

## Gewässerbiologisches Gutachten: Makrozoobenthos

Geplanter Ausbau Wasserkraft im Gadmertal: Untersuchung der Wasserinsekten in den Einzugsgebieten der Gletscherbäche Trift- und Steiwasser, Innertkirchen BE.

Auftraggeberin: Grimselverein

## IMPRESSUM

Dr. Verena Lubini-Ferlin  
Gewässerökologie  
Eichhalde 14  
8053 Zürich  
lubini@sunrise.ch

gutwasser GmbH  
Geerenweg 2  
8048 Zürich  
+41 76 449 66 22  
post@gutwasser.ch  
www.gutwasser.ch

Bearbeitung  
Verena Lubini, Remo Wüthrich, Emil Birnstiel

Datum  
18. 12. 2023

Auftraggeberin  
Grimselverein, 3860 Meiringen

Titelbild  
Gadmerwasser unterhalb des Zusammenflusses von Stein- und Gadmerwasser, 26. Juni 2023

## Kurzfassung

In zwei Begehungen wurden im Projektperimeter an mehreren Gewässerabschnitten und in verschiedenen Gewässern der Schwemmebene des Triftgletscher-Vorfelds Proben der Gewässerfauna entnommen, bestimmt und bezüglich ihrer Standorttypie und Ökologie beurteilt. Es handelt sich dabei in erster Linie um Wasserinsekten der subalpinen Höhenstufe, die von Kaltwasserarten geprägt und an mässige bis hohe Fliessgeschwindigkeiten angepasst sind, wie sie für Gebirgsbäche mit «Weisswasser» charakteristisch sind.

Insgesamt sind im Stei- und Triftwasser inklusive der Schwemmebene des Gletschervorfeldes 58 Wasserinsektenarten nachgewiesen, 35 im Steiwasser und 48 im Triftwasser. Im Vergleich zu anderen Alpenbächen ist dies eine recht hohe Artenvielfalt. Nur 54 % der Arten sind beiden Gewässern gemeinsam, weshalb man von einer geringen Ähnlichkeit der Lebensgemeinschaften zwischen den beiden Einzugsgebieten spricht.

Es wurden zwei Arten der Roten Liste, zehn potenziell gefährdete Arten, sieben National Prioritäre Arten, vier Alpen-Endemiten und fünf Arten nachgewiesen, die gegenüber dem Klimawandel als verletzlich gelten.

Die geplante Ausdehnung der Restwasserstrecken um 4.7 km und die Umwandlung des Triftsees in einen Stausee werden die dort lebenden Gewässerorganismen stark beeinträchtigen, im Falle der Schwemmebene des Triftgletschervorfeldes auch zum Absterben bringen. Die aktuelle Zusammensetzung der Fauna in den bestehenden Restwasserstrecken ist nicht standorttypisch und zeigt Defizite.

Die geplanten Dotierwassermengen, die aufgrund der Schutz- und Nutzungsplanung eine Mehrnutzung erlauben und deshalb tiefer angesetzt sind als die nach Art. 31-33 GschG errechneten nötigen (erhöhten) Restwassermengen, tragen der Ökologie der ansässigen Lebensgemeinschaften viel zu wenig Rechnung. Sie dürften bei der Umsetzung des Projekts geschwächt und infolge des fortschreitenden Klimawandels durch temperaturunempfindliche Arten aus tieferen Lagen verdrängt, respektive ersetzt werden.

Die geplanten Mehrschutzmassnahmen – insbesondere die Revitalisierungen im Gadmer- und Urbachwasser – können die subalpine Lebensgemeinschaft nicht ersetzen, weil die Gewässer von der Höhe, der Hydraulik und der Morphologie her (Gefälle, Substratverhältnisse) anders geartet

sind. Auch der Verzicht auf weitere Nutzungen von kleineren Zuflüssen des Gadmerwassers können die Talabflüsse Stei- und Triftwasser aufgrund ihrer unterschiedlichen Gewässertypologie und anders zusammengesetzten Lebensgemeinschaften nur bedingt ersetzen. Ausserdem ist fraglich, ob der Treichigraben die Kriterien für die geplante Mehrschutzmassnahme (Nutzungsverzicht) erfüllt, weil er im Sommer, Herbst und Winter trockenfällt.

# Inhaltsverzeichnis

1. Anlass, Auftrag .....	6
2. Methoden .....	7
3. Ergebnisse und Diskussion .....	11
3.1. Ergebnisse Steiwasser .....	11
3.2. Ergebnisse Triftwasser .....	16
3.3. Faunistischer Vergleich Steiwasser – Triftwasser .....	23
3.4. Zusammenfassung Ergebnisse Steiwasser – Triftwasser .....	25
4. Beurteilung des Triftprojekts bezüglich der aquatischen Wirbellosen .....	26
4.1. Was ist geplant und wie wirkt sich das Projekt auf die Wasserfauna aus? .....	26
4.2. Beurteilung der geplanten Mindestrestwassermengen für Stei- und Triftwasser .....	29
4.3. Schwemmebene Triftgletscher-Vorfeld .....	32
4.4. Klimawandel .....	33
4.5. Fazit der Auswirkungen des Projekts auf die Wasserorganismen .....	35
5. Literaturverzeichnis .....	37
6. Anhang .....	40
6.1. Charakterisierung der untersuchten Gewässerabschnitte .....	40
6.2. Artenliste .....	48

## 1. Anlass, Auftrag

Im Einzugsgebiet des Stei- und des Triftgletschers steht die Erneuerung, respektive Erweiterung der 1962 erteilten Konzession für die Nutzung der Wasserkraft im Oberhasli an. Im politischen Prozess wurden 2022 mehrere Kraftwerksprojekte zur Realisierung vorgeschlagen, unter anderem auch jene zur Errichtung einer Staumauer am Ausfluss des Triftsees und zum weiteren Ausbau der Fassungen unterhalb des Steisees. Als Grundlage für die geplante Beschwerde beauftragte der Grimselverein Dr. Verena Lubini und die gutwasser GmbH (Remo Wüthrich, Emil Birnstiel) am 31. März 2023 mit der Untersuchung der Gewässerfauna und der Beurteilung der geplanten Eingriffe auf die dort lebenden Wasser-Organismen. Der vorliegende Bericht erläutert das Vorgehen bezüglich Probenentnahme, Auswertung und Analyse der nachgewiesenen Lebensgemeinschaften und beurteilt das Projekt aus ökologischer Sicht hinsichtlich des geplanten Restwasserregimes und der Mehrschutzmassnahmen, auch in Anbetracht des fortschreitenden Klimawandels.

## 2. Methoden

### Untersuchte Gewässer und Gewässerabschnitte

Zur Abschätzung der ökologischen Folgen der geplanten Fassungen des Steiwassers und des Triftwassers (KWO, 2023; Schweizer et al., 2019), spezifisch auf die Lebensgemeinschaften der im Gewässer lebenden Wirbellosen (Makrozoobenthos<sup>1</sup>), untersuchten wir das Steiwasser und das Triftwasser sowie die Schwemmebene des Triftgletscher-Vorfeldes. Das Steiwasser mündet kurz oberhalb der geplanten Wasserfassung ins Gadmerwasser und nimmt dessen Namen an. Die untersuchten Abschnitte S\_2 und S\_3 liegen knapp unterhalb der vereinigten Gewässer und demnach im Gadmerwasser (Abb. 1). Um namensbedingte Verwechslungen zu vermeiden, wird in diesem Gutachten der Name Steiwasser für alle untersuchten Abschnitte dieses Gewässers beibehalten.

In Stei- und Triftwasser wurden je drei Abschnitte untersucht: Zwei Abschnitte je Gewässer mit naturbelassenem Abfluss und gletschergeprägter, saisonaler Dynamik, die durch den geplanten Ausbau der Wasserkraft zu Restwasserstrecken würden (T\_1 und T\_2 resp. S\_1 und S\_2). Diese Abschnitte dienen als Referenz zur Dokumentation des Makrozoobenthos der jeweiligen Gewässer im gegenwärtigen Zustand ohne Wasserkraftnutzung. Je Gewässer wurde ein weiterer Abschnitt untersucht, der aufgrund einer Wasserfassung oberhalb bereits heute Restwasser führt (T\_3 resp. S\_3). Diese Abschnitte dienen dazu, die ökologischen Folgen und Auswirkungen auf das Makrozoobenthos beim Bau einer Wasserfassung gutachterlich abzuschätzen.

Bei der geplanten Fassung des Triftwassers durch den Aufstau des Triftsees zum Speichersee würde die Schwemmebene des Triftgletscher-Vorfeldes komplett geflutet. Um das Makrozoobenthos zu erfassen, das bei einer Umsetzung dieses Vorhabens verloren geht, untersuchten wir alle vorhandenen Gewässerlebensräume der Schwemmebene (TV, Tab. 1).

---

<sup>1</sup> Makrozoobenthos: die von Auge erkennbaren, auf dem Gewässerboden lebenden Wirbellosen



## Feldarbeiten, Labor

Der Fokus der Untersuchung lag in der Erfassung der für Fließgewässer charakteristischen Eintags- (Ephemeroptera), Stein- (Plecoptera) und Köcherfliegen (Trichoptera), kurz EPT genannt, sowie der Libellen (Odonata), Wasserkäfer (Coleoptera) und -wanzen (Heteroptera) in den Stillgewässern der Schwemmebene. Sie bilden einen substanziellen Teil der in subalpinen Gewässern lebenden Arten. Aufgrund fehlender Bestimmungsliteratur mussten die Larven der Zuckmücken (Chironomidae) weggelassen werden, obschon sie gute Indikatoren für gletscherprägte Gewässer sind (Wilkes et al., 2023). Für die EPT und für die Libellen sind Verbreitung und Ökologie in der Schweiz gut bekannt. Wasserkäfer und Wasserwanzen hingegen sind in der Schweiz bis anhin weniger gut untersucht worden. Die Probeentnahme des Makrozoobenthos erfolgte qualitativ in allen vorkommenden Substraten mit einem IBCH-Kicknetz (Rahmengröße: 25 x 25 cm) resp. mit kleineren Netzen in den Tümpeln der Schwemmebene. Zusätzlich wurden Substrate am Gewässerrand direkt von Hand besammelt. Die Absuche dauerte jeweils so lange, bis keine neuen Taxa mehr zum Vorschein kamen. Adulte Stein- und Köcherfliegen sind in der umgebenden Vegetation mittels Luftkescher gefangen worden. Die entnommenen Proben wurden in 85-prozentigem Alkohol konserviert und im Labor mit einem Stereomikroskop bestimmt. Die Qualitätssicherung der Eintagsfliegen erfolgte durch André Wagner, Le Sentier. Alle Funde werden dem CSCF gemeldet und Belege einzelner Arten der wissenschaftlichen Sammlung des Zoologischen Museums Lausanne übergeben.

## Auswertung

Wenn immer möglich wurden die Wasserinsektenlarven bis zur Art bestimmt und gezählt. In Ergänzung wurden die Abundanzen von Junglarven geschätzt. Bei den Imagines sind alle Tiere bestimmt worden. Für die Auswertung wurden nur jene Arten berücksichtigt, die als Larven und/oder als geflügelte Tiere, sog. Adulte, im und am Gewässer gefunden wurden und von denen angenommen werden konnte, dass sie sich aufgrund ihrer Ökologie auch dort entwickelt haben. Deshalb wurden die folgenden Arten für die Auswertung nicht berücksichtigt, weil sie nur als Adulte nachgewiesen sind und aus anderen Gewässertypen stammen: *Drusus alpinus*, *Allogamus hilaris*, *Nemoura sinuata* (vergl. Tab. 6 im Anhang).

Für die Beurteilung dienen verschiedene ökologische Parameter von [www.freshwaterecology.info](http://www.freshwaterecology.info). Zur Charakterisierung der Lebensgemeinschaften wurden die folgenden Kriterien ausgewählt:

- Höhenverbreitung für die Festlegung der Indikatorarten, relevant für die untersuchten Gewässer ist das schwerpunktmässige Vorkommen in alpinen, resp. subalpinen Höhenlagen.
- Strömungspräferenz
- Temperaturpräferenz
- **Verletzlichkeit gegenüber dem Klimawandel: nur Werte  $\geq 4$**  (Hershkovitz et al., 2015)

Für die Beurteilung der nach Art. 31 Abs. <sup>2</sup> Bst c. GschG (seltenen Lebensräume und -gemeinschaften) wurden die Roten Listen der Eintags-, Stein- und Köcherfliegen (Lubini et al., 2012) sowie die Rote Liste der Lebensräume (Delarze et al., 2016) und das Verzeichnis der National Prioritären Arten (BAFU, 2019) konsultiert. Letzteres gibt Auskunft darüber, wie vordringlich die nationale Erhaltung respektive Förderung der jeweiligen Art im globalen respektive europäischen Kontext ist. Ergänzend wurde auch der Status von Arten berücksichtigt, die als Endemiten, im vorliegenden Fall als Alpen-Endemiten eingestuft sind (Buffagni et al., 2023). Informationen zur Verbreitung der Arten in der Schweiz lieferte das Nationale Daten- und Informationszentrum der Schweizer Fauna ([www.infofauna.ch](http://www.infofauna.ch)).

Für den Vergleich der Faunen der beiden Gewässer, Stei- und Triftwasser wurde der Jaccard-Index (Jaccard, 1908) berechnet. Er gibt die prozentuale Übereinstimmung im Artenspektrum zweier Lebensgemeinschaften an, ohne Berücksichtigung der relativen Häufigkeiten. Nach Smukalla & Friedrich (1994) ergeben sich dabei folgende Ähnlichkeiten zwischen den analysierten Lebensgemeinschaften:

**$\geq 65\%$ : hohe Ähnlichkeit**

50 – 64%: geringe Ähnlichkeit

< 50% keine oder eine äusserst geringe Ähnlichkeit

### 3. Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1. Ergebnisse Steiwasser

##### Artenvielfalt

An den drei untersuchten Flussabschnitten sind insgesamt 34 Arten der Eintags-, Stein- und Köcherfliegen, im Folgenden kurz EPT genannt, nachgewiesen worden (Tab. 6). Mit 13 Arten dominierten die Steinfliegen, gefolgt von den Köcherfliegen mit 12 Arten und den Eintagsfliegen mit 9 Arten. Diese Zusammensetzung ist standorttypisch und charakteristisch für einen Fluss in der untersuchten Höhenausdehnung der Nordalpen.

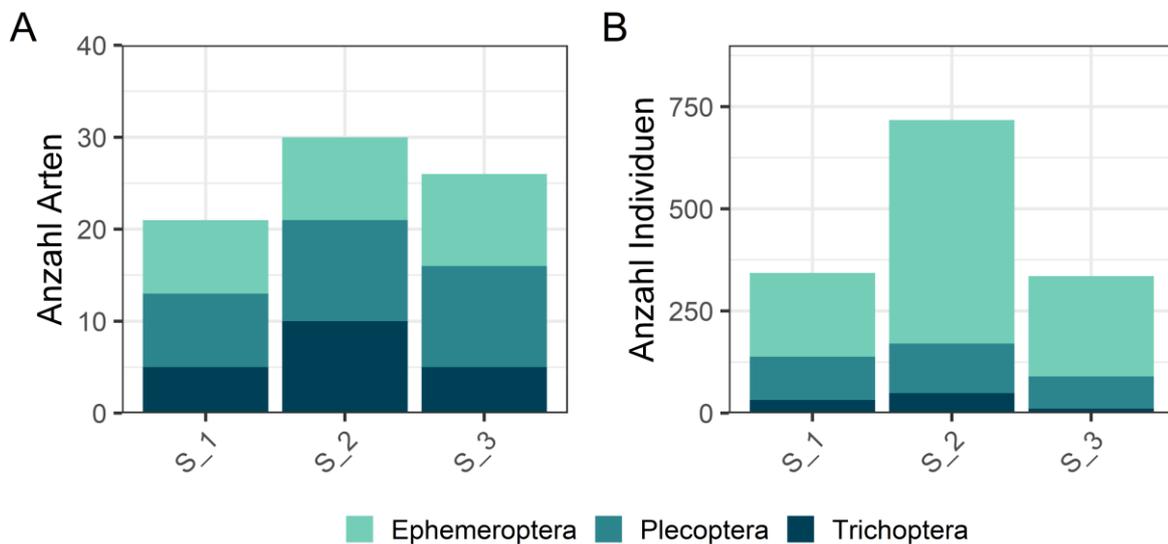


Abb. 2 Einzugsgebiet Steiwasser: Zahl der Eintags (Ephemeroptera)-, Stein (Plecoptera)- und Köcherfliegenarten (Trichoptera) an den drei untersuchten Flussabschnitten; B: Die Zahl der Individuen der larval nachgewiesenen EPT an den drei untersuchten Flussabschnitten.

Die Arten- und Individuenzahlen fielen an den drei Abschnitten recht unterschiedlich aus (Abb. 2). An der mittleren Stelle (S<sub>2</sub>) wurden am meisten Arten und Individuen gefunden, deutlich weniger bei der höchstgelegenen Stelle unterhalb des Steisees (S<sub>1</sub>) und im Restwasserabschnitt (S<sub>3</sub>). Dafür verantwortlich sind die unterschiedlichen gewässermorphologischen Verhältnisse und das Restwasserregime. Die hohe Artenvielfalt an der Stelle S<sub>2</sub> ist eine Folge der Vereinigung zweier Einzugsgebiete (Stei- und Gadmerwasser), der vergleichsweise grossen morphologischen Vielfalt mit unterschiedlichen Substraten und Fliessgeschwindigkeiten sowie Grundwasseraufstössen am Gewässerrand.

Ökologisch zeigt sich die relativ grosse morphologische Vielfalt des Abschnitts S<sub>2</sub> an der Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft, die hier im Unterschied zum deutlich höher gelegenen Abschnitt S<sub>1</sub> eine grössere Vielfalt an Strömungs-Ökotypen hat (Abb. 3) und vermutlich durch das bewaldete Umland auch nährstoffreicher ist. Die Lebensgemeinschaften dieser beiden Abschnitte dürfte repräsentativ sein für einen glazial geprägten, morphologisch natürlichen Fluss der subalpinen Höhenstufe mit entsprechendem Gefälle und entsprechender Abflussdynamik. Die geringere Individuenzahl im Abschnitt S<sub>3</sub> hingegen ist die Folge des Restwasserregimes, das eine kleinere benetzte Fläche, weniger Strömungsdiversität und dementsprechend auch eine geringere Qualität und Ausdehnung der aquatischen Lebensräume zur Folge hat. Charakteristisch ist auch, dass 17 der 21 Arten nur in geringer Zahl, d. h. mit weniger als zehn Individuen vorkamen. Tendenziell nahmen bezüglich Fliessgeschwindigkeit indifferente Arten und solche, die in langsamer Strömung leben leicht zu, traten aber kaum in Erscheinung (Abb. 3). Im Unterschied zur Stelle S<sub>2</sub> ist dies jedoch primär dem geringeren Abfluss und nicht der Gewässermorphologie zuzuschreiben.

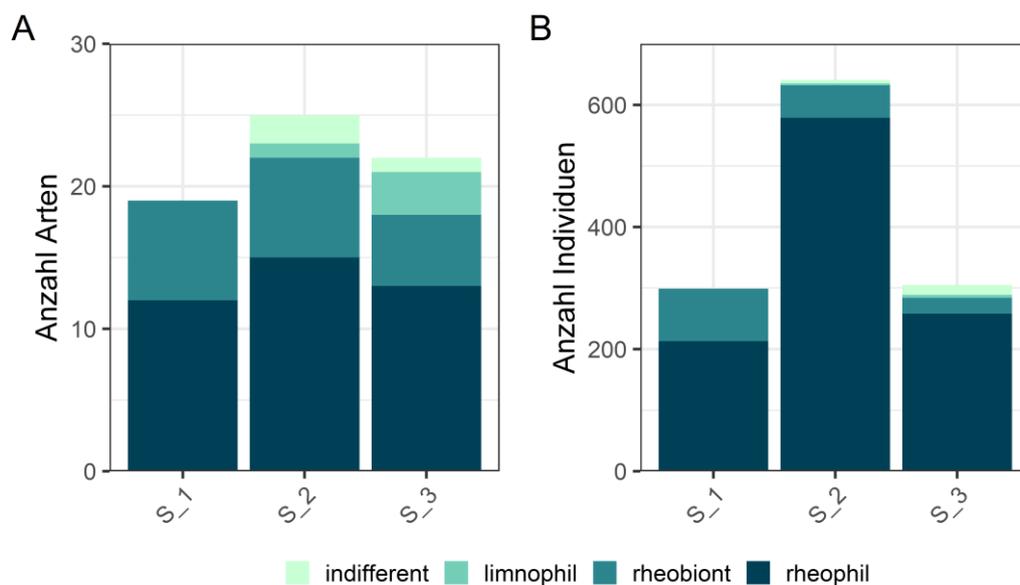


Abb. 3 Einzugsgebiet Steiwasser: Anzahl Arten (A) resp. Individuen (B), aufgeteilt nach Strömungspräferenzen (31 Arten indiziert). Limnophil = langsam strömend; rheophil = mässig strömend, rheobiont = stark strömend (Weisswasser), indifferent = strömungsunabhängig.

Aus all diesen Gründen haben die Lebensgemeinschaften der drei Abschnitte untereinander nur eine geringe Ähnlichkeit (Tab. 2). Die relativ höchste Ähnlichkeit besteht zwischen S<sub>2</sub> und S<sub>3</sub> und lässt sich durch deren geographische Nähe erklären. Es ist sehr wahrscheinlich, dass bei Hochwasser via Drift regelmässig Individuen vom ungefassten Abschnitt in den Restwasserabschnitt gelangen. Darauf deuten nicht zuletzt die geringen Dichten der meisten Arten hin. Sind

dann die Populationen zu klein, kann sich dort nur schwerlich eine standorttypische Lebensgemeinschaft bilden.

Tab. 2 Prozentuale Übereinstimmung (Jaccard-Indices) der Artenzusammensetzung der drei untersuchten Abschnitte. Werte von 50 bis 64 % bedeuten eine geringe Ähnlichkeit, Werte < 50 % keine oder eine äusserst geringe Ähnlichkeit. RW= Restwasser.

	S_1	S_2	S_3 (RW)
S_1		59	48
S_2			62
S_3 (RW)			

Indikatorarten Temperaturpräferenzen:

Im Hinblick auf die Beurteilung der Auswirkungen der Wasserentnahme sind die Temperaturpräferenzen der Gewässerorganismen und das Vorkommen von Indikatorarten des Flusstyps von Bedeutung.

Gut ein Drittel der Arten (12 = 34 %) dürfen als Indikatoren für die subalpine/alpine Höhenstufe im Einzugsgebiet des Steiwassers gelten. Sie sind an Zahl und Häufigkeit im Restwasserabschnitt S\_3 untervertreten, was auf einen Wandel in der Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft in Richtung von Arten deutet, die eher in tieferen Höhenstufen leben (Abb. 4). Als Indikatoren wurden die folgenden Arten definiert (Vergl. Kap. 2):

- Eintagsfliegen: *Rhithrogena loyolaea*, *R. nivata*;
- Steinfliegen: *Dictyogenus alpinum*, *Isoperla rivulorum*, *Nemoura mortoni*, *Protonemura brevistyla*, *Rhabdiopteryx alpinus/harperi*, *Siphonoperla montana*;
- Köcherfliegen: *Acrophyla zerberus*, *Allogamus uncatius/mendax*, *Cryptothrix nebulicola*, *Rhyacophila intermedia*.

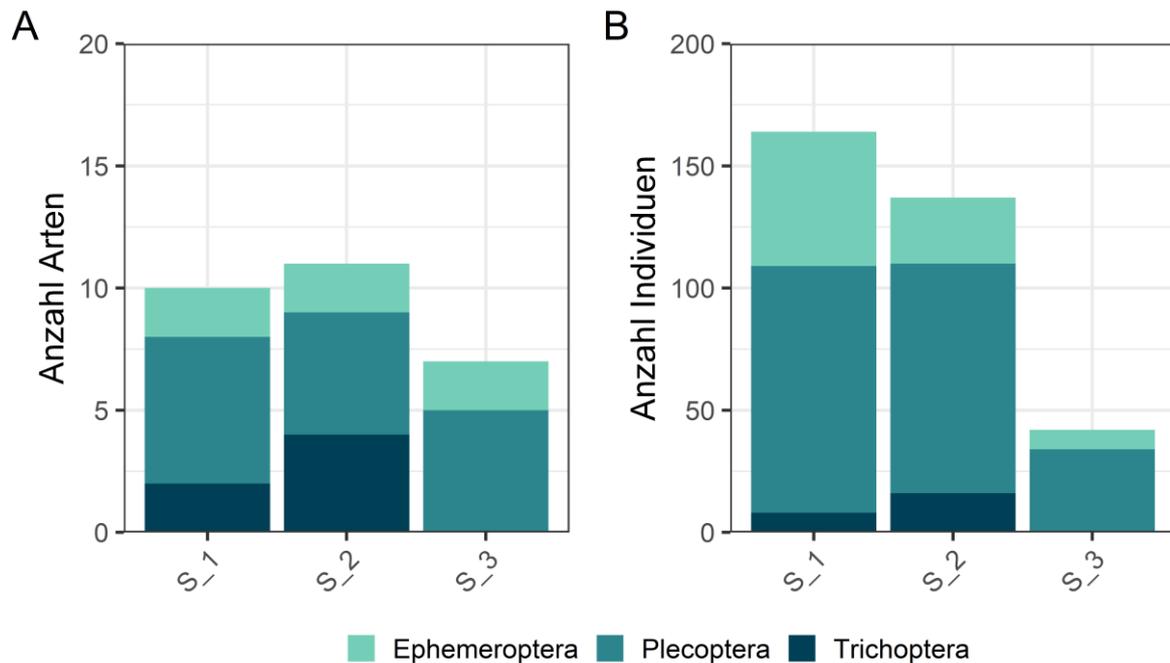


Abb. 4 Einzugsgebiet Steiwasser: Zahl der Indikatorarten und; B: deren Individuenzahlen an den drei untersuchten Abschnitten.

Die Analyse der Temperaturpräferenzen zeigt zudem, dass 25 (78 %) der 32 indizierten EPT-Arten obligate Kaltwasserbewohner sind (Abb. 5). Von der höchstgelegenen Stelle bis zum Restwasserabschnitt nahm die relative Häufigkeit der Kaltwasserarten ab, wie etwa jene der Steinfliegen *Siphonoperla montana* und *Dictyogenus alpinum* sowie der Eintagsfliege *Rhithrogena nivata*. Sieben Arten dagegen zeigen keine Temperaturpräferenz. Letztere waren in tieferen Lagen (S<sub>2</sub> und S<sub>3</sub>) individuenreicher vertreten (u. a. *Rhithrogena alpestris* oder *Protonemura nitida*, *Leuctra inermis*).

Unter den Kaltwasserarten befanden sich insgesamt vier Arten, die gegenüber dem Klimawandel **als verletzlich (CCVS  $\geq 4$ ) eingestuft sind** (*Leuctra rauscheri*, *Rhabdiopteryx alpina/harperi*), *Cryptothrix nebulicola*, *Rhyacophila intermedia*). Im Restwasserabschnitt fehlten sie, an den anderen zwei Abschnitten waren es je drei Arten (Abb. 5), alle mit geringen Individuenzahlen.

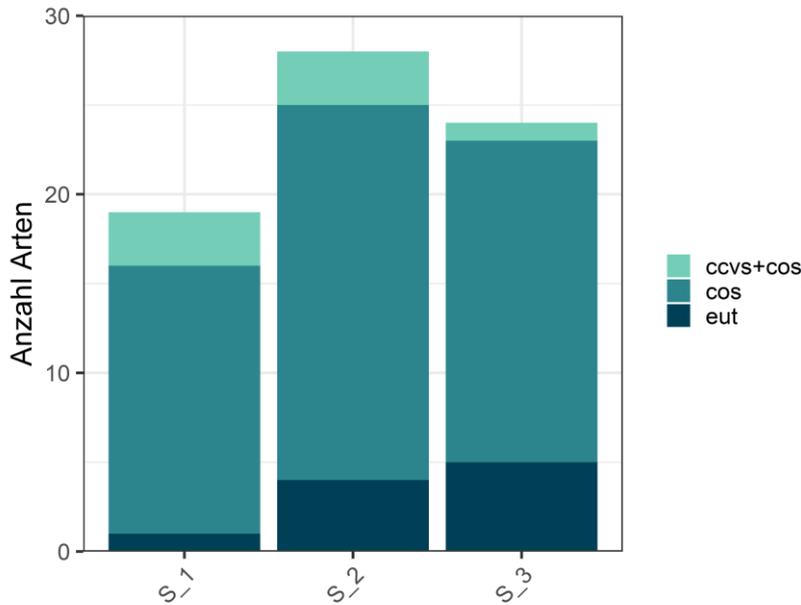


Abb. 5 Einzugsgebiet Steiwasser: ccvs+cos = Anzahl der obligaten Kaltwasserbewohner inklusive der gegenüber dem Klimawandel verletzlichen Arten; cos = obligate Kaltwasserbewohner; eut = Zahl der Arten ohne Temperaturpräferenz (CCVS). Anzahl Indizierte Arten: 32.

### Seltene und gefährdete Arten

Für die Beurteilung der Seltenheit einer Lebensgemeinschaft dient in erster Linie der Gefährdungsgrad der Schweizer Roten Liste. Zusätzlich wurde die Einstufung nach nationaler Priorität und das Vorkommen von Endemiten, im vorliegenden Fall von Alpen-Endemiten, berücksichtigt. Unter den neun aufgeführten Arten der Roten Listen darf nur eine einzige Art, die Köcherfliege *Acrophylax zerberus* als gefährdet (Kategorie VU) bezeichnet werden (Abb. 6). Die restlichen acht Arten zählen zur Kategorie NT (potenziell gefährdet). Fünf Arten stehen mit einer Priorität von 3 (mittel), resp. 4 (mässig) in der Liste der National Prioritären Arten Tab. 5. Die Prioritätseinstufung gibt darüber Auskunft, wie vordringlich die nationale Erhaltung respektive Förderung der jeweiligen Art im globalen respektive europäischen Kontext ist. Die Verantwortung der Schweiz zur Förderung dieser Arten reicht von gering (*Acrophylax zerberus*) über mittel (*Cryptothrix nebulicola*) bis hoch (*Rhithrogena nivata*, *R. grischuna*) (Tab. 5). Bei einer hohen Verantwortung hat das Aussterben der Art in der Schweiz Folgen für den Gesamtbestand, respektive die weltweite Gefährdung wird dadurch stark erhöht. Ausserdem kommen im Untersuchungsgebiet vier Arten vor, deren Verbreitung auf die Alpen beschränkt ist (Alpen Endemiten, Abb. 6). Unter diesen befindet sich eine Art (*Cryptothrix nebulicola*), die gegenüber dem Klimawandel als verletzlich eingestuft ist.

Die Zusammenstellung zeigt, dass es mehrere Arten gibt, die für den Alpenraum charakteristisch sind und zu deren Erhalt und Förderung die Schweiz eine nicht zu unterschätzende Verantwortung trägt. Dies ist von Bedeutung zur Beurteilung der Auswirkungen verschiedener Stressoren wie den Bau von Wasserfassungen zur Energiegewinnung und die Festlegung von Restwasserabflüssen besonders im Hinblick auf den fortschreitenden Klimawandel (siehe Kapitel 4).

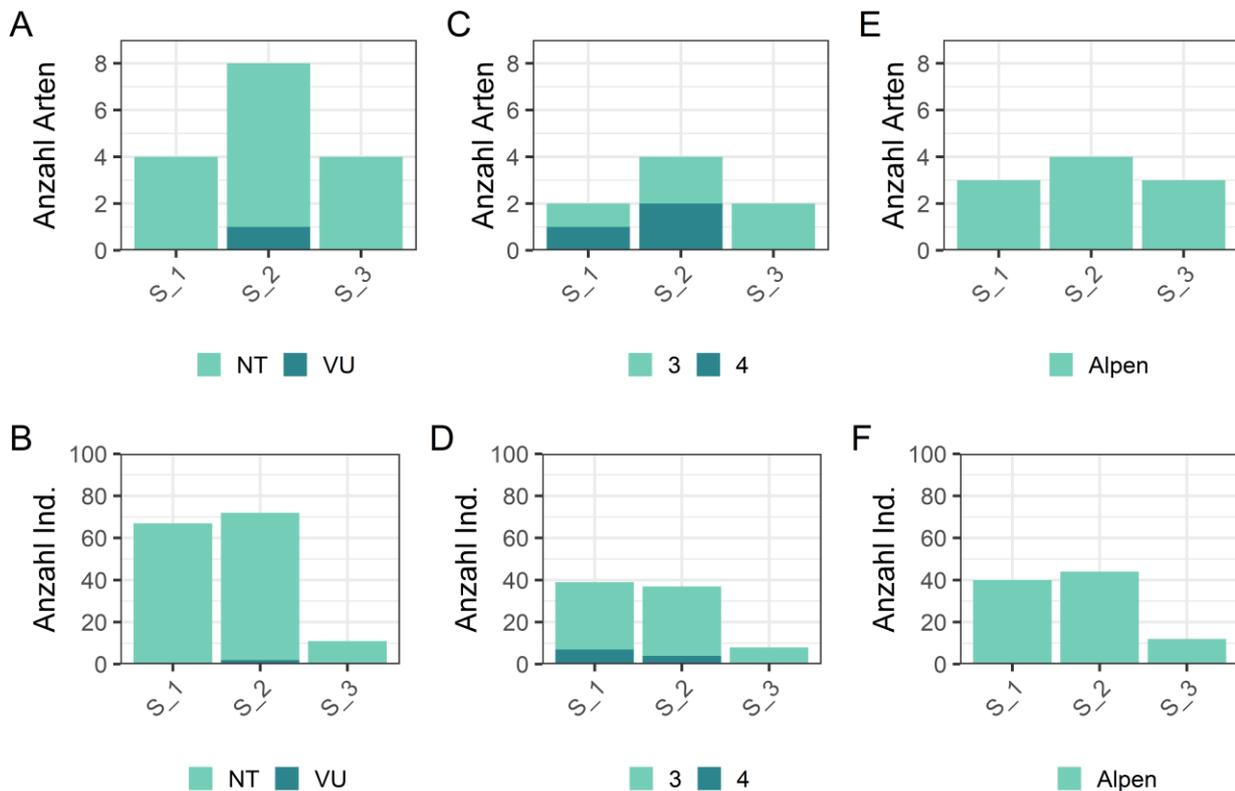


Abb. 6 Einzugsgebiet Steiwasser: A: Artenzahl der Rote-Liste-Arten (VU = «verletzlich»; NT = «potenziell gefährdet»); B: Individuenzahl der Rote-Liste-Arten; C: Artenzahl der National prioritären Arten, Faktor Priorität (3 = «mittel»; 4 = «mässig»); D: Individuenzahl der National prioritären Arten, Faktor Priorität; E: Artenzahl der Alpenendemiten; F: Individuenzahl der Alpenendemiten.

### 3.2. Ergebnisse Triftwasser

#### Artenvielfalt

An den untersuchten Gewässerabschnitten des Triftwassers und der Schwemmebene des Triftgletscher-Vorfelds wurden insgesamt 46 verschiedene Wasserinsekten nachgewiesen (Tab. 6). Mit 35 Arten hatten dabei die Eintags-, Stein- und Köcherfliegen, kurz EPT genannt, den grössten Anteil. Die grosse Artenvielfalt in den Gewässern der Schwemmebene (Abb. 7) ist auf die unterschiedlichen Gewässertypen zurückzuführen, die nicht nur aus dem Hauptabfluss, dem Triftwasser, besteht, sondern auch Stillgewässer, weitere Zuflüsse und Rieselfluren umfasst (Tab. 1, Abb.

7). Sieben Wasserkäfer, drei Wanzen, zwei Köcherfliegen, eine Steinfliege und eine Libelle kamen ausschliesslich in Gewässern der Schwemmebene vor. Die Stillgewässer waren mit 11 Arten besonders artenreich. Dort wurden fast ausschliesslich Wasserkäfer und Wasserwanzen nachgewiesen, u. a. charakteristische Alpen-Arten wie der Wasserkäfer *Hydroporus foveolatus* und die Wasserwanzen *Arctocaris carinata* und *Gerris costae*. Ausserdem gab es drei Quellarten (*Dictyogenus fontium*, *Consorophyllax consors*, *Cordulegaster bidentata*) und einen Lebensraum-spezialisten, die Köcherfliege *Stactobia moselyi*, deren Larven ausschliesslich an überrieselten Felswänden leben.

Bezüglich der Artenzahl unterschieden sich die Fliessgewässer, welche in die Schwemmebene münden, deutlich (Abb. 7). So waren im Hauptabfluss, dem Triftwasser (TV\_1) nur sieben, im seitlich einmündenden Tällibach (TV\_2) dagegen 12 Arten zu verzeichnen. Etwas mehr als ein Drittel der Arten (36 %) besiedeln beide Fliessgewässer. Die Ursache liegt in den unterschiedlichen Abflussregimen: Das Triftwasser ist glazial geprägt, der Tällibach nicht. In Gletscherabflüssen mit Temperaturen  $< 2^{\circ}\text{C}$  dominieren Zuckmückenlarven (u. a. Diamesinae), während die EPT-Arten erst bei wärmeren Wassertemperaturen auftreten (Wilkes et al., 2023; Milner et al., 2001). Diese Befunde konnten wir auch bei den untersuchten Gewässern bestätigen.

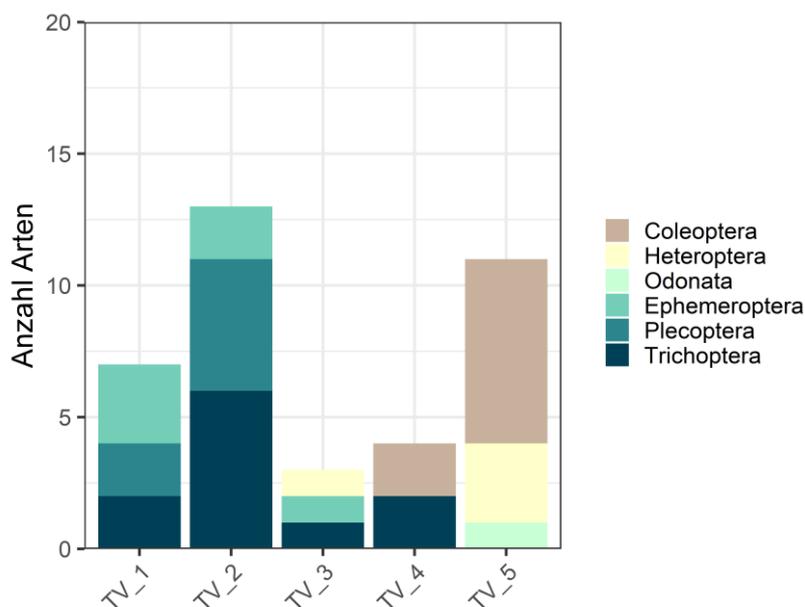


Abb. 7 Einzugsgebiet Triftwasser: Anzahl der nachgewiesenen Arten in den untersuchten Gewässern der Schwemmebene des Triftgletscher-Vorfelds.

Deshalb war die Artenvielfalt in der Trift unterhalb des Triftsees (T\_1 und T\_2) mit 28 EPT-Arten deutlich grösser als in der stärker glazial geprägten Schwemmebene mit total 16 EPT-Arten (Abb. 8). Im Restwasserabschnitt (T\_3) waren es 20 EPT-Arten. Das liegt an der kleineren benetzten Fläche, wodurch das Angebot an besiedelbaren Lebensräumen entsprechend geringer war. Insgesamt wurden mehr als 2000 Individuen gezählt, respektive geschätzt. Ein Spezialfall ist der Restwasserabschnitt (T\_3), weil er nicht vom Triftwasser gespeist wird, sondern ausschliesslich vom Tobigerbach, der unmittelbar unterhalb der Wasserfassung ins Flussbett des Triftwassers mündet. Die deutlich geringere Abflussmenge verkleinert die besiedelbare Fläche und verändert die Substrat- und Strömungsverhältnisse substantziell. Ausserdem dürften die Wassertemperaturen wegen des fehlenden Gletscherwassers leicht höher sein.

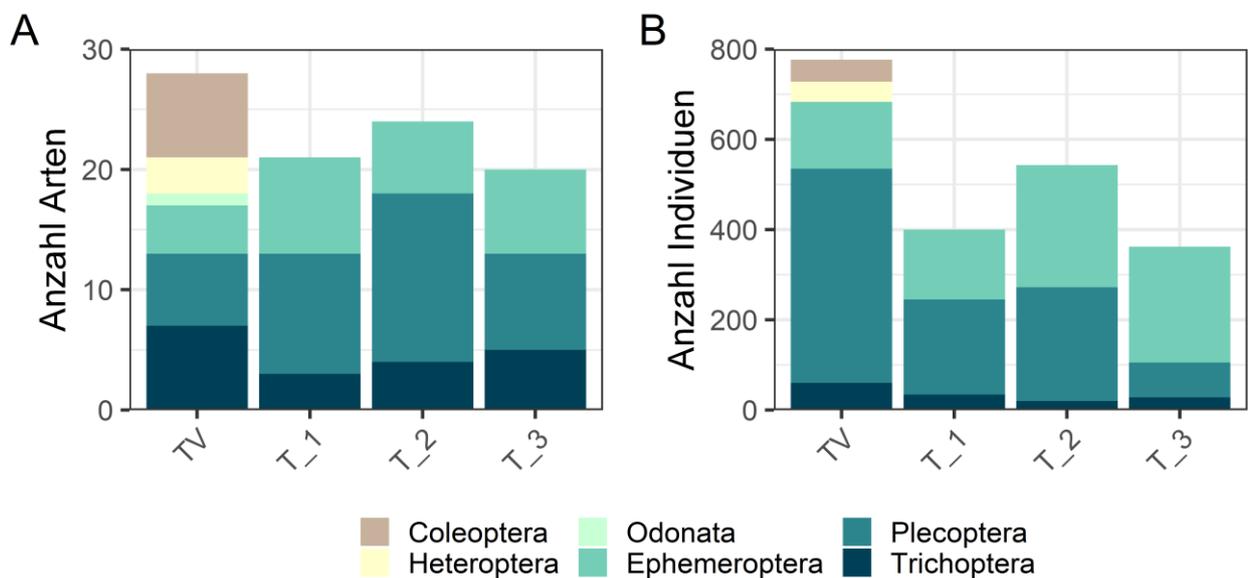


Abb. 8 Einzugsgebiet Triftwasser: Zahl der Gewässerinsekten, aufgeteilt nach taxonomischen Gruppen in den untersuchten Lebensräumen der Schwemmebene des Triftgletscher-Vorfelds (TV) und den Abschnitten des Triftwassers unterhalb des Triftsees (T\_1 bis T\_3). B: Die Zahl der Individuen und der larval nachgewiesenen EPT-Arten in den untersuchten Gewässerabschnitten.

Der Vergleich der Artenzusammensetzung zeigt, dass die Lebensgemeinschaft des Triftwassers in der Schwemmebene (TV\_1) keinerlei Ähnlichkeit mit allen anderen Abschnitten hat (Tab. 3). Sie ist direkt dem kalten und trüben Schmelzwasser des Gletschers ausgesetzt. Die harschen Bedingungen des glazialen Einzugsgebiets werden durch den Triftsee etwas abgepuffert und sind im Gewässer unterhalb des Sees weniger stark ausgeprägt.

Tab. 3 Prozentuale Übereinstimmung (Jaccard-Indices) der Artenzusammensetzung der drei untersuchten Abschnitte. Werte von 50 bis 64 % bedeuten eine geringe Ähnlichkeit. RW= Restwasser

	TV1	T_1	T_2	T_3 (RW)
TV_1		32	25	32
T_1			50	41
T_2				45
T_3 (RW)				

Selbst zwischen T\_1 und T\_2, in Abschnitten mit natürlichem Abfluss, ist die Ähnlichkeit äusserst gering (Tab. 3). Verantwortlich dafür ist die Gewässermorphologie: Die hohe Artenvielfalt an der Stelle T\_2 ist die Folge der grösseren morphologischen Vielfalt mit verzweigtem Gerinne, unterschiedlichen Substraten und Fliessgeschwindigkeiten, wie sie für subalpine Auen charakteristisch sind. Ganz anders beim Restwasserabschnitt T\_3. Hier wird das Wasser der Trift unmittelbar oberhalb der Untersuchungsstelle gefasst und zu 100 % in unterirdische Stollen geleitet. Das Triftwasser erhält im Normalfall folglich kein Wasser oder höchstens bei extremen Abflüssen etwas Wasser aus dem glazial geprägten Einzugsgebiet. Das Flussbett wird lediglich durch den unmittelbar unterhalb der Wasserfassung mündenden Tobigerbach gespeist, dessen Einzugsgebiet nicht (mehr) vergletschert ist. Das Wasserdargebot für das Triftwasser unterhalb der Wasserfassung hängt demnach allein von diesem Zufluss ab und repräsentiert eigentlich dessen Lebensgemeinschaft.

Ökologisch zeigen sich diese Unterschiede auch im Muster der Strömungspräferenz. Die Larven jeder Art haben ein artspezifisches Optimum, was die Fliessgeschwindigkeit anbelangt. Dort erreichen sie jeweils die grösste Dichte im Gewässerbett. Damit wird eine mosaikartige Verteilung der Arten im Gewässer ermöglicht. Die grösste Vielfalt und Dichte an Strömungstypen zeigte sich aufgrund der grösseren Habitatvielfalt in den Abschnitten des Triftwassers bei T\_1 und T\_2 (Abb. 9). Im Restwasserabschnitt (T\_3) dagegen waren aufgrund der geringeren Abflüsse Anzahl und Individuendichte der strömungsangepassten Arten deutlich geringer. Arten, die an schwache Strömung angepasst oder indifferent auf die Strömung reagieren kamen am häufigsten in der Schwemmebene vor, weil dort die Vielfalt an Gewässertypen am grössten war.

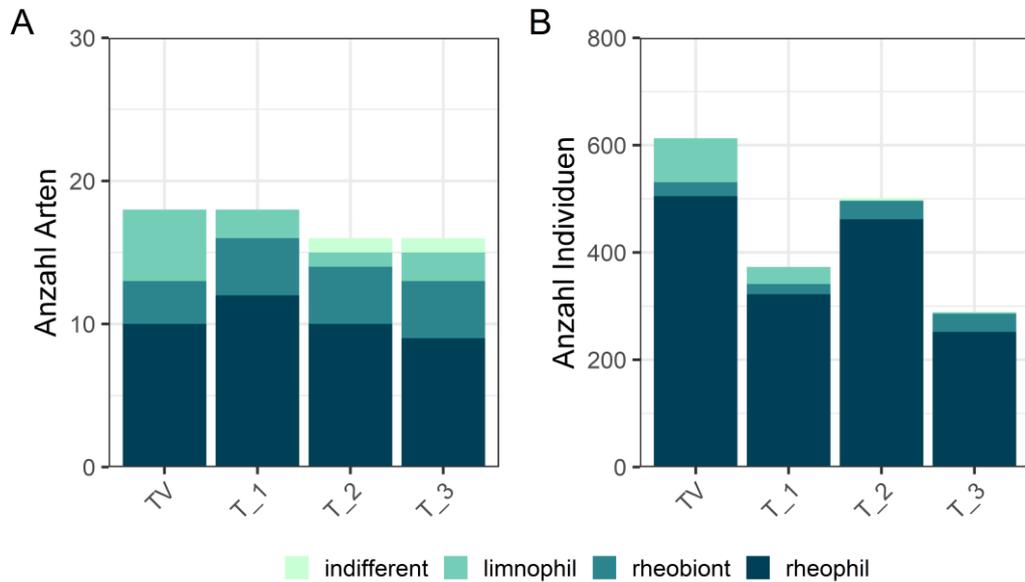


Abb. 9 Einzugsgebiet Triftwasser: Anzahl Arten (A) resp. Individuen (B) des Triftgletscher-Vorfelds (TV) und der Trift (T<sub>1</sub> bis T<sub>3</sub>), aufgeteilt nach Strömungspräferenzen (33 Arten indiziert). Limnophil = langsam strömend; rheophil = mässig strömend, rheobiont = stark strömend, (Weisswasser), indifferent = strömungsunabhängig.

### Indikatorarten und Temperaturpräferenzen

Im Hinblick auf die Beurteilung der Auswirkungen der Wasserentnahmen sind die Temperaturpräferenzen und das Vorkommen von Indikatorarten des Trift-Einzugsgebietes und der Höhenstufe (subalpin) von Bedeutung.

Ein Drittel, 14 der 46 Arten, dürfen als Indikatoren für das Einzugsgebiet des Triftwassers gelten. Am meisten Arten fanden sich im Triftwasser selbst, etwas weniger in der Schwemmebene des Triftgletscher-Vorfelds und im Restwasserabschnitt (Abb. 10A). In letzterem bewegte sich die Zahl der Indikatorarten etwa auf dem gleichen Niveau wie an den Gewässerabschnitten mit natürlichem Abflussregime, doch war hier ihre Dichten deutlich geringer (Abb. 10B), was auf einen Wandel in der Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft weg vom glazialen Abflussregime hin zu einem vermutlich nivalen Regime deutet.

Als Indikatoren wurden gemäss Kapitel 2 die folgenden Arten definiert:

- Wasserkäfer: *Hydroporus foveolatus*;
- Eintagsfliegen: *R. loyolaea*, *R. nivata*;
- Steinfliegen: *Dictyogenus alpinum*, *Isoperla rivulorum*, *Nemoura mortoni*, *Perlodes intricatus*, *Protonemura brevistyla*, *Siphonoperla montana*, *Rhabdiopteryx alpinus/harperi*;
- Köcherfliegen: *Acrophylax zerberus*, *Allogamus uncatus/mendax*, *Cryptothrix nebulicola*, *Rhyacophila intermedia*.

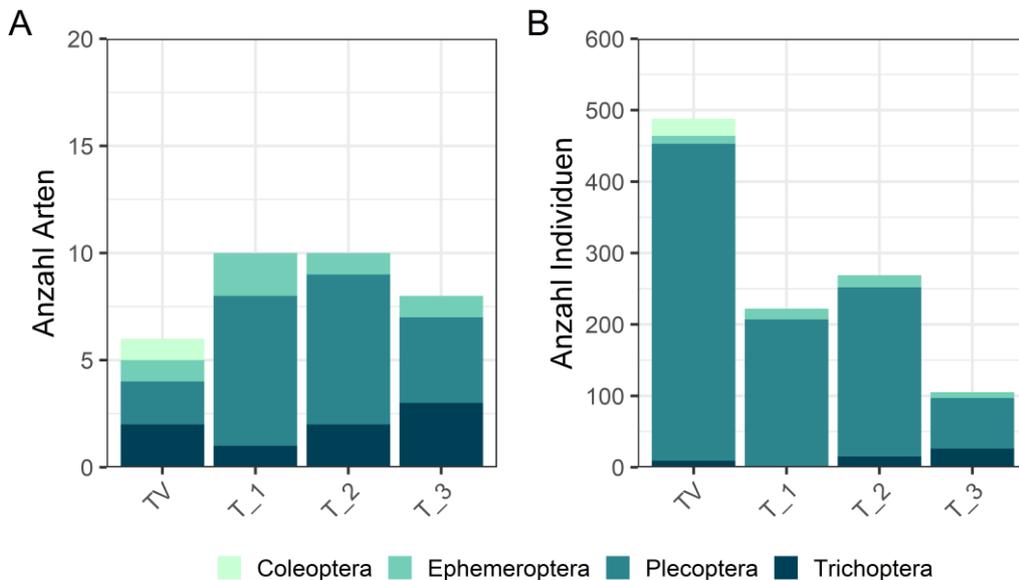


Abb. 10 Einzugsgebiet Triftwasser: A: Zahl der Indikatorarten und; B: deren Individuenzahlen an den drei untersuchten Abschnitten.

Die Analyse der Temperaturpräferenzen zeigt, dass Ökotypen ohne Temperaturpräferenz nur vereinzelt vorkamen. Die meisten Arten, 31 (86 %) der 35 indizierten EPT-Arten sind obligate Kaltwasserbewohner, die auch die grösste Besiedlungsdichte einnahmen (Abb. 11). Die Gewässer der Schwemmebene des Triftgletscher-Vorfelds enthielten ausschliesslich Organismen dieses Temperatur-Ökotyps. Im Längsverlauf nahm die relative Häufigkeit von zwei Kaltwasser-Arten, der Steinfliege *Protonemura brevistyla* und der Eintagsfliege *Rhithrogena loyolaea*, deutlich ab. Dass es nur zwei Arten waren, hängt mit der geringen Höhendifferenz zwischen der Schwemmeben (1654 m ü. M.) und dem Restwasserabschnitt (1307 m ü. M.) zusammen.

Unter den Kaltwasserarten befanden sich fünf, die gegenüber dem Klimawandel als verletzlich (CCVS  $\geq 4$ ) eingestuft sind (Tab. 5). In der Schwemmebene waren es drei, im Triftwasser (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>) insgesamt fünf und im Restwasserabschnitt (T<sub>3</sub>) zwei Arten. Nur eine verletzliche Art

fanden wir im Triftwasser unterhalb des Triftsees (T\_1), vermutlich wegen der etwas höheren Wassertemperaturen im Jahresmittel.

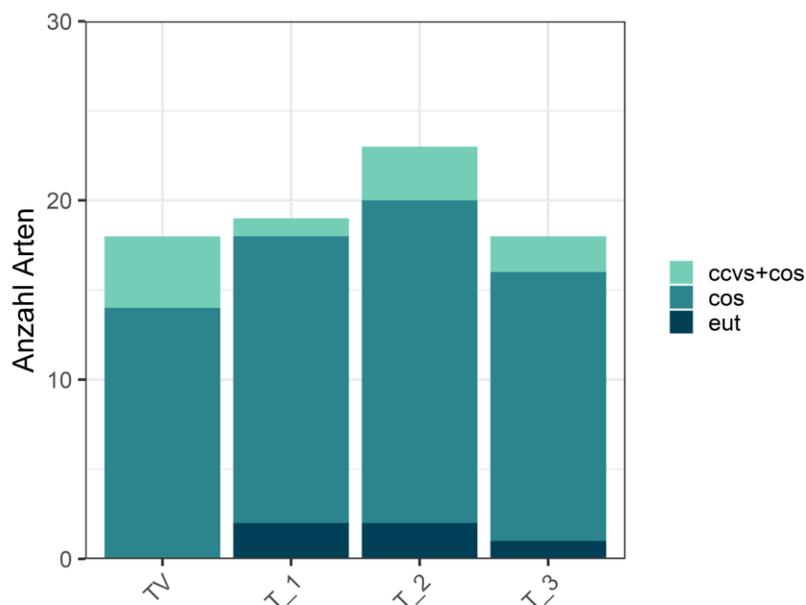


Abb. 11 Einzugsgebiet Triftwasser: ccvs+cos = Anzahl der obligaten Kaltwasserbewohner inklusive der gegenüber dem Klimawandel verletzlichen Arten; cos = obligate Kaltwasserbewohner; eut = Zahl der Arten ohne Temperaturpräferenz (CCVS). Indizierte Arten: 35.

### Seltene und gefährdete Arten

Für die Beurteilung der Seltenheit einer Lebensgemeinschaft dient in erster Linie der Gefährdungsgrad der Schweizer Roten Liste. Zusätzlich wurde die nationale Priorität und das Vorkommen von Endemiten berücksichtigt, im vorliegenden Fall von Alpen-Endemiten (Abb. 12).

Unter den zehn aufgeführten Arten der Roten Listen dürfen nur zwei als gefährdet bezeichnet werden: die Köcherfliegen *Stactobia moselyi* (EN = stark gefährdet) und *Acrophylax zerberus* (VU = verletzlich, Abb. 12A; Tab. 6). Acht Arten gehören in die Kategorie NT (potenziell gefährdet). Sieben Arten stehen mit einer Priorität von 3 (mittel), resp. 4 (mässig) in der Liste der National Prioritären Arten (Tab. 5). Die Verantwortung für diese Arten reicht von gering (*Acrophylax zerberus*) bis hoch (*R. nivata*, *R. loyolaea*). Ausserdem kommen im Untersuchungsgebiet fünf Arten vor, die gegenüber dem Klimawandel als verletzlich eingestuft sind (Tab. 5), sowie vier Alpen-Endemiten (Abb. 12C).

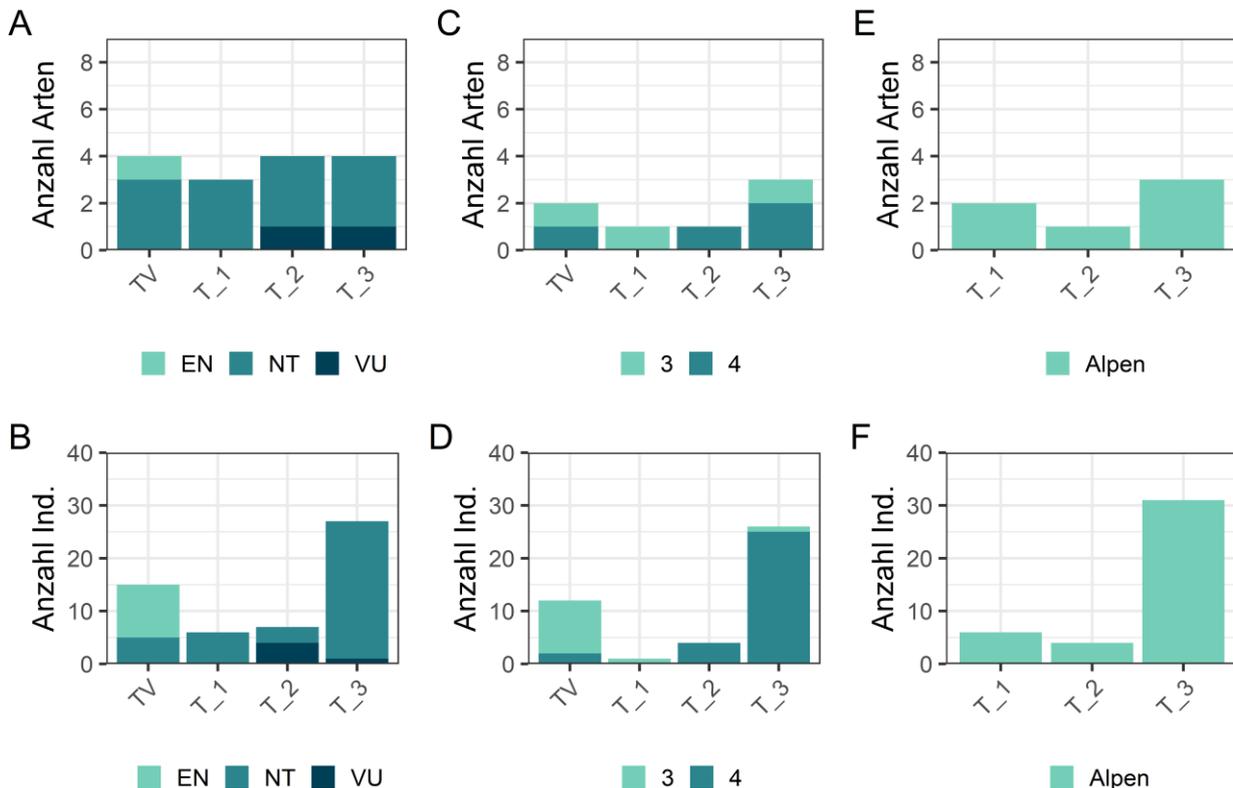


Abb. 12 Einzugsgebiet Triftwasser: A: Artenzahl der Rote-Liste-Arten (EN = «stark gefährdet»; VU = «verletzlich»; NT = «potenziell gefährdet»); B: Individuenzahl der Rote-Liste-Arten; C: Artenzahl der National prioritären Arten, Faktor Priorität (3 = «mittel»; 4 = «mässig»); D: Individuenzahl der National prioritären Arten, Faktor Priorität; E: Artenzahl der Alpenendemiten; F: Individuenzahl der Alpenendemiten.

### 3.3. Faunistischer Vergleich Steiwasser – Triftwasser

Das Einzugsgebiete beider Bäche ist vergletschert, ihre Abflüsse aus den Gletschern füllen je einen See, dessen Abflüsse in tieferen Lagen ins Gadmerwasser münden. Für beide gilt ein sogenannt «a-glazialer» Abflusstyp (modellierter Abflüsse; Datensatz «MQ-GWN-CH», BAFU, 2013). Der Abflusstyp ändert für das Triftwasser unterhalb der Wasserfassung, da kein Restwasser dotiert ist. Das Triftwasser erhält deshalb nur Wasser aus dem Tobigerbach, dessen Einzugsgebiet nicht (mehr) vergletschert ist.

In beiden Einzugsgebieten zusammen wurden 55 Arten nachgewiesen. Allein bei den Eintags-, Stein- und Köcherfliegen waren es 44 Arten. Obwohl beide Abflussregime glazial geprägt sind, unterschieden sie sich in der Artenzusammensetzung deutlich: Nur 54 % der Arten waren gemeinsam, was nach Smukalla und Friedrich (1994) nur eine geringe Ähnlichkeit bedeutet. Jedes Gewässer hat demnach einen individuellen faunistischen Charakter, was unsere Erfahrungen aus vergleichbaren Untersuchungen im Alpenraum bestätigt. Dies ist mit grosser Wahrscheinlichkeit auch der Tatsache geschuldet, dass die Einzugsgebiete über den Landweg durch hohe

Wanderhindernisse getrennt sind, die den Faunenaustausch erschweren, zumal nicht alle Gewässerinsekten gute Flieger sind.

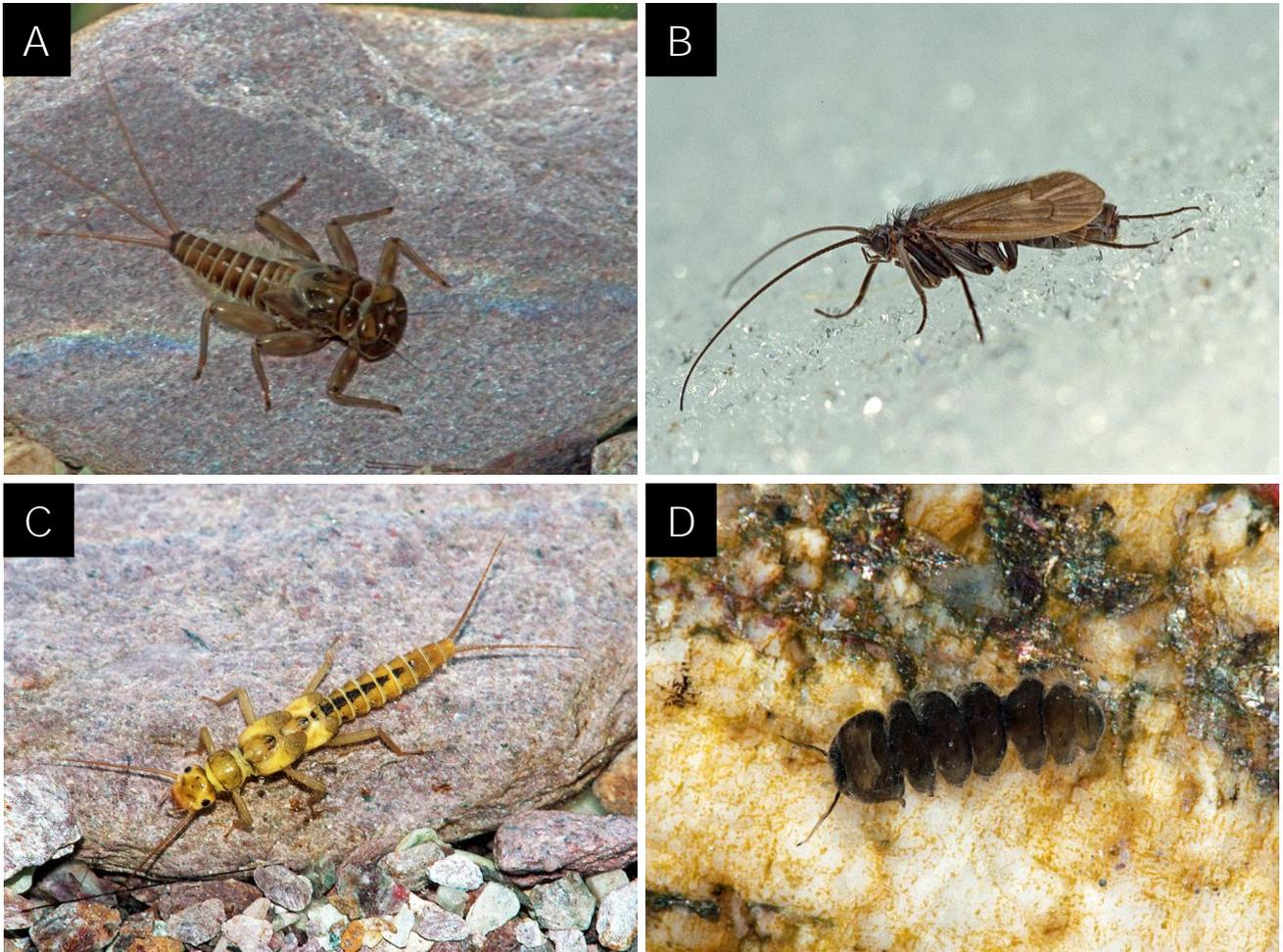


Abb. 13 Charakteristische Wasserinsekten in Trift- und Steiwasser. A: Larve der Eintagsfliege *Rhithrogena nivata*; B: Kurzflügliges Imago der Köcherfliege *Acrophylax zerberus*; C: Larve der Steinfliege *Siphonoperla montana*; D: Larve der Lidmücke *Liponeura cinerascens*.

### 3.4. Zusammenfassung Ergebnisse Steiwasser – Triftwasser

- Die Artenvielfalt und Zusammensetzung ist vergleichbar mit anderen Alpenbächen ähnlicher Einzugsgebietsgrößen und glazialen Abflussregime. Artenlisten aus eigenen Untersuchungen von Alpenbächen bestätigen diesen Befund. Wegen der fehlenden Winterbegehung dürfte sie noch etwas höher ausfallen.
- Die Artenzusammensetzung ist charakteristisch für die Region, sie wird aufgrund des glazialen Abflussregimes durch Kaltwasserarten geprägt, darunter fünf Arten, die gegenüber dem Klimawandel als verletzlich gelten.
- Arten- und Individuenzahl werden vom Abflussregime und der Gewässermorphologie bestimmt: Für die relativ hohe Vielfalt in der Schwemmebene des Triftgletscher-Vorfelds sind die unterschiedlichen Gewässertypen verantwortlich: Hier finden sich neben dem Hauptabfluss des Triftwassers weitere Gewässer wie Zuflüsse, Stillgewässer, Quellen und überrieselte Felswände, was die Artenvielfalt generell erhöht hat. Die Kombination unterschiedlicher Abflussregime ist charakteristisch für Gletschervorfelder und trägt zusätzlich zur Artenvielfalt bei (Brittain et al., 2003).
- Die Restwasserabschnitte S\_3 und T\_3 unterschieden sich von den naturbelassenen Abschnitten deutlich. Die Lebensgemeinschaften in den von Restwasser geprägten Abschnitten waren nicht standorttypisch: Die Anzahl der Indikator- und Kaltwasserarten war geringer als in den naturbelassenen Abschnitten. Wegen der kleineren benetzten Fläche auch deren Besiedlungsdichten. Bei T\_3 ist das Triftwasser hydrologisch vom glazialen Einzugsgebiet abgeschnitten und wird nur von einem Zufluss, dem Tobigerbach, gespeist, der kein glaziales Abflussregime hat. Die vorgefundene Lebensgemeinschaft wird deshalb an dieser Stelle vom Tobigerbach und nicht vom Triftwasser geprägt.
- Insgesamt sind zwei Arten der Roten Liste nachgewiesen: die Köcherfliegen *Acrophylax zerberus* (Steiwasser und Triftwasser) und *Stactobia moselyi* (Schwemmebene des Triftgletscher-Vorfelds). Letztere ist stark gefährdet und kommt im Rahmen der Untersuchung nur in der Schwemmebene der Trift vor. Weitere zehn Arten sind potenziell gefährdet. Sieben Arten figurieren in der Liste der Nationalen Prioritären Arten. Für zwei Prioritäre Arten besitzt die Schweiz eine hohe Verantwortung für deren Fortbestand. Vier Arten sind Alpen-Endemiten und fünf Arten sind gegenüber dem Klimawandel verletzlich (Tab. 5).

## 4. Beurteilung des Triftprojekts bezüglich der aquatischen Wirbellosen

Die Gesamtkonzession für die Nutzung der Wasserkräfte im Oberhasli von 1962 wird laut Regierungsratsbeschluss vom 22. 2. 2023 angepasst und ergänzt. Bei der Abschätzung der ökologischen Auswirkungen auf die im Gewässer lebenden Wirbellosen liegt das Gewicht auf der Beurteilung der gemäss Regierungsratsbeschluss festgelegten Restwasserdotierungen und den Mehrschutzmassnahmen. Beachtung findet dabei auch der im Alpenraum besonders deutlich spürbare Klimawandel.

### 4.1. Was ist geplant und wie wirkt sich das Projekt auf die Wasserfauna aus?

Generell muss festgehalten werden, dass die Gewässer Im Einzugsgebiet des Gadmerwassers bereits heute einen hohen Nutzungsgrad aufweist und die geplanten Fassungen diese Eingriffe in höhere Lagen ausdehnen. Mit der Realisierung des Projekts würde das Wasser nahezu des ganzen Gewässersystem der Nutzung dienen. Dies erachten wir als problematisch, weil dadurch in Lebensgemeinschaften eingegriffen wird, die besonders stark den Veränderungen durch den Klimawandel unterworfen sind; ausserdem trifft es Talabflüsse, die in der Regel artenreich sind und sich von ihren Zuflüssen faunistisch unterscheiden. Abb. 1 zeigt schematisch, wo sich die bestehenden und die neuen Wasserfassungen befinden; im Falle des Triftwassers liegt die bestehende Fassung (Underi Trift) auf 1324 m ü. M., die geplante neue Fassung würde den Gletschersee auf 1767 m ü. M. an dessen Ausfluss mit einer 177 m hohen Staumauer einstauen. Die bestehende Wasserfassung Stein des Steiwassers befindet sich auf 1340 m ü. M., die neue Fassung gemäss Konzessionsgesuch würde auf 1774 m ü. M. ca. 2.2 km unterhalb des Steisees (1932 m ü. M.) gebaut.

#### Restwasser: Was geplant ist

Heute naturbelassene Gewässer oberhalb der bestehenden Fassungen würden auf einer Länge von insgesamt 4.7 km zu Restwasserstrecken (Tab. 4). Dadurch würde die Länge der bestehenden Restwasserstrecken nahezu verdoppelt. Die bestehenden Fassungen werden nicht aufgehoben.

Tab. 4 Länge der bestehenden und geplanten Restwasserstrecken

	Restwasser bestehend	Restwasser gemäss Projekt	Restwasser TOTAL
Steiwasser bis Mündung Wendenwasser	ca. 0.95 km	2.40 km	ca. 3.35 km
Triftwasser	3.40 km	2.30 km	5.7 km

Das Triftwasser hat aktuell keine Restwasserverpflichtung, weil unmittelbar unterhalb der bestehenden Fassung Underi Trift der Tobigerbach mündet. Dessen Wasserdargebot ist jedoch mit dem Abschmelzen des Gletschers im Einzugsgebiet stark zurückgegangen (schriftl. Mitt. A. Schild, Bergführer und Mitglied Triftkomitee):

«Die Fassung Underi Trift ist gemäss Sanierungsverfügung ein Spezialfall mit Dotation Null. Grund: Der gleich unterhalb einmündende Tobigerbach bringt genügend Wasser ins Triftwasser. Das war Stand vor 10 und mehr Jahren, als die Grundlagen zur Sanierungsverfügung erstellt wurden. Inzwischen existiert der Tobigergletscher praktisch nicht mehr. Letztes Jahr im Herbst und sicher auch dieses Jahr ist dieser Zufluss praktisch gänzlich versiegt und das Triftwasser bis zur Einmündung ins Gadmerwasser fast trocken gewesen.»

Aufgrund der Schutz- und Nutzungsplanung (Art. 32 Bst c. GSchG) sollen die nach Art. 31-33 GSchG errechneten nötigen (erhöhten) Restwassermengen unterhalb der Staumauer beim Triftsee stark reduziert werden. Die zu erwartenden negativen ökologischen Auswirkungen sollen dabei durch verschiedene Mehrschutzmassnahmen kompensiert werden, u. a. auch durch einen Verzicht auf die Fassung weiterer Zuflüsse des Gadmerwassers (Wendenwasser: Fassung Wendingletscher; Giglibach, Treichigraben) (BVE, 2019).

Für das Triftwasser sollen die Dotierwassermengen gemäss Regierungsratsbeschluss vom 22. 2. 2023 wie folgt festgelegt werden:

- im Winter (Oktober-April) 115 l/s (Mindestrestwassermenge Q347);
- im Sommer (Juni-August) 300 l/s.

Die Ausbauwassermenge ist gemäss Konzessionsgesuch auf 450 l/s ausgelegt. Zum Vergleich: Im Oberlauf des Triftwassers fliessen im Juli im Mittel 10.24 m<sup>3</sup>/s (10 240 l/s). Im Winter sind die Abflüsse sehr tief und bewegen sich im Mittel von Dezember bis März zwischen 120 l/s und 370 l/s (modellierete Abflüsse; Datensatz «MQ-GWN-CH», BAFU, 2013).

Ausserdem sind am Fuss der Triftstaumauer vom 15. Mai bis 30. September täglich während vier Stunden zusätzlich 150 l/s abzugeben, ausser bei Regen oder Schneebedeckung. Jährlich sind gemäss Regierungsratsbeschluss am Staumauerfuss nach einem genauen Zeitregime für

mehrere Stunden folgende Hochwasser abzugeben: 1. bis 30. Juni: 16 000 l/s (HQ3); 1. bis 31. Juli: 19 000 l/s (HQ1). Alle fünf Jahre ist statt des Hochwasserereignisses im Juli ein Hochwasser von 30 000 l/s abzugeben (HQ5). Dies soll die Kolmation (Verdichtung) der Sohle verhindern und «für die grossflächige Überflutung samt Geschiebetrieb» dienen. Wird dabei kein Geschiebe aus dem See nachgeliefert, dürfte sich das Gerinne mit der Zeit eintiefen, was mit der Zeit negative Auswirkungen auf das Makrozoobenthos haben wird. Wie Untersuchungen gezeigt haben, hatten solche künstliche Hochwasser nur kurzfristig einen positiven Effekt auf das Makrozoobenthos (Döring et al., 2018). Für eine langfristige Verbesserung der ökomorphologischen Defizite in Restwasserstrecken sollten Höhe, Häufigkeit, Dauer und Zeitpunkt dem Gewässertyp angepasst werden und mit einem Langzeitmonitoring in Verbindung mit einem systemspezifischen adaptiven Management begleitet werden.

### Steiwasser

Von der Erweiterung der Wasserkraftnutzung im Gewässersystem des Steiwassers bleibt der Steisee verschont, die zusätzliche Fassung liegt ca. 2.2 km unterhalb des Sees, ca. 450 Höhenmeter höher als die bestehende Fassung Stein. Dadurch bleibt der See und ein Teil des Seeabflusses für die aquatische Lebensgemeinschaft erhalten. Am Seeausfluss und etwas weiter flussabwärts sind Vorkommen der gefährdeten *Acrophylax zerberus* nachgewiesen (info fauna, Neuchâtel; Hieber et al., 2005). Der Abschnitt unterhalb des Sees ist jedoch arten- und individuenärmer als das Steiwasser weiter flussabwärts, weil er fast auf der gesamten Länge in einer Schlucht verläuft und von kaltem Gletscherwasser gespeist wird (Kapitel 3.1).

Die neue Fassung verlängert die bereits bestehende Restwasserstrecke um 2.4 km und beträgt neu ca. 3.35 km. Die gegenwärtige Dotierwassermenge unterhalb der bestehenden Fassung beträgt 60 l/s.

Neu soll die Dotierwassermenge bei der zusätzlichen Fassung gemäss Regierungsratsbeschluss vom 22. 2. 2023 infolge der Mehrschutzmassnahmen ebenfalls tiefer angesetzt werden als die nach Art. 31-33 GSchG errechneten nötigen (erhöhten) Restwassermengen.

- im Winter (Oktober bis April) bei 70-80 l/s (Mindestrestwassermenge Q347),
- im Mai und September bei 90 l/s,
- von Juni bis August bei 100 l/s.

Die Ausbauwassermenge für das Restwasser ist im Konzessionsgesuch auf 100 l/s ausgelegt. Im natürlichen Fall fliessen im Oberlauf im Juli im Mittel 5.6 m<sup>3</sup>/s (5600 l/s). Wie beim Triftwasser sind die Abflüsse im Winter am tiefsten und bewegen sich von Dezember bis März zwischen 100 l/s und 270 l/s (modellierte Abflüsse; Datensatz «MQ-GWN-CH», BAFU, 2013). Zusätzlich muss

die Fassung an zwei bis drei Tagen pro Jahr während entsprechend hohen Zuflüssen vollständig geöffnet werden.

#### 4.2. Beurteilung der geplanten Mindestrestwassermengen für Stei- und Triftwasser

##### Allgemeine Anmerkungen zu den Restwasser-Mindestmengen

Die Mindest-Restwassermenge nach Art. 31 Abs. 1 GSchG ist keine ökologische Grösse, wie die Botschaft des Bundesrates zum Gewässerschutzgesetz von 1987 richtig festhält: sie sei bloss «das Existenzminimum und bildet eine Alarmgrenze». Die Autoren der eawag-Studie zu den gewässerökologischen Anforderungen an die Restwasserführung plädierten damals aus ökologischen Gründen für einen Richtwert von Q300 für den Minimalabfluss (Bundi & Eichenberger, 1989). Studien aus jüngerer Zeit bestätigen, dass die ökologischen Verhältnisse in Restwasserstrecken mit minimalem Abfluss häufig ungenügend sind, eine Erhöhung der Restwasserdotation ist in vielen Fällen dringend angezeigt (Wehrli, 2023).

##### Restwasser Triftprojekt

Die vom Triftprojekt betroffenen, naturbelassenen Gewässer sind durch standorttypische Lebensgemeinschaften besiedelt. Diese sind aufgrund der Lage im subalpinen Bereich von Kaltwasserarten geprägt. Zwei Arten der Roten Liste, die Köcherfliegen *Acrophylax zerberus* (VU) und *Stactobia moselyi* (EN), zehn potenziell gefährdete Arten der Eintags-, Stein- und Köcherfliegen, sowie mehrere National Prioritäre Arten und Alpen-Endemiten sind Teil dieser Lebensgemeinschaften (Tab. 5). Dringend festzuhalten ist zudem, dass Gletscherbäche wie das Stei- und das Triftwasser als Lebensräume vom «Verschwinden bedroht» sind, also ebenfalls auf der Roten Liste stehen (Delarze et al., 2016).

Tab. 5 Liste der seltenen Arten. RL: Rote Liste (NT= «potenziell gefährdet»; VU= «gefährdet»; EN= «stark gefährdet»); NPA= National Prioritäre Art (3 = «mittel»; 4 = «mässig») / V= Verantwortung (1= «gering»; 2= «mittel»; 3= «hoch»). Verletzlich gegenüber dem Klimawandel (CCVS>4).

Art	RL	NPA / V	Alpen-Endemit	Verletzlich gegenüber Klimawandel	Vorkommen: T: Triftwasser.; TV: Schwemmebene; S: Steiwasser
<i>Acrophylax zerberus</i>	VU	4/1			S, T
<i>Stactobia moselyi</i>	EN	3/1			T
<i>Cryptothrix nebulicola</i>	NT	4/2	+	+	S, T
<i>Consorophylax consors</i>	NT	4/2			TV
<i>Parachiona picicornis</i>	NT				S
<i>Ptilocolepus granualtus</i>	NT				S
<i>Siphonoperla montana</i>	NT				S, T

<i>Rhyacophila intermedia</i>				+	S, T, TV
<i>Leuctra rauscheri</i>	NT			+	S, T, TV
<i>Dictyogenus fontium</i>	NT			+	TV
<i>Rhabdiopteryx alpina/harperi</i>	NT	4/2		+	S, T
<i>Rhithrogena grischuna</i>	NT	3/3	+		S, T
<i>Rhithrogena nivata</i>	NT	3/3	+		S, T
<i>Rhithrogena puthzi</i>			+		S, T

Die Untersuchungen der Restwasserstrecken zeigen, dass dort aktuell keine standortgerechte Lebensgemeinschaft vorkommt und es von der gefährdeten Köcherfliege *Acrophylax zerberus* nur Einzelfunde gibt. Auch wenn die vorliegende Untersuchung diese Art nicht überall nachweisen konnte, ist aufgrund älterer Funde (info fauna, Neuchâtel; Hieber *et al.*, 2005) anzunehmen, dass sie im Steiwasser bis zum Steisee vorkommt, vermutlich auch im See selbst, desgleichen im Triftwasser. *Acrophylax zerberus* ist eine alpine-subalpine Art, die sich nicht nur in Fliessgewässern, sondern auch in hochalpinen Seen entwickelt (Oertli *et al.*, 2008). Funde aus den Jöriseen (GR) auf 2600 m ü. M. belegen, dass sie dort grosse Bestände entwickeln kann. Eigene Untersuchung von Stauseen zeigen, dass sie kaum besiedelt sind und sich deshalb nicht als Ersatzhabitate für natürliche Seen eignen. Dies wegen der immensen Wasserspiegelschwankungen, der Ablagerung von Feinsedimenten und der fehlenden Flachwasserzonen. Daher kann der geplante Stausee nicht als Ersatzhabitat für den gegenwärtigen, natürlichen Triftsee gewertet werden.

Etwas positiver stellt sich die Situation beim Steiwasser dar, weil dort der Steisee erhalten bleibt. Allerdings fehlt bis anhin der Nachweis, dass sich die Köcherfliege *Acrophylax zerberus* auch dort entwickelt. Gemäss GBIF (Global Biodiversity Information Facility) liegt der Verbreitungsschwerpunkt dieser Art in der Schweiz. In Österreich, Nord-Italien und Deutschland (Bayern) gibt es nur wenige Nachweise. In Österreich ist sie «stark gefährdet» (Malicky, 2009), in Deutschland steht sie auf der Vorwarnliste (Robert, 2016), was etwa der Schweizer Einstufung NT (potenziell gefährdet) entsprechen dürfte.

Grundsätzlich ist die Art in Fliessgewässern nie häufig anzutreffen. Auszüge aus der nationalen Datenbank von info fauna belegen, dass die meisten Nachweise aus Gewässern stammen, die oberhalb von 1600 m ü. M. liegen. Darunter gibt es kaum Funde, auch wenn es vereinzelt Nachweise im Gadmerwasser auf 1210 m ü. M. gibt (info fauna). Die Mehrschutzmassnahmen für den Verlust intakter Lebensräume von *Acrophylax zerberus* sind in der geplanten Form nicht zielführend und dürfen für diese Zielart und die begleitenden Lebensgemeinschaften aus den folgenden Gründen nicht als solche gewertet werden:

- Die für die Mehrschutzmassnahmen (Revitalisierungen) ausgewählten Gewässerabschnitte liegen auf rund 1130 m ü. M., respektive auf rund 630 m ü. M. **und sind damit** deutlich tiefer als das ökologische Optimum von *Acrophylax zerberus* (**Gewässer  $\geq 1600$  m ü. M.**). Sie bieten deshalb gemäss Art. 31 Abs. <sup>2</sup> Bst c. GSchG keinen «gleichwertigen» Ersatzlebensraum für diese Zielart und die begleitenden, durch obligate Kaltwasserbewohner geprägten, Lebensgemeinschaften.
- Die verlängerten Restwasserstrecken im Einzugsgebiet zerschneiden die natürlichen Ausbreitungskorridore in Fliessrichtung. Aufgrund der geringen und wenig dynamischen Wasserführung der Restwasserabschnitte sind diese als gewichtige Hindernisse für die **Verdriftung aus den hauptsächlichlichen Verbreitungsarealen auf  $\geq 1600$  m ü. M.** in die tieferliegenden Gewässerabschnitte zu werten, die von den Mehrschutzmassnahmen profitieren sollen.
- Einzelfunde in Tieflagen dürfen zudem nicht zur Annahme verleiten, dass sich Arten mit **einem Verbreitungsoptimum in Gewässern  $\geq 1600$  m ü. M.** in Tieflagen langfristig halten können, wenn nicht stetig Tiere aus dem Einzugsgebiet eingeschwemmt werden oder als Adulte einwandern. Das Gadmerwasser gilt zwar als Gewässer mit einem glazialen Abflusstyp. Aufgrund weiterhin bestehender Wasserfassungen im Einzugsgebiet (Steiwasser, Wendenwasser) entspricht die Hydrologie jedoch nicht mehr den ursprünglichen Verhältnissen. Ausserdem unterscheidet sich der Gewässertyp morphologisch von den wildwasserähnlichen Abschnitten in Stei- und Triftwasser mit ihrem hohen Anteil von Weisswasser deutlich.

Die nachgewiesenen Lebensgemeinschaften dürfen aufgrund der beiden gefährdeten Arten gemäss GSchG Art. 31 Abs. <sup>2</sup> Bst c. als «selten» beurteilt werden, zumal zehn weitere potenziell gefährdete Arten vorkommen. Sieben Arten zählen zu den National Prioritären Arten, für deren Erhalt und Förderung der Schweiz eine Verantwortung zukommt. Für den Erhalt und Förderung von zwei dieser Arten, den Eintagsfliegen *Rhithrogena nivata* und *R. loyolaea*, hat die Schweiz gar eine hohe Verantwortung. Ausserdem sind vier Arten Alpen-Endemiten und fünf Arten gelten als verletzlich gegenüber dem Klimawandel. Aus all diesen Gründen erachten wir die unterhalb den nach Art 31-33 GSchG errechneten nötigen (erhöhten) Dotierungen als ungenügend für den Erhalt einer standorttypischen Lebensgemeinschaft, inklusive den nachgewiesenen, seltenen Arten. Besonders die auf Q347 basierenden, konstanten Winterabflüsse beurteilen wir als kritisch. Dies, weil zahlreiche Insektenlarven im Winterhalbjahr heranwachsen, um im zeitigen Frühjahr, wenn das Gewässer wieder offen fliesst, sofort zu schlüpfen (Burgherr & Ward, 2001; Robinson et al.,

2001). Im September haben wir denn auch sehr viele Junglarven festgestellt. Besonders stark dürfte die Triftaue (T\_2) vom geplanten Restwasserregime betroffen sein, weil sich hier trotz veränderter Abflussdynamiken durch den Triftsee ein breites, verzweigtes Gerinne mit unterschiedlichen aquatischen Lebensräumen gebildet hat.

Eine stärkere Erhöhung der Mindestrestwassermenge nach Art. 31 Abs. 2 Bst c. und 33 Abs. 3 Bst. b GSchG bzw. eine geringere Herabsetzung der nach Art. 31-33 GSchG nötigen Dotierwassermengen im Rahmen der Schutz- und Nutzungsplanung wären folglich gerechtfertigt. Nicht nur die Prioritären Arten benötigen ausreichend Stellen mit Weisswasser, d. h. Fliessgeschwindigkeiten von mehr als 70 cm/s, sondern auch alle weiteren strömungsangepassten Arten. Die Larven der Lidmücke (Blephariceridae) gelten beispielsweise als gute Indikatoren für die Festlegung von Wasserentnahmen in alpinen Gewässern. Die Lidmücken sind obligate Strömungsbewohner mit einem ökologischen Optimum in Fliessgeschwindigkeiten  $\geq 80$  cm/s. In Untersuchungen von Frutiger & Niederhauser (2000) waren deren Abundanzen in Fliessgeschwindigkeiten unterhalb von 70 cm/s gering, unterhalb von 37 cm/s fehlten die Lidmücken ganz. In den naturbelassenen Abschnitten von Stei- und Triftwasser waren Lidmückenlarven stellenweise häufig. Im Restwasserabschnitt des Steiwassers waren sie jedoch kaum vertreten und bestätigen Frutigers Befunde. «Weisses Wasser» ist für die Festlegung von Restwasserdotierungen für Gebirgsbäche mit nivalem und glazialen Abflussregime ein relevantes Kriterium (Schälchli, 1991). Wir nehmen an, dass dieses und andere Kriterien bei der Festlegung der Restwasserdotierung nicht berücksichtigt worden ist. Für Gebirgsbäche, die für die alpine Biodiversität wichtig sind, wäre eine Analyse der Morphologie und Strömungsverhältnisse nach der Methodik von Schälchli sinnvoll, aus unserer Sicht auch zwingend.

#### 4.3. Schwemmebene Triftgletscher-Vorfeld

Durch die Fassung am Seeausfluss wird nicht nur der natürliche See zum Speichersee, sondern es wird auch die Schwemmebene des Triftgletscher-Vorfelds mit den unterschiedlichen Gewässertypen eingestaut und die dort lebende Flora (Leibundgut, 2022) und Gewässerfauna dadurch zerstört. Dazu gehören Arten, die ausschliesslich dort nachgewiesen sind, wie die Wasserkäfer, darunter eine hochalpine Art (*Hydroporus foveolatus*). Es betrifft auch die stark gefährdete Köcherfliege *Stactobia moselyi*, deren Larven an überrieselten Felswänden leben, und Quellarten wie *Dictyogenus fontium* und *Consorophyllax consors*. Ob es für diese Arten weitere geeignete Lebensräume im Einzugsgebiet des Triftwassers gibt, wurde im Rahmen dieses Gutachtens nicht untersucht. Wie stark sich ein Verlust der in der Schwemmebene siedelnden Population(en) dieser

Arten auf allfällige weitere Populationen im Einzugsgebiet auswirkt lässt sich daher nicht abschätzen.

#### 4.4. Klimawandel

Das Konzessionsgesuch ist eine Ergänzung und Erweiterung der Konzession aus dem Jahre 1962. Bei einer Genehmigung dürften die Gewässer weitere Jahrzehnte genutzt werden. Daher müssen für eine gutachterliche Beurteilung der Auswirkungen dieser Bauvorhaben zwingend die gegenwärtig beobachteten sowie die modellbasierten, prognostizierten Auswirkungen des Klimawandels auf die Lebensräume und deren Lebensgemeinschaften integriert werden.

Für das Einzugsgebiet des Steingletschers wurde das Maximum der Jahresabflüsse bereits 2010 erreicht (VAW, 2014). Bis zum Ende des Jahrhunderts wird eine stetige Abflussabnahme aufgrund der fortschreitenden Gletscherschmelze erwartet. Für das Einzugsgebiet der Trift wird bis 2030 ein fast konstanter Jahresabfluss prognostiziert, danach verläuft die Abnahme der Abflüsse ähnlich wie beim Steinwasser. Besonders drastisch betrifft dies die Monate Juli und August, wo mehr als die Hälfte des Abflusses wegfallen dürfte. Erwartet wird zudem, dass die maximalen Monatsabflüsse rund zwei Monate (Mai/Juni) früher auftreten.

Bei der Festlegung von Restwassermengen im Alpenraum sind daher die Auswirkungen auf das Abflussregime und die Wassertemperaturen ökologisch von Bedeutung, weil sich die Lebenszyklen am jahreszeitlichen Abflussregime und den Wassertemperaturen orientieren. Namentlich dürften sich die prognostizierte Niedrigwassersituation im Sommer besonders negativ auf die Gewässerlebensräume und ihrer Lebensgemeinschaften auswirken (BAFU, 2021). In Fliessgewässern mit Gletscherwasser ist der Anteil der Gletscher- und Schneeschmelze und damit die kühlende Wirkung bereits heute rückläufig. Bei den prognostizierten Szenarien dürften die Wassertemperaturen im Einzugsgebiet von Wenden-, Stein- und Triftwasser im Sommer rund 3.5 °C höher sein (VAW, 2014).

Damit geht ein Wandel in der Zusammensetzung und Abundanz der Lebensgemeinschaften einher (Timoner et al., 2020) und hat bereits zu Veränderungen der aquatischen Biodiversität selbst in geschützten Regionen der Schweiz geführt (Besacier Monbertrand et al., 2019). Einerseits stossen Arten von tieferen Lagen in den Alpenraum vor – sie gehören zu den sogenannten «Gewinnern» - andererseits folgen Kaltwasserarten den sich zurückziehenden Gletschern, wobei ihre Lebensräume aufgrund der Pyramidenform der Bergmassive stetig kleiner und fragmentierter werden, dies obwohl das Gewässernetz durch die freiwerdenden Flächen sich ausdehnt (Niedrist &

Füreder, 2021; Wilkes et al., 2023). Deshalb ist die Biodiversität im Einzugsgebiet von Gletschern bedroht (Jacobsen et al., 2012), auch weil die verbleibenden Refugien kaum geschützt sind. Bei einer Integration der prognostizierten Entwicklungen gehen wir davon aus, dass der Klimawandel die Auswirkungen des Projekts zusätzlich verschärft. Der geplante Wandel des Triftsees zum Speichersees und der damit einhergehende Verlust als Lebensraum, die vorhergesagte Erwärmung der Gewässer um bis zu den prognostizierten 3.5 °C, kombiniert mit der zusätzlichen Erwärmung des Wassers in den Restwasserstrecken aufgrund der vorgesehenen, gering dotierten Restwassermengen stellen den Erhalt der Population(en) von *Acrophylax zerberus* stark in Frage. Möglicherweise beschleunigen sie das Verschwinden dieser Art in den vom Triftprojekt ökologisch veränderten Gewässern und deren Einzugsgebieten. Diese Entwicklung betrifft auch weitere Kaltwasserarten, speziell die fünf gegen den Klimawandel verletzlichen Arten der Eintags-, Stein- und Köcherfliegen (Tab. 5). Das Restwasserregime dürfte zudem die Ausbreitung der zugewanderten Arten ohne Temperaturpräferenzen begünstigen und deren Dominanz in den Restwasserstrecken fördern. Eine weitere Folge ist der durch hohe Berge erschwerte Faunenaustausch mit benachbarten Einzugsgebieten, weil einige alpine Arten mit zum Teil kurzflügeligen Individuen hohe Barrieren nicht überwinden können (Milner et al., 2001; Wilkes et al., 2023). Dazu gehören vor allem Steinfliegen, die ihren Verbreitungsschwerpunkt in den Alpen haben. Auch *Acrophylax zerberus* hat in hochalpinen Lagen kurzflügelige, flugunfähige Individuen.

#### 4.5 Fazit der Auswirkungen des Projekts auf die Wasserorganismen

- Die Bewertung der vorgefundenen Lebensgemeinschaften in Stei- und Triftwasser inklusive Schwemmebene weisen diese als charakteristisch für die subalpine Höhenstufe (1200 m ü. M. bis 1800 m ü. M.) aus. Aufgrund des Nachweises von Rote-Liste-Arten, National Prioritärer Arten, Alpen Endemiten und Arten, die gegenüber dem Klimawandel verletzlich sind, sind diese nach Art. 31 Abs. 2 Bst c. GSchG als «selten» einzustufen.
- Die Umwandlung des Triftsees in einen Stausee wird die Gewässerfauna des Sees und der Nebengewässer der Schwemmebene zerstören. Der Stausee kann den natürlichen See ökologisch nicht ersetzen.
- Die geplanten Dotierwassermengen, die aufgrund der Schutz- und Nutzungsplanung geringer angesetzt sind als die nach Art. 31-33 GSchG errechneten nötigen (erhöhten) Restwassermengen, und die punktuellen Hochwasser zur Verhinderung der Kolmation sind zu wenig auf die Ökologie der aktuellen Lebensgemeinschaft ausgerichtet. Sie liegen nach unserer Einschätzung zu tief und begünstigen die Kolmation der Gewässersohle, den wichtigsten Lebensraum der Wirbellosen. Wie die biologischen Erhebungen der Restwasserabschnitte gezeigt haben, können bereits die gegenwärtigen Dotierwassermengen keine standortgerechten Lebensgemeinschaften garantieren. Eine Erhöhung nach Art. 31 Abs. 2 Bst c und Art. 33 Abs. 3 Bst b GSchG. wäre folglich gerechtfertigt. Bzw. die vorgesehenen Dotierwassermengen gemäss Schutz- und Nutzungsplanung wären schon nach den heutigen Verhältnissen ungenügend und noch mehr bei fortschreitender Klimaerwärmung. Ausserdem müsste die Restwasserdotierung der bestehenden Fassung Underi Trift überprüft (aktuell = 0) und an die gesetzlichen Vorschriften angepasst werden, weil der Bach im Sommer und Herbst immer wieder trockenfällt.
- Die Ausdehnung der Restwasserstrecken um 4.7 km wird zudem die Vernetzung der Gewässer untereinander und damit den Faunenaustausch erschweren, so dass die Gefahr einer Verarmung der dort lebenden Faunen besteht. Ob der verschonte kurze Abschnitt unterhalb des Steisees für die Erhaltung einer standortgerechten Lebensgemeinschaft genügt, kann nicht beurteilt werden.
- Der Klimawandel wird neben der erwarteten Temperaturerhöhung von 3.5 °C auch das Abflussregime drastisch verändern mit der Abnahme der Abflussmengen in den Sommermonaten und das frühere Auftreten der Maximalabflüsse um rund 2 Monate. Diese Szenarien werden die beeinträchtigenden Auswirkungen des Restwasserregimes verstärken, weil sich durch das allmähliche Abschmelzen der Gletscher der kühlende Anteil am Abfluss verringert. Dies führt zu einem Wandel in der Zusammensetzung der alpinen

Lebensgemeinschaften, in dem die Kaltwasserarten, besonders die gegenüber dem Klimawandel verletzlichen Arten, durch solche ersetzt werden, die keine Temperaturpräferenzen haben. Es ist mit dem lokalen Aussterben gewisser im Gebiet nachgewiesener Arten zu rechnen (Wilkes et al., 2023).

- Die geplanten **Mehrschutzmassnahmen** in Form von Revitalisierungen im Gadmer- und Urbachwasser können die subalpin geprägte Lebensgemeinschaft nicht ersetzen, weil die ausgewählten Gewässer einem anderen Gewässertyp angehören, viel tiefer liegen und wegen der Wasserfassungen in den Zuflüssen auch kein natürliches Abflussregime haben. Auch der Verzicht auf weitere Fassungen in den Zuflüssen des Gadmerwassers können aus ökologischen Gründen die Lebensgemeinschaften der beiden Talabflüsse, Stei- und Triftwasser, nur bedingt ersetzen. Fraglich ist, ob der Treichigraben die Kriterien für eine Mehrschutzmassnahme (Nutzungsverzicht) erfüllt, da er die meiste Zeit trockenfällt.

18. Dezember 2023 / Verena Lubini, Remo Wüthrich & Emil Birnstiel

V. Lubini    R. Wüthrich    E. Birnstiel

## 5. Literaturverzeichnis

- BAFU (2021). *Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweizer Gewässer. Hydrologie, Gewässerökologie und Wasserwirtschaft.* (Umwelt-Wissen Nr. 2101, p. 134 S.). (2021). Bundesamt für Umwelt BAFU.
- BAFU. (2019). *Liste der National Prioritären Arten und Lebensräume. In der Schweiz zu fördernde prioritäre Arten und Lebensräume.* (Umwelt-Vollzug Nr. 1709, p. 99). Bundesamt für Umwelt.
- Besacier Monbertrand, A.-L., Timoner, P., Rahman, K., Burlando, P., Fatichi, S., Gonseth, Y., Moser, F., Castella, E., & Lehmann, A. (2019). Assessing the Vulnerability of Aquatic Macroinvertebrates to Climate Warming in a Mountainous Watershed: Supplementing Presence-Only Data with Species Traits. *Water*, *11*(636). <https://doi.org/10.3390/w11040636>
- Brittain, J. E., Castella, E., Knispel, S., Lencioni, V., Lods-Crozet, B., Maiolini, B., Milner, A. M., Saltveit, S. J., & Snook, D. L. (2003). Ephemeropteran and Plecopteran communities in glacial rivers. *Research Update on Ephemeroptera & Plecoptera*, 271–277.
- Buffagni, A., Armanini, D. G., Cazzola, M., Alba-Tercedor, J., López-Rodríguez, M. J., Murphy, J., Sandin, L., & Schmidt-Kloiber, A. (2023, October 31). **Dataset 'Ephemeroptera'**. *Www.freshwaterecology.info—The taxa and autecology database for freshwater organisms, version 8.0.*
- Bundi, U., & Eichenberger, E. (1989). *Gewässerökologische Anforderungen an die Restwasserführung. Kurzbericht EAWAG.* (p. 50 S.).
- Burgherr, P., & Ward, J. V. (2001). Longitudinal and seasonal distribution patterns of the benthic fauna of an alpine glacial stream (Val Roseg, Swiss Alps). *Freshwater Biology*, *46*(12), 1705–1721. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2001.00853.x>
- BVE. (2019). *Schutz- und Nutzungsplan (SNP) Oberes Gadmental / Kraftwerk Trift.*
- Delarze, R., Eggenberg, S., Steiger, P., Bergamini, A., Fivaz, F., Gonseth, Y., Guntern, J., Hofer, G., Sager, L., & Stucki, P. (2016). *Rote Liste der Lebensräume der Schweiz. Aktualisierte Kurzfassung zum technischen Bericht 2013 im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)* (p. 33).
- Döring, M., Tonolla, D., Robinson, C. T., Schleiss, A., Stähly, S., Gufler, C., Geilhausen, M., & Di Cugno, N. (2018). Künstliches Hochwasser an der Saane – Eine Massnahme zum nachhaltigen Auenmanagement. *Wasser Energie Luft*, *2*, 119–127.
- Frutiger, A., & Niederhauser, D. (2000). Effects of water abstraction on net-winged midges (Diptera: Blephariceridae). *Verh. Internat. Verein. Limnol*, *27*, 943–946.
- Hershkovitz, Y., Dahm, V., Lorenz, A. W., & Hering, D. (2015). A multi-trait approach for the identification and protection of European freshwater species that are potentially vulnerable to the impacts of climate change. *Ecological Indicators*, *50*, 150–160. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.10.023>
- Hieber, M., Robinson, C. T., Uehlinger, U., & Ward, J. V. (2005). A comparison of benthic macroinvertebrate assemblages among different types of alpine streams. *Freshwater*

*Biology*, 50(12), 2087–2100. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2005.01460.x>

Jaccard, P. (1908). Nouvelles recherches sur la distribution florale. *Bulletin de La Société Vaudoise Des Sciences Naturelles*, 44, 223–270.

Jacobsen, D., Milner, A. M., Brown, L. E., & Dangles, O. (2012). Biodiversity under threat in glacier-fed river systems. *Nature Climate Change*, 2(5), 361–364. <https://doi.org/10.1038/nclimate1435>

KWO. (2023). *Neubau Speichersee und Kraftwerk Trift*. Kraftwerke Oberhasli AG.

Leibundgut, M. (2022). *Gletschervorfeld Trift. IGLES-Kartierung* (p. 24).

Lubini, V., Knispel, S., Sartori, M., Vicentini, H., & Wagner, A. (2012). *Rote Listen Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen. Gefährdete Arten der Schweiz, Stand 2010*. (p. 111). Bundesamt für Umwelt, Bern, und Schweizer Zentrum für die Kartographie der Fauna.

Malicky, H. (2009). Rote Liste der Köcherfliegen Österreichs (Insecta, Trichoptera). In K. P. Zulka (Ed.), *Rote Liste gefährdeter Tiere Österreichs. Checklisten, Gefährdungsanalysen, Handlungsbedarf. Teil 3: Flusskrebse, Köcherfliegen, Skorpione, Weberknechte, Zikaden* (Vol. 14/3, pp. 319–358).

Milner, A. M., Brittain, J. E., Castella, E., & Petts, G. E. (2001). Trends of macroinvertebrate community structure in glacier-fed rivers in relation to environmental conditions: A synthesis: Conceptual model for glacier-fed rivers. *Freshwater Biology*, 46(12), 1833–1847. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2001.00861.x>

Niedrist, G. H., & Füreder, L. (2021). Real-time warming of Alpine streams: (Re)defining invertebrates' temperature preferences. *River Research and Applications*, 37(2), 283–293. <https://doi.org/10.1002/rra.3638>

Oertli, B., Indermuehle, N., Angélibert, S., Hinden, H., & Stoll, A. (2008). Macroinvertebrate assemblages in 25 high alpine ponds of the Swiss National Park (Cirque of Macun) and relation to environmental variables. *Hydrobiologia*, 597(1), 29–41. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-9218-7>

Robert, B. (2016). Rote Liste und Gesamtartenliste der Köcherfliegen (Trichoptera) Deutschlands. In H. Gruttke, S. Balzer, M. Binot-Hafke, H. Haupt, N. Hofbauer, G. Ludwig, G. Matzke-Hajek, & M. Ries (Eds.), *Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands, Band 4: Wirbellose Tiere (Teil 2)* (pp. 101–135). Landwirtschaftsverlag.

Robinson, C. T., Uehlinger, U., & Hieber, M. (2001). Spatio-temporal variation in macroinvertebrate assemblages of glacial streams in the Swiss Alps. *Freshwater Biology*, 46(12), 1663–1672. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2001.00851.x>

Schälchli, U. (1991). *Morphologie und Strömungsverhältnisse in Gebirgsbächen: Ein Verfahren zur Festlegung von Restwasserabflüssen* [Mitteilungen 113]. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich.

Schweizer, S., Schwegler, B., Rohrer, M., Meyer, M., Schläppi, S., Baumgartner, J., Berger, B., Fahner, S., Fankhauser, A., Weissmann, H. Z., Niedermayr, A., Roulier, C., & Döring, M. (2019).

Das Triftprojekt – ein Überblick zu Projekt, Ökologie und Partizipation. *Wasser Energie Luft*, 111.

Smukalla, R., & Friedrich, G. (1994). *Ökologische Effizienz von Renaturierungsmassnahmen an Fliessgewässern*. Landesamt Nordrhein-Westfalen.

Timoner, P., Marle, P., Castella, E., & Lehmann, A. (2020). Spatial patterns of mayfly, stonefly and caddisfly assemblages in Swiss running waters in the face of global warming. *Ecography*, 43(7), 1065–1078. <https://doi.org/10.1111/ecog.04808>

VAW (Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie) (2014). *Gletscher- und Abflussentwicklung im Einzugsgebiet Wenden, Stein und Trift 1930-2100. Bericht im Auftrag der KWO*. (p. 96 S.).

Wehrli, B. (2023). Mehr Restwasser für die Biodiversität in Schweizer Flüssen. *Aqua Viva*, 2, 15–17.

Wilkes, M. A., Carrivick, J. L., Castella, E., Ilg, C., Cauvy-Fraunié, S., Fell, S. C., Füreder, L., Huss, M., James, W., Lencioni, V., Robinson, C., & Brown, L. E. (2023). Glacier retreat reorganizes river habitats leaving refugia for Alpine invertebrate biodiversity poorly protected. *Nature Ecology & Evolution*, 7(6), 841–851. <https://doi.org/10.1038/s41559-023-02061-5>

## 6. Anhang

### 6.1. Charakterisierung der untersuchten Gewässerabschnitte

#### Schwemmebene Triftgletscher-Vorfeld (TV)

Die Schwemmebene im Triftkessel bietet vielseitige, naturbelassene Gewässerlebensräume: Neben dem Triftwasser umfasst sie den Tällibach (TV\_2) und das Tierbergwasser, Rieselfluren mit dauerhaft überrieselten Felsen und mehrere Tümpel (zur genauen Charakterisierung des Vorfelds siehe Leibundgut, 2022). Das Gefälle im Einzugsgebiet des Triftwassers ist stark und läuft gegen den See hin flach aus. Das Triftwasser schiesst in Abstürzen über Felskaskaden, bevor es in mittelstarkem Gefälle über mobile Blöcke und grössere Felsblöcke abfließt. In diesem Bereich wird viel Geschiebe abgelagert. In den nicht durchflossenen Bereichen sind die Lückenräume mit Sand gefüllt und das grobkönige Substrat liegt auf Sand auf. Die durchschnittliche Korngrösse des Substrates sowie die Fliessgeschwindigkeit verringern sich gegen den See hin.

Die Sohle des Tällibachs scheint stabiler. Sie bestand zur Hauptsache aus kopfgrossen Steinen und mobilen Blöcken. In den nicht durchflossenen Bereichen hatten sich Gefässpflanzen etabliert. Der Anteil Gletschermilch ist im Tällibach geringer als im Trift- und Tierbergwasser.

Die Sohle des Tierbergwassers bestand aus groben Blöcken, die ineinander verkeilt waren. Das Wasser floss rasch und kraftvoll, es gab kaum Ablagerungen. Das Tierbergwasser war nur äusserst spärlich besiedelt, weshalb hier auf eine Probenentnahme verzichtet wurde.

Am Südufer des Triftsees hatten sich in der Grundmoränenlandschaft mehrere seichte, vegetationslose Tümpel mit siltigem Bodensubstrat gebildet.



Abb. 14 Triftvorfeld (TV), 28. 6. 2023. A & B: Triftwasser, gegen Fliessrichtung. C & D: Mündung des Tällibachs (links) ins Triftwasser (rechts), in Fliessrichtung. E: Tierbergwasser, gegen Fliessrichtung. F & G: Tümpel. H: Rieselflur mit Larven von *Stactobia moselyi* (mit Pfeil gekennzeichnet).

### Triftwasser, Abschnitt T\_1

Durch das verhältnismässig geringe Gefälle lagert sich in diesem Abschnitt Geschiebe ab und es hatte sich zum Zeitpunkt der Begehung ein mehrarmiges Gerinne mit teils strömungsberuhigten Hinterwassern ausgebildet. Der Abschnitt hat den Charakter einer alpinen Aue. Leicht erhöhte Bereiche waren mit Gräsern und Grünerlen bewachsen. Die Abflussdynamik war naturbelassen. Nur an wenigen Stellen bildete sich Weisswasser. Das Substrat bestand aus groben, meist mehr als kopfgrossen mobilen Blöcken. Diese waren ineinander verkeilt und bildeten eine stabile Sohle. Ganz am Rande und in langsam durchflossenen Nebenarmen war Sand abgelagert.



Abb. 15 Alpine Aue unterhalb Triftsee (T\_1), 28.06.2023. A & B: Triftwasser, gegen Fliessrichtung. C & D: Triftwasser, in Fliessrichtung.

### Triftwasser, Abschnitt T\_2

Das Gefälle ist mittelstark und das Wasser floss naturbelassen, rasch und kraftvoll. Der Abschnitt liegt am Ausgang einer Schlucht, 300 Höhenmeter unterhalb des Triftsee-Abflusses. Weisswasser dominierte im untersuchten Abschnitt. Das Substrat bestand aus groben, mindestens kopfgrossen mobilen Blöcken. Diese waren stabil ineinander verkeilt. Nur ganz am Rande von stabilen, bestockten Uferabschnitten waren kleinere Korngrössen abgelagert.



Abb. 16 Triftwasser oberhalb der Wasserfassung (T\_2), 27.06.2023. A: Triftwasser, gegen Fliessrichtung. B: Triftwasser, in Fliessrichtung.

### Triftwasser, Abschnitt T\_3

Das Triftwasser ist oberhalb des untersuchten Abschnitts komplett gefasst, es ist keine Restwasserdotations festgelegt. Unmittelbar unterhalb der Fassung mündet der Tobigerbach, so dass das Triftwasser nur vom Tobigerbach gespeist wird; das Bachbett war zum Zeitpunkt der Begehung kaum zur Hälfte benetzt. Der Abschnitt liegt in steilem Gelände. Das Wasser fliesst in treppenartigen Kaskaden in einer Abfolge von Pools und Abstürzen. Weisswasser bildete sich nur in den Abstürzen. Das Substrat bestand aus groben Blöcken, die stark ineinander verkeilt waren und ganz wenigen Linsen mit kleineren Korngrössen.

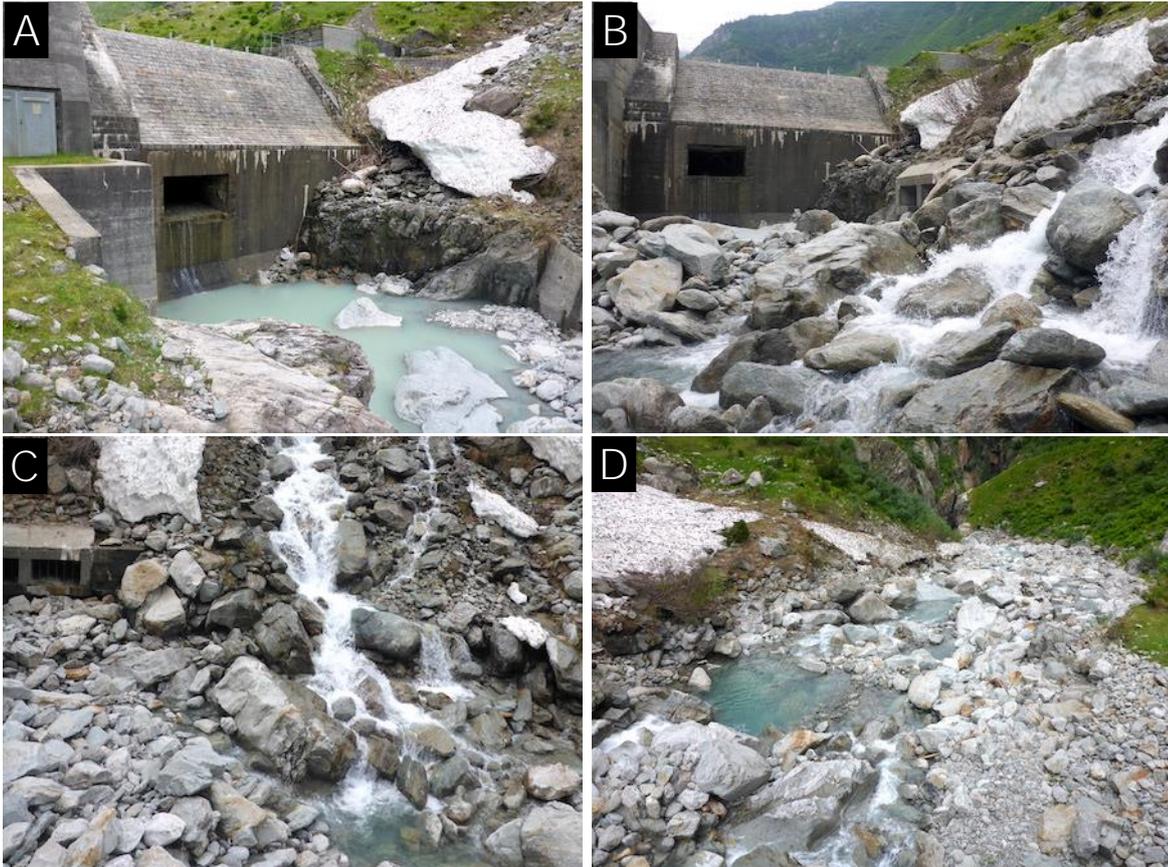


Abb. 17 Restwasserstrecke Triftwasser unterhalb der Wasserfassung (T\_3), 27.06.23. A: Wasserfassung ohne Restwasser, gegen Fliessrichtung. B: Wasserfassung und Einmündung des Tobigerbachs ins Bett des Triftwassers, gegen Fliessrichtung. C: Einmündung Tobiger ins Bett des Triftwasser, links Bauwerk der Wasserfassung. D: Triftwasser nach Einmündung des Tobiger, in Fliessrichtung.

## Steiwasser, Abschnitt S\_1

Das Gefälle ist gering bis mittelstark, das Wasser floss naturbelassen, rasch und kraftvoll durch diesen Abschnitt. Zum Zeitpunkt der Untersuchung floss das Steiwasser zwei- respektive dreiar- mig ab. An vielen Stellen und Abschnitten bildete sich Weisswasser. Das Substrat bestand aus groben, mindestens kopfgrossen mobilen Blöcken, die ineinander verkeilt waren. Nur ganz am Rande von stabilen, bestockten Uferabschnitten war wenig Sand abgelagert. Keine Kolmation feststellbar.



Abb. 18 Umlagerungsstrecke Steiwasser im Abschnitt der geplanten Wasserfassung (S\_1), 27.06.23. A & B: Steiwasser, gegen Fliessrichtung. C & D: Steiwasser, in Fliessrichtung.

## Steiwasser, Abschnitt S\_2

Das Gefälle ist mittelstark bis stark, das Wasser floss naturbelassen und kraftvoll durch diesen Abschnitt. Oberhalb des untersuchten Abschnitts mündet das Steiwasser ins Gadmerwasser. Weisswasser dominierte im untersuchten Abschnitt. Das Substrat bestand aus Felsgestein und grossen Felsblöcken. In den strömungsberuhigten Uferbereichen waren Linsen aus feineren Korngrössen (Steine und Kies) abgelagert. Keine Kolmation feststellbar. Rechtsufrig drückte zudem Wasser aus den stark geneigten Uferbereichen und floss in sandgeprägten Gerinnen von wenigen Metern Länge ins Steiwasser. Diese Aufstösse werden vermutlich durch den Grundwasserleiter des Steiwassers gespiesen.



Abb. 19 Steiwasser oberhalb der Wasserfassung (S\_2), 27.06.23. A: Mündung des Gadmerwassers (rechts) ins Steiwasser (links), gegen Fliessrichtung. B: Steiwasser nach Vereinigung mit Gadmerwasser, gegen Fliessrichtung. C & D: Steiwasser, in Fliessrichtung.

### Steiwasser, Abschnitt S\_3

Bei diesem Abschnitt handelt es sich um die Restwasserstrecke unterhalb der Wasserfassung Stein. Das Wasser des wild schäumenden Gletscherbachs ist bis auf die verbleibende Dotierwassermenge von 60 l/s gefasst und wird unterirdisch abgeführt. Das Gefälle im untersuchten Abschnitt war gering bis mittelstark, das Wasser floss ruhig und mit geringer Fließgeschwindigkeit ab. Das Gewässerbett war nur ungefähr zur Hälfte benetzt. Das Substrat bestand aus feinen Sanden, Steinen, kopfgrossen und grösseren mobilen Blöcken sowie grossen Felsblöcken und anstehendem Felsgestein. Die grösseren Abstürze und das rechte Ufer sind mit Beton befestigt. Anders als oberhalb der Fassung waren die Lückenräume (Interstitial) im Substrat mit Sand verfüllt, der Gewässerboden war deshalb verfestigt (kolmatiert).



Abb. 20 Restwasserstrecke Steiwasser unterhalb der Wasserfassung (S\_3), 27.06.23. A & B: Restwasser Steiwasser, gegen Fließrichtung. C & D: Restwasser Steiwasser, in Fließrichtung.

## 6.2. Artenliste

Tab. 6 Bei den Untersuchungen vom 27./28. 6. 2023 und vom 11./12. 9. 2023 erfasste Arten. Die Individuen der beiden Aufnahmezeitfenster wurden aufsummiert. L = Larvenstadium; A = Adultstadium. Status Rote Listen: EN = «stark gefährdet»; VU = «verletzlich»; NT = «potenziell gefährdet». Nationale Priorität, Faktor Priorität: 3 = «mittel»; 4 = «mässig».

		Stadium	Status Rote Listen	Nationale Priorität	S_1 (Steinwasser)	S_2 (Gadmerwasser)	S_3 (Gadmerwasser)	TV_1 (Triftwasser)	TV_2 (Tällibach)	TV_3 (Wasserfalle)	TV_4 (Rieselfluren)	TV_5 (Tümpel)	T_1 (Triftwasser)	T_2 (Triftwasser)	T_3 (Triftwasser)
<b>Eintagsfliegen</b>															
Baetidae	<i>Baetis alpinus</i>	L			91	189	87	29	4	1			50	68	84
Baetidae	<i>Baetis rhodani</i>	L											1		
Heptageniidae	<i>Ecdyonurus helveticus</i>	L					2								
Heptageniidae	<i>Ecdyonurus picteti</i>	L			11	252	120	3					67	158	92
Heptageniidae	<i>Epeorus alpicola</i>	L			6	15	6						2	5	3
Heptageniidae	<i>Rhithrogena alpestris</i>	L			1	8	9								
Heptageniidae	<i>Rhithrogena grischuna</i>	L	NT	3		8	1								1
Heptageniidae	<i>Rhithrogena loyolaea</i>	L			23	2	1	10	1				14	17	8
Heptageniidae	<i>Rhithrogena nivata</i>	L	NT	3	32	25	7						1		
Heptageniidae	<i>Rhithrogena puthzi</i>	L			1	9	4						5	4	6
Heptageniidae	<i>Rhithrogena sp. (juv.)*</i>	L			40	39	8	100					15	19	63
<b>Steinfliegen</b>															
Chloroperlidae	<i>Chloroperla susemicheli</i>	L, A				2	12							1	
Chloroperlidae	<i>Siphonoperla montana</i>	L, A	NT		24	14	2						3	1	1
Leuctridae	<i>Leuctra sp.*</i>	L			2		4		4				3		1
Leuctridae	<i>Leuctra inermis</i>	L, A				3	9								
Leuctridae	<i>Leuctra leptogaster</i>	A												1	
Leuctridae	<i>Leuctra major</i>	L, A											2		2
Leuctridae	<i>Leuctra moselyi</i>	A					2								
Leuctridae	<i>Leuctra rauscheri</i>	L, A	NT			5	1		2					1	
Leuctridae	<i>Leuctra rosinae</i>	L, A							4				1	8	2
Nemouridae	<i>Nemoura mortoni</i>	L			1	7	3						10	30	
Nemouridae	<i>Nemoura sinuata</i>	A				2									
Nemouridae	<i>Nemurella pictetii</i>	L, A				4									
Nemouridae	<i>Protonemura brevistyla</i>	L, A			34	35	21	86	355				145	174	36
Nemouridae	<i>Protonemura lateralis</i>	L, A			3	9			24					1	1
Nemouridae	<i>Protonemura nitida</i>	L, A				4	17							2	
Perlodidae	<i>Dictyogenus alpinum</i>	L, A			35	36	7	3					8	17	11
Perlodidae	<i>Dictyogenus fontium</i>	L	NT						1						
Perlodidae	<i>Isoperla rivulorum</i>	L, A			3	2	1						34	6	23
Perlodidae	<i>Perloides intricatus</i>	L, A											3	8	
Taeniopterygidae	<i>Rhabdiopteryx alpina/harperi</i>	L	NT		4								2	1	

		Stadium	Status Rote Listen	Nationale Priorität	S_1 (Steinwasser)	S_2 (Gadmerwasser)	S_3 (Gadmerwasser)	TV_1 (Triftwasser)	TV_2 (Tällbach)	TV_3 (Wasserfälle)	TV_4 (Rieselfluren)	TV_5 (Tümpel)	T_1 (Triftwasser)	T_2 (Triftwasser)	T_3 (Triftwasser)
Köcherfliegen															
Hydroptilidae	<i>Stactobia moselyi</i>	L, A	EN	3							10				
Limnephilidae	<i>Acrophylax zerberus</i>	L	VU	4	2									4	1
Limnephilidae	<i>Allogamus auricollis</i>	L				1									
Limnephilidae	<i>Allogamus hilaris</i>	A													1
Limnephilidae	<i>Allogamus uncatus/mendax</i>	L			11			2		1		2			
Limnephilidae	<i>Consorophylax consors</i>	L	NT	4				2							
Limnephilidae	<i>Cryptothrix nebulicola</i>	L, A	NT	4	7	2									24
Limnephilidae	<i>Drusus alpinus</i>	A	EN	1											1
Limnephilidae	<i>Drusus biguttatus</i>	L			7	14	1								
Limnephilidae	<i>Drusus discolor</i>	L			1										
Limnephilidae	<i>Halesus rubricollis</i>	L, A				1	1		1					4	
Limnephilidae	<i>Parachiona picicornis</i>	A	NT			11									
Limnephilidae	<i>Pseudopsilopteryx zimmeri</i>	L						20	3	14			30		
Philopotamidae	<i>Philopotamus ludificatus</i>	L, A							1						1
Philopotamidae	<i>Wormaldia copiosa</i>	L, A				1	5								1
Ptilocolepidae	<i>Ptilocolepus granulatus</i>	A	NT			5									
Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila intermedia</i>	L			1	1		1	5					11	1
Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila torrentium</i>	L			16	1	3						2	1	
Wasserkäfer															
Dytiscidae	<i>Agabus lapponicus/congener</i>	A										2			
Dytiscidae	<i>Hydroporus foveolatus</i>	A									1	23			
Dytiscidae	<i>Hydroporus nigrita</i>	A										2			
Gyrinidae	<i>Gyrinus substriatus</i>	A										1			
Helophoridae	<i>Helophorus flavipes</i>	A										6			
Helophoridae	<i>Helophorus glacialis</i>	A										7			
Hydrophilidae	<i>Anacaena lutescens</i>	A									4	3			
Wasserwanzen															
Corixidae	<i>Arctocorisa carinata</i>	A										6			
Corixidae	<i>Sigara nigrolineata</i>	A										27			
Gerridae	<i>Gerris costae</i>	A								1		10			
Libellen															
Cordulegastridae	<i>Cordulegaster bidentata</i>	L										1			