

BDA-Monitoring 2022-2028



**Beaver Dam Analogs (BDAs) –
Revitalisierung Schlossbach
Phase 1 (2022-2024)**

Impressum

Autoren Silvan Minnig^A, Timon Polli^B, Niels Werdenberg^C, Nicole Egloff^D, Pascal Vonlanthen^E

^AGenossenschaft umweltbildner.ch, ^BPolli Natur und Dienste, ^CEmch+Berger AG, ^DAquaPlus, ^EAquabios

Version 2 vom 17.2.2025

Büro Genossenschaft umweltbildner.ch (www.umweltbildner.ch), Burgunderstrasse 93, 3018 Bern

Methode Biber-Mimikry als Revitalisierungsmethode BDA (www.beaverdamanalogs.ch)

Kontakt Silvan Minnig; silvan.minnig@umweltbildner.ch, +41 78 841 97 96



umweltbildner.ch
soziale und ökologische Bildung

Finanzierung Renaturierungsfonds Kanton Bern (RenF, 80%); Hallo Biber und Co. Mittelland (Pro Natura Bern und Solothurn, 20%)

Zitiervorschlag Minnig, S.; Polli, T.; Werdenberg, N.; Egloff N.; Vonlanthen, P. (2025). Expert:innenbericht: Beaver Dam Analogs (BDAs) – Monitoring Schlossbach 2022-2028 (Phase 1 2022 - 2024), Genossenschaft umweltbildner.ch, Bern, 39 S.

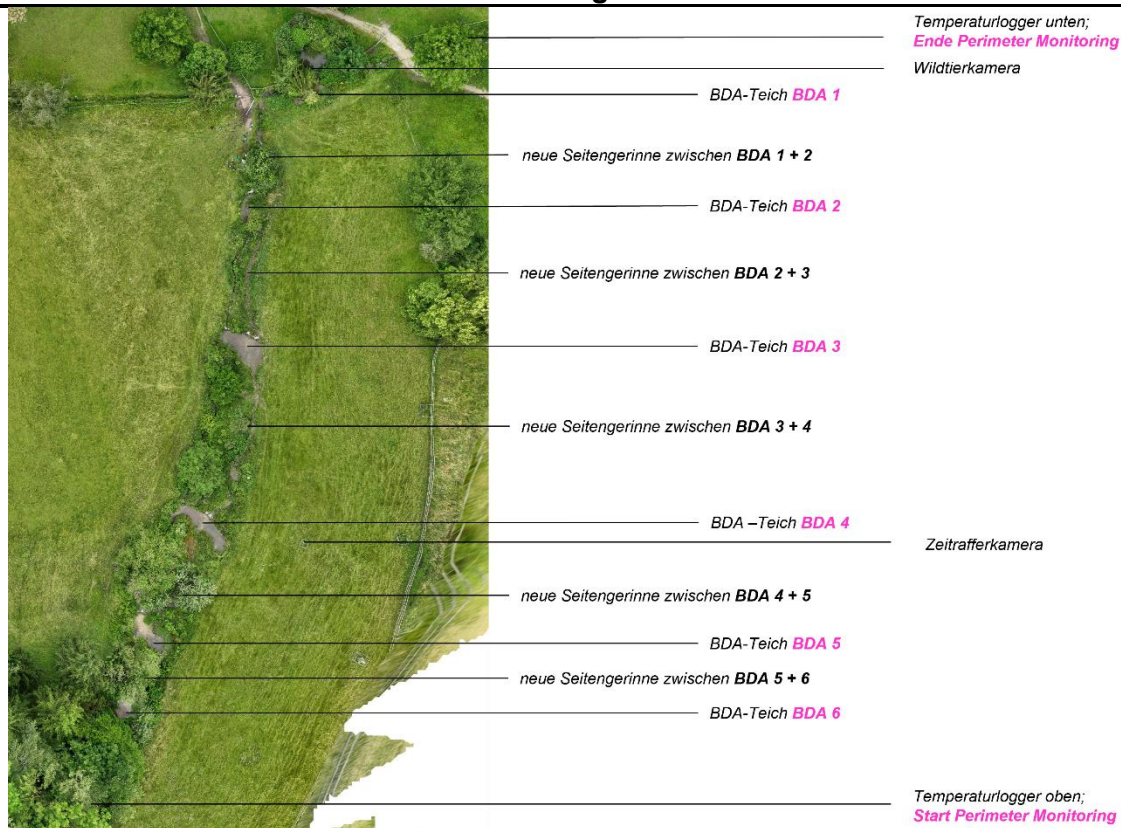
Inhaltsverzeichnis

1 Übersichtskarten 1-3 zum Monitoring und Schlossbach	3
2 Zusammenfassung	5
2.1 Ergebnisse Effekte BDAs	5
2.2 Ergebnisse Zeitraffer-Fotos	7
3 Einleitung	8
3.1 Grundlagen	8
3.2 Projektperimeter	9
3.3 Umsetzung des BDA-Projekts Schlossbach und Ziele	9
3.4 Ziele	10
3.3 Monitoring 2022-2028 (Phase 1 – 2022-2024)	10
4 Methoden	13
4.1 Struktur: Mikrohabitate (IAM) und Zeitrafferaufnahmen	13
4.2 Bestandserhebung Fische	13
4.3 Weitere Artengruppen: Makrophyten, Amphibien und Biberaktivität	13
4.4 Wassertemperatur	14
5 Resultate Struktur und Fische	16
5.1 Habitataufnahmen	16
5.2 Fische	19
5.3 Fazit Struktur und Fische: Kontrolle – 2022 vs. BDA – 2024	20
6 Resultate weitere Artengruppen: Kontrolle – 2022 vs. BDA – 2024	23
6.1 Makrophyten, Amphibien und Biberaktivität	23
6.2 Fazit weitere Artengruppen: Kontrolle – 2022 vs. BDA – 2024	25
7 Resultate Temperatur ober- und unterhalb BDA-Strecke	26
7.1 Temperatur	26
7.2 Fazit Temperatur	28
8 Diskussion	30
9 Schlussfolgerungen	33
9.1 Effekte Beaver Dam Analogs (BDA)	33
9.2 Effekte Temperatur	34
10 Empfehlungen	35
10.1 Verzögerung von Hochwassern und Schwammlandeffekt	35
10.2 Förderung Artenvielfalt und Abundanz	35
10.3 Förderung Fischbestand	35
10.4 Begleitendes ökologisches Monitoring	36
11 Literaturverzeichnis	37

1 Übersichtskarten 1-3 zum Monitoring und Schlossbach

Im Schlossbach bei Rümligen (Kanton Bern) wurde 2022 das erste grosse Revitalisierungsprojekt mit künstlichen Biberdämmen (Beaver Dam Analogs, BDAs) in Mitteleuropa umgesetzt. Es handelt sich bei BDAs um eine kostengünstige und prozessorientierte Aufwertungsmethode. Mit dieser Methode werden gerinnequerende Holzstrukturen in ein Gewässer eingebaut, um die Funktion von natürlichen Biberdämmen zu imitieren (Law, McLean & Willby (2016)). Der daraus resultierende ökologische Effekt ist ähnlich wie bei natürlichen Biberdämmen und führt dank der Bildung von neuen Lebensräumen zu mehr Struktur- und Artenvielfalt (Minnig et al. (2024)). Das Pilotprojekt am Schlossbach wird von einem ökologischen Monitoring begleitet, das die Aspekte Fischbestand, Artenvielfalt, Mikrohabitate für Fische und Strukturvielfalt sowie Temperatur untersucht. Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse der ersten Monitoringphase (2022-2024). Bevor die «Auswirkungen» der BDAs auf das Gewässer und die Arten im Detail beschrieben werden, werden die strukturellen Unterschiede und der allgemeine Verlauf des Gewässers in drei Übersichtskarten dargestellt. Die **Übersichtskarte 1** (S. 3) zeigt die Revitalisierungsstrecke im Schlossbach zwei Jahre nach dem Bau von sechs gerinnequerenden BDAs. In dieser Karte sind die Standorte der Mess- und Überwachungsgeräte eingetragen. In der **Übersichtskarte 2** (S. 4) sind die Veränderungen exemplarisch beim Gewässerabschnitt zwischen BDA 3 bis BDA 5 für die Jahre 2019 und 2024 gegenübergestellt. Die **Übersichtskarte 3** (S.4) zeigt den Verlauf des Rümligen-/Schlossbaches von der Quelle bis zur Mündung in die Gürbe. Dieser Bach ist oberhalb der Revitalisierungsstrecke eingedolt und weist unterhalb einen hohen Absturz auf, ideale Voraussetzungen, um den reinen Effekt der BDAs auf die Artenvielfalt zu messen.

Übersichtskarte 1 Perimeter BDA-Monitoring Schlossbach



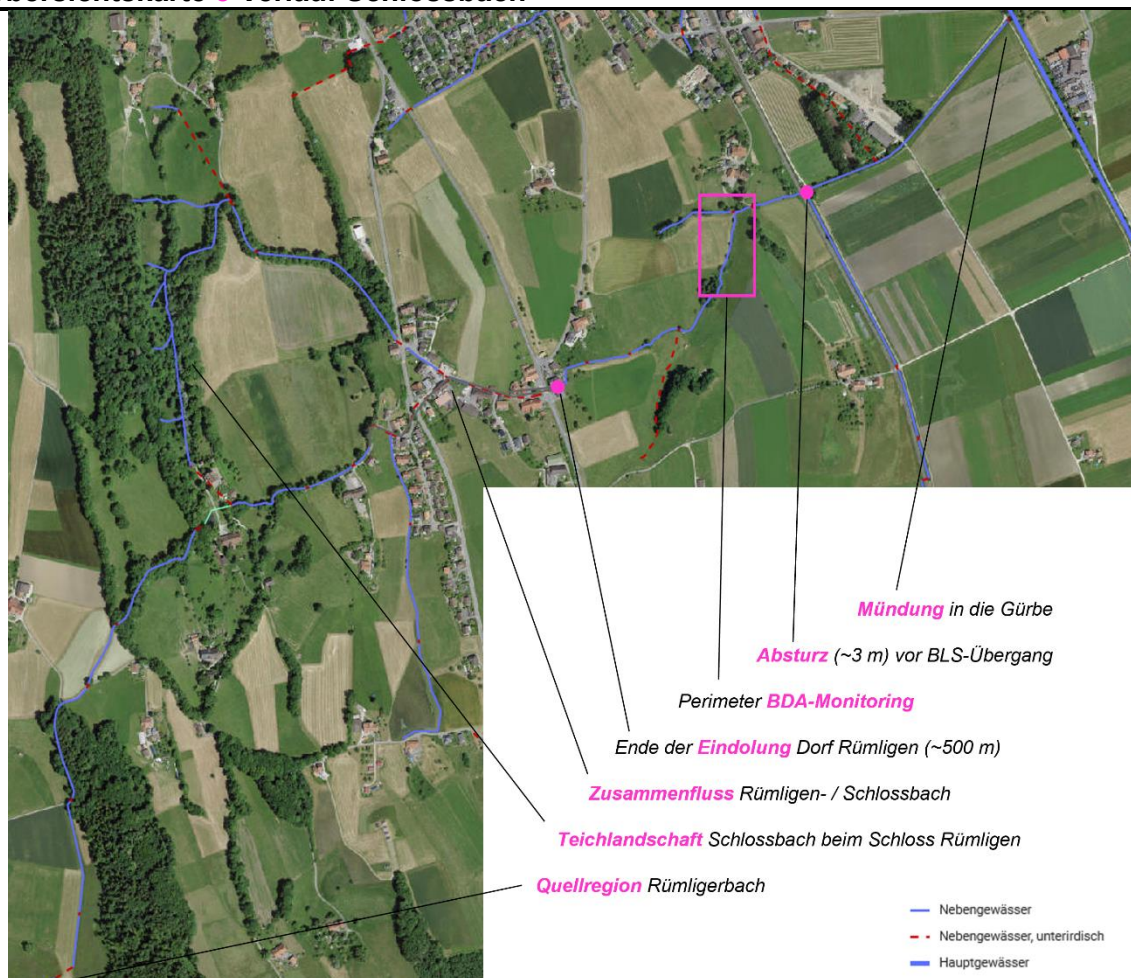
Übersichtskarte 1: Auf diese Übersicht des Revitalisierungsabschnitts wird im Bericht jeweils verwiesen. Das Drohnenvideo wurde im Sommer 2024, zwei Jahre nach dem Bau der sechs BDA-Strukturen, erstellt. @ Dominic Tinner Productions, 17.6.2024

Übersichtskarte 2 Perimeter BDA-Monitoring Unterschiede 2019-2024



Übersichtskarte 2: Auf der Homepage www.map.geo.admin.ch sind die Strukturen der BDAs (BDA-Teiche und Seitengerinne) deutlich zu erkennen. Die Gegenüberstellung der beiden Fotos zeigt das Ausmass der Veränderungen. @ swisstopo, 27.1.2025

Übersichtskarte 3 Verlauf Schlossbach

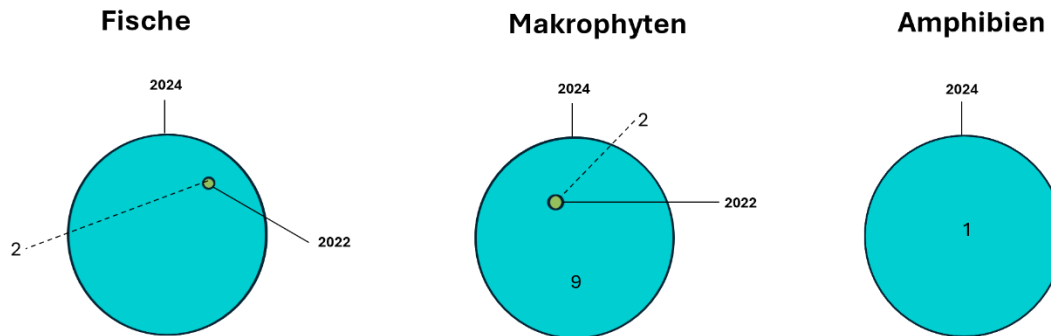


Übersichtskarte 3: Der Rümligen- und Schlossbach bilden nach ihrem Zusammenfluss den Schlossbach. Dieser fliesst nach der Eindolung durch den Perimeter des BDA-Monitorings. @ Kanton Bern, swisstopo, 27.1.2025

2 Zusammenfassung

2.1 Ergebnisse Effekte BDAs

A Zwischen 2022 und 2024 wurde ein **starker** Effekt der BDAs in den drei Artengruppen (Vielfalt und Abundanz) gemessen



Grafische Zusammenfassung A: Auf die Artenvielfalt und Abundanz bewirkten die BDAs in allen drei Artengruppen starke Effekte. Bei den Gewässerpflanzen (von 2022 auf 2024 kam es zu einer Zunahme um 9 Arten von 2 auf 11 Arten) und Amphibien (erst bei der Aufnahme 2024 wurde 1 Art gefunden) nahm die Vielfalt und Abundanz stark zu, bei den Fischen die Abundanz (mit der Elritze und der Bachforelle wurden 2022 und 2024 je 2 Arten gefunden).

blau = NUR Jahr 2024, grün = SCHNITTMENGE Jahre 2022 und 2024; Kreisgrösse zeigt Abundanz der gefundenen Arten an, jeweils im Verhältnis zur Abundanz im Aufnahmejahr 2024

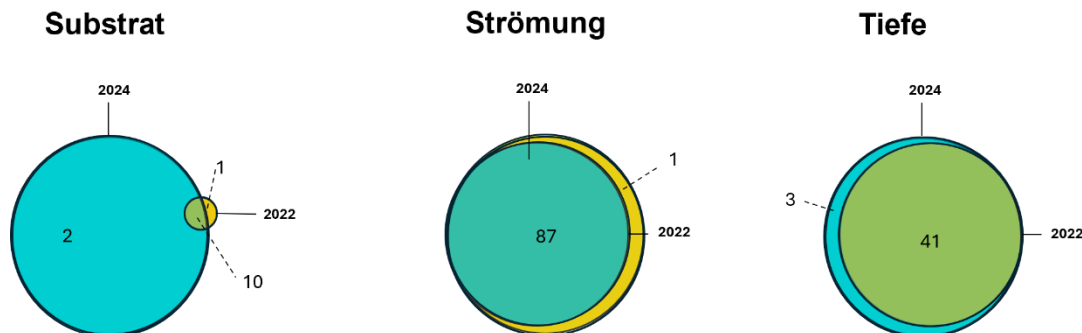
In der Grafik **A** werden die drei quantitativ untersuchten Artengruppen (Fische, Makrophyten (Gewässerpflanzen) und Amphibien) in Vielfalt und Abundanz 2022 und 2024 visualisiert. Allgemein nahm die Artenvielfalt in diesen Gruppen unterschiedlich zu, am stärksten reagierte die Gruppe der Makrophyten. Die Vielfalt steigerte sich bei den Makrophyten von 9 auf 11 Arten (**Abb. 4 B**, S. 24). Beide Fischarten (Elritze und Bachforelle) konnten im Jahr 2024 wieder gefunden werden (**Abb. 3 A**, S. 21 und **3 B-C**, S. 22). Bei den Amphibien konnte erstmals eine Art im Jahr 2024 im Untersuchungsperimeter festgestellt werden (**Abb. 4 C**, S. 24).

Bezüglich Abundanz konnte eine grosse Zunahme verzeichnet werden: Bei den Fischen fand eine Steigerung der Anzahl Fische um den Faktor 17 (**Abb. 3 A**, S. 21), bei den Makrophyten um den Faktor 13 statt. Bei den Amphibien konnten erstmals 11 Laichballen des Grasfrosches gefunden werden (vor und hinter BDA 5, siehe **Übersichtskarte 1**, S. 3).

In Grafik **B** wird ersichtlich, dass die Vernässung des Vorlandes, und damit die Fläche der benetzten Substrate, nach dem Bau der BDAs stark zunahm (Zunahme um mehr als 600 %). Insgesamt hat die Vielfalt der Substrate zugenommen, diese sind im Mittel attraktiver für Fische geworden. So sind heute 3 zusätzliche Substrate vorhanden, die bei den Fischmikrohabitaten als attraktiv gelten. Ein weniger attraktives Substrat konnte 2024 nicht mehr kartiert werden (**Abb. 1 A-F**, S. 17-18; **Übersichtskarte 1**, S. 3).

Bei der mittleren Strömungsgeschwindigkeit wurde 2024 in der BDA-Strecke eine leichte Reduktion der Fliessgeschwindigkeit gemessen. Für die mittleren Wassertiefen konnte eine leichte Erhöhung gefunden werden. Es zeigte sich, dass tiefe Wasserbereiche nicht nur in den BDA-Teichen gefunden werden, sondern auch in den Kolken direkt unterhalb der BDAs. Zeigt der Vergleich der beiden Datensätze zur Strömungsvariabilität über alle Messpunkte der Querprofile eine signifikante Änderung an, kann doch nur ein schwacher Effekt festgestellt werden. Bei den Wassertiefen führt der signifikante Unterschied 2022 vs. 2024 zu einem mittleren Effekt.

B Zwischen 2022 und 2024 konnte ein **starker** Effekt der BDAs bei den Substraten und ein **mittlerer** bei der Strömung und den Wassertiefen (Strukturtherogenität) gefunden werden

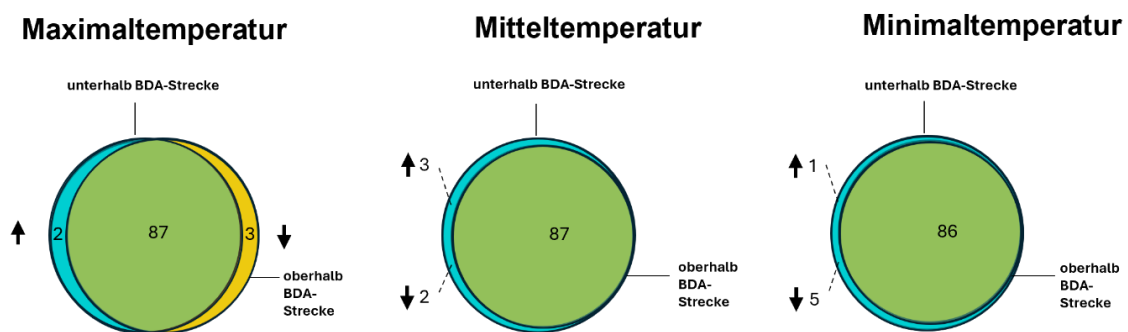


grafische Zusammenfassung B: In beiden Aufnahmen konnten total 13 benetzte Substrattypen (10+1+2) kartiert werden. Dabei wurden im Jahr 2022 11 Typen vorgefunden, im Jahr 2024 12, wobei zwei neue dazukamen und 1 Substrat verschwand.

blau = NUR Jahr 2024, hell-/dunkelgrün = SCHNITTMENGE Jahr 2022 und 2024; gelb = NUR Jahr 2022; Kreisgrösse zeigt Abundanz der gefundenen Substrattypen an, jeweils im Verhältnis zur Abundanz im Aufnahmejahr 2024

Beides führte zusammen mit der starken Vergrösserung der Wasserspiegelbreiten zu einer Zunahme der Attraktivität (Stufen: beide hoch, Zunahme um den Faktor ~2.3) und Diversität (Stufen: von hoch zu sehr hoch) der Mikrohabitate für Fische und damit zu einer allgemeinen Steigerung der Qualität des Fischlebensraumes (**Abb. 3 A-D**, S. 21-22).

C → Im Jahr 2024 war **kein** Effekt der BDAs auf die Wassertemperatur messbar



grafische Zusammenfassung C: Bei der Wassertemperatur wurden insg. 62 Tage ausgewertet. Pro Tag wurden je drei Kennwerte analysiert: Maximal-, Mittel- und Minimaltemperatur. Daher sind beide Kreise gleich gross. Maximaltemperatur: Hier konnten 87 Temperaturen mit beiden Loggern ober- und unterhalb gemessen werden, 2 höhere Temperaturwerte NUR unterhalb und 2 tiefere Temperaturen NUR oberhalb der BDA-Strecke. Mitteltemperatur: Hier konnten 87 Temperaturen ober- und unterhalb gemessen werden, 3 höhere und 2 tiefere Wassertemperaturen NUR unterhalb. Minimaltemperatur: Auch hier konnten 86 Werte mit beiden Loggern gemessen werden, 1 höherer und 5 tiefere Temperaturen NUR unterhalb.

blau = NUR unterhalb BDA-Strecke im Jahr 2024; hellgrün = SCHNITTMENGE unter- und oberhalb BDA-Strecke; gelb = NUR oberhalb BDA-Strecke im Jahr 2022; Die Pfeilrichtung weist darauf hin, ob kühlere (nach unten zeigend) oder höhere (nach oben zeigend) Werte registriert wurden.

Die Grafik **C** zeigt auf, dass die BDAs in der Messperiode 2024 keinen Einfluss auf die Wassertemperatur hatten. Die minimale Änderung der Maximaltemperatur konnte in den Mittel- und Minimaltemperaturen nicht bestätigt werden. Dies bedeutet, dass die BDA-Strecke im Schlossbach die Tagesamplitude verändert bzw. vergrössert, ohne die Wassertemperatur

global zu erhöhen (für die detaillierte Datenauswertung und die konkreten Standorte der beiden Logger siehe **Abb. 5 A-B**, S. 27; **Übersichtskarte 1**, S. 3).

2.2 Ergebnisse Zeitraffer-Fotos

Die Zeitrafferaufnahmen in **D** veranschaulichen, wie die Wasserspiegelbreite nach dem Bau der BDAs stark zunimmt (im Bild das Beispiel von BDA Nr. 4, vgl. **Übersichtskarte 1**, S. 3). Auf diesen Aufnahmen wird deutlich, wie das Wasser oberhalb des BDA strömungsberuhigt aufgestaut wird. Unterhalb des BDA fliesst das Wasser neu flächig über das Vorland und bildet neue Abflusswege aus. Somit wird der Effekt eines natürlichen Biberdammes mit flacher Uferböschung ideal imitiert.

Das vierte Zeitrafferfoto in **D** zeigt die Situation bei Hochwasserabfluss. An Tagen mit hohem Abfluss werden zusätzliche Seitengerinne gebildet und die Situation am BDA zeigt auf, dass der Bach wieder ans Umland angebunden wurde. Die grösste Wassermenge fliesst somit je nach abführender Wassermenge über, durch oder um das BDA herum ab.

D Zeitrafferaufnahmen vor dem Bau (Kontrolle – 2022) und nach dem Bau (BDA – 2024) der sechs BDAs



Zeitraffer-Dokumentation D: Zeitrafferaufnahmen vor, während und nach dem Bau der BDAs. Im Zentrum ist das BDA 4 zu sehen. Die vier Zeitrafferaufnahmen erfolgten am 11.7., 12.7., 15.7. und 29.9.2022 (Aufnahme jeweils morgens zur selben Zeit).

3 Einleitung

3.1 Grundlagen

«Biomimikry» bzw. «Bibermimikry» bedeutet die Nachahmung der Funktion natürlicher Biberdämme (Pollock et al. (2014)) in einem kleinen bis mittleren Fließgewässer. Diese Beaver Dam Analogs (BDAs) sind gerinnequerende, semiporöse Strukturen (Pollock et al. (2015), Bouwes et al. (2016), Wohl et al. (2019), Wheaton et al. (2019)), welche, ähnlich wie die natürlichen Biberdämme oder natürlichen Verklausungen (Polec et al. (2022)), nur temporären Charakter besitzen. Das langfristige Hauptziel, welches mit dieser einfachen Revitalisierungsmethode initiiert wird, ist das Wiederherstellen der natürlichen Konnektivität des Fließgewässers mit dem Um- bzw. Vorland. Dies wird erreicht, indem hinter dem BDA über die Zeit Sedimente unterschiedlicher Herkunft abgelagert werden, welche lokal die Bachsohle anheben (Westbrook & Cooper 2024). Die Verweilzeit des Wassers wird gesteigert, Hochwasserspitzen gedämpft (Käppeli-Wyss (2024)) und durch die veränderten Wasserspiegelbreiten, Pegeldifferenzen und Strömungsverhältnisse können bezüglich den aquatischen Lebensräumen die ökologischen Ansprüche von einer Vielzahl von Arten erfüllt werden. Die Artenvielfalt wird ähnlich wie bei natürlichen Biberdämmen gesteigert (Wright et al., 2002; Polec et al. (2022)), ohne dass Biber im Bach selbst aktiv sind. Mit der Umsetzung von BDAs werden diese positiven Effekte also auch in Bachabschnitten erreicht, die nicht von Bibern besiedelt sind bzw. nicht besiedelt werden können.

Im Unterschied zu natürlichen Biberdämmen können mit BDAs verschiedene Aspekte (Lage, Höhe, Fließwege) gesteuert und so geplant werden, dass keine Konflikte mit den anstehenden Nutzungen entstehen (Berücksichtigung von Drainageleitungen usw., aus Emch + Berger (2022-A)). Auch führen der Planungsprozess und die partizipative Detailplanung zu einer hohen Akzeptanz der Massnahme, wogegen bei natürlichen Biberdämmen in der Schweiz aufgrund von Konflikten sehr oft eingegriffen und dadurch ein positiver ökologischer Effekt geschmälert oder verhindert wird. BDAs können insbesondere für ökologische Aufwertungen und prozessbasierte Renaturierungen eingesetzt und bewilligt werden. Grundsätzlich gilt die Regel: Je mehr BDAs geringerer Stauhöhe in einer Revitalisierung eingebaut werden, desto besser für die aquatischen und semiaquatischen Organismen.

Am Schlossbach bei Rümligen (BE) wurden im Juli 2022 sechs BDAs gebaut (Emch + Berger, (2022-B)). Das Projekt ist die erste umfangreiche Revitalisierung mit BDAs in der Schweiz und Mitteleuropa. Im Sommer 2023 wurden am BDA 3 kleine Unterhaltsarbeiten vorgenommen (Verhindern seitlicher Fließweg im Kulturland durch Verlängerung der BDA-Struktur um ca. 1.5 Meter. siehe **Übersichtskarte 1**, S. 3). Weiterer Unterhalt kann ggf. in den nächsten Jahren folgen. Bei der Revitalisierung mit BDAs handelt es sich um eine prozessbasierte Aufwertung, bei welcher dynamische Veränderungen durch naturnahe Initialstrukturen angestoßen werden (Pollock et al. (2014); Polec et al. (2022)). Grundsätzlich brauchen diese Massnahmen keinen Unterhalt. Es kann aber je nach Situation und Ziel der Massnahmen sinnvoll sein, die Entwicklung der Strukturen langfristig zu begleiten und ggf. zu erweitern oder zu erneuern, wie dies der Biber in natürlichen Biberdammrevieren auch tun würde. Die Holzstrukturen können aber auch dem Zerfall überlassen werden, wobei ein Teil der Effekte (erhöhte Sohlenlage, Versickerung, Vernässung) auch nach Auflösung der Rückstaueffekte fortbestehen kann. Denn im Grundsatz will die Methode eigendynamische Prozesse zulassen, welche die Strukturheterogenität steigern.

Zeigen die ersten Erkenntnisse eine positive Wirkung auf die Biodiversität im Allgemeinen und die Fischfauna im Besonderen, wird die Revitalisierung Schlossbach zu einer wichtigen Referenz für künftige Revitalisierungsvorhaben mit BDAs. Erstmals bestand zudem die Möglichkeit, die Umsetzung von BDAs mit einer Wirkungskontrolle mit Vorher- (2022) und Nachheraufnahmen (2024) zu begleiten. Die Wirkungskontrolle orientiert sich am nationalen Studiendesign zur Steigerung der Biodiversität bei natürlicher Dammbauaktivität der Biber (*Minnig et al., 2024*). Die Wirkungskontrolle beinhaltete konkret die Aufnahmen der Temperatur, den Habitatstrukturen (nach IAM, *Vonlanthen et al. (2018)*) und den drei Artengruppen Makrophyten, Amphibien und Fische. Weitere Hintergrundinformationen zur Relevanz von BDAs in unserer Gewässerlandschaft können dem Artikel von *Minnig et al. (2022)* «Der Natur abgeschaut – Beaver Dam Analogs» entnommen werden.

3.2 Projektperimeter

Der Rümligen-/Schlossbach ist ein rund 3 Kilometer langer Seitenbach der Gürbe, der mehrheitlich in einer künstlichen Abflussrinne mit betonierter Sohle und über weite Strecken eingedolt geführt wird (**Übersichtskarte 3**, S. 4).

Der Schlossbach entspringt als Rümligenbach im Moos oberhalb des Dorfs Rümligen (Gemeinde Riggisberg) und fliesst danach zunächst durch den grossen Weiher im Schlosspark Rümligen (mit einem rund 5 m hohem Absturz), bevor er in einer versiegelten Betonrinne entlang der Schulhausstrasse abgeleitet wird. Durch das Dorf Rümligen wird der Bach auf einer Strecke von rund 500 m mehrheitlich eingedolt geführt, bevor er rund 440 m oberhalb des Projektperimeters wieder als offenes Gewässer fliesst.

Unterhalb der BDA-Strecke fliesst der Schlossbach noch rund 100 m im teils betonierten Gerinne ab, bevor eine rund 3 Meter hohe Sohlrampe (Absturz, glatt bzw. wenig rau (Bauwerksnummer 4002)) direkt oberhalb des Bahntrasses (Strecke Belp-Thun) das Wasser in die Ebene des Gürbetals bringt. Hier mündet der Schlossbach nach rund 500 m durchflossenem flachem Landwirtschaftsgebiet in die Gürbe (hindernisfrei, jedoch ökomorphologisch stark beeinträchtigt). Der unterste Abschnitt (rund 300 m lang) fliesst durch die Gemeinde Kaufdorf.

Zwei kleinere Zuflüsse münden oberhalb des Dorfs Rümligen in den Schlossbach: Einerseits wird das Wasser aus der Weiheranlage des Schlosses Rümligen dem Schlossbach zugeführt, andererseits wird das Wasser aus einem kleinen, ökomorphologisch stark beeinträchtigten Bach, der parallel oberhalb der Riggisbergstrasse durch eine landwirtschaftlich genutzten Fläche fliesst, über den Schlossbach entwässert.

3.3 Umsetzung des BDA-Projekts Schlossbach und Ziele

Um den Schlossbach im Projektperimeter ökologisch aufzuwerten, wurde 2021 ein erstes Konzept mit BDAs erarbeitet (Projekt *Emch + Berger*). Die Revitalisierungsmassnahmen wurden anschliessend unter Einbezug der Nutzer:innen der Landwirtschaftsparzelle im Detail geplant, von den zuständigen Behörden im Frühjahr 2022 als niederschwelliges Gewässerunterhaltsprojekt bewilligt und zwischen 12.-14. Juli 2022 umgesetzt (Baufirma *Kästli*, Bauleitung *Emch + Berger*). Die Projekt- und Baukosten von rund CHF 35'000.00 wurden vollumfänglich vom kantonalen Wasserbau und dem Renaturierungsfonds des Kantons Bern (RenF) übernommen. Insgesamt gelang es dank der BDAs, eine kostengünstige Revitalisierung umzusetzen (Laufmeterpreis CHF 175.00)

Das begleitende Monitoring wurde unter der Leitung der Genossenschaft *umweltbildner.ch* geplant, teilfinanziert (Kontrollaufnahmen 2022) und mit der finanziellen Unterstützung des Kantons Bern (*RenF*) und Pro Natura Bern (*Hallo Biber und Co.*, *Mittelland*, *Pro Natura Bern und Solothurn*) und tatkräftiger Unterstützung des Autorenteams umgesetzt.

3.4 Ziele

Mit der Umsetzung der BDAs am Schlossbach werden sechs Projektziele verfolgt:

- 1) Vernässung des Vorlandes durch die BDAs,
- 2) Schaffung eines Wasserspeichers durch die Teichstruktur,
- 3) Versickerung und Speicherung des Wassers im Projektperimeter,
- 4) Anhebung der Bachsohle und Schaffung einer höheren Tiefenvariabilität im Gerinne,
- 5) Erhöhung der Klimaresilienz für Trinkwasserquelle und
- 6) Biodiversitätsförderung

3.3 Monitoring 2022-2028 (Phase 1 – 2022-2024)

Der Perimeter für das BDA-Monitoring erstreckt sich über 190 m, zwischen den Standorten der Temperaturlogger A und B. Innerhalb dieser Strecke wurden die sechs BDAs eingebaut (siehe **Übersichtskarte 1**, S. 3).

Bezüglich der Aussagekraft des Monitorings ist die BDA-Strecke ideal lokalisiert: Oberhalb der BDA-Strecke befindet sich eine 500 m lange Eindolung (nicht fischgängig im Aufstieg, Verdriftung wahrscheinlich) und unterhalb der Strecke eine 3 m hohe Sohlrampe (nicht fischgängig im Aufstieg, Verdriftung möglich). Damit stellt die BDA-Strecke ein für Fische quasi abgeschlossenes System dar, in dem sich die Fischpopulation selbstständig vor Ort halten muss. Amphibien und Gewässerpflanzen können diesen Bereich aktiv oder passiv besiedeln.

Das Erreichen der Projektziele 1), 2) und 4) wurde durch die systematische Vermessung des Baches mit den neuen BDA-Strukturen und der flächigen Aufnahme des Substrates der benetzten Fläche überprüft. Das Erreichen von Projektziel 6) wurde durch systematische und quantitative Aufnahmen der Organismengruppen Fische, Makrophyten und Amphibien untersucht.

Nach Aussagen der Nutzer:innen der Trinkwasserquelle ist seit dem Bau der BDAs die Wassermenge angestiegen, wobei sich die Wasserqualität nicht veränderte. Damit konnte das Erreichen von Projektziel 5) zumindest qualitativ bestätigt werden. Dieses Ziel wird in diesem Bericht nicht weiter behandelt.

Für die Untersuchung von Ziel 3) war die Vorlaufzeit zu kurz. Für Änderungen im Grundwasserstand müsste als Referenz eine Datenreihe über ein ganzes Jahr (oder mind. über ein Sommerhalbjahr) vorliegen, damit der Vergleich auf den Effekt durch den Einbau der BDAs zurückzuführen ist. Da zur Erreichung der Ziele 3) und 5) die identischen Prozesse gefördert werden müssen (erhöhte Versickerung, Anhebung Grundwasserspiegel), weist das

bei Zielsetzung 5) erwähnte qualitative Ergebnis darauf hin, dass vermutlich auch Ziel 3) erreicht wurde.

Die VORHER (**Kontrolle – 2022**)-Aufnahmen der Mikrohabitate und der Fische fanden am 22. Juni 2022 (inkl. Makrophyten) statt, die NACHHER (**BDA – 2024**)-Daten wurden am 17. Juni 2024 aufgenommen (ebenfalls inkl. Makrophyten). Die Temperatur wurde zwischen Juni und November 2024 ober- und unterhalb der BDA-Strecke gemessen.

Eine Zeitrafferkamera wurde aufgestellt, um Veränderungen durch die BDA-Revitalisierungsmassnahme festzuhalten. Der Standort wurde so gewählt, dass das BDA 4 im Zentrum des Weitwinkelbildes steht. Von dieser Kamera stammen die Fotos (in diesem Bericht) und die Filme zum Bau und der Dynamik am BDA 4 im Schlossbach (auf der Internetseite www.beaverdamanalogs.ch).



4 Methoden

4.1 Struktur: Mikrohabitate (IAM) und Zeitrafferaufnahmen

Beim IAM (Indice d'attractivité morphodynamique) wird nicht nur die Diversität, sondern auch die Attraktivität der Habitate für die Fischfauna bestimmt (Vonlanthen et al. (2018)). In einem ersten Schritt werden Tiefen- und die Strömungsvariabilität des Niederwassergerinnes gemessen. In einem zweiten Schritt werden die verschiedenen Substrate kartiert und bewertet. Attraktive Mikrohabitate für Fische wie unterspülte Ufer, Totholzansammlungen, Blöcke und aquatische Vegetation werden dabei höher bewertet als weniger attraktive Mikrohabitate wie Schlamm, Sand oder Fels. Der Attraktivitäts-Wert (AW) je Substrat liegt zwischen 1 und 100. Hohe Werte ($AW > 40$) zeigen eine hohe Attraktivität, tiefe Werte ($AW < 40$) eine geringe Attraktivität an. Es ist mit dieser Methode möglich, bei der BDA-Revitalisierungsmethode die Effekte auf die Wasserspiegelbreiten, die Strömung und die Wassertiefe sowie der Substrate quantitativ zu erheben und zu vergleichen. Es liegen damit Aussagen zur Änderung des Attraktivitätsindex für die Fische und den initiierten ökologischen Wandel durch den Bau der BDAs vor.

Die Zeitrafferkamera TIKEE 3 der Firma *enlaps* wurde seitlich oberhalb dem BDA 4 installiert (siehe **Übersichtskarte 1**, S. 3). Die Kamera schoss Fotos in einem Intervall von 10 Minuten und speicherte die Daten auf einer 512 GB SD-Karte SanDisk. Diese SD-Karte wurde in einem Rhythmus von rund 4 Monaten ausgelesen. Ein kleines Solarpanel erzeugte die notwendige Energie.

4.2 Bestandserhebung Fische

Die Strecken wurden am 22. Juni 2022 und 17. Juni 2024 elektrisch quantitativ in zwei Durchgängen befischt (*Bafu: Weber & Sprecher (2019)*).

Für diese Befischungen wurde im Jahr 2022 eine und im Jahr 2024 zwei Anoden eingesetzt. Beide Male wurden Geräte des Modells EFGI 650 (*Bretschneider*) eingesetzt. Die Vermessungsstation wurde am Gewässer aufgebaut und die Hälterung der Fische im Durchflusssystem war während der Befischung gewährleistet.

Folgende Daten zu den Fischen wurden erhoben: Art, Länge, Gewicht und Anomalien oder Verletzungen. Damit lassen sich die Abundanz, die Längenklassen und Biomassen vergleichen.

4.3 Weitere Artengruppen: Makrophyten, Amphibien und Biberaktivität

Die Makrophyten wurden erstmals am Tag der Abfischung 2022 auf der BDA-Strecke aufgenommen (*Känel et al. (2017); Bafu (2019)*). Danach fanden weitere Begehungen jeweils im Juli 2022 und 2024 statt. Dabei wurde die neu benetzte BDA-Fläche zusätzlich aufgenommen. Im Feld wurde das Modul-Stufen-Konzept (MSK)-Protokoll zu den Makrophyten verwendet und weitere Arten, deren Vorkommen von Interesse sind, protokolliert. Da sich innerhalb der BDA-Strecke bereits der Lebensraumtyp Grosseggenried (*Magnocaricion*) etabliert hat, wurden in der Analyse für diesen Bericht lediglich die Makrophyten der infloflora-Liste ausgewertet. Entsprechend sind nur die Arten der ökologischen Gruppe Gewässerpflanzen in den Resultaten vorhanden und nicht auch diejenigen der Gruppe Sumpfpflanzen, zu der die *Carex*-Arten gehören. Neben der Artbestimmung wurde auch die Häufigkeit in Abundanz-Klassen aufgenommen.

Die Amphibien wurden im Februar 2022 und 2024 anhand der vorgefundenen Laichballen oder Laichschnüre gezählt. Dabei wurde auf die Laichballen-Zählung des Grasfrosches fokussiert. Hier liegen ebenfalls Daten zur Abundanz vor.

Die Biberaktivität in der BDA-Strecke wurde anhand der Kartierung von Biberspuren im Feld und mit der Installation einer Wildtierkamera dokumentiert. Eingesetzt wurde das Modell HyperFire 2 Professional HP2X der Firma *Reconyx*. Die Kamera war zwischen April und November 2023 im Bereich des BDA 1 installiert (siehe **Übersichtskarte 1**, S. 3).

4.4 Wassertemperatur

Die Wassertemperatur wurde zwischen Juni und November 2024 in Anlehnung an die Vorgaben der MSK-Methode gemessen (*Bafu (2019)*).

Zwei Logger des Modells HOBO Water Temp Pro v2 der Firma *Onset* wurden direkt oberhalb (=Kontrolle) und unterhalb der BDA-Strecke installiert. Die Logger wurden in einem massiven Doppelrohr mit Endkappen an einem Drahtseil lagestabil auf der Gewässersohle installiert. Die beiden Standorte befanden sich an beschatteten Stellen. Die Messungen liefen in einem Intervall von 10 Minuten. Somit wurden pro Monat bis zu 4'464 Werte registriert. Für die Monate Juli/August 2024 konnten somit 8'928 Daten pro Logger ausgewertet und miteinander verglichen werden.

Mit einem erstellten Auswertungsskript konnten im Statistikprogramm Project R die Maximal-, Mittel- und Minimaltemperaturen extrahiert werden. Mit dem Wilcoxon Rangsummentest wurden die beiden Logger auf Unterschiede bei den Wassertemperaturen oberhalb und unterhalb der BDA-Strecke getestet und mit Pearson's r (Korrelationskoeffizient) konnte die Effektstärke berechnet werden. Dieser Korrelationswert zeigt einen schwachen (ab 0.1), mittleren (ab 0.3) oder starken (ab 0.5) Effekt an und hilft bei der Interpretation der Signifikanzwerte.



5 Resultate Struktur und Fische

5.1 Habitataufnahmen

Die Veränderung des IAM-Werts war gross. Dazu gibt die **Übersichtskarte 2** (S. 4) einen Überblick zu den Veränderungen durch die BDA-Teiche und neuen Abflussrinnen. Der Einbau der BDAs verdoppelte die Attraktivität (IAM-AST) und steigerte die Diversität der BDA-Strecke um eine Stufe von hoch auf sehr hoch (**Abb. 3 D**, S. 22). Die Fläche des benetzten Substrats nahm zwischen den Aufnahmen 2022 und 2024 bei gleichen Abflussbedingungen um über 600% zu. War im Jahr 2022 eine benetzte Fläche von insg. 244.05 m² vorhanden, so steigerte sich diese auf 1'468.40 m² im Jahr 2024.

Mit rund 30% war die prozentuale Abnahme auf der jeweiligen benetzten Fläche beim harten Substrat (Attraktivitätswert (AW) 1 = unattraktiv) besonders eindrücklich und die prozentuale Zunahme um rund 25% der überströmten niederen Vegetation (AW 40 = attraktiv) war ebenfalls stark ausgeprägt (**Abb. 1 D-F**, S. 18).

Weiter nahm die Fläche an Wasserpflanzen (AW 40 = attraktiv) auf mehr als 21 m² zu. Die Zunahme von unterspülten Ufern (AW 90 = sehr attraktiv) und Wurzeln/Holz (AW 100 = sehr attraktiv) war mit Faktor 6 bzw. 12 ebenfalls ausgeprägt (**Abb. 1 D-F**, S. 18). Die Zunahme an Feinsedimenten und Sand war dabei mit rund 12% überraschend moderat und auf einer rund viermal grösseren Fläche wurden Uferpflanzen erschlossen (**Abb. 1 D-F**, S. 18).

Insbesondere die Wasserspiegelbreite des Schlossbaches wurde über die gesamte Strecke erhöht. Hier zeigt der Einbau der BDAs den stärksten Effekt (**Abb. 1 A**, S. 17). 2022 konnten im Mittel Breiten von 0.81 m gemessen werden, bei maximalen Breiten von maximal 1.52 m. 2024 steigerte sich das Mittel auf 5.49 m, bei einer maximalen Breite von 12.90 m.

Die Tiefenvariabilität über alle 331 Messpunkte nahm signifikant zu, bei einem mittleren Effekt (**Abb. 1 B**, S.16). Es wurden deutlich mehr tiefere Bereiche (Kolke) festgestellt, dieser Effekt wurde durch die Pegelstände der überströmten Fläche (flächig < 5 cm Tiefe) unterhalb der BDAs abgeschwächt. Dies zeigt deutlich auf, dass durch den Bau der BDAs das Vorland wieder ans Gewässer angebunden wurde. Indem der Pegel des Gewässers angehoben wurde, bildete sich eine grössere benetzte Fläche. Davor floss das Gewässer in einem eingetieften Gerinne ab. Die tieferen Stellen sind nicht nur in den BDA-Teichen zu finden, sondern auch in den Kolken und Fliesswasserrinnen unterhalb der BDAs, die neu entstanden sind.

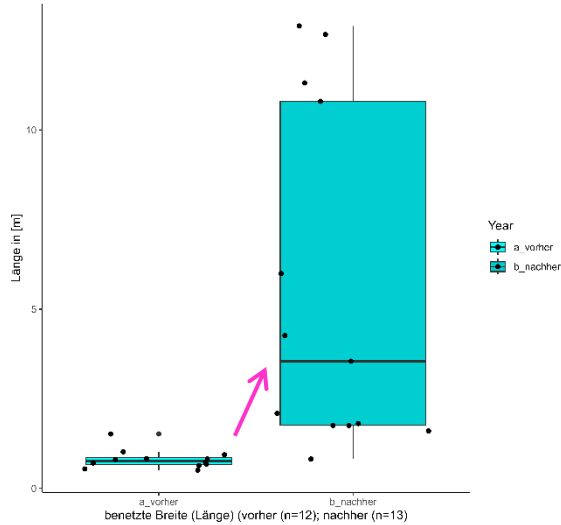
Das Strömungsprofil hat sich signifikant geändert, jedoch gab es, über alle Messpunkte betrachtet, keine grosse Verschiebung (mit $r=0.28$ wird ein schwacher Effekt (mit Tendenz zu mittlerem) angezeigt; **Abb. 1 C**, S.17). Auch hier wird in der IAM-Karte zur Fliessgeschwindigkeit deutlich, wie die überströmte Fläche im Vorland ober- und unterhalb der BDAs zu diesem veränderten Strömungsbild beitrugen.

Auch mit BDAs sind weiterhin schnellfliessende Strecken vorhanden. Insgesamt führt der Einstau, wie auch das Aufteilen auf mehrere Seitengerinne, zu einer Zunahme der strömungsberuhigten Bereiche.

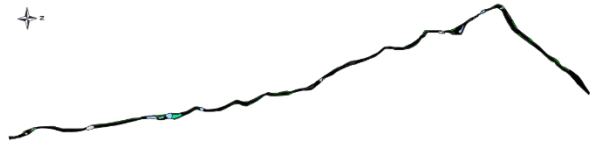
Exemplarisch für die Veränderung der Struktur in der Fliessrinne sind in **Abb. 1 E** (S. 18) zwei Aufnahmen gezeigt, die jeweils den Abfluss in der ehemaligen Fliessrinne des Schlossbaches am Tag der elektrischen Befischung zeigt (22.6.2022 und 17.6.2024).

A Effekt der BDAs auf die Wasserspiegelbreiten und die benetzten Mikrohabitate

Wasserspiegelbreite vor und nach Bau BDA
 $n=25$; $z=-3.971$; $p<0.001***$; $r=0.792$ [starker Effekt (Cohen (1992))]

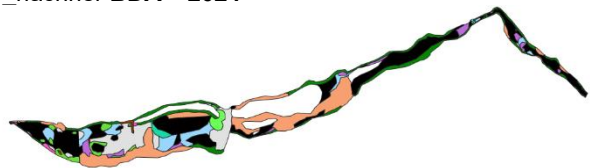


a_vorher KONTROLLE – 2022



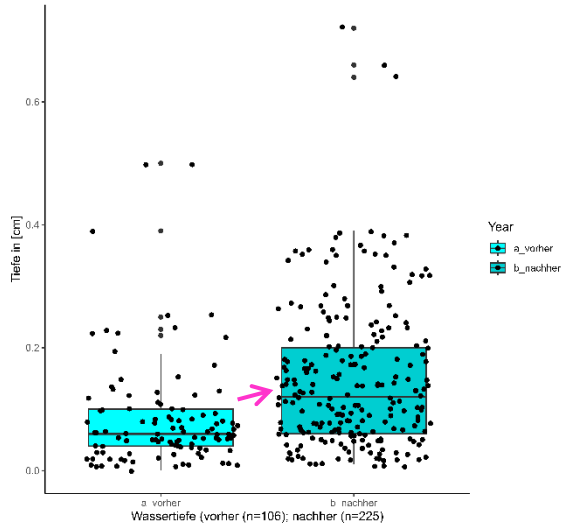
VS.

b_nachher BDA – 2024

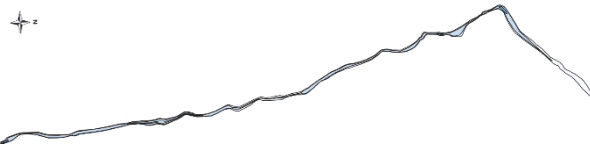


B Effekt der BDAs auf die Wassertiefenvariabilität

Tiefenvariabilität vor und nach BDA-Bau
 $n=331$; $z=-6.101$; $p<0.001***$; $r=0.335$ [mittlerer Effekt (Cohen (1992))]

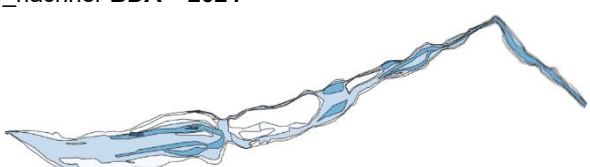


a_vorher KONTROLLE – 2022



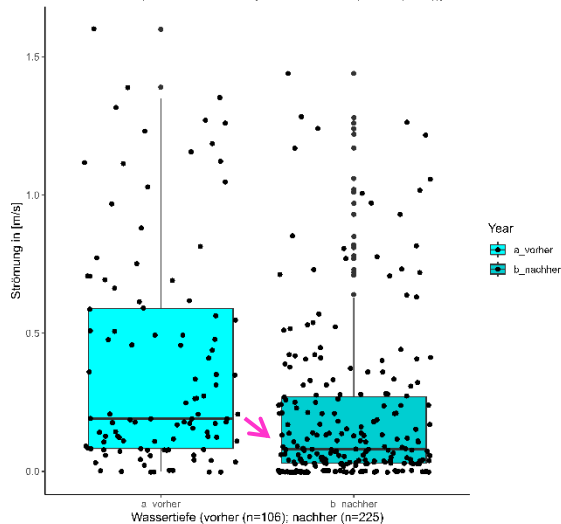
VS.

b_nachher BDA – 2024



C Effekt der BDAs auf die Strömungsvariabilität

Strömungsvariabilität vor und nach BDA-Bau
 $n=331$; $z=-5.047$; $p<0.001***$; $r=0.277$ [schwacher Effekt (Cohen (1992))]



a_vorher KONTROLLE – 2022

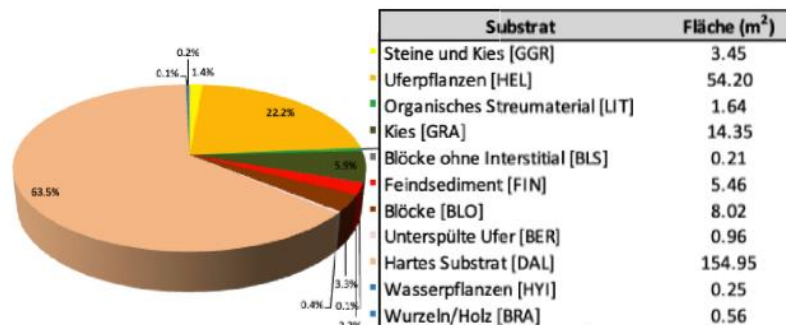


VS.

b_nachher BDA – 2024



D Verteilung Fläche Mikrohabitate und prozentuale Verteilung KONTROLLE – 2022



E Fotos Mikrohabitate KONTROLLE – 2022 vs. BDA – 2024



F Verteilung Fläche Mikrohabitate und prozentuale Verteilung BDA – 2024

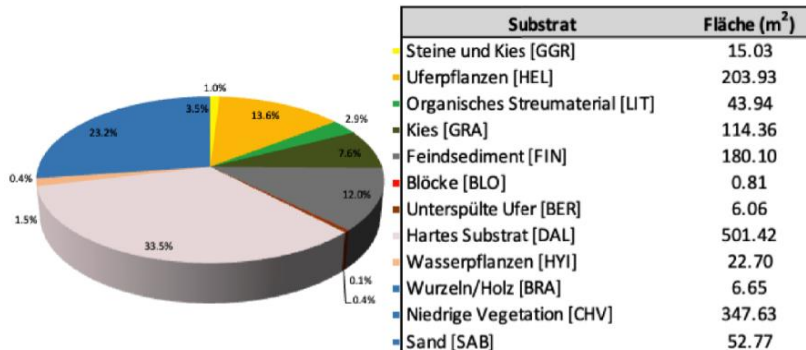


Abbildung 1 A-F: **A** Übersicht zu den Längen, **B** Tiefen und **C** Strömungsgeschwindigkeiten am Tag der elektrischen Befischungen im Jahr 2022 und 2024. Die Substrataufnahmen sind für 2022 (**D**) und für 2024 (**F**) mit den kartierten Flächen in einer Liste gegeben und prozentual in einem Kreisdiagramm dargestellt. In **E** sind die Unterschiede mit einer Detailaufnahme in der kartierten Fläche der Mikrohabitate am Tag der elektrischen Befischung 2022 und 2024.

Die erste Aufnahme entstand im Jahr 2022 in der Strecke der zukünftigen BDA 2 und 3, die zweite im Jahr 2024 bei BDA 2. Hier wird deutlich, was zur allgemeinen Veränderung in der Wasserspiegelbreite, der Tiefen- und Strömungsvariabilität beigetragen hat. Fließt das Wasser im Jahr 2022 ausschliesslich in der unnatürlich kanalisierten Fließrinne ab, wird das Gewässer im Jahr 2024 Dank den BDAs ans Vorland angebunden.

5.2 Fische

Mit der Elritze (*Phoxinus phoxinus*) und der atlantischen Forelle (*Salmo trutta*) wurden im Jahr 2022 und 2024 bei der elektrischen Befischung dieselben zwei Fischarten gefangen.

Konnten im Jahr 2022 insg. 17 Fische gefangen werden, so waren es im Jahr 2024 schon 287. Dabei war die Zunahme bei der Elritze besonders stark (Faktor 38, von 7 auf 274), während die Zunahme bei der Bachforelle moderater ausfiel (Faktor 1.4, von 10 auf 14).

Der bereits vorher bestehende Teich (neben BDA 1) in der BDA-Strecke wurde jeweils nicht befischt. Damit konnten die Daten direkt zwischen den Jahren verglichen und auf Effekte des Einbaus der BDAs geprüft werden.

Alle Forellen konnten nach Länge bestimmt werden, von insg. 121 Elritzen liegen ebenfalls Längenangaben vor.

Dabei zeigt sich, dass sich die mediane Grösse der Bachforelle leicht nach oben verschoben hat. Die grösste Forelle (**Abb. 3 B**, S. 22) aus dem Jahr 2022 wurde 2024 nicht mehr gefangen, dafür ein Exemplar zwischen BDA 4 und BDA 5, welches etwas über 200 mm gross war (**Abb. 2**, S.19; **Übersichtskarte 1**, S. 3). Die 0+ Forellen waren 2024 also etwas grösser als noch 2022. Bei den Elritzen gab es eine Normalisierung der Grössenverteilung. Im Jahr 2024 zeigt diese Verteilung eine gesunde Population, in der jede Grössenklasse vertreten ist.

Längenverteilung Bachforelle und Elritze 2022 vs. 2024

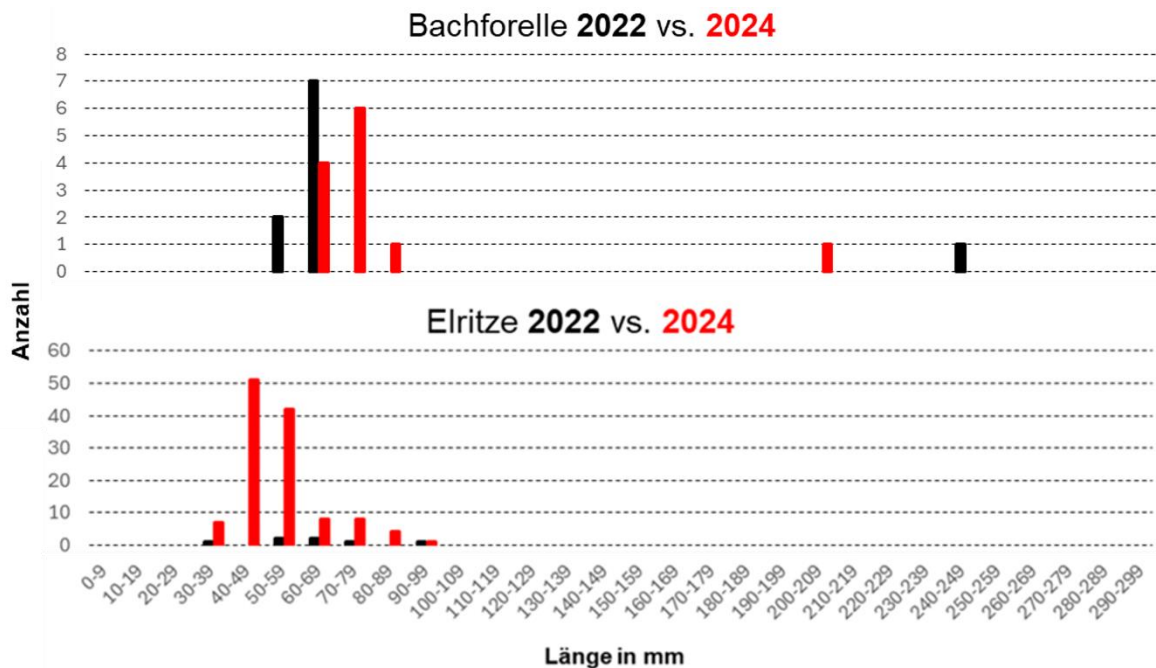


Abbildung 2: Gezeigt sind die Längenverteilungen der beiden Fischarten im Schlossbach und deren Veränderung. Für die Bachforelle konnten alle Fische vermessen werden, bei der Elritze sind 121 Individuen gezeigt. schwarz = Länge und Anzahl der Fische im Jahr 2022, rot = Länge und Anzahl der Fische 2024

Die ausgeprägte Laichfärbung eines Elritzen-Männchens gibt zusätzlich Hinweise für lokale Reproduktion an (**Abb. 3 C**, S. 22). Das kiesige Substrat, woran die Weibchen die Eier kleben, nahm durch den Einbau der BDAs um den Faktor 8 zu. Somit sind die ökologischen Ansprüche für die Reproduktion, welche die Elritze an ihren Lebensraum stellt, durch die BDAs im Schlossbach gesteigert worden. Die Fläche an Ufervegetation, welche mit Wasser überströmt wird, gibt den Elritzen den bevorzugten Strömungsschutz und bietet Versteckmöglichkeiten vor Fressfeinden. Diese Bedingungen sind besonders in den BDA-Teichen und in den neuen

Gerinnen unterhalb der BDAs entstanden. Diese Bereiche konnte die strömungsbedürftige Art im Schlossbach schnell neu und dicht besiedeln, wobei die frühere Abflussrinne meist gemieden wird. Wie in **Abb. 3 A** (S. 21) gezeigt, konnten in den neuen Strukturen die Elritzen bevorzugtes Habitat finden, welches schnell angenommen wurde.

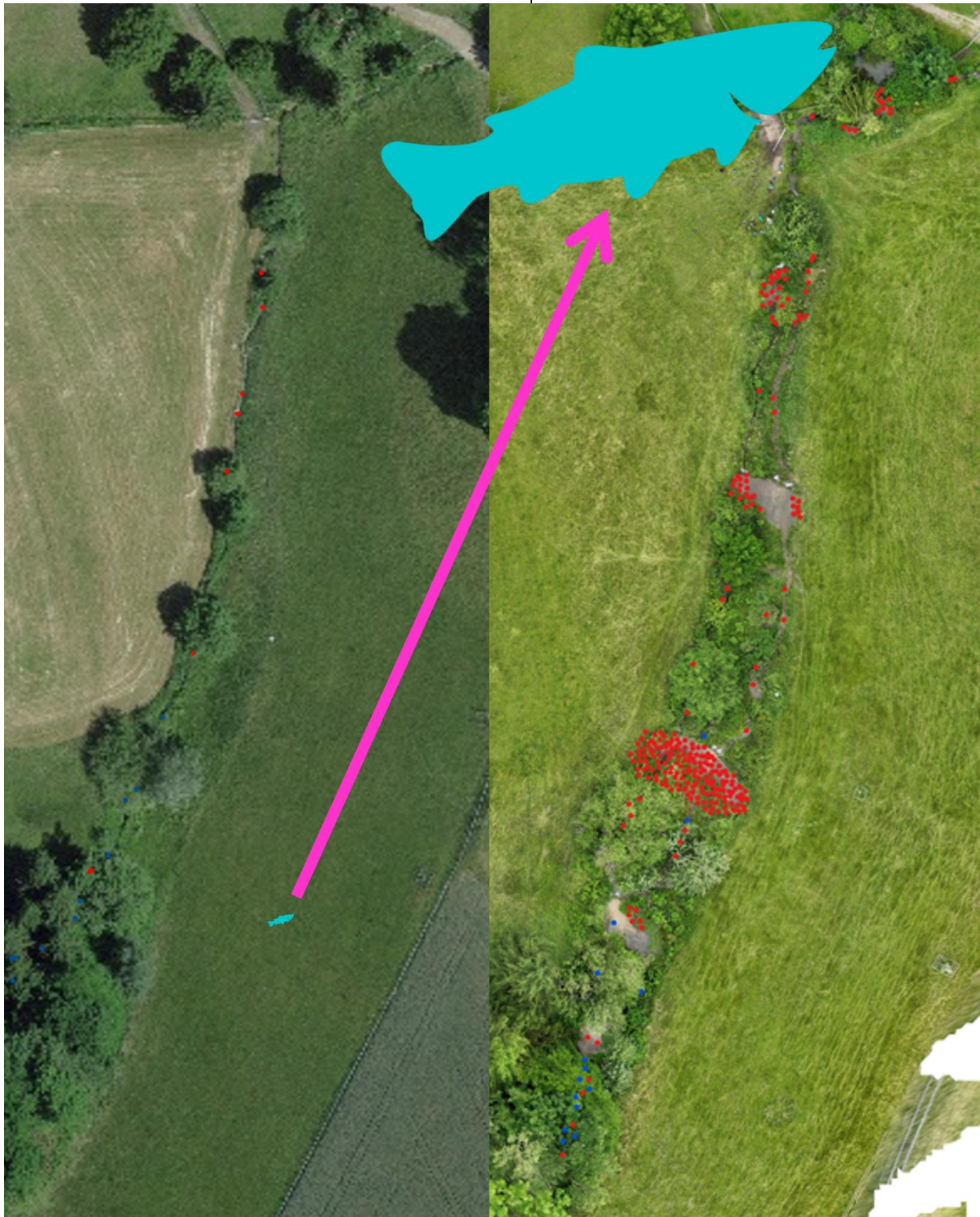
5.3 Fazit Struktur und Fische: Kontrolle – 2022 vs. BDA – 2024

- Die strukturellen Unterschiede, die sich zwischen den zwei Aufnahmejahren 2022 und 2024 eingestellt haben, sind stark ausgeprägt. In den **Abb. 2** und **3 A** (S. 19 und S. 21) ist dies eindrücklich dargestellt.
- Mit den BDAs konnten eine grosse Fläche vernässt, zusätzliche Gerinne gebildet und insg. die Strömungsdynamik und Tiefenvariabilität verändert werden. Dies hat direkte Auswirkungen auf einzelne Arten (nicht nur Fische), die von diesen Bedingungen profitieren.
- Für Fische unattraktive Substrate nahmen ab, attraktive nahmen zu oder kamen neu dazu. Die positiven Konsequenzen dieser Veränderung können mit den Befischungen insb. anhand der Elritze eindrücklich gezeigt werden. Die deutliche Zunahme kann direkt mit der punktuellen starken Strömungsberuhigung und dem Vorhandensein von Uferpflanzen, die ins Wasser ragen, oder niederer Vegetation, die überrieselt wird, in Zusammenhang gebracht werden. Zudem findet diese Art mehr kiesiges Laichsubstrat als vorher.
- Wurden im Jahr 2022 nur einzelne Fische gefangen, finden sich nun einzelne Elritzen-Schwärme in und zwischen den BDA-Teichen. Das Bilden von Schwärmen (Gruppen mehrere Fische) ist bei der Elritze ein natürliches Verhalten. Die Laichzeit erstreckt sich von April bis Juni. Somit konnte die zweite Generation an Fischen im Juni 2024 nach dem Bau der BDAs befischt werden, was auch gut an der Längenzusammensetzung zu erkennen ist.
- Die Zunahme bei der Forelle ist weniger offensichtlich, jedoch findet diese möglicherweise, wegen dem Fehlen von adulten Laichtieren im Vergleich mit den Elritzen etwas zeitverzögert statt. Inwiefern auch die Forellen von den Massnahmen profitieren können, wird bei der nächsten Aufnahme in ein oder zwei Jahren ersichtlich.

Zunahme bei den Fischen zwischen 2022 und 2024

KONTROLLE – 2022

BDA – 2024



B grössere Bachforelle 2022



C männliche Elritze in Laichfärbung 2024



D Resultate IAM → Steigerung der Attraktivität und Diversität durch die BDAs

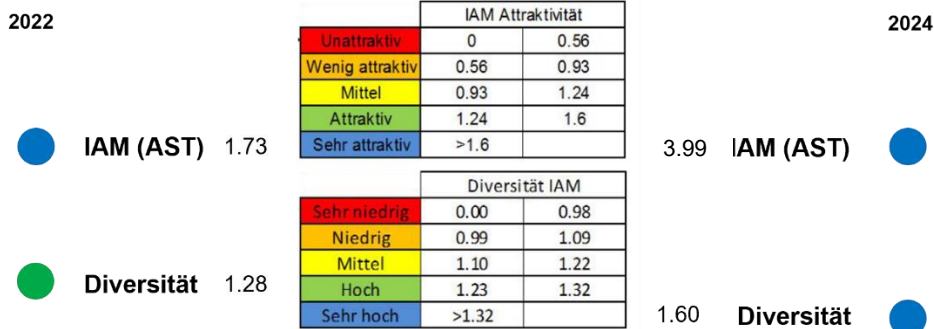


Abbildung 3 A-D: In **A** ist die Veränderung des Fischbestandes und der Fundorte der Elritzen und Bachforellen im Vergleich 2022 vs. 2024 gezeigt. In **B** und **C** werden besondere Exemplare, die während den elektrischen Befischungen gefunden wurden, gezeigt. In **D** wird auf die starke Zunahme der Attraktivität (Faktor ~2) und Diversität (um eine ganze Stufe, von hoch zu sehr hoch) der Mikrohabitate für Fische zwischen den beiden quantitativen Abfischungen hingewiesen.

6 Resultate weitere Artengruppen: Kontrolle – 2022 vs. BDA – 2024

6.1 Makrophyten, Amphibien und Biberaktivität

Bei der Aufnahme der Makrophyten wurden auf die quantitative Erfassung von Arten (insb. Carex-Arten des Grossegegenriedes (*Magnocaricion*)) verzichtet. Dies, da schon im Jahr 2022 dieser Lebensraumtyp links- und rechtsufrig des Gerinnes ausgeprägt vorhanden war, welcher periodisch bei Hochwasser überflutet wurde. Während Mittel- und Niedrigwasserregime war der Bach jedoch in der künstlich erstellten Betonrinne in der Tiefe verschwunden. Die ökologische Gruppe der Sumpfpflanzen toleriert diese periodisch schwankenden Wasserstände mit ausgeprägten Trockenphasen gut. Daher wurden bei der Analyse der Daten auf die Veränderungen, die sich durch die BDA-Teiche einstellten, fokussiert. Dazu wurden diejenigen Makrophyten, welche auf permanente Anbindung an das Wasser angewiesen sind, quantitativ aufgenommen.

So nahm insgesamt die Artenvielfalt der Makrophyten, welcher nachweislich nach dem Bau die BDA-Teiche oder den Bereich direkt vor den BDAs im Jahr 2024 besiedelt hat, um 9 Arten auf insg. 11 Arten zu. Zwei Arten (*Cardamine amara* und *Veronica becca-bunga*) wurden schon in den Aufnahmen 2022 in der Strecke gefunden (insbesondere zwischen BDA 1 und 2; siehe **Übersichtskarte 1**, S. 3).

Hippuris vulgaris, welcher im Teich (nicht befischt) jeweils 2022 und 2024 gefunden wurde, war auch 2024 in den BDA-Teichen noch nicht präsent. Demgegenüber breitete sich *Iris pseudacorus* von unten her bis zum BDA 5 und 6 aus, wo sie jeweils direkt unterhalb der jeweiligen BDAs wächst. In allen BDA-Teichen konnte das Süssgras *Glyceria notata* neu gefunden werden. Zu diesen gesellten sich grössere Ansammlungen vom bereits vorhandenen *Cardamine amara* und *Veronica becca-bunga*. Im BDA 4 konnte neu *Equisetum fluviale* und *Caltha palustris* gefunden werden. In den BDAs 3 bis 6 konnte das Vorkommen von *Epilobium parviflorum* (jeweils an besonnten Stellen des BDA-Teichrandes) und *Veronica anagallis-aquatica* neu kartiert werden. Die Makrophytenvielfalt nahm somit insgesamt stark zu. Neben dem Lebensraum Magnocaricion stellt sich nun auch partiell ein typischer Bachlebensraum (*Clycerio-Sparganion*) ein.

Insgesamt nahm der Bestand an Makrophyten, welcher nachweislich dank den BDAs gefördert wurde, um den Faktor 13 zu.

Da im Jahr 2022 keine stömungsberuhigten Stellen im Perimeter vorhanden waren, wurden auch keine Amphibien gefunden. Dies änderte sich im Jahr 2024, wo in dem mit Süssgras und Bachbungen Ehrenpreis besetzten Randbereichen des BDA 5 insgesamt 11 Laichballen des Grasfrosches gezählt werden konnten. Die Pionierart Grasfrosch zeigte eine schnelle Neubesiedelung der BDA-Teiche. Die Laichballen konnten sowohl im BDA 5-Teich selbst wie in dem neuen Abflussgerinne unterhalb den BDA 5 gefunden werden. Dies jeweils in wenig tiefen und stark strömungsberuhigten Stellen (**Abb. 4 C**, S. 24).

Der Biber zeigte sich als doch regelmässiger Besucher der BDA-Strecke (**Abb. 4 A**, S. 24) und zwei unterschiedliche Tiere konnten festgestellt werden. So konnte in einer Aufnahmezeit mehrfach das nächtliche Auftauchen des grossen Nagetieres mit der Wildtierkamera nachgewiesen werden. Davon zeugten auch deutliche Nagespuren bis hinauf zum BDA 5, wobei sich die Aktivität im Bereich BDA 1-2 fokussierte (Fund von einzelnen Nahrungshölzern). Eine permanente Besiedelung der BDA-Strecke durch den Biber ist jedoch sehr unwahrscheinlich, da die flachufrigen Stellen, die die BDAs durch die Anbindung des

Vorlandes geschaffen haben, für Grabungen der Biberbaue ungeeignet sind. Für den Biber ist mit der Beweidung durch Pferde und mit der Begleitung der Schafherde durch Herdenschutz Hunde wohl ein zu hohes Stresspotential da, was wiederum eine permanente Besiedlung verunmöglicht.

Da Biber zusätzlich zu den BDAs durch ihre Grab- und Fällaktivität mehr Uferstrukturen (u.a. unterspülte Ufer (AW = 90, sehr attraktiv für Fische)) und Totholz (AW = 100, sehr attraktiv für Fische) einbringen würden, könnten sie die lokale Habitatvielfalt zusätzlich steigern. Mit den BDAs konnte jedoch wenigstens eine wichtige Biberaktivität durch den Menschen eingebracht werden, die Dammbauaktivität. Diese Biber-Mimikry zeigte in der Revitalisierungs-Strecke einen starken Effekt auf die Diversität der Habitate und Arten, obwohl bis Ende 2024 nur zwei Bauphasen (Erstellen der BDAs 1 bis 6 im Sommer 2022, lokale Unterhaltsarbeiten an BDA 3 im Sommer 2023) unternommen wurden.

A Biberpräsenz im August und Oktober 2023



B Makrophyten März 2024



C Amphibien März 2024



Abbildung 4 A-C: Mit den Fotos aus der BDA-Strecke sind exemplarisch die Effekte auf den Biber selbst (A), die Makrophyten (B) und die Amphibien (C) dargestellt, welche direkt auf den Einbau der BDAs zurückzuführen sind. Die zwei Fotos in B und C wurden am selben Tag vor und nach BDA 5 aufgenommen.

6.2 Fazit weitere Artengruppen: Kontrolle – 2022 vs. BDA – 2024

- Makrophyten zeigen eine schnelle Besiedlung der BDA-Strecke und besonders die Bedingungen in den BDA-Teichen können ihre ökologischen Ansprüche abdecken.
- In den BDA-Teichen kommen die Makrophyten in grösseren Gruppen vor.
- Der Grasfrosch gilt unter den Amphibien als Pionierart, welcher schnell neue Laichplätze findet und nutzt. In den BDA-Teichen oder vor den BDAs, bei welchen das Vorland flächig und stark strömungsberuhigt angebunden wurde, konnten die ersten Laichballen im Jahr 2024 gezählt werden.
- Der Biber taucht regelmässig in der BDA-Strecke auf. Bis Ende 2024 konnten keine Zeichen einer permanenten Besiedlung gefunden werden.
- Für eine permanente Besiedlung brauchen Biber insbesondere Uferbereiche, in denen sie ihre Bauten graben können. Solche Uferbereiche sind in der BDA-Strecke im Schlossbach nicht vorhanden. Zudem sind die Einstaustufen in den BDA-Teichen jeweils deutlich unter 80 cm, der bevorzugten Tiefe in den Biberteichen.
- Obwohl die Biber durch weitere Aktivitäten die Struktur und Artenvielfalt weiter fördern würden, konnte mit der Umsetzung der BDAs im Revitalisierungsperimeter auch **OHNE** Biber die Diversität der Habitate und Arten eindrücklich gesteigert werden.

7 Resultate Temperatur ober- und unterhalb BDA-Strecke

7.1 Temperatur

Insgesamt konnte mit der unternommenen Messung ober- und unterhalb des Projektperimeters kein Effekt der BDAs auf die Wassertemperatur festgestellt werden. Dieses Resultat reiht sich in die Untersuchungen zur Wassertemperatur in Fließgewässern mit natürlichen Biberdämmen ein (*Minnig et al. (2024); Mende & Sieber (2021)*). Kleine Veränderungen konnten festgestellt werden, welche jedoch nicht in Zusammenhang mit den BDAs stehen, sondern sich in Abflussrichtung des Wassers natürlicherweise einstellen. Um diese richtig einordnen zu können, werden sie im Folgenden detailliert beschrieben.

Um untenstehende Überlegungen einordnen zu können, ist es wichtig, dass in der Geländemulde, in welcher die BDAs eingebaut sind, Regenwasser direkt in den Bach einfließen kann. Dies ist oberhalb nicht möglich, da hier andere geomorphologische Bedingungen vorkommen. Diese verhindern einen Abfluss des Niederschlags direkt in den Bach.

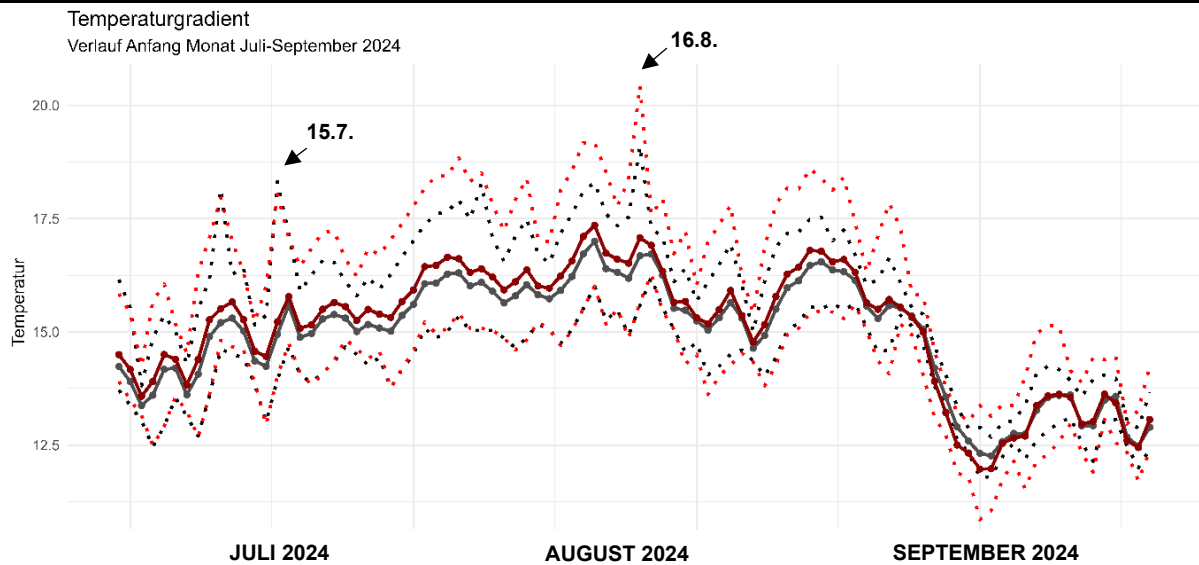
Der Tagesgang der Wassertemperatur zeigte während den Monaten Juli bis September 2024 kleine Verschiebungen in den drei Temperatur-Kennwerten der Maximal- Mittel- und Minimaltemperatur. Die Maximaltemperatur nimmt im Mittel leicht zu ($+0.61^{\circ}\text{C}$, $p>0.01^{**}$, $r=0.26$ (schwacher Effekt)), die Mitteltemperatur ist knapp oberhalb des Fehlerbereichs des Datenloggers ($+0.27$, $p=\text{ns.}$, $r=0.16$ (in der Tendenz kein Effekt, bei einem Fehlerbereich von $(\pm 0.21^{\circ}\text{C})$) und die Minimaltemperatur verändert sich insgesamt nicht (0.00 , $p=\text{ns.}$, $r=0.002$ (kein Effekt)). In **Abb. 5 B** (S. 27) sind die drei Kennwerte zur Wassertemperatur in Boxplots dargestellt.

Der Temperaturgang der drei Kennwerte wird für die Monate Juli bis September in der **Abb. 5 A** (S. 27) dargestellt. Dadurch konnten die Veränderungen nach Datum und meteorologischem Ereignis analysiert werden. Zwei Tage zeigen auffällig Wassertemperatur-Kennwerte. Die höchsten Maximaltemperaturen wurden an den Tagen 15.7. und 16.8. sowohl für die Kontrolle (oberhalb) als auch die BDA-Strecke (unterhalb) registriert. Wurde am 15.7. unterhalb noch ein um -0.29°C kühlerer Maximalwert gemessen, so erhöht sich dieser am 16.8. um $+1.33^{\circ}\text{C}$. An beiden Tagen hat sich in der Region ein heftiges Gewitter entladen, wobei bei der nächstgelegenen MeteoSchweiz-Messtation in Kiesen 47.4 mm (15.7.) bzw. 33.7 mm (16.8.) Niederschlag gemessen wurden. Diese Mengen an Wasser versickern nicht mehr in nützlicher Zeit im Boden, sondern fließen, stark erwärmt vom heißen Wiesenboden, im Bereich des Revitalisierungsperimeters direkt in den Schlossbach ab.

Die leichte Erhöhung der Maximalwerte soll anhand der Maximaltemperatur für den Monat August eingeordnet werden. Insgesamt wurden je Logger 4'464 Temperaturdaten registriert. Dabei wurden oberhalb der BDA-Strecke 38 Werte (oder rund 1% aller Daten) höher als 18.0°C , unterhalb 305 Werte (oder rund 7% aller Daten) registriert. Wurden oberhalb der BDA-Strecke an einem Tag (16.8.) zwei Werte über 19.0°C registriert (rund 10 % aller Werte über 18.0°C), so waren es unterhalb an drei Tagen (11./12./16.8.) insgesamt 30 Temperaturmessungen über 19.0°C (oder rund 5 % aller Messungen oberhalb 18.0°C).

Grundsätzlich wurde durch den Bau der BDAs der Temperaturverlauf minim verändert. Die grössten Änderungen können auf meteorologische Ereignisse (gewittrige Regenmengen und Sonnenscheindauer mit hohen Temperaturwerten) zurückgeführt werden.

A Temperaturgradient Kontrolle (grau) und BDA (rot)



B Vergleich Maximal-, Mittel- und Minimaltemperatur

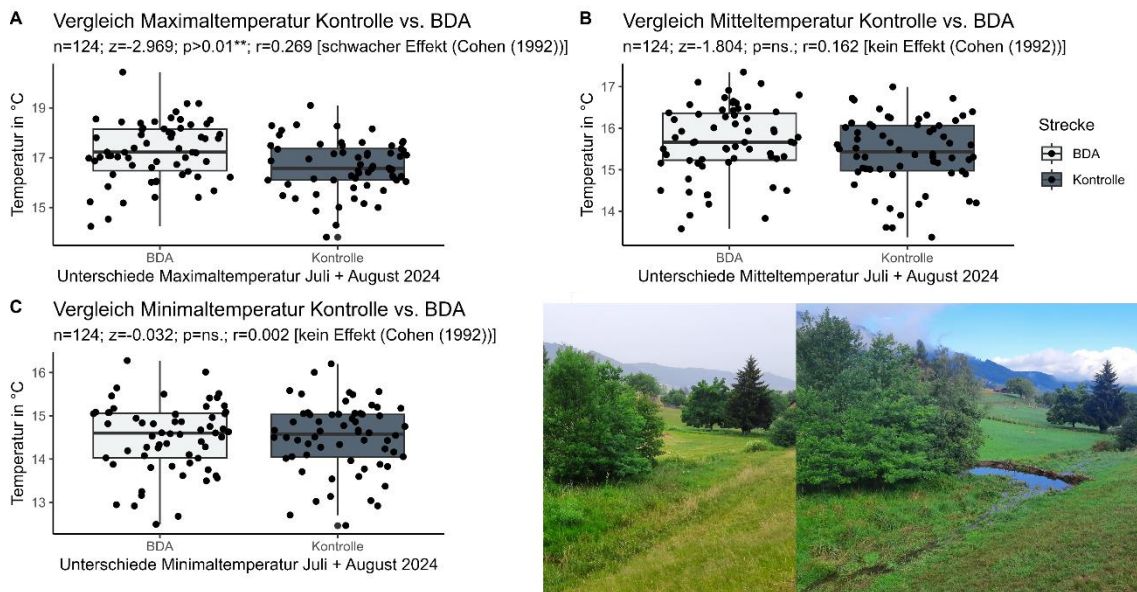


Abbildung 5 A-B: A Temperaturganglinien für den Logger oberhalb (dunkelgrau) und unterhalb der Strecke mit den BDAs (dunkelrot). Eine geringfügige Erwärmung wurde bei den Maximaltemperaturen festgestellt. Die Effekte sind in B anhand Boxplots dargestellt. Dabei werden für die Minimal- und Mitteltemperatur keine bis tendenziell schwache Effekte in den jeweils insg. 92 Daten berechnet. Ein schwacher Effekt fand bei der Maximaltemperatur statt. Die zwei Fotos vom Standort des BDA 3 zeigen die gering beschattete Situation in der BDA-Strecke und die Ausrichtung nach Westen, was viele Abendsonnenstunden bedeutet. Beide Bedingungen begünstigen eine Erwärmung des Wassers im Sommer.

7.2 Fazit Temperatur

- Die Temperaturamplitude im Tagesgang wird in der BDA-Strecke grösser. Obwohl leicht höhere Maximaltemperaturen gemessen wurden, kühlte sich das Wasser stärker ab und erreichte das Niveau der Werte oberhalb der BDA-Strecke.
- Trotz der grösseren Wasserspiegelbreiten und der längeren Verweildauer des Wassers im Offenland mit wenig Beschattung, erwärmt sich die Wassertemperatur insgesamt nur minimal (bspw. Mitteltemperatur).
- Die durch die BDAs entstandene neue und breitere Gerinnegeometrie wird durch einen allgemein etwas höheren Pegelstand ergänzt. Dies hilft, eine starke Erwärmung des Wassers zu vermeiden.
- Kurzzeitig starke Abweichungen bei den Maximaltemperaturen können auf meteorologische Ereignisse zurückgeführt werden. So zeigt sich, dass die höchsten Wassertemperaturen während und nach lokalen Starkregenfällen gemessen wurden.
- Diese Erhöhung kann nicht in Zusammenhang mit den BDAs gesetzt werden, sondern wird durch den Eintrag von stark erwärmtem Wasser über das Umland begünstigt. In den Detaildaten sind diese kurzfristigen Änderungen ersichtlich.
- Die Maximaltemperaturen sind über die gesamte analysierte Zeit tendenziell leicht erhöht. Dies kann nicht auf die BDAs zurückgeführt werden.
- Die gemessenen schwachen Effekte sind nicht eindeutig auf die BDAs zurückzuführen und daher wird davon ausgegangen, dass die BDAs keinen Einfluss auf die Wassertemperatur haben.
- Trotzdem empfehlen die Autoren, eine dichtere Strauch- und Baumkrone anzustreben, damit die mögliche Erwärmung des Wassers nicht nur im eher «kühlen» Sommer 2024, sondern auch in ausgesprochenen Hitzesommern vermieden werden kann. Dazu müssten jedoch längere Datenreihen vorliegen.



8 Diskussion

Der Bau von BDAs am Schlossbach war nicht nur aus ökologischer Sicht erfolgreich. Auch die Nutzer:innen der Landwirtschaftsparzelle sowie die Bauleitung und die Baufirma sind zufrieden mit der Umsetzung und der Entwicklung des Gewässers. Da es sich um das erste umfangreiche Vorhaben in Mitteleuropa handelt, welches zudem mit einem Monitoring begleitet wurde, können mehrere Ergebnisse kritisch eingeordnet werden.

Der Perimeter Schlossbach ist für ein Monitoring ideal gelegen, da oberhalb eine lange Eindolung und unterhalb ein hoher Absturz bestehen. Dies zeigt den Charakter eines quasi abgeschlossenen Systems, in welches von oben eher keine und von unten gar keine Fische verdriften bzw. zuwandern können. Der Schlossbach wies immer einen sehr guten Forellenbestand aus. Dies vor allem auch in der Quellregion des Rümliigenbach (pers. Mitteilung Benjamin Bracher, Fischereiaufseher Kanton Bern, 6.8.2024; **Übersichtskarte 3**, S. 4). Über den Elritzenbestand sind keine weiteren Informationen vorhanden. Die Besiedlung der BDAs resp. das höhere Aufkommen von Elritzen oder Forellen könnte auch auf eine Verdriftung von Tieren aus dem Oberlauf zurückzuführen sein (pers. Mitteilung Sandro Schläppi, RenF, 12.11.2024). Eine Einwanderung von unterhalb ist wenig wahrscheinlich da hier die eingeschränkte Längsvernetzung der flussaufwärtsgerichteten Wanderung aufgrund des Absturzes bei der Bahnunterführung besteht, und auch ein allfälliger kleiner Effekt der BDAs bei aufsteigenden Fischen im Untersuchungsperimeter nicht ausgeschlossen ist (pers. Mitteilung Sandro Schläppi, RenF, 12.11.2024; **Übersichtskarte 3**, S.4). Besonders junge Forellen könnten diese Verdriftung durch die lange Eindolung tatsächlich überleben. Andererseits findet eine Verdriftung mehrheitlich bei Hochwasser mit starker Strömung statt, was wiederum die Überlebenswahrscheinlichkeit der Elritzen stark mindert. Auch ist die passive Verdriftung bei der Forelle auch ohne Hochwassereinfluss dokumentiert (*Elliot (1994)*). Um Klarheit zu erlangen, ob die Fische von oben abgeschwemmt werden, wäre eine Farbmarkierung der Fische oberhalb geeignet, dies könnte im Winter vorher bei einer nächsten Bestandserhebung in der Quellregion des Rümliigenbaches umgesetzt werden. In der Phase 2 des Monitorings, mit der quantitativen Befischung des BDA-Perimeters Mitte / Ende Juni 2026, würden dann die markierten Fische im BDA-Perimeter auftauchen und die Verdriftung bestätigen. Es ist jedoch bereits jetzt offensichtlich, dass durch die BDAs Strukturen eingebracht wurden bzw. generiert wurden (grössere offene Wasserfläche, höherer Pegelstand, streckenweise Strömungsberuhigung und Erschliessen attraktiver Substrate / Unterstände) in denen sich die Fische halten konnten. Dies zeigte sich besonders bei der Elritze, deren Bestand deutlich zugenommen hat. In der **Abbildung 3 A** (S. 21) konnte gemäss der Protokollierung der Fische mit der Unterscheidung in Fliesswasser- (inkl. Seitengerinnen) und BDA-Strecken deutlich gezeigt werden, dass sich die Fische auch in den strömungsberuhigten BDA-Teichen und den überströmten Ufer-/ Gewässerpflanzen (Anbindung des Ufers) neue Habitate erschlossen haben.

Die Frage, ob Fische die BDAs auch überschwimmen können, war in Phase 1 des Monitorings nicht Bestandteil der Untersuchung. In dieser Phase ging es darum, die Entwicklung der erstellten Querstrukturen und die Veränderungen der Morphologie zu dokumentieren. Aus verschiedenen anderen Studien ist bekannt, dass sowohl Biberdämme wie BDAs keine «Barrierewirkung» auf die Längsvernetzung bachaufwärts haben (*Bouwes et al. (2016)*). Vielen, wenn auch nicht allen, markierten Fischen gelang dies unter bestimmten Bedingungen wie bei abnehmendem Hochwasserabfluss. Für eine abschliessende Beantwortung der Frage der Längsvernetzung über BDAs eignet sich der Schlossbach eher bedingt, da keine allgemeinen Schlüsse zu ziehen sind (eher kleines Gewässer in eher steilerem Gelände mit starker Versinterung). Zur Beantwortung dieser Längsvernetzung müsste eine grössere

Untersuchung in einem fischreicheren Gewässer gemacht werden können, wobei aufgrund der Geomorphologie das Ufer bei Hochwasserstand mit temporären Seiten- / Umgehungsgerinnen erschlossen werden kann. Empfohlen wird eine Untersuchung nach einem nicht-invasivem Capture-Mark-Recapture-Design. Ein entsprechendes Projekt wird derzeit von umweltbildner.ch initiiert.

Die Wasserfläche ist im Jahr 2024 besonders hoch und eher breit für ein Gewässer wie der Schlossbach in Muldenlage. Mit der Ablagerung von Sedimenten und der Auflandung der BDA-Teichstrukturen wird sich diese Fläche natürlicherweise wieder reduzieren. Besonders eindrücklich kann die initiierte Auflandung im BDA 6 dokumentiert werden. Dieser BDA-Teich gilt, da zuoberst gelegen, als erstes Absetzbecken für angeschwemmtes Substrat. Konnte im August 2022 (31.8.2022) ein funktionaler BDA 6-Teich angetroffen werden, war dieser im November desselben Jahres (7.11.2022) schon mit viel Substrat aufgefüllt. Zwei Jahre später zeigt sich die Situation noch einmal anders, der mit Substrat aufgefüllte BDA-Teich ist mit Süssgras und Bachungen-Ehrenpreis fast vollständig zugewachsen, der Bach fliesst ab nun wieder durch diese BDA-Struktur, einfach auf einem höheren und natürlicheren Sohlenniveau, weniger begradigt und mit naturnahen Ufern.

Auflandung und Sukzessionsphasen von BDA 6

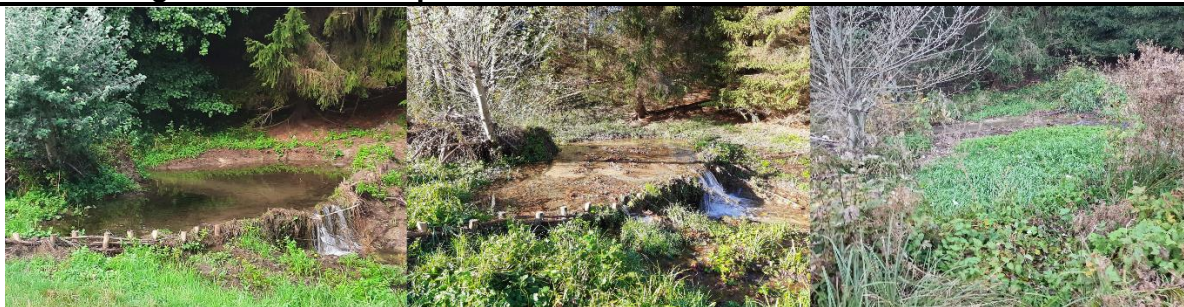


Abbildung 6: Auflandung und verschiedene Sukzessionsstadien BDA-6 2022 bis 2024.

Dieser Prozess wird auch in den unteren BDAs einsetzen bzw. hat bereits begonnen. Er läuft je nachdem, wie viel Substrat bei Hochwasser oberhalb mobilisiert, in den Perimeter transportiert und abgelagert werden kann, unterschiedlich schnell ab. Im Schlossbach wird es schwierig sein, mit den 6 BDAs die eingetiefte Fliessrinne auf der gesamten Revitalisierungsstrecke auf eine höhere Sohlenlänge bringen zu können, da die BDAs in zu kleiner Anzahl und daher in einem zu grossen Abstand erstellt wurden, um eine vollständige Sohlenerhöhung zu erlangen. Im Revitalisierungs-Perimeter hätten auch doppelt so viele BDA-Strukturen Platz gefunden. Dies war im ursprünglichen Konzept auch so vorgesehen. Nichtsdestotrotz werden veränderte Sohlenlagen und vielfältigere Strukturen sowie eine gewisse eigendynamische Entwicklung und damit gesamthaft positive Veränderungen erwartet.

Die Versinterung durch den Kalkgehalt ist auf der Gewässersohle in den Fliesswasserstrecken sowie den BDA-Teichen doch recht gross und schreitet schnell voran. Dies muss besonders beachtet werden, da in den Jahren nach dem Bau der BDAs das harte Substrat (grösstenteils durch Versinterung entstanden) wieder zunehmen wird. Im Schlossbach ist dies momentan der «natürliche» Prozess, kann jedoch die Ergebnisse der Vernässung wohl zukünftig schmälern. Damit erfüllen die BDAs ihre vorgesehene Wirkung, sie bewirken langfristig betrachtet eine Auflandung. Trotz allem wird sich dies auf das Resultat IAM und DIV auswirken, da neben den Substratarten auch die Wassertiefe und die Strömungsvariabilität entscheidend für die Qualität der Fischhabitate sind.

Wie auch in anderen Studien bestätigt (u.a. *Minnig et al. (2024)* mit natürlichen Biberdämmen), können Gefässpflanzen der ökologischen Gruppe Gewässer und Amphibien die Bereiche vor

und bis weit hinter der BDA-Struktur schnell besiedeln. Eindrücklich war die flächige Ausbreitung des Süssgrases oder des Bachbungen-Ehrenpreises (**Abb. 6**, Foto ganz rechts). Auch die gelbe Schwertlilie und die Sumpfdotterblume konnten schnell geeignete Habitate finden. Alle Pflanzen, bis auf die Schwertlilie, haben sich in den BDA-Teichstrukturen angesiedelt. Die Schwertlilie wuchs dabei an zwei Stellen direkt unterhalb des BDAs. Nach dem Erstellen der BDAs wurden viele Entenvögel in den BDA-Teichen beobachtet, welche als Vektoren (für die Schwertlilie) gelten könnten. Wahrscheinlicher ist hier jedoch die Verdriftung der Samen von oben nach unten. Insbesondere der Fundort der Lilie lässt darauf schliessen, da die Schwertlilie «nur» in den Seitengerinnen vorkommt, wo Samen sich verkeilen und keimen können, nachdem sie über das BDA gespült wurden. Diese Pflanze konnte zudem auch in den Weihern des Schlosses Rümligen festgestellt werden. Interessant wird jedoch die Ausbreitung des Tannenwedels sein, der bis jetzt nur im Teich beim Bauernhof im Perimeter BDA-Monitoring gefunden wurde. Dieser muss sich irgendwie nach oben ausbreiten können.

Amphibien zeigen mit den Arten Grasfrosch, Erdkröte und Bergmolch ein schnelles Ausbreitungsverhalten. Sie können Strukturen, wie sie die BDA-Teiche im Schlossbach bieten, schnell finden und als Laichgewässer nutzen. Dies ist insofern speziell, da sich diese BDA-Strukturen in Fliessgewässerstrecken befinden. Der erste Fund wurde im Frühling 2024 mit den Laichballen des Grasfrosches gemacht. Die Fundstellen sind insofern speziell, als sie statt wie erwartet in den BDA-Teichen, im Gras des überstauten Randbereichs und in den Seitengerinnen direkt unterhalb der BDA-Struktur festgestellt wurden. Im Jahr 2024 wurde lediglich der Grasfrosch festgestellt, in der künftigen Phase 2 sollen zudem einfache Wasserfallen systematisch für den Nachweis von Bergmolchen eingesetzt werden.

Bei der Temperatur musste im Verlauf der Aufnahmen auf ein verändertes Design gewechselt werden. Da die starke Versinterung ein Aufdrehen der Endkappen bei der Logger-Installation schon nach kurzer Zeit verhinderte, wurden «nur» die Logger kontrolliert und auf die Datensicherung verzichtet. Hierbei zeigte sich, dass der Logger (unterhalb) am Tag der Deinstallation wegeschwemmt war (ein Monat nach der letzten Kontrolle). So wurden im Frühjahr 2024 neue Logger installiert, und die Kontrolle als oberhalb – unterhalb des BDA-Perimeters definiert. Damit wurde das Design mit vorher – nachher durchbrochen und die Aussagekraft verändert sich. So konnten nun Temperaturdaten im laufenden Sukzessionsprozess analysiert werden. Damit wurde ein unüblich langer Zeitraum für die Analyse gewählt, damit allfällige Unterschiede auch während Niederschlagsphasen beschrieben werden können. So zeigte sich, dass sich die Temperatur marginal zwischen den Loggern ober- und unterhalb unterscheidet. Dabei wird die Tagesamplitude nach den BDAs grösser und es werden kühlere Mittel- und Minimalwerte unterhalb gemessen. Dies zeigt deutlich, dass sich das Wasser trotz starker Besonnung nicht in den BDA-Teichen erwärmt. Nach diesen Resultaten wird in der Phase 2 des BDA-Monitorings ein engmaschigeres Design angestrebt, wobei mehrere Logger zwischen ober- und unterhalb auch in den Fliess- sowie Stillwasserbereichen lagestabil installiert werden. Damit kann ein Zeitfenster mit Niederwasser im Sommer und ohne Niederschlag entlang der Strecke verglichen werden. Dies ist für die Phase 2025-2026 nach den MSK-Vorgaben in Vorbereitung. Dabei wird die Kontrolle direkt oberhalb des BDA-Perimeters mit ähnlicher Besonnung ausgeschieden und eine Untersuchung vertieft aufgegleist.

Die Zunahme des aquatischen Lebensraums für Fische ist im Schlossbach gegenüber einer uneingeschränkten Längsvernetzung höher zu gewichten. Da die natürliche Dynamik in Biberdamm-Revieren durch die BDA-Revitalisierungsmethode imitiert wird, zerfallen nach einer gewissen Zeit diese Strukturen. Somit werden die Monitoringphasen weiterhin in einem 2-Jahresrhythmus durchgeführt, um diese Veränderungen und deren Dynamik zu dokumentieren und einzuordnen.

9 Schlussfolgerungen

9.1 Effekte Beaver Dam Analogs (BDA)



Die starke Steigerung der benetzten Fläche erschliesst insgesamt mehr attraktive Substrate. Zwei Jahre nach Projektstart weist der Schlossbach kein unnatürliches eingetieftes Gerinne mehr auf, sondern kann das Umland wieder be- und vernetzen. Die Strömungs- und Tiefenvariabilität änderte sich dabei insgesamt nicht grundlegend, jedoch wurden deutlich vergrösserte Wasserspiegelsbreiten gemessen. Das Umland ist an das Gewässer angebunden.

Dies alles fördert die Vielfalt in der Gruppe der Makrophyten sowie die Abundanz in allen drei untersuchten Gruppen (Makrophyten, Amphibien, Fische) stark. Zwei Jahre nach Einbau der BDAs sind Elritze, Süssgras und Bachungen-Ehrenpreis diejenigen Arten, die zwischenzeitlich am stärksten profitiert haben.

BDAs als «Biomimikry» verfolgen u.a. das Ziel, Fliessgewässer mit biberähnlichen temporären Querstrukturen ökologisch aufzuwerten und mehr Dynamik und Strukturvielfalt zu schaffen. Die hier präsentierten Resultate zeigen, dass sich mit BDAs auch ohne Biberpräsenz eine erhöhte Dynamik sowie einige typische Effekte der natürlichen Biberaktivitäten erreichen lassen. Zwar fehlen ohne Biber die verstärkte Mobilisierung durch Grabungen im Uferbereich sowie der verstärkte Eintrag von Totholz durch das Fällen von Nahrungshölzern. Dafür werden die positiven Effekte mit BDAs auch in Bachabschnitten nutzbar, die nicht von Bibern besiedelt sind bzw. nicht besiedelt werden können.

Die Untersuchung des BDA-Projekts am Schlossbach orientierte sich punkto Methodik an der nationalen Forschungsstudie zur Auswirkung von Biberrevieren auf die Artenvielfalt und kam auch zu ähnlichen Ergebnissen: Auch in der nationalen Forschungsstudie konnte eine gesteigerte Artenvielfalt und Abundanz der untersuchten Organismen in den Strecken mit Biberdämmen im Vergleich mit den Kontrollstrecken gefunden werden (*Minnig et al. (2024)*).

Der Mensch kann mit der einfachen, kostengünstigen Revitalisierungsmethode BDAs die Effekte, welche der Biber natürlicherweise einbringt, gezielt für mehr Klimaresilienz, Wasserrückhalt und Artenförderung nutzen.

9.2 Effekte Temperatur

Insgesamt führt eine BDA-Strecke im Schlossbach zu mehr Dynamik und einer grösseren Wassertemperaturamplitude, jedoch zu keiner Änderung des allgemeinen Temperaturregimes.

10 Empfehlungen

10.1 Verzögerung von Hochwassern und Schwammlandeffekt

BDAs helfen, die Verweilzeit des Wassers hinter den BDAs in den BDA-Teichen zu verlängern und den Abfluss vor den BDAs flächig zu gestalten. Beides, Wasserrückhalt und Berieselung einer grossen Fläche, helfen den lokalen Schwammlandeffekt zu gestalten. Insbesondere in Trockenphasen und Hitzeperioden während den Sommermonaten wird durch den Bau von BDAs das Fliessgewässer und das Vorland resilienter gegenüber Austrocknung und Überhitzung (*Emch und Berger (2022-A); Emch + Berger (2023)*).

Daher ist der Bau von BDAs auch explizit in landwirtschaftlich genutzten Flächen zu empfehlen, da hierdurch Wasserrückhalt, Versickerung und Anreicherung von Grundwasser nutzbringend für den Erhalt der Bodenfeuchte und der Dürresistenz der angrenzenden Flächen eingesetzt werden können (*Emch + Berger (2023)*). Wichtig für einen erfolgreichen Einsatz im Dienste der Landwirtschaft ist aber auch, dass im Planungsprozess die anstehenden Nutzungen samt Einleitungen und Drainagen, aber auch neue Fliesswege, stets berücksichtigt werden (*Emch + Berger (2022-A)*).

10.2 Förderung Artenvielfalt und Abundanz

Mit BDAs können gezielt Arten und seltene Lebensräume gefördert werden. Bei eingetieften Gerinnen sollten BDAs idealerweise so geplant werden, dass die entlang dem Bach seriell erstellten Querstrukturen relativ nahe hintereinander zu liegen kommen, damit sich eine durchgehende Anhebung der Sohle einstellt. Hierdurch würden weitere attraktive Substrate und eine zusätzlich gesteigerte Wasserspiegel-, Tiefen- und Strömungsvariabilität erreicht, was weiteren Arten als Lebensraum dienen kann. Eine Zunahme der Nischenvielfalt und -fläche hilft nachhaltig, die aquatische und semiaquatische Biodiversität zu fördern. Eine Förderung der lokalen Vielfalt ist insbesondere in Bachabschnitten wertvoll, die nicht von Bibern besiedelt sind bzw. nicht besiedelt werden können.

Mit BDAs lassen sich auch Hochwasserspitzen deutlich dämpfen (*Käppeli-Wyss (2024)*). Angesichts der zunehmenden Starkniederschlagsereignisse können sie das Entstehen grosser Hochwasserwellen bereits im Oberlauf entschärfen. Dieser Effekt kann auch zum Schutz bestehender Biberdammreviere genutzt werden: In Gewässerabschnitten, in denen Biber präsent sind, und die Artenvielfalt durch deren Dammbauaktivität bereits stark zugenommen hat, kann ein Einbau mehrerer BDAs gewässeraufwärts den positiven Effekt der natürlichen Biberdämme und -teiche steigern, indem die mit Pfählen fixierten BDAs den hydraulischen Druck der Hochwasserwellen effizient dämpfen und damit die Lebensdauer der nachfolgenden, vulnerableren Naturdämme deutlich erhöhen können. Derzeit stehen im Vordergrund der Revitalisierungsmethode mit BDAs jedoch Bachabschnitte, in welchen die Biber noch nicht vorkommen oder vorkommen können. Hier sollte vor allem auch die Prozesse der Sedimenttransport und die -ablagerung beachtet werden, die teils unterschiedlich gegenüber natürlichen Systemen funktionieren (für natürliche Systeme: *Kroes & Bason (2015)*; für BDAs: *Westbrook & Cooper (2024)*).

10.3 Förderung Fischbestand

Ähnlich wie bei natürlichen Biberdämmen fördern BDAs die Abundanz der Fische, die in den Strecken mit Biberdämmen oder BDAs vorkommen.

Ergänzt werden sollte dieser Befund mit einer Untersuchung in einem grösseren und evtl. stark eingetieften Fließgewässer mit einer höheren Fischartenvielfalt. Hier könnten die Effekte differenzierter betrachtet werden, indem auch unterschiedliche Höhen der BDA-Staustufen, unterschiedliche Ausprägungen der BDA-Teiche oder der durch die BDAs induzierten Seitengerinne betrachtet werden können.

10.4 Begleitendes ökologisches Monitoring

Wir empfehlen, alle grösseren Revitalisierungen mit BDAs, welche in den nächsten Jahren umgesetzt werden, mit einem ökologischen Monitoring zu begleiten. In der Regel benötigt das Monitoring eine Vorlaufzeit von rund einem Jahr vor Baubeginn, um alle Lebenszyklen der Organismen abzudecken und gemessene Effekte in Bezug zum Einbau der BDAs setzen zu können. Sinnvoll wären ausserdem Messungen zum lokalen Anstieg des Grundwasserspiegels, diese müssen mindestens ein Jahr vor der Bauphase starten können.

Die Biber und ihre Aktivitäten werden seit Kurzem zur Förderung der Artenvielfalt modelliert (*Law et al. (2017); Albertson et al. (2022); Norman et al. (2022); Jordan & Fairfax (2022)* oder *Losapio et al. (2023)*). Zur Förderung der aquatischen Lebensräume und Arten wäre es sinnvoll, diese Modellierungen auch mit BDAs zu ergänzen (ähnlich *Johnson et al. (2022)*).

11 Literaturverzeichnis

- Albertson et al. (2022). The ghosts of ecosystem engineers: Legacy effects of biogenic modifications. *Functional Ecology*, Volume 38(1): 52-72 p. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1365-2435.14222>
- Bouwes, N. et al. (2016). Ecosystem experiment reveals benefits of natural and simulated beaver dams to a threatened population of steelhead (*Oncorhynchus mykiss*). *Nature - Scientific REPORTs*. Volume 6. Article number 28581: 1-12 p. <https://www.nature.com/articles/srep28581>
- Bundesamt für Umwelt (Hrsg.). (2019). Indikator-Set 7 – Fische. In: Wirkungskontrolle Revitalisierung – Gemeinsam lernen für die Zukunft. Bern. Steckbrief 7. Version 1.03: 9 S.
- Bundesamt für Umwelt (Hrsg.) (2019). Indikator-Set 4 – Temperatur. In: Wirkungskontrolle Revitalisierung – Gemeinsam lernen für die Zukunft. Bern. Steckbrief 4. Version 1.02: 4 S.
- Bundesamt für Umwelt (Hrsg.) (2019). Indikator-Set 5 - Makrophyten. In: Wirkungskontrolle Revitalisierung – Gemeinsam lernen für die Zukunft. Bundesamt für Umwelt. BAFU, Bern. Steckbrief 5. Version 1.03: 5 S.
- Emch + Berger (2022-A). facts & figures: Beaver Dam Analogs - Klimaresilienz und Biodiversität für unsere Bäche. https://www.emchberger.ch/sites/default/files/media/file/221115_BDA_Faktenblatt.pdf
- Emch + Berger (2022-B). Referenzprojekt, Schwammland Schlossbach, Rümligen: Ökologische Aufwertung und Klimaanpassung am Bach. <https://www.emchberger.ch/de/print/pdf/node/3443?division=2796>
- Emch + Berger (2023). Konzept Schwammland. Naturbasierte Lösungen für Klimaschutz, Klimaanpassung, Wasserressourcenmanagement und Biodiversitätsförderung in der Landschaft. https://www.emchberger.ch/sites/default/files/media/file/230621_Schwammland-Konzept_def%20%281%29.pdf
- Johnson, M. F. et al. (2019). Biomic river restoration: A new focus for river management. *River Res. Applic.* Volume 36(1): 3-12 p. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/rra.3529>
- Jordan, Ch. E. & Fairfax, E. (2022). Beaver: The North American freshwater climate action plan. *WIRES WATER*. Volume 9. Issue 4. <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wat2.1592>
- Känel, B., Michel, C., Reichert, P. 2017: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Makrophyten - Stufe F (flächendeckend) und Stufe S (systembezogen). Entwurf. Bundesamt für Umwelt, Bern. 119 S.
- Käppeli-Wyss, S. (2024). Auswirkungen naturähnlicher Verbauungen in den Zuflüssen auf den Spitzenabfluss im Hauptfluss. Masterarbeit im Fachbereich Geoimformatik der Paris Lodron Universität Salzburg. Salzburg: 67 S. <https://unigis.at/files/Masterthesen/Full/106815.pdf>
- Kroes, D. E. & Bason, C. W. (2015). Sediment-trapping by beaver ponds in streams of the Mid-Atlantic Piedmont and Coastal Plain, USA. *Southeastern Naturalist* 14: 577-595. <https://complete.bioone.org/journals/southeastern-naturalist/volume-14/issue-3/058.014.0309/Sediment-Trapping-by-Beaver-Ponds-in-Streams-of-the-Mid/10.1656/058.014.0309.short>
- Law, A.; McLean, F. & Willby, N. J. (2016). Habitat engineering by beaver benefits aquatic biodiversity and ecosystem processes in agricultural streams. *Freshwater biology*. Volume 61-4: 486-499 p. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/fwb.12721>

Law, A. et al. (2017). Using ecosystem engineers as tools in habitat restoration and rewilding: beaver and wetlands. *Science of The Total Environment*. Elsevier. Volumes 605–606: 1021-1030 p. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717315929>

Losapio, G. et al. (2023). Monitoring and modelling the effects of ecosystem engineers on ecosystem functioning. *Functional Ecology* 2024. Volume 38: 8–21 p. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2435.14315>

Minnig, S. et al. (2024). Expert:innenbericht: Einfluss des Bibers auf die Biodiversität – eine Meta-Analyse. Genossenschaft umweltbildner.ch. Bern: S. 123.

Minnig, S. et al. (2022). Der Natur abgeschaut: «Beaver Dam Analogs». Innovative und kostengünstige Revitalisierungsmethode für natürliche Fließgewässer. *Aqua und Gas*. Nummer 4: 2-9 S. https://www.aquaetgas.ch/wasser/gew%C3%A4sser/20220329_ag4_der-natur-abgeschaut-beaver-dam-analogs/

Mende, M. & Sieber, P. (2020). Temperaturverlauf in Fließgewässern. Untersuchung und Visualisierung von Temperatureinflüssen, Ableitung von Massnahmenvorschlägen. Bericht. Sieber und Liechti GmbH & IUB Engineering. Version 1.2: 48 Seiten. https://wa21.ch/wp-content/uploads/2021/09/Bericht-Temperaturverlauf-in-Flieessgewaessern-2020-12-07_korr.pdf

Norman L. et al. (2022). Natural infrastructure in dryland streams (NIDS) can establish regenerative wetland sinks that reverse desertification and strengthen climate resilience. *Science of The Total Environment*. Volume 849: 157738. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722048379>

Polec, K. et al. (2022). Changes in the Ecological Status of Rivers Caused by the Functioning of Natural Barriers. *Water* 2022. Volume 14: 1522. <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/9/1522>

Pollock, M. et al. (2014). Using beaver dams to restore incised stream ecosystems. *Bioscience*. Volume 64(4): 279–290 p. <https://academic.oup.com/bioscience/article-abstract/64/4/279/2754168?redirectedFrom=fulltext>

Pollock, M. et al. (2015). *The Beaver Restoration Guidebook: Working with Beaver to Restore Streams, Wetlands, and Floodplains*. Version 1.02. Portland, Oregon: United States Fish and Wildlife Service. Portland. Oregon: 189 p. <http://www.fws.gov/oregonfwo/ToolsForLandowners/RiverScience/Beaver.asp>

Vonlanthen, P. et al. (2018). IAM - Eine Methode zur Bewertung der Habitatvielfalt und -attraktivität von Fließgewässerabschnitten. *Wasser Energie Luft*. Jahrgang 110. Heft 3: 201-207.

Westbrook, C. J., & Cooper, D. J. (2024). Comparing the sources of sediment retained by beaver dams and beaver dam analogs. *Water Resources Research*. Volume 60: e2024WR037717. <https://doi.org/10.1029/2024WR037717>

Wheaton, J.M. et al. (Editors). 2019, *Low-Tech Process-Based Restoration of Riverscapes: Design Manual*. Version 1.0. Utah State University Restoration Consortium. Logan: 286 pp. DOI: 10.13140/RG.2.2.19590.63049/2. https://www.researchgate.net/publication/333827387_Low-Tech_Process-Based_Restoration_of_Riverscapes_Pocket_Field_Guide

Wright, J.P., Clive, G. & Flecker, S. (2002). An ecosystem engineer, the beaver, increases species richness at the landscape scale. *Oecologia* 132: 96–101. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00442-002-0929-1>

