

Zeitschrift: Jahrbuch / Uferschutzverband Thuner- und Brienzersee
Herausgeber: Uferschutzverband Thuner- und Brienzersee
Band: - (2023)

Artikel: Der Hauptkanal im Aarboden und sein Potenzial als Lebensraum für Forellen
Autor: Hählen, Lorin
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1096000>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.03.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Der Hauptkanal im Aarboden und sein Potenzial als Lebensraum für Forellen

Zusammenfassung

Die Kanalisation von Bächen in der Schweiz hat massive Auswirkungen auf die Fischfauna. Alle drei Lebensformen der Atlantischen Forelle *Salmo trutta*, die in der Schweiz heute noch vorkommen, sind mindestens potenziell gefährdet.

Der Hauptkanal zwischen Meiringen und Brienz im Berner Oberland ist ein gutes Beispiel für einen Bach, dem aufgrund der Kanalisierung Merkmale eines natürlichen Gewässers fehlen. Der Kanal wurde im Zuge der Aarekorrektur und der Entsumpfung des Haslitals im späten 19. Jahrhundert gebaut. Bis heute ist der Hauptkanal ein technisches Bauwerk mit relativ geringem Nutzen für die Natur geblieben.

Die vorliegende Arbeit prüft die Ökologie des Hauptkanals. Basierend auf wissenschaftlichen Studien zur Ökologie von *Salmo trutta* wurden die Bedürfnisse dieses Fisches und die relevanten Faktoren für die Beschreibung seines Lebensraums definiert. Diese Definitionen dienen als Grundlage für einen Schlüssel, der verschiedene qualitative und quantitative Kriterien für die Beurteilung kombiniert. Dazu gehören die Wassertiefe, die Fließgeschwindigkeit, das Substrat der Kanalsohle, Deckung durch Strukturen im und am Wasser sowie «Mesohabitate» oder «hydraulische Habitate» – Strukturen im Wasser, die Wirbel oder andere kleinräumige Veränderungen in der Strömung verursachen. Der Schlüssel berücksichtigt die unterschiedlichen Anforderungen von Bach- und Seeforellen an ihren Lebensraum ebenso wie die Veränderungen der Anforderungen im Lebenszyklus dieser Fische. So werden die Faktoren je nach Lebensform und Lebensalter (Larven, juvenile, adulte und laichreife Fische) unterschiedlich gewichtet. Nicht berücksichtigt wurden in dieser Arbeit Faktoren wie chemische Verunreinigungen, Wassertemperatur und Verdichtung der Sohle.

Aufgrund eines ersten Augenscheins wurde die ganze Länge des Kanals in vier Habitat-Typen unterteilt. Für jeden Typ wurde ein repräsentativer Abschnitt von 50 bis 100 Metern Länge definiert, der detailliert kartiert und gemäss Schlüssel beurteilt wurde.



Laichende Seeforellen (Foto: Matthias Meyer).

Aufgrund der Daten, die aus der Beurteilung resultierten, wurden Defizite identifiziert und gewichtet. Am schwersten wiegen folgende Defizite:

- Der Hauptkanal ist kein geeigneter Lebensraum für laichende Forellen und Forellenlarven, weil das Wasser zu tief ist.
- Besonders auf zwei Abschnitten gibt es nicht genug Deckung.
- Die Fließgeschwindigkeit ist zu langsam für adulte und laichende Forellen.

Die meisten Defizite betreffen die Altersgruppe der laichreifen Tiere. Und alle Mängel in der Qualität der Lebensräume betreffen Seeforellen ein wenig stärker als Bachforellen.

Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde eine Reihe von geeigneten Massnahmen zur Behebung der Mängel entwickelt. Die Massnahmen wurden nur auf einer konzeptuellen Ebene ausgearbeitet, also ohne Einbezug der politischen oder rechtlichen Verfügbarkeit der Flächen, die es für ihre Umsetzung brauchen würde. Ebenfalls nicht überprüft wurde die veränderte Hydraulik des Kanals bei unterschiedlichen Wasserständen oder in Extremsituationen wie etwa einer Überschwemmung.

Grundsätzlich wurde deutlich, dass kontrollierte Aufweitungen des Kanals zusammen mit dem Einbringen von Strukturen, welche zu einer stärkeren Variation der Fliessgeschwindigkeiten führen, die Lebensraumqualität sowohl für See- als auch für Bachforellen am effektivsten verbessern würden.

Aus Platzgründen präsentiert die Jahrbuch-Redaktion im Folgenden eine gekürzte Version. Zudem wurden die dichten Literaturvermerke vereinfacht. Das englische Original ist kostenlos auf [researchgate.net](https://www.researchgate.net) abrufbar: The Potential of the Hauptkanal at the Aarboden to serve as a habitat for the Brown Trout.

EINFÜHRUNG

Motivation

Sowohl die Seeforelle (*Salmo trutta lacustris*) als auch die Bachforelle (*Salmo trutta fario*) werden vom Bundesamt für Umwelt BAFU auf der Roten Liste der gefährdeten Fische und Rundmäuler geführt. Wie schon 2007 wird auch nach der letzten Aktualisierung 2022 die Bachforelle gemäss den Kriterien der International Union for Conservation of Nature (IUCN) als potenziell gefährdet beschrieben, die Seeforelle sogar als stark gefährdet.¹

Ein gemeinsamer Grund für die Probleme beider Lebensformen von *Salmo trutta* ist der Mangel geeigneter Lebensräume. Sowohl See- als auch Bachforellen reagieren sensibel auf ihre Umgebung und wählen ihre Habitate nach sehr spezifischen Kriterien. So hat *Salmo trutta* stark unter dem Verlust natürlicher, unverbauter Seezuflüsse gelitten.²

Da ich mich schon lange für Biologie und speziell für aquatische Biologie interessiere, suchte ich für meine Maturaarbeit ein Thema in diesem Fachgebiet mit lokalen und praktischen Bezügen. Ich fragte bei der Fachstelle Ökologie der Kraftwerke Oberhasli KWO an, die mich an ihren damaligen Mitarbeiter, den Gewässerökologen Sandro Schläppi, verwies. Sandro Schläppi schlug mir

¹ Kirchhofer et al. (2007); BAFU/info fauna (2022).

² Kirchhofer et al. (2007) und Esteve (2017).

das Thema mit dem Hauptkanal und den Forellen vor und half mir später, die hydraulischen Habitate, die Ufervegetation und das Substrat der Kanalsohle fachgerecht aufzunehmen.

Der Hauptkanal im Aarboden zwischen Meiringen und Brienz interessierte den Gewässerökologen schon länger, weil ökologische Defizite dieses Gewässers vermutet werden, das in einer wichtigen Forellenregion liegt. Der Forschungsbedarf hatte sich wieder einmal gezeigt im Zusammenhang mit anstehenden Unterhaltsarbeiten an den Ufern im Unterlauf des Hauptkanals. Weil der Hauptkanal viel Potenzial als Forellenhabitat hat, war ich sofort Feuer und Flamme für das Thema, das mir erlauben würde, etwas zur Verbesserung der Lebensbedingungen für Forellen beizutragen und zugleich mehr über Ökologie zu lernen.

Der Hauptkanal im Aarboden

Der Talboden zwischen Meiringen und Brienz ist eine Ebene mit der Hasliaare als grösstem Wasserlauf (siehe Abbildung 1). Bis ins späte 19. Jahrhundert war der Talboden eine sumpfige Schwemmebene. Durch die Aarekorrektur und die Trockenlegung der Sumpfgebiete wurde Landwirtschaftsland gewonnen und der Hochwasserschutz verbessert.³

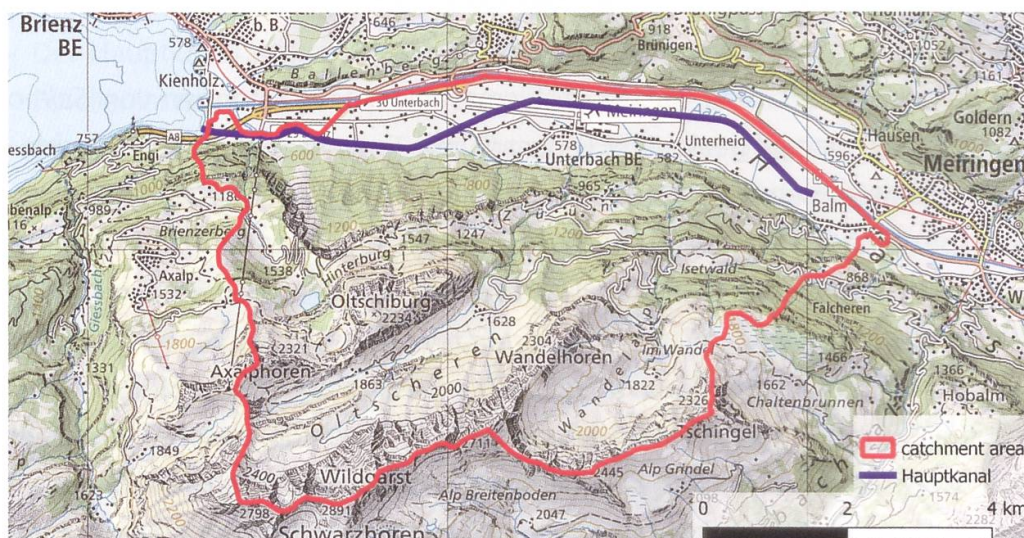


Abbildung 1: Geografische Lage des Hauptkanals zwischen Meiringen und Brienz samt Einzugsgebiet. (Kartenvorlage: PK100 swisstopo, Einzugsgebiet gemäss BAFU 2006).

³ Dubler (2008).

Neben der Aare entwässert der Hauptkanal das Tal. Sein Einzugsgebiet umfasst den ganzen südlichen Teil des Tals unterhalb von Meiringen, eine Fläche von 38,7 Quadratkilometern ohne Gletscher. Die Abflussspitze des nival alpinen Abflussregimes wird normalerweise mit der Schneeschmelze im Mai erreicht. Während 358 Tagen pro Jahr liegt der mittlere Abfluss unter 4 Kubikmetern Wasser pro Sekunde.⁴



Typisches Erscheinungsbild des Hauptkanals: Ein schnurgerades Bachbett (Bild links) und Betonplatten in der Uferböschung (Bild rechts).

Der Hauptkanal ist ein künstliches Bauwerk. Sein Wasser stammt zum einen aus einem natürlichen Einzugsgebiet, zum andern aus den Drainagerohren in den landwirtschaftlichen Böden.

Wegen seiner anthropogenen Struktur weist der Hauptkanal viele ökologische Defizite auf. Aufgrund seiner Lage – sein Einzugsgebiet liegt mit einer mittleren Höhe von 1398 Metern über Meer in der Forellenregion – und aufgrund seiner Verbindung zum See könnte er allerdings potenziell Lebensräume für Forellen bieten.

⁴ Geographisches Institut der Universität Bern und Bundesamt für Umwelt BAFU: Hydrologischer Atlas der Schweiz.

Fragestellung

Salmo trutta ist eine Zeigerart für die ökologische Qualität eines Gewässers.⁵ Deswegen konzentriert sich diese Arbeit auf die ökologischen Ansprüche dieser Art an ihren Lebensraum. Um den aktuellen Zustand des Habitats und mögliche Verbesserungsmaßnahmen zu identifizieren, wurden folgende Fragen untersucht:

1. Erfüllt der Hauptkanal grundlegende Anforderungen von Forellen an ihren Lebensraum wie Abflussmenge, Wassertiefe, Gewässerbreite und Fließgeschwindigkeit?
2. Was kann getan werden, um die Forellenpopulation zu vergrößern?

Die erste Frage untersucht zum einen die unveränderlichen abiotischen Faktoren eines Forellenhabitats. Fehlen sie im Hauptkanal – führt er zum Beispiel nicht genug Wasser – wären Lebensraumverbesserungen entweder unmöglich oder unrealistisch. Zum andern geht es darum, allfällige ökologische Defizite festzustellen, die sich beheben lassen.

Im zweiten Schritt geht es darum, konkrete Verbesserungsmöglichkeiten zu finden. Es wird dabei von den identifizierten Defiziten und vom vorhandenen Wissen über die Anforderungen für eine genügende Habitatsqualität ausgegangen. Indem verschiedene Optionen diskutiert werden, soll die beste gefunden werden.

⁵ Junker et al. (2015)

THEORETISCHE GRUNDLAGEN

Taxonomie von *Salmo trutta*

Forellen (*Salmo trutta*) gehören zur Familie der Salmoniden. Für diese Arbeit von Interesse sind *Salmo trutta fario* und *Salmo trutta lacustris*. Carl von Linné beschrieb in seiner bekannten Klassifizierung des Naturreichs «Systema naturae» im 18. Jahrhundert drei Forellenformen: *Salmo trutta trutta* als Populationen, die zwischen Meer und Süsswasser wandern, *Salmo trutta fario* als die Formen, die in Fliessgewässern leben, und *Salmo trutta lacustris* als die Form der Seen.⁶ Über die Jahre wurde diese Einteilung immer wieder dem jeweiligen Wissensstand angepasst. Die Diskussion darüber, ob *Salmo trutta lacustris* als eigene Unterart betrachtet werden sollte⁷ oder als Bestände von Bachforellen, die in den nächsten See wandern, ist noch nicht abgeschlossen.⁸ Die Schweizer Fischereistatistik bezeichnet Bach- und Seeforellen als unterschiedliche Lebensformen einer Forellenart.⁹

In der vorliegenden Arbeit werden *Salmo trutta lacustris* und *Salmo trutta fario* wegen ihrer unterschiedlichen Ansprüche an ihren Lebensraum gesondert behandelt.

Der Lebenszyklus von *Salmo trutta*

Der Lebenszyklus aller Salmoniden beginnt mit dem Eistadium. Der Fisch schlüpft als Brütling aus dem Ei und lebt noch eine Zeitlang im Kiesbett. Sobald er sein «Kies-Nest» verlässt, wird er als «Larve» bezeichnet. Erreicht er die Geschlechtsreife, wird er als «adultes» (erwachsenes) Tier angesehen.¹⁰

⁶ Linnaeus (1758).

⁷ Blank (2021).

⁸ Wikipedia: Seeforelle.

⁹ BAFU, fischereistatistik.ch, abgerufen am 2. November 2023. Auf dem Gebiet der Schweiz sind fünf Forellenarten bekannt: Trota Fario (*Salmo cenerinus*) und Marmorataforelle (*Salmo marmoratus*) im Po- und Adige-Einzugsgebiet (Simplongebiet, Tessin und Bündner Südtäler), Donauforelle (*Salmo labrax*) im Donau-Einzugsgebiet (Engadin), Doubs- oder Zebraforelle (*Salmo rhodanensis*) im Rhone-Einzugsgebiet des Jura und die hier interessierende atlantische Forelle (*Salmo trutta*).

¹⁰ Jonsson (1989).

Der grösste Unterschied in den Lebenszyklen von Bach- und Seeforelle zeigt sich darin, dass Bachforellen ihr ganzes Leben in ihrem Bach verbringen, während Seeforellen noch vor der Geschlechtsreife in den nächsten See abwandern.¹¹

Die Eier werden spät im Herbst über Kiesgrund gelaicht, und die Embryos entwickeln sich bis im folgenden Frühling im Ei.¹²

Die Fische schlüpfen als Brütlinge aus den Eiern, bleiben aber immer noch in den Lücken zwischen den Kieselsteinen versteckt. In dieser Zeit ernähren sich die Forellenlarven in erster Linie aus dem Dottersack an ihrem Bauch. Zudem fangen sie schon an, kleine wirbellose Tiere zu jagen, wie Untersuchungen des Mageninhalts gezeigt haben.¹³



Juvenile Forelle in einem seichten Gewässerabschnitt, in dem sie von wirbellosen Wassertieren und Anflugnahrung lebt, während sie selbst vor grösseren Raubfischen sicher ist. (Foto: Sibylle Hunziker)

¹¹ Elliott (1994) und Blank (2021).

¹² Jonsson (1989).

¹³ Elliott (1994).

Ist der Dottersack fast aufgebraucht, verlassen die zu diesem Zeitpunkt etwa 2 cm langen Tiere das Kiesnest als Larven, beginnen sich im Bach zu verteilen und ernähren sich nun immer mehr von dem, was sie fangen.¹⁴

«Juvenile» Forellen haben ihren Dottersack vollständig aufgezehrt.¹⁵ Nach einiger Zeit beginnen Teile der Bestände, in die Seen zu wandern.¹⁶ Beim Wanderverhalten werden Unterschiede sowohl zwischen Bach- und Seeforellen als auch innerhalb der jeweiligen Lebensform beobachtet.¹⁷

Sobald die juvenilen Fische geschlechtsreif werden, gelten sie als erwachsen. Mit zunehmendem Alter bewegen sich die adulten Tiere immer häufiger in den tieferen Zonen ihrer Gewässer.¹⁸ Allerdings tauchen sie selten tiefer als eine bis zwei Secchi-Tiefen ab.¹⁹ Ein Grund dafür ist, dass Forellen auf Sicht jagen und ihr Jagderfolg deshalb von der Klarheit des Wassers beeinflusst wird. Obwohl sie bei Dunkelheit nicht gut sehen, sind sie im Sommer meist dämmerungs- und nachtaktiv. Bei tieferen Temperaturen im Winter kommt es hingegen oft vor, dass sie ihre Position in den Nachtstunden halten. Die nächtlichen Aktivitäten der Forellen hängen vermutlich damit zusammen, in welchen Wassertiefen sich die wirbellosen Wassertiere jeweils bewegen.²⁰

¹⁴ Jonsson and Jonsson (2018).

¹⁵ Schager et al. (2007).

¹⁶ Schulz (1999).

¹⁷ Elliott (1994).

¹⁸ Jonsson (1989).

¹⁹ Die Secchi-Tiefe ist ein Mass, das von der Wassertrübung abhängt, respektive von der Lichtmenge, die bis in eine bestimmte Wassertiefe gelangt.

²⁰ StABE Bez Thun B 2717:104.

Adulte Forellen ernähren sich opportunistisch. Vorwiegend fressen sie wirbellose Wassertiere oder Anflugnahrung, aber auch benthische Nahrung (zum Beispiel Schnecken oder Insektenlarven, die im Bach- oder Seeboden leben).²¹ Die Zusammensetzung der Nahrung variiert mit den Jahreszeiten. Insekten – sowohl im Larven- als auch im ausgewachsenen Stadium – gelten als Hauptnahrung der Forellen. Nach ihrer letzten Häutung am Ende ihres Larvenstadiums verlassen junge erwachsene Insekten überwiegend im Frühsommer das Wasser. Am meisten Insektenlarven finden die Forellen im Herbst im Wasser, während Anflugnahrung im Frühling und vor allem im Frühsommer eine größere Rolle spielt. Im Spätsommer verschiebt *Salmo trutta* ihr Nahrungsspektrum stärker hin zu Schnecken und Tieren, die dauernd im Wasser leben.²²

Spät im Herbst und früh im Winter pflanzen sich die Forellen fort.²³ In höheren Breitengraden beginnt die Laichzeit früher und dauert weniger lang als in gemässigten Breiten. So dauert die Laichzeit von *Salmo trutta* in Norwegen 2 bis 4 Wochen und beginnt im Oktober. Aus Spanien gibt es Berichte über Laichzeiten, die später im Herbst beginnen und sich über bis zu 21 oder gar 24 Wochen erstrecken. Ausgedehnte Laichperioden sind möglicherweise eine Anpassung an unberechenbare Umweltbedingungen. Zudem könnten sie dem Nachwuchs Vorteile bieten, wenn die Bedingungen für die Ernährung der Fischlein, die früh im Jahr aus dem Ei schlüpfen, über längere Zeit günstig sind. Ähnliche Anpassungen wurden auch schon bei anderen Fischarten beobachtet.²⁴

Im Schweizer Berggebiet dauert die Laichzeit gewöhnlich von Ende Oktober bis Anfang Januar.²⁵ Dabei laicht *Salmo trutta* immer in Bächen, auch die Lebensformen, die in Seen oder ins Meer abwandern.²⁶

²¹ Ozvarol et al. (2011).

²² Berg and Fleming (2018).

²³ Elliott (1994).

²⁴ Jonsson and Jonsson (2018).

²⁵ Junker et al. (2015).

²⁶ Jonsson (1989).



Laichende Forellen (Foto: Matthias Meyer)

Zum Laichen wandern die Elterntiere aus ihren Seen, Flüssen oder grösseren Bächen in kleinere Zuflüsse. Dort braucht es eine Bachsohle aus grobem Kies. Während dem Laichen schlägt das weibliche Tier mit seiner kräftigen Schwanzflosse eine Laichgrube. Während es darüber seine Eier ablegt, werden sie von den Spermien der Männchen befruchtet und sinken in den Kies. Eine Mutterforelle wird meist von zwei bis vier männlichen Forellen begleitet, die alle ihr Erbgut weiterzugeben versuchen. Der Laichprozess wird oft in kurzen Abständen wiederholt, während die Fische gemeinsam bachaufwärts schwimmen. Indem das Muttertier neue Laichgruben schlägt, werden die Eier in den alten mit Kies bedeckt. Vor allem aber wird Schlamm und Sand aus dem aufgewirbelten Kies gespült, sodass die Eier, die in den lockeren Kies gelegt werden, in den folgenden Wochen ständig mit frischem, sauerstoffreichem Wasser versorgt werden und nicht ersticken.²⁷

²⁷ Elliott (1994).

Wie tief die Eier im Kies vergraben werden, ist je nach Grösse der Mutter und je nach Habitat unterschiedlich. In Untersuchungen im Schweizer Berggebiet wurden 1 bis 16 cm tief vergrabene Forelleneier gefunden (gemessen von der Kiesoberfläche des aufgelockerten Kiessubstrats).²⁸



Laichgrube, zu erkennen an der helleren Farbe der Kiesel, die vom Forellenweibchen aufgewirbelt und dadurch von Schlamm und Algen befreit wurden.

Ansprüche von *Salmo trutta* an ihren Lebensraum

Altersspezifische Anforderungen: Die Bedürfnisse von *Salmo trutta* sind je nach Entwicklungsstadium unterschiedlich. In Tabelle 1 sind die altersspezifischen Faktoren aufgelistet. «Faktor» wird im Folgenden für altersspezifische Faktoren verwendet, wenn der Ausdruck nicht weiter spezifiziert ist.

²⁸ Junker et al. (2015).

Entwicklungsstadium	Wichtigster Faktor	Andere altersspezifische Faktoren
Ei	Wassertemperatur	Sauerstoffgehalt (hohe Fließgeschwindigkeit, keine Verdichtung (Siltation))
Brütling	Sedimentstruktur	Grösse (grössere Brütlinge sind im Vorteil)
Larve (vor allem nach der Emergenz)	Langsam fließendes Wasser	–
Juvenile Forelle	Deckung	Konkurrenz
Adulte Forelle	Deckung	–
Laichzeit	Lockerer, grober Kies	–

Tabelle 1: Altersspezifische Faktoren für *Salmo trutta*.²⁹

Adulte Forellen überleben Wassertemperaturen zwischen 0 und 30 °C. Für Eier ist diese Spanne enger. Einzelne Eier überleben zwar Temperaturen bis 15 °C, doch nur bei Temperaturen zwischen 0 und 13 °C überlebt mindestens die Hälfte der Eier so lange, dass Brütlinge schlüpfen.³⁰

Ein weiterer wichtiger Faktor für das Überleben der Eier ist der im Wasser gelöste Sauerstoff. Untersuchungen mit Eiern von Fischarten, die mit Forellen nahe verwandt sind, haben ergeben, dass es mindestens 1 mg Sauerstoff pro Liter bei 5,5 Grad Celsius braucht und 7 bis 10 mg pro Liter bei 10 bis 17 Grad.³¹ Diese Werte werden nur erreicht, wenn der Kies mit den Eiern von viel frischem Wasser durchströmt wird. Wenn der Zufluss von frischem Wasser durch Sedimentverdichtung oder zu langsame Strömungsgeschwindigkeiten gestört ist, steigt die Eimortalität sogar dann, wenn der Sauerstoffgehalt noch ausreichen würde.³²

²⁹ Die Angaben in der Tabelle beruhen auf folgender Literatur: Elliott (1994); Maisse und Baglinière (1990); Schager et al. (2007); Junker et al. (2015); sowie Jonsson and Jonsson (2018).

³⁰ Elliott (1994).

³¹ Elliott (1994). Bei den leicht höheren Temperaturen entwickeln sich Fischeier schneller, das heisst, der Stoffwechsel und damit der Sauerstoffverbrauch nehmen zu.

³² Elliott (1994).

Die Sterblichkeit im Brütlingsstadium korreliert mit der Sedimentstruktur. Feine Sedimente verstopfen Poren und Lücken in der Bachsohle. Deshalb führen viele feine Sedimente in der Bachsohle schon im Eistadium zu höheren Ausfällen. Im Brütlingsstadium steht diese Verschlammung als Todesursache an erster Stelle.³³

Feine Sedimente gehören natürlicherweise zu einem aquatischen Ökosystem. Normalerweise hält sich ihre Menge aber in den Oberläufen der Bäche – der «Forellenregion» – in Grenzen. Doch Bodenerosion, Baustellen, Holzschläge, Abwässer aus Siedlungen, Minen und verschiedenen Industrien können Gewässer mit unnatürlich hohen Einträgen feiner Sedimente belasten.³⁴

Der zweitwichtigste Faktor für das Überleben von Brütlingen ist ihre eigene Grösse. Brütlinge, die schon gross aus dem Ei schlüpfen, können schon von Anfang an grössere Nahrung fressen, was ihre Überlebenschancen verbessert. Grössere Brütlinge schlüpfen aus grösseren Eiern, und grössere Eier werden von grösseren Muttertieren gelegt – das heisst, vor allem von alten Forellen; denn Fische wachsen ihr Leben lang.³⁵

Für Larven, die frisch aus dem Kiesbett schlüpfen (emergieren), ist langsam fliessendes Wasser der entscheidende Überlebensfaktor.³⁶ Die Chance, Stellen mit geringer Strömungsgeschwindigkeit zu finden, ist umso höher, je mehr Strukturen ein Bachlauf aufweist.³⁷

Die Tiefe eines Gewässers und die Menge an Verstecken, die den Fischen erlauben, in Deckung zu gehen, sind die wichtigsten Faktoren für juvenile Fische. Daneben wirkt sich die Konkurrenz um Nahrung und gute Habitate, die schon mit dem Schlüpfen aus dem Ei beginnt, umso stärker aus, je grösser die Fische werden; vor allem nach der Emergenz nimmt sie an Bedeutung zu.³⁸

³³ Maisse and Baglinière (1990).

³⁴ Elliott (1994).

³⁵ Elliott (1994).

³⁶ Junker et al. (2015).

³⁷ Schager et al. (2007).

³⁸ Schager et al. (2007).

Für adulte Fische ist Deckung, insbesondere durch Ufervegetation, der wichtigste Faktor.³⁹ Hecken und ähnliche Ufervegetation schützen die Fische auch deshalb vor fischfressenden Vögeln, weil sich die Vögel aus Angst vor ihren eigenen Fressfeinden nicht so gerne in der unübersichtlichen Vegetation aufhalten.

Laichende Fische suchen vor allem einen geeigneten Lebensraum für ihre Nachkommen. Deshalb ist das beste Substrat für Forellen grober Kies. Weibliche Fische suchen ihre Laichplätze nach verschiedenen Kriterien aus. Die wichtigsten sind vermutlich die Wassertemperatur, die Strömungsmuster, das Substrat und der Grad an Verschlammung der Bachsohle. Forellenweibchen meiden manchmal Gewässerabschnitte, die fürs menschliche Auge gut aussehen; denn Fische merken, wenn in naher Zukunft Verschlammung droht, und meiden solche Stellen.⁴⁰

Altersunabhängige Bedürfnisse von *Salmo trutta*: Zusätzlich zu den altersspezifischen Bedürfnissen gibt es Faktoren, die alle Entwicklungsstadien betreffen. Die Wassertiefe ist ein wichtiger Wert, der zahlreiche andere Faktoren wie Lichtintensität, Temperaturvariabilität und Nahrungsverfügbarkeit zusammenfasst.⁴¹

Geringe Lichtintensität beeinträchtigt Salmoniden mehr als andere Fische, weil Salmoniden vor allem auf Sicht jagen. Ihr Jagderfolg beträgt unter schlechten Lichtbedingungen gerade noch 10 bis 35 Prozent ihres Erfolgs bei vollem Tageslicht. Man vermutet, dass Forellen und andere Salmoniden bei Nacht oder in trübem Wasser nicht mehr auf Beute lauern, sondern auf epibenthische Nahrungssuche umstellen – das heisst, dass sie unter solch ungünstigen Bedingungen von einem dreidimensionalen auf ein überschaubareres zweidimensionales Jagdgebiet wechseln, indem sie wirbellose Tiere auf dem Bach- oder Seeboden suchen.⁴²

³⁹ Jonsson and Jonsson (2018).

⁴⁰ Elliott (1994).

⁴¹ Zhou et al. (2017).

⁴² Piccolo and Watz (2018).

Die Fliessgeschwindigkeit spielt in allen Entwicklungsstadien eine wichtige Rolle, besonders aber beim Laichen und im Eistadium. Denn wenn keine Aussicht besteht, dass schnell fliessendes Wasser die Eier mit genug Sauerstoff versorgt und die Ansammlung von Ammoniak und anderen giftigen Stoffwechselprodukten verhindert, wird gar nicht erst gelaicht.⁴³ Wenn die Fliessgeschwindigkeit grossflächig reduziert ist, steigt die Wassertemperatur, während die Sauerstoffkonzentration sinkt; zudem treten Verschmutzungen in höherer Konzentration auf. Solche Effekte betreffen alle Entwicklungsstadien von *Salmo trutta*.⁴⁴

Salmoniden – und die Organismen, von denen sich ernähren – haben einen höheren Sauerstoffbedarf als die meisten anderen Fische. Deshalb reagieren sie besonders heikel auf die Verschmutzung, insbesondere auch die Überdüngung von Gewässern, weil dadurch dem Wasser Sauerstoff entzogen wird.⁴⁵

Schliesslich betrifft auch die Wassertemperatur, die bei allen Fischen den Stoffwechsel beeinflusst, alle Entwicklungsstadien.⁴⁶

Interaktionen zwischen verschiedenen Faktoren

Die Faktoren, welche die Qualität eines Lebensraums für Forellen bestimmen, können nicht isoliert betrachtet werden und sind auch nicht statisch, sondern beeinflussen sich gegenseitig.

Die Stoffwechselrate der meisten Fische hängt von der Umgebungstemperatur ab, da Fische wechselwarm sind und ihre Körpertemperatur nicht regulieren.⁴⁷ Bei tiefen Temperaturen verlangsamt sich ihr Stoffwechsel, bei hohen Temperaturen beschleunigt er sich. Das Gleiche gilt für die Eier, die deshalb bei höheren Temperaturen mehr Sauerstoff brauchen (wie oben, Seite 111, erläutert).

⁴³ Elliott (1994).

⁴⁴ AFS (2016).

⁴⁵ Elliott (1994).

⁴⁶ Elliott (1994).

⁴⁷ Alabaster and Lloyd (1982).

Ist nur wenig Sauerstoff im Wasser gelöst, pumpt der Fisch mehr Wasser durch die Kiemen. Damit kann er immer noch genug Sauerstoff aufnehmen. Allerdings werden dann auch mehr andere Substanzen aufgenommen, weshalb giftige Stoffe im Wasser in solchen Fällen schneller tödlich wirken.⁴⁸ Manche Substanzen, die Wasser verschmutzen, können die Sauerstoffkonzentration zusätzlich senken. Wenn zum Beispiel Ammonium (NH_4^+) oder Ammoniak (NH_3) zu Nitrat (NO_3^-) oder Nitrit (NO_2^-) oxidieren, wird mit dieser Reaktion Sauerstoff verbraucht, und die Sauerstoffkonzentration im Wasser sinkt.⁴⁹

Bereits behandelt wurde die Verstopfung von Poren im Kies durch Feinsedimente, die zu einem Sauerstoffmangel für die Fischeier führt.

Ebenfalls verringert wird der verfügbare Sauerstoff durch eine langsame Fließgeschwindigkeit – je langsamer das Wasser fließt, desto weniger Sauerstoff transportiert es in einer bestimmten Zeit. Zudem erwärmt sich langsam fließendes Wasser stärker, was zu einem höheren Stoffwechsel und damit zu mehr Sauerstoffverbrauch bei den Fischen führt.

Die gegenseitige Beeinflussung von Abflussmenge (Q), Fließgeschwindigkeit (v) und Querschnitt des Fließgewässers (A) lässt sich mit der einfachen Gleichung

$$Q = v \times A$$

erfassen. Je mehr Wasser abfließt (Q : in Kubikmetern pro Sekunde), desto schneller fließt es (v : in Metern pro Sekunde), sofern der Querschnitt (A : in Quadratmetern) gleich bleibt. Bei gleichbleibender Abflussmenge beschleunigt sich der Abfluss, wenn der Querschnitt verengt wird.

⁴⁸ Alabaster and Lloyd (1982).

⁴⁹ Alabaster and Lloyd (1982).

Wie sich der Lebensraum «Bach» beeinflussen lässt

Faktoren, die ein Habitat für Fische zu einem guten oder schlechten Lebensraum machen, sind nicht statisch und vielen Einflüssen unterworfen. Die folgende Tabelle fasst die wichtigsten Einflüsse auf besonders wichtige Faktoren zusammen.

Faktor	Beeinflussbar durch
Wassertemperatur	Deckung / Ufervegetation
Deckung	Ufervegetation / vielfältig strukturiertes Ufer
Sauerstoffkonzentration	Fliessgeschwindigkeit, Feinsedimente
Feinsedimente	Fliessgeschwindigkeit, Vegetation, Erosion, Sedimente von Zuflüssen
Vielfalt des Habitats	Strukturelle Vielfalt von Ufer, Flussbett und Flusslauf
Lockerer, grober Kies	Feinsedimente, Sedimenttransport
Fliessgeschwindigkeit	Abflussmenge, Abflussquerschnitt, Beschaffenheit von Sohle und Ufer
Wassertiefe	Abflussmenge, Abflussquerschnitt
Abflussquerschnitt	Abflussmenge, Flussverzweigung, Ufervegetation

Tabelle 2: Liste der Einflussmöglichkeiten auf Faktoren, die ein Habitat charakterisieren

Vegetation: Die Vegetation im und am Wasser beeinflusst einen Lebensraum in vielerlei Hinsicht, etwa als Nahrungsgrundlage, als Strukturelement und als Deckung für Tiere oder als Erosionsschutz für den Boden.

Als Deckung kann Vegetation in vielen Formen dienen. Wasserpflanzen sind Habitate, in denen sich die Wassertiere auch vor Fressfeinden, zum Beispiel vor fischfressenden Vögeln, verstecken können.⁵⁰ Wenn Ufervegetation einem Bach Schatten spendet, sind die Wassertemperaturen tiefer als in Gewässern ohne Ufervegetation. Und über die Wassertemperatur beeinflusst die Ufervegetation auch die Auswirkungen von Verschmutzungen, pH-Wert und Sauerstoffgehalt des Wassers.⁵¹

⁵⁰ Elliott (1994).

⁵¹ Kemalasari and Devi (2011).

Die Uferbestockung hat einen signifikanten Einfluss auf die Erosion. Die Wurzeln der Pflanzen binden und festigen den Boden und stabilisieren damit die Bachufer. Natürliche Bachläufe mit gut bestockten Ufern sind 20 bis 50 Prozent enger als solche ohne Ufervegetation. Das heisst auch, dass weniger Feinsedimente in die Gewässer eingetragen werden.⁵²

Schliesslich reduziert die Ufervegetation auch die Fliessgeschwindigkeit an den Rändern der Gewässer. Sie leistet also einen Beitrag zur Vielfalt der Fliessgeschwindigkeiten und damit auch zur Vielfalt der Lebensräume.⁵³

Komplexe Strukturen: Strukturelle Komplexität ist ein Faktor, der die Anzahl unterschiedlicher Strukturen eines Lebensraums beschreibt. Solche Strukturen können zum Beispiel Steinhäufen, Wurzelstöcke oder ein verzweigter Wasserlauf sein. Strukturen in Bächen sind wichtig, da sie Tieren sowohl Deckung als auch Lebensraum bieten.

Zu den Uferstrukturen gehören neben der Ufervegetation auch Steine oder andere Materialien, aus denen die Böschung besteht. So bietet zum Beispiel eine zerfallende Ufermauer am Hauptkanal (siehe Foto), die aus Felsbrocken gebaut wurde, juvenilen Fischen gute Verstecke.



In der zerfallenden Ufermauer am Hauptkanal könnten sich junge Fische verstecken.

⁵² Fischenich and McComas (2007).

⁵³ Fischenich and McComas (2007).

Strukturen im Wasserlauf können Schwemmholz oder auch Strömungsmuster wie etwa Verzweigungen des Bachlaufs sein. Die gängigsten Strukturen für die Bewertung aquatischer Lebensräume werden im Folgenden als «Mesohabitate» beschrieben.

Bewertung eines aquatischen Habitats

Je nach Zweck einer Lebensraumbewertung werden unterschiedliche Faktoren berücksichtigt. In dieser Arbeit dient die Bewertung des Lebensraums vor allem als Grundlage für Verbesserungen. Wie für diese Art Bewertung üblich werden die Mesohabitate, die Deckung und die Bachsohle untersucht.⁵⁴

Mesohabitate: Die meisten Fische nutzen die Lebensräume kleiner Bäche hoch differenziert. Kleine Bäche sind strukturell mehrheitlich sehr komplex, und die Fische nutzen zu unterschiedlichen Zeiten unterschiedliche Strukturen. Um diese komplexen Beziehungen einfacher erfassen zu können, wurden «Mesohabitate» definiert.⁵⁵ Mesohabitate (oder hydraulische Habitate) sind visuell als Einheit erfassbare Elemente und beschreiben Strukturen in Bachläufen anhand von Turbulenz, mittlerer Fliessgeschwindigkeit und Korngrösse des Sohlensubstrats. Häufig werden auch Wassertiefe, Deckung, Position, Quer- und Längsschnitt als zusätzliche Faktoren für ihre Beschreibung verwendet.⁵⁶

Indem Mesohabitate verschiedene Charakteristika kombinieren, die sich auf die Strömungsverhältnisse eines Gewässers auswirken, und indem sie zugleich die komplexen Strukturen anhand ihrer hydraulischen Auswirkungen abstrahieren und kategorisieren, ermöglichen sie das systematische Sammeln von Daten, die es als Grundlage braucht für die Beurteilung der Eignung von Lebensräumen für bestimmte Fischarten und -altersklassen. Im Folgenden wird mit den sechs Mesohabitaten gearbeitet, die im Hauptkanal existieren.⁵⁷

⁵⁴ Hawkins et al. (1993).

⁵⁵ Bisson et al. (1982).

⁵⁶ Aquaplus und Bisson et al. (1982).

⁵⁷ Die Definitionen stützen sich auf Hawkins et al. (1993) und Bisson et al. (1982).

Mesohabitat-Typ «Run»

(Lauf, Rinner):

Eine tiefe Bachstrecke mit relativ hoher Fließgeschwindigkeit. Nicht zu geringe Turbulenz. Relativ hohe mittlere Abflussgeschwindigkeit. Variable Korngrösse des Substrats (grösser als 1,5 cm Durchmesser). Neigung über vier Prozent. Ein einförmiges Bachbett ohne grosse Hindernisse; tiefer als ein «Glide» (eine Gleite).



Mesohabitat-Typ «Gleite»

(englisch «Glide»):

Eine weite, flache Bachstrecke. Keine Turbulenz. Gleichmässige, langsame Fließgeschwindigkeit von weniger als einem halben Meter pro Sekunde. Korngrösse des Substrats unter 6 cm, grössere Steine oft im Schlamm vergraben. Fast keine Neigung (unter einem Prozent). Seichtes, weites Bachbett ohne Strömungshindernisse.



Mesohabitat-Typ «Flachwasser»:

Flache Zonen entlang dem Ufer. Keine Turbulenz. Stehendes Wasser oder sehr geringe Fließgeschwindigkeit. Variable Korngrösse des Substrats. Geringe Neigung. Ausbuchtung des Ufers.





Mesohabitat-Typ «Lateralkolk»:

Eine seitliche Vertiefung/ Auswaschung, zum Beispiel hinter einem grossen Stein oder Baumstrunk. Ufernahe teilweise Blockade des Wasserlaufs durch Steine, Felsen, Baumstrünke oder Wurzeln, welche den Querschnitt des Wasserlaufs einseitig verengen. Variable Korngrösse des Substrats. Tiefster Punkt der Sohle im Längsschnitt in der Mitte oder am oberen Ende des Kolks, im Querschnitt längs der Blockade.



Mesohabitat-Typ «Rückstau» («Backwater»):

Ufernaher Erosionswirbel unterhalb eines Hindernisses, in dem das Wasser in Gegenstromrichtung wirbelt. Verursacht wird der Wirbel durch Steine, einen Baumstamm oder Wurzelstock am Rand eines Wasserlaufs. Das Substrat ist meist Sand, die Korngrösse kann aber variieren. Der Tiefste Punkt der Sohle ist im Längsschnitt in der Mitte oder am oberen Ende des Rückstaus, im Querschnitt in der Mitte.



Mesohabitat-Typ «Zentralkolk»:

Vertiefung in der Hauptströmung, verursacht durch eine Verengung des Wasserlauf-Querschnitts; kann bis 60 % und mehr der Wasserfläche einnehmen. Die Korngrösse des Substrats ist sehr variabel. Der tiefste Punkt der Sohle liegt im Längsschnitt in der Mitte oder am oberen Ende des Kolks, im Querschnitt in der Mitte.

Deckung: Auch wenn Fische in einem Gewässer geeignete Mesohabitate finden, kann sich eine Population auf Dauer nicht halten, wenn sie durch jagende Vögel dauernd und zu stark unter Druck kommt. Am besten können Fische Beutegreifern ausweichen, indem sie sich verstecken. Deswegen sind Deckung und Verstecke im und am Wasser wichtige Elemente eines fischfreundlichen Lebensraums. Deckungselemente werden kategorisiert nach den Materialien, aus denen sie bestehen.

Deckungstyp «Totholz»:

Totes und verrottendes Holz.



Deckungstyp «unterspülte Ufervegetation»:

Büsche oder andere Pflanzen, die in den Bach hängen oder sich über das Wasser lehnen.



Deckungstyp «unterspültes Ufer»:

Teile der Uferböschung hängen über die Ränder des Wasserlaufs.





Deckungstyp «unterspülter Felsbrocken»:

Ein Felsbrocken im Bach, der teilweise unterhöhlt ist.



Deckungstyp «Steinhaufen»:

Meist ufernahe Steinhaufen können kleinen Fischen bis zum frühen juvenilen Entwicklungsstadium gute Verstecke bieten, nicht aber adulten Tieren.



Deckungstyp «Felsblockhaufen»:

Mehrere Felsbrocken, die in Ufernähe neben- und übereinander liegen, können Fischen bis zum juvenilen Entwicklungsstadium Verstecke bieten, nicht aber adulten Tieren.

Substrat: Selbst wenn Mesohabitate und Deckung ausreichen, aber geeignete Laichplätze fehlen, kann keine Fischpopulation entstehen, die sich natürlich fortpflanzt. Das Substrat der Bachsohle gehört zu den Schlüsselfaktoren für die Fortpflanzung von Fischen.⁵⁸ Das Substrat im Hauptkanal wurde nach Bundi et al. (2000) kategorisiert.

⁵⁸ Elliott (1994).

Substrat-Typ «Megalithal»:

Grobe Steine, Blöcke.

Korngrösse über 40 cm.



Substrat-Typ «Makrolithal»:

Grobes Blockwerk, etwa kopfgrosse

Steine. Korngrösse 20 bis 40 cm.



Substrat-Typ «Mesolithal»:

Grobe Steine, etwa faustgross.

Korngrösse 6 bis 20 cm.



Substrat-Typ «Mikrolithal»:

Grobkies, nuss- bis faustgrosse Kiesel.

Korngrösse 2 bis 6 cm.





Substrat-Typ «Akal»:

Fein- und Mittelkies.

Korngrösse 0,2 bis 2 cm.



Substrat-Typ «Psammal»

und «Petal»:

Sand, Schlick, Schluff und Schlamm.

Korngrösse unter 0,2 cm.



Substrat-Typ «Xylal»:

Totholz. Totes und verrottendes Holz.



Substrat-Typ «Phytal»:

Makrophyten (grosse, am Bachgrund angewachsene Algen) oder Moose.

Lebende Pflanzen als Substrat.

Ableitung eines Bewertungsschlüssels

Aufbau eines Bewertungsschlüssels: Für die Interpretation der gesammelten Daten wurde ein Schlüssel auf Eignungsklassen aufgebaut. Die Methode wurde aus der Literatur übernommen.⁵⁹ Die Klassen sind 0, 0.33, 0.66 und 1. Indem vier Werte angenommen werden, gibt es keinen Mittelwert, und es muss immer eine Seite gewählt werden. Die Skala ist linear, da in der Literatur keine Angaben gefunden wurden, die dagegensprechen. Die Werte, welche die Eignungsklassen charakterisieren, wurden in der Literatur gefunden.⁶⁰

Die Eignungsklassen beruhen auf einer Kategorisierung der Lebensraumansprüche nach Altersklassen. Die vorgängig beschriebenen Entwicklungsstadien der Forellen wurden aufgrund ihrer Ansprüche an ihre Habitate in vier Altersklassen zusammengefasst: Laichzeit, Larven, juvenile und adulte Tiere.

Die Laichzeit und das Eistadium wurden in einer Gruppe zusammengefasst, weil sich die Anforderungen an ein Laichhabitat von den Bedürfnissen der Eier ableiten.

Die Larven-Gruppe umfasst die Entwicklungsstadien der Brütlinge und Larven. Zwar leben Brütlinge noch im Lückensystem im Kiessubstrat und brauchen vor allem ihren Dottersack auf, während Larven das Kiesbett schon verlassen haben und sich zunehmend von kleinen Beutetieren ernähren. Aber ihre Anforderungen an ihre Lebensräume sind weitgehend deckungsgleich. So sind zum Beispiel beide auf eine langsame Strömung angewiesen. Obwohl manche Faktoren für die beiden Entwicklungsstadien unterschiedlich schwer wiegen, geht nicht viel Information verloren, wenn sie als eine Altersgruppe behandelt werden.

Die Lebensräume wurde für Bach- und Seeforelle bewertet.

⁵⁹ Brown et al. (2000)

⁶⁰ Lagarrigue et al. (2001); Lamouroux and Souchon (2002); Vehanen et al. (1999); Raleigh et al. (1986); Visamara et al. (2001); Parternolli and Gostner (2014).

Im Schlüssel berücksichtigt wurden die Faktoren Fliessgeschwindigkeit, Deckung, Wassertiefe und Substrattyp.

Die durchschnittliche Fliessgeschwindigkeit und die Wassertiefe als grundlegend für hydromorphologische Strukturen wurden für alle Altersgruppen bewertet.

Das Substrat wurde für alle Altersgruppen ausser für adulte Tiere bewertet, da adulte Forellen nicht nahe dem oder im Substrat leben und ihre Schwimmleistung nicht davon beeinflusst wird.

Deckung wurde nur für adulte Tiere bewertet, da diese die grösste Altersgruppe bilden und so am häufigsten durch jagende Prädatoren bedroht sind.

Habitat	Parameter	Eignung: Punktzahl			
		0	0.33	0.66	1
Larven- habitat	Durchschnittliche Fließgeschwindig- keit [m/s]	<0.02 >0.75	0.02–0.05 0.56–0.75	0.06–0.10 0.31–0.55	0.11–0.30
	Wassertiefe [m]	<0.05 >1.00	0.05–0.09 0.61–1.00	0.10–0.14 0.31–0.60	0.15–0.30
	Substrathäufigkeit	anderes	Megalithal- dominiert oder verbreitet Mesolithal oder selten Xylal	Verbreitet Xylal	Macrolithal dominant, verbreitet oder selten, oder Mesolithal dominant, oder Phytal dominant, verbreitet oder selten, oder Xylal dominant
Habitat für juvenile Forellen	Durchschnittliche Fließgeschwindig- keit [m/s]	<0.05 >0.75	0.56–0.75	0.05–0.10 0.36–0.55	0.11–0.35
	Wassertiefe [m]	<0.10 >1.15	0.10–0.15 0.86–1.15	0.16–0.30 0.71–0.85	0.31–0.70
	Substrathäufigkeit	anderes	Megalithal- dominiert oder Mesolithal verbreitet oder Xylal selten	Mesolithal dominant oder verbreitet Xylal	Macrolithal dominant, verbreitet oder selten, oder Phytal dominant, verbreitet oder selten oder Xylal dominant
Habitat für adulte Forellen	Durchschnittliche Fließgeschwindig- keit [m/s]	>0.90	0.61–0.90	0.31–0.60	<0.30
	Wassertiefe [m]	<0.20	0.20–0.35	0.36–0.55	>0.55
	Deckung (% der Wasseroberfläche)	<4	4–10	11–27	>27
Laich- habitat	Durchschnittliche Fließgeschwindig- keit [m/s]	<0.10 >0.90	0.10–0.15 0.70–0.90	0.16–0.30 0.61–0.70	0.31–0.60
	Wassertiefe [m]	<0.10 >0.60	0.10–0.15 0.46–0.60	0.16–0.20 0.31–0.45	0.21–0.30
	Substrathäufigkeit	anderes	Alkal verbreitet oder Mesolithal dominant oder Mikrolithal selten	Mikrolithal verbreitet oder Alkal dominant	Mikrolithal dominant

Tabelle 3: Bewertungsschlüssel für *Salmo trutta fario* (Bachforelle). Für die Bewertung der verschiedenen Faktoren⁶¹ und für die Punktzahlen wurde folgende Literatur verwendet: Lagarrigue et al. (2001); Lamouroux and Souchon (2002); Vehanen et al. (1999); Raleigh et al. (1986); Visamara et al. (2001); sowie Parternolli and Gostner (2014).

⁶¹ Für den Parameter «Substrathäufigkeit» bedeutet «selten», dass das Substrat 1 bis 19 % der der bewerteten Fläche ausmacht; «verbreitet» 20 bis 50 % und «dominant» über 50 %.

Habitat	Parameter	Eignung: Punktzahl			
		0	0.33	0.66	1
Larven-habitat	Durchschnittliche Fliessgeschwindigkeit [m/s]	Identisch mit dem Schlüssel für <i>Salmo trutta fario</i>			
	Wassertiefe [m]				
	Substrathäufigkeit				
Habitat für juvenile Forellen	Durchschnittliche Fliessgeschwindigkeit [m/s]	Identisch mit dem Schlüssel für <i>Salmo trutta fario</i>			
	Wassertiefe [m]				
	Substrathäufigkeit				
Habitat für adulte Forellen	Durchschnittliche Fliessgeschwindigkeit [m/s]	Keine Angaben, da <i>Salmo trutta lacustris</i> in diesem Stadium im See lebt			
	Wassertiefe [m]				
	Deckung (% der Wasseroberfläche)				
Laich-habitat	Durchschnittliche Fliessgeschwindigkeit [m/s]	<0.20	0.21–0.30	0.31–0.40	0.41–0.70
		>1.00	0.85–1.00	0.71–0.84	
	Wassertiefe [m]	<0.15	0.15–0.20	0.21–0.25	0.26–0.40
		>0.70	0.50–0.70	0.41–0.49	
	Substrathäufigkeit	anderes	Akal	Mikrolithal oder Mesolithal	

Tabelle 4: Bewertungsschlüssel für *Salmo trutta lacustris* (Seeforelle). Für die Bewertung der verschiedenen Faktoren und für die Punktzahlen wurde folgende Literatur verwendet: Lagarrigue et al. (2001); Lamouroux and Souchon (2002); Vehanen et al. (1999); Raleigh et al. (1986); Visamara et al. (2001); sowie Parternolli and Gostner (2014).

Faktoren, die im Schlüssel nicht verwendet wurden: Neben chemischen Verunreinigungen wurden Wassertemperatur, Sauerstoffgehalt, Verschlam-mung der Bachsohle, Konkurrenz zwischen den Fischen und Fischgrösse nicht berücksichtigt.

Die Wassertemperatur wurde aus praktischen Gründen nicht erhoben. Diese Arbeit wurde zwischen April und August 2022 verfasst. Besonders wichtig ist die Wassertemperatur für die Eier und ihre Entwicklung; und dafür würde es eine Erhebung der Wassertemperatur in den Herbst- und Wintermonaten brauchen. Im August, einem der heissesten Monate, hätte zwar erhoben werden können, ob das Wasser für das Überleben von Forellen zu warm wird. Das kommt im Berner Oberland allerdings bisher kaum vor, solange ein Gewässer noch fliesst und nicht austrocknet.

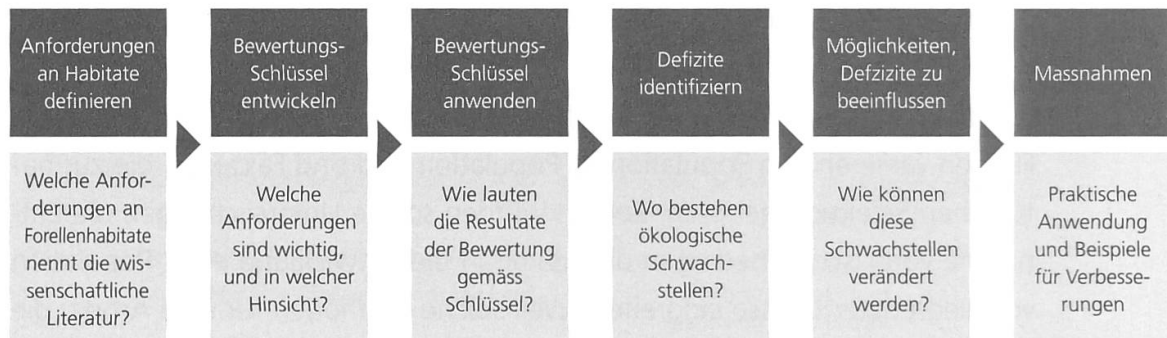
Genaue Messungen der Sauerstoffkonzentration übersteigen das Budget dieser Arbeit. Zudem ist der Sauerstoffgehalt stark beeinflusst durch die Fliessgeschwindigkeit und die Wassertiefe, sodass in dieser Hinsicht genügend Messwerte für die Eignung des Habitats vorliegen.

Verschlammung entsteht durch Erosion. Da es sich dabei um einen langfristigen Prozess handelt, ist eine Messung während einer kurzen Periode von nur wenigen Monaten nicht sinnvoll – vor allem, wenn man feststellen will, ob die verschlammten Strecken zunehmen.

Sowohl die Konkurrenz innerhalb des Fischbestandes als auch die Grösse von Fischen variieren von Population zu Population und sind Faktoren, die zur natürlichen Selektion gehören. Zudem würden solche Untersuchungen die Entnahme von Fischen bedingen und damit in die Entwicklung einer Population von begrenzter Grösse eingreifen. Weil solche Methoden für eine Arbeit, die Verbesserungsmöglichkeiten des Lebensraums untersucht, weder nötig noch zielführend sind, wurden sie hier nicht in Betracht gezogen.

METHODE

Arbeitskonzept



Das Ziel dieser Arbeit ist die Bewertung des Hauptkanals als Lebensraum für *Salmo trutta*. Das bedingt verschiedene Arbeitsschritte:

Die Bedürfnisse von *Salmo trutta* wurden mit Hilfe der entsprechenden wissenschaftlichen Literatur bestimmt.

Dann gilt es, die aktuelle Situation des Hauptkanals zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurde in dieser Arbeit ein Bewertungsschlüssel entwickelt, abgestützt auf die Bedürfnisse der Forellen.

Als Nächstes wurde dieser Schlüssel mittels eines Punktsystems für die verschiedenen Faktoren angewendet.

Im Folgenden müssen ökologische Defizite identifiziert werden. Ein Defizit definiert sich aus der Differenz zwischen der maximal möglichen Punktzahl und der tatsächlich erreichten Punktzahl.

In einem nächsten Schritt werden Möglichkeiten gesucht, diese Defizite zu beeinflussen.

Aus diesen möglichen Massnahmen werden schliesslich sinnvolle Massnahmen für die Verbesserung des Hauptkanals als Forellenhabitat ausgewählt.

Die Bedürfnisse der Atlantischen Forelle *Salmo trutta*

Die verschiedenen Aspekte der Lebensweise und der sich daraus ergebenden Bedürfnisse von Forellen wurden mit Hilfe der Literatur über Gewässerökologie und Forellen⁶² zusammengetragen. Die aktuelle Situation des Hauptkanals wurde im Feld erhoben.

Aufnahmen der Ökomorphologie von Gewässern sind sehr zeitaufwändig; für eine Person gehen Bisson et al. (1982) im Mittel von einem Tag Arbeit pro 100 m Gewässerstrecke aus. Obwohl der Hauptkanal über weite Strecken kein komplexes Habitat ist, hätte die für diese Arbeit verfügbare Zeit nicht für eine detaillierte Aufnahme des gesamten Gewässers gereicht. Deshalb wurden nach ersten Besichtigungen des Hauptkanals repräsentative Segmente definiert, die bezüglich Substrat, Böschungsstruktur, Vegetation und Mesohabitaten relativ einheitliche Eigenschaften aufweisen. Aufgrund der Eigenschaften dieser Segmente wurden vier unterschiedliche Typen von Lebensräumen definiert (siehe Abbildung 9).

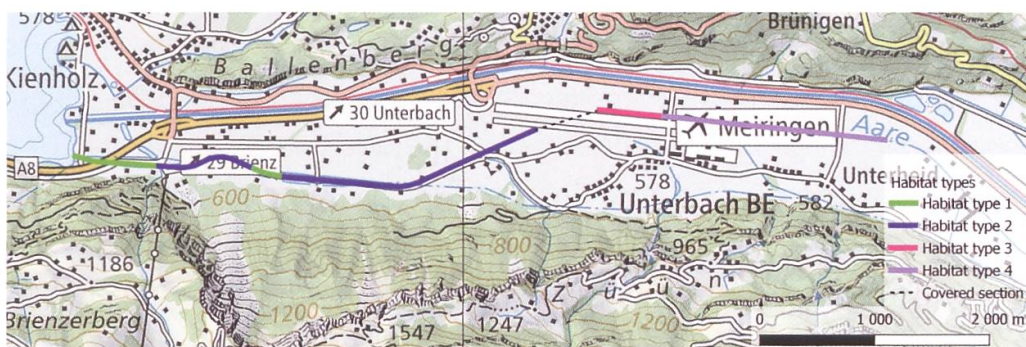


Abbildung 9: Die vier Habitat-Typen des Hauptkanals (Kartenvorlage: PK100, swisstopo).

Von jedem Habitat-Typ wurde ein repräsentativer Abschnitt von 50 bis 100 m Länge detailliert aufgenommen (Abbildung 10). Die verschiedenen Typen von Mesohabitaten, Substrat und Deckung wurden in einer Auflösung von etwa einem Quadratmeter kartiert.

⁶² Gemäss Literaturverzeichnis am Ende dieses Beitrags.

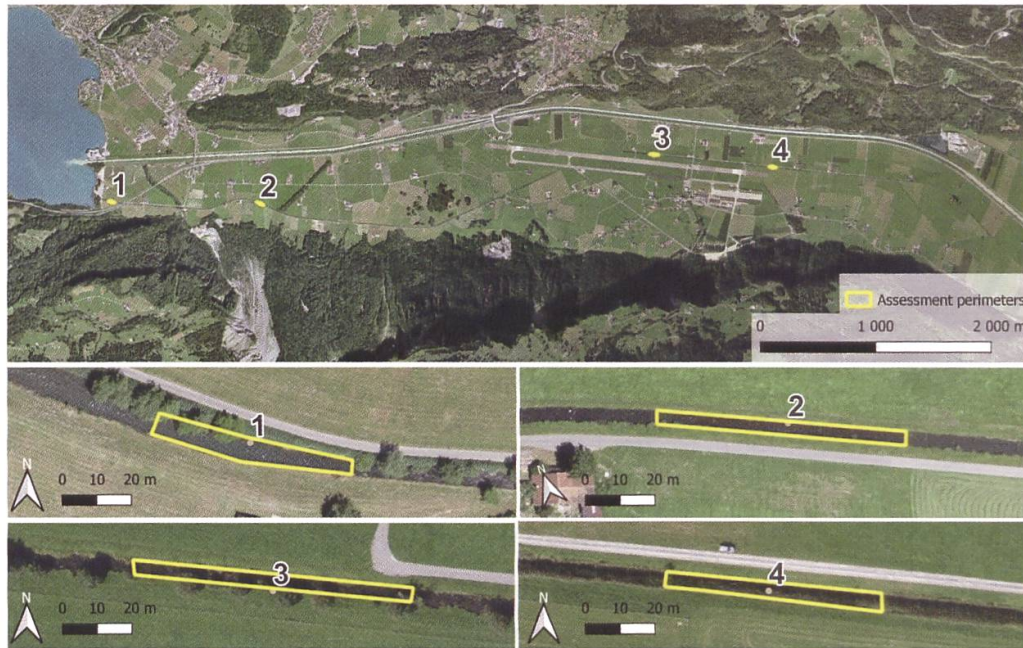


Abbildung 10: Lage der vier detailliert untersuchten Abschnitte, die je einen der vier Habitatstypen des Hauptkanals repräsentieren. (Luftbilder swissimage/swisstopo).

Für die Aufnahmen im Feld wurde jede Sektion zunächst auf Papier skizziert – immer in drei Ausfertigungen, damit Mesohabitate, Substrat- und Deckungstypen separat eingetragen werden konnten. Die Daten wurden am 4. Mai 2022 mit Hilfe und unter Aufsicht des Gewässerökologen Sandro Schläppi gesammelt. Später wurden die Daten in das frei zugängliche Open Source-Programm QGIS für geografische Daten übertragen.

Am 15. Juni 2022 wurde die digitale Version mit der Situation vor Ort abgeglichen, korrigiert und mit weiteren Details ergänzt. Zugleich wurden an diesem Tag Wassertiefe, Gewässerbreite und Fließgeschwindigkeit in allen Abschnitten gemessen.

Die Wassertiefe wurde mit einem Doppelmeter an repräsentativen Punkten dem Ufer entlang gemessen, die Gewässerbreite mit einem Lasermessgerät. Wo die Breite stark variierte, wurde an mehreren Punkten gemessen und das arithmetische Mittel berechnet.

Die durchschnittliche Fließgeschwindigkeit wurde mit dem Doppelmeter und einer Stoppuhr gemessen: Der Massstab wurde der Länge lang ans Ufer

gelegt; dann wurde die Zeit gemessen, die ein Blatt oder andere auf dem Wasser vorbeischwimmende Dinge für einen Meter brauchten. Weil diese einfache Methode nicht besonders genau ist, wurden die Messungen mehrmals wiederholt. Gemessen wurden die Fliessgeschwindigkeiten in den Mesohabitaten «Run» und «Gleite» (siehe Seite 119), da diese beiden Mesohabitate den grössten Teil des Hauptkanals prägen. Waren in einer Sektion beide Mesohabitate mit längeren Strecken vertreten, wurden ihre Fliessgeschwindigkeiten an mehreren Stellen gemessen und dann die durchschnittliche Geschwindigkeit für jeden Mesohabitat-Typ separat berechnet.

Die Faktoren Wassertiefe, Gewässerbreite und Fliessgeschwindigkeit wurden nur am zweiten Feldtag aufgenommen – ausgehend von der Annahme, dass diese Grössen durch die Kategorisierung des Gewässers mit Mesohabitaten schon genügend abgedeckt wären. Das stellte sich aber im Laufe der Arbeit zwischen der ersten Datenerhebung und ihrer Überprüfung als falsch heraus.

Anwendung des Bewertungsschlüssels⁶³

Die gemessenen und berechneten Daten aus den Feldaufnahmen wurden für jede der vier Kategorien Fliessgeschwindigkeit, Wassertiefe, Substrathäufigkeit und Deckung mit den Eignungswerten in den Bewertungsschlüsseln (Tabellen 3 und 4, Seite 127 und 128) verglichen. Die Resultate dieser Abgleichung sind die Punkte zwischen 0 (ungeeignet) und 1 (gut geeignet). Jeder der vier Abschnitte wurde separat für Bach- und für Seeforellen bewertet, sodass es schliesslich acht Bewertungen gab.

Für die Datenanalyse wurden die Flächen der Mesohabitat-, Substrat- und Deckungs-Typen für jeden Typ separat zusammengezählt und ins Verhältnis gesetzt zur Gesamtfläche des jeweiligen Abschnitts.

⁶³ Dieses und das folgende Kapitel («Identifizierung ökologischer Defizite») wurden hier auf die Grundzüge des Vorgehens reduziert. Die detaillierten Berechnungsmethoden und ein Rechenbeispiel finden sich in Lorin Hählens Maturaarbeit auf den Seiten 39 bis 43 (Anmerkung der Jahrbuch-Redaktion).

Identifizierung der ökologischen Defizite

Die ökologischen Defizite wurden durch den Vergleich der im Feld erhobenen aktuellen Daten mit dem Potenzial des Gewässers identifiziert.

Dafür wurden die mit dem Bewertungsschlüssel bestimmten Punkte in jedem der vier untersuchten Abschnitte für jeden Lebensraumparameter und jede Altersgruppe (Bach- und Seeforellen separat) zusammengezählt.

Von diesen aktuellen Punktzahlen wurden die höchstmöglichen Punkte abgezogen. Die negative Zahl – also die Differenz –, die sich daraus ergab, beziffert, wie schwer das betreffende ökologische Defizit für eine bestimmte Altersgruppe wiegt.

Damit die Zahlen anschaulicher sind, wurden die Punkte in Prozentzahlen umgerechnet.

RESULTATE

Visuelle Beschreibung der Kanalabschnitte, ihrer Mesohabitate, ihrer Deckung und ihres Substrats

Die vier Abschnitte: Im 1. Abschnitt hat in den letzten Jahren die Auflösung des gemauerten Damms angefangen. Felsbrocken und grosse Steine, die sich aus der Böschung gelöst haben, dienen jetzt als Deckung (siehe Foto Seite 122). Abschnitt 2 ist durch gerade, betonierte Dämme geprägt (siehe Fotos Seite 103). Ein kleiner Zufluss wurde renaturiert, um auf diesem Abschnitt den Hauptkanal als Lebensraum zu verbessern. Abschnitt 3 bietet verschiedene Habitate. Diese Strecke wurde nicht nur untersucht, um bestimmte Typen von Habitaten zu zeigen, sondern auch, weil sie als gutes Muster für eine forellenfreundlichere Gestaltung des Hauptkanals dienen kann. Der 4. Abschnitt verengt sich immer mehr, je weiter man ihm stromaufwärts folgt; zugleich nimmt die Dichte von Makrophyten im Wasser zu.

Mesohabitat, Deckung und Substrat der vier Abschnitte: Abbildung 29 zeigt die Substrat-Aufnahmen. Abschnitt 3 weist die grösste Substrat-Vielfalt auf. Die Sohlen der Abschnitte 2 und 4 ähneln sich stark und bestehen nur aus grobem Kies, Sand und Algenbewuchs. Abschnitt 1 ist nicht so vielfältig wie Abschnitt 3, weist aber doch mehr Substrat-Typen auf als die Abschnitte 2 oder 4. Allgemein nimmt der Algenbewuchs stromaufwärts zu. Die häufigsten Substrat-Typen sind grober Kies und Sand.

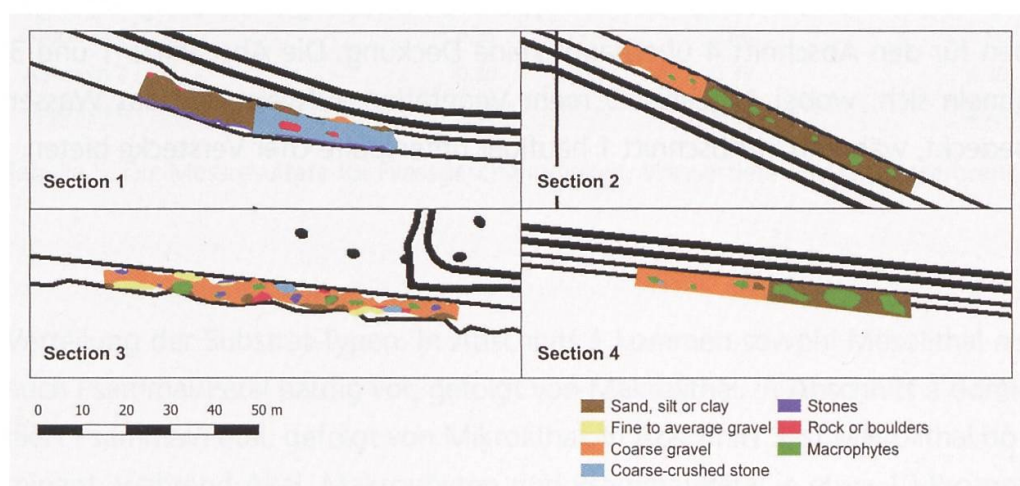


Abbildung 29: Substrattypen in den vier Abschnitten.

Die Aufnahmen der Mesohabitate in Abbildung 30 lassen ein ähnliches Muster wie diejenigen der Substrate erkennen. Am meisten variieren die Mesohabitate in Abschnitt 3, am wenigsten in den Abschnitten 2 und 4. Abschnitt 4 besteht überhaupt nur aus dem Mesohabitat-Typ «Gleite», während Abschnitt 2 vor allem aus einem «Run» besteht, aber auch einen Lateralkolk aufweist. Abschnitt 1 steht bezüglich Vielfalt wieder zwischen 2 und 4 auf der einen Seite und 3 auf der anderen. Der Flachwasseranteil ist in Abschnitt 3 verhältnismässig hoch. Abschnitte 1 und 3 haben beide eine ähnlich hohe Zahl an ufernahen Wirbeln und Lateralkolken.

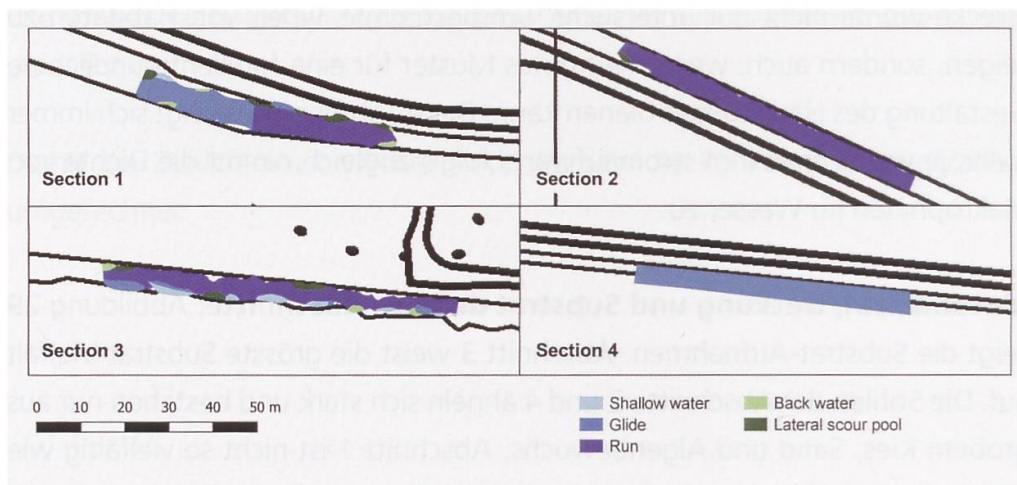


Abbildung 30: Unterschiedliche Typen hydraulischer Habitats (= Mesohabitate) in den vier Abschnitten.

Die Aufnahmen der verschiedenen Typen von Deckung (Abbildung 31) ergaben für den Abschnitt 4 überhaupt keine Deckung. Die Abschnitte 1 und 3 ähneln sich, wobei Abschnitt 3 mehr Vegetation aufweist, die das Wasser bedeckt, während in Abschnitt 1 häufiger unterspülte Ufer Verstecke bieten.

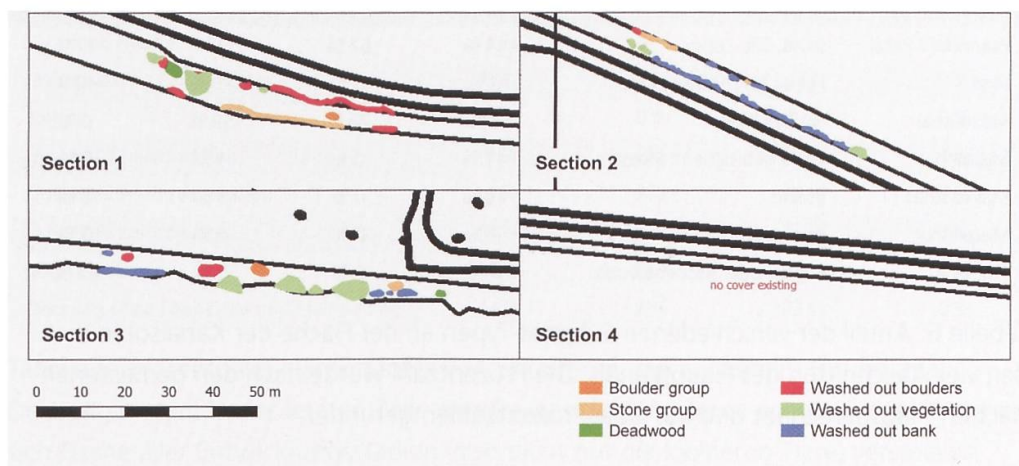


Abbildung 31: Deckung in den vier Abschnitten.

Messungen

Bezüglich Fliessgeschwindigkeit sticht Abschnitt 4 heraus, weil das Wasser auf dieser Strecke nur halb so schnell fliesst wie in den Abschnitten 2 und 3 (Tabelle 5). Die Fliessgeschwindigkeit von Abschnitt 1 liegt zwischen dem langsamen Abschnitt 4 und den schnelleren 2 und 3.

Im Abschnitt 3 wurde die geringste Wassertiefe gemessen, in Abschnitt 1 die grösste. Am breitesten ist der Kanal in Abschnitt 1, am engsten in Abschnitt 2.

Kanalabschnitt	Fliessgeschwindigkeit [m/s]	Wassertiefe [m]	Breite [m]
Abschnitt 1	0.23	1.00	8.00
Abschnitt 2	0.35	0.68	4.50
Abschnitt 3	0.30	0.35	4.30
Abschnitt 4	0.14	0.62	2.20

Tabelle 5: Die Messresultate für Fliessgeschwindigkeit, Wassertiefe und Gewässerbreite.

Verteilung der Substrat-Typen: In Abschnitt 1 kommen sowohl Mesolithal als auch Psammal/Petal häufig vor, gefolgt von Makrolithal. In Abschnitt 2 dominiert Psammal/Petal, gefolgt von Mikrolithal. In Abschnitt 3 ist Mikrolithal dominant, während Akal, Makrophyten und Psammal/Petal je etwa 10 Prozent des Substrats ausmachen.

Substrat-Typ		Abschnitt 1	Abschnitt 2	Abschnitt 3	Abschnitt 4
Psammal / Petal	Sand, Silt, Lehm	44 %	62 %	9 %	37 %
Akal	Feiner bis mittlerer Kies	0 %	0 %	11 %	40 %
Mikrolithal	Grober Kies	2 %	28 %	59 %	0 %
Mesolithal	Grob gebrochene Steine	41 %	0 %	4 %	0 %
Makrolithal	Steine	10 %	0 %	5 %	0 %
Megalithal	Felsbrocken	4 %	0 %	4 %	0 %
Phytal	Algen- oder Moosbewuchs	0 %	9 %	8 %	23 %

Tabelle 6: Anteil der verschiedenen Substrat-Typen an der Fläche der Kanalsohle in den vier Abschnitten des Hauptkanals. Die Prozentzahl wurde nach den gemessenen Flächen⁶⁴ ausgerechnet und auf volle Prozentzahlen gerundet.

Die Mesohabitat-Typen, die in Abschnitt 1 den grössten Teil der Fläche einnehmen, sind «Run» und «Gleite», gefolgt von Lateralkolken (Tabelle 6).

Abschnitt 2 besteht zu 99 % aus dem Mesohabitat «Run». Ähnlich einseitig ist Abschnitt 4, der nur aus einer «Gleite» besteht. Abschnitt 3 weist 70 % «Run» auf, 11 % Flachwasser, 9 % Gleiten und weniger als 10 % Wirbel und Lateralkolke.

Mesohabitat	Abschnitt 1	Abschnitt 2	Abschnitt 3	Abschnitt 4
Flachwasser	1 %	0 %	11 %	0 %
Gleite	45 %	0 %	9 %	100 %
Wirbel	3 %	0 %	3 %	0 %
Lateralkolk	7 %	1 %	6 %	0 %
Run	44 %	99 %	71 %	0 %

Tabelle 7: Prozentuale Anteile der Mesohabitat-Typen an den vier untersuchten Abschnitten im Hauptkanal.

Die Deckung, grösstenteils unterspülte Felsbrocken, macht in Abschnitt 1 14 % der Wasseroberfläche aus (Tabelle 7). In Abschnitt 2 bieten nur 8 % der Wasserfläche Deckung, zumeist unterspülte Böschungen. In Abschnitt 3 bieten Strukturen wie unterspülte Ufervegetation oder unterspülte Ufer auf 22 % der Fläche Deckung. In Abschnitt 4 fehlt jede Deckung.

⁶⁴ Die Anhänge mit den im Feld erhobenen Messwerten führt Lorin Hählen in seiner Arbeit auf den Seiten 71 bis 77 auf. Hier im Jahrbuch wird auf Platzgründen auf diese Datensammlung verzichtet.

Deckungs-Typ	Abschnitt 1	Abschnitt 2	Abschnitt 3	Abschnitt 4
Felsblock-Haufen	1 %	0 %	2 %	0 %
Steinhaufen	4 %	2 %	1 %	0 %
Totholz	2 %	0 %	0 %	0 %
Unterspülte Felsbrocken	8 %	0 %	3 %	0 %
Unterspülte Ufervegetation	4 %	2 %	14 %	0 %
Unterspülte Böschung	0 %	6 %	5 %	0 %
Total Deckung	19 %	10 %	25 %	0 %
Deckung ohne Felsblöcke und Steinhaufen	14 %	8 %	22 %	0 %

Tabelle 8: Prozentualer Flächenanteil von Strukturen, die Fischen im Hauptkanal Deckung bieten. In der letzten Zeile werden nur die Strukturen ausgewiesen, in denen sich Fische aller Entwicklungsstadien (also nicht nur die kleineren Tiere) verstecken können.

Bewertungsergebnisse

Im Folgenden werden nicht die Punktzahlen der Defizite verwendet, sondern ihre Umrechnung in Prozentzahlen, das heisst, das Verhältnis der tatsächlich erreichten Punkte zum potenziellen Maximum. Die Bewertungen werden für Bach- und Seeforellen durchwegs getrennt ausgewiesen.

Summe der Habitat-Faktoren in jedem Abschnitt

Für die Fliessgeschwindigkeit zeigen alle Abschnitte ähnliche Resultate. Die Ansprüche der Bachforellen an die Fliessgeschwindigkeit in ihren Lebensräumen werden zu etwa 85 % erreicht, die der Seeforellen zu etwa 55 %. Unter dem Aspekt der Fliessgeschwindigkeit eignen sich die Habitate im Hauptkanal also wesentlich schlechter für See- als für Bachforellen.

Die Wassertiefe passt im 1. Abschnitt am schlechtesten zu den Anforderungen an einen Forellenlebensraum, am besten in Abschnitt 3. Abschnitt 3 erreicht 65 % aller möglichen Punkte sowohl für Bach- als auch für Seeforellen. Abschnitt 1 erreicht für Seeforellen gerade einmal 15 % der möglichen Punkte – 25 % weniger als für Bachforellen. Etwa in der Mitte zwischen dem besten und dem schlechtesten Abschnitt liegen die Abschnitte 2 und 4, die ähnlich wie Abschnitt 1 in der Eignung für Seeforellen bedeutend schlechter abschneiden als für Bachforellen.

In der Kategorie «Substrat» erreichte der 3. Abschnitt alle möglichen Punkte sowohl für Bach- als auch für Seeforellen. Für Seeforellen 100 % geeignet ist auch das Substrat in den Abschnitten 1 und 2. Etwas weniger Punkte erreicht das Substrat in diesen beiden Abschnitten in Hinblick auf Bachforellen. Am schlechtesten schneidet Abschnitt 4 ab, dessen Substrat für Bach- und Seeforellen nur knapp 80 % der möglichen Punkte erreicht. Über alle vier Habitat-typen gesehen eignet sich das Substrat im Hauptkanal etwas besser für See- als für Bachforellen.

Da die Kategorie «Deckung» nur für adulte Forellen beurteilt wurde,⁶⁵ gibt es keine Werte für Seeforellen, die in dieser Entwicklungsphase im See leben. Für Bachforellen schnitten die Abschnitte 1 und 3 mit je 66 % aller möglichen Punkte am besten ab, gefolgt von Abschnitt 2 mit 33 %. Gar keine Deckung finden erwachsene Bachforellen in Abschnitt 4.

Summe der Habitat-Faktoren für die verschiedenen Entwicklungsstadien von Bach- und Seeforellen

Im Entwicklungsstadium «Forellenlarve» erreichten die Lebensräume durchwegs die gleichen Punktzahlen für Bach- und Seeforellen. Als bestes Forellen-larvenhabitat erreichte Abschnitt 3 89 % der möglichen Punkte. Abschnitt 2 eignet sich mit 65 % am wenigsten. Dazwischen liegen die Abschnitte 1 und 4 mit je 78 %.

Auch für das Entwicklungsstadium «juvenile Fische» waren die Werte für Bach- und Seeforellen identisch. Die Abschnitte 2, 3 und 4 erreichten für diese kleinen Forellen das Maximum von 100 %, Abschnitt 1 78 % der möglichen Punkte.

Für die «adulten» Bachforellen lagen die Werte in allen Abschnitten über 60 %. Die Abschnitte 2, 3 und 4 erreichten um 65 % der Punkte, Abschnitt 1 schnitt mit 89 % am besten ab. Da adulte Seeforellen im See leben, erscheinen sie in dieser Aufstellung nicht.

⁶⁵ Siehe Einleitung zu den Bewertungsschlüsseln Seite 126.

Bei der Eignung als Laichhabitat zeigten sich grosse Unterschiede zwischen den vier Abschnitten; die Werte reichten von 22 % der möglichen Punkte im 4. Abschnitt bis 77 % im 3. Abschnitt. Dazwischen liegen die Werte von Abschnitt 1 und 2, wobei sich beide Abschnitte schlechter für Bach- als für Seeforellen eignen. Während sie als Laichhabitate für Seeforellen 66 % (Abschnitt 2), respektive 44 % (Abschnitt 1) erreichen, liegen die Werte für Bachforellen in beiden Abschnitten 22 % tiefer.

Unterschiede nach Habitat-Faktoren und Lebensformen

Abbildung 32 zeigt, dass sich die Lebensräume des Hauptkanals für Bachforellen bezüglich Fliessgeschwindigkeit am besten und bezüglich Deckung am schlechtesten eignen. Bei der Lebensraumbewertung für Seeforellen erreichte das Substrat die besten Werte und die Wassertiefe die schlechtesten. Es besteht also ein grosser Unterschied zwischen der Eignung für Bach-, respektive Seeforellen.

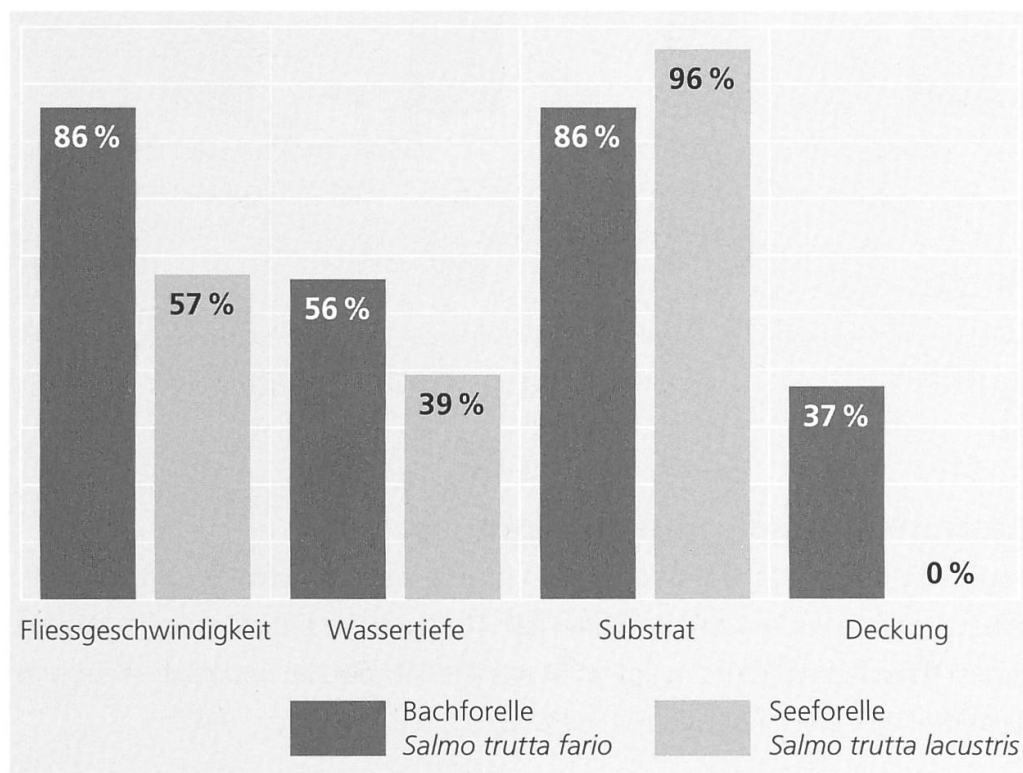


Abbildung 32: Habitat-Faktoren im Überblick über alle vier Lebensraumtypen (Abschnitte) des Hauptkanals für Bachforellen und Seeforellen.

Unterschiede nach Entwicklungsstadien

Am wenigsten Punkte (55 % für Seeforellen, 47 % für Bachforellen) erreichte der Hauptkanal in der Bewertung als Laichhabitat, am meisten (je 96 %) in der Bewertung als Lebensraum für juvenile Forellen. Für das Larvenstadium beider Lebensformen und für adulte Bachforellen lagen die Eignungswerte um 70 %.

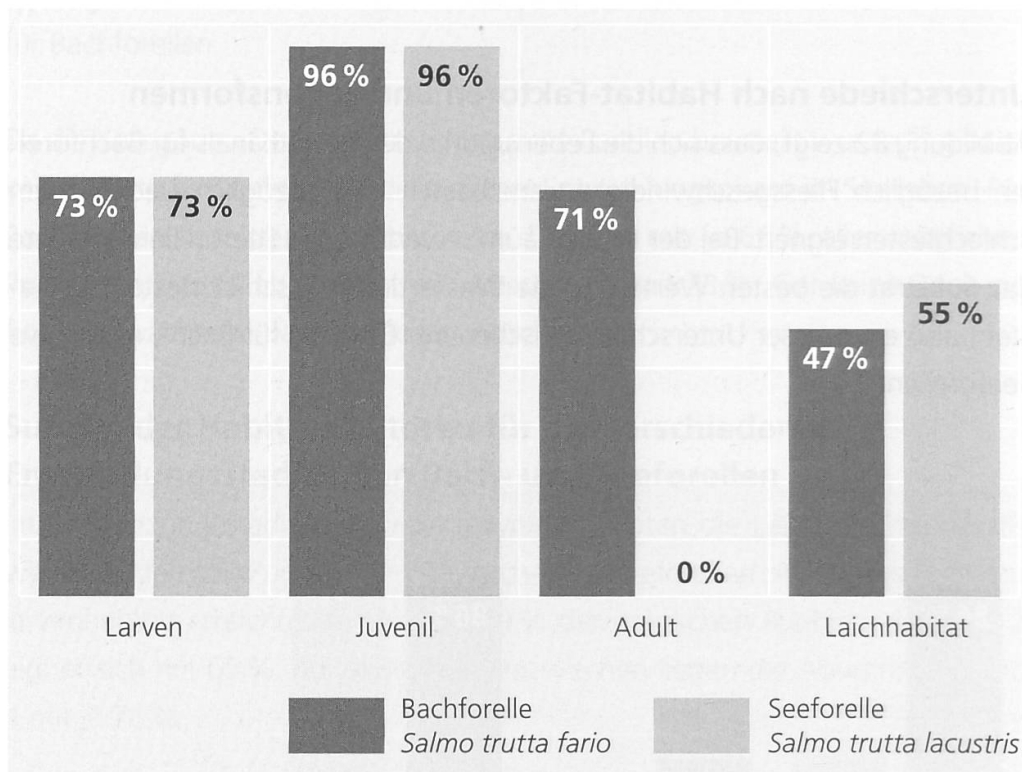


Abbildung 33: Eignung des Hauptkanals als Lebensraum für die verschiedenen Altersgruppen.

Gesamtbewertung für jeden Abschnitt

Insgesamt weist der Gewässerabschnitt 3 die besten und Abschnitt 1 die schlechtesten Werte auf. Die Werte der Abschnitte 2 und 4, die sich ähneln, liegen dazwischen. Durchwegs punkten die Abschnitte als Lebensraum für Bachforellen etwas mehr als für Seeforellen.

Gesamtbewertung für den ganzen Kanal

Über alle Gewässerabschnitte und Lebensraumfaktoren hinweg erreicht der Hauptkanal als Lebensraum für Bachforellen 72 % und als Lebensraum für Seeforellen 56 % der möglichen Punkte.

Defizite

Durch die Anwendung des Bewertungsschlüssels auf die im Feld erhobenen Daten wurden folgende Defizite ermittelt:

Wassertiefe: Das Wasser im Hauptkanal ist so tief, dass sich der Kanal nicht als Laich- und Larven-Habitat eignet. Eine Absenkung hätte negative Auswirkungen auf adulte und juvenile Forellen. Allerdings tolerieren diese beiden Entwicklungsstadien unterschiedliche Wassertiefen besser als Eier und Larven.

Deckung: Am und im Hauptkanal fehlt es an schützenden Ufergebüsch und an Versteckmöglichkeiten im Wasser, vor allem in den Abschnitten 2 und 4. Dieses Defizit betrifft vor allem adulte Tiere.

Fliessgeschwindigkeit: Das Wasser im Hauptkanal fliesst zu langsam für adulte und laichende Forellen. Eine Zunahme der Fliessgeschwindigkeit wäre zwar negativ für Larven und juvenile Forellen; allerdings wiegen die Nachteile für adulte und laichende Forellen in diesem Bereich schwerer.

Wie lassen sich die Defizite beheben?

Werden einzelne Faktoren eines Habitats verändert, um die Bedingungen für eine Art oder eine Altersgruppe zu verbessern, ist das nicht immer gut für andere Teile des Ökosystems. Die vier Veränderungen, die aufgrund der bisherigen Analyse vorgenommen werden sollten, sind: Erhöhung der Fliessgeschwindigkeit, Reduktion der Wassertiefe, Vermehrung der Deckung und Vergrösserung der Korngrösse des Substrats.

Der Bewertungsschlüssel lässt folgende Schlüsse zu:

Eine Sohle aus gröberem Substrat würde die Lebensbedingungen im Kanal für Larven und juvenile Forellen sowie für laichende Tiere verbessern, ohne die Qualität des Habitats für adulte Tiere zu beeinträchtigen.

Ähnlich würde mehr Deckung die Situation für die adulten Bachforellen verbessern, ohne den anderen Altersklassen zu schaden.

Ein tieferer Wasserstand wäre zwar besser für Eier, Larven und juvenile Forellen, aber schlechter für adulte Bachforellen.

Eine höhere Fliessgeschwindigkeit wäre besser für adulte und insbesondere laichende Forellen, aber schlecht für Larven und juvenile Fische. Wegen der grossen Bedeutung eines Laichhabitats für einen Fischbestand und weil dieses Entwicklungsstadium durch die Defizite des Kanals am stärksten beeinträchtigt ist, wird eine Veränderung dieses Faktors trotzdem weiterverfolgt.

Mittel zur Veränderung einzelner Faktoren eines Habitats

Aus der Tabelle 2 oben, die im Grundlagenkapitel Möglichkeiten zur Beeinflussung eines Bach-Habitats auflistet, betreffen die folgenden Veränderungsmöglichkeiten die Defizite des Hauptkanals:

Zweck	Mittel
Fliessgeschwindigkeit erhöhen	Gewässerbreite reduzieren, Sohle und Ufer glätten, Bach verzweigen
Wassertiefe reduzieren	Gewässer verbreitern, Bach verzweigen
Deckung verbessern	Zusätzliche Ufervegetation pflanzen, Strukturen in der Böschung verbessern und neue hinzufügen
Korngrösse des Substrats vergrössern	Substrat mit grosser Korngrösse ins Gewässer einbringen, Menge der Feinsedimente reduzieren

Tabelle 9: Mittel, die gewünschten Veränderungen zu erreichen.

Tabelle 9 macht deutlich, dass Massnahmen für einzelne Ziele in Konflikt mit anderen geraten. So müsste der Kanal verengt werden, um die Fliessgeschwindigkeit zu erhöhen; das würde aber zugleich zu einer grösseren Wassertiefe führen, während das Wasser ja eigentlich weniger tief werden müsste. Das Wasser kann aber nicht zur gleichen Zeit am gleichen Ort tiefer und weniger tief werden. Ein anderes Beispiel ist die Sohlenglättung, um die Fliessgeschwindigkeit zu erhöhen; das würde aber eine Reduktion der Korngrösse erfordern, während tatsächlich gröberes Substrat erforderlich ist.

Wie im Grundlagenteil erwähnt, sind die verschiedenen Faktoren, die ein Habitat prägen, nicht statisch, sondern dynamisch. Zudem zeichnen sich gute natürliche Habitats durch eine Vielfalt unterschiedlicher Elemente und Strukturen aus. Es geht also nicht darum, einzelne Faktoren im gesamten Gewässer auf die gleiche Art zu verändern. Vielmehr sollte das Gewässer in seiner Gesamtheit angeschaut und der Vielfalt ökologischer Anforderungen sowie der Dynamik ökologischer Prozesse Rechnung getragen werden.

Massnahmen

Im Hauptkanal herrscht weitgehend überall dieselbe Fliessgeschwindigkeit. Das liegt vor allem daran, dass es praktisch keine naturnahen Ufer gibt. Die «natürlichsten» Ufer findet man in Abschnitt 3 mit seiner vergleichsweise üppigen Ufervegetation und in Teilen von Abschnitt 1, wo sich langsam Steine aus dem ehemals fest gefügten Damm lösen und wo die Zwischenräumen nun Larven und juvenilen Fischen Verstecke bieten. In diesen beiden Abschnitten ist die Böschung nicht besonders steil. In Abschnitt 2 besteht der Damm aus Betonplatten, die einen 45°-Winkel aufweisen; das Ufer ist also wesentlich steiler als in den Abschnitten 1 und 3. Noch steiler ist das Ufer in Abschnitt 4.



Die Ufer der vier Abschnitte, respektive Habitattypen. Oben links: Abschnitt 1, oben rechts: 2, unten links: 3, unten rechts: 4.



Beispiele für revitalisierte Bäche mit variablen Sohlenbreiten (Hüsenbach im Sytiwald am Nordrand des Aarbodens und Rychenbach).

Werden Uferbefestigungen entfernt, führt das zu vermehrter Erosion. Obwohl dadurch mehr Feinsedimente eingetragen werden, würde mit der Zeit ein neues, dynamischeres Gleichgewicht im Geschiebehaushalt entstehen, das der Dynamik des neuen Bachbetts entspräche. Das heisst, wo die Uferlinie abwechslungsreicher verlief, würde die Korngrösse der Gewässersohle stärker variieren und die Verschlammung würde zurückgehen.

Würden die Felsbrocken entfernt, die das Ufer befestigen, würde eine Eigendynamik entstehen, durch die das Ufer flacher und weniger monoton gestaltet würde und der Bach seine Sohle restrukturieren könnte. Um die Erosion auf eine bestimmte Strecke zu begrenzen, müsste die Sohle Eingangs und Ausgangs der Strecke mit Blockrampen befestigt werden. Ausgangs der Strecke wären zudem seitliche Verankerungen nötig.

Zusätzlich zur eigendynamischen Verbreiterung könnte das Ufer künstlich aufgeweitet werden, indem man die Ufer zurückversetzt und flache Kiesbänke mit Ufervegetation oder Buhnen als Befestigungen schafft. Die seichten Wasserstellen in solchen Aufweitungen bieten Lebensräume für Larven und juvenile Fische. Am Übergang zu den Gewässerabschnitten über und unter der Aufweitung müssen die Verengungen seitlich und in der Sohle mit Blockrampen und Buhnen befestigt werden.⁶⁶

⁶⁶ Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Landschaft und Gewässer (2005).

Bachaufweitungen führen zu mehr und komplexeren Uferstrukturen, zu mehr Kiesablagerungen und Erosion sowie zu einem dynamischen Geschiebehaushalt.



Beispiele für Buhnen (Hasliaare).

Buhnen werden zur Prävention von Ufererosion sowohl an Meeresstränden als auch an Fließgewässern verwendet. Es handelt sich dabei um dreieckige oder spornförmige, im Boden verankerte Konstruktionen aus Felsblöcken. Zwischen den Buhnen entstehen seichte Stellen und sandige Uferstellen. Liegen sich Buhnen gegenüber, sodass sie den Bachlauf verengen, nimmt an dieser Stelle die Fließgeschwindigkeit zu. Mit dem Wechsel zwischen engen und weiten Stellen entsteht auch eine variable Sohlenstruktur.

Der Abstand zwischen den Buhnen sollte fünf bis zehnmal die Gewässerbreite betragen. Die Buhnen sollten sich im Verhältnis von 1 zu 10 der Mitte des Bachs zuneigen und in einem Winkel von 70 bis 85 Grad zur stromaufwärts gelegenen Uferlinie in den Bach ragen. Auf diese Weise leiten sie die Hauptströmung zur Bachmitte.⁶⁷

Buhnen stoppen die Ufererosion, führen zu einer variablen Strömung, zu Flachwasserstellen und zu einer komplexeren Sohlenstruktur.

⁶⁷ Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Landschaft und Gewässer (2005).



Beispiel für Wurzelstöcke als Renaturierungsmassnahme (Bödeliaare bei tiefem Wasserstand).

Ufer können auch mit dem Einbau von Wurzelstöcken befestigt werden. Die fest im Boden verankerten Strukturen, die teilweise unter Wasser liegen, bieten Verstecke für Fische.

Durch Wurzelstöcke wird die Uferstruktur komplexer; sie bieten Deckung und stoppen Ufererosion.

Tabelle 10 zeigt, dass der einzige negative Effekt der in diesem Kapitel diskutierten Massnahmen eine Reduktion der Fliessgeschwindigkeit durch die Gewässeraufweitung wäre. In allen übrigen Bereichen hat eine Aufweitung nur positive Auswirkungen, vor allem durch die eigendynamische Geschieberegulierung, die insgesamt zu gröberem Substrat führt. Buhnen erhöhen die Fliessgeschwindigkeit punktuell und reduzieren an anderen Stellen die Wassertiefe. Wurzelstöcke bieten mehr Deckung.

Massnahme	Beschleunigen der Fliessge- schwindigkeit	Reduktion der Wassertiefe	Mehr Deckung	Gröberes Substrat
Gewässeraufweitung	-	+ =	+ =	+
Buhnen	+	+	=	=
Wurzelstöcke	=	=	+	=

Tabelle 10: Die Effekte der Massnahmen im Überblick.

(+ ist positiv, - negativ, = neutral)

Die ideale Massnahme wäre die Ausweitung des ganzen Kanals, kombiniert mit der Renaturierung von Zuflüssen und kleinen Inseln. Um eine übermässige Erosion zu verhindern, würden an manchen Stelle Buhnen eingebaut. An anderen würden Wurzelstöcke mehr Deckung bieten.

Leider erlaubt dies die Lage des Hauptkanals nicht. Wie eingangs erwähnt, fliesst der Hauptkanal durch Landwirtschaftsland und teilweise neben einem Flugplatz. An vielen Stellen stehen Wohnhäuser nahe am Hauptkanal. Mit wenigen Ausnahmen führen Strassen an seinen Ufern entlang, und Brücken wurden über den Kanal gebaut. Eine unkontrollierte Ausweitung des Gewässers hätte unerwünschte Folgen.

Fazit

Die Resultate zeigen signifikante Defizite in Teilen des Ökosystems auf. Dieses Ergebnis erklärt auch die weitgehende Absenz von Forellen im Hauptkanal.

Die hier verwendete Methode eignet sich also, um die eingangs gestellten Fragen nach der Eignung des Hauptkanals als Forellenhabitat zu beantworten. Indem sie eine detaillierte Analyse dieser Defizite erlaubt, liefert sie zudem Anhaltspunkte, wo welche Verbesserungsmassnahmen möglich wären.

Allerdings reichen die hier erhobenen Grundlagen noch nicht aus, um bestimmte Massnahmen für die Ausarbeitung eines konkreten Projekts zu empfehlen. Das betrifft vor allem die Aufweitung des Kanals, die aufgrund der Erhebungen von Fliessgeschwindigkeit, Wassertiefe, Deckung, Substrat und hydraulischen Habitaten (Mesohabitaten) zur Verbesserung aller vier Abschnitte geeignete Massnahme resultierte. Mit den verfügbaren Mitteln nicht gemessen werden konnte allerdings die Erosion, die zu einer Verschlickung der Sohle durch Feinsedimente in einem Ausmass geführt hat, das uns bei den

Aufnahmen im Feld überraschte: Die Sohle ist an den meisten Stellen dermassen verdichtet, dass Forellen möglicherweise gar keine Laichgruben in den Grund schlagen können. Diese Situation führt zu einer Frage, die hier nicht beantworten werden kann:

Auf der einen Seite würde eine Aufweitung durch die Erosion der Ufer viel neues Substrat mit unterschiedlichen, vor allem groben Korngrössen in den Hauptkanal einbringen. Denn vor der Entsumpfung des Haslitals mäanderte die Aare über den ganzen Talboden. Vor der Korrektur herrschte im Fluss eine natürliche Eigendynamik im Geschiebehaushalt. Entsprechend vielfältig und naturnah ist das Substrat, das vom alten Aarelauf im Talboden zurückblieb und das durch die Aufweitung zum Teil wieder verfügbar würde für den Hauptkanal.



Abbildung 38: Aarelauf vor der Korrektur (Staatsarchiv Bern, AA V 200: Aarekorrektur Meiringen-Brienz, Haslital-Entsumpfung, Situationsplan von 1835)

Andererseits würde eine Aufweitung die Fließgeschwindigkeit des Hauptkanals insgesamt verlangsamen und damit die Gefahr der Sohlenverdichtung eher noch verstärken.



Verdichtete Sohle des Hauptkanals.

Wie sich die Ufererosion im Hauptkanal tatsächlich verhält, müsste also noch geklärt werden, bevor ein konkretes Projekt ausgearbeitet werden kann.

Noch einmal beurteilt werden müsste auch, ob es weitere Messungen braucht, die für die vorliegende Arbeit nicht durchgeführt werden konnten, insbesondere Messungen der Sauerstoffkonzentration im Wasser und mögliche Einflüsse von Nitrat und anderen Verschmutzungen.

Die Datenerhebungen für die vorliegende Arbeit könnten aber wohl weiterverwendet werden, da alles unternommen wurde, um so präzise Beschreibungen und Messergebnisse wie möglich zu gewährleisten.

Schlusswort und Dank

Bis heute wurde noch keine Arbeit über das Potenzial des Hauptkanals als Lebensraum für Bach- und Seeforellen oder überhaupt zu ökologischen Aufwertungsmöglichkeiten dieses Gewässers publiziert. Vielleicht kann diese Arbeit einen Anstoss dazu geben.

Für mich ist es die erste wissenschaftliche Arbeit, die ich geschrieben habe. Ich danke meiner Biologielehrerin Anne Pickhardt, die mich während der ganzen Arbeit unterstützt hat, und Sandro Schläppi, der mir das Thema Hauptkanal als Forellenlebensraum vorschlug, mich in die Erhebung ökologischer Daten einführte und mir half, die Mesohabitate, die Deckung und das Kanalsubstrat korrekt zu dokumentieren. Und ich danke meinem Vater Nils Hählen sowie Steffen Schweizer von der Fachstelle Ökologie der Kraftwerke Oberhasli, die ein offenes Ohr für mein Interesse an Ökologie hatten und mich mit Sandro Schläppi bekannt machten.

Ich habe viel über Forellen und ihre Lebensweise gelernt. Und ich habe mich nach Kräften bemüht, zu ihren ökologischen Ansprüchen präzise Aussagen machen zu können. Ich bin überzeugt, dass vieles getan werden könnte, um den Hauptkanal als Lebensraum aufzuwerten, und ich hoffe, dass auch die Leute im Haslital und die Behörden davon überzeugt werden können.

Literaturverzeichnis

Alabaster J. S. and Lloyd R. 1982: Water Quality Criteria for Freshwater Fish, Edition Elsevier, 2nd edition, ISBN 9781483163116, DOI 10.1016/B978-0-408-10849-2.50002-2.

Bain M., Hughes T., Arend K. 1999: Trends in Methods for Assessing Freshwater Habitats. In: Fisheries. 24(4), DOI 10.1577/1548-8446 (1999) 024<0016:TIMFAF>2.0.CO;2, pp. 16-21.

Berg O. K. and Fleming I. A. 2018: Energetic Trade-Offs Faced by Brown Trout During Ontogeny and Reproduction. In: Brown Trout: Biology, Ecology and Management, DOI10.1002/9781119268352.ch8 pp. 179-199.

Bisson P. A., Nielsen J. L., Palmason R. A., Grove L. E. 1982: A system of naming habitat types in small streams, with examples of habitat utilization by salmonids during low stream flow. In: N. B. Armantrout (ed.), Acquisition and utilization of aquatic habitat inventory information. Proceedings of a symposium, 28–30 October 1981, Portland Oregon. American Fisheries Society.

Brown S., Buja K., Jury S., Monaco M., Banner A. 2000: Habitat Suitability Index Models for Eight Fish and Invertebrate Species in Casco and Sheepscot Bays, Maine. In: North American Journal of Fisheries Management, 20, DOI 10.1577/1548-8675(2000)020<0408:HSIMFE>2.3.CO;2, pp. 408-435.

Bundi U., Peter A., Frutiger A., Hütte M., Liechti P., Sieber U. 2000: Scientific base and modular concept for comprehensive assessment of streams in Switzerland. In: Hydrobiologia 422, DOI 10.1023/A:1017071427716, pp. 477–487.

Bühler Chr., Wunderle K., Birrer St. 2017: Bewertungsmethode für Eingriffe in schutzwürdige Lebensräume. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Bern und der KBNL.

Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Landschaft und Gewässer 2005: Renaturierungs- und Unterhaltsarbeiten an Gewässern. Praxishilfe.

Elliott J. M. 1994: Quantitative ecology and the Brown Trout, Edition Oxford University Press, ISBN 978-0-19-854090.

Esteve M. 2017: The Velocity of Love. The Role of Female Choice in Salmonine Reproduction. In: Biology, Ecology and Management. Edition John Wiley & Sons Ltd, DOI 10.1002/9781119268352.ch6. pp. 147-163.

Fischenich C. and McComas D. 2007: Vegetation Impacts Upon Stream Width. In: EMRRP Ecosystem Management and Restoration Research Programm August 2007.

Hawkins C., Kershner J., Bisson P., Bryant M., Decker L., Gregory S., McCullough D., Overton C. K., Reeves G., Steedman R., Young M. 1993: A Hierarchical Approach to Classifying Stream Habitat Features. In: Fisheries, Vol. 18, No. 6, pp. 3-12.

International Union for Conservation of Nature IUCN 2012: IUCN Red List Categories and Criteria, Version 3.1, Second edition, Prepared by the IUCN Species Survival Commission, ISBN 978-2-8317-1435-6.

Jonsson B. 1989: Life history and habitat use of Norwegian Brown Trout (*Salmo trutta*). In: Freshwater Biology 21 (1), DOI: 10.1111/j.1365-2427.1989.tb01349.x, pp. 71-86.

Jonsson B. and Jonsson N. 2018: Habitat as Template for Life-Histories, In: The Brown Trout *Salmo trutta* L.: Biology, Ecology and Management, DOI:10.1002/9781119268352.ch10, pp. 229-249.

Junker J., Heimann F., Hauer Chr., Turowski J., Rickenmann D., Zappa M., Peter A. 2015: Assessing the impact of climate change on brown trout (*Salmo trutta fario*) recruitment, Hydrobiologia, 751(1), DOI 10.1007/s10750 014 2073 4, p. 1-21.

Kägi B., Stalder A., Thommen M. 2002: Wiederherstellung und Ersatz im Natur- und Landschaftsschutz. Hrsg. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Leitfaden Umwelt Nr. 11, Bern.

Kemalasari D. and Devi Ch. 2011: Relationship between different riparian vegetation cover with stream conditions in Cikapinis stream, West Java. In: Jurnal Biologi Indonesia 7 (2), DOI:10.14203/JBI.V7I2.3084, pp. 231-242.

Kirchhofer A., Breitenstein M., Zaugg B. 2007: Rote Liste der Fische und Rundmäuler der Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Bern, und Schweizer Zentrum für die Kartographie der Fauna, Neuenburg. Umwelt-Vollzug Nr. 0734. Aktualisiert nach Abschluss dieser Maturaarbeit: BAFU/info fauna (2022), Rote Liste der Fische und Rundmäuler. Gefährdete Arten der Schweiz. Bundesamt für Umwelt (BAFU); info fauna (CSCF). Aktualisierte Ausgabe 2022.

Lagarrigue T., Baran P., Lascaux J. M., Belaud A. 2001: Analyse de la variabilité de la croissance d'une population de truite commune (*Salmo trutta* L.) dans un torrent pyrénéen, In: Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 357/360, DOI 10.1051/kmae:2001004, pp. 573-594.

Lamouroux N. and Souchon Y. 2002: Simple Predictions of Instream Habitat Model Outputs for Fish Habitat Guilds in Large Streams. In: Freshwater Biology. 47. DOI 10.1046/j.1365-2427.2002.00880.x, pp. 1531-1542.

Linnaeus C. 1758: Systema naturae per Regna Tria Naturae. Impensis Direct. Laurentii Salvii.

Maisse G and Baglinière J.-L. 1990: The biology of brown trout, *Salmo trutta* L., in the River Scorff, Brittany: a synthesis of studies from 1973 to 1984. In: Aquaculture Research Volume 21, Issue 1, January 1990, DOI doi.org/10.1111/j.1365-2109.1990.tb00385.x, pp. 95-106.

Ozvarol A., Ozvarol Y., Gozacan M., Bektas S., Yildirim A. 2011: The diet of the brown trout (*Salmo trutta* L.) in different streams of River Coruh in Turkey. In: Journal of Food, Agriculture & Environment 9 (1), pp. 451-456.

Paternolli M. and Gostner W. 2014: The temporal variability of hydraulic variables depending on morphology. In: Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, RIVER FLOW 2014. DOI 10.1201/b17133-331, pp. 2485-2492.

Piccolo J. and Johan W. 2017: Foraging Behaviour of Brown Trout: A Model Species For Linking Individual Ecology to Population Dynamics?. In: Brown Trout: Biology, Ecology and Management/ [ed] Javier Lobón-Cerviá and Nuria Sanz, John Wiley & Sons, 2017, 1, DOI: 10.1002/9781119268352.ch15, p. 369-382

Raleigh R., Zuckerman L., Nelson P., Fish U., Creekside, Drake 1986; Habitat Suitability Index Models and Flow Suitability Curves: Brown Trout. Federal Government Series, FWS/OBS, 82/10.124, 65 p.

Schager E., Peter A., Burkhardt-Holm P. 2007: Status of young-of-the-year brown trout (*Salmo trutta fario*) in Swiss streams: factors influencing YOY trout recruitment, In: Aquatic Sciences. 69. DOI: 10.1007/s00027-007-0845-x, pp. 41-50 (Link)

Schulz U. H. 1999: Downstream migration of European lake trout, *Salmo trutta* f. lacustris L., and resident brown trout, *Salmo trutta* f. fario L., progeny in a Lake Constance affluent river. In: Fisheries Management and Ecology, DOI 10.1046/j.1365-2400.1999.00151.x, pp. 187-194.

Vehanen T., Bjerke P., Heggenes J., Huusko A., Mäki-Petäys A. 1999: Shelter Type Selection and Behavioural Responses by Brown Trout under Variable Flow: A Laboratory Experiment. In: Conference: 3rd International Symposium on Echohydraulics At: Salt Lake City, Utah, USA Volume: Proceedings of 3rd International Symposium on Echohydraulics.

Vismara R., Azzellino A., Bosi R., Crosa G., Gentili G. 2001: Habitat suitability curves for brown trout (*Salmo trutta fario* L.) in the River Adda, Northern Italy: comparing univariate and multivariate approaches. In: River Research and Application, Volume 17, Issue 1 January/February 2001, DOI 10.1002/1099-1646(200101/02)17:1<37::AID-RRR606>3.0.CO;2-Q, pp. 37-50.

Zhou N., Hu W., Deng J., Zhu J., Xu W., Liu X. 2017: The effects of water depth on the growth and reproduction of *Potamogeton crispus* in an in situ experiment, In: Journal of Plant Ecology, Volume 10, Issue 3, 1 June 2017, DOI: 10.1093/jpe/rtw048,3, pp. 546-558.

Ungedruckte Quellen

Aquaplust: Methodik Fische, Anhang zum Fachbericht, RWB-GÖ-A, pp. 13-27

Internet-Seiten

Barnhart Vincent, Trout Life Cycle, <https://dribbble.com/shots/15376441-Trout-Life-Cycle>, last accessed on 24/05/2022

Blank S. 2021: *Salmo trutta* f. *lacustris* LINNAEUS, 1758, www.pivi.de/arten/fische/lachsartige/seeforelle/ last accessed on 24/05/2022

Dubler Anne-Marie: «Brienzen», in: Historisches Lexikon der Schweiz (HLS), Version vom 25.01.2006. Online: <https://hls-dhs-dss.ch/de/articles/000328/2006-01-25/>, last accessed on 24/05/2022

EPA United States Environmental Protection Agency 2022: DDT - A Brief History and Status, www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/ddt-brief-history-and-status, last accessed on 18/07/2022

Geographisches Institut der Universität Bern und Bundesamt für Umwelt: Hydrologischer Atlas der Schweiz. Online: <https://hydrologischeratlas.ch>, last accessed on 18/07/2022

Vischer Daniel: «Gewässerkorrekturen», in: Historisches Lexikon der Schweiz (HLS), Version vom 11.12.2006. Online: <https://hls-dhs-dss.ch/de/articles/007850/2006-12-11/>, last accessed on 24/05/2022

Wikipedia: Seeforelle, <https://de.wikipedia.org/wiki/Seeforelle>, last accessed on 24/05/2022

Zusätzliche Daten

Amt für Geoinformation des Kantons Bern (2019): Digitaler Übersichtsplan UP5 des Kantons Bern

BAFU (2006): Geobasisdatensatz «Topographische Einzugsgebiete Schweizer Gewässer»

Swisstopo (2022): Pixelkarte 1:100'000 (PK100)

Swisstopo (2022): Orthofotomosaik SWISSIMAGE 10 cm

