphonema lateripunctatum</i>							0,2				
<i>Hannaea arcus</i>	0,2	0,2	0,2		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	
<i>Nitzschia acidoclinata</i>	0,2										
<i>Nitzschia dissipata var. media</i>									0,2		
<i>Psammothidium subatomoides</i>	0,2										
Anzahl gesamt	4	4	6	1	2	1	2	4	3	6	6



**FAKTEN: ROTE LISTE ARTEN**

- ◆ Nach der Roten Liste Deutschlands erreichen insgesamt 18 Kieselalgentaxa eine Gefährdungsstufe bzw. die Vorwarnliste.
- ◆ Die auftretenden Taxa mit dem Gefährdungsstatus „stark gefährdet“ und „gefährdet“ gelten hinsichtlich Trophie und Saprobie als sensibel.

**4.5 Gewässergüte und Ökologischer Zustand**

**4.5.1 Österreichische Methode**

Die ökologische Zustandsbewertung durch das Qualitätselement Phytobenthos umfasst in der Österreichischen Methode alle benthischen Algengruppen und basiert auf den drei Bewertungsmodulen Saprobie, Trophie und Referenzarten (siehe Kapitel 2.3.3). Als Grundlage der Bewertung fungiert die Abweichung des vorgefundenen Zustands vom Referenzzustand, wobei sich dieser je nach Fließgewässertyp und Bioregion unterscheidet. Im vorliegenden Projekt werden die Untersuchungsstellen im Vorderrhein, Hinterrhein, in der Landquart und im Alpenrhein bis inklusive Mastrils der Bioregion „Unvergletscherte Zentralalpen“ zugerechnet, die Stellen im Alpenrhein von Triesen bis Lustenau mit der Kategorie „Große Flüsse Rhein“ und die Stellen in der Ill und im Liechtensteiner Binnenkanal mit „Vorarlberger Alpenvorland“ berechnet (siehe Kapitel 2.3). Im Liechtensteiner Binnenkanal erfolgen die Berechnungen ausschließlich auf Basis der Kieselalgenzönose, da durch massive *Vaucheria*-Bestände der Anteil an sp.-Taxa innerhalb der Nicht-Kieselalgen für eine methodenkonforme Gesamtbewertung zu hoch ist.

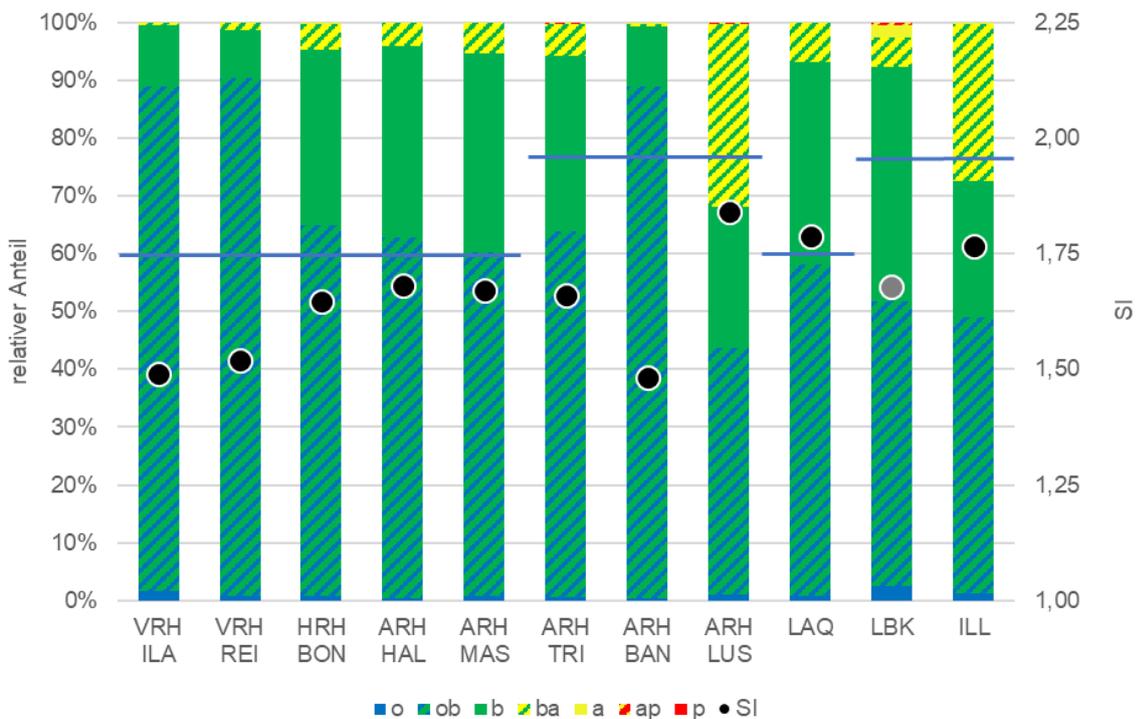


Abbildung 21. Verteilung der saprobiellen Reaktionstypen (Balken) und Saprobitätsindex (SI, Punkte) mit der jeweiligen Klassengrenze zwischen den Zustandsklassen 1 und 2 (blau). o...oligosaprob, ob...oligo- bis beta-mesosaprob, b...beta-mesosaprob, ba...beta-meso- bis alpha-mesosaprob, a...alpha-mesosaprob, ap...alpha-meso- bis polysaprob, p...polysaprob. Im Liechtensteiner Binnenkanal beruht das Ergebnis ausschließlich auf den Kieselalgen (grauer Punkt).

Hinsichtlich der saprobiellen Einstufung erreichen oligo- bis beta-mesosaprobe Reaktionstypen wie *Achnanthydium minutissimum* Gruppe, *A. pyrenaicum*, *Hydrurus foetidus* oder *Phaeodermatium rivulare* an allen Untersuchungsstellen den höchsten Anteil. Besonders auffällig ist dies im Vorderrhein sowie im Alpenrhein bei Bangs (Abbildung 21). Weiters entwickeln beta-mesosaprobe Arten nennenswerte Anteile, in der III sowie im Alpenrhein bei Lustenau sind auch beta- bis alpha-mesosaprobe Reaktionstypen (z.B. *Cladophora glomerata*) stark ausgeprägt.

Die Saprobie-Indices zeigen tendenziell einen Anstieg im Längsverlauf des Rheins, wobei die Werte von 1,49 bei Ilanz bis 1,84 bei Lustenau steigen (Abbildung 21). Eine Ausnahme bildet die Stelle Bangs aufgrund des starken Vorkommens von *A. pyrenaicum*. In der Landquart zeigt der SI mit einem Wert von 1,79 eine gewisse Verschlechterung zum saprobiellen Grundzustand (I-II) an, wobei hier die beta-mesosaprobe eingestufte *Ulothrix zonata* ausschlaggebend ist. Alle übrigen Stellen entsprechen dem jeweiligen Grundzustand und weisen auf keine erhöhten saprobiellen Belastungen hin.

Die SI für Vorderrhein, Hinterrhein und Alpenrhein bis inkl. Bangs, aber auch der Liechtensteiner Binnenkanal erreichen die Gewässergüteklasse I-II, während die Alpenrhein-Stelle Lustenau sowie die III und die Landquart bereits in der Gewässergüteklasse II liegen. Damit ergibt das Bewertungsmodul Saprobie für die Landquart den guten Zustand, für alle übrigen Stellen den sehr guten Zustand.

Die Analyse der trophischen Reaktionstypen zeigt an allen Untersuchungsstellen ein starkes Auftreten von oligo- bis mesotrophen Arten (Abbildung 22). Starke Schwankungen zeigen hingegen oligotrophe Anteile, die im Vorder-, Hinter- und Alpenrhein bis Bangs stark ausgeprägt sind, an den Stellen Lustenau, Landquart, Liechtensteiner Binnenkanal und III hingegen wesentlich schwächer. Als Hauptvertreter der oligotrophen Reaktionstypen sind *Phaeodermatium rivulare* und *Achnanthydium pyrenaicum* zu nennen. Auch mesoeutrophe Reaktionstypen mit den Hauptvertretern *Ulothrix zonata*, *Bangia atropurpurea* und *Audouinella hermannii*, erreichen vor allem in Bonaduz, Haldenstein, Mastrils, Triesen sowie in der Landquart hohe Anteile. Eu- bis polytrophe Reaktionstypen, wie z.B. *Cladophora glomerata*, *Audouinella pygmaea*, *Amphora pediculus*, *Cocconeis pediculus* oder *Navicula tripunctata* sind im Alpenrhein bei Lustenau, im Liechtensteiner Binnenkanal und in der III stark ausgeprägt. Der Liechtensteiner Binnenkanal ist die einzige untersuchte Stelle, an der auch polytrophe und hyper- bis polytrophe Arten vorkommen.

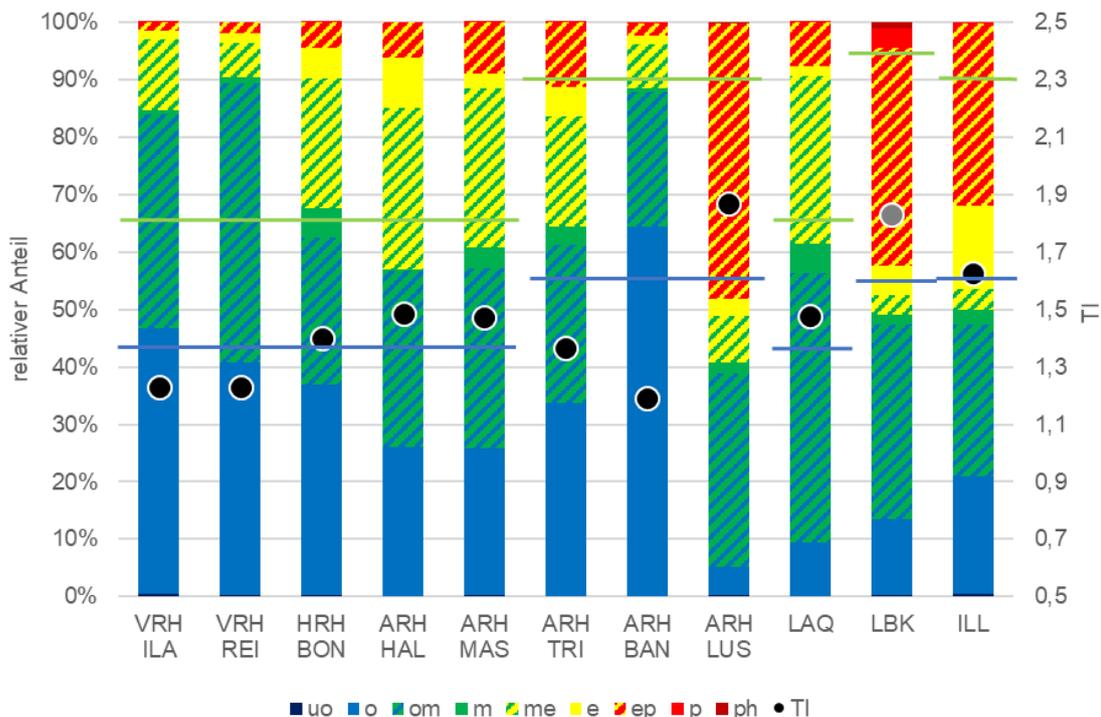


Abbildung 22. Verteilung der trophischen Reaktionstypen (Balken) und Trophieindex (TI, Punkte) mit den Klassengrenzen zwischen den Zustandsklassen 1 und 2 (blau) sowie 2 und 3 (grün). uo...ultraoligotroph, o...oligotroph, om...oligo- bis mesotroph, m...mesotroph, me...meso- bis eutroph, e...eutroph, ep...eu- bis polytroph, p...polytroph, ph...poly- bis hypertroph. Im Liechtensteiner Binnenkanal beruht das Ergebnis ausschließlich auf den Kieselalgen (grauer Punkt).



Da für die Stellen Illanz bis Mastrils sowie für die Landquart der oligo-mesotrophe Grundzustand festgelegt wurde, können nur die Stellen Illanz und Reichenau mit einem Trophie-Index von 1,23 den sehr guten Zustand erreichen. Bei Bonaduz, Haldenstein und Mastrils sowie in der Landquart liegen die Trophie-Indices zwischen 1,40 und 1,48, und ergeben bereits den guten Zustand. Ausschlaggebend dafür ist vor allem die Grünalge *Ulothrix zonata*, bei Bonaduz bewirkt jedoch *Bangia atropurpurea* die Einstufung in den guten Zustand. Die Alpenrhein-Stellen Triesen und Bangs liegen mit Trophie-Indices von 1,37 bzw. 1,19 wieder im oligo-mesotrophen Bereich und damit deutlich in der Zustandsklasse 1, während der Alpenrhein in Lustenau, der Liechtensteiner Binnenkanal und die Ill über dem mesotrophen Grundzustand und damit in der Zustandsklasse 2 liegen. Auch in Lustenau sowie in der Ill ist nur eine einzige Art für die Einstufung in den guten Zustand verantwortlich, nämlich die Grünalge *Cladophora glomerata*. Der Liechtensteiner Binnenkanal weist hingegen sowohl bei den Kieselalgen als auch bei den Nicht-Kieselalgen eine Vielzahl an Belastungszeigern auf.

Für das Modul Referenzarten wird für alle >500 m gelegenen Stellen im Rhein sowie für die Landquart die Bioregion „Unvergletscherte Zentralalpen“ zugrunde gelegt. Die stromab gelegenen Stellen im Alpenrhein (Triesen, Bangs, Lustenau) zählen bereits zur Kategorie „Große Flüsse“. Der Liechtensteiner Binnenkanal sowie die Ill werden dem „Vorarlberger Alpenvorland“ zugeordnet.

Einige der im Untersuchungsgebiet häufig auftretenden Arten gelten in der Österreichischen Bewertungsmethode als „allgemeine Referenzarten“. Dazu zählen *Achnanthydium minutissimum* Gruppe, *A. pyrenaicum*, *Hydrurus foetidus* und *Phaeodermatium rivulare*, *Bangia atropurpurea*, *Gomphonema tergestinum* oder *Gomphonema pumilum* Gruppe. *Ulothrix zonata* zählt an den <500 m gelegenen Stellen (Alpenrhein in Triesen, Bangs und Lustenau sowie Liechtensteiner Binnenkanal und Ill) als bioregions- und höhenspezifische Referenzart (VAV).

Der Anteil der Referenzartenabundanz an der Gesamtabundanz weist an den Untersuchungsstellen des Vorderrhein, Hinterrhein und Alpenrhein bis Bangs hohe Werte bis zu 97 % auf (Abbildung 23). Der Anteil der Referenzarten an der Gesamtartenzahl ist jedoch deutlich geringer, da höchstens 61 % (in der Ill) erreicht werden. Auf Basis der Referenzarten ergibt sich nur an den Alpenrhein-Stellen Triesen und Bangs, aber auch im Liechtensteiner Binnenkanal und in der Ill ein sehr guter Zustand. Alle übrigen Stellen liegen bereits in der

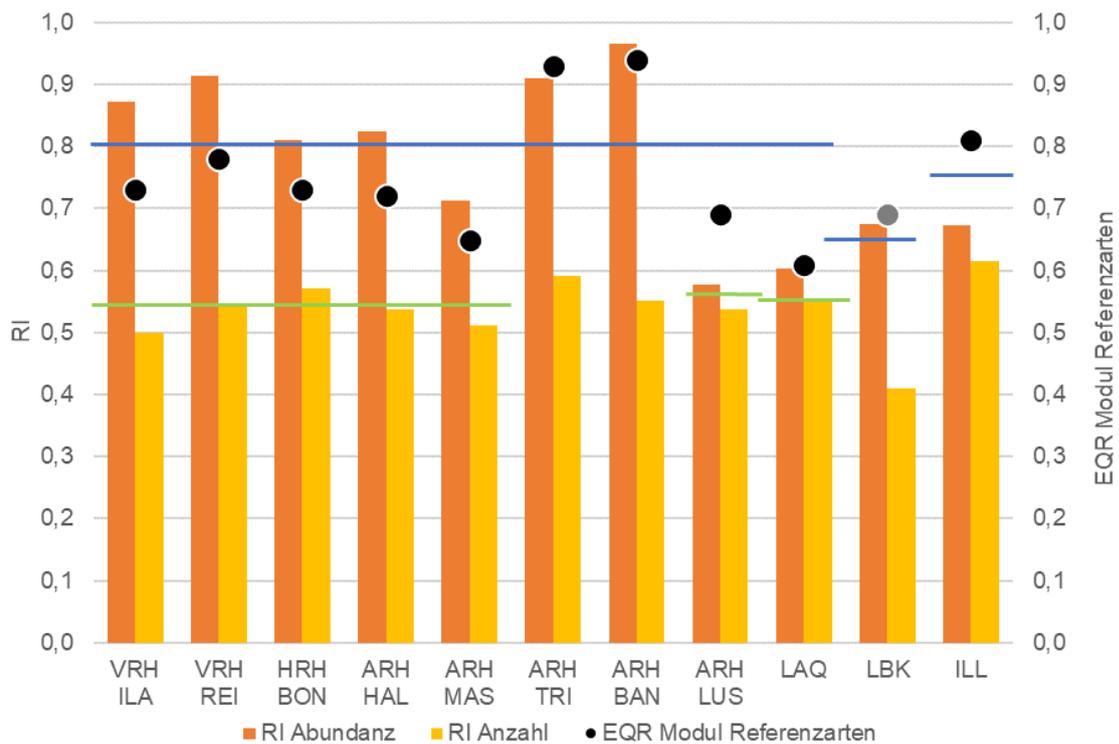


Abbildung 23. Anteil der Referenzarten hinsichtlich Abundanz (RI Abundanz) und Taxazahl (RI Anzahl) sowie EQR des Referenzartenmoduls (Punkte). Grenzen zwischen den Zustandsklassen 1 und 2 (blau) sowie 2 und 3 (grün). Im Liechtensteiner Binnenkanal beruht das Ergebnis ausschließlich auf den Kieselalgen (grauer Punkt).

Zustandsklasse 2, wobei hierfür wieder vorwiegend die Grünalge *Ulothrix zonata* verantwortlich gemacht werden kann. Nur an der Stelle Lustenau liegt es an *Cladophora glomerata*.

Die Gesamtbewertung fasst die drei Einzelmodule Saprobie, Trophie und Referenzarten schließlich zusammen und ergibt für die Untersuchungsstellen Triesen und Bangs (Alpenrhein) nach Österreichischer Methode eindeutig den sehr guten ökologischen Zustand, aber auch die Stellen Reichenau (Vorderrhein) und Illspitz (Ill) erreichen mittels methodenkonformer Aufwertung den sehr guten Zustand. An den Stellen Ilanz (Vorderrhein), Bonaduz (Hinterrhein), Haldenstein, Mastrils und Lustenau (Alpenrhein) sowie in der Landquart und im Liechtensteiner Binnenkanal wird hingegen der gute ökologische Zustand festgestellt. Es sind vor allem die beschriebenen Nicht-Kieselalgen, die hier Defizite in den Modulen Trophie und Referenzarten aufzeigen. Da die übrigen Zönosen, insbesondere die Kieselalgencommunity, keine Hinweise auf stoffliche Belastungen geben, ist anzunehmen, dass hier weniger ein trophisches Problem, also eine erhöhte Nährstoffkonzentration, ausschlaggebend ist, sondern hydraulischer Stress und strukturelle Defizite eine entsprechend angepasste Zönose bewirken. In Mastrils ist die Gesamtbewertung aufgrund des hohen Anteils eines sp.-Taxons (*Stigeoclonium* sp.) nicht gesichert, kann jedoch in der Gesamtbetrachtung, insbesondere im Vergleich mit den untersuchten Stellen im Alpenrhein als plausibel erachtet werden. Die Bewertung der Kieselalgenzönose ergibt abgesehen vom Liechtensteiner Binnenkanal durchwegs den sehr guten Zustand und deckt sich damit auch mit den Ergebnissen der Schweizer Methode.

Im Liechtensteiner Binnenkanal ist ohnehin nur eine Bewertung der Kieselalgenzönose möglich. Die Trophie zeigt hier ein deutliches „gut“ an und das Artenspektrum enthält etliche Belastungszeiger wie *Amphora pediculus*, *Cocconeis pediculus*, *Eolimna minima*, *Fallacia subhamulata*, *Halamphora montana*, *Hippodonta capitata*, *Luticola goeppertiana* oder *Navicula capitatoradiata*. Hier liefert die Zönose also durchaus Hinweise auf eine erhöhte Nährstoffzufuhr aus dem Umland.

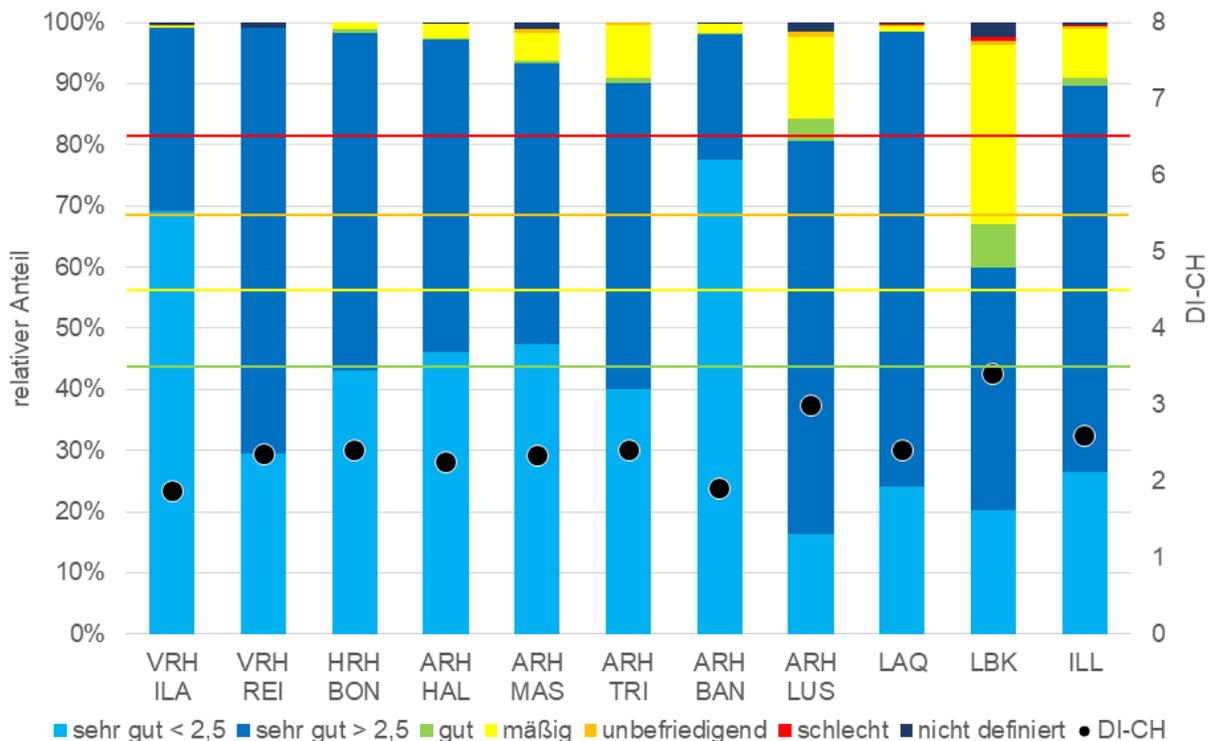


Abbildung 24. Verteilung der D-Werte (Balken) und DI-CH (Punkte). Die farbigen Linien markieren die Klassengrenzen zwischen den Zustandsklassen sehr gut/gut (grün) und gut/mäßig (gelb), mäßig/unbefriedigend (orange), unbefriedigend/schlecht (rot). Nach Schweizer Kieselalgenmethode.

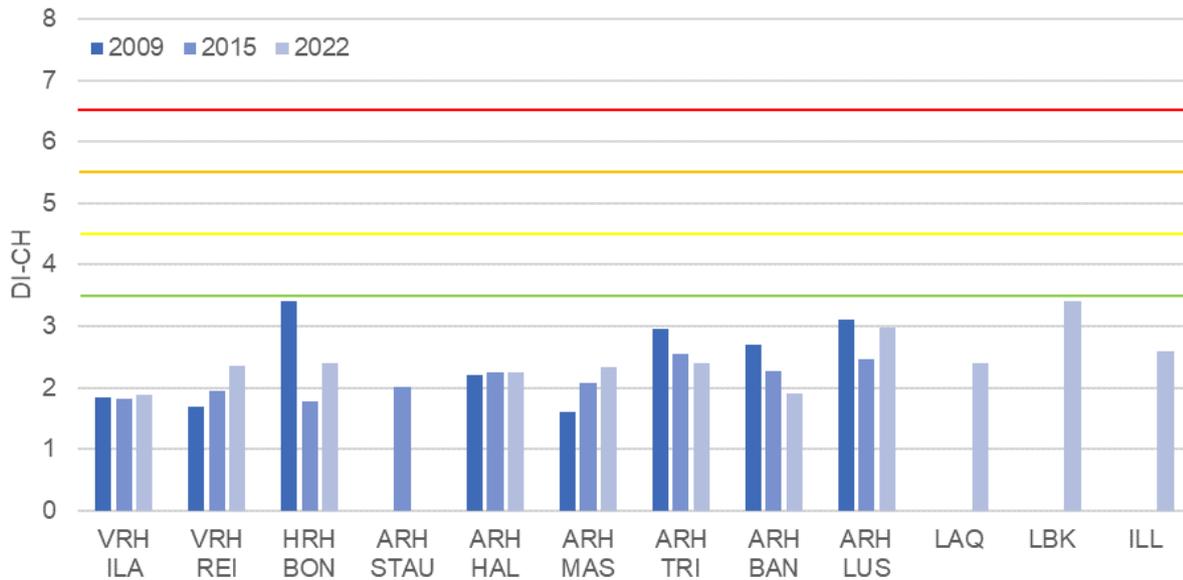


Abbildung 25. DI-CH Werte (Balken) an den Untersuchungsstellen des Basismonitorings Alpenrhein in den Jahren 2009, 2015 und 2022. Die farbigen Linien markieren die Klassengrenzen zwischen den Zustandsklassen sehr gut/gut (grün), gut/mäßig (gelb), mäßig/unbefriedigend (orange), unbefriedigend/schlecht (rot).

#### 4.5.2 Schweizer Methode

Nach Schweizer Methode ist die Untersuchung der Kieselalgen-Gemeinschaft eine Möglichkeit zur Beurteilung des biologischen Zustands von Fließgewässern. Dafür werden die Taxa nach ihren autökologischen Präferenzen eingeteilt und jeder Art wird ein Indikatorwert (D-Wert) zugewiesen. Für die Gesamtzönose kann damit der Kieselalgenindex Schweiz (DI-CH) berechnet werden.

In der vorliegenden Untersuchung zeigt die Verteilung der D-Werte pro Stelle, dass der Großteil der auftretenden Kieselalgen-Taxa mit Werten < 3,5 eingestuft sind und damit den sehr guten Zustand anzeigen (Abbildung 24). Flussabwärts ist eine Zunahme an schlechter eingestuften Taxa zu erkennen (Ausnahme Bangs), gleichzeitig steigt auch der DI-CH tendenziell an. Im Liechtensteiner Binnenkanal erreichen Taxa mit D-Werten zwischen 4,5 und 5,49 (mäßig) hohe Anteile. Der DI-CH liegt hier nur ganz knapp unter der Grenze zum guten Zustand, während für alle übrigen Stellen ganz klar der sehr gute Zustand ausgewiesen werden kann (Abbildung 25).

Im Vergleich mit Erhebungen aus den Jahren 2009 und 2015 lassen die DI-CH Werte zwar eine gewisse Schwankungsbreite erkennen, jedoch liegen die Werte in allen Untersuchungs-jahren im sehr guten Zustand.

#### FAKTEN: ZUSTANDSBERECHNUNG AUFWUCHSALGEN

- ◆ Das Phytobenthos eignet sich vor allem zur Dokumentation stofflicher Belastungen, sowohl die Österreichische als auch die Schweizer Methode ist grundsätzlich auch für große Flüsse anwendbar.
- ◆ Die Österreichische Methode weist insbesondere anhand der Nicht-Kieselalgen auf Defizite hin. Für Reichenau, Triesen, Bangs und Ill wird der sehr gute ökologische Zustand, für Ilanz, Bonaduz, Haldenstein, Mastrils, Lustenau, Landquart und Liechtensteiner Binnenkanal der gute ökologische Zustand berechnet. Die Bewertung der Kieselalgen ergibt für alle Stellen mit Ausnahme des Liechtensteiner Binnenkanals den sehr guten ökologischen Zustand.
- ◆ Die Schweizer Methode zeigt anhand der Kieselalgen wie bereits 2015 für alle Stellen im Rhein den sehr guten Zustand an.

## 5 Wirbellose Bodenfauna

Die wirbellose Bodenfauna, auch Makrozoobenthos oder Makroinvertebraten genannt, umfasst eine vielfältige Gruppe von wirbellosen Organismen, die zumindest während eines Stadiums ihres Lebenszyklus mit bloßem Auge sichtbar sind. Hierzu gehören unter anderem Insekten wie Eintagsfliegen (Ephemeroptera), Steinfliegen (Plecoptera), Köcherfliegen (Trichoptera), Käfer (Coleoptera), Wanzen (Heteroptera), Zweiflügler (Diptera) oder Libellen (Odonata), aber auch Weichtiere (Mollusken), Egel (Hirudinea), Wenigborster (Oligochaeta) und Krebstiere (Crustacea). Sie alle teilen sich den Gewässerboden von Bächen, Flüssen und Seen als Lebensraum, wobei sie entsprechend ihren Ansprüchen und der Beschaffenheit der Bettsedimente unterschiedlich tief in das Lückenraumsystem vordringen.

Dabei lassen sich zwei Gruppen unterscheiden: Hololimnische (homotope) Organismen bleiben während ihres gesamten Lebenszyklus in aquatischen Lebensräumen (Schnecken, Muscheln, Egel und Wenigborster, aber auch einige Insektengruppen wie Wanzen und Käfer), während die meisten Insektengruppen als sogenannte hemilimnische (heterotope) Organismen zwischen aquatischen und terrestrischen Lebensräumen wechseln (Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen, Libellen u.v.m.). Holometabole Insekten, wie zum Beispiel die Köcherfliegen und Zweiflügler, durchlaufen eine vollständige Metamorphose von der Larve über ein Puppenstadium zum geschlechtsreifen Adulttier (Imago). Hemimetabole Insekten, wie zum Beispiel die Eintagsfliegen und Steinfliegen, haben kein Puppenstadium. Die Larve beziehungsweise die Puppe lebt zumeist zwischen einem und maximal drei Jahren im Wasser, um danach als adultes Insekt die Übergangszone von aquatischen zu terrestrischen beziehungsweise terrestrische Lebensräume zu besiedeln. Dies dient zumeist einzig und allein der Fortpflanzung und die adulten Weibchen legen ihre Eier wiederum ins Wasser ab.

Makroinvertebraten erbringen wesentliche Ökosystemleistungen und spielen mehrere Rollen im Nahrungsnetz. Sie sind Beute für Fische, Vögel und Reptilien, können jedoch auch selbst räuberisch sein. Sie sind Konsumenten und verarbeiten organisches Material beziehungsweise zersetzen totes organisches Material. Sie spielen eine Rolle bei der Nährstoffretention im Fluss und geben weitere Nährstoffe zurück in das Wasser ab, die als Nahrungsquelle für andere Organismen dienen. Arten, wie die in unseren Breiten selten gewordenen heimischen Großmuscheln, leisten durch das Filtrieren des Wassers einen großen Beitrag zur Gewässerreinigung, während Wenigborster das Sediment analog zu den uns meist bekannteren „Regenwürmern“ auflockern und mit Sauerstoff anreichern.

Makroinvertebraten werden als Bioindikatoren zur Beurteilung des ökologischen Zustands von Gewässern eingesetzt. Sie reagieren spezifisch auf eine Belastung bzw. Veränderung des Gewässers. Darüber hinaus besiedeln sie alle aquatischen Systeme, von der Quelle über Flüsse und Kanäle bis hin zu Seen, Tümpeln und Teichen. Die taxonomische Zusammensetzung sowie die Häufigkeit bestimmter Arten kann dadurch einen Einblick in die Vitalität des Ökosystems geben. Das Monitoring von Makroinvertebraten konzentriert sich nicht nur auf die stoffliche Belastung eines Systems (Saprobität), sondern auch auf die hydrologischen und morphologischen Veränderungen. So können unter anderem die Analysen der Längenzonation, der Ernährungstypen und der Strömungspräferenzen Aufschluss über die anthropogenen hydromorphologischen Einflüsse wie Aufstau, Schwall, Restwasser, Kanalisierung, Begradigung, Isolation der Au und vieles mehr geben.

### 5.1 Lebensräume der wirbellosen Bodenfauna

Der Lebensraum der wirbellosen Bodenfauna ist das sogenannte Benthos, die Gewässersohle eines aquatischen Ökosystems. Innerhalb des Benthos gibt es eine Vielzahl an Habitaten (Choriotopen, Teillebensräumen), die voneinander abgegrenzt werden können. Makrozoobenthostaxa sind im besonderen Maße an ihre Umgebung angepasst und haben zumeist einen geringen Aktionsradius, weshalb ihr Vorkommen kleinräumige Lebensraumbedingungen widerspiegelt.

Diese Lebensräume zeigen breite Facetten biotischer und abiotischer Faktoren, wie etwa die Unterscheidung in verschiedene minerogene- und organische Choriotope. (Kapitel 2.3.2, Tabelle 1, Tabelle 2).

Innerhalb der minerogenen Choriotope gibt es von den kleinsten Korndurchmessern wie dem Argillal bis zu groben Blöcken (Megalithal) und felsigem Untergrund ein breites Angebot an unterschiedlichen



Teillebensräumen. Zu den minerogenen Habitaten kommen oftmals verschiedene organische Strukturen, die ebenfalls wichtige zusätzliche Lebensräume darstellen. Diese organischen Choriotope können von lebenden bis toten Pflanzenstrukturen, Algen, Flechten, Moosen und Totholz reichen. Die Korngrößenverteilung sowie das Aufkommen von organischen Komponenten ist streng mit den hydraulischen Bedingungen im aquatischen System verknüpft. Flachlandflüsse oder allgemein Fließstrecken mit einem ruhigen, gleichförmigen Strömungsmuster weisen eher Böden mit Sand- oder Schlammablagerungen sowie Bereiche mit lebenden Pflanzen, Detritus, Genisten etc. auf, während Fließstrecken mit einem höheren Gefälle und heterogenen Strömungsmustern ein Mosaik von gröberen Substraten wie dem Mega- Makro- und Mesolithal aufweisen, wo sich nur in strömungsberuhigten Abschnitten feinere Substrate, sowie Totholz, Falllaub etc. ansammeln können. Daneben spielen Lebensraumfaktoren wie Fließgeschwindigkeit, Durchfluss, Wassertemperatur, Nährstoffaufkommen, Tiefe des Gewässers, Verbindung zum Grundwasser, Uferaufbau, Nahrungsangebot und vieles mehr eine sensible Rolle für die Verteilung der Makrozoobenthostaxa.

Weit verbreitete Arten sind an vielfältige abiotische und biotische Faktoren angepasst (euryök), aber insbesondere sensitive Arten haben ganz bestimmte Ansprüche an ihren Lebensraum (stenök).

Die Probenstellen am Vorder- Hinter- und Alpenrhein, sowie die Zuflüsse Landquart und Ill weisen eine ähnliche Lebensraumstruktur auf. Ein Großteil der Habitate kann zu den Hauptchoriotopen wie den Furten, den schnellen Rinnern sowie den Strömungsrinnen gezählt werden. Diese Habitate sind durch schnellere Fließgeschwindigkeiten und ein Substrat aus Makro- Meso- und Mikrolithal charakterisiert. Hier finden zum Beispiel die Larven der Kriebelmücken (Simuliidae) Steinoberflächen, die von rasch fließendem Wasser überströmt werden und an denen sie sich oftmals in hohen Dichten anheften. Einmal festgeklammert, richten sie ihre Fangfächer aus und filtrieren das Wasser nach geeigneter Nahrung (Abbildung 26A). Ein weiterer wichtiger Lebensraum am Alpenrhein ist das hyporheische Interstitial, das Sedimentlückensystem. In diesem können sich Interstitialbewohner wie zum Beispiel die Steinfliegenlarven der Gattung *Leuctra* vor den harschen Umweltbedingungen auf der Steinoberfläche schützen (Abbildung 26B). Die Flüsse im Rheineinzugsgebiet unterliegen dem Einfluss eines ausgeprägten Schwallbetriebes. Mit dem Schwall einhergehend führt ein erhöhter Geschiebetrieb und Schwebstoffeintrag zur Kolmation des Sedimentlückensystems (Abbildung 26C). Ein erhöhter Feinsedimenteintrag in die Sohle des Alpenrheins ist besonders für größere Interstitialbewohner ein kritischer Vorgang. Sandflächen können Lebensraum für eine Vielzahl an verschiedenen Taxa bieten, wie der Köcherfliege *Allogamus auricollis*, die nicht nur auf Sand, sondern auch auf großen Steinen, Totholz und weiteren Substraten im Rhein vorkommt (Abbildung 26D). Ein ebenso durch den Schwallbetrieb stark veränderter Lebensraum stellt die Wasserwechselzone dar. Gerade bei Flussabschnitten mit flachen und weiten Ufern wird die Wasserwechselzone um ein Vielfaches vergrößert. Mehrmals täglich wird sie durch den eintretenden Schwall überflossen und fällt beim Sunk wieder trocken (Abbildung 26E). Hierdurch können nicht nur Fische, sondern auch Makrozoobenthosorganismen stranden. In stark verbauten Abschnitten des Alpenrheins sind die Ufer durch Blockwurfsicherungen befestigt (Abbildung 26F). Auch dies ist ein anthropogen geschaffener Lebensraum, der nur von wenigen Makrozoobenthostaxa im Alpenrhein genutzt wird und somit keinen Mehrwert für die Habitatverfügbarkeit darstellt (siehe Kapitel 5.6). Auch Makroalgen wie *Hydrurus foetidus* sind an allen Probenstellen zu finden (Abbildung 26G). Sie bieten unterschiedlichsten Makrozoobenthostaxa, wie beispielsweise den Zuckmückenlarven der Gattung *Diamesa* und vielen Arten der formenreichen Unterfamilie Orthoclaadiini einen Lebensraum. Des Weiteren sind sie eine wichtige Nahrungsquelle – insbesondere, wenn sie absterben. Totholzablagerungen (Abbildung 26H) sind die Lebensgrundlage einiger Makrozoobenthostaxa und werden als Schutz, Struktur und Nahrungsquelle gebraucht. Dieses wichtige Habitat ist nur mehr lokal im Alpenrhein anzutreffen. Insbesondere die hart verbauten unteren Abschnitte weisen keinerlei Totholz auf. Der homogene Flussschlauch besitzt keine strömungsarmen Bereiche, an denen Schwemmholz oder andere organischen Materialien abgelagert und besiedelt werden können. Makrophyten fehlen im Alpenrhein aufgrund der starken hydraulischen Kräfte weitestgehend, da die meisten Makrophyten auf feinen Substraten wachsen und umlagerungsstabile Habitate benötigen. Diese Bedingungen werden im Liechtensteiner Binnenkanal erfüllt. Wie die Makroalgen bieten Makrophyten einen Lebensraum und Nahrung für unterschiedlichste Makrozoobenthostaxa (Abbildung 26I).

Der ursprüngliche, furkierende und verzweigte Alpenrhein, charakterisiert durch eine starke Verbindung zum umliegenden Auesystem und einem natürlich Abflussregime war wahrscheinlich einst Heimat einer noch weitaus artenreicheren Makrozoobenthoszönose. Viele Lebensräume und somit auch ihre Bewohner sind durch die umfassenden anthropogenen, morphologischen sowie hydrologischen Eingriffe verloren gegangen.

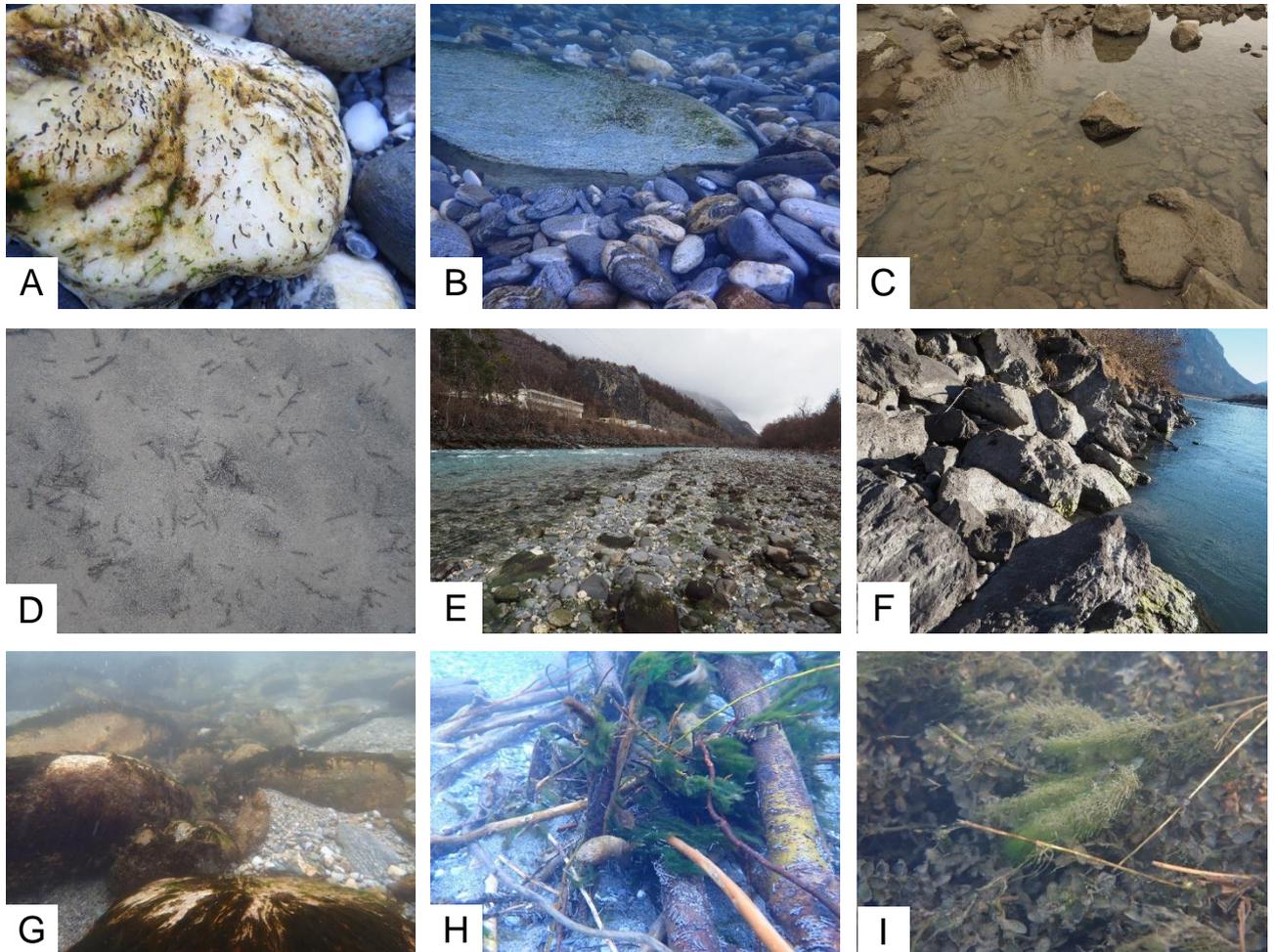


Abbildung 26. Lebensräume des Makrozoobenthos am Vorder- Hinter und Alpenrhein, sowie der Zubringer Landquart und Ill und dem Begleitgewässer Liechtensteiner Binnenkanal. Beispielbilder: A...Makrolithal mit Simuliidae (Hinterrhein, Bonaduz), B...vorwiegend Mesolithal (Vorderrhein, Illanz), C...Kolmation (Alpenrhein, Lustenau), D...Sandflächen mit *Allogamus auricollis* (Ill, Illspitz), E...Wasserwechselzone (Alpenrhein, Haldenstein), F...Ufersicherung Blockwurf (Alpenrhein, Triesen), G...*Hydrurus foetidus* (Vorderrhein, Illanz), H...Totholz (Hinterrhein, Bonaduz), I...Makrophyten (Liechtensteiner Binnenkanal).

#### FAKTEN: LEBENSÄUME DER WIRBELLOSEN BODENFAUNA

- ◆ Der Lebensraum der wirbellosen Bodenfauna ist das Benthal, die Gewässersohle eines aquatischen Ökosystems.
- ◆ Verschiedene Arten bevorzugen unterschiedliche Bedingungen hinsichtlich der minerogenen und organischen Substrate, der vorherrschenden Strömungsgeschwindigkeiten oder des Temperaturbereiches. Steigt das Angebot an unterschiedlichen Teillebensräumen, steigt auch die Biodiversität.
- ◆ Weit verbreitete Arten sind an vielfältige abiotische und biotische Faktoren angepasst (euryök), sensitive Arten haben hingegen ganz bestimmte Ansprüche an ihren Lebensraum (stenök).
- ◆ Viele ursprüngliche aquatische Lebensräume am Alpenrhein und seinen Zubringern sind durch die umfassenden hydromorphologischen Eingriffe verloren gegangen.



## 5.2 Taxazahlen und Individuendichten

Abbildung 27 zeigt die Individuendichten der wirbellosen Bodenfauna in [Ind./m<sup>2</sup>] an den Untersuchungsstellen für die Jahre 2009, 2015 und 2022. An dieser Stelle ist anzumerken, dass beim Vergleich der Individuendichten zwischen den Untersuchungsjahren aufgrund der unterschiedlichen Probenahme- und Berechnungsverfahren Vorsicht angebracht ist. Hinzu kommt, dass die Probenahme 2009 im Spätherbst stattgefunden hat, 2015 und 2022 jedoch im Winter und es bei Makroinvertebratenzönosen zu starken jahreszeitlichen Schwankungen der Individuendichten kommen kann. Die Darstellung dient lediglich dem Überblick und Vergleich der Probenstellen innerhalb der Untersuchungsjahre. Im Jahr 2022 kann die höchste Individuendichte mit annähernd 12.000 Ind./m<sup>2</sup> im Liechtensteiner Binnenkanal festgestellt werden, die Zönose kann als ziemlich individuenreich charakterisiert werden. Beim Liechtensteiner Binnenkanal handelt es sich jedoch um ein künstlich angelegtes Gewässer, dessen Gewässertyp sich grundlegend vom Alpenrhein und den anderen untersuchten Zubringern unterscheidet. Die Individuendichten im Vorder- und Hinterrhein sind etwas höher als nach deren Zusammenschluss zum Alpenrhein. Hier sticht vor allem Bonaduz mit einer ziemlich individuenreichen Zönose von fast 9.000 Ind./m<sup>2</sup> heraus. Im Alpenrhein nehmen die Individuendichten im Längsverlauf ab: sind es an der Untersuchungsstelle bei Haldenstein noch knapp 6.000 Ind./m<sup>2</sup>, findet man in Bangs und Lustenau nur noch eine relativ individuenarme Makrozoobenthoszönose mit einer Dichte von 800 respektive 1.250 Ind./m<sup>2</sup>. Auch in der Landquart und der Ill sind die Individuendichten mit rund 3.000 Ind./m<sup>2</sup> und 950 Ind./m<sup>2</sup> als mäßig individuenreich beziehungsweise individuenarm zu charakterisieren.

An den elf Untersuchungsstellen konnten mit Hilfe der Benthosproben insgesamt (MHS-Aufsammlung und qualitative Beprobung) beachtliche 290 Makrozoobenthos-Taxa nachgewiesen werden. Berücksichtigt man zusätzlich noch die Adultfänge, so konnten insgesamt 296 Taxa differenziert werden.

Die höchsten Werte hinsichtlich der Gesamttaxazahl, also aller an einer Untersuchungsstelle gefundenen Makroinvertebraten-Taxa inklusive der qualitativen Proben, können an den morphologisch ähnlichen Untersuchungsstellen bei Bangs und Triesen mit 121 respektive 119 Taxa ausgemacht werden (Abbildung 28). Die wenigsten Taxa (68) sind in der Landquart zu finden.

Betrachtet man nur die MHS-Gesamtprobe exklusive der qualitativen Proben, ist die höchste Taxazahl in Bangs (88), gefolgt von Bonaduz (82) und Lustenau (75) festzustellen. Die wenigsten Taxa sind hierbei im Alpenrhein bei Mastrils (49), in der Landquart (51) und im Vorderrhein bei Reichenau (54) zu identifizieren. Die niedrige Taxazahl der MHS-Gesamtprobe in Mastrils wird jedoch durch die taxareichen, qualitativ beprobten Nebenchoriotope (61) ergänzt.

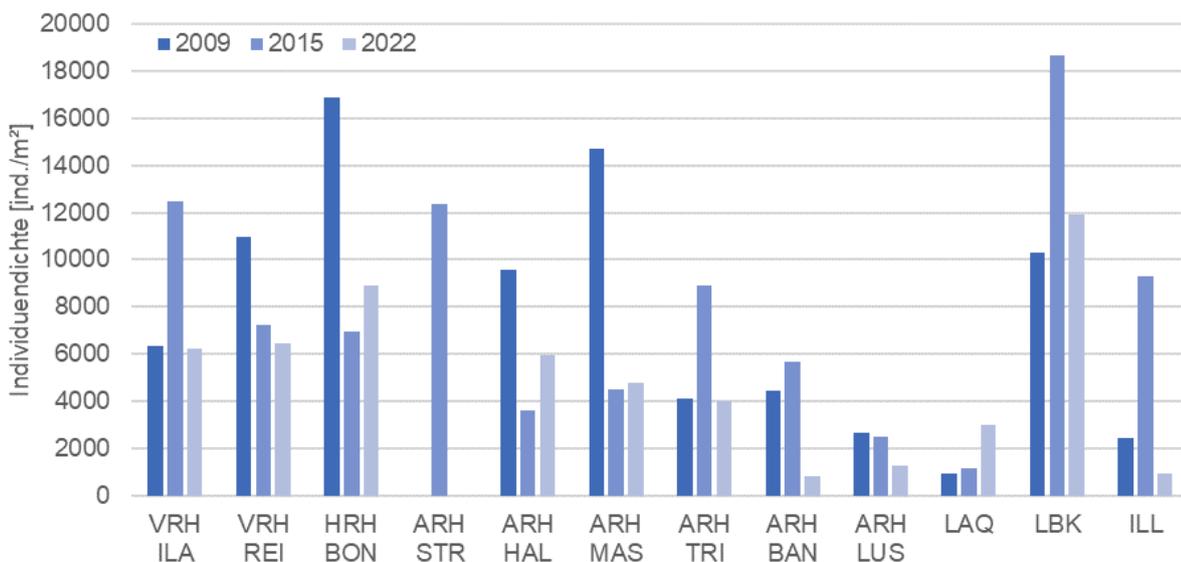


Abbildung 27. Individuendichte [Ind./m<sup>2</sup>] an den Probestellen des Basismonitorings Alpenrhein in den Jahren 2009, 2015 und 2022.

Generell ist die Anzahl jener Taxa beachtlich hoch, die ausschließlich in den jeweils qualitativ beprobten Nebenchoriotopen zu finden waren, wenn man deren flächenmäßige Ausdehnung (< 5 % Flächenanteil) berücksichtigt. So konnten in der Ill 56 und im Alpenrhein bei Triesen 49 Taxa exklusiv in den Nebenchoriotopen angetroffen werden. An den Untersuchungsstellen Haldenstein (22) und Landquart (16) kommen die wenigsten Taxa aus den qualitativen Proben hinzu.

Die taxareichen Gruppen der Zuckmücken (Chironomidae) und Wenigborster (Oligochaeta) wurden in der aktuellen Untersuchung detailliert bestimmt. Da diese in den Voruntersuchungen auf höherem taxonomischen Niveau bestimmt wurden, liegen die aktuellen Taxazahlen deutlich höher (Abbildung 28). Der Anteil der Zuckmücken- und Wenigborster-Taxa an der Gesamttaxazahl liegt im gegenständlichen Monitoring je nach Untersuchungsstelle zwischen 35 % und 48 %. Um einen Vergleich mit den Voruntersuchungen zu gewährleisten, wurden die Taxazahlen zusätzlich exklusive Zuckmücken und Wenigborster dargestellt (Abbildung 29). Im Vorderrhein bei Illanz zeigt sich die Taxazahl 2022 im Vergleich zu 2009 und 2015 deutlich erhöht, bei Reichenau bleibt diese annähernd stabil. Bei Bonaduz kommt es zu einer deutlichen Abnahme der Makroinvertebraten-Taxa zwischen 2009 und 2015, 2022 liegt die Taxazahl wieder höher und erreicht den höchsten Wert aller Untersuchungsjahre. Im Alpenrhein ist die Taxazahl bei Haldenstein, Triesen und Bangs im Vergleich zu den Voruntersuchungen deutlich höher, bei Lustenau zeigt sich ein leichter Anstieg und bei Mastrils ein annähernd gleiches Ergebnis. In der Landquart ist wiederum ein deutlicher Anstieg der Taxazahlen zu erkennen, in der Ill und im Liechtensteiner Binnenkanal liegen die Taxazahlen leicht unter jenen aus 2015, jedoch höher als 2009.

Auch hinsichtlich der Taxazahlen bleibt die Vergleichbarkeit aufgrund der verschiedenen Probenahme-Zeitpunkte und -Techniken jedoch eingeschränkt.

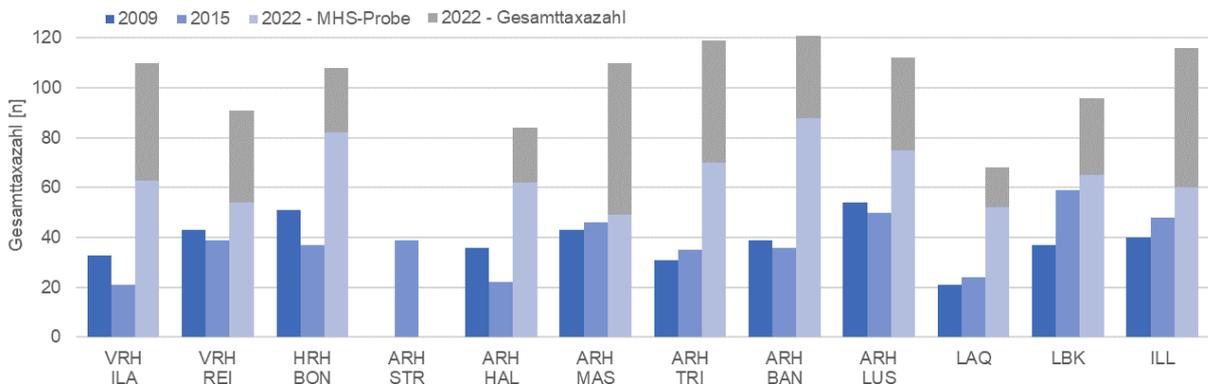


Abbildung 28. Gesamttaxazahlen an den Untersuchungsstellen des Basismonitorings Alpenrhein in den Jahren 2009, 2015 und 2022. Grauer Balken: Zugewinn an Taxa durch qualitative Proben im Untersuchungsjahr 2022.

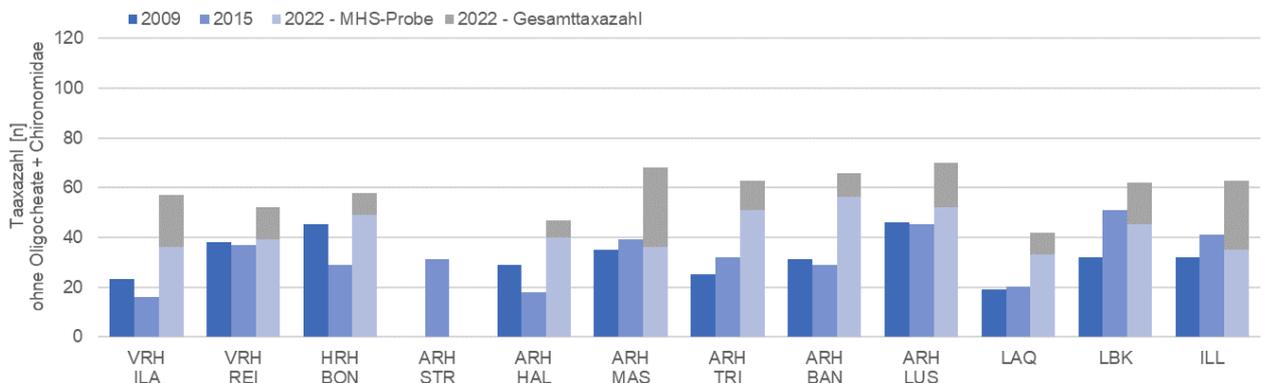


Abbildung 29. Gesamttaxazahlen (exklusive Chironomidae und Oligochaeta) an den Untersuchungsstellen in den Jahren 2009, 2015 und 2022. Grauer Balken: Zugewinn an Taxa durch qualitative Proben im Untersuchungsjahr 2022.



### 5.3 Großgruppenzusammensetzung

Als Großgruppen werden taxonomische Einheiten systematisch zusammengefasst, die durchaus unterschiedlichen taxonomischen Niveaus entsprechen können. Die Zusammensetzung und die Verhältnisse zwischen den verschiedenen Großgruppen zueinander geben Aufschlüsse über Aufbau und Struktur der Lebensgemeinschaften. Daraus können erste Rückschlüsse gezogen werden, ob ein Fließgewässer seinem natürlichen Charakter entspricht, oder ob es aufgrund von Störungen zu Abweichungen kommt.

In alpin geprägten Gewässern wie dem Alpenrhein dominieren charakteristischer Weise meist Vertreter der EPT-Gruppe, bestehend aus Eintagsfliegen (Ephemeroptera), Steinfliegen (Plecoptera) und Köcherfliegen (Trichoptera), sowie passiv filtrierenden Kriebelmücken, die in Bereichen mit hoher Strömung anzutreffen sind, wo sie vorbeiströmende Nahrungspartikel aus dem Wasser filtern. Auch die sehr diverse Gruppe der Zuckmückenlarven (Chironomidae) ist an allen Untersuchungsstellen sehr artenreich vertreten. Hingegen sind die Anteile an Nematomorpha, Turbellaria, Hirudinea, Acari, Isopoda, Hydrozoa, Coleoptera, Amphipoda und Mollusca, die hier unter „Sonstige“ zusammengefasst werden, an allen Untersuchungsstellen ausgenommen dem Liechtensteiner Binnenkanal verschwindend gering. Viele Arten aus diesen Gruppen bevorzugen langsam überströmte und umlagerungsstabile Lebensräume, welche zwar aufgrund der Choriotopverteilungen durch die MHS-Methode nicht erfasst werden, dafür aber vermehrt in den qualitativen Proben nachzuweisen sind.

Heute dominieren im Alpenrhein und seinen Zubringern an den meisten Untersuchungsstellen Eintagsfliegen, Steinfliegen oder Kriebelmücken, wobei im Hinterrhein bei Bonaduz, aber auch in der Ill die Steinfliegen den größten Anteil stellen. An den durch die großen alternierenden Schotterbänke morphologisch sehr ähnlichen Untersuchungsstellen Triesen und Bangs im Alpenrhein sind Eintags- und Steinfliegen annähernd gleich stark vertreten. Im Vorderrhein bei Ilanz sowie im Alpenrhein bei Haldenstein und Lustenau dominieren Eintagsfliegen. Ein ungewöhnlich hoher Anteil an Kriebelmücken ist insbesondere im Vorderrhein bei Reichenau, im Alpenrhein bei der Mastrilser Au und in der Landquart auszumachen. Der Liechtensteiner Binnenkanal zeigt aufgrund seiner deutlich abweichenden Gewässercharakteristik eine völlig andere Zusammensetzung der Makroinvertebratenzönose: hier dominieren Flohkrebse (Amphipoda), gefolgt von Wenigborstern (Oligochaeta) und Zuckmücken (Chironomidae) (Abbildung 30).

Gesondert zu erwähnen ist an dieser Stelle die Gruppe der Libellen (Odonata), deren Larven in den aquatischen Habitaten nicht nachzuweisen waren. Bei Adultfängen im Frühsommer 2022 konnten fliegende Exemplare von insgesamt fünf Arten festgestellt werden: Die frühe Adonislibelle (*Pyrrhosoma nymphula*) sowie

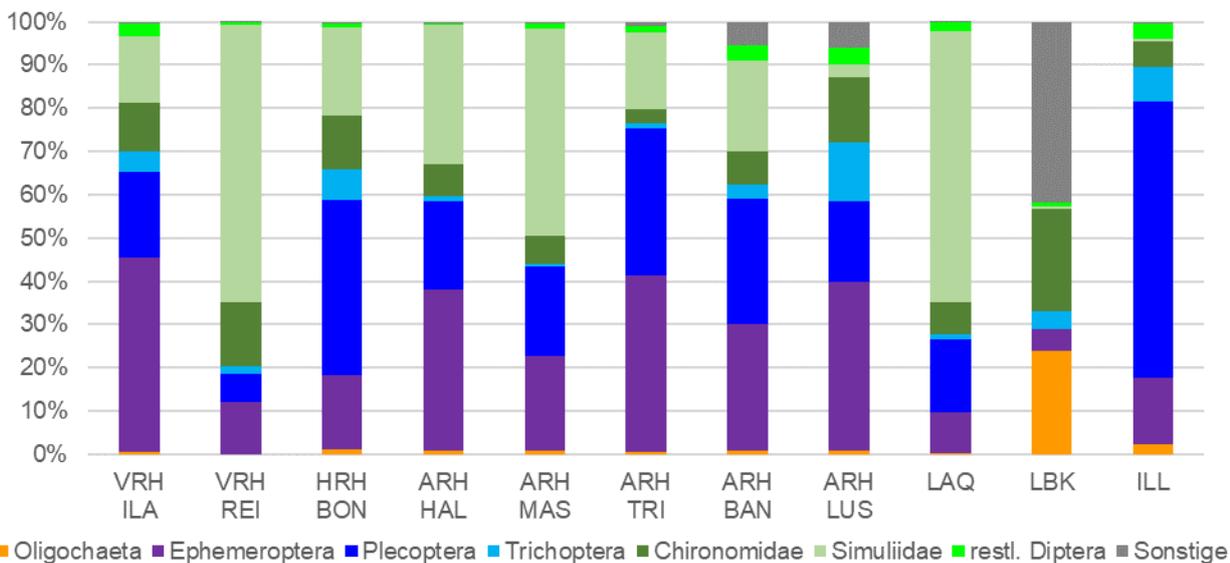


Abbildung 30. Großgruppenverteilung an den Untersuchungsstellen des Basismonitorings Alpenrhein im Jahr 2022. Die Gruppe „Sonstige“ umfasst Nematomorpha, Turbellaria, Hirudinea, Acari, Isopoda, Hydrozoa, Coleoptera, Amphipoda sowie Mollusca.

die Gemeine Becherjungfer (*Enallagma cyathigerum*) konnten am Hinterrhein in Bonaduz beobachtet werden, die weit verbreitete gebänderte Prachtlibelle (*Calopteryx splendens*) und die Blauflügel-Prachtlibelle (*Calopteryx virgo*) am Liechtensteiner Binnenkanal sowie die große Pechlibelle (*Ischnura elegans*) am Alpenrhein bei Lustenau. Eine Zuordnung hinsichtlich ihrer Bodenständigkeit nach Lehmann (1990) ist damit sehr unsicher.

#### FAKTEN: TAXAZAHLEN, INDIVIDUENDICHTEN & VORKOMMEN

- ◆ Gegenüber den Voruntersuchungen sind keine Verbesserungen zu erkennen.
- ◆ Insgesamt konnten 296 Makrozoobenthostaxa nachgewiesen werden. Diese gegenüber den bisherigen Aufnahmen deutlich höheren Taxazahlen sind auf methodische Unterschiede zurückzuführen (Anzahl der Teilproben, Bestimmungsniveau, zusätzliche qualitative Proben aus Nebenchoriotopen).
- ◆ Die höchsten Gesamttaxazahlen (Hauptchoriotope und Nebenchoriotope) treten im Alpenrhein bei Triesen und Bangs auf, die niedrigsten in der Landquart und im Alpenrhein bei Haldenstein.
- ◆ In den Hauptchoriotopen (Basis: MHS-Proben) sind die höchsten Taxazahlen im Hinterrhein bei Bonaduz und im Alpenrhein bei Bangs und Lustenau festzustellen, die niedrigsten in Mastrils sowie in der Landquart.
- ◆ Die Anzahl jener Taxa, die ausschließlich in Nebenchoriotopen zu finden sind, ist beachtlich hoch (zwischen 16 in der Landquart und 61 im Alpenrhein bei Mastrils).
- ◆ Die Individuendichten im Vorder- und Hinterrhein sind etwas höher als im Alpenrhein. Im Alpenrhein nehmen die Dichten im Längsverlauf deutlich ab.
- ◆ Die höchste Individuendichte zeigt sich im Liechtensteiner Binnenkanal, die III ist hingegen sehr individuenarm, ebenso wie die Alpenrheinstellen Bangs und Lustenau.
- ◆ Eintagsfliegen (Ephemeroptera), Steinfliegen (Plecoptera) und Kriebelmücken (Simuliidae) dominieren den Alpenrhein und seine Zubringer.
- ◆ Die Anteile an Wasserkäfern, Libellen, Schnecken und Muscheln sind im betrachteten Rheinabschnitt und in den Zubringern verschwindend gering bzw. fehlen vollständig.



## 5.4 Funktionelle Gruppen

Durch die Analysen der funktionellen Gruppen der Makrozoobenthoszönosen an den Untersuchungsstellen des Basismonitorings Alpenrhein kann ein vertiefendes Verständnis für die Artenzusammensetzung und im Weiteren für die gegebenen Umweltbedingungen erlangt werden. Viele Taxa haben sehr spezielle Ansprüche an ihren Lebensraum und wählen ihr Habitat nach unterschiedlichen Bedingungen wie etwa der Nahrungsverfügbarkeit, der Strömungsverhältnisse oder dem Vorhandensein bestimmter Substrate. Anhand der Verteilung der Makrozoobenthostaxa entlang dieser Gradienten sind Rückschlüsse auf die Gewässerqualität und anthropogene Einflüsse wie Aufstau, Schwall, Restwasser, Kanalisierung, Begradigung, Isolation der Au und vieles mehr möglich.

Hierfür wurden im Folgenden die funktionellen Gruppen der Ernährungstypen, der Längenzonation und der Strömungspräferenzen, aber auch das Verhältnis der Oberflächen- und Interstitialbewohner näher betrachtet. Die Einstufungen der Ernährungstypen und der Längenzonation, sowie die Berechnung der zugehörigen Indices (Rhithron-Ernährungstypen-Index RETI und Längenzonations-Index LZI) der 2022 durchgeführten Untersuchungen wurden auf Basis des Österreichischen Leitfadens zur Erhebung der biologischen Qualitätselemente, Teil A2 – Makrozoobenthos (Ofenböck et al., 2019) vorgenommen und folgen den der Fauna Aquatica Austriaca zu entnehmenden Einstufungen (Moog & Hartmann, 2017). Die Klassifizierung der Organismen nach ihren Strömungspräferenzen basiert auf der Einteilung nach Schmedtje & Colling (1996) und wurde aus [www.freshwaterecology.info](http://www.freshwaterecology.info) entnommen. Die Zuordnung der Oberflächen- und Interstitialbewohner stammt ebenfalls aus [www.freshwaterecology.info](http://www.freshwaterecology.info).

Welche Grundlage zur Klassifizierung der Ernährungstypen, der Längenzonationen und der Strömungspräferenzen in den Voruntersuchungen von 2009 und 2015 verwendet wurde ist nicht bekannt und ein direkter Vergleich zwischen den Untersuchungsjahren daher nur eingeschränkt möglich. Im Folgenden sind nur die Ergebnisse der 2022 durchgeführten Kampagne abgehandelt.

### 5.4.1 Ernährungstypen

Hinsichtlich ihrer Nahrungsaufnahme gibt es bei den Makroinvertebraten Spezialisten, die sich ausschließlich einer Ernährungsweise zuordnen lassen und dadurch in ihrem Nahrungsangebot gewissen Einschränkungen unterworfen sind. Viele Organismen können sich je nach Nahrungsangebot auf verschiedenste Weise ernähren, sind somit flexibel und passen sich einem wechselnden Nahrungsangebot an.

So ernähren sich zum Beispiel alle heimischen Vertreter der Kriebelmücken exklusiv von Nahrungspartikeln, die sie aus der Strömung filtern und sind somit den passiven Filtrierern zuzuordnen. Die verschiedenen Arten der Eintagsfliegen-Gattung *Rhithrogena* sind ausschließlich Weidegänger, sie schaben mit ihren Mundwerkzeugen den Biofilm und Algenaufwuchs von Hartsubstraten ab. Die Eintagsfliegen *Baetis alpinus* und *Baetis rhodani* sind ebenfalls Weider, sammeln aber zusätzlich feine organische Partikel auf und fressen diese (Detritivore). Die Steinfliegen der Gattungen *Leuctra*, *Amphinemura* und *Protonemura* sind noch flexibler und sind gleichzeitig Zerkleinerer (fressen grobe organische Partikel und zerkleinern diese dadurch), Weidegänger und Detritusfresser. Die große Steinfliegenart *Perla grandis* lebt räuberisch, kann sich aber in Ausnahmefällen, wie zum Beispiel bei Knappheit von Beuteorganismen, auch weidend ernähren. Auch die Steinfliegen der Gattung *Isoperla* sind vorzugsweise Räuber, können sich aber, wenn es die Situation verlangt, auch als Zerkleinerer, Weider und Detritivore ernähren.

Die Zusammensetzung der Ernährungstypen an einer Untersuchungsstelle kann Hinweise auf verschiedene Prozesse im System geben. So lässt sich in aufgestauten Flussabschnitten aufgrund der Akkumulation von organischen Stoffen ein erhöhter Anteil an Detritivoren feststellen. Viele Filtrierer in Kombination mit einem erhöhten Anteil an Detritivoren können ein Hinweis auf eine organische Belastung sein. Durch einen vermehrten Eintrag von grob partikulärem allochthonem Material (CPOM) steigt der Anteil an Zerkleinerern, die dadurch für eine Anreicherung von feinem organischem Material (FPOM) im Sedimentlückenraum sorgen. Anhand der unterschiedlichen Nahrungsaufnahmen lassen sich Makroinvertebraten sogenannten Ernährungstypen zuordnen. Makroinvertebraten, die sich auf verschiedene Weise ernähren, werden den jeweiligen Fresstypen anteilmäßig zugeordnet.

Die Verteilung der Ernährungstypen an den Untersuchungsstellen des Vorder- Hinter- und Alpenrheins sowie der Zubringer werden in Abbildung 31 dargestellt. Die verschiedenen Ernährungstypen sowie die Berechnung des zugehörigen Rhithron-Ernährungstypenindex (RETI) wurden in der vorliegenden Arbeit auf Basis des Österreichischen Leitfadens (Ofenböck et al., 2019) vorgenommen und folgen den Einstufungen der Fauna Aquatica Austriaca (Moog & Hartmann, 2017).

Die funktionellen Ernährungskategorien werden von Weidegängern, Detritivoren und passiven Filtrierern bestimmt, daneben kommt den Zerkleinerern und Räubern noch eine untergeordnete Bedeutung zu. Aufgrund des verstärkten Auftretens der Simuliidae im Vorderrhein bei Reichenau und in der Landquart ergibt sich ein deutlich erhöhter Anteil an passiven Filtrierern, wodurch der Rhithron-Ernährungstypen-Index (RETI) mit 0,26 einen vergleichsweise sehr geringen Wert erreicht. Einen ähnlich niedrigen Wert weist der Liechtensteiner Binnenkanal auf. Hier ist aber der erhöhte Anteil an Detritivoren ausschlaggebend für den geringen RETI. Die Probenstellen Ilanz, Bonaduz, Haldenstein, Mastrils, Triesen, Bangs, Lustenau und Ill zeigen einen ähnlichen Aufbau der präferierten Ernährungstypen, wobei der RETI von 0,36 im Alpenrhein bei Mastrils bis 0,59 im Alpenrhein bei Triesen schwankt.

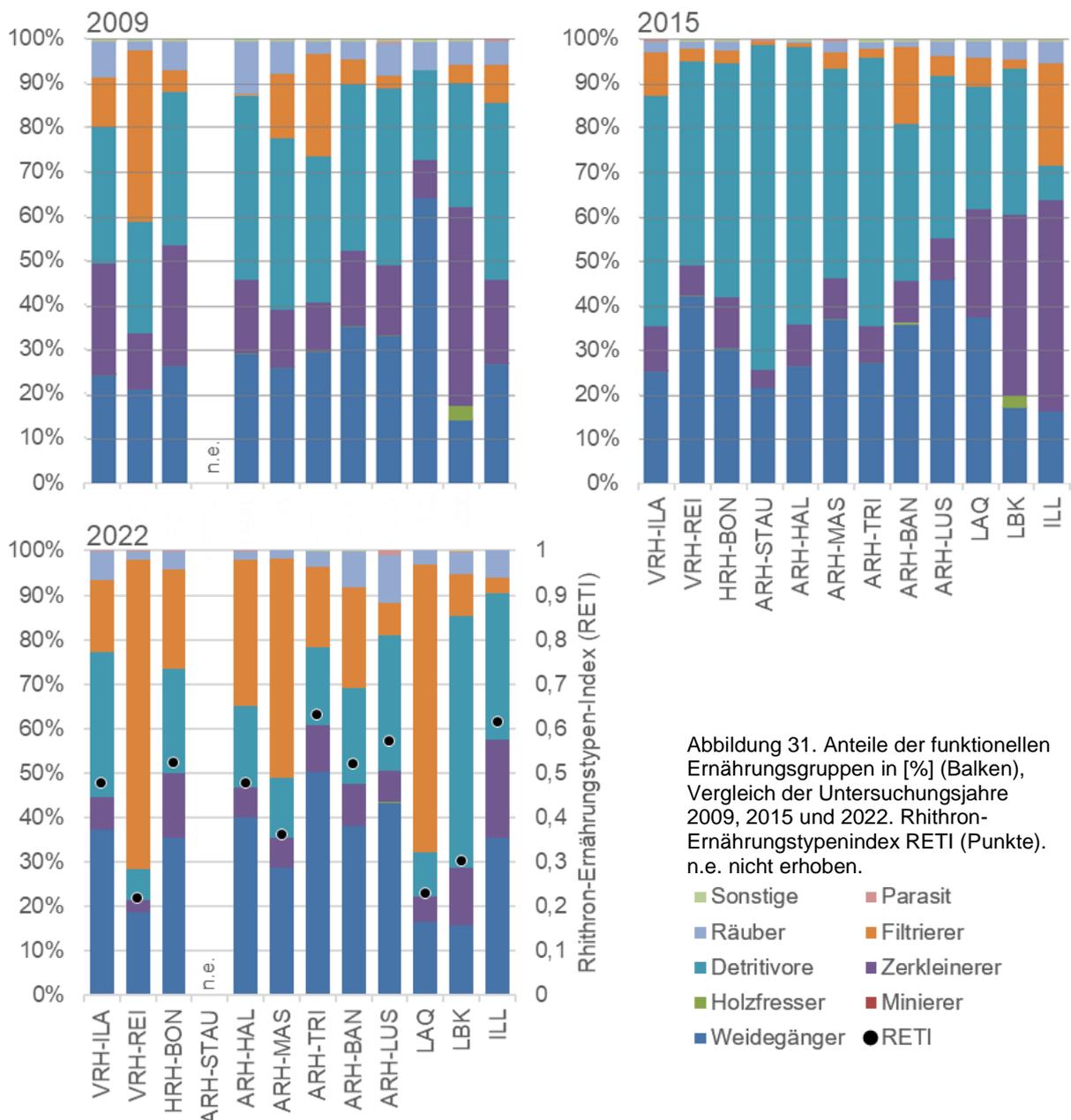


Abbildung 31. Anteile der funktionellen Ernährungsgruppen in [%] (Balken), Vergleich der Untersuchungsjahre 2009, 2015 und 2022. Rhithron-Ernährungstypenindex RETI (Punkte). n.e. nicht erhoben.



## 5.4.2 Längenzonation

Die längenzonale Verteilung nach biozönotischen Regionen bezieht sich auf das Vorkommen von Taxa entlang der Längsachse eines unbeeinflussten Flusses. Diese Verteilung hängt von verschiedenen Faktoren ab, die sich von der Quelle (Krenal) über den Mittellauf bis zur Mündung eines Flusses immer wieder verändern. Beispielsweise ist die Strömungsgeschwindigkeit im Oberlauf durch eine zumeist geringere Flussbreite und ein stärkeres Gefälle höher. Flussab im Mittellauf bis zum Unterlauf des Flusses nimmt diese immer weiter ab. Damit einhergehend verkleinern sich die Korngrößen der Substrate und auch das Nahrungsangebot verändert sich. Weitere Faktoren sind der Durchfluss, der sich mit der Fließlänge erhöht, der Eintrag von allochthonem Material, der im Oberlauf den größten Einfluss hat, die Sauerstoffverfügbarkeit, die durchschnittlich vom Ober- zum Unterlauf immer geringer wird, wogegen die Nährstoffbelastung, die organische Belastung und die mittlere Wassertemperatur ansteigen. Diese und viele weitere Parameter führen zu einer distinkten Verteilung an Makrozoobenthostaxa entlang dieser Gradienten.

Durch anthropogene Veränderungen wie zum Beispiel dem Aufstauen des Flusses kann es zu Potamalisierungseffekten kommen. Die Zönose zeigt einen flussuntypischen Schwerpunkt mit Indikatoren des Potamals. Hingegen führen ein harter Ufer- und Böschungsverbau, Flussbegradigungen und ein Schwallbetrieb zu Rhithralisierungseffekten. Der eintönige Flussschlauch unterbindet die Habitatvielfalt und die laterale Konnektivität, die Begradigung erhöht das Gefälle und damit die Strömungsgeschwindigkeiten und die Zönose zeigt einen flussuntypischen Schwerpunkt der biozönotischen Regionen mit vermehrten Indikatoren des Rhithrals.

Die Zusammensetzung der längenzonalen Verteilung an den Untersuchungsstellen des Vorder-, Hinter- und Alpenrheins sowie der Zubringer werden in Abbildung 32 dargestellt. Makroinvertebraten, die Präferenzen für zwei oder mehrere Regionen aufweisen, werden für die Auswertung der Längenzonation hinsichtlich der Ausprägung ihrer Präferenz den jeweiligen Regionen anteilmäßig zugeordnet. Die verschiedenen Einstufungen der Längenzonation sowie die Berechnung des zugehörigen Längenzonationsindex (LZI) wurden in der vorliegenden Arbeit auf Basis des Österreichischen Leitfadens (Ofenböck et al., 2019) vorgenommen und folgen den Einstufungen der Fauna Aquatica Austriaca (Moog & Hartmann, 2017).

Die Probestellen (exklusive Liechtensteiner Binnenkanal) lassen sich den Regionen des Epi- bis Metarhithral zuordnen. Im Längsverlauf des Rheins zeigt sich ein leichter Anstieg von hyporhithralen und epipotamalen Anteilen mit einer Verringerung an epirhithralen Indikatoren. Im Alpenrhein bei Lustenau, der Untersuchungsstelle, die geografisch dem Bodensee am nächsten liegt, kann mit einem LZI von 4,21 von einer Zönose mit metarhithralem Schwerpunkt gesprochen werden. Der hypokrenale Anteil ist relativ gleichbleibend unter den Probestellen, nur im Vorderrhein bei Ilanz ist dieser erhöht. Durch die höhere Lage der Untersuchungsstelle mit etwa 710 Meter über dem Meeresspiegel können Quellzuflüsse zu einem höheren Anteil an Quellarten in der Probe führen. Die litoralen und profundalen Anteile spielen hierbei eine stark untergeordnete Rolle. Der Liechtensteiner Binnenkanal mit einem LZI von 4,67 zeigt einen Schwerpunkt im Meta- bis Hyporhithral und kann hierdurch klar von den anderen Untersuchungsstellen abgegrenzt werden.

Der ursprüngliche Alpenrhein hatte weite Uferbereiche mit einer Verbindung zur umliegenden Au, die durch Begleitgewässer geprägt war, in denen auch tiefe, ruhig fließende Abschnitte ausgebildet wurden. Diese Habitate würden einen deutlich höheren Anteil an litoralen und potamalen Faunenelementen beheimaten. Der heutige Alpenrhein weist aber bis zum Bodensee eine Zönose auf, die eher an einen turbulenten Gebirgsbach angepasst ist. Die Zubringer Landquart und Ill besitzen im Hinblick auf die längenzonale Verteilung einen sehr ähnlichen Charakter. Wie auch im Alpenrhein führen Flussbegradigungen in Kombination mit einem ausgeprägten Schwallbetrieb zu Rhithralisierungseffekten. Der Liechtensteiner Binnenkanal weicht von diesem Befund deutlich ab. Die ähnlich hohen Anteile von Faunenelementen des Krenals bis zum Litoral weisen auf eine Zönose mit einer Vielzahl an ubiquitären Taxa hin, die an ein breites Spektrum von biotischen und abiotischen Faktoren angepasst sind.

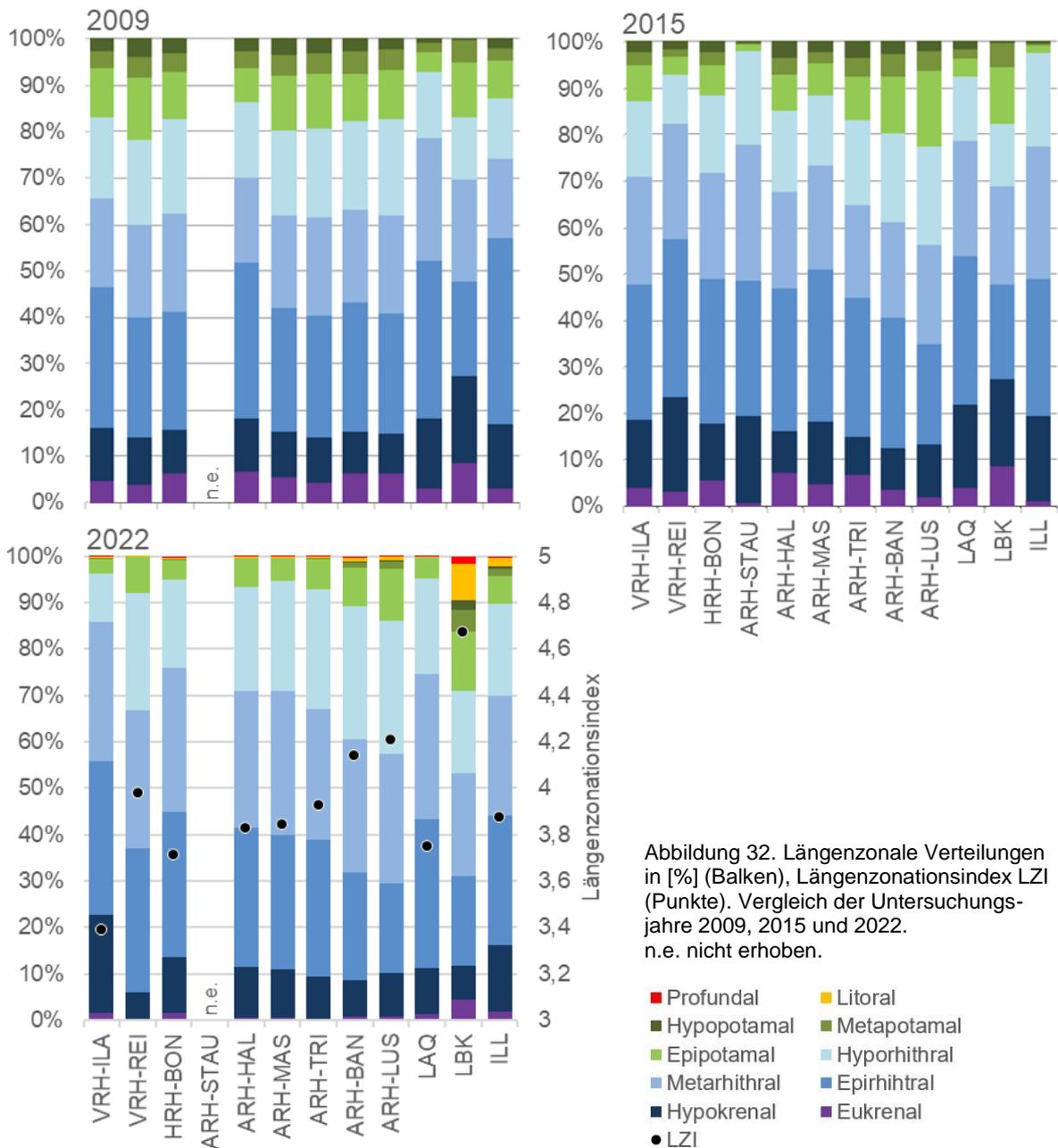


Abbildung 32. Längenzonale Verteilungen in [%] (Balken), Längenzonationsindex LZI (Punkte). Vergleich der Untersuchungs-jahre 2009, 2015 und 2022. n.e. nicht erhoben.

- Profundal
- Hypopotamal
- Epipotamal
- Hyporhithral
- Metarhithral
- Epirihthral
- Hypokrenal
- Eukrenal
- Litoral
- Metapotamal
- LZI

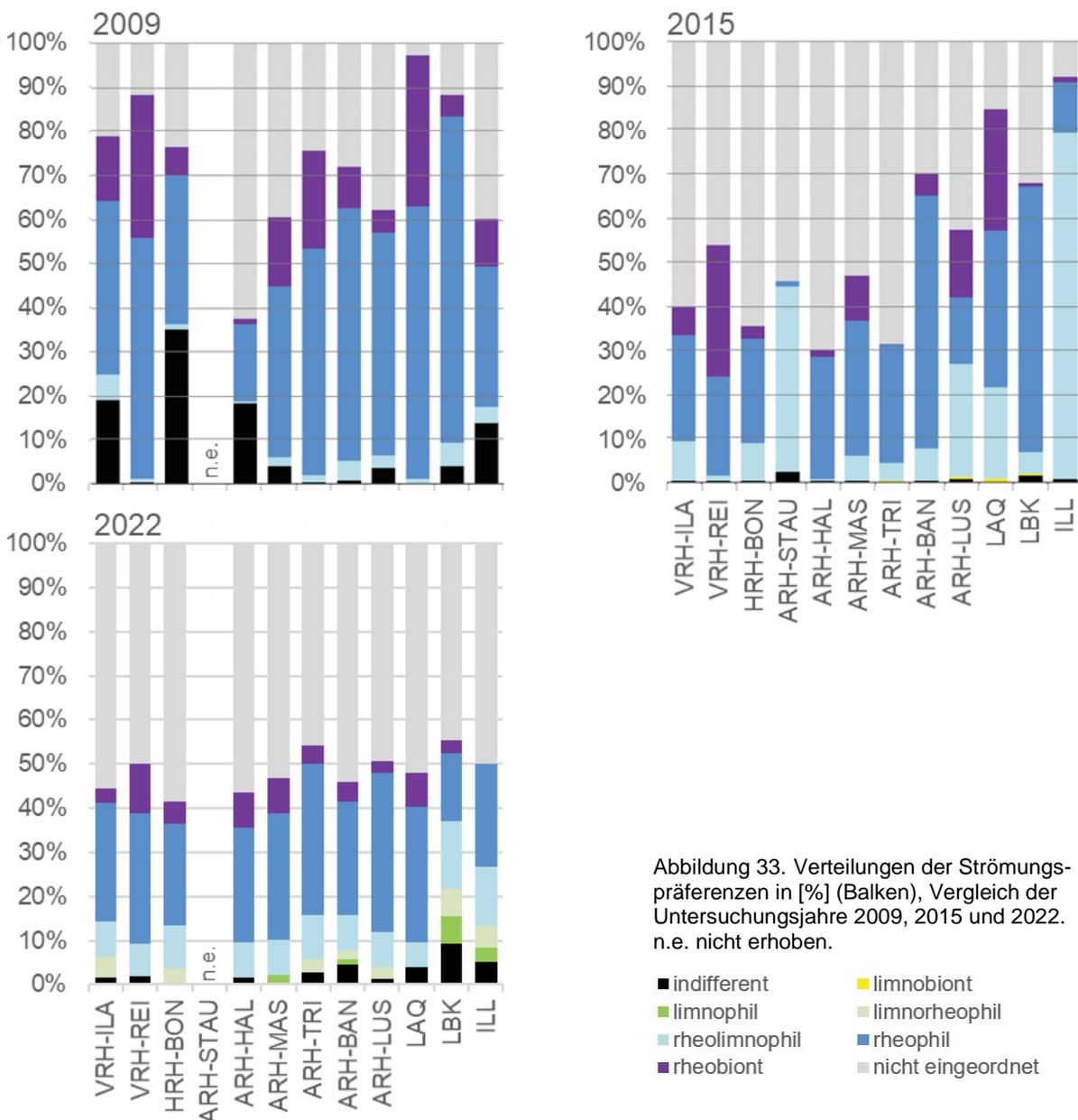
### 5.4.3 Strömungspräferenzen und Rheo-Index

Die Anpassung der Makrozoobenthostaxa an verschiedene Strömungen spiegelt die hydraulischen Bedingungen innerhalb eines Flusssystemes wider. Einige Arten bevorzugen langsam fließende Bereiche mit einem geringen Strömungsgradienten. Solche Bereiche sind oft mit Sand- oder Kiesböden bedeckt und bieten eine stabile Umgebung für Organismen, die als limnobiont beziehungsweise als limnophil eingestuft werden. Andere Arten bevorzugen dagegen schnell fließende Gewässerabschnitte bis hin zu Wasserfällen. Diese Organismen sind in der Lage, sich in der starken Strömung zu halten und werden als rheobiont beziehungsweise als rheophil eingestuft. Des Weiteren gibt es Organismen, die eine Einstufung zwischen limnophil und rheophil aufweisen (limnorheophil, rheolimnophil), sowie Makrozoobenthostaxa, die keine Präferenz für fließendes oder stehendes Wasser haben (indifferent). Eine Übersicht der Strömungsanpassungen und ihrer Bedeutung ist in Tabelle 4 gegeben.



Tabelle 4. Strömungspräferenzen der aquatischen Fauna. Klassifizierung nach Schmedtje & Colling 1996.

indifferent	keine Präferenz für fließendes oder stehendes Wasser
limnobiont	Stillwasserarten, vorwiegend im stehenden Wasser lebend
limnophil	Ruhigwasserbewohner; strömungsmeidend, nur selten in träge fließenden Gewässern
limnorheophil	Stillwasserart, die häufiger auch in träge bis langsam fließenden Gewässern vorkommt
rheolimnophil	Fließwasserarten, die vorwiegend in langsam fließenden Gewässern vorkommen
rheophil	strömungsliebend, Organismen, die das fließende Wasser bevorzugen
rheobiont	strömungsbewohnend; Organismen, die ausschließlich starke Strömung bevorzugen



Die Klassifizierung der Organismen nach ihren Strömungspräferenzen basiert im Jahr 2022 auf der Einteilung nach Schmedtje & Colling (1996).

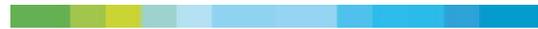
Zwischen 40 % und 60 % der Taxa an den Untersuchungsstellen im Vorder-, Hinter- und Alpenrhein und seinen Zubringern sind im Hinblick auf ihre Strömungspräferenz eingestuft. Es zeigt sich über den gesamten Verlauf eine ähnliche Verteilung an Strömungspräferenzen, wobei die rheophilen Taxa den größten Anteil haben, gefolgt von rheolimnophilen und rheobionten Taxa. Der Anteil der Stillwasserarten ist hingegen sehr gering. Die meisten eingestuften Arten zeigen eine Präferenz für höhere Fließgeschwindigkeiten. Dies ändert sich auch im Längsverlauf nicht. Der einst verzweigte und mäandrierende Alpenrhein hat vor den umfangreichen wasserbaulichen Maßnahmen und der Wasserkraftnutzung und dem damit einhergehendem Schwallbetrieb eine Vielzahl an verschiedenen Habitattypen für unterschiedlichste Strömungspräferenzen ausgebildet. Im Hinblick auf die Zubringer zeigt die Landquart eine ähnlich anthropogen beeinflusste Verteilung, hier fehlen jedoch die limnophilen beziehungsweise die limnorheophilen Arten, die an den Rheinstellen noch vereinzelt vorkommen, zur Gänze. In der III fallen Rheobionte aus, der Anteil an rheophilen Taxa ist geringer und der Anteil an rheolimnophilen Taxa im Vergleich höher. Dies könnte ein Hinweis auf eine Verlangsamung der Strömungsverhältnisse in der unteren III durch das nahe liegende Laufkraftwerk sein. Der Liechtensteiner Binnenkanal, ein zum Alpenrhein nicht vergleichbares künstliches Gewässer, zeigt einen erhöhten Anteil von indifferenten Taxa. Diese Arten sind meist Ubiquisten und können in einem breiten Spektrum an hydraulischen Habitaten vorkommen. Der Anteil an limnophilen und limnorheophilen Taxa ist im Liechtensteiner Binnenkanal höher. Geringere Fließgeschwindigkeiten und weniger hydraulischer Stress führen hier auch zu einem erhöhten Anteil an Stillwasserarten.

#### 5.4.4 Oberflächen- und Interstitialfauna

Als Oberflächenbewohner werden jene Faunenelemente bezeichnet, die bevorzugt die Oberfläche des Gewässerbodens besiedeln, Interstitialbewohner hingegen bewohnen die Lückenräume des Substrats unterhalb der Oberfläche der Gewässersohle. Oberflächenbewohner sind während Schwallereignissen einem enormen hydraulischen Stress ausgesetzt, da die hydraulischen Kräfte an der Oberfläche des bettbildenden Sediments am höchsten sind. Zwischen Sunk- und Schwallphasen kommt es zu einem raschen Anstieg der Strömungsgeschwindigkeit, wodurch Oberflächenbewohner vom Sediment abgelöst und verdriftet werden. Zudem wirkt eine höhere Trübefracht bei Schwall, die einen abrasiven Effekt auf die Oberfläche des Sediments hat, vergleichbar mit dem Prozess des Sandstrahlens. Interstitialbewohner hingegen können sich in den Lückenraum des Sediments zurückziehen, wo der hydraulische Stress während Schwallereignissen niedriger ist als an der Oberfläche des Gewässerbodens. Dieser Lückenraum wird jedoch durch die bei Schwallereignissen eingebrachte Feinsedimentfracht zusehends verfüllt und dieser kann von Interstitialbewohnern nicht oder nur mehr eingeschränkt genutzt werden. Zusätzlich wirkt die geringere Durchströmung mit sauerstoffreichem Wasser limitierend auf die Interstitialfauna. Um mögliche Auswirkungen des Schwallbetriebs auf die Oberflächen- beziehungsweise Interstitialfauna aufzuzeigen, wurden die Verhältnisse der Individuendichten von Oberflächen- und Interstitialbewohnern gegenübergestellt.

Für die Auswertung wurden alle Untersuchungsstellen ausgewählt, die maßgeblich vom Schwallbetrieb beeinflusst sind. Die Restwasserstrecke im Vorderrhein bei Ilanz wurde zusätzlich in die Analyse mitaufgenommen, um einen Vergleich mit einem von Schwall unbeeinflussten Gewässerabschnitt ziehen zu können. Die bearbeiteten Taxa wurden dabei den auf [freshwaterecology.info](http://freshwaterecology.info) (Working Group RHEOPHYLAX, 2020) gelisteten Einstufungen zugeordnet. War für ein Taxon keine Einstufung angegeben, jedoch für eine höhere taxonomische Einheit, wurde das Taxon dieser zugeordnet. Um vereinzelt vorkommende Taxa nicht zu stark zu gewichten, wurden nicht die Taxazahlen, sondern die Individuendichten der Oberflächen- und Interstitialbewohner verglichen (Abbildung 34).

Bei Ilanz dominieren Oberflächenbewohner mit einem Individuenanteil von rund 75 % aller eingestuften Taxa. Im Vorderrhein bei Reichenau steigt der Anteil an Oberflächenbewohnern auf über 90 %. Im Hinterrhein bei Bonaduz halten sich Oberflächen- und Interstitialbewohner annähernd die Waage. Im Alpenrhein nimmt die



Oberflächenfauna bei Haldenstein und Mastrils einen relativen Individuenanteil von rund 70 % ein. Bei Triesen ist die einzige Untersuchungsstelle des Alpenrheins zu finden, in dem die Interstitialbewohner mit etwa 55 % dominieren. Bei Bangs und Lustenau dominiert wieder die Oberflächenfauna und erreicht relative Anteile von rund 55 % beziehungsweise 70 %. Bei den schwallbeeinflussten Zubringern Landquart und Ill zeigt sich ein gänzlich gegensätzliches Bild: Während die Makroinvertebratenzönose der Landquart stark von Oberflächenbewohnern geprägt wird, dominieren in der Ill klar die Interstitialbewohner.

Ein eindeutiges Muster lässt sich aus den Ergebnissen nicht ablesen. Bei Bonaduz, der Untersuchungsstelle mit den höchsten Schwall-Sunk Amplituden, erreichen Oberflächen- und Interstitialbewohner annähernd gleich hohe Anteile, das Abundanzverhältnis der Oberflächen- zur Interstitialfauna liegt bei 0,84. Bei Haldenstein können ähnliche Schwall-Sunk Amplituden wie in Bonaduz ausgemacht werden, hier liegt das Verhältnis von Oberflächen- zu Interstitialbewohnern bei 2,22, die Oberflächenfauna dominiert somit deutlich. In der Ill, ebenfalls durch hohe Schwall-Sunk Amplituden geprägt, wird die bodenlebende wirbellose Fauna hingegen maßgeblich von Interstitialbewohnern geprägt (Verhältnis Oberflächen- zu Interstitialbewohner 0,28). Auch an den Untersuchungsstellen mit geringeren Schwall-Sunk Amplituden zeigen sich unterschiedliche Zusammensetzungen der Makrozoobenthoszönosen. Im Alpenrhein bei Mastrils, Triesen und Bangs mit vergleichbaren Schwall-Sunk Amplituden schwankt das Verhältnis von Oberflächen- zu Interstitialbewohnern stark zwischen 2,78 bei Mastrils und 0,75 bei Triesen, bei Bangs liegt es mit einem Wert von 1,31 dazwischen. In Lustenau, der Untersuchungsstelle mit den niedrigsten Schwall-Sunk Amplituden, dominiert wiederum die Oberflächenfauna, das Verhältnis zwischen Oberflächen- und Interstitialbewohnern liegt bei 2,21 und somit in einem ähnlichen Bereich wie in Haldenstein, wo nach Bonaduz die höchsten Schwall-Sunk Amplituden zu beobachten sind. Auch ein schwallydämpfender Einfluss des aufgeweiteten Flussbettes bei Bonaduz und Mastrils auf das Verhältnis zwischen Oberflächen- und Interstitialbewohnern lässt sich nicht erkennen. In Bonaduz erreicht die Oberflächen- und Interstitialfauna annähernd gleiche Individuenanteile, während bei Mastrils Oberflächenbewohner klar dominieren.

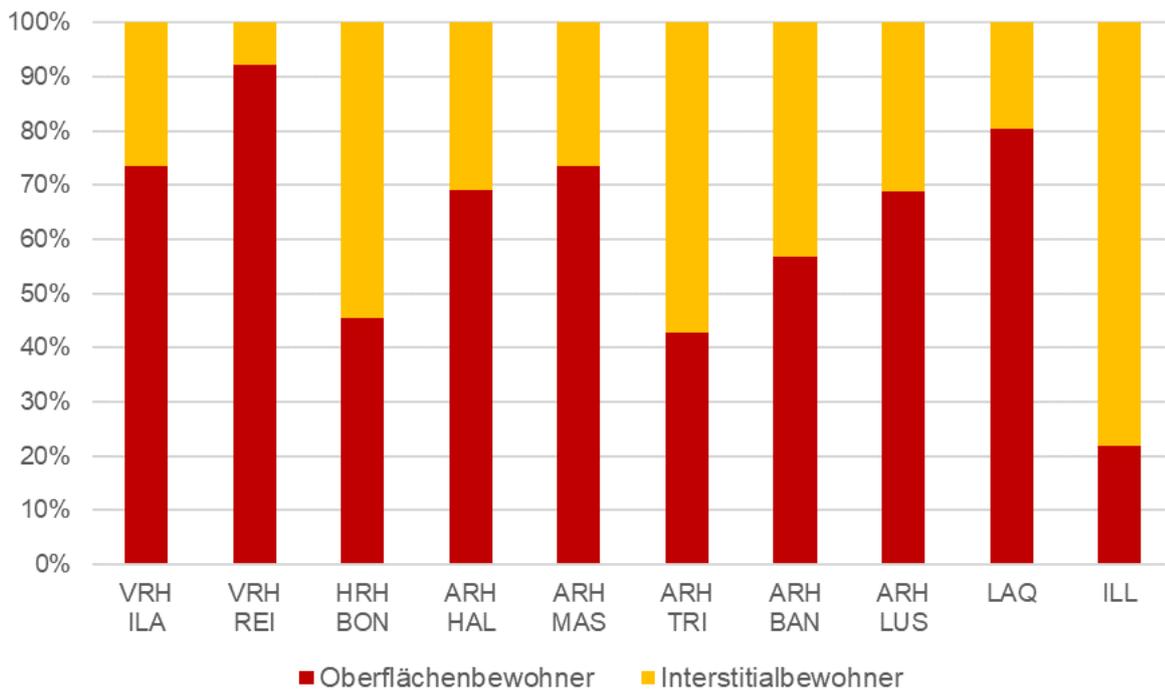


Abbildung 34. Abundanzverhältnis der Oberflächen- und Interstitialbewohner in den MHS-Proben des Basismonitorings Alpenrhein 2022 in [%] (Einstufungen nach freshwaterecology.info).

Auch zwischen der Kolmation des Sedimentlückenraums und dem Verhältnis zwischen Oberflächen- und Interstitialbewohnern lässt sich kein eindeutiger Trend erkennen. An Untersuchungsstellen, an denen die bettbildeten Sedimente die stärkste Kolmation aufweisen, dominieren erwartungsgemäß die Oberflächenbewohner (Landquart, Haldenstein). An vergleichsweise weniger kolmatierten Untersuchungsstellen zeigt sich ein äußerst indifferentes Bild der Zusammensetzung von Oberflächen- und Interstitialfauna: Teilweise ist das Verhältnis zwischen Oberflächen- und Interstitialbewohnern ausgeglichen (Bonaduz, Bangs), teilweise dominieren Interstitialbewohner (Triesen) oder es kann ebenso die Oberflächenfauna dominieren (Mastrils). Der mit Abstand höchste Anteil an Interstitialbewohnern zeigt sich wiederum an einer Untersuchungsstelle mit einer Kolmation, die sich im mittleren Bereich bewegt (Ill). Ein Vergleich mit der schwallunbeeinflussten Untersuchungsstelle im Vorderrhein bei Ilanz erscheint nach näherer Betrachtung nur bedingt sinnvoll, da es sich hierbei um eine Restwasserstrecke handelt, die zudem durch periodische Feinsedimenteinträge beeinträchtigt ist (Rey & Hesselschwerdt, 2016, eigene Beobachtungen im Februar und Juli 2022). Zusammengefasst lässt sich aus den vorliegenden Daten kein deutlicher Zusammenhang zwischen einem erhöhten hydraulischen Stress (Schwall-Sunk Rate) oder der Kolmation des Sedimentlückenraums und der Verteilung von Oberflächen- und Interstitialbewohnern erkennen. Offenbar wird die Verteilung auch durch eine Vielzahl anderer habitatbildender Faktoren beeinflusst, sodass sich keine eindeutigen Rückschlüsse auf einen schwallbedingten Einfluss auf die Oberflächen- und Interstitialfauna der Hauptchoriotope am Alpenrhein und seinen Zubringern ablesen lassen.

#### FAKTEN: FUNKTIONELLE GRUPPEN

- ◆ Anhand der Verteilung der Makrozoobenthostaxa entlang verschiedener Faktoren (Ernährungstypen, Längenzonation, Strömungspräferenz, Oberflächen- und Interstitialbewohner) sind Rückschlüsse auf die stofflichen Einflüsse (Gewässerqualität), aber auch auf die hydromorphologischen Einflüsse wie etwa durch Aufstau, Schwall, Restwasser, Kanalisierung, Begradigung und Isolation der Au möglich.
- ◆ Die funktionellen Ernährungstypen werden von Weidegängern, Detritivoren und passiven Filtrierern bestimmt.
- ◆ Aufgrund des verstärkten Auftretens der strömungsliebenden Kriebelmücken (Simuliidae) im Vorderrhein bei Reichenau und in der Landquart zeigt sich hier ein deutlich erhöhter Anteil an passiven Filtrierern.
- ◆ Der heutige Alpenrhein weist bis zum Bodensee eine Artengemeinschaft auf, die eher an einen turbulenten Gebirgsbach angepasst ist, der normalerweise in höheren Lagen zu finden wäre. Auch die Zubringer Landquart und Ill zeigen einen ähnlichen Charakter. Man spricht in diesem Zusammenhang von einem Rhithralisierungseffekt, der im Falle des Alpenrheins durch die Kombination aus Flussbegradigung und ausgeprägtem Schwallbetrieb verursacht wird.
- ◆ Der Anteil der Potamal- und Stillwasserarten ist in den schwallbelasteten Abschnitten sehr gering, die meisten Arten zeigen eine Präferenz für höhere Fließgeschwindigkeiten.
- ◆ Im Liechtensteiner Binnenkanal sind eine Vielzahl an ubiquitären Taxa zu finden, die an ein breites Spektrum von biotischen und abiotischen Faktoren angepasst sind.
- ◆ Der Vergleich der Hauptchoriotope der schwallbeeinflussten Untersuchungsstellen des Alpenrheins und seiner Zubringer lässt kein eindeutiges Muster auf die Verteilung von Oberflächen- und Interstitialbewohnern erkennen.



## 5.5 Rote Liste Arten

Die Rote Liste ist eine anerkannte Zusammenstellung von gefährdeten Tier- und Pflanzenarten. Sie ist ein wichtiges Instrument zum Schutz der Biodiversität und zur Erhaltung bedrohter Arten. Die Rote Liste bewertet den Gefährdungsgrad von Arten anhand von Kriterien wie dem Rückgang des Bestands, der Größe des Verbreitungsgebiets, dem Grad der Fragmentierung der Population und dem Ausmaß der Bedrohung durch menschliche Aktivitäten wie Lebensraumverlust, Umweltverschmutzung und Klimawandel (Bailli & Groombridge, 1996).

Rote-Liste Arten der Schweiz, die an den Untersuchungsstellen des Basismonitorings Alpenrhein 2022 nachgewiesen wurden, sind in der Tabelle 5 dargestellt. Eingestuft sind Arten der Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Mollusca, Coleoptera und Odonata, wobei keine Rote-Liste Arten der Mollusca und Odonata belegt werden konnten (Agosti et al., 1994; Lubini et al., 2012; Monnerat et al., 2021; Rüetschi et al., 2012). Insgesamt wurden 14 Rote-Liste Arten beobachtet, wobei die meisten mit jeweils fünf Arten in den Untersuchungsstellen des Alpenrheins bei Bangs und Lustenau nachgewiesen wurden. Nur eine einzige Art, die Eintagsfliege *Rhithrogena allobrogica*, konnte im Hinterrhein bei Bonaduz dokumentiert werden. *Rhithrogena allobrogica*, die als „gefährdet“ gelistet wird, besiedelt wenige Fließgewässer in der Schweiz und kommt stets nur in geringer Anzahl vor. Die auffällige Steinfliege *Taeniopteryx schoenemundi*, gelistet als „in der Schweiz ausgestorben“, konnte im Alpenrhein bei Lustenau sowie in der Ill nachgewiesen werden. 1961 wurde diese Art zuletzt in der Schweiz in der Venoge bei Bussigny gefunden (Lubini et al., 2012). Die Probenstellen Lustenau und Ill liegen beide auf Österreichischem Staatsgebiet, jedoch nahe der Schweizer Grenze. Hiermit kann zwar kein Wiederfund für die Schweiz beschrieben werden, jedoch lässt die geografische Nähe vermuten, dass es auch Individuen in der Schweiz geben könnte. *Brachyptera trifasciata*, ebenfalls eine Steinfliege, beheimatet in den Großen Flüssen des Mittellandes, war schon immer selten, jedoch aus einigen Flüssen der Schweiz bekannt. Heute kommt sie nur mehr im Vorder-, Hinter- und Alpenrhein vor und wird aus diesem Grunde als „vom Aussterben bedroht“ angeführt (Lubini et al. 2012). Der behaarte Taumelkäfer *Oreochtilus villosus* und *Brychius elevatus*, Wasserkäferarten, die sich bevorzugt in den strömungsarmen Abschnitten eines Flusses aufhalten, sind noch nicht in das neue Bewertungssystem überführt worden und besitzen somit alte Bezeichnungen für die Einstufungen. „Stark gefährdet“ kann mit dem heutigen „gefährdet“ gleichgesetzt werden, die ältere Bezeichnung „gefährdet“ hat allerdings keine direkte Übersetzung in das neue

Tabelle 5. Basismonitoring Alpenrhein 2022, Rote Liste Arten der Schweiz. Eingestufte Arten aus den Gruppen der Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Mollusca, Coleoptera und Odonata. NT Vorwarnstufe, VU gefährdet, EN stark gefährdet, CR vom Aussterben bedroht, RE in der Schweiz ausgestorben. Individuendichten der MHS-Proben, Werte in [Ind/m<sup>2</sup>].  Taxon in einer qualitativen Probe nachgewiesen.

Taxon	Kategorie	VRH ILA	VRH REI	HRH BON	ARH MAS	ARH TRI	ARH BAN	ARH LUS	LAQ	LBK	ILL
<i>Rhithrogena allobrogica</i>	VU			3,2	1,6		0,8	5,1			7,2
<i>Rhithrogena dorieri</i>	NT										
<i>Rhithrogena landai</i>	EN					58,4	4,8		15,2		
<i>Brachyptera trifasciata</i>	CR		0,8		10,4	27,2	5,6	2,5	5		
<i>Isoperla obscura</i>	EN							1,6			
<i>Nemoura minima</i>	NT										3,6
<i>Taeniopteryx schoenemundi</i>	RE							1,7			
<i>Micrasema morosum</i>	NT	4,8									
<i>Acrophyllax zerberus</i>	VU										
<i>Hydropsyche fulvipes</i>	VU					0,8			2,4		
<i>Hydropsyche guttata</i>	EN						1,6	10,3			
<i>Lepidostoma basale</i>	VU										
<i>Oreochtilus villosus</i>	stark gefährdet						0,8				
<i>Brychius elevatus</i>	gefährdet										

Einstufungskonzept. Aus der Österreichischen Roten Liste (Malicky, 2009) können ergänzend die Köcherfliegen *Acrophylax zerberus* (Landquart) und *Anabolia nervosa* (Liechtensteiner Binnenkanal), beide in Österreich als „stark gefährdet“ eingestuft, sowie *Hydropsyche fulvipes* (Alpenrhein bei Triesen, Landquart, Liechtensteiner Binnenkanal) die bereits als „vom Aussterben bedroht“ beschrieben wird, hinzugefügt werden. Diese Arten sind auch in der Schweiz selten anzutreffen.

#### FAKTEN: ROTE LISTE ARTEN

- ◆ Nach der Roten Liste Schweiz sind insgesamt 14 Makrozoobenthosarten einer Gefährdungsstufe zugeordnet, wobei die meisten mit jeweils fünf Taxa im Alpenrhein bei Bangs und Lustenau nachgewiesen wurden.
- ◆ Aus der Österreichischen Roten Liste können drei Köcherfliegenarten ergänzt werden, die auch in der Schweiz selten anzutreffen sind (*Acrophylax zerberus*, *Anabolia nervosa* und *Hydropsyche fulvipes*).

## 5.6 Die Bedeutung der Nebenchoriotope

Ein besonderes Hauptaugenmerk der vorliegenden Untersuchung wurde auf die Bedeutung der Nebenchoriotope für das Makrozoobenthos am Vorder-, Hinter- und Alpenrhein gelegt. Insgesamt wurden zuzüglich der MHS-Proben 34 qualitative Proben in verschiedensten Sonderhabitaten (Totholz, Wurzelbärte, Ansammlungen von Feinsubstraten, Sunktümpel, Bereiche mit organischem Material, Megablöcke, Moos und Algenbestände) erfasst. Gemeinsam haben diese, dass sie per Definition eine Fläche von weniger als 5 % der gesamten Probenfläche aufweisen und somit nicht Teil der MHS Aufnahme sind.

Informationen über die frühen Artenspektren des Makrozoobenthos am Alpenrheins sind nur schwerlich auszumachen. Weder findet sich eine geeignete Referenz, noch sind den Autoren historische Daten, die eine Makrozoobenthoszönose vor den umfassenden anthropogenen, morphologischen sowie hydrologischen Eingriffen skizziert, bekannt. Im Gegensatz hierzu liegen gute Beschreibungen über die ursprüngliche Flussmorphologie, zum Beispiel anhand historischer Karten, vor. Abbildung 35 zeigt einen Ausschnitt des Gebiets von Diepoldsau und Widnau. Schon 1769 war der mäandrierende Alpenrhein durch Dämme und Wuhrbauten in einem jedoch relativ breiten Flussbett begrenzt.

Der ursprüngliche, verzweigte Flussverlauf des Alpenrheins war durch eine starke longitudinale sowie laterale Konnektivität geprägt. Ein intaktes Auensystem stellte eine hohe Habitatverfügbarkeit für Taxa mit unterschiedlichsten Ansprüchen sicher. Jedes Taxon verfügt über feste Attribute, die es ermöglichen, einen bestimmten Lebensraum zu besetzen. Auch wenn es nicht mehr nachvollziehbar ist, welche Arten und mit welchen Individuendichten einst den Alpenrhein, seine Zubringer sowie den Vorder- und Hinterrhein besiedelt haben, kann man jedoch anhand der ehemaligen morphologischen und hydraulischen Bedingungen Zönosen ausmachen, deren Eigenschaften (Funktionelle Gruppen, *species traits*) an die damaligen Habitatbedingungen angepasst waren.

Beispielsweise führte hinsichtlich der Nahrung mehr sedimentiertes FPOM (feines partikuläres organisches Material) aufgrund geringerer Fließgeschwindigkeit im Auensystem zu einer Zönose mit einem größeren Anteil an Detritivoren. Durch die geringe Fließgeschwindigkeit sowie eine erhöhte Nährstoffverfügbarkeit konnten sich Algen oder andere Pflanzen leichter etablieren, was zu einem Anstieg an Makrozoobenthosarten führte, die sich durch abweiden des Aufwuchses ernährten. Auch Zerkleinerer, die einen vermehrten Eintrag von allochthonem Material und aktive Filtrierer, die einen erhöhten Anteil an gelösten Stoffen im Auensystem auffanden, trafen hier auf geeignete Bedingungen (Cummins & Klug, 1976; Cummins, 1973). Die Anpassung an unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten ist ein weiterer Treiber für die Veränderung von Makroinvertebratengemeinschaften entlang eines Auengradienten. Rheophile Organismen bevorzugen schneller fließende Abschnitte, während limnophile Arten langsame Strömungen bis zu stehenden Gewässern vorziehen. Im stark verzweigten Armsystem des Alpenrheins kam es zu Ablagerungen von Sedimenten mit kleineren Korngrößen. Diese werden unter anderem von einigen Arten der Großlibellen (z.B. *Gomphus*,



*Onychogomphus*) bevorzugt. Sie graben sich im Substrat ein, wo sie auf Beute lauern (Suhling & Müller, 1996). Arten mit einer an niedrige Sauerstoffkonzentrationen angepassten Atmungsstrategie, die auch oftmals höhere Wassertemperaturen tolerieren können, besiedelten im Allgemeinen eher potamale und sogar litorale Abschnitte des Alpenrheins.

Heute weisen viele Untersuchungsstellen des Basismonitorings Alpenrhein einen homogenisierten Flussschlauch auf, indem ein Großteil der Fläche dem einheitlichen Hauptstrom zugeordnet werden kann. Die heute als Nebenchoriotope angesprochenen Lebensräume haben einst weite Flächen im Rheintal eingenommen und verschiedenste Makrozoobenthoszönosen beheimatet, aktuell sind diese Bereiche extrem stark reduziert und nur mehr vereinzelt und kleinräumig, an den Randbereichen und in hydraulisch geschützten Mikrohabitaten des Gewässers zu finden oder fehlen teilweise vollständig. Wenn durch anthropogene Einflüsse wie Flussbegradigungen oder Entwässerung des Umlandes keine natürlichen Auenprozesse mehr stattfinden, geht die Strukturvielfalt mit aquatischen, semiaquatischen und terrestrischen Biotopen, die im Querschnitt großer Flussauensysteme typisch wären, zunehmend verloren, ebenso wie ihre Bewohner.

Nicht allein durch die morphologischen Veränderungen am Alpenrhein, sondern auch durch die Wasserkraftnutzung und den daraus resultierenden hydrologischen Veränderungen ist die wirbellose Bodenfauna unter Druck geraten. Der Schwallbetrieb der Kraftwerke im Rheineinzugsgebiet führt zu einem kompletten Umsturz des natürlichen Abflussgeschehens. Zwar zeigen sich weiterhin ein natürlicher Jahresgang mit erhöhten Abflüssen im Sommerhalbjahr, ein ausgeprägtes Abflussmaximum im Juni sowie andauernde Niederwasserabflüsse im Winterhalbjahr, jedoch kommen durch die Energieproduktion im Alpenrhein und seinen Zubringern starke, künstliche Tagesschwankungen hinzu (siehe Kapitel 3). Die Mechanismen, die aufgrund der anthropogenen Veränderungen des Abflussgeschehens auf die Organismen wirken, sind vielfältig. So führt der unnatürlich rasche Anstieg der hydraulischen Kräfte mit höheren Fließgeschwindigkeiten und Sohlschubspannungen beim Übergang vom Sunk zum Schwall beziehungsweise während des Schwallereignisses zu einer erhöhten passiven Drift von benthischen Organismen (Gibbins et al., 2007). Insbesondere in stark kanalisiertem Flussabschnitten führt ein Schwallbetrieb zur Etablierung einer Makrozoobenthoszönose, die an diese harschen Umweltbedingungen angepasst ist, während der Anteil jener Arten, die an eine schwächere Strömung angepasst sind, stark abnimmt (Schmutz et al., 2013). Mit dem Schwall einhergehend führt ein erhöhter Geschiebetrieb und Schwebstoffeintrag zur Kolmation des Sedimentlückensystems und einer ansteigenden Trübstoffbelastung. Ein erhöhter Feinsedimenteintrag in die Sohle des Alpenrheins ist besonders für größere Interstitialbewohner ein kritischer Vorgang und vergrößert wiederum die Driftrate, da sichere Rückzugsorte verwehrt bleiben.



Abbildung 35. Hans Conrad Römer: *Der Rheinlauf durch das ganze Rheintal*, 1769, Ausschnitt des Gebiets von Diepoldsau und Widnau (Staatsarchiv St. Gallen).

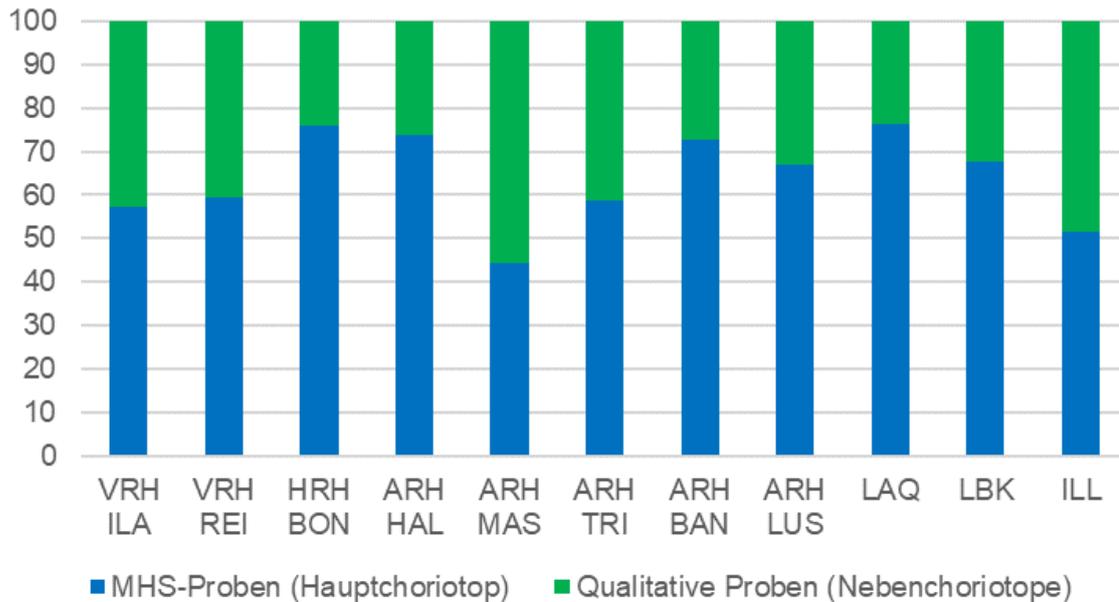


Abbildung 36. Anteil der MHS-Proben aus den Hauptchoriotopen und der qualitativen Proben aus den Nebenchoriotopen an den Gesamttaxazahlen des Basismonitorings Alpenrhein 2022 in [%].

An Flussabschnitten, die breitere und flachere Ufer besitzen, kommt es durch große Schwall-Sunk Amplituden zu einer weiten Wasserwechselzone. Dort können neben den Fischen auch benthische Insekten und andere Wirbellose durch den raschen Rückzug des Wassers während der Sunkphase stranden. Auch hier kommt es zu Ablagerungen von Feinsedimenten und einer Kolmation des Interstitials, wodurch bei Trockenfallen der Wasserwechselzone die Organismen keinen Schutz finden. Folglich wird die Wasserwechselzone von den meisten Organismen gar nicht besiedelt (Baumann & Klaus, 2003). Thermopeaking bezeichnet die Veränderung der Wassertemperatur mit dem Abarbeiten von gespeichertem Wasser. Im Sommer kann es im Vergleich zum natürlichen Jahresrhythmus zu „kalten“ - und im Winter zu „warmen“ Schwallereignissen kommen. Der Lebenszyklus und die physiologischen Prozesse vieler Wasserorganismen sind jedoch stark an die natürlichen Temperaturregime gebunden (Frutiger, 2004).

Zusammenfassend führen die beschriebenen morphologischen sowie hydrologischen Veränderungen am Alpenrhein zu Verlusten von Habitaten, die für eine diverse und flusstypische Makrozoobenthosgemeinschaft benötigt werden. Trotz alledem bekommt man mit den insgesamt 34 im Längsverlauf beprobten Nebenchoriotopen einen kleinen Einblick in das Potential der möglichen Artenvielfalt am Alpenrhein. In den folgenden Kapiteln werden wir den enormen Zugewinn an Taxa durch die qualitativ beprobten Flächen, die Eigenschaften dieser Zönosen, sowie die Bedeutung der Nebenchoriotope für zukünftige Renaturierungsprojekte diskutieren.

### 5.6.1 Anteile der Taxa in Hauptchoriotopen und Nebenchoriotopen

Trotz der oftmals verschwindend geringen Flächen der Nebenchoriotope an den Probenstellen des Alpenrheins und seiner Zubringer wurde eine außerordentlich hohe Zahl an Taxa durch die qualitativen Proben hinzugewonnen. Abbildung 36 stellt den Anteil der MHS-Aufnahme und den Anteil der qualitativen Proben an der Gesamttaxazahl der elf Untersuchungsstellen gegenüber.

Je nach Untersuchungsstelle waren zwischen 27 % und 55 % der vorgefundenen Taxa ausschließlich in den Nebenchoriotopen zu finden. In Mastrils konnten mit 55 % mehr Taxa aus den qualitativen Proben als aus der MHS-Aufnahme gefunden werden. Hier ist zu erwähnen, dass die Untersuchungsstelle an der Mastrilser Au zusammen mit der Probenstelle am Hinterrhein bei Bonaduz zu jenen gehört, die einen vergleichsweise naturnahen, verzweigten Flussverlauf aufweist und zumindest auf der orografisch linken Seite eine Verbindung



zum Umland hat (Abbildung 37, links). Durch die erhöhte Habitatheterogenität mit Nebengerinnen, Hinterrinnen, Sunktümpeln und Feinsediment ist das Ergebnis nicht so überraschend wie beispielsweise in Lustenau. Auch hier kommen 33 % der Taxa aus den qualitativ beprobten Habitaten, obwohl der Flussschlauch sehr monoton ist und Nebenchoriotope nur randlich und lediglich stark reduziert vorhanden sind, mit kleinen Sandflächen sowie Sunktümpeln (Abbildung 37, rechts).

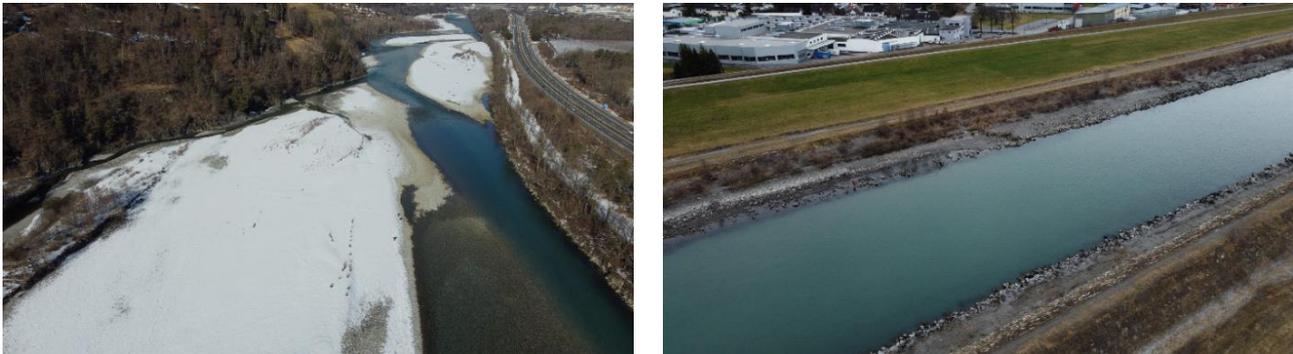


Abbildung 37. Überblicksfotos der beiden Alpenrhein-Untersuchungsstellen Mastrils (links) und Lustenau (rechts).

### 5.6.2 Vergleich der Hauptchoriotope (MHS-Proben) mit den Nebenchoriotopen (qualitative Proben)

Für die Analyse der unterschiedlichen Besiedlung der Haupt- bzw. Nebenchoriotope in den schwall-beinflussten Strecken des Alpenrheins wurden alle Hauptchoriotope (MHS-Proben) mit allen beprobten Nebenchoriotopen (Totholz, Wurzelbärte, Ansammlungen von feinkörnigeren Sedimenten, Sunktümpel, Bereiche mit organischem Material, Megablöcke, Moos und Algenaufwuchs) auf Basis verschiedener zönotischer Parameter und Indices verglichen (Abbildung 38). In die Auswertung wurden alle Proben des Rheins integriert, an denen ein erheblicher Einfluss auf die Zönosen durch Schwallbetrieb zu erwarten ist. Die Proben aus Ilanz (da es sich hier um eine Restwasserstrecke handelt), die Zubringer Landquart und Ill sowie der Liechtensteiner Binnenkanal wurden von diesem Vergleich ausgeschlossen. Dies zielt auf eine bessere Vergleichbarkeit hin und soll eine zu weite Streuung der Daten verhindern, die Unterschiede zwischen den Choriotopen verschleiern könnte.

Wenige Unterschiede zwischen Neben- und Hauptchoriotopen weisen die Analysen der Taxazahl, des Diversitätsindex (Shannon&Wiener), der Evenness und des Rhithron-Ernährungstypen-Index (RETI) auf. Unterschiede sind hier lediglich in den Spannweiten auszumachen, welche bei Taxazahl und Diversitätsindex in den Nebenchoriotopen weiter, beim RETI enger streuen.

Im Gegensatz dazu zeigen die Vergleiche des Längenzonationsindex (LZI), des Rheoindex nach Banning, die Anzahl der Taxa der sensitiven Gruppen der Eintagsfliegen, Steinfliegen und Köcherfliegen (EPT-Taxazahl) und des Saprobitätsindex (SI) starke Abweichungen zwischen den Haupt- und Nebenchoriotopen beim Mittelwert bzw. Median. Während der LZI als Maß für den Schwerpunkt der längenzonalen Verteilung in den Hauptchoriotopen das Metarhithral anzeigt, indiziert der LZI in den Nebenchoriotopen Verhältnisse des Meta-Hyporhithral. Die EPT-Taxazahl fällt im Mittel in den Hauptchoriotopen höher aus. Der Saprobitätsindex indiziert in den Hauptchoriotopen oligo- bis beta-mesosaprobe, in den Nebenchoriotopen beta-mesosaprobe Verhältnisse. Der Rheoindex nach Banning beschreibt die Affinität eines Taxons zur Strömungsgeschwindigkeit. Es bildet sich ein klarer Gradient, der verdeutlicht, dass die strömungsliebenden Taxa in den Hauptchoriotopen zu finden sind und die weniger strömungsliebenden Taxa in den Nebenchoriotopen. Die Zusammenschau der Ergebnisse deutet darauf hin, dass sich neben den Zönosen in den Hauptchoriotopen in kleinen Nebenhabitaten auch flusstypische, von den Hauptchoriotopen unterscheidbare Zönosen etablieren können.

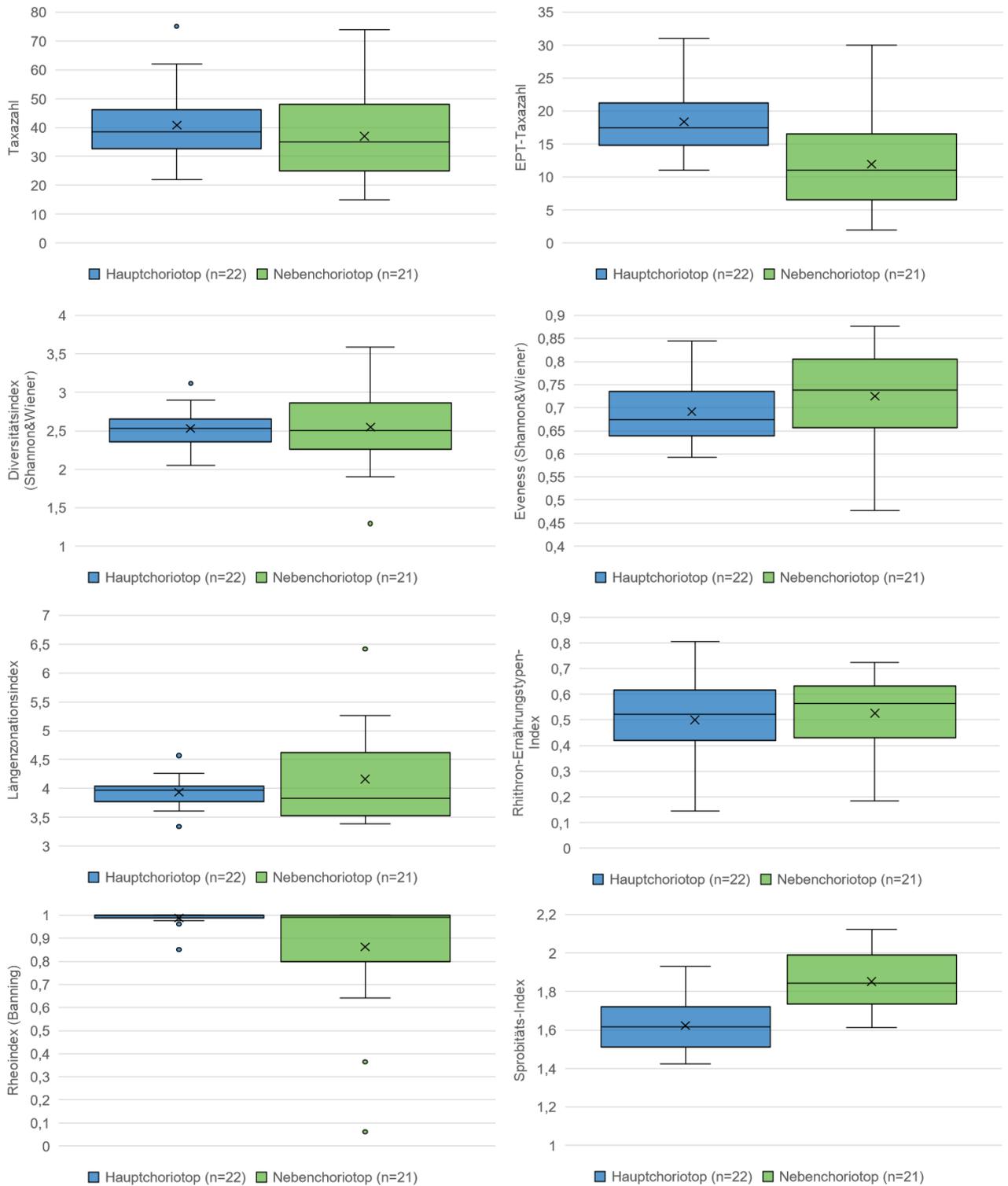


Abbildung 38. Vergleich der Hauptchoriotope (n=22) und Nebenchoriotope (n=21) von den Probenstellen des Basismonitorings Alpenrhein (exklusive Illanz, Landquart, Liechtensteiner Binnenkanal, Ill). Hauptchoriotope: Makrozoobenthosaufnahmen der MHS-Beprobung. Nebenchoriotope: Qualitative Beprobung von Flächen unter 5 % der Untersuchungsstellen. Darstellung als Box-Plot: x ... Mittelwert, Box ... mittlere Quartile mit Median, Whiskers ... Extremwerte (Minimum/Maximum), Punkte ... Ausreißer.



Um ein besseres Verständnis der unterschiedlichen Zönosen zu bekommen, wurde die Verteilung der Makrozoobenthostaxa auf die Haupt- und Nebenchoriotope folglich im Detail analysiert und die Habitatansprüche vorkommender Arten betrachtet. Hierbei konnten 49 Taxa exklusiv den Hauptchoriotopen und 60 Taxa exklusiv den Nebenchoriotopen zugeschrieben werden. Während in den Hauptchoriotopen zum Beispiel eine größere Vielfalt an filtrierenden und rheophilen Kriebelmückenarten (*Simulium argyreatum/variegatum*, *Simulium maximum/monticola*, *Simulium ornatum*) sowie strömungsliebende Arten der Eintagsfliegen (*Epeorus assimilis*, *Rhithrogena allobrogica*, *Rhithrogena doriei*, *Rhithrogena landai*, *Rhithrogena puthzi*), Steinfliegen (*Chloroperla tripunctata*, *Dictyogenus alpinum*, *Perlodes intricatus*) und Köcherfliegen (*Hydropsyche fulvipes*, *Rhyacophila torrentium*, *Silo nigricornis*) zu finden sind, kommen in den Nebenchoriotopen vermehrt Arten vor, die an geringere Strömungsgeschwindigkeiten angepasst sind. Als Beispiel kann die Eintagsfliege *Centroptilum luteolum* genannt werden, die Habitats mit feinen Korngrößen, geringer Fließgeschwindigkeit und submerser Vegetation bevorzugt. Der Käfer *Platambus maculatus* hat eine weite Verbreitung vom Epirhithral bis zum Metapotamal mit einem Schwerpunkt im Hyporhithral, benötigt jedoch Abschnitte mit geringer Fließgeschwindigkeit, genau wie die Schnecke *Radix balthica* und die Schlammfliege *Sialis fuliginosa*. Eine hohe Anzahl an Arten, die insbesondere in den Nebenchoriotopen vorkommen, gehören zu den sehr diversen Zuckmückenlarven.

### 5.6.3 Hydraulische Habitate im Vergleich

Eine Analyse der Zönosen der im Freiland unterschiedenen Habitattypen, losgelöst von Haupt- und Nebenchoriotopen, ist in Abbildung 39 dargestellt. Es wurde eine gesonderte Einteilung vorgenommen, in der verschiedene Habitate nach hydraulischen Aspekten gruppiert wurden, um zönotische Unterschiede zwischen den verschiedenen Habitattypen zu analysieren. Analog zu den Auswertungen in Kapitel 5.6.2 flossen hier lediglich schwallbeeinflusste Untersuchungsstellen aus dem Rhein ein. Die Analysen der Taxazahl, der Diversität (Shannon&Wiener), der Evenness und der EPT-Taxazahlen zeigen ein gleichartiges Muster. Die Sunktümpel sind die artenreichsten Habitate. Dieses Ergebnis muss jedoch kritisch hinterfragt werden, da es während eines Sunkereignisses vermehrt zu eingeschwemmten Individuen kommen kann. Nichtsdestotrotz wurden 13 Taxa ausschließlich in Sunktümpeln nachgewiesen. Darunter die große Steinfliege *Dinocras cephalotes*, der Käfer *Esolus parallelepipedus* und die Köcherfliege *Polycentropus flavomaculatus*. Sunktümpel sind durch den Rückzug des Wassers während der Sunkphase im Schwallbetrieb entstandene Sonderhabitate, die im weitesten Sinne mit natürlich vorkommenden Autümpeln, die von Hochwasser, Regenwasser und/oder Grundwasser geprägt sein können, vergleichbar sind. Die Proben aus den Runs (schnelle Rinner) mit durchflossenem Pool (Kolk) und Kehrwasser zeigen ebenfalls eine hohe Artenvielfalt, im Gegensatz zu den Proben aus den Feinsubstraten und jenen, die auf Megablöcken genommen wurden. Hier handelt es sich zumeist um anthropogen eingebrachten Blockwurf, welcher der Ufersicherung dient. Die Analysen zeigen, dass Blockwurfhabitate keinen Mehrwert im Hinblick auf Habitatheterogenität und Habitatverfügbarkeit für das Makrozoobenthos bringen. Hinsichtlich der funktionellen Ernährungstypen lassen sich zwischen den gewählten Habitaten keine großen Unterschiede erkennen. Die Unterschiede zwischen den Habitaten bezüglich der Längenzonation, des Rheoindex nach Banning, sowie der Saprobität sind hingegen eindeutig. Das Bild der Längenzonation zeigt, dass Taxa aus den Sunktümpeln sowie der Habitate mit hohem organischen Anteilen und der Feinsubstrate eine enorme Schwankungsbreite vom Epirhithral hin zum Epi-Metapotamal zeigen, während die schneller überflossenen Habitate wie der Run (Rinner), die Riffle (Furten), die Strömungsrinnen und der Blockwurf eine schmale Schwankungsbreite mit einem ausgeprägten Schwerpunkt im Epi- bis Metarhithral aufweisen. Der Rheoindex nach Banning unterstützt diese Ergebnisse. Habitate, die während der Probennahme eine geringere Strömungsgeschwindigkeit aufwiesen, zeigen Zönosen mit starken Schwankungsbreiten, die von rheophilen bis limnophilen Taxa geprägt sind, während die schneller durchflossenen Habitate von Zönosen mit fast ausschließlich rheophilen Taxa besiedelt werden. Deutliche Unterschiede weist die Analyse der Saprobität auf. Die Saprobität steigt mit geringerer Fließgeschwindigkeit, kleineren Korngrößen und der Verfügbarkeit von organischem Material, während sie mit höherer Fließgeschwindigkeiten und größeren Substraten sinkt.

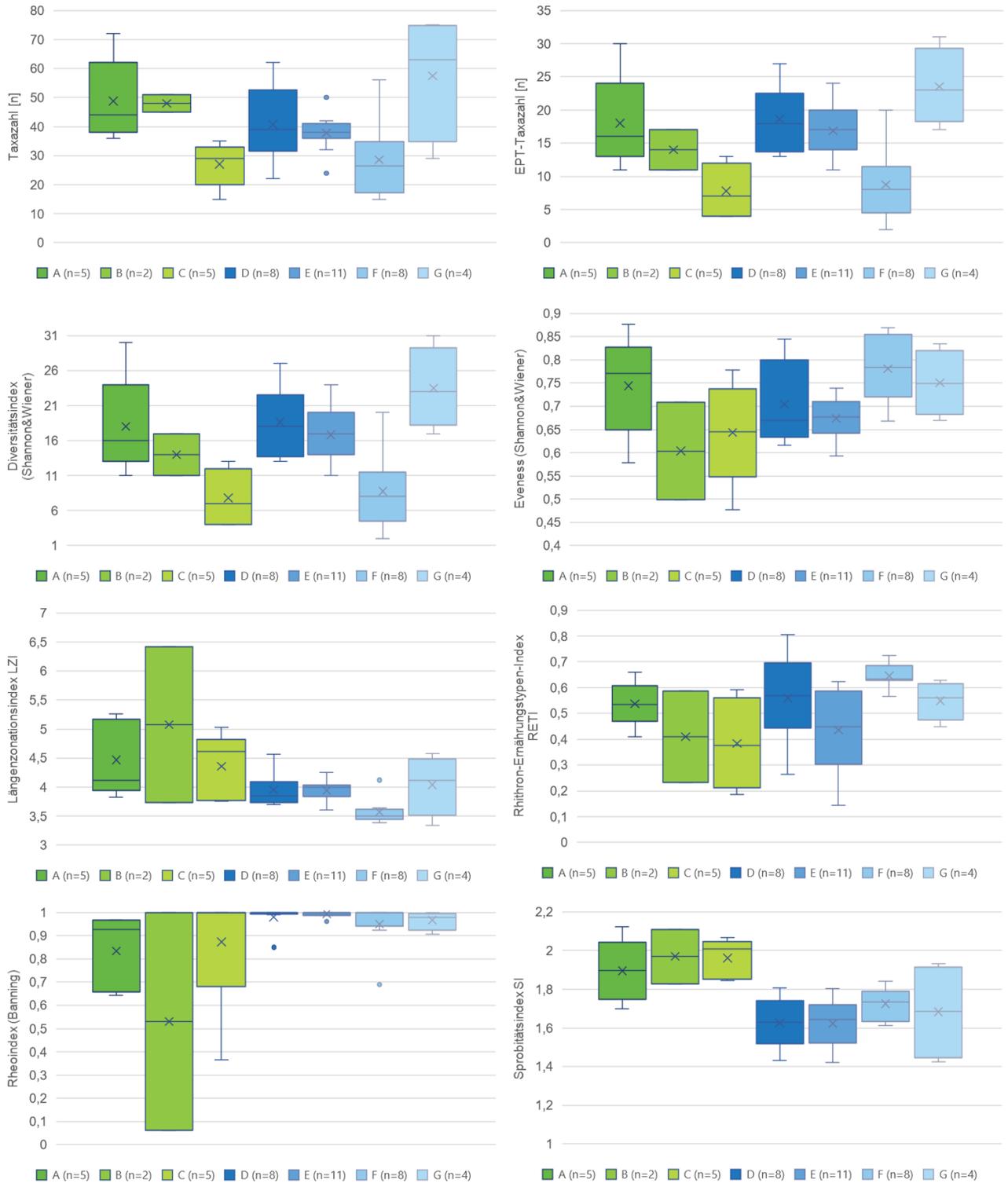


Abbildung 39. Hydraulische Habitate an den Probenstellen des Basismonitorings. Alpenrhein (exklusive Illanz, Landquart, Liechtensteiner Binnenkanal, Ill) **A**: Sunktümpel, keine Strömung (n=5); **B**: Hoher organischer Anteil, langsam überflossen (n=2); **C**: Feinsubstrat, langsam überflossen (n=5); **D**: Run mit durchflossenem Pool & Kehrwasser, mittel bis schnell überflossen (n=8); **E**: Riffle & Strömungsrinne, mittel bis schnell überflossen (n=11); **F**: Megablöcke, meist schnell überflossen (n=8); **G**: Keine Zuordnung (n=4). . Darstellung als Box-Plot: x ... Mittelwert, Box ... mittlere Quartile mit Median, Whiskers ... Extremwerte (Minimum/Maximum), Punkte ... statistische Ausreißer.



Diese Ergebnisse sind allerdings keineswegs überraschend, da es sich um natürliche Prozesse innerhalb des lateralen Gradienten eines Flusses handelt. Arten aus tieferen Fließgewässerregionen und/oder mit höherer Toleranz gegenüber organischer Belastung sind in einem natürlichen oder naturnah ausgestalteten Alpenrhein etwa in den Uferbereichen oder in Feinsedimenten von Flachwasserzonen jedenfalls zu erwarten. Durch die erheblichen Wasserspiegelschwankungen zwischen Schwall und Sunk am Alpenrhein könnte man annehmen, dass auch die randlichen Habitate einer andauernden Veränderung ausgesetzt sind. Wie die Ergebnisse zeigen, sind die flächenmäßig sehr kleinen Teillebensräume, an denen sich Feinsubstrate und organische Materialien ablagern, jedoch offensichtlich auch unter den genannten Bedingungen relativ umlagerungsstabil. Wäre dies nicht der Fall, würden wir eine Zufallszönose von eingeschwemmten Taxa aus den Hauptchoriotopen vorfinden. Da sich die Lebensgemeinschaften innerhalb der verschiedenen hydraulischen Habitate auf Basis zönotischer Parameter und Indices jedoch teils grundlegend unterscheiden und einige der Taxa ausschließlich in einzelnen oder wenigen Habitattypen vorkommen, kann hier der Zufall ausgeschlossen werden. Auch wäre der Zeitraum für eine substrattypische Besiedlung, die zu den hier beobachteten Unterschieden zum Hauptchoriotop führen, zwischen den Schwallereignissen viel zu kurz.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen unterstreichen die Wichtigkeit der Verfügbarkeit von unterschiedlichen Teillebensräumen für Makrozoobenthostaxa innerhalb des Alpenrheinsystems. Die Artenvielfalt nimmt demnach mit einer größeren Vielfalt an Habitaten mit unterschiedlichen biotischen und abiotischen Faktoren deutlich zu.

#### FAKTEN: NEBENCHORIOTOPE

- ◆ Heute weisen viele Untersuchungsstellen im Alpenrhein einen homogenisierten Flussschlauch auf, in dem ein Großteil der Fläche dem einheitlichen Hauptstrom zugeordnet werden kann (Hauptchoriotope). Die als Nebenchoriotope angesprochenen Lebensräume haben einst weite Flächen im Rheintal eingenommen und verschiedenste Makrozoobenthoszönosen beheimatet, aktuell sind diese Bereiche aber extrem stark reduziert und nur mehr vereinzelt zu finden oder fehlen. Sie treten, wenn überhaupt, nur mehr kleinräumig in hydraulisch geschützten Mikrohabitaten des Gewässers auf.
- ◆ Die Habitatvielfalt nimmt im Längsverlauf ab. Während die Probenstellen am Hinter- und Vorderrhein, aber auch im Alpenrhein bei Mastrils eine größere morphologische Vielfalt aufweisen, zeigen die Probenstellen im Alpenrhein ab Triesen einen stark eingeeengten Flussschlauch mit einer homogenisierten Sohle.
- ◆ Trotz des äußerst geringen Flächenanteils der verschiedenen Nebenchoriotope waren je nach Untersuchungsstelle zwischen 27 % (Landquart) und 55 % (Mastrils) der vorgefundenen Taxa ausschließlich in diesen Mikrohabitaten zu finden.
- ◆ Neben den stark strömungsliebenden Zönosen in den Hauptchoriotopen haben sich in den kleinen Nebenhabitaten diverse und flusstypische Zönosen etabliert, teilweise mit Arten, die einst die weitreichenden Auegebiete des Alpenrhein besiedelt haben.
- ◆ Der Blockwurf bringt keinen Mehrwert im Hinblick auf Habitatheterogenität und -verfügbarkeit für das Makrozoobenthos.
- ◆ Die beprobten Nebenchoriotope, an denen sich kleinräumig Feinsubstrate und organische Materialien ablagern, sind am Alpenrhein trotz des ausgeprägten Schwallbetriebs offensichtlich ziemlich umlagerungsstabil.
- ◆ Die Ergebnisse dieser Untersuchungen unterstreichen die Wichtigkeit der Verfügbarkeit von unterschiedlichen, aber gewässertypischen Teillebensräumen für Makrozoobenthostaxa im gesamten betrachteten Rheinabschnitt. Artenvielfalt und Diversität nehmen mit einer größeren Vielfalt an Habitaten mit unterschiedlichen biotischen und abiotischen Faktoren deutlich zu.

## 5.7 Zieltaxa

Eine Unterstützung bei der Ermittlung des ökologischen Zustands bzw. des ökologischen Potenzials der Untersuchungsstellen des Basismonitorings Alpenrhein kann die Analyse der Zielarten bzw. der Zieltaxa sein. Viele Makrozoobenthosarten, die im natürlichen Alpenrhein Flusssystem vorkamen, sind heute nicht mehr oder nur selten anzutreffen. Meistens handelt es sich um Arten, welche die weitreichenden Auegebiete wie die angebundenen Nebengewässer, Altarme, Tümpel, naturnahe Uferhabitate und Feuchtgebiete besiedelt haben. Ebenfalls können Arten, die durch den ausgeprägten Schwallbetrieb an den Probestellen des Basismonitoring Alpenrhein selten sind oder nicht (mehr) vorkommen, als Zielarten für einen Flussabschnitt ausgewiesen werden.

Die beschriebenen Zielarten/Zieltaxa der Aufnahmen von 2009 und 2015 (Rey et al. 2011, Rey & Hesselshwerdt 2016) können für das Untersuchungsjahr 2022 fortgeführt werden. Der Zustand der Zielarten/Zieltaxa hat sich im Grunde wenig verändert, wobei natürliche Schwankungen in Abundanzen und Fundorten festzustellen sind. Einige Taxa wurden komplementiert. Jene Arten, wie etwa *Baetis alpinus*, die als Zielart für bestimmte Abschnitte des Rheins ausgewiesen werden können, jedoch bereits zahlreich vorhanden sind, werden der Tabelle 6 nicht beigelegt. Die Auflistung der Zielarten für die Untersuchungsstellen des Basismonitorings Alpenrhein erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Mit einer erhöhten lateralen Konnektivität und daraus resultierenden heterogenen Lebensräumen für die wirbellose Makrofauna sowie einer Schwallsanierung können sich unterschiedlichste Zönosen entwickeln. Aus diesem Grund bleibt die Liste lückenhaft. Einige gelistete Arten könnten in Zukunft durch die geplanten morphologischen Verbesserungen, wie sie etwa beim Projekt Rhesi am unteren Abschnitt des Alpenrhein geplant sind ([www.rhesi.org](http://www.rhesi.org)), passende Lebensraumbedingungen vorfinden, jedoch zeigen viele Zielarten eine starke Sensibilität gegenüber dem vorherrschenden Schwallbetrieb. Insbesondere durch den hydraulischen Stress, die starken Abrasionseffekte und die Kolmation des Sedimentlückenraums werden Interstitialbewohner und Oberflächenbewohner zwar unterschiedlich, jedoch gleichermaßen negativ beeinflusst. Auffällig ist insbesondere der weitestgehende Ausfall von großen Tieren aus den Gruppen der Eintagsfliegen, Steinfliegen und Köcherfliegen, die einst nach Jaag et al. (1947) in einigen Abschnitten des Alpenrheins, sowie im Hinterrhein und im Vorderrhein als individuenreich beschrieben wurden. In einem Begehungsprotokoll vom 01. bis 09. März 1946 wird die Fauna in Mastrils als „ziemlich reichlich“ mit Ephemeroptera-, *Rhyacophila*- und *Simulium*-Larven beschrieben. Bei Ragaz war die Individuendichte so hoch, dass 20 bis 30 Ephemeroptera-Larven und bis zu fünf *Perla*-Larven unter einem Stein zu finden waren. Die „Reichhaltigkeit“ in Ragaz soll an den Vorderrhein bei Reichenau erinnern. Auch im Hinterrhein konnten viele Ephemeroptera-, Perliden-, *Rhyacophila*- und *Simulium*-Larven beobachtet werden und zusätzlich bei einer weiteren Begehung vom 30./31. Juli 1946 viele *Drusus*- und *Ecdyonurus*-Larven. Eine Schwallsanierung wie beispielsweise eine Amplitudensenkung oder die Verringerung der Anstiegs- und Abstiegsgeschwindigkeit sind für diese Arten allerdings unabdinglich.

Ein weiteres Beispiel für eine unter den heutigen Bedingungen sehr taxa- und individuenarme Gruppe sind die Wasserkäfer. Als typische Bewohner von Fließgewässern sind vor allem die Hakenkäfer (Elmidae) und Langtasterwasserkäfer (Hydraenidae) zu den artenreichsten Familien zu zählen. Die Diversität und auch die Individuendichten an den Probestellen des Basismonitorings Alpenrhein sind aber äußerst gering. In Bezug auf das Vorkommen der Wasserkäfer in den oberen Bereichen fällt besonders das völlige Fehlen oder nur vereinzelte Auftreten der Elmidae auf. Erst in jenen Abschnitten mit befestigtem Ufer durch Blockwurf, wie im Alpenrhein bei Triesen, Bangs und Lustenau, konnten diese zumindest in geringen Abundanzen nachgewiesen werden. Das fast völlige Fehlen weist auf die Abwesenheit von umlagerungsstabilen Strukturen mit pflanzlichem Bewuchs als Nahrungsquelle hin. Auch die Weichtiere (Mollusca) fallen mit einer geringen



Diversität auf. Neben den gelisteten Zielarten fehlen insbesondere im unteren Alpenrheinabschnitt weitere typische Bewohner von Augewässern. Zu nennen wären hier Wasserschnecken wie die Riemen-Tellerschnecke (*Bathyomphalus contortus*), das weiße Posthörnchen (*Gyraulus albus*), die gekielte Tellerschnecke (*Planorbis carinatus*), die gemeine Schnauzenschnecke (*Bithynia tentaculata*), die Spitzschlammschnecke (*Lymnaea stagnalis*), die flache Federkiemenschnecke (*Valvata cristata*) und auch Großmuscheln wie die gemeine Teichmuschel und die große Teichmuschel (*Anodonta anatina*, *A. cygnea*). Im gesamten Vorderrhein, Hinterrhein und Alpenrhein fallen die Erbsenmuscheln aus. Beispiele für typische Arten der größeren Fließgewässer sind *Pisidium casertanum*, *P. nitidum* und *P. subtruncatum*. Die Abwesenheit von umlagerungsstabilen Strukturen, sowie ein sandig bis kiesiges gut durchlüftetes Substrat macht eine Besiedlung dieser artenreichen und weit verbreiteten Gruppe schwierig.

Unter den Wenigborstern (Oligochaeta) können verschiedene Vertreter der Naididae wie *Stylaria lacustris*, *Ophidonais serpentina*, *Salvina appendiculata* und *Uncinaxis uncinata* sowie verschiedene Vertreter der Tubificidae etwa aus den Gattungen *Limnodrilus*, *Tubifex* oder *Potamothrix* genannt werden. Strömungsberuhigte bis stagnierende Auhabitate, die durch Feinsedimente und Ansammlungen von organischen Materialien geprägt sind, gelten als präferierte Lebensräume für diese Zieltaxa.

In der vorliegenden Arbeit wurden unter anderem Zieltaxa aus den Gruppen der Zweiflügler (Diptera), der Asseln (Isopoda), der Wanzen (Heteroptera) und der Strudelwürmer (Turbellaria) nicht bearbeitet.

Die 2009 und 2015 erhobenen Kriterien zur Ausweisung als Zieltaxon wurden für die vorliegende Untersuchung übernommen und in Folge angeführt. Zielarten für den Alpenrhein und seine Zuflüsse müssen einzelne oder mehrere der folgenden Voraussetzungen erfüllen (Rey et al., 2011, Rey & Hesselschwerdt, 2016):

- sie gehören der angestammten natürlichen Benthosfauna des Alpenrheins an (obligatorisch);
- sie sind Spezialisten für ein primäres Habitat, das zugleich typisch für den Alpenrhein ist;
- sie müssen die natürlichen Umgebungsbedingungen tolerieren (z.B. Temperaturgang, natürliches Abflussregime);
- sie sind heute in degradierten Abschnitten relativ selten, in naturnahen Abschnitten häufiger;
- es handelt sich um Arten, die im Verlauf ihres Lebenszyklus auf die Qualitäten mehrerer Habitate und/oder auf «Schlüpfstrukturen» angewiesen sind (Wasserinsekten);
- sie sind jeweils für die historisch unterscheidbaren Rheinabschnitte typisch; sie sind z.B. typische Besiedler hyporhithraler Abschnitte und Flussauen und gehören damit zur potenziell natürlichen Lebensgemeinschaft des Alpenrheins;
- ihr Vorkommen ist stenök, weist also bezüglich ihrer Lebensraumansprüche einen relativ engen Toleranzbereich auf.

Tabelle 6. Liste der Makrozoobenthos Zielarten / Zieltaxa für die Untersuchungsstellen des Basismonitoring Alpenrhein.

Zielart / Zieltaxon	für Abschnitt	Status	Indikator für / mögliche Zunahme durch
<b>Mollusca</b>			
<i>Ancylus fluviatilis</i>	gesamter Alpenrhein	selten	umlagerungsstabile Strukturen, strömungsberuhigte Bereiche bis mittlere Strömung / Schwallreduktion, verbesserte laterale Konnektivität
<i>Radix</i> sp.	gesamter Alpenrhein	selten	umlagerungsstabile Strukturen, strömungsberuhigte Bereiche, Feinsubstrat, Wasserpflanzen / Schwallreduktion, verbesserte laterale Konnektivität
<i>Pisidium</i> sp.	gesamter Abschnitt	derzeit nur in der III	umlagerungsstabile Strukturen, strömungsberuhigte Bereiche bis mittlere Strömung / Schwallreduktion, verbesserte laterale Konnektivität
<b>Hirudinea</b>			
Hirudinea Gen sp.	gesamter Abschnitt	selten	große Unterschiede zwischen den Gattungen / Erhöhung der Strukturvielfalt
<b>Oligochaeta</b>			
<i>Propappus volki</i>	gesamter Alpenrhein	selten	sandige Bereiche, aufsteigendes Grundwasser, gut durchlüftetes nicht kolmatiertes Interstitial, Hauptstrom bis gut durchströmter Nebenarm / Schwallreduktion
<i>Stylodrilus heringianus</i>	gesamter Abschnitt	mittlere Häufigkeit	durchlüftetes nicht kolmatiertes Interstitial, Hauptstrom bis gut durchströmter Nebenarm / Schwallreduktion
<i>Nais</i> sp.	gesamter Abschnitt	mittlere Häufigkeit	Lithal mit fädigem Algenaufwuchs, gut überströmte Bereiche / Schwallreduktion
Naididae Gen sp.	unterer Abschnitt	selten	Ansammlungen von Organik (CPOM), strömungsberuhigte Bereiche, Wasserpflanzen/ verbesserte laterale Konnektivität
Tubificidae Gen sp.	unterer Abschnitt	selten	Zeiger für stabile Feinsedimente (v.a. Pelal) etwa in stagnierenden Nebenarmen oder isolierten Autümpeln / verbesserte laterale Konnektivität
<b>Amphipoda</b>			
<i>Gammarus fossarum</i>	gesamter Abschnitt	selten	Ansammlungen von Organik (CPOM), mittlere Strömung bis strömungsberuhigte Bereiche / Schwallreduktion, verbesserte laterale Konnektivität
<b>Ephemeroptera</b>			
<i>Baetis lutheri</i>	gesamter Alpenrhein	selten	umlagerungsstabile Bereiche, Makroalgen, warmstenotherm / Erhöhung der Strukturvielfalt, Schwallreduktion
<i>Baetis muticus</i>	gesamter Abschnitt	vereinzelt	umlagerungsstabile Bereiche, Wasserpflanzen / Erhöhung der Strukturvielfalt, Schwallreduktion
<i>Ephemera danica</i>	unterer Abschnitt	kein Nachweis	umlagerungsstabile Bereiche, kiesige bis sandige Bereiche, gut durchlüftetes nicht kolmatiertes Interstitial / Schwallreduktion, Erhöhung der Strukturvielfalt
<i>Ephemerella ignita</i>	gesamter Alpenrhein	selten	umlagerungsstabile Bereiche, Moos / Erhöhung der Strukturvielfalt, Schwallreduktion
<i>Ecdyonurus helveticus</i>	oberer Abschnitt	selten	umlagerungsstabile Bereiche / Schwallreduktion
<i>Epeorus assimilis</i>	gesamter Alpenrhein	selten	umlagerungsstabile Bereiche, mittlere bis hohe Strömung, hohe Sauerstoffverfügbarkeit / Schwallreduktion, verringerte Abrasion
<i>Epeorus alpicola</i>	oberer Abschnitt	kein Nachweis	schnellfließende Bereiche, kaltstenotherm, hohe Sauerstoffverfügbarkeit / Schwallreduktion, verringerte Abrasion
<i>Rhithrogena allobrogica</i>	gesamter Alpenrhein	vereinzelt	mittlere bis hohe Strömung / Schwallreduktion, verringerte Abrasion



Zielart / Zieltaxon	für Abschnitt	Status	Indikator für / mögliche Zunahme durch
<b>Ephemeroptera</b>			
<i>Rhithrogena alpestris</i>	Vorder- und Hinterrhein	mittlere Häufigkeit	schnellfließende Bereiche / Schwallreduktion, verringerte Abrasion
<i>Rhithrogena degrangei</i>	gesamter Alpenrhein	mittlere Häufigkeit	mittlere bis hohe Strömung / Schwallreduktion, verringerte Abrasion
<i>Rhithrogena doriei</i>	Vorder- und Hinterrhein	selten	schnellfließende Bereiche / Schwallreduktion, verringerte Abrasion
<i>Rhithrogena gratianopolitana</i>	gesamter Abschnitt	mittlere Häufigkeit	mittlere bis hohe Strömung / Schwallreduktion, verringerte Abrasion
<i>Rhithrogena landai</i>	gesamter Alpenrhein	vereinzelt	sensitiv gegenüber Veränderungen von Umweltbedingungen, permanent überströmte Bereiche / Schwallreduktion, Erhöhung der Strukturvielfalt
<i>Habroleptoides confusa</i>	unterer Abschnitt	kein Nachweis	umlagerungsstabile Bereiche, kiesige bis sandige Bereiche, Moos, gut durchlüftetes nicht kolmatiertes Interstitial / Schwallreduktion, Erhöhung der Strukturvielfalt
<i>Paraleptophlebia submarginata</i>	unterer Abschnitt	selten	Feinsubstrate, Algen & Wasserpflanzen, Ansammlungen von Organik (CPOM & FPOM) / Erhöhung der Strukturvielfalt, Schwallreduktion
<b>Plecoptera</b>			
<i>Amphinemura</i> sp.	gesamter Abschnitt	mittlere Häufigkeit	randliche Stillwasserbereiche mit Detritusansammlungen, Makrophyten / strukturelle Aufwertung der Ufer und randlichen Bereiche, Schwallreduktion
<i>Protenemura meyeri</i>	Vorder- und Hinterrhein, oberer Alpenrhein	kein Nachweis	kalte, rasch fließende Gewässer mit feinem bis grobem Sediment, Wasserpflanzen und Detritusansammlungen / Erhöhung der Strukturvielfalt am Gewässerrand, Schwallreduktion
<i>Brachyptera trifasciata</i>	gesamter Abschnitt	mittlere Häufigkeit	kalte, potamal geprägte Gewässer mit Feinsediment (v.a. Akal) und pflanzlichen Strukturen/Erhöhung der Strukturvielfalt am Gewässerrand, Schwallreduktion
<i>Taeniopteryx schoenemundi</i>	unterer Alpenrhein	vereinzelt	potamal geprägte Gewässer mit grobem Substrat und Makrophytenbeständen/Erhöhung der Strukturvielfalt, Schwallreduktion
<i>Perla marginata</i>			
<i>Perla grandis</i>	Vorder- und Hinterrhein, oberer Alpenrhein	selten	kalte, rasch fließende Gewässer mit grobem Sediment und gut durchlüftetem Interstitial/ Aufwertung der Uferstrukturen, Schwallreduktion
<i>Dinocras</i> sp.	gesamter Alpenrhein	selten	rasch fließende, kalte bis mäßig warme Gewässer mit grobem Sediment und gut durchlüftetem Interstitial/ Aufwertung der Uferstrukturen, Schwallreduktion
<i>Perlodes microcephalus</i>	gesamter Abschnitt	vereinzelt	rasch fließende, kalte bis mäßig warme Gewässer mit heterogenem Sediment (Lithal) und gut durchlüftetem Interstitial/ Aufwertung der Uferstrukturen, Schwallreduktion
<i>Isoperla grammatica</i>	gesamter Abschnitt	selten	Gewässer mit mittlerer bis hoher Strömung, heterogenem Sediment (Lithal) und gut durchlüftetem Interstitial/ Aufwertung der Uferstrukturen, Schwallreduktion
<i>Isoperla obscura</i>	gesamter Alpenrhein	selten	Gewässer mit mittlerer Strömung, heterogenem Sediment (Lithal) und gut durchlüftetem Interstitial, Makrophyten und organische Ansammlungen / Aufwertung der Uferstrukturen, Schwallreduktion
<i>Chloroperla</i> sp.	Vorder- und Hinterrhein	selten	kalte, rasch fließende Gewässer mit feinem Sediment, Wasserpflanzen und Detritus; gut durchlüftetes Interstitial/strukturelle Aufwertung besonders im Hauptstrom, Schwallreduktion

Zielart / Zieltaxon	für Abschnitt	Status	Indikator für / mögliche Zunahme durch
<b>Coleoptera</b>			
<i>Orectochilus villosus</i>	gesamter Abschnitt	selten	strömungsberuhigte Bereiche (unterspülte Uferbereiche) / Schwallreduktion
<i>Nectoporus sanmarkii</i>	gesamter Abschnitt	kein Nachweis	kalte Bäche, kiesig schottriger Untergrund, mäßige bis hohe Strömung / Schwallreduktion
<i>Oreodytes davisii</i>	gesamter Abschnitt	kein Nachweis	kalte Bäche, kiesig schottriger Untergrund, mäßige Strömung / Schwallreduktion
<i>Platambus maculatus</i>	gesamter Abschnitt	selten	strömungsberuhigte Bereiche (unterspülte Uferbereiche), Restwassertümpel / Schwallreduktion
<i>Eubrychius elevatus</i>	gesamter Abschnitt	selten	Stillwasserbereiche, strömungsberuhigte Bereiche, ufernahe Vegetation / Schwallreduktion
<i>Hydraena minutissima</i>	gesamter Abschnitt	kein Nachweis	Prallhänge, submerse Weidenwurzeln, umlagerungsstabile Strukturen, pflanzlicher Aufwuchs, mäßige Strömung
<i>Hydraena pygmaea</i>	gesamter Abschnitt	kein Nachweis	Prallhänge, submerse Weidenwurzeln, umlagerungsstabile Strukturen. pflanzlicher Aufwuchs, mäßige Strömung
<i>Hydraena truncata</i>	oberer Abschnitt	selten	kiesig schottrige, sommerkalte Fließgewässer / Schwallreduktion
<i>Ochthebius gibbosus</i>	gesamter Abschnitt	kein Nachweis	intaktes Interstitial von Schotterbänken im Uferbereich / Schwallreduktion
<i>Ochthebius melanescens</i>	gesamter Abschnitt	kein Nachweis	strömungsausgesetzte umlagerungsstabile Strukturen, pflanzlicher Aufwuchs / Schwallreduktion
<i>Ochthebius metallescens</i>	gesamter Abschnitt	kein Nachweis	Prallhänge, submerse Weidenwurzeln, umlagerungsstabile Strukturen, pflanzlicher Aufwuchs, stärkere Strömung / Schwallreduktion
<i>Ochthebius nobilis</i>	gesamter Abschnitt	kein Nachweis	intaktes Interstitial, Charakterart von breiten, naturbelassenen Alpenflüssen / Schwallreduktion, naturnahe Ufer
<i>Ochthebius sidanus</i>	gesamter Abschnitt	kein Nachweis	Interstitial von kiesig schottrigen Flussufern, Restwassertümpel / Schwallreduktion, naturnahe Ufer
<i>Laccobius</i> sp	gesamter Abschnitt	kein Nachweis	sandig, kiesiges bis schottriges Interstitial von Schotterbänken / Schwallreduktion, naturnahe Ufer
<i>Elmis aenea</i>	gesamter Abschnitt	selten	umlagerungsstabile Strukturen, Wasserpflanzen, mäßige Strömung / Schwallreduktion, Prallhänge
<i>Elmis maugetii</i>	gesamter Abschnitt	selten	umlagerungsstabile Strukturen, Wasserpflanzen, mäßige Strömung / Schwallreduktion, Prallhänge
<i>Esolus parallelepipedus</i>	gesamter Abschnitt	selten	durchströmter Kies und Sand / Schwallreduktion
<i>Limnius perrisi</i>	gesamter Abschnitt	selten	umlagerungsstabile Strukturen, Wasserpflanzen, mäßige bis hohe Strömung / Schwallreduktion
<i>Riolus cupreus</i>	gesamter Abschnitt	derzeit nur in III	umlagerungsstabile Strukturen, Wasserpflanzen, mäßige bis hohe Strömung / Schwallreduktion, Prallhänge
<i>Riolus subviolaceus</i>	gesamter Abschnitt	selten	umlagerungsstabile Strukturen, Wasserpflanzen mäßige bis hohe Strömung / Schwallreduktion
<b>Trichoptera</b>			
<i>Agapetus ochripes</i>	gesamter Abschnitt	selten	FPOM, Biofilm / strömungsgeschützte Bereiche, geringe bis mittlere Strömung
<i>Drusus biguttatus</i>	oberer Abschnitt	selten	Schwallreduktion
<i>Halesus</i> sp.	gesamter Abschnitt	kein Nachweis	CPOM / strömungsgeschützte Bereiche, geringe bis mittlere Strömung
<i>Lepidostoma basale</i>	gesamter Abschnitt	kein Nachweis	CPOM, Xylal / strömungsgeschützte Bereiche, geringe bis mittlere Strömung



Zielart / Zieltaxon	für Abschnitt	Status	Indikator für / mögliche Zunahme durch
<b>Trichoptera</b>			
<i>Silo</i> sp.	gesamter Abschnitt	selten	strömungsgeschützte Bereiche, geringe bis mittlere Strömung
<i>Brachycentrus maculatus</i>	gesamter Abschnitt	kein Nachweis	strömungsgeschützte Bereiche, geringe bis mittlere Strömung
<i>Sericostoma</i> sp.	gesamter Abschnitt	selten	CPOM / strömungsgeschützte Bereiche, geringe bis mittlere Strömung
<i>Polycentropus flavomaculatus</i>	gesamter Abschnitt	selten	geringe bis mittlere Strömung
<i>Psychomyia pusilla</i>	gesamter Abschnitt	vereinzelt	geringe bis mittlere Strömung
<i>Hydropsyche</i> sp.	gesamter Abschnitt	vereinzelt	Bereiche mit mittlerer Strömung, geringe Kolmation / Schwallreduktion
<b>Megaloptera</b>			
<i>Sialis</i> sp.	gesamter Abschnitt	selten	Feinsediment, Xylal / strömungsgeschützte Bereiche, geringe bis mittlere Strömung
<b>Odonata</b>			
<i>Calopteryx splendens</i>	unterer Abschnitt	nur Adultfang	organische Strukturen / Larven: aquatische Strukturen (Wurzelbärte, Xylal) Adulte: ufernahe Vegetation
<i>Calopteryx virgo</i>	gesamter Abschnitt	nur Adultfang	organische Strukturen / Larven: aquatische Strukturen (Wurzelbärte, Xylal) Adulte: ufernahe Vegetation
<i>Enallagma cyathigerum</i>	gesamter Abschnitt	nur Adultfang	Stillwasserbereiche / Schwallreduktion
<i>Ischnura elegans</i>	unterer Abschnitt	nur Adultfang	langsam fließende Bereiche / Schwallreduktion
<i>Gomphus vulgatissimus</i>	unterer Abschnitt	kein Nachweis	Feinsediment / langsam fließende Bereiche, Stillwasserbereiche / Schwallreduktion
<i>Gomphus pulchellus</i>	unterer Abschnitt	kein Nachweis	Stillwasserbereiche / Schwallreduktion
<i>Pyrrhosoma nymphula</i>	gesamter Abschnitt	nur Adultfang	Stillwasserbereiche / langsam fließende Bereiche, ufernahe Vegetation / Schwallreduktion

**FAKTEN: ZIELTAXA**

- ◆ Zieltaxa / Zielarten sind einst im Alpenrhein vorgekommen, jedoch heute durch die hydromorphologischen Eingriffe selten oder nicht (mehr) nachzuweisen.
- ◆ Die Analyse der Zieltaxa kann eine Unterstützung bei der Ermittlung des ökologischen Zustands sein.
- ◆ Der Status der Zieltaxa hat sich im Vergleich zu den Voruntersuchungen aus den Jahren 2009 und 2015 wenig verändert.
- ◆ Insbesondere große Tiere aus den Gruppen der Eintagsfliegen, Steinfliegen und Köcherfliegen fallen aus, aber auch Vertreter der Libellen, Wasserkäfer, Schlammfliegen, Krebstiere, Wasserschnecken und Muscheln.
- ◆ Eine verbesserte Situation für die Zieltaxa kann durch morphologische Maßnahmen sowie einer Schwallreduktion erreicht werden. Dazu zählen etwa die Erhöhung der Strukturvielfalt durch umlagerungsstabile Strukturen und strömungsberuhigte Bereiche, die eine Ansammlung von Organik, Totholz und Feinsubstraten ermöglichen, eine verbesserte laterale Konnektivität und Aufwertung der Uferstrukturen, eine Verringerung der Kolmation, eine Senkung der Schwallamplitude sowie die Verringerung der Anstiegs- und Abstiegsgeschwindigkeiten.

## 5.8 Gewässergüte und Ökologischer Zustand

### 5.8.1 Anmerkungen zur Bewertungsmethodik

Grundsätzlich basiert die Beurteilung des ökologischen Zustands auf der Bewertung der stofflichen Belastung (Modul Saprobie) und der hydromorphologischen Belastung (Modul Allgemeine Degradation). Die vorliegenden Ergebnisse weisen übereinstimmend darauf hin, dass die organische Belastung an allen Untersuchungsstellen als sehr gering bis gering einzustufen ist. An den Stellen im Vorder- und Hinterrhein sowie im Alpenrhein bis Bangs konnte ein sehr guter saprobieller Zustand ermittelt werden, an der untersten Stelle bei Lustenau sowie in den Zubringern und im Liechtensteiner Binnenkanal liegt ein guter saprobieller Zustand vor. Dieser Befund wird auch von den Aufwuchsalgen gestützt. Das Modul Saprobie indiziert auf Basis der Algen an fast allen Stellen einen sehr guten Zustand, in der Landquart einen guten Zustand. Hinsichtlich der Nährstoffbelastung weisen die Aufwuchsalgen durchgehend einen sehr guten oder guten Zustand auf. Anders verhält es sich allerdings mit der hydromorphologischen Komponente des ökologischen Zustands. Struktur und Zusammensetzung der wirbellosen Bodenfauna lassen in den schwallbeeinflussten Gewässerabschnitten deutliche Defizite erkennen, die vom Modul Allgemeine Degradation allerdings nicht detektiert werden und nur bei einer eingehenden Detailanalyse erkennbar sind.

Im Leitfaden (Ofenböck et al., 2019) wird darauf hingewiesen, dass die österreichische Zustandsmethode die Auswirkung von Stressoren, welche vorwiegend quantitative Aspekte einer Biozönose verändern, nicht erfassen kann. Dazu zählen die Auswirkungen von Schwallbetrieb und teilweise auch Restwasser. Die rechnerischen Ergebnisse der Zustandsbewertung sind in schwallbelasteten Gewässerabschnitten daher stets mit Unsicherheiten behaftet und oftmals auch unplausibel. Im Leitfaden wird daher darauf hingewiesen, dass die Anwendung zusätzlicher Parameter erforderlich sein kann.

Ein Aspekt ist die Auswirkung des Schwalls auf die Individuendichten der benthischen wirbellosen Fauna. Zwar geht die Abundanz nicht in die Zustandsberechnung ein, bei Unterschreiten einer kritischen Besiedlungsdichte steigt aber die Anzahl der nur vereinzelt vorkommenden Arten deutlich an. Es ist fraglich, ob bei einer hohen Anzahl von Einzelfunden unter Berücksichtigung der natürlicherweise sehr hohen Mortalitätsrate über den Lebenszyklus der aquatischen Wirbellosen von einer stabilen Population gesprochen werden kann, denn dies setzt ein stetes Vorkommen über mehrere Generationen voraus. Dieser für die Funktionsfähigkeit des Systems Fließgewässer wesentliche Aspekt wird durch die aktuelle Berechnungsmethode nicht abgebildet bzw. werden die dafür maßgeblichen Kennwerte oft durch die Ausprägung anderer Parameter soweit kompensiert, dass sich rechnerisch ein guter, mitunter sogar ein sehr guter Zustand ergibt. Dies ist etwa bei einem weiteren Aspekt des ökologischen Zustands, dem Längenzonationsindex (LZI) bzw. der längenzonalen Verteilung zu beobachten: Flussbegradigungen führen aufgrund der damit verbundenen Gefälleerhöhung und der Konzentration des Abflusses auf einen engen Flussschlauch zu einem Rhithralisierungseffekt, wodurch die Zönose eine höhere Gewässerregion widerspiegelt, als es dem Gewässertyp entspricht und der LZI damit zu gering ausfällt. Ein Schwallbetrieb hat durch die wiederkehrende Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeiten ähnliche Auswirkungen auf die Zönose. Beide Effekte, Schwallbetrieb und Flussbegradigung, verstärken sich gegenseitig, die Auswirkungen des Schwallbetriebs werden durch einen höheren Verbauungsgrad verstärkt. Bei der Zustandsberechnung wirkt sich ein zu geringer, nicht dem Gewässertyp entsprechender LZI positiv auf die Bewertung aus, was zu einem unplausiblen Ergebnis führt.

Ebenso unberücksichtigt bei der Zustandsberechnung bleiben Ausfälle gewässertypischer Taxa. So fehlen etwa im untersuchten Rheinabschnitt Vertreter der Weichtiere, Egel, Wasserkäfer und Libellen weitestgehend. In anderen Gruppen sind einzelne Taxa deutlich unterrepräsentiert, als Beispiele seien hier die Köcherfliegen-gattungen *Hydropsyche*, *Sericostoma* und *Halesus*, Vertreter der Steinfliegen wie etwa die Gattungen *Perla* und *Dinocras* oder aber auch Eintagsfliegen wie *Baetis muticus*, *Ephemerella ignita* und *Epeorus assimilis* genannt. Die in den beiden folgenden Kapiteln 5.8.2 und 5.8.3 dargelegten Berechnungsergebnisse zum ökologischen Zustand auf Basis der wirbellosen Bodenfauna sind im Sinne der Kontinuität und der Vollständigkeit angeführt, diese sind aber aus genannten methodischen Gründen als unplausibel anzusehen. Für eine nachvollziehbare Bewertung ist daher jedenfalls eine Experteneinschätzung erforderlich.



## 5.8.2 Detaillierte Makrozoobenthosmethode Österreich - Berechnungsergebnisse

Während die Zustandsberechnungen für die Stellen im Vorderrhein bei Illanz und im Liechtensteiner Binnenkanal nachvollziehbare Ergebnisse liefern, sind jene für die deutlich schwallbeeinflussten Strecken, wie in Kapitel 5.8.1 erläutert, als nicht plausibel zu bewerten, weshalb für diese Stellen eine Experteneinschätzung erforderlich ist (Kapitel 5.8.4).

Die Berechnung des ökologischen Zustands auf Basis des benthischen Qualitätselements Makrozoobenthos erfolgen entsprechend den aktuell geltenden Arbeitsanweisungen nach Ofenböck et al. (2019). Die Auswertung erfolgt mit dem Programm Ecoprof 5.0 sowie der firmeneigenen Datenbank.

Im Vorderrhein ergibt sich für das Qualitätselement Makrozoobenthos sowohl bei Illanz als auch bei Reichenau der gute ökologische Zustand. Das Modul Saprobie, welches die organische Verschmutzung eines Gewässers widerspiegelt, zeigt übereinstimmend den sehr guten Zustand an. Das Modul Allgemeine Degradation, das die Auswirkungen verschiedener Stressoren wie die Degradation der Gewässermorphologie, Veränderungen im Gewässer durch anthropogene Nutzungen im Gewässer oder dessen Umland, toxische Stoffe, Pestizide, etc. abbildet, weist für beide Untersuchungsstellen den guten Zustand aus. Da aufgrund des „one out – all out“ Prinzips immer das schlechteste Ergebnis eines Teilmoduls den Gesamtzustand bestimmt, errechnet sich für beide Untersuchungsstellen der gute ökologische Zustand. Im Hinterrhein bei Bonaduz indiziert das Modul Saprobie den sehr guten Zustand, das Modul Allgemeine Degradation den guten Zustand. Da die Scores der bewertungsrelevanten multimetrischen Indizes (MMI) jedoch knapp an der Klassengrenze zum sehr guten Zustand liegen, kann hier eine leitfadenskonforme Aufwertung zum sehr guten Zustand vorgenommen werden. Im Alpenrhein liegen die Werte des Saprobitätsindex SI von der Untersuchungsstelle bei Haldenstein flussab bis zur Untersuchungsstelle bei Bangs jeweils innerhalb der Klassengrenzen für den sehr guten saprobiellen Zustand. In Lustenau liegt der SI knapp über dem Grenzwert für den sehr guten Zustand, hier kann der gute saprobielle Zustand festgestellt werden. Das Modul Allgemeine Degradation indiziert wiederum übereinstimmend einen guten Zustand, nur bei Triesen zeigt sich der sehr gute Zustand. Insgesamt resultiert somit für alle Untersuchungsstellen des Alpenrheins der gute ökologische Zustand, mit der Ausnahme der Probenstelle bei Triesen, wo sich anhand des Qualitätselements Makrozoobenthos der sehr gute ökologische Zustand errechnet. Bei den Zubringern zum Alpenrhein ergibt sich für die Landquart und die Ill anhand des Moduls Saprobie wie auch anhand des Moduls allgemeine Degradation der gute Zustand, es folgt an beiden Untersuchungsstellen eine Gesamtbewertung mit dem guten ökologischen Zustand. Der Liechtensteiner Binnenkanal wird mit dem mäßigen ökologischen Zustand bewertet, das Modul Saprobie liegt im guten Zustand, das Modul Allgemeine Degradation weist jedoch einen mäßigen Zustand aus.

Ein Vergleich des ökologischen Zustands zwischen den Untersuchungsjahren ist aufgrund unterschiedlicher Probenahmetechniken nur eingeschränkt möglich. Im Zuge der Monitoringkampagne 2015 wurden zwischen 9 und 12 Teilproben von der Gewässersohle entnommen und zu einer MHS-Probe vereint, 2022 wurden jeweils 20 Teilproben entnommen. Hinzu kommt, dass 2015 bewatbare Bereiche, aber auch tiefer liegende Bereiche mittels Taucher beprobt wurden, 2022 wurden ausschließlich watend zu beprobende Flächen bearbeitet. Unterschiedliche Ergebnisse zwischen den Untersuchungsjahren müssen daher nicht unbedingt eine Veränderung des ökologischen Zustands anzeigen, sondern können auch einen methodischen Ursprung haben.

## 5.8.3 Makrozoobenthosmethode Stufe F Schweiz - Berechnungsergebnisse

Der Anwendungsbereich der Methode Makrozoobenthos – Stufe F (IBCH) beschränkt sich auf kleine und mittelgroße Gewässer der Schweiz, die watend beprobt werden können. Eine Bewertung großer Fließgewässer wie des Alpenrheins ist nicht vorgesehen (BAFU, 2019).

Der IBCH wurde 2019 zum IBCH\_2019 überarbeitet, um den Gewässerzustand besser widerspiegeln zu können, regional bedingte Unterschiede zu verringern und menschliche Einflussfaktoren besser in den Ergebnissen abbilden zu können. Im Zuge dieser Methodenänderung wurden in die Berechnung einfließende Korrekturwerte auf Basis des IBCH-Q-Abflussregimetyps eingeführt. Da diese Korrekturwerte nur für Schweizer Gewässer vorliegen, mussten für die in Liechtenstein und Österreich liegenden Gewässer

Korrekturwerte anhand von vergleichbaren Gewässertypen ausgewählt werden. Für den Liechtensteiner Binnenkanal wurde der IBCH-Q-Regimetyt des Werdenberger Binnenkanals herangezogen, beide Gewässer sind künstliche, das Vorland entwässernde Kanäle, die parallel zum Alpenrhein verlaufen. Für die Ill wurde der IBCH-Q-Regimetyt der Landquart angewendet, es handelt sich bei beiden Flüssen um alpin geprägte Fließgewässer, die im Silvrettamassiv entspringen. Die Probenstelle Reichenau im Vorderrhein liegt genau an der Grenze von IBCH-Q-Regimetyt 5 und 6. Aufgrund des Einflusses aus dem Einzugsgebiet wurde für die Berechnung des IBCH\_2019 der IBCH-Q-Regimetyt 5 herangezogen.

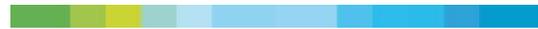
Für die Probenstellen in Vorderrhein und Hinterrhein ergibt sich rechnerisch nach IBCH\_2019 ein sehr guter biologischer Zustand. Im Alpenrhein bei Haldenstein und Mastrils kann der gute Zustand ausgewiesen werden. Flussab errechnet sich für Triesen, Bangs und Lustenau wiederum der sehr gute biologische Zustand. Bei den Zubringern zum Alpenrhein zeigt die Landquart einen guten Zustand, der Liechtensteiner Binnenkanal und die Ill jeweils einen sehr guten Zustand. Diese Ergebnisse sind jedoch mit Vorsicht zu betrachten und dienen lediglich als Vergleich zwischen den Untersuchungsstellen. Die Freilandaufnahmen wurden im aktuellen Monitoringprogramm einheitlich nach Österreichischer MHS-Methode durchgeführt (Ofenböck et al., 2019). Dabei werden 20 Teilproben zu je 0,0625 m<sup>2</sup> zu einer MHS-Probe vereint, wohingegen nach Schweizer Methode acht beziehungsweise in strukturreichen Gewässern zwölf Teilproben zu je 0,0625 m<sup>2</sup> von der Gewässersohle entnommen werden. Die Ergebnisse mussten daher auf die entsprechende Fläche umgerechnet werden. Werden größere Flächen beprobt, führt dies tendenziell zu höheren Taxazahlen, was wiederum in einem höheren Wert der Diversitäts-klasse (DK) resultiert. Gleichzeitig kann dies auch dazu führen, dass mehr seltene Makroinvertebraten Taxa beziehungsweise seltene Makroinvertebraten Taxa in höheren Dichten gefunden werden, was einen höheren Wert der Indikatorgruppe (IG) zur Folge hat. Es ist daher nicht auszuschließen, dass der IBCH\_2019 zu hoch ausfällt und damit die entsprechende biologische Zustandsklasse überschätzt wird.

Im Zuge der Proben-Aufarbeitung im Labor werden nach Schweizer Methode alle in der Probe zu findenden Organismen ausgezählt beziehungsweise ab einer festgelegten Individuenzahl geschätzt. Nach Österreichischer Methode werden immer wieder gleich große Teile der Probe ausgezählt bis eine Mindestindividuenzahl von 700 Tieren erreicht ist. Ausgehend davon wird im Anschluss auf die gesamte Probe hochgerechnet. All diese Einflussfaktoren können zu einer deutlichen Verzerrung der Ergebnisse führen.

Auch ein Vergleich mit den Ergebnissen aus den Monitoringprogrammen 2009 und 2015 ist aufgrund der beschriebenen methodischen Änderungen des IBCH und den unterschiedlichen angewandten Beprobungsmethodiken nur mit Vorbehalt möglich.

#### **FAKTEN: ZUSTANDBERECHNUNG BODENLEBENDE WIRBELLOSE FAUNA**

- ◆ Die Berechnungsmethoden der Schweiz, Österreichs und Deutschlands für den ökologischen Zustand sind grundsätzlich nicht oder nur äußerst eingeschränkt für die Bewertung großer Fließgewässer und schwallbeeinflusster Gewässer geeignet. In den Methodenvorschriften wird darauf explizit hingewiesen.
- ◆ Die Anwendung der standardisierten Berechnungsmethoden führt in schwallbeeinflussten Gewässerstrecken zu unplausiblen Ergebnissen, daher ist eine Experteneinschätzung erforderlich.
- ◆ Die aktuelle Probenahme erfolgte nach der Österreichischen Methode, deren Aufnahme- und Bearbeitungstechniken sich von jenen der anderen beiden Länder unterscheidet. Eine Übertragung der Daten in die Deutsche Methode ist daher nur eingeschränkt möglich und in die Schweizer Methode wenig zweckmäßig.
- ◆ Ein Vergleich zwischen den Ergebnissen der Untersuchungskampagnen von 2009, 2015 und 2022 ist aufgrund unterschiedlicher Probenahmetechniken nur eingeschränkt möglich.
- ◆ Das Modul Saprobie (organische Belastung) indiziert nach Österreichischer Methode für die Untersuchungsstellen im Rhein flussab bis inklusive Bangs den sehr guten saprobiellen Zustand, an der untersten Stelle im Alpenrhein bei Lustenau, in den Zubringern Landquart und Ill sowie im Liechtensteiner Binnenkanal einen guten saprobiellen Zustand und ist plausibel.



### 5.8.4 Experteneinschätzung des ökologischen Zustands

Im Rahmen einer Experteneinschätzung des ökologischen Zustands haben jene Aspekte der wirbellosen Bodenfauna einzufließen, die bei einer Detailanalyse als Defizite anzusprechen sind und einen plausiblen Zusammenhang mit den Stressoren vermuten lassen, bei der Berechnung des ökologischen Zustands aber nicht berücksichtigt werden. Für die Experteneinschätzung im Basismonitoring Alpenrhein kommt nachstehendes Parameterset zur Anwendung.

#### Artinventar

Dieser Begriff wird von der ÖNORM M6232 (Österreichisches Normungsinstitut, 1995) übernommen und bezieht sich auf die gewässertypische Zusammensetzung des Makrozoobenthos. In den durch Schwall beeinflussten Gewässerstrecken des Rheins und der beiden Zubringer fallen wichtige Gruppen wie etwa Schnecken, Muscheln, Egel, Wasserkäfer und Libellen nahezu vollständig aus. Offenbar finden sie keine ausreichend geeigneten Lebensräume vor bzw. kommen mit den hydromorphologischen Bedingungen nicht zurecht, wobei keineswegs immer eine eindeutige Unterscheidung zwischen den beiden maßgeblichen Stressoren Regulierung und Schwall möglich ist, da sich deren Wirkung überlagert bzw. gegenseitig verstärkt. Die größten Defizite hinsichtlich des Artinventars sind im Vorderrhein bei Reichenau, im Hinterrhein bei Bonaduz sowie im Alpenrhein in Haldenstein und Mastrils festzustellen. An diesen Stellen fallen etwa die Wasserkäfer vollständig aus. Bemerkenswerter Weise treten weiter stromab zumindest einzelne Käferarten auf, ab der untersten Stelle bei Lustenau sind es insgesamt fünf Taxa. Wenngleich diese Zunahme im Längsverlauf bescheiden ausfällt, könnte sie ein Hinweis darauf sein, dass die Schwallamplitude für das Vorkommen der Wasserkäfer eine größere Rolle spielt als die Regulierung. Aus der EPT-Gruppe werden das Fehlen bzw. das Vorkommen typischer Vertreter bewertet, die in Kapitel 5.7 auch als Zieltaxa angeführt sind. Aus der Gruppe der Eintagsfliegen sind dies drei Arten, nämlich *Baetis muticus*, *Ephemerella ignita* und *Epeorus assimilis*, von den Steinfliegen gehen die Gattungen *Dinocras* und *Perla* ein. Bei den Köcherfliegen sind es die drei Gattungen *Hydropsyche*, *Halesus* und *Sericostoma*. In der Zusammenschau ist die schlechteste Bewertung ausschlaggebend, wenn beispielsweise die Wasserkäfer komplett ausfallen, aus der EPT-Gruppe aber vereinzelt Taxa auftreten, wird dieser Aspekt dennoch mit „-“ bewertet.

Bewertung Coleoptera	> 5 Taxa +	3 – 5 Taxa (+)	1 – 2 Taxa (-)	kein Taxon -
Bewertung Eintagsfliegen Köcherfliegen	3 von 3 Taxa +	2 von 3 Taxa (+)	1 von 3 Taxa (-)	kein Taxon -
Bewertung Steinfliegen	2 von 2 Taxa +		1 von 2 Taxa (-)	kein Taxon -

#### Abundanz

Grundsätzlich können die Individuendichten an einer Stelle im Jahresverlauf natürlicherweise durchaus stark schwanken, weshalb bei der Verwendung dieses Parameters Vorsicht geboten ist (Ofenböck et al. 2019). Ein Vergleich der Individuendichten zwischen Untersuchungsstellen eines Fließgewässers, die im selben Zeitraum mit derselben Methode gewonnen wurden, kann dennoch Defizite in der Besiedlung aufzeigen. Diese Werte sind jedoch nicht auf andere Fließgewässer bzw. Jahreszeiten übertragbar. Während im Vorderrhein und Hinterrhein sowie im Alpenrhein von Haldenstein bis Triesen Abundanzen von 4.000 bis knapp 9.000 Ind/m<sup>2</sup> auftreten, ist die Besiedlung bei Bangs mit rund 800 Ind/m<sup>2</sup> vergleichsweise extrem gering und als spärlich zu bewerten. Ebenso gering ist die Besiedlung in der III (rund 950 Ind/m<sup>2</sup>), im Alpenrhein bei Lustenau ist sie mit rund 1.250 Ind/m<sup>2</sup> nur wenig höher. Wie in Kapitel 5.8.1 ausgeführt, steigt bei Unterschreiten einer kritischen Besiedlungsdichte die Anzahl der nur vereinzelt vorkommenden Taxa deutlich an, wodurch die Stabilität der vorgefundenen Zönose stark in Frage gestellt werden muss. Tatsächlich liegt der Anteil der vereinzelt vorkommenden Taxa an der Stelle Bangs bei sehr hohen 76,4 % und in der III bei knapp 72 %. Rund drei

Viertel des Artenspektrums besteht an diesen beiden Stellen demnach aus vereinzelt Taxa. Für die hier bearbeiteten Untersuchungsstellen wird eine Mindestindividuedichte von 2.000 Ind/m<sup>2</sup> zugrunde gelegt, der Zielwert liegt bei 4.000 Ind/m<sup>2</sup>.

Bewertung	> 4.000 Ind/m <sup>2</sup>	2.000 – 4.000 Ind/m <sup>2</sup>	1.000 – 2.000 Ind/m <sup>2</sup>	< 1.000 Ind/m <sup>2</sup>
Abundanz	+	(+)	(-)	-

### Rhithralisierungseffekt

Zur Darstellung des Rhithralisierungseffektes und damit der durch hydromorphologische Eingriffe bedingten Verschiebung des Längenzonationsindex bzw. des längenzonalen Verteilungsschwerpunktes in höhere Fließgewässerregionen können mehrere Ansätze dienen.

Der auf Basis der vorkommenden Zönose ermittelte Längenzonationsindex LZI kann mit dem Sollwert, der der Typologie des Gewässerabschnittes entspricht, verglichen werden. So ist etwa der Alpenrhein im Bereich Haldenstein und Mastrils dem Übergangsbereich Metarhithral-Hyporhithral zuzuordnen (LZI 4,5), die unteren Stellen Triesen bis Lustenau liegen bereits im Hyporhithral (LZI 5,0) (Moritz & Pfister, 2001). Hierbei zeigt sich im Längsverlauf der betrachteten Rheinstrecke eine zunehmende Abweichung des tatsächlichen LZI vom Sollwert.

Bewertung LZI	<0,25	0,25 – 0,5	0,51 – 1,0	>1
Abweichung	+	(+)	(-)	-

Einen weiteren Ansatz stellt die Ausprägung des Epipotamalanteils dar. Im Längsverlauf des Rhein ist dabei von einem zunehmenden Epipotamalanteil auszugehen. Sollte dieser etwa an der obersten Stelle in Ilanz jedenfalls unter 5 % liegen, so sind im Hinterrhein bei Bonaduz und im Vorderrhein bei Reichenau Anteile von 5 % bis 10 % zu erwarten. Im oberen Abschnitt des Alpenrheins (Haldenstein, Mastrils) würde ein Anteil von 10 % bis 15 % und im untersten Abschnitt des Alpenrheins von Triesen bis Lustenau bereits ein Anteil von 15 % bis 20 % dem Gewässertyp entsprechen. Die tatsächliche Etablierung von epipotamalen Elementen wird dabei durch den Schwallbetrieb wie auch durch die Einengung des Flussraums unterdrückt, denn diese beiden Stressoren führen zum Verlust von langsam und träge durchflossenen Bereichen mit kiesigem und sandigem Substrat. Auch bei diesem Ansatz sind die Defizite im untersten Abschnitt des Alpenrheins stärker ausgeprägt.

Abweichung vom gewässertypischen Epipotamalanteil	0	<30 %	30% - 60 %	>60 %
	+	(+)	(-)	-

Die Rhithralisierung lässt sich mit den vorliegenden Daten auch durch das Abundanzverhältnis der beiden häufigsten Eintagsfliegen der Gattung *Baetis*, von *B. alpinus* und *B. rhodani*, beschreiben. Beide Arten zeigen eine typische Verbreitung und sind in alpin geprägten Fließgewässern sehr häufig. Während *Baetis alpinus* vom Quellbach bis zu unteren Forellenregion vorkommt und einen Verbreitungsschwerpunkt in der oberen Forellenregion hat (Regionsindex 3,0), kommt *Baetis rhodani* zwar vom Quellbach bis zur Barbenregion vor, ihr Verbreitungsschwerpunkt liegt aber in der unteren Forellenregion und der Äschenregion (Regionsindex 4,1). Beide Arten kommen also durchaus gemeinsam vor, im Längsverlauf eines natürlichen Fließgewässers kommt es aber zu einer allmählichen Ablöse von *Baetis alpinus* durch *B. rhodani* (Bauernfeind & Humpesch, 2001). Im betrachteten Abschnitt des Vorder- und Hinterrheins ist von einer Dominanz von *Baetis alpinus* auszugehen, im oberen Abschnitt des Alpenrheins sollten sich die Abundanzen in etwa angleichen und im untersten Abschnitt von Triesen bis Lustenau sollte fast ausschließlich *Baetis rhodani* auftreten. Durch die Auswirkungen des Schwallbetriebs und der Regulierung wird das Areal von *Baetis alpinus* anthropogen bedingt in tiefere Fließgewässerregionen ausgedehnt, wobei hier auch die Veränderungen in der Wassertemperatur durchaus eine Rolle spielen können. Bei diesem Ansatz zeigen sich die größten Defizite in



den Bereichen mit einer höheren Schwallamplitude, wobei aber die Stelle Bonaduz, möglicherweise aufgrund der strukturierten Morphologie, eine positive Ausnahme darstellt.

Sollwerte Abundanzverhältnis <i>Baetis alpinus</i> zu <i>Baetis rhodani</i>	Metarhithral bis 3, max. 5	Meta-Hyporhithral ~1, max. 2	Hyporhithral <<1	
Abweichung (Faktor)	0 +	<1 (+)	1 – 2 (-)	>2 -

### Vorkommen von Nebenchoriotopen

Wie die vorliegenden Aufnahmen zeigen, stellen die aktuell nur kleinräumig vorkommenden Nebenchoriotope einen wesentlichen Beitrag zur Artenvielfalt und einer gewässertypischeren Besiedlung dar. Das Verbauungselement Blockwurf hat sich in dieser Aufnahme nicht als nennenswerter aquatischer Lebensraum herausgestellt, weshalb dieser von den Betrachtungen ausgeschlossen wird. Diese Nebenchoriotope sind sowohl organischen (CPOM, Xylal, Wurzelbärte) als auch minerogenen Ursprungs (Kies, Sand, Einzelblöcke). Das Vorkommen dieser Nebenchoriotope wird dabei maßgeblich von der Gewässermorphologie bestimmt, wobei die zur Verfügung stehende Sohlbreite bzw. der Flussraum wesentlich sind. Insbesondere die langsam durchflossenen Habitate beherbergen zusätzliche, gewässertypische Taxa. Die Anzahl der Nebenchoriotope an der Stelle Hinterrhein Bonaduz mit ihrer reich strukturierten Morphologie kann als Zielwert herangezogen werden (Sollwert 4). Dem gegenüber sind in der stark regulierten unteren Strecke des Alpenrheins nur ein bis zwei Nebenchoriotope festzustellen. Durch morphologische Maßnahmen, wie sie etwa beim Projekt Rhesi geplant sind ([www.rhesi.org](http://www.rhesi.org)), können sowohl die Anzahl als auch die Ausdehnung der für die Artenvielfalt und die Funktionsfähigkeit wichtigen Nebenchoriotope gesteigert werden.

Vorkommen der Nebenchoriotope	4/5 +	3 (+)	2 (-)	0/1 -
-------------------------------	----------	----------	----------	----------

### Experteneinschätzung

Die angeführten Aspekte werden an jeder Untersuchungsstelle nach einer vierstufigen Skala bewertet und sollen eine zusammenfassende Bewertung unterstützen. Die Einzelbewertungen basieren auf dem Bewertungssystem der ÖNORM M6232 (Österreichisches Normungsinstitut, 1995) und sind in Tabelle 7 zusammengestellt.

Zu berücksichtigen ist, dass die ausgewählten Parameter und deren Zielwerte bzw. Abstufungen auf einer einzigen Aufnahme und den dabei erhobenen Daten beruhen. Es ist daher erforderlich, die hier dargestellte Experteneinschätzung mit weiteren Aufnahmen zu prüfen bzw. weiterzuentwickeln. Auch andere Parameter, wie beispielsweise der Litoralanteil oder die Anteile bestimmter Strömungspräferenzen (rheophile/rheobionte Taxa oder rheolimnophile/limnorheophile Taxa) können sich als geeignet für eine Experteneinschätzung erweisen. Eine direkte Übertragung auf andere Fließgewässer ist nicht zweckmäßig bzw. ist aufgrund der jeweiligen Daten zu prüfen, ob ein abgeändertes oder anderes Parameterset in der Lage ist, die spezifischen Defizite abzubilden.

Legt man die oben dargestellten Aspekte einer Experteneinschätzung zugrunde, so ergibt sich im Vorderrhein bei Reichenau und im Hinterrhein bei Bonaduz ein mäßiger Zustand, wobei in Bonaduz der trotz guter Morphologie festgestellte Ausfall wichtiger Gruppen bzw. Taxa ausschlaggebend für die Bewertung ist. An den übrigen Stellen wäre demnach ein unbefriedigender Zustand festzustellen, wobei sich insgesamt die Abweichung vom Zielzustand im Längsverlauf tendenziell vergrößert. Bei Anwendung dieser Experteneinschätzung auf die Restwasserstrecke Ilanz wird der rechnerisch ermittelte gute ökologische Zustand bestätigt.

Die Makrozoobenthoszönosen in den schwallbeeinflussten Gewässerabschnitten lassen erhebliche Defizite erkennen. Diese zönotischen Defizite sind auf die massiven hydromorphologischen Belastungen zurückzuführen, wodurch die ökologische Funktionsfähigkeit stark beeinträchtigt wird. Als maßgebliche

Stressoren sind die Flussbegradigung und der Schwallbetrieb zu nennen. Die aufgezeigten zönotischen Defizite können mit morphologischen wie auch mit energiewirtschaftlichen Maßnahmen, die die Schwallamplitude und die Anstiegs- und Abstiegsgeschwindigkeit betreffen, gemindert werden. Auch die Ergebnisse vom IRKA-Fischmonitoring 2019 (Frangez & Eberstaller, 2020) zeigen aufgrund der anthropogenen Eingriffe große fischökologische Defizite auf, sie belegen einen extrem geringen und weiter schwindenden Fischbestand. Die vorliegenden Ergebnisse auf Basis des Makrozoobenthos korrespondieren mit dem fischökologischen Befund von 2020, beide Qualitätselemente weisen somit übereinstimmend auf einen Handlungsbedarf im Hinblick auf die Erreichung des guten ökologischen Potentials hin.

#### FAKTEN: EXPERTENEINSCHÄTZUNG

- ◆ Die Zustandsberechnungen für die Stellen im Vorderrhein bei Illanz (guter ökologischer Zustand) und im Liechtensteiner Binnenkanal (mäßiger ökologischer Zustand) liefern plausible Ergebnisse.
- ◆ Die bislang auf MHS-Proben basierenden Methoden zur standardisierten Zustandsbewertung auf Basis des Makrozoobenthos sind für schwallbeeinflusste Gewässerstrecken nicht vorgesehen bzw. nicht uneingeschränkt anwendbar. Daher ist eine Experteneinschätzung erforderlich.
- ◆ Die Detailanalyse der Ergebnisse zeigt teilweise erhebliche Defizite in den Zönosen auf, die aber von den jeweiligen Berechnungsmethoden nicht erfasst werden. Defizite zeigen sich etwa bei den Individuendichten, aufgrund des Rhithralisierungseffektes sowie durch den Ausfall flusstypischer Taxa.
- ◆ Die Experteneinschätzung der schwallbeeinflussten Strecken des Basismonitorings Alpenrhein beruht auf der Grundlage folgender Parameter: Artinventar, Abundanz, Rhithralisierungseffekt (Längenzonationsindex, Epipotamalanteil, Verhältnis *Baetis alpinus* zu *B. rhodani*) und Vorkommen von Nebenchoriotopen.
- ◆ Durch die Experteneinschätzung ergibt sich im Vorderrhein bei Reichenau und im Hinterrhein bei Bonaduz ein mäßiger und bei allen weiteren schwallbeeinflussten Untersuchungsstellen ein unbefriedigender ökologischer Zustand.



Tabelle 7. Zusammenstellung der Ergebnisse auf Basis des Makrozoobenthos für das Basismonitoring Alpenrhein 2022. An den schwallbeeinflussten Untersuchungsstellen erfolgt neben der Darstellung der als plausibel erachteten Berechnungsergebnisse des Moduls Saprobie eine Experteneinschätzung des ökologischen Zustands unter Berücksichtigung der Aspekte Abundanz, Artinventar, Rhithralisierung (LZI, Epipotamalanteil, Abundanzverhältnis *Baetis alpinus* zu *B. rhodani*) sowie dem Vorkommen der Nebenchoriotope. +...gute Übereinstimmung mit dem Zielzustand, (+)...leichte Abweichung vom Zielzustand, (-)...deutliche Abweichung vom Zielzustand, -...sehr starke Abweichung vom Zielzustand. An den Untersuchungsstellen Vorderhein – Ilanz und Liechtensteiner Binnenkanal – Ruggell sind die rechnerisch ermittelten Zustandsergebnisse auf Basis der Module Saprobie und Allgemeine Degradation plausibel.

VRH-REI	Saprobie	Abundanz	Artinventar	LZI	Verhältnis <i>Baetis a./rh.</i>	Epipotamal Anteil	Nebenchoriotope Vorkommen	Experten-einschätzung
Bewertung	sehr gut	+	-	+	-	+	(-)	mäßig
HRH-BON	Saprobie	Abundanz	Artinventar	LZI	Verhältnis <i>Baetis a./rh.</i>	Epipotamal Anteil	Nebenchoriotope Vorkommen	Experten-einschätzung
Bewertung	sehr gut	+	-	(+)	+	(+)	+	mäßig
ARH-HAL	Saprobie	Abundanz	Artinventar	LZI	Verhältnis <i>Baetis a./rh.</i>	Epipotamal Anteil	Nebenchoriotope Vorkommen	Experten-einschätzung
Bewertung	sehr gut	+	-	(-)	(-)	(-)	(-)	unbefriedigend
ARH-MAS	Saprobie	Abundanz	Artinventar	LZI	Verhältnis <i>Baetis a./rh.</i>	Epipotamal Anteil	Nebenchoriotope Vorkommen	Experten-einschätzung
Bewertung	sehr gut	+	-	(-)	-	(-)	(-)	unbefriedigend
ARH-TRI	Saprobie	Abundanz	Artinventar	LZI	Verhältnis <i>Baetis a./rh.</i>	Epipotamal Anteil	Nebenchoriotope Vorkommen	Experten-einschätzung
Bewertung	sehr gut	+	(-)	-	(+)	-	-	unbefriedigend
ARH-BAN	Saprobie	Abundanz	Artinventar	LZI	Verhältnis <i>Baetis a./rh.</i>	Epipotamal Anteil	Nebenchoriotope Vorkommen	Experten-einschätzung
Bewertung	sehr gut	-	(-)	-	+	(-)	(-)	unbefriedigend
ARH-LUS	Saprobie	Abundanz	Artinventar	LZI	Verhältnis <i>Baetis a./rh.</i>	Epipotamal Anteil	Nebenchoriotope Vorkommen	Experten-einschätzung
Bewertung	gut	(-)	(-)	-	+	(-)	(-)	unbefriedigend
LAQ	Saprobie	Abundanz	Artinventar	LZI	Verhältnis <i>Baetis a./rh.</i>	Epipotamal Anteil	Nebenchoriotope Vorkommen	Experten-einschätzung
Bewertung	gut	(+)	-	(-)	-	-	(-)	unbefriedigend
ILL	Saprobie	Abundanz	Artinventar	LZI	Verhältnis <i>Baetis a./rh.</i>	Epipotamal Anteil	Nebenchoriotope Vorkommen	Experten-einschätzung
Bewertung	gut	-	-	-	+	-	(-)	unbefriedigend
VRH-ILA	Saprobie	MMI1	MMI2	Ökologischer Zustand				
Bewertung	sehr gut	gut	gut	gut				
LBK	Saprobie	MMI1	MMI2	Ökologischer Zustand				
Bewertung	gut	mäßig	mäßig	mäßig				

## 6 Literatur

- Adler, P. H., 2022. World Blackflies (Diptera: Simuliidae): A comprehensive revision of the taxonomic and geographical inventory.
- Agosti, D., F. Amiet, H. Arter, M. Brancucci, D. Cherix, P. Duelli, C. Dufour, U. N. G. von Blotzheim, Y. Gonthier, K. Grossenbacher, J. Hausser, U. Hofer, E. Kessler, A. Kirchhofer, J. Kuiper, P. Landolt, A. Maibach, W. A. Marggi, C. Meier, A. Meylan, A. Nadig, P. Moeschler, B. Nievergelt, C. Pedroli, U. Rahm, J. Rüetschi, M. Salvioni, M. Sartori, L. Schifferli, H. Schmid, H-P. Stutz, P. Thorens, H. Turner, P. Vogel, M. Wüthrich, B. Zaugg, N. Zbinden, & P. A. Zurwerra, 1994. Rote Listen der gefährdeten Tierarten der Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- Atanockovic, A. D., F. Sporka, B. Csanyi, B. M. Vasiljevic, J. Tomovic, & M. M. Paunovic, 2017. Oligochaeta of the Danube River – a faunistical review. *Biologia* 68
- BAFU, 2019. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung von Fließgewässern (IBCH\_2019). Makrozoobenthos - Stufe F.
- Baillie, J., & B. Groombridge, 1996. IUCN Red List of Threatened Animals. IUCN The World Conservation Union.
- Banning, M., 1990. Der Rheo-Index - eine Möglichkeit zur Berechnung der Auswirkungen des Flußstaus auf die benthische Lebensgemeinschaft. Erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung der DGL in Essen. 186–190.
- Bauernfeind, E., & U. Humpesch, 2001. Die Eintagsfliegen Zentraleuropas (Insecta: Ephemeroptera): Bestimmung und Ökologie. Wien.
- Bauernfeind, E., W. Reisinger, & E. Loidl, 2002. Entomologie für Fliegenfischer - vom Vorbild zur Nachahmung. Ulmer.
- Bauernfeind, E., & T. Soldán, 2012. The Mayflies of Europe (Ephemeroptera). Ollerup.
- Bauernfeind, E., P. Weichselbaumer, P. Leitner, & O. Moog, 2017. Fauna Aquatica Austriaca, 3. Lieferung 2017. Bundesamt für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- Baumann, P., & I. Klaus, 2003. Auswirkungen des Schwallbetriebes: Ergebnisse einer Literaturstudie. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- Working group RHEOPHYLAX (BOKU Vienna), 2020. New biological traits and ecological preferences of European freshwater organisms for freshwater ecology.info.
- Broggi, M. F., & C. Göldi, 2022. Die 40-jährige Geschichte zur Alpenrhein-Revitalisierung. Werdenberger Geschichten 4/2023: 79.
- Buffagni, A., D. G. Armanini, M. J. López-Rodríguez, J. Alba-Tercedor, & D. G. Armanini, 2009. Distribution and ecological preferences of European freshwater organisms. Volume 3. Ephemeroptera. Pensoft Publishers, Sofia-Moscow.
- Bußmann, M., R. Feldmann, M. Lindenschmidt, & H. O. Rehage, 1991. Zur Verbreitung der Ibisfliege, *Atherix ibis* (FABRICIUS, 1798), in Westfalen. *Natur und Heimat* 51.
- Cummins, K. W., 1973. Trophic Relations of Aquatic Insects. *Annual Review of Entomology* 18: 183–206.



Cummins, K. W., & M. J. Klug, 1978. Feeding ecology of stream invertebrates. Annual Reviews Ecological Systems 10: 147–172.

Dürregger, A., 2020. Schwarz-goldenes Schauspiel im Altweibersommer Die Köcherfliege *Allogamus auricollis*. Blick ins Wasser April 2020: 1–9.

Eberstaller, J., D. Eberstaller-Fleischanderl, R. Rey, & A. Becker, 2007. Monitoring Alpenrhein. Teilbereich Gewässerökologie. Konzept zur Koordination und Durchführung. Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA): 65.

Ficsór, M., & Z. Csabai, 2021. Longitudinal zonation of larval Hydropsyche (Trichoptera: Hydropsychidae): abiotic environmental factors and biotic interactions behind the downstream sequence of Central European species. Hydrobiologia 848: 3371–3388.

Frangez, C., & J. Eberstaller, 2020. Fischökologisches Monitoring Alpenrhein 2019. Auftraggeber: IRKA – Internationale Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie. 169p.

Friese, N., C. Weber, C. Rachely, V. Weitbrecht, & N. Bätz, 2022. Kleinräumige baulich-morphologische Massnahmen in der Schwall-Sunk-Sanierung: Wirksamkeit für das Makrozoobenthos?. Wasser Energie Luft.

Frutiger, A., 2004. Ecological impacts of hydroelectric power production on the River Ticino. Part 2: Effects on the larval development of the dominant benthic macroinvertebrate (*Allogamus auricollis*, Trichoptera). Archiv für Hydrobiologie 159: 57–75.

Gansterer, M., E. Gaviria, S. Moser, G. Pointner, E. Traunmüller, & J. Zika, 1996. Substratbeschaffenheit, Zoobenthos und Oligochaetenverteilung in zwei Altarmen des Regelsbrunner Ausystems (Niederösterreich). Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich 133.

Gibbins, C., D. Vericat, & R. J. Batalla, 2007. When is stream invertebrate drift catastrophic? The role of hydraulics and sediment transport in initiating drift during flood events. Freshwater Biology 52: 2369–2384.

Glatthaar, R., 1978. Verbreitung und Ökologie der Kriebelmücken (Diptera, Simuliidae) in der Schweiz. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich 123: 71–124.

Glöer, P., 2002. Die Süßwassergastropoden Nord- und Mitteleuropas: Bestimmungsschlüssel, Lebensweise, Verbreitung. ConchBooks, Hackenheim.

Glöer, P., 2017. Süßwassermollusken 15. überarbeitete Auflage: Ein Bestimmungsschlüssel für die Muscheln und Schnecken im Süßwasser der Bundesrepublik Deutschland. Deutscher Jugendbund für Naturbeobachtung.

Graf, W., U. Grasser, & O. Moog, 1992. The role of *Allogamus auricollis* (Trichoptera: Limnephilidae) larvae in benthic communities of a 4th-order crystalline mountain stream with some ecological notes. Proc. 7th Int. Symp. Trichoptera, 297–303.

Graf, W., A. W. Lorenz, J. M. T. de Figueroa, S. Lücke, M. J. López-Rodríguez, & C. Davies, 2009. Distribution and Ecological Preferences of European Freshwater Organisms, Volume 2: Plecoptera. Pensoft Publishers (Sofia-Moscow).

Greimel, F., J. Neubarth, M. Fuhrmann, H. Habersack, M. Haslauer, C. Hauer, P. Holzapfel, S. Auer, M. Pflieger, S. Schmutz, & B. Zeiringer, 2017. SuREmMa+: Entwicklung einer Methode zur ökologischen und energiewirtschaftlichen Bewertung von Maßnahmen zur Minderung von negativen schwall- und sunkbedingten ökologischen Auswirkungen. Forschungsbericht.

Gufler, C., J. Hürlimann, & F. Straub, 2021. NAWA TREND Biologie 2019, Teil Diatomeen und Äusserer Aspekt.

- Gutowski, Dr. A., & Dr. J. Foerster, 2009. Benthische Algen ohne Diatomeen und Characeen. Bestimmungshilfe. LANUV-Arbeitsblatt 9.
- Haaren, T. van, & J. Soors, 2012. Aquatic oligochaetes of the Netherlands and Belgium.
- Hebauer, F., 1986. Käfer als Bioindikatoren dargestellt am Ökosystem Bergbach. Ausgewählte Referate zum Artenschutz 7: 55–65.
- Hürlimann, J., & P. Niederhauser, 2007. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Kieselalgen Stufe F (flächendeckend). Umwelt-Vollzug Nr. 0740: 130.
- HYDRA-AG, 2016. Methode zur Untersuchung und Beurteilung grosser Fließgewässer. Teil 1: Erhebungsmethode Makroinvertebraten Hochrhein. 45.
- HYDRA-AG, 2018. Methode zur Untersuchung und Beurteilung grosser Fließgewässer. Teil 2: MSK-Bewertungsmethode Makrozoobenthos grosser Fließgewässer – Methodenevaluation – Konzeptvorschlag. 119.
- Jaag, et al., 1947. Gesamtbiologische und fischereibiologische Rheinkontrolle betr. Abwässer der HOVAG, Domat/Ems. 5. Teilbericht, umfassend die Jahre 1946/47. Schreiben an den Kleinen Rat des Kantons Graubünden 46.
- Jaccard, P., 1901. Etude de la distribution florale dans une portion des Alpes et du Jura. Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles 37: 547–579.
- Jäch, M. A., F. Dietrich, & B. Raunig, 2005. Rote Liste der Zwergwasserkäfer (Hydraenidae) und Krallenkäfer (Elmidae) Österreichs (Insecta: Coleoptera). Rote Listen gefährdeter Tiere Österreichs. Checklisten, Gefährdungsanalyse, Handlungsbedarf. Part 1: Säugetiere, Vögel, Heuschrecken, Wasserkäfer, Netzflügler, Schnabelfliegen, Tagfalter. Grüne Reihe des Lebensministeriums 14: 211–284.
- Klausnitzer, B., 1996. Käfer im und am Wasser. Westarp-Wissenschaften, Magdeburg.
- Krammer, K., & H. Lange-Bertalot, 1991. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae 4. Teil.
- Kúdela, M., 2006. Die Verbreitung der mitteleuropäischen Arten der *Simulium variegatum* Gruppe (Diptera: Simuliidae). Beiträge zur Entomologie (Contributions to Entomology) 56: 465–475.
- LANUV, 2010. Taxonomie für die Praxis Bestimmungshilfen - Makrozoobenthos (Teil 1). Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen 177.
- LANUV, 2021. Taxonomie für die Praxis Bestimmungshilfen – Makrozoobenthos (Teil 4) Chironomidenlarven. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen .
- Lehmann, G., 1990. Faunistisch-ökologische Grundlagenstudien an Odonaten (Insecta) im Bezirk Kufstein/Tirol. Universität Innsbruck .
- Lubini, V., S. Knispel, M. Sartori, H. Vicentini, & A. Wagner, 2012a. Rote Listen Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen. Gefährdete Arten der Schweiz, Stand 2010. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern .
- Lubini, V., S. Knispel, & G. Vinçon, 2012b. FAUNA HELVETICA: Die Steinfliegen der Schweiz: Bestimmung und Verbreitung. Centre suisse de cartographie de la faune.
- Malicky, H., 2009. Rote Liste der Köcherfliegen Österreichs (Insecta, Trichoptera) In Zulka, K. P. (ed): Rote Liste gefährdeter Tiere Österreichs. Checklisten, Gefährdungsanalysen, Handlungsbedarf. Teil 3: Flusskrebse, Köcherfliegen, Skorpione, Weberknechte, Zikaden. Wien, Böhlau: 319–358.
- Malicky, H., 2014. Lebensräume von Köcherfliegen (Trichoptera). Denisia 34: 1–282.



- Malicky, H., 2016. Die mitteleuropäische Verbreitung zweier Morphotypen von *Allogamus auricollis* (Trichoptera, Limnephilidae), mit phänologischen und bionomischen Notizen. *Braueria* 29–38.
- Mauch, E., 2017. Aquatische Diptera-Larven in Mittel-, Nordwest- und Nordeuropa. Übersicht über die Formen und ihre Identifikation. *Lauterbornia* 83: 404.
- Metzing, D., N. Hofbauer, G. Ludwig, & G. Matzke-Hajek, 2018. Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands. Band 7: Pflanzen. *Naturschutz und Biologische Vielfalt*: 784.
- Michor, K., U. Bergmeister, T. Blank, W. Böhi, L. Kalt, T. Kindle, A. Petraschek, W. Stalzer, B. Zarn, J. Eberstaller, M. Gasser, C. Moritz, & J. Trösch, 2005. *Entwicklungskonzept Alpenrhein*. : 438.
- Moller-Pillot, H. K. M., 2009. *Chironomidae Larvae. Biology and Ecology of the Chironomina*. KNNV Publishing.
- Moller-Pillot, H. K. M., 2013. *Chironomidae Larvae. Biology and Ecology of the aquatic Orthoclaadiinae*. KNNV Publishing.
- Monnerat, C., H. Wildermuth, & Y. Gonseth, 2021. Rote Liste der Libellen. Gefährdete Arten der Schweiz. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern .
- Moog, O., & A. Hartmann, 2017. *Fauna Aquatica Austriaca*, 3. Lieferung 2017. .
- Moog, O., A. Schmidt-Kloiber, T. Ofenböck, & J. Gerritsen, 2001. Aquatische Ökoregionen und Fließgewässer-Bioregionen Österreichs - eine Gliederung nach geologischen Milieufaktoren und Makrozoobenthos-Zönosen. *BMLFUW, Wasserwirtschaftskataster* .
- Moritz, C., & J. Eberstaller, 2005. Trübung und Schwall im Alpenrhein. *Natur in Tirol - Naturkundliche Beiträge der Abteilung Umweltschutz* 12: 46–73.
- Moritz, C., & P. Pfister, 2001. Trübung und Schwall Alpenrhein. Einfluss auf Substrat, Benthos und Fische. *Fachbericht Makrozoobenthos, Phytobenthos*. .
- Neu, P. J., & W. Tobias, 2004. Die Bestimmung der in Deutschland vorkommenden Hydropsychidae (Insecta: Trichoptera). *Lauterbornia* 68.
- Österreichisches Normungsinstitut, 1995. ÖNORM M6232 - Richtlinien für die ökologische Untersuchung und Bewertung von Fließgewässern. *Anmerkung: Die ÖNORM M6232 wurde mit 15.04.2023 zurückgezogen*.
- Ofenböck, T., O. Moog, A. Hartmann, I. Schwarzinger, & P. Leitner, 2019. Leitfaden zur Erhebung der biologischen Qualitätselemente - Teil A2 - Makrozoobenthos. *BMNT*: 290.
- Pfister, P., & G. Ehrensperger, 2016. *Phytobenthos Fließgewässer\_Überarbeitung des Referenzartenmoduls und Weiterführende Auswertungen zu den Änderungen beim Saprobie- und Trophiemodul*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Pfister, P., G. Hofmann, & G. Ehrensperger, 2016. *Fließgewässer-Phytobenthos - Überarbeitung des Trophie- und Saprobie-Bewertungssystems nach Rott et al. 1999, 1997*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Pfister, P., & E. Pipp, 2018. Leitfaden zur Erhebung der biologischen Qualitätselemente - Teil A3 - Phytobenthos. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.: 83.
- Pîrvu, M., C. Zaharia, A. Satmari, & L. Pârvulescu, 2015. Spatial ecology of *Hydropsyche incognita* (Trichoptera: Hydropsychidae) in the Carpathians. *EJE* 112: 106–113.
- Raab, R., A. Chovanec, & J. Pennerstorfer, 2007. *Libellen Österreichs*. Springer, Wien.

- Reischütz, A., & P. Reischütz, 2007. Rote Liste der Weichtiere (Mollusca) Österreichs In Zulka, K. P. (ed), Rote Liste gefährdeter Tiere Österreichs. Checklisten, Gefährdungsanalysen, Handlungsbedarf. Teil 2: Kriechtiere, Lurche, Fische, Nachtfalter, Weichtiere. Wien, Böhlau: 363–433.
- Renkonen, O., 1938. Statisch-ökologische Untersuchungen über die terrestrische Käferwelt der finnischen Bruchmoore. 6: 1–231.
- Rey, P., & J. Hesselschwerdt, 2016. Monitoring Alpenrhein - Basismonitoring Ökologie 2015; Benthosbesiedlung, Jungfischhabitats, Besiedlung der Kiesbänke. Internationale Regierungskommission Alpenrhein (IRKA), Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie. 96 & 78 Anhang.
- Rey, P., S. Werner, U. Becker, A. Ortlepp, & J. Hürlimann, 2011. Monitoring Alpenrhein. Basismonitoring Ökologie 2009 bis 2011. Benthosbesiedlung. Sonderuntersuchungen: Jungfischhabitats, Besiedlung der Kiesbänke. Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA), Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie der. 159.
- Rüetschi, J., P. Stucki, P. Müller, H. Vicentini, & F. Claude, 2012. Rote Liste Weichtiere (Schnecken und Muscheln). Gefährdete Arten der Schweiz, Stand 2010. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.
- Schälchli, U., 1993. Die Kolmation von Fließgewässersohlen: Prozesse und Berechnungsgrundlagen. Dissertation ETH Zürich.
- Schälchli, U., Abegg, J., Hunziger, K., 2002. Innere Kolmation, Methoden zur Erkennung und Bewertung. Schlussbericht. Zürich 26.
- Schmedtje, U., & M. Colling, 1996. Ökologische Typisierung der aquatischen Makrofauna. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft 4/96:
- Schmid, P. E., 1993. A key to the larval Chironomidae and their instars from Austrian Danube Region streams and rivers with particular reference to a numerical taxonomic approach. Part 1. Diamesinae, Prodiamesinae and Orthocladiinae. Wasser u. Abwasser Suppl. 3: 514.
- Schmutz, S., F. Greimel, B. Zeiringer, N. Höller, M. Fuhrmann, T. Friedrich, A. Melcher, G. Unfer, W. Graf, P. Leitner, O. Moog, C. Steidl, G. Salcher, G. Ochsenhofer, & K. Müller, 2013. Schwallproblematik an Österreichs Fließgewässern – Ökologische Folgen und Sanierungsmöglichkeiten. BMFLUW .
- Schröder, P., 1988. Die Kriebelmücken (Diptera : Simuliidae) in den Fließgewässern des westlichen Bodenseegebietes. Mitteilungen des badischen Landesvereins für Naturkunde und Naturschutz 14: 717–749.
- Shannon, C. E., W. Weaver, & N. Wiener, 1949. The Mathematical Theory of Communication. Physics Today 3: 31–32.
- Spitzenberg, D., A. Schöne, B. Klausnitzer, & W. Malchau, 2021. Die wasserbewohnenden Käfer Sachsen-Anhalts. Rangsdorf: Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt 772.
- Suhling, F., & O. Müller, 1996 Die Flussjungfern Europas. Gomphidae (Die Libellen Europas 2). Westarp. Wissenschaften.
- Supperer, R., & E. Kutzer, 1961. Beitrag zur Kriebelmücken-Fauna (Diptera, Simuliidae) Österreichs. Zeitschrift für Parasitenkunde 20: 538–540.
- Timm, T., 2009. Freshwater oligochaeta and polychaeta Europe. Lauterbornia 66.
- Vallenduuk, H. J., 2019. Chironomini larvae of western European lowlands (Diptera: Chironomidae). Keys with notes to the species. With a redescription of *Glyptotendipes* (*Caulochironomus*) *nagorskayae* and a first description of *Glyptotendipes* (*Caulochironomus*) *kaluginae* new species. Lauterbornia: Internationale Zeitschrift für Faunistik und Floristik der Binnengewässer Europas 82: 217.



Vondel, B. J. van, 1997. Haliplidae. Süßwasserfauna von Mitteleuropa 20: 1–95.

Waringer, J., 1989. Life cycle, horizontal microdistribution and current resistance of *Allogamus auricollis* (Trichoptera, Limnephilidae) in an Austrian mountain brook. 22: 177–188.

Waringer, J., & W. Graf, 2011. Atlas der Mitteleuropäischen Köcherfliegenlarven.

Zwick, H., 1976. Zur Kenntnis der Kriebelmücken-Fauna (Simuliidae, Diptera) Österreichs. Zeitschrift der Arbeitsgemeinschaft Österreichischer Entomologen 28: 1–3.

Zwick, H., 1993. Zum Stand der Taxonomie und Determination einheimischer Kriebelmücken (Diptera: Simuliidae) Beiträge zur Taxonomie, Faunistik und Ökologie der Kriebelmücken in Mitteleuropa (Diptera, Simuliidae). Westarp Wissenschaften: 37–52.

## Websites

[www.alpenrhein.net](http://www.alpenrhein.net)

[www.hydrodaten.admin.ch](http://www.hydrodaten.admin.ch)

[www.lepus.unine.ch](http://www.lepus.unine.ch)

[www.rhesi.org](http://www.rhesi.org)

[www.vowis.vorarlberg.at/stationswrapper/abfluss](http://www.vowis.vorarlberg.at/stationswrapper/abfluss)

[www.freshwaterecology.info](http://www.freshwaterecology.info)

[www.swisstopo.ch](http://www.swisstopo.ch)



