



ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN  
DEPARTEMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT  
INSTITUT FÜR UMWELT UND NATÜRLICHE RESSOURCEN

# **Wirkungskontrolle Revitalisierung Schwandbach, Sportplatz Stalden**

Nachher-Erhebung der Habitatvielfalt nach Indikator-Set 1, Analyse der Wirkungskontrolle in Bezug auf die Revitalisierungsziele

Zertifikatsarbeit

CAS Gewässerrevitalisierung

von

Teresa Venegoni

Zertifikatslehrgang 2022/Gewässerrevitalisierung

Abgabetermin: 31.08.2022

Fachkorrektor: Dr. Manuel Antonetti

Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen UNR



### **Zitiervorschlag**

Venegoni, T. (2022). Wirkungskontrolle Revitalisierung Schwandbach, Sportplatz Stalden. Nachher-Erhebung der Habitatvielfalt nach Indikator-Set 1, Analyse der Wirkungskontrolle in Bezug auf die Revitalisierungsziele. Zertifikatsarbeit CAS Gewässerrevitalisierung. ZHAW, Wädenswil.

### **Adresse Institut**

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW, Departement Life Sciences und Facility Management, Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen UNR, Grüental, 8820 Wädenswil, Schweiz.

### **Schlagworte**

Revitalisierung Fließgewässer, Wirkungskontrolle Habitatvielfalt, Indikator-Set 1 BAFU

## **Zusammenfassung**

Die Wirkung von Revitalisierungen in Fliessgewässern ist bis heute ein wenig untersuchtes Feld. Das Bundesamt für Umwelt hat deshalb für die Programmvereinbarungsperiode 2022 – 2024 eine Praxisdokumentation publiziert, welche für elf verschiedene Themenbereiche ein Gerüst für die Wirkungskontrolle bei Revitalisierungsprojekten bietet.

In dieser Arbeit wird am Beispiel des Revitalisierungsprojektes Schwandbach in Obwalden untersucht, ob die vom Bund vorgegebene Wirkungskontrolle für die Habitatvielfalt (Indikatoren-Set 1) zur Überprüfung der im technischen Bericht festgelegten aquatischen Revitalisierungsziele verwendet werden kann.

Mit den für die Wirkungskontrolle erhobenen Daten und Analysen konnten die Erhöhung der Breitenvariabilität und die Vergrösserung der Flächen von Kiesbänken und Überflutungsflächen direkt überprüft werden. Als nicht ausreichend erwies sich der Analyseteil des Indikatoren-Sets 1 in Bezug auf die Überprüfung der Fischunterstände über seitlichen Kolken und das Feststellen von geeigneten Laichplätzen. Für Letzteres würde zudem die gezielte Erhebung von spezifischen Daten eine bessere Grundlage bieten. Für die Quantifizierung von Kolken mit mehr als 0.5 m Tiefe hätte die Datenerhebung ebenfalls mit Tiefenmessungen der einzelnen Kolke ergänzt werden müssen. Die Beschattung konnte als einziges Ziel nur qualitativ beurteilt werden. Für diese Variable wäre eine Erweiterung der Datenerhebung in der standardisierten Wirkungskontrolle wünschenswert.

Auch wenn nicht alle Revitalisierungsziele abschliessend überprüft werden konnten, erweist sich das in der Wirkungskontrolle definierte Datenset als gute Grundlage. Mit ergänzenden Analysen können damit diverse Fragestellungen untersucht und der Erfolg eines Revitalisierungsprojekts beurteilt werden.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Material und Methoden .....	4
2.1	Untersuchungsgebiet .....	4
2.2	Detailangaben zum Revitalisierungsprojekt.....	5
2.3	Datenerhebung gemäss Indikator-Set 1 Habitatvielfalt.....	6
2.4	Auswertung der Daten gemäss Indikator-Set 1 .....	8
2.4.1	Berechnung der Einheitslänge.....	8
2.4.2	Sohlenstruktur .....	8
2.4.3	Uferstruktur.....	9
2.4.4	Sohlensubstrat .....	10
2.4.5	Unterstandsangebot .....	10
2.4.6	Querprofile.....	10
2.4.7	Fotodokumentation.....	11
3	Resultate .....	12
3.1	Bewertung Sohlenstruktur .....	12
3.2	Bewertung der Uferstruktur .....	13
3.2.1	Berechnungen Uferstruktur gemäss Steckbrief Indikatoren-Set 1.....	16
3.3	Bewertung des Sohlensubstrats.....	16
3.4	Bewertung Unterstandsangebot.....	17
3.5	Bewertung Querprofile .....	18
3.6	Bewertung Fotodokumentation .....	19
4	Diskussion .....	20
4.1	Bewertung der Ziele .....	20
4.1.1	Ziel 1 - Die Anzahl Kolke wurde im Minimum beibehalten (minimale Kolk­tiefe von 0.5 Metern).....	20
4.1.2	Ziel 2 - Bei den Kolken wurden seitliche Fischunterstände erstellt.....	20
4.1.3	Ziel 3 - Die Breitenvariabilität des Gerinnes wurde verbessert.....	21
4.1.4	Ziel 4 - Es wurden Gerinneabschnitte mit höherer Fliessgeschwindigkeit geschaffen. ....	21
4.1.5	Ziel 5 - Es wurden Kiesbänke und Überflutungsbereiche geschaffen .....	22
4.1.6	Ziel 6 - Die Beschattung wurde erhalten bzw. wiederhergestellt .....	23
4.1.7	Ziel 7 - Es wurden Laichplätze für die Bachforelle geschaffen .....	23
4.2	Weiterführende Beurteilung der Revitalisierung .....	24
4.3	Potenzielle Fehlerquellen bei der Wirkungskontrolle .....	25
4.4	Fazit.....	25

4.5	Ausblick .....	29
5	Literaturverzeichnis.....	30

## 1 Einleitung

In den vergangenen Jahrhunderten wurden die Fliessgewässer und Seen in der Schweiz zunehmend verbaut. Landgewinnung, Wasserkraftnutzung und Hochwasserschutz haben dazu geführt, dass ein Grossteil der Schweizer Gewässer heute grosse morphologische und hydrologische Defizite aufweisen. Die Gewässer sind häufig strukturarm und mit Querbauwerken fragmentiert. Aufgrund von Wasserentnahmen, Staulagen und Hochwasserschutzmassnahmen weisen sie zudem unnatürliche Abflussmuster auf. Stand 2010 ist gemäss Müller et al. (2010) die Ökomorphologie von rund 14'000 km der Fliessgewässer in der Schweiz in einem schlechten Zustand. Aufgrund solcher Defizite können sich Flora und Fauna in den entsprechenden Gewässern nicht mehr standortgerecht entwickeln und man findet häufig nur noch eine reduzierte Artenvielfalt und verarmte Lebensgemeinschaften vor (Woolsey et al., 2005).

Mit dem Gewässerschutzgesetz (BG 824.20) vom 24. Januar 1991 wird der Schutz der Gewässer und Ufer in der nationalen Gesetzgebung geregelt. Mit der Revision dieses Gesetzes im Jahr 2011 als Antwort auf die Volksinitiative "Lebendiges Wasser" wurden die ökologischen Ziele weiter verschärft um zu verhindern, dass die Schweizer Gewässer weiterhin verbaut werden ohne gleichzeitig auch deren ökologischen Zustand zu verbessern (UVEK, 2010).

Die Kantone müssen gemäss Gewässerschutzgesetz und Gewässerschutzverordnung dafür sorgen, dass Gewässer revitalisiert werden, indem sie die Revitalisierungen planen und umsetzen. Die strategischen Revitalisierungsplanungen für Fliessgewässer wurden in den Kantonen 2014 verabschiedet, jene für die Seen solle Ende 2022 verabschiedet werden. Die Planungen werden zyklisch alle 12 Jahre überarbeitet. So sollen bis 2090 rund ein Viertel aller Gewässer, sprich 4'000 km, der beeinträchtigen Fliessgewässer und Seeufer revitalisiert werden (Weber et al., 2019a).

Diese grosse Herausforderung erfordert eine zielgerichtete Vorgehensweise. Die Rückführung verbauter Gewässer in dynamische Systeme mit naturnaher Morphologie und Abfluss- und Sohlendynamik ist hochkomplex und die Wirkung von ergriffenen Massnahmen nur ungenügend untersucht. Gemäss Peter und Scheidegger (2012) wurde nur bei einem Bruchteil der Revitalisierungen Erfolgskontrollen durchgeführt.

Um diesen zu ändern, wird die Wirkungskontrolle bei Revitalisierungen im Rahmen der Programmvereinbarung 2020-2024 geregelt und finanziell gefördert (BAFU, 2018). Mit der Praxisdokumentation zur Wirkungskontrolle hat das Bundesamt für Umwelt eine strukturierte Anleitung zur Erhebung der Daten für die Wirkungskontrolle bei Revitalisierungen herausgegeben, welche seit 2020 verwendet wird. Mit elf verschiedenen Indikatoren-Sets können verschiedene Aspekte der Revitalisierung untersucht werden. Basierend auf diesen sollen die Daten der Wirkungskontrollen einheitlich erhoben und zentralisiert gespeichert werden. Dies soll ermöglichen,

nicht nur innerhalb eines Einzelprojektes, sondern auch zwischen den verschiedenen Projekten Vergleiche zu machen und so möglichst viele Erkenntnisse aus den Wirkungskontrollen zu gewinnen (Weber et al., 2019b).

Am Schwandbach bei Stalden in der Gemeinde Sarnen (Abbildung 1) wurde im Jahr 2021 im Rahmen der Programmvereinbarung das erste ausschliessliche Revitalisierungsprojekt im Kanton Obwalden umgesetzt. Vor der Revitalisierung waren die maroden Verbauungen unterspült und einsturzgefährdet. Aufgrund des geringen Schadenspotentials auf der Revitalisierungsstrecke waren keine Massnahmen zum Hochwasserschutz notwendig und die bestehenden Verbauungen konnten komplett entfernt werden. Das übergeordnete Revitalisierungsziel war es, einen Mehrwert für Natur und Menschen zu schaffen. Aufgrund der Nähe zum öffentlich zugänglichen Bereich mit Sport-, mit Picknick- und Spielplatz sowie dem Siedlungsraum sollte die Revitalisierung auch einen Nutzen für die Bevölkerung bringen. Die Artenvielfalt sollte erhöht, der Unterhaltsbedarf verringert, und die Geschiebeablagerungen unter der Brücke der Schwandstrasse reduziert werden.

Im Herbst 2021 wurde vor Beginn der Arbeiten von Aquaplus die Habitatvielfalt gemäss Indikatoren-Set 1 (BAFU, 2019a) und der Fischbestand gemäss Indikatoren-Set 7 (BAFU, 2019b) erhoben. Im Rahmen dieser Arbeit wird die zweite Aufnahme des Indikator-Sets 1 – Habitatvielfalt – erneut untersucht. Dazu werden analog zur Aufnahme vor der Revitalisierung die verschiedenen Variablen gemäss Steckbrief Indikator-Set 1 gemessen. Auf die Zweiterhebung des Indikatoren-Sets 7 wird verzichtet, da seit der Revitalisierung zu wenig Zeit vergangen ist, um eine aussagekräftige Aussage über die Wiederbesiedlung und Populationsstruktur der dort ansässigen Forellen zu machen.

Die Resultate der Vorher-Aufnahme und der Nachher-Aufnahme werden anhand der Vorgaben in Indikator-Set 1 bewertet. Es wird untersucht, ob die im technischen Bericht festgelegten aquatischen Ziele (Belop, 2021) anhand der erhobenen Daten überprüft werden können. Folgende Ziele sollen überprüft werden:

- 1 Die Anzahl Kolke wurde im Minimum beibehalten (minimale Kolkentiefe von 0.5 Metern)
- 2 Bei den Kolken wurden seitliche Fischunterstände erstellt
- 3 Die Breitenvariabilität des Gerinnes wurde verbessert
- 4 Es wurden Gerinneabschnitte mit höherer Fliessgeschwindigkeit geschaffen.
- 5 Es wurden Kiesbänke und Überflutungsbereiche geschaffen
- 6 Die Beschattung wurde erhalten bzw. wiederhergestellt
- 7 Es wurden Laichplätze für die Bachforelle geschaffen

Sofern die Ziele nicht quantitativ überprüft werden können, werden diese qualitativ beschrieben und beurteilt. Die Ergebnisse sollen nicht nur die Veränderung der revitalisierten Strecke aufzeigen, sondern sollen auch dazu dienen, die Grenzen der Wirkungskontrolle «Habitatvielfalt» nach den Vorgaben vom BAFU einzuordnen und zu analysieren, wie die Wirkungskontrolle vor dem Hintergrund der Revitalisierungszielen erweitert werden könnte.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Untersuchungsgebiet



**Abbildung 1:** Situationsplan des Schwandbaches (rot markiert) mit Kennzeichnung des Revitalisierungsperimeters und Position des Geschiebesammlers, 1:25'000 (Quelle: GIS Daten AG).

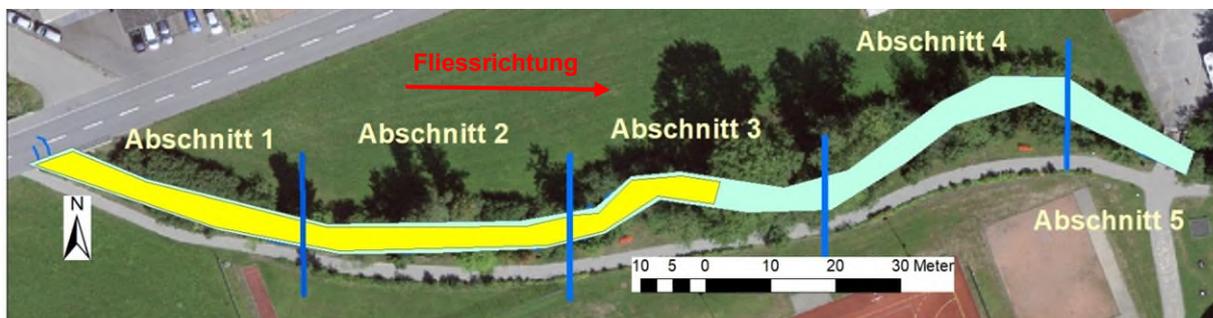
Der Schwandbach liegt in der Gemeinde Sarnen im Kanton Obwalden (Abbildung 1). Er entspringt dem Moorgebiet unterhalb des Jänzi auf über 1500 m ü. M. und mündet nach gut 6.5 km auf 469.2 m ü. M. in den Sarnensee. Das Einzugsgebiet erstreckt sich auf drei Quadratkilometer. Der revitalisierte Abschnitt befindet sich zwischen der Brücke über die Schwandstrasse (658'346.50 / 192'888.34) und der Fussgängerbrücke zum Sportplatz (658'513.90 / 192'890.04). Der Projektperimeter erstreckt sich über 180 m und liegt zwischen 797.7 m ü. M. und 794.1 m ü. M. Der Revitalisierungsabschnitt befindet sich zwischen einem Sportplatz mit angrenzendem Fussgängerweg und einer Weide (Abbildung 2).

Gemäss der 2012 von Aquaplus erhobenen Ökomorphologie hat der Schwandbach naturnahe, wenig beeinträchtigte und stark beeinträchtigte Abschnitte. Der Abschnitt innerhalb des Projektperimeters wurde nach einem Hochwasser 2012 verbaut und wies eine stark beeinträchtigte Ökomorphologie auf. Das Gewässer hatte vor der Revitalisierung eine konstante Breite von ungefähr zweieinhalb Metern und eine sehr eingeschränkte Breitenvariabilität. Die Sohle war mit 16 Holzschwellen stabilisiert und die Ufer teilweise mit Blocksätzen und Holzkästen gesichert (Belop, 2021). In der strategischen Revitalisierungsplanung des Kantons Obwalden von 2014 wurde die revitalisierte Strecke des Schwandbaches trotzdem gestrichen, weil zu viele Gewässer mit einem hohen Nutzen ausgewiesen wurden, daher wurde die Revitalisierung nur

minimal über den Bund mitfinanziert (Kanton Obwalden, 2014; persönliche Mitteilung Melanie Hodel). Vor der Revitalisierung waren die Schutzbauwerke teilweise stark unterspült und der Fussweg in Gefahr, bei einem Hochwasser beschädigt zu werden. Aufgrund des oberhalb liegenden Geschiebesammlers (Abbildung 1) weist das Gewässer ein leichtes Geschiebedefizit auf (Belop, 2021).

## 2.2 Detailangaben zum Revitalisierungsprojekt

Aufgrund des Zustandes des Schwandbaches unterhalb der Schwandstrasse hat die Gemeinde Sarnen das Ingenieurbüro Belop beauftragt ein Wasserbauprojekt umzusetzen. Dieses wurde 2021 mit dem Ziel umgesetzt, die marode Infrastruktur zu entfernen und eine ökologische Verbesserung des Gewässers zu erwirken.



**Abbildung 2:** Luftaufnahme des Revitalisierungsabschnittes (2021) vor der Revitalisierung. Grün: der gesamte Revitalisierungspereimeter; Gelb: der im Detail untersuchte Unterabschnitt, Blau: Grenzen der Abschnitte gemäss Einheitslänge.

Die grössten Eingriffe im Gerinne wurden in den oberen 120 Metern der Strecke durchgeführt. In dieser Strecke liegt auch der 100 m lange Unterabschnitt (vgl. Abbildung 2), welcher vertieft untersucht wurde. Auf dieser Strecke wurden die Holzverbauungen komplett entfernt. Zur Stabilisation der Sohle wurden zwei grosse und zwei kleine Blockrampen erstellt. Es wurde ein Niederwassergerinne modelliert und Strukturelemente wie Kolken, Fischunterstände und Verengungen angelegt. Ein Ziel war, die Breitenvariabilität zu erhöhen, ohne die bereits vorhandene Tiefenvariabilität zu beeinträchtigen. Auf der orographisch rechten Seite wurde das Ufer an einigen Stellen abgeflacht. Dies bedingte, dass rechtsseitig ein grosser Teil der vorhandenen Bestockung entfernt werden musste. Mit dem Ziel, die Beschattung des Gerinnes längerfristig zu erhalten, wurden die gerodeten Teile neu bepflanzt. An der orographisch linken Böschung wurde die bestehende, dichte Uferbestockung belassen. Abgesehen von punktuellen Aufwertungen, wie dem Einbringen von Wurzeltellern, wurden auf dieser Seite kaum Massnahmen ergriffen.

In den unteren 70 Metern wurden lediglich einzelne Massnahmen zur Ufersicherung umgesetzt. In diesem Abschnitt wurden drei bestehende Querverbauungen belassen und vor der Fussgängerbrücke das orographisch rechte Ufer mit Blocksteinen gesichert.

### 2.3 Datenerhebung gemäss Indikator-Set 1 Habitatvielfalt

Die Habitatvielfalt wurde gemäss dem Steckbrief Indikator-Set 1 erhoben (BAFU, 2019a). Die Vorher-Aufnahmen wurden von Aquaplus am 8. September 2021 durchgeführt. Die Nachher-Aufnahmen wurden an zwei Tagen am 8. Juli 2022 und am 14. Juli 2022 im Rahmen dieser Untersuchung erhoben. Die Abflussverhältnisse bei der Erstaufnahme wurden im Protokoll als geeignet bezeichnet. Während das Jahr 2021 ein Niederschlagsreiches Jahr war, gingen den Messungen vom Juli 2022 bereits eine längere Trockenphase voraus und die Abflusswerte waren entsprechend geringer.

Zur Erhebung des Indikator-Sets 1 wurden als erstes die Uferlinie in einer Übersichtskarte festgehalten, um die weiteren Indikatoren auf der vorgefertigten Karte einzeichnen zu können. Die Uferlinie wurde anhand einer händischen Skizze im Feld aufgenommen.

Die Sohlenstruktur wurde mit einem Indikator erfasst. Zehn Ausprägungen beschreiben die verschiedenen Strukturen: Bank (1), Kolk (2), Rinne (3), Furt (4), Schnelle (5), Hinterwasser (6), Flachwasser (7), Stufe (8), Becken (9) und verbaute Sohle (0).

Drei Indikatoren wurden erhoben, um die die Uferstruktur zu beschreiben. Der erste Indikator, die Linienführung, unterteilt die Ufer in konvexe, konkave und lineare Abschnitte. Der zweite Indikator, die Uferverbauung, beschreibt die Verbauung der Ufer und hat die Ausprägungen Verbauung durchlässig (1), Verbauung undurchlässig (2), Lockermaterial (3), Wurzelwerk (4) und Fels (5). Der letzte Indikator zur Uferstruktur beschreibt die Uferneigung und unterscheidet zwischen flachen (1) und steilen (2) Ufern.

Das Substrat wurde anhand der Grösse in verschiedenen Klassen von Silt / Schluff / Feinsedimente (1) als kleinste Klasse bis zur grössten Klasse dem Felsen (7) eingeteilt. Zusätzliche Kategorien sind organisches Material (8) und künstliches Substrat (9). Die Mobilisierbarkeit wurde bei der zweiten Aufnahme nicht erhoben.

Der letzte Indikator, der aufgenommen wurde, beschreibt die Unterstände. Die Unterstände wurden in 13 verschiedene Klassen unterteilt, wobei organische Unterstände wie Baumstämme und Wurzelteller (7) oder überhängende Vegetation (11) und anorganische Unterstände wie untergetauchte Steine (1) oder turbulente Wasserzonen (12) unterschieden wurden.

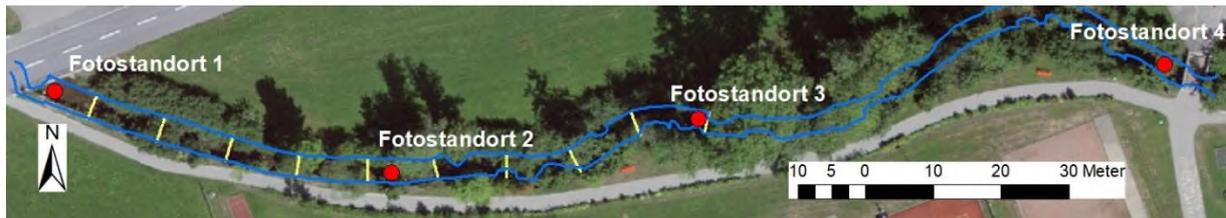
Die Sohlenstruktur sowie alle Indikatoren zur Uferstruktur wurden über den gesamten revitalisierten Abschnitt erhoben. Das Substrat sowie die Unterstände wurden nur im in Abbildung 2 gekennzeichneten Unterabschnitt erhoben.

In Tabelle 1 sind die einzelnen erhobenen Indikatoren mit allen Ausprägungen aufgeführt. Ausführlichere Beschreibungen zu den einzelnen Ausprägungen können direkt im Steckbrief zur Habitatvielfalt entnommen werden. Die Indikatoren wurden in ArcMap als Polylinien und Polygone örtlich verankert und die entsprechenden Karten generiert.

**Tabelle 1:** Übersicht der verschiedenen Indikatoren gemäss Indikatoren-Set 1, Habitatvielfalt (BAFU, 2019a).

Variabel	Ausprägungen	Untersuchungsperimeter
<b>Sohlenstruktur</b>	1 Bank 2 Kolk 3 Rinne 4 Furt 5 Schnelle 6 Hinterwasser 7 Flachwasser 8 Stufe 9 Becken 0 Sohle verbaut	Gesamtabschnitt
<b>Uferstruktur</b> Linienführung  Beschaffenheit  Uferneigung	1 Linear 2 Konvex 3 Konkav 1 Verbauung durchlässig 2 Verbauung undurchlässig 3 Lockermaterial (inkl. Gras) 4 Wurzelwerk 5 Fels 1 Flach ( $\leq 1:2$ ) 2 Steil ( $> 1:2$ )	Gesamtabschnitt
<b>Substrat</b> Beschaffenheit	1 Silt/Schluff/Feinsedimente < 0.2 mm 2 Sand 02.-2 mm 3 Kies 2-16 mm 4 Steine 16-64 mm 5 Grosse Steine 64-250 mm 6 Blöcke > 250 mm 7 Fels 8 Organisches Material 9 Künstliches Substrat	Unterabschnitt
<b>Unterstandstyp</b>	1 Untergetauchte Steine 2 Nicht untergetauchte Steine 3 Kleine organische Partikel 4 Mittlere Organische Partikel 5 Grosse Äste im Wasser, grosse Wurzeln 6 Baumstämme 7 Baumstümpfe oder ganze Wurzelteller 8 Überhängende Vegetation 9 Unterspülte Ufer 10 Unterwasserpflanzen, Schwimmpflanzen 11 Überhängendes Gras und Schilf 12 Turbulente Wasserzonen 13 Kolke	Unterabschnitt

Zusätzlich zu den Erhebungen gemäss Tabelle 1 wurde an vier Standorten Fotos flussaufwärts und flussabwärts gemacht (Abbildung 3), um einen optischen Vergleich des Zustandes vor und nach der Revitalisierung zu erhalten. Im Unterabschnitt wurden alle zehn Meter die Querprofile gemessen. Die Position der Querprofile sind in Abbildung 3 gekennzeichnet). Dazu wurde Fliessgeschwindigkeit und Fliesstiefe alle 0.2 Meter mit einem Massstab und dem Flowwatch, JDC Electronic SA (Genauigkeit  $\pm 2\%$ ) aufgenommen. Die Messpunkte der Querprofile wurden ebenfalls im GIS eingezeichnet und mit den entsprechenden Werten versehen.



**Abbildung 3:** Alte Uferlinie (blau) mit Fotostandorten (rot) und Standorten der Querprofile (gelb, Nummerierung von links nach rechts aufsteigend), Fliessrichtung von links nach rechts.

## 2.4 Auswertung der Daten gemäss Indikator-Set 1

Die Auswertungen wurden mit Hilfe des vom BAFU zur Verfügung gestellten Excel-Tools Habitatvielfalt Auswertungstool, Version 1.01, durchgeführt (BAFU, 2022).

### 2.4.1 Berechnung der Einheitslänge

Die Einheitslänge wurde verwendet, um die Ergebnisse auf die Grösse des Gewässers zu standardisieren. Die Einheitslänge ist 12-mal die mittlere Breite. Die Einheitslänge wurde in der Auswertung für beide Aufnahmen auf 41 Meter festgelegt. Die Abschnittslänge ist – entgegen den Ausführungen im technischen Bericht 190 Meter. Folglich enthält der Abschnitt 4.63 Einheitslängen. Die Einheitslängenabschnitte sind in Fliessrichtung von 1 bis 5 nummeriert. Abschnitt 5 ist mit 26 Metern kein voller Einheitsabschnitt, sondern 63% eines vollen Einzelabschnittes. Die Abschnitte sind in Abbildung 2 gekennzeichnet und nummeriert.

### 2.4.2 Sohlenstruktur

Die Sohlenstruktur wurde pro Einheitslänge in eine von fünf Bewertungsklassen mit einem standardisierten Wert zwischen 0 und 1 eingeteilt (Tabelle 2). Monotone Gerinne mit nur einer Struktur erhielten die schlechteste Bewertung mit einem standardisierten Wert von 0, Gerinne mit Rinnen als dominantem Strukturelement wurden mit 0.25 bewertet. Sind vier oder mehr Strukturtypen mit mindestens 4-8 Strukturtypen pro Einheitslänge vorhanden war dies mit 0.5 bewertet, ab 8-11 Strukturen pro Einheitslänge mit vorhandenen Rinnen-Furt-Schnellen oder Stufen-Becken-Sequenzen erhielten die Bewertungsklasse 0.75. Der maximale standardisierte Wert 1 wurde ab einer Dichte von 12 Strukturtypen pro Einheitslänge erteilt. Die Analyse wurde

im Excel-Tool (BAFU, 2022) gemacht. Der Mittelwert aller Einheitslängen wurde als Bewertung für den gesamten Abschnitt verwendet.

**Tabelle 2:** Bewertungsklassen der Sohlenstruktur gemäss des Steckbriefs Indikatoren-Set 1 (BAFU, 2019a).

Bewertungsklassen	Standardisierter Wert
Nur ein Strukturtyp vorhanden	0
Der Strukturtyp Rinne dominiert. Weitere Strukturtypen kommen mit vereinzelt, räumlich isolierten Strukturen vor.	0.25
Vier oder mehr Strukturtypen sind vorhanden mit einer Dichte von 4-8 Strukturen pro Einheitslänge. Falls der Strukturtyp Rinne dominiert, bilden die Strukturen der übrigen Strukturtypen lokal ein vielfältiges Muster.	0.5
Alle Strukturtypen einer Rinnen-Furt-Schnellen- oder einer natürlichen oder naturnah gestalteten Stufen-Becken-Sequenz vorhanden mit einer Dichte von 8-11 Strukturen dieser Sequenz pro Einheitslänge	0.75
Alle Strukturtypen einer Rinnen-Furt-Schnellen- oder einer natürlichen oder naturnah gestalteten Stufen-Becken-Sequenz vorhanden mit einer Dichte von 12 Strukturen oder mehr dieser Sequenz pro Einheitslänge	1

### 2.4.3 Uferstruktur

Bei der Uferstruktur wurde die Längsverbauung und die Strukturelemente gemäss den unten aufgeführten Formeln analysiert. Für die Linienführung waren keine Analysen vorgegeben.

#### Längsverbauung $A_{verb}$

Der Längsverbauung der Uferstruktur wurde gemäss Formel aus dem Steckbrief Indikatoren-Set 1 (BAFU, 2019a) berechnet:

$$A_{verb} = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{\sum_{verbau\ undurchlässig\ linear} + 0.5 \sum_{verbau\ durchlässig\ linear}}{\sum_{Ufer}} \right)$$

Die Formel generiert Werte zwischen 0 und 0.5, wobei 0.5 «keinen Verbau» bedeutet und 0 für einen komplette, «undurchlässigen Verbauung» steht.

#### Strukturelemente $A_{Struktur}$

Die Strukturelemente wurden auf Anzahl Strukturelement pro Einheitslänge berechnet. Dabei wurden alle Strukturkombinationen gezählt, welche nicht linear verbaut sind. Anhand der untenstehenden Formeln wurden Werte zwischen 0 (weniger als drei Uferstrukturen pro Einheitslänge) und 0.5 (mehr als acht Uferstrukturen pro Einheitslänge berechnet).

$$n < 2 \quad A_{Struktur} = 0$$

$$2 \leq n \leq 8 \quad A_{Struktur} = (n - 1) * \frac{1}{12}$$

$$N > 8 \quad A_{Struktur} = 0.5$$

#### 2.4.4 Sohlensubstrat

Für den Indikator Sohlensubstrat wurde vom BAFU noch keine Auswertungsmethode entwickelt. Daher wurde beim Sohlensubstrat eine visuelle Beurteilung gemacht und die absoluten Flächen pro Substrattyp sowie die Anzahl Substrattypen pro Einheitslänge verglichen.

#### 2.4.5 Unterstandsangebot

Das Unterstandsangebot wurde gemäss untenstehender Formel als Anteil der Gesamtfläche berechnet und mit dem Anteil eines Referenzgewässers verglichen. Der Anteil des Referenzgewässers wurde bereits in der Vorher-Aufnahme auf 40% der Gesamtfläche festgelegt (Aquaplan, 2019). Die Bewertungspunkte sind gemäss Indikatoren-Set 1 (BAFU, 2019a) in Tabelle 3 mit 0 Punkten für eine sehr starke Abweichung bis zu einem Punkt für keine Abweichung festgelegt.

$$\text{Anteil am Referenzzustand (\%)} = \frac{\text{Aktuelles Unterstandsangebot (\%)}}{\text{Gewässertypisches Unterstandsangebot}} * 100$$

**Tabelle 3:** Bewertungskriterien für das Unterstandsangebot gemäss Indikatoren-Set 1 (BAFU, 2019a).

	Bewertungskriterien				
	0	0.25	0.5	0.75	1
Abweichung vom Referenzzustand (%)	Sehr starke Abweichung (>80%)	Starke Abweichung (50 – 80%)	Deutliche Abweichung (30 – 50%)	Geringfügige Abweichung (10 – 30%)	Keine Abweichung (<10%)

#### 2.4.6 Querprofile

Anhand der gemessenen Querprofile wurden die Wassertiefen und die Fliessgeschwindigkeiten analysiert.

##### Wassertiefen $VC_{\text{max Wassertiefe}}$

Mit dem Variationskoeffizienten wurde die Verteilung der maximalen Wassertiefen gemäss untenstehenden Formel berechnet, wobei  $\sigma$  die Standardabweichung und  $\bar{x}$  der Mittelwert ist.

$$VC_{\text{Wassertiefe}} = \frac{\sigma_{\text{Wassertiefe}}}{\bar{x}_{\text{Wassertiefe}}} * 100\%$$

### *Fliessgeschwindigkeit* $VC_{\text{Fließgeschwindigkeit}}$

Die Fliessgeschwindigkeiten wurden analog zur Wassertiefe berechnet, wobei nicht nur die maximale Fliessgeschwindigkeit, sondern alle gemessenen Fliessgeschwindigkeiten für den Variationskoeffizienten berücksichtigt wurden.

$$VC_{\text{Fließgeschwindigkeit}} = \frac{\overline{v_{\text{Fließgeschwindigkeit}}}}{\overline{v_{\text{Fließgeschwindigkeit}}}} * 100\%$$

Im Rahmen dieser Arbeit ergänzt wurde die Berechnung der Standardabweichung der benetzten Breite, um eine Aussage über die Breitenvariabilität des Gerinnes zu machen.

Zusätzlich zu den obigen Variationskoeffizienten wurde anhand der mittleren Breite, der mittleren Tiefe und der mittleren Fliessgeschwindigkeit der mittlere Abfluss vor und nach der Revitalisierung berechnet.

$$\overline{Q}_{\text{Abfluss}} = \overline{B}_{\text{Breite}} * \overline{h}_{\text{Tiefe}} * \overline{v}_{\text{Abfluss}}$$

Dieses Vorgehen war im Indikatoren-Set 1 (Bafu, 2019a) nicht vorgesehen. Aufgrund der unterschiedlichen Morphologie besteht eine Unsicherheit bei den Ergebnissen, erlaubt aber trotzdem eine Einschätzung bezüglich der Vergleichbarkeit der Abflüsse zu den verschiedenen Erhebungszeitpunkten.

### **2.4.7 Fotodokumentation**

Für die Fotodokumentation wurde an vier Standorten (Abbildung 3) jeweils ein Bild flussaufwärts und ein Bild flussabwärts gemacht. Die Bilder von vor und nach der Revitalisierung konnten dann verglichen werden. Dadurch konnten Parameter wie der Bewuchs und die Beschattung, welche gemäss Methodik nicht numerisch erhoben wurden, anhand des optischen Eindruckes beurteilt werden.

### 3 Resultate

Die Resultate folgen der Struktur, welche im Indikatoren-Set 1 (BAFU, 2019a) vorgegeben ist.

#### 3.1 Bewertung Sohlenstruktur

Die Untersuchung zur Sohlenstruktur zeigte, dass sich die Anzahl der Sohlenstrukturen nicht erhöht hat (Tabelle 4). Die Verhältnisse haben sich aber leicht verschoben. So waren mehr Kolke und dafür weniger Becken vorhanden. Die Flächen der Schnellen, des Hinterwassers und des Flachwassers haben sich erhöht. Die Fläche der Rinne hat mit -63.8% beträchtlich, die der Furt mit 4.3% gemässigt abgenommen. Die Flächen der Bänke hat um 6.2% zugenommen. Die Anzahl der Stufen hat durch die Entfernung der Querverbauungen um elf Struktureinheiten abgenommen. Neu zeigte sich die verbaute Sohle unterhalb der Brücke. Die Anzahl der Sohlenstrukturen hat, mit Ausnahme der Bänke, entsprechend der Änderung der Fläche zu- oder abgenommen.

Der Unterschied der totalen Fläche resultierte unter anderem daraus, dass bei der Vorheraufnahme die Fläche unter der Fussgängerbrücke ebenfalls aufgenommen wurde (Abbildung 4).

**Tabelle 4:** Sohlenstruktur des revitalisierten Abschnittes vor und nach der Revitalisierung mit Fläche pro Sohlenstruktur, prozentualer Flächenänderung pro Sohlestruktur, Anzahl pro Sohlestruktur und Anzahl pro Einheitslänge. Bei den Werten der Nachheraufnahmen sind Zunahmen blau und Abnahmen rot gekennzeichnet, gleichbleibende Werte wurden nicht eingefärbt.

Sohlenstruktur	Vorher			Nachher			Flächenänderung in %
	Fläche (m <sup>3</sup> )	Anzahl	Anzahl pro Einheitslänge	Fläche (m <sup>3</sup> )	Anzahl	Anzahl pro Einheitslänge	
Bank	82.98	21	4.51	88.26	21	4.51	6.4%
Kolk	18.07	3	0.64	24.74	6	1.29	36.9%
Rinne	110.27	21	4.51	39.89	8	1.72	-63.8%
Furt	273.31	22	4.72	261.69	16	3.43	-4.3%
Schnelle	53.13	9	1.93	64.62	15	3.22	21.6%
Hinterwasser	17.88	4	0.86	30.8	7	1.50	72.3%
Flachwasser	45.42	10	2.15	64.17	14	3.00	41.3%
Stufe	23.42	18	3.86	16.67	7	1.50	-28.8%
Becken	28.29	9	1.93	22.35	6	1.29	-21.0%
Sohle verbaut	0	0	0.00	10.09	1	0.21	-
Total	652.77	117	25.11	623.28	101	21.67	-4.5%

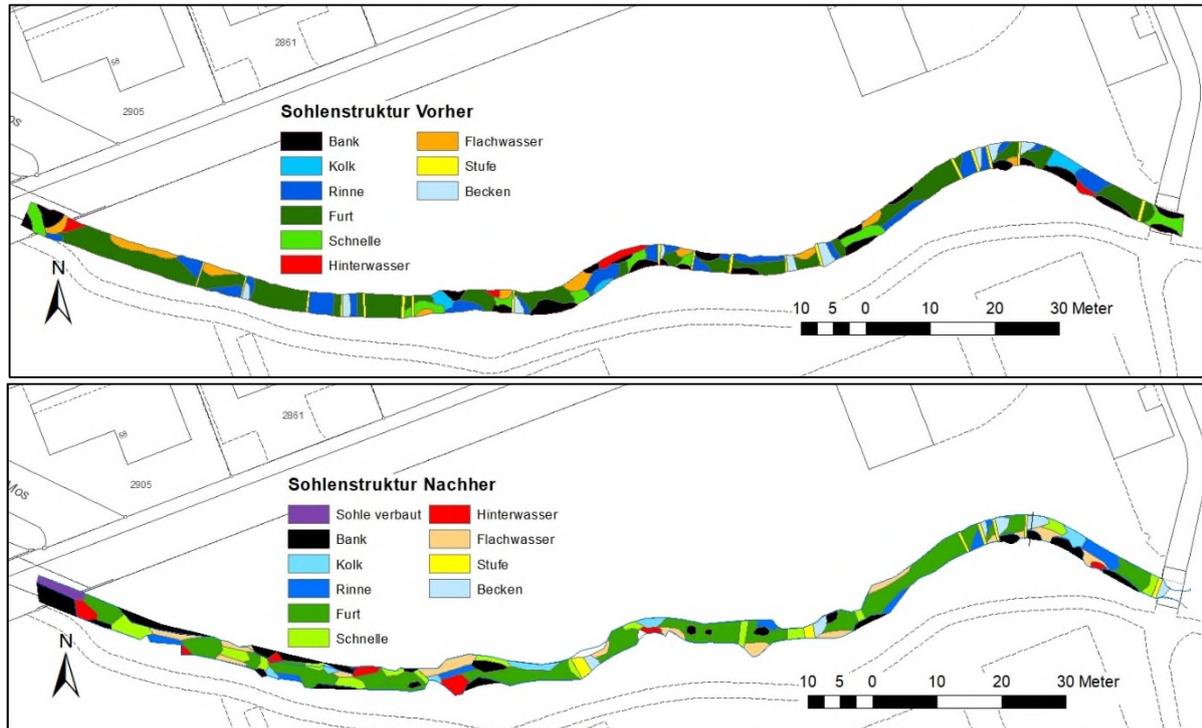
Die standardisierte Bewertung der Einzelabschnitte sowie das gewichtete Mittel aller Einzelabschnitte ergab jedoch, trotz der höheren Anzahl Strukturen im Ursprungszustand, eine leicht bessere Bewertung nach der Revitalisierung. Einheitslängenabschnitt Nr. 1 wurde im revitalisierten Zustand eine Zustandsklasse höher bewertet. In Abbildung 5 wird ersichtlich, dass

## Resultate

in Abschnitt 1 nach der Revitalisierung eine erhöhte Anzahl verschiedener Sohlenstrukturen vorhanden ist. Dadurch erhöhte sich auch das gewichtete Mittel von 0.41 auf 0.46 (Tabelle 5).

**Tabelle 5:** Standardisierte Bewertung der Sohlenstruktur für jeden Einheitslängenabschnitt und als gewichtetes Mittel vor und nach der Revitalisierung.

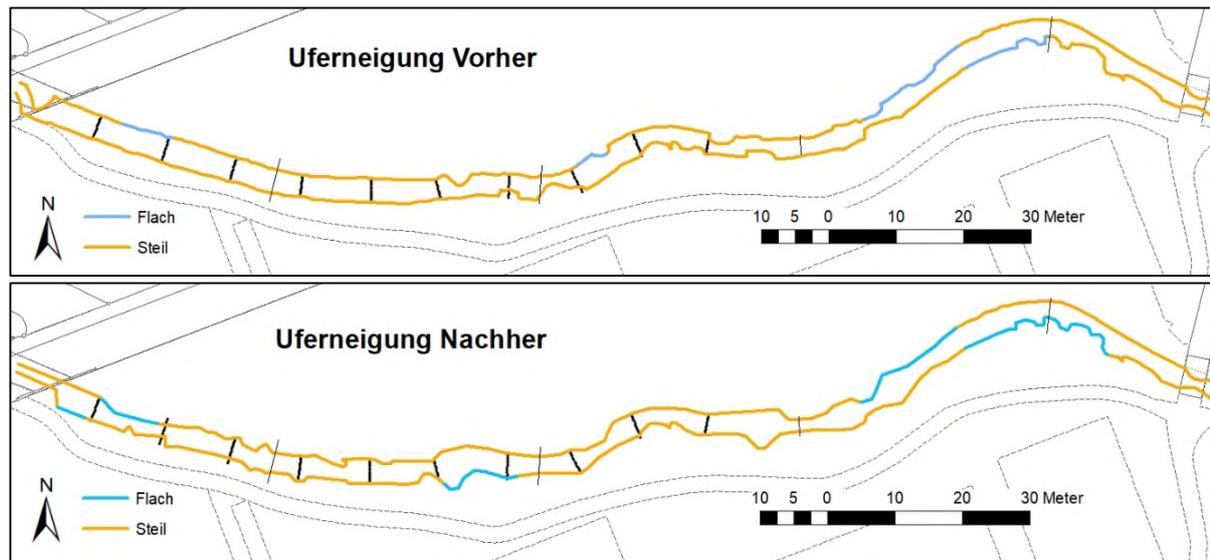
Einheitslängenabschnitt	1	2	3	4	5	gewichtetes Mittel
Standardisierte Länge des Einheitslängenabschnittes	1.00	1.00	1.00	1.00	0.63	-
Bewertung Sohlenstruktur (-)						
<b>Vorher</b>	0.25	0.25	0.25	0.50	0.25	0.41
<b>Nachher</b>	0.50	0.25	0.25	0.50	0.25	0.46



**Abbildung 4:** Sohlenstruktur vor und nach der Revitalisierung. Fließrichtung von links nach rechts.

### 3.2 Bewertung der Uferstruktur

Die Kartierung der Uferlinie gab einen ersten Eindruck, wie sich Uferstruktur verändert hat. In Abbildung 5 sind sich die beiden Uferlinien gegenübergestellt. Farblich markiert ist die Uferneigung.



**Abbildung 5:** Uferlinie und Uferneigung (flach:  $\leq 1:2$ ); steil ( $> 1:2$ )) vor und nach der Revitalisierung. Fließrichtung von links nach rechts.

Die Gegenüberstellung der Karten zeigte bereits, dass die Uferlinie mit der Revitalisierung variabler geworden ist. Dies traf vor allem auf den obersten Drittel zu. Die Uferlinie in den untersten Metern des Perimeters blieben demgegenüber fast unverändert.

Die Länge des Gesamtufers auf der Strecke hat sich von 407.3 m auf 412.6 m geringfügig verlängert. Die mittlere benetzte Breite hat sich, basierend auf den gemessenen Querprofilen, von 2.48 m auf 3.06 m verbreitert. Die Sohlenbreite wurde bei der Ersterhebung auf 3.4 m festgelegt, da das Gerinne nur punktuell aufgeweitet wurde, wurde dies beibehalten. Daher blieb auch die Einheitslänge mit 41 m und die Anzahl von 4.63 Einheitslängen über den ganzen Abschnitt bestehen.

In Tabelle 6 sind die absoluten Längen sowie die Länge pro Einheitslänge für alle Parameter, welche die Uferlinie beschreiben aufgeführt. Die Uferneigung blieb beim Grossteil der Uferlänge unverändert. Zwei Abschnitte auf der orographisch rechten Seite wurden abgelegt und fallen neu in die Kategorie Flach, dadurch hat sich die Gesamtlänge der flachen Ufer um 56.5 % erhöht. Der Anteil von flachen Ufern im Vergleich zu steilen Ufern bleibt aber klein.

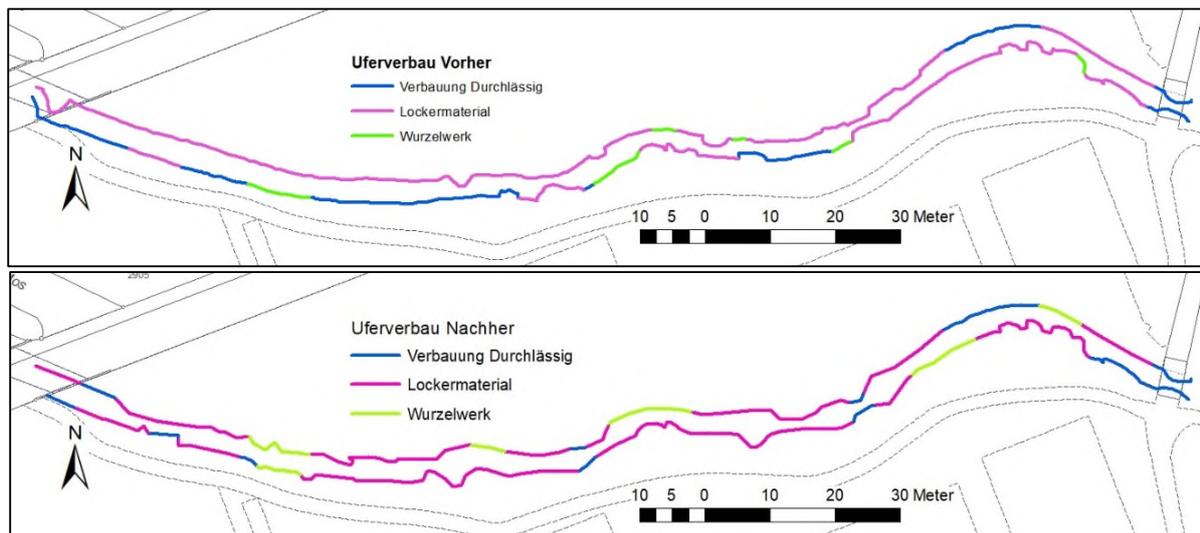
Durch die kleinräumigere Ausgestaltung der Ufer hat sich aber die Beurteilung Linienführung verändert (Anhang B, Abbildung A). So hat sich der Anteil der konvexen und konkaven Uferelemente vergrößert. Während vor der Revitalisierung 93.7% der Uferlinie linear war, reduzierte sich dieser Anteil nach der Revitalisierung auf 76.2%.

## Resultate

**Tabelle 6:** Vergleich der Indikatoren Uferstrukturen vorher und nachher anhand von absoluter Länge und Meter pro Einheitslänge und prozentualer Änderung. Bei den Werten der Nachher-Aufnahme sind Zunahmen blau und Abnahmen rot gekennzeichnet.

Uferstruktur	Vorher		Nachher		Änderung in %
	Absolute Länge (m)	m pro Einheitslänge	Absolute Länge (m)	m pro Einheitslänge	
<b>Neigung</b>					
Flach	48.25	9.85	75.52	15.41	56.5%
Steil	359.01	73.27	337.07	68.79	-6.1%
<b>Linienführung</b>					
linear	381.62	77.88	314.52	64.19	-17.6%
konvex	23.32	4.76	83.32	17.00	257.3%
konkav	2.32	0.47	14.75	3.01	535.8%
<b>Beschaffenheit</b>					
Verbauung durchlässig	109.03	22.25	71.72	14.64	-34.2%
Verbauung undurchlässig	-	-	-	-	
Lockermaterial	265.56	54.20	284.67	58.10	7.2%
Wurzelwerk	32.67	6.67	56.2	11.47	72.0%
Fels	-	-	-	-	

Auch die Zusammensetzung der Uferbeschaffenheit hat sich mit der Revitalisierung verändert (Abbildung 6). Im oberen Teil wurde ein Grossteil der Uferverbauung am rechten Ufer entfernt. Vor der Fussgängerbrücke, ganz am unteren Ende der Revitalisierungsstrecke, wurde das Ufer zur Sicherung rechts neu mit Blocksteinen gesichert, gesamthaft hat sich der Verbau um 34.2% reduziert.



**Abbildung 6:** Uferlinie und Uferverbau vor und nach der Revitalisierung. Fließrichtung ist von links nach rechts.

### 3.2.1 Berechnungen Uferstruktur gemäss Steckbrief Indikatoren-Set 1

#### Längsverbauung $A_{verb}$

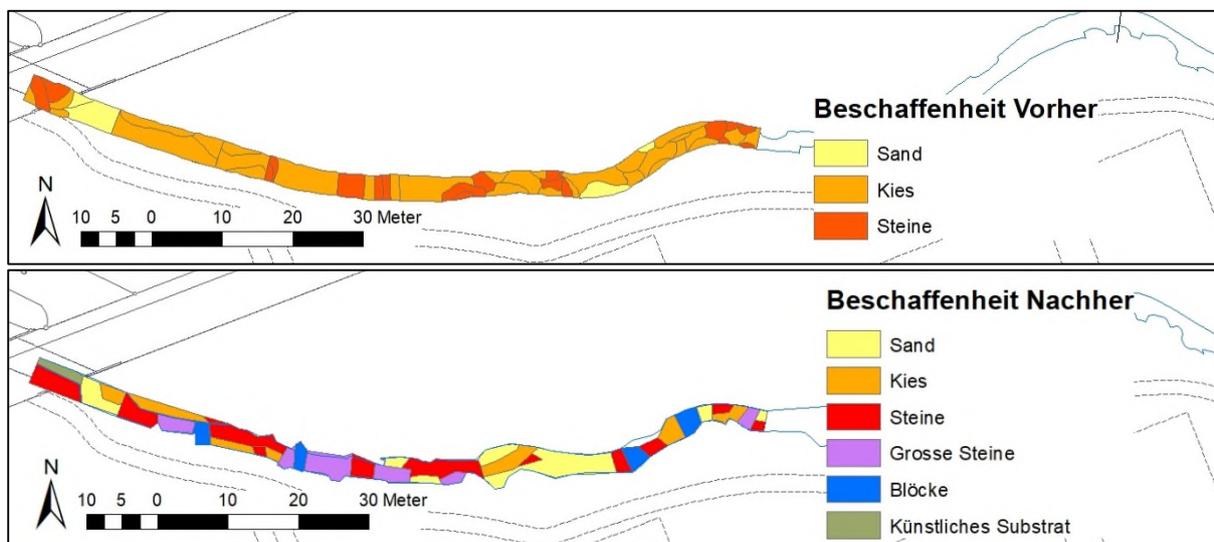
Die Berechnung des gewichteten Mittels des Parameters «Längsverbauung  $A_{verb}$ » (Kapitel 2.4.2) ergaben für den Zustand vor und nach der Revitalisierung mit einem Wert von 0.43, respektive 0.46 hohe Werte, welche sich nahe beim Optimum von 0.5 bewegen. Auf der Strecke waren vor und nach der Revitalisierung keine hart verbauten Ufer vorhanden.

#### Strukturelemente $A_{Struktur}$

Die Anzahl Uferstrukturen pro Einheitsabschnitt haben sich mit 2.98 vor der Revitalisierung und 6.34 nach der Revitalisierung mehr als verdoppelt. Das Gewichtete Mittel hat von 0.08 auf 0.36 zugenommen.

### 3.3 Bewertung des Sohlensubstrats

In Abbildung 7 sind die beiden Karten mit der Beschaffenheit der Sohle graphisch gegenübergestellt. Die qualitative Betrachtung der beiden Bilder verdeutlicht bereits, dass die Varietät des Substrates zugenommen und eine Sortierung stattgefunden hat.



**Abbildung 7:** Beschaffenheit des Sohlensubstrates nach Grösse vor und nach der Revitalisierung im Unterabschnitt. Fließrichtung ist von links nach rechts.

Der numerische Vergleich der Flächen bestätigte die erhöhte Variabilität des Sohlensubstrates (Tabelle 7). So waren im renaturierten Zustand vermehrt grössere Substrattypen vorhanden. Die Fläche mit Kies hat abgenommen, während die Flächen mit Sand und Steinen zugenommen haben. Neu kartiert wurden Grosse Steine mit einem Durchmesser von über 64 mm und Blöcke mit Durchmessern von mehr als 250 mm. Die Anzahl Substrattypen pro Einheitslänge hat jedoch um 3.5 abgenommen.

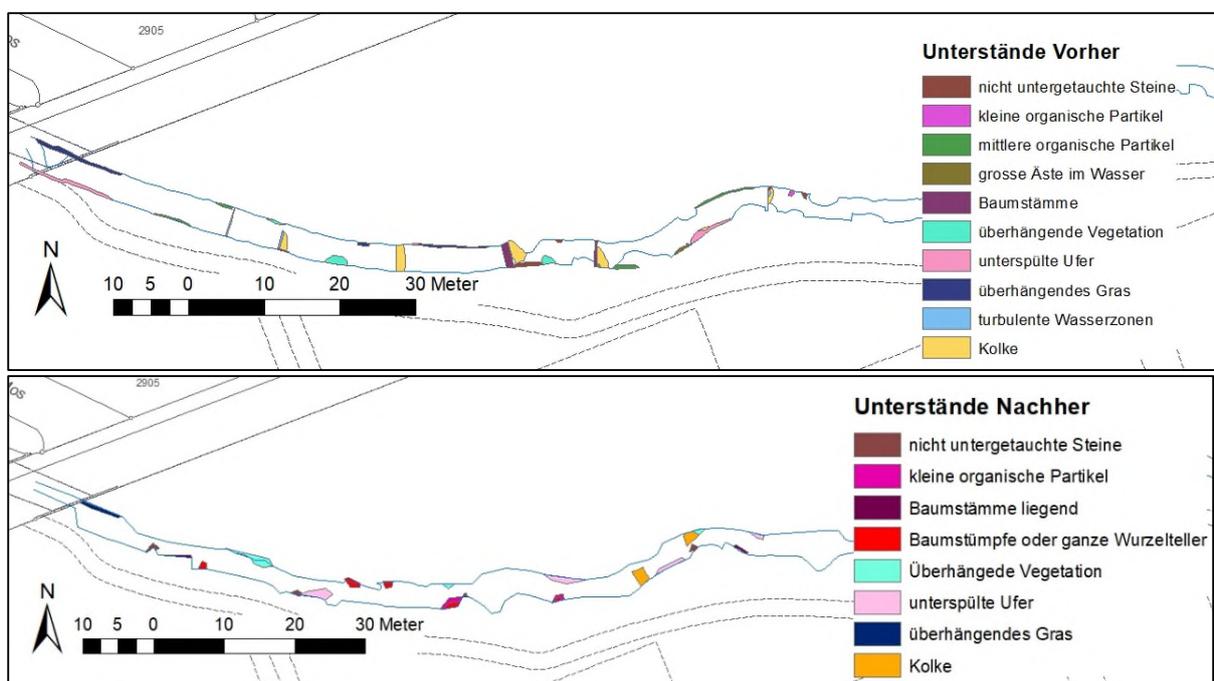
## Resultate

**Tabelle 7:** Substratzusammensetzung des revitalisierten Abschnittes vor und nach der Revitalisierung mit Fläche pro Substrattyp, Anzahl pro Solenstruktur und Anzahl pro Einheitslänge. Bei den Werten der Nachher-Aufnahmen sind Zunahmen blau und Abnahmen rot gekennzeichnet, gleichbleibende Werte wurden nicht eingefärbt.

Substrattyp	Vorher			Nachher		
	Fläche (m <sup>3</sup> )	Anzahl	Anzahl pro Einheitslänge	Fläche (m <sup>3</sup> )	Anzahl	Anzahl pro Einheitslänge
Sand	38.4	4	0.86	82.5	7	1.50
Kies	263.1	31	6.65	63.0	7	1.50
Steine	82.5	18	3.86	107.4	12	2.58
Grosse Steine	0.0	0	0.00	57.8	6	1.29
Blöcke	0.0	0	0.00	31.0	4	0.86
Künstliches Substrat	0.0	0	0.00	8.9	1	0.21
Total	383.9	53.0	11.4	350.5	37.0	7.9

### 3.4 Bewertung Unterstandsangebot

In Abbildung 8 sind die verschiedenen Unterstandstypen auf der Karte festgehalten. Man erkennt, dass vor der Revitalisierung mehr Kolke als Unterstände vorhanden waren. Auch die Zusammensetzung der Unterstände hat sich leicht verändert, so wurden die Unterstandstypen «mittlere organische Partikel», «grössere Äste im Wasser» und «turbulente Wasserzonen» nach der Revitalisierung nicht aufgenommen. Dafür wurden neu «Baumstümpfe» oder «ganze Wurzelteller' erhoben».



**Abbildung 8:** Unterstandsangebot im Unterabschnitt vor und nach der Revitalisierung. Fliessrichtung von links nach rechts.

## Resultate

In Tabelle 8 ist ersichtlich, dass das Unterstandsangebot mit der Revitalisierung absolut und relativ abgenommen hat und daher weiter vom Referenzzustand abweicht als vor der Revitalisierung. Die Abweichung ist so gross, dass die der standardisierte Wert für das Unterstandsangebot um eine Bewertungskategorie von 0.50 auf 0.25 gefallen ist.

**Tabelle 8:** Benetzte Fläche, Fläche der Unterstände, Unterstandsangebot in Prozent, Abweichung des Unterstandsangebot vom Referenzzustand in Prozent und der standardisierte Wert für das Unterstandsangebot vor und nach der Revitalisierung.

Unterstandsangebot	Vorher	Nachher
Benetzte Fläche (m <sup>2</sup> )	112	273
Fläche Unterstände (m <sup>2</sup> )	50	39
Aktuelles Unterstandsangebot (%)	22.47	14.23
Abweichung vom Referenzzustand (%)	43.82	64.43
Standardisierter Wert Unterstandsangebot	0.50	0.25

### 3.5 Bewertung Querprofile

#### *Wassertiefen $VC_{max\text{ Wassertiefe}}$*

Bei den maximal gemessenen Wassertiefen im Rahmen der Messung der Querprofile ergab sich eine Erhöhung des Mittelwertes von 0.15 m auf 0.24 m. Die Standardabweichung hat sich von 0.06 auf 0.12 erhöht (vgl. Tabelle 9). Die standardisierten Werte für den Variationskoeffizienten der Wassertiefen sind 0.16 (vorher) und 0.32 (nachher).

**Tabelle 9:** Mittelwerte, Standardabweichungen und Variationskoeffizient der gemessenen Wassertiefe und Fliessgeschwindigkeiten und Mittelwert und Standardabweichung der benetzten Breite vor und nach der Revitalisierung.

Wassertiefen	Vorher	Nachher	Fliessgeschwindigkeit	Vorher	Nachher
Mittelwert (m)	0.15	0.24	Mittelwert (m/s)	0.17	0.03
Standardabweichung	0.06	0.12	Standardabweichung	0.20	0.09
$VC_{max\text{ Wassertiefe}}$ (%)	37.17	48.69	$VC_{\text{Fließgeschwindigkeit}}$ (%)	118.55	279.77
Benetzte Breite	Vorher	Nachher			
Mittelwert (m)	2.24	2.73			
Standardabweichung	0.33	1.26			

#### *Fliessgeschwindigkeit $VC_{\text{Fließgeschwindigkeit}}$*

Die mittlere Fliessgeschwindigkeit hat nach der Revitalisierung abgenommen (Tabelle 9). Da der Variationskoeffizient bei beiden Aufnahmen grösser als 110% ist wird er auf den Wert 1 gesetzt.

#### *Benetzte Breite*

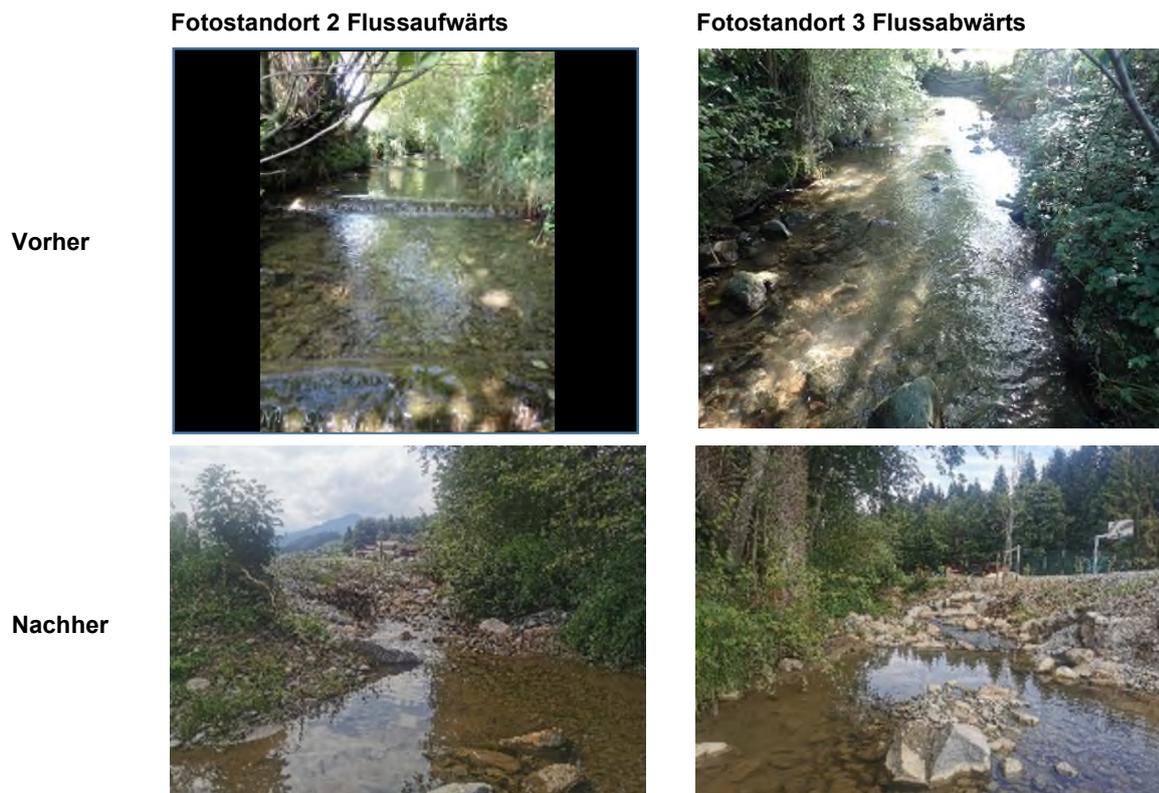
Die benetzte Breite hat sich mit der Revitalisierung um knapp 0.5 m erhöht. Zudem hat sich gemäss Standardabweichung die Variabilität der benetzten Breite erheblich vergrössert (Tabelle 9).

### *Vergleich der Abflusswerte*

Die Abflusswerte, welche über die gemittelten Werte der Abflussprofile berechnet wurden, zeigen, dass die Abflussbedingungen zu den beiden Erhebungszeitpunkten nur bedingt verglichen werden können. Die Berechnungen aufgrund der Messdaten der Querprofile ergaben für die Erhebung vor der Revitalisierung ein Abfluss von 56 l/s. Für die Erhebung nach der Revitalisierung war der Abfluss mit 21 l/s deutlich geringer.

### **3.6 Bewertung Fotodokumentation**

In Abbildung 9 sind Aufnahmen von Fotostandort 2 und 3 gegenübergestellt. Die Aufnahmen verdeutlichen die Veränderung des oberen Abschnittes gut. So wurde auf der orographisch rechten Seite ein Grossteil der Uferbestockung entfernt, die Variabilität der Gerinnebreite erhöht und das Ufer abgelegt. Durch die Entfernung der Uferbestockung fehlt auf der Südseite die Beschattung gänzlich.



**Abbildung 9:** Vorher-Nachher Aufnahmen des revitalisierten Abschnittes bei Fotostandort 2 und Fotostandort 3.

## **4 Diskussion**

In der Diskussion soll beurteilt werden, ob die definierten Revitalisierungsziele mit den erhobenen Daten überprüft werden konnten und welche Ziele erreicht wurden. Weiter wurde analysiert welche weiteren Daten womöglich hilfreich gewesen wären, um die Ziele effektiver zu beurteilen. Die Diskussion ist gemäss den Zielen gegliedert.

### **4.1 Bewertung der Ziele**

#### **4.1.1 Ziel 1 - Die Anzahl Kolke wurde im Minimum beibehalten (minimale Kolkentiefe von 0.5 Metern)**

Anhand der Erhebungen der Sohlenstruktur konnte eine Aussage über die Anzahl Kolke sowie deren Fläche vor und nach der Revitalisierung gemacht werden. Der Vergleich zeigte, dass die Gesamtanzahl von Kolk und Becken (der grösseren Form eines Kolks) gleichgeblieben ist. Die Anzahl Kolken hatte sich jedoch auf Kosten der Anzahl Becken verringert. Dies gibt einen Hinweis darauf, dass die Zieltiefe der Kolke von 0.5 m nach der Revitalisierung nicht für alle Kolke erreicht wurde. Für die genaue Überprüfung des Ziels 1 hätte die Wirkungskontrolle jedoch erweitert werden müssen und die Kolke zusätzlich einzeln ausgemessen werden müssen.

Gemäss mündlicher Mitteilung (Ramon Hegglin, Abteilungsleiter Naturgefahren und Wasserbau, OW) wurde ein Grossteil der Kolke bei der Revitalisierung tiefer gestaltet und im Verlauf des letzten Winters mit Material aufgefüllt. Der tiefste Kolk war nach der Revitalisierung über zwei Meter tief und erreichte zum Zeitpunkt der Revitalisierung weniger als einen Meter Tiefe. Da sich aber seit der Revitalisierung kein Hochwasser ereignet hat und sich Kolken während Niedrig- und Mittelwasserphasen mit Feinsedimenten füllen (Brunke et al, 2012), wäre eine Überprüfung dieses Zieles nach einem Hochwasser notwendig, um die Anzahl und insbesondere die Tiefe der Kolke im Revitalisierungsabschnitt zu überprüfen.

**Fazit:** Das Ziel müsste bei geeigneteren Bedingungen nach einem Hochwasser erneut überprüft werden und die Erhebungsmethode mit der Tiefenmessung der einzelnen Kolke ergänzt werden.

#### **4.1.2 Ziel 2 - Bei den Kolken wurden seitliche Fischunterstände erstellt**

Für die Überprüfung von Ziel 2 wurden die Daten der Unterstände verwendet. Die Analyse zeigte, dass sich das Unterstandsangebot mit der Revitalisierung um mehr als 20% verringert hat und das Gewässer folglich um 0.25 Einheiten schlechter eingestuft wurde als vor der Revitalisierung. Da die Ersterhebung im Herbst gemacht wurde, und die Zweiterhebung im Sommer, besteht zudem die Gefahr, dass die Unterstände bei der zweiten Untersuchung aufgrund der ausgeprägteren Vegetationsphase zusätzlich überschätzt wurden.

Der Verlust der Unterstände könnte auf die Entfernung des Ufergehölzes auf der rechten Seite sowie das Fehlen der Kolkbecken nach Entfernung der Querverbauungen zurückzuführen sein. Zudem sind Ansammlungen von organischem Material, insbesondere grössere Äste nicht vorhanden, was auf das "fehlende" Hochwasser zurückgeführt werden könnte. Mit eingebrachten Steinen und grösseren Totholzstrukturen konnte dem Verlust der Unterstände teilweise entgegengewirkt werden.

Eine spezifische Aussage zu den Fischunterständen in den Kolken konnte mit der vorgegebenen Analyse nicht gemacht werden. Mit den Daten wäre aber eine spezifische GIS-Analyse möglich werden, um die Fläche der Unterstände zu berechnen. Aufgrund der Zeitrestriktion müsste eine solche Analyse zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt werden.

**Fazit:** Das Gesamtangebot der Unterstände hat abgenommen. Jedoch wird erwartet, dass mit zunehmendem Bewuchs und erhöhtem Totholzvorkommen die Unterstände wieder zunehmen werden und daher wird eine spätere Überprüfung empfohlen. Für die Untersuchung von Ziel zwei wird eine zusätzliche GIS-Analyse empfohlen, welche mit den vorhandenen Daten durchgeführt werden kann.

#### **4.1.3 Ziel 3 - Die Breitenvariabilität des Gerinnes wurde verbessert**

Zur Überprüfung von Ziel 3 wurden die Daten der Uferstruktur sowie die Daten der Querprofile genutzt. Die optische Analyse der Uferlinie gab einen Hinweis darauf, dass die Breitenvariabilität erhöht wurde, dies wurde durch die Analyse der Linienführung, welche eine Erhöhung der konvexen und konkaven Uferstrukturen ergab, bestätigt. Die Berechnungen des Mittelwertes und der Standardabweichung ergaben ebenfalls, dass Breitenvariabilität und mittlere Breite des Gerinnes sich erhöht haben. Zusätzlich hat die Erhebung der Querprofile ebenfalls gezeigt, dass die Heterogenität der Fliesstiefen sowie deren Mittelwert erhöht wurde.

**Fazit:** Ziel 3 kann aufgrund der Ergebnisse der Wirkungskontrolle als erfüllt betrachtet werden. Die Ergänzung der Analyse durch die Berechnung der Standardabweichung der Breite der Querprofile konnte Aufschluss über die Breitenvariabilität geben. Zusätzliche Analysen anhand der erhobenen Uferlinie wären mit den vorhandenen Daten möglich.

#### **4.1.4 Ziel 4 - Es wurden Gerinneabschnitte mit höherer Fliessgeschwindigkeit geschaffen.**

Für die Überprüfung von Ziel 4 wurden die Fliessgeschwindigkeiten der Querprofilmessungen verwendet. Die Messung der Fliessgeschwindigkeit vor und nach der Revitalisierung war aber aus zwei Gründen nur bedingt vergleichbar. Die erste Erhebung wurde im Herbst nach

einem sehr niederschlagsreichen Sommer und die zweite Erhebung im Sommer nach einer längeren Trockenperiode erhoben, was sich in den berechneten Abflussmengen niederschlug. Zudem war die Messgenauigkeit bei der zweiten Erhebung um den Faktor 10 kleiner, da die Messgenauigkeit bei der Zweiterhebung falsch eingestellt war. Bei den tiefen Fliessgeschwindigkeiten, die gemessen wurden ergab daher ein Grossteil der Messwerte 0 m/s. Dadurch wurde die Fliessgeschwindigkeit nach der Revitalisierung tendenziell unterschätzt. Folglich waren Rückschlüsse aufgrund der Abflusswerte nur bedingt aussagekräftig. Zusätzlich hatten die unterschiedlichen Abflussbedingungen höchstwahrscheinlich auch einen Einfluss auf die weiteren erhobenen Parameter wie die Abflussmenge.

Abgesehen von den Daten der Querprofile könnten auch die Erhebung die Sohlenstruktur Informationen zur Abundanz der verschiedenen Fliessgeschwindigkeiten liefern, indem schnell fliessende Strukturtypen analysiert würden.

**Fazit:** Ziel 4 - die Erhöhung der Fliessgeschwindigkeiten in Teilbereichen konnte mit der Wirkungskontrolle zu diesem Zeitpunkt nicht bestätigt werden. Dies lag aber an den unterschiedlichen Abflussbedingungen und der Messgenauigkeit. Bei einer erneuten Erhebung im Rahmen der Programmvereinbarung sollte daher der richtige Erhebungszeitpunkt gewählt werden und auf die Messgenauigkeit geachtet werden.

### **4.1.5 Ziel 5 - Es wurden Kiesbänke und Überflutungsbereiche geschaffen**

Ziel 5 wurde anhand der Ergebnisse der Erhebung der Sohlenstruktur sowie den Daten zur Uferneigung überprüft.

Die Erhebung der Sohlenstruktur zeigte, dass die Fläche der Kiesbänke vor und nach der Revitalisierung annähernd gleichgeblieben sind. Der Zustand nach der Revitalisierung wies einen leicht höheren Flächenanteil an Bänken auf. Es ist aber zu berücksichtigen, dass die Abflussverhältnisse bei den Aufnahmen nach der Revitalisierung geringer waren und folglich die trockenen Flächen sich erhöht haben. Da das Gerinne an sich nicht auf weiten Strecken verbreitert wurden, sondern kleine Aufweitungen umgesetzt wurden, war eine starke Erhöhung der Kiesbänke auch nicht zu erwarten, da die Bildung von Bänken erheblich von der Breite und der Länge von Aufweitungen abhängt (Hunzinger, 2004). Zudem wäre es möglich, dass der Geschiebehaushalt durch den oberhalb liegenden Geschiebesammler ein generelles Defizit aufweist.

Durch den erhöhten Anteil der Flachufer bieten sich aber mehr Überflutungsflächen. Die Strecke der Flachufer wurde um über 27 m verlängert, was im Verhältnis zur Gesamtstrecke eine relevante Strecke darstellte und im Hinblick auf Ziel 5 positiv bewertet wurde.

**Fazit:** Ziel 5 wurde teilweise erreicht, da durch die Flachufer neue Überflutungsflächen geschaffen wurden. Jedoch konnte die Fläche der Kiesbänke nicht erhöht werden, da keine nennenswerte Aufweitung des Gesamtgerinnes erfolgte. Die Parameter Uferneigung und Sohlenstruktur waren ausreichend, um Ziel 5 zu überprüfen.

#### **4.1.6 Ziel 6 - Die Beschattung wurde erhalten bzw. wiederhergestellt**

Die Beschattung des Gerinnes konnte mit keinem der erhobenen numerischen Werten analysiert werden. Anhand der Fotodokumentation konnten aber Rückschlüsse auf die Beschattung gemacht werden. Der Vergleich der Aufnahmen (Abbildung 9) zeigte deutlich auf, dass die Entfernung des Ufergehölzes in südlicher Richtung negativ auf die Beschattung auswirkte. Dies hat sich auch in hohen Wassertemperaturen während der Erhebung des Zustandes nach der Revitalisierung gezeigt, bei der die Wassertemperaturen bis auf 25°C stiegen. Bei diesem Ziel ist jedoch der Faktor Zeit eine wichtige Komponente. Die Bepflanzungen waren zum Zeitpunkt der Nachher-Erhebung weniger als ein Jahr alt. Bei den regulären Erhebungen, welche frühestens in drei Jahren stattfinden werden, wird die Vegetation weiter fortgeschritten sein.

Einzelne Variablen der Sohlenstruktur, wie überhängende Vegetation oder unterspülte Ufer konnten ebenfalls Hinweise zur Beschattung des Gerinnes geben. Jedoch ist der Parameter Unterstände nur bedingt für die Bestimmung der Beschattung geeignet, da Vegetation die sich neben dem Gerinne oder weit oberhalb des Gerinnes befinden dieses zwar beschatten, aber nicht als Unterstände gelten.

**Fazit:** Die Beschattung war zum Zeitpunkt der Aufnahme ungenügend. Jedoch muss die Überprüfung der Beschattung zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen, da die neu gepflanzte Vegetation Zeit für die Entwicklung benötigt. Die Erhebung der Beschattung durch die Fotodokumentation hängt an der Qualität der Aufnahmen und erlaubt keine quantitative Beurteilung.

#### **4.1.7 Ziel 7 - Es wurden Laichplätze für die Bachforelle geschaffen**

Forellen bevorzugen Wassertiefen von 0.1 bis 1.0 m, Fließgeschwindigkeiten zwischen 0.3 und 1.0 m/s und Kies mit einem Durchmesser von 8 und 70 mm (Pulg & Schnell, 2011; Adams et al., 2008) für ihre Laichplätze. Geeignete Parameter sind folglich die Daten der Fließgeschwindigkeit, der Fliesstiefe und des Sohlensubstrats.

Eine Analyse müsste die Daten aller drei Parameter kombinieren, um die geeigneten Laichhabitate zu identifizieren. Dies war kein Teil der Auswertung gemäss Indikatoren-Set 1 (BAFU, 2019a), könnte aber mit den vorhandenen Daten mindestens an den Stellen der Querprofile durchgeführt werden. Jedoch wäre eine gezielte Kartierung und Überprüfung der potenziellen Laichplätze auf diese Parameter zielführender.

Trotzdem ist zu erwähnen, dass mit der Verschiebung der Substratzusammensetzung von Kies (Durchmesser 2-16 mm) zu mehr Steinen (Durchmesser 16-64 mm) eine Verbesserung des Laichsubstrats erzielt werden konnte. Jedoch wäre auch eine erneute Überprüfung nach einem Hochwasser angebracht, insbesondere weil in der Strecke ein Geschiebedefizit aufgrund des oberhalb liegenden Geschiebesammlers identifiziert wurde (Belop, 2021) und sich dies negativ auf das Sohlensubstrat auswirken könnte.

**Fazit:** Ziel 7 konnte mit den vorgegebenen Analysen nicht abschliessend beurteilt werden. Mit den vorhandenen Daten wäre eine Analyse möglich, eine gezielte Erhebung der Laichplätze vor Ort wird aber als Zielführender beurteilt. Trotzdem konnte eine Verbesserung des Laichsubstrats festgestellt werden, diese sollte aber nach einem Hochwasser erneut überprüft werden.

#### 4.2 Weiterführende Beurteilung der Revitalisierung

Die Ergebnisse der Sohlenstruktur wiesen auf eine geringfügige Verbesserung der Strukturvielfalt im revitalisierten Gerinne hin. Die Morphologie hat sich durch die Abfolge von "wertvollen" Strukturen wie Schnellen und Kolken verbessert. Durch die Schaffung von neuen Mikrohabitaten, wird die Lebensraumqualität für die Forelle verbessert (Rau & Peter, 2011). Mit der Schaffung von neuen Hinterwassern und Flachwasserzonen wurde im Speziellen das Lebensraumangebot für juvenile Forellen verbessert (Brunke et al., 2012). Das Fehlen von tiefen Kolken limitiert jedoch das Habitatsangebot für adulte Fische. Kolke und Becken von 1 bis 2 Metern Tiefe wären vor allem für grössere Forellen von Bedeutung (Adams et al., 2008).

Die Beseitigung von einem Grossteil der Schwellen und der Ersatz durch fischgängige Blockrampen sorgt dafür, dass sich die longitudinale Vernetzung verbessert und ermöglicht so die Migration von Fischen in beide Fliessrichtung und fördert dadurch auch den genetischen Austausch der Populationen (Werth et al., 2011).

Die Uferstruktur konnte auf hohem Niveau ebenfalls verbessert werden. Mit der Entfernung von Verbauungen, der Diversifizierung der Linienführung und dem Abflachen von Uferabschnitten konnte nicht nur Strömungsmuster im benetzten Bereich verändert werden und die Uferlinie verlängert werden, sondern die laterale Vernetzung von Wasser und Land wurde verbessert und somit ein ökologischer Mehrwert geschaffen (Werth et al., 2011).

Die Substratzusammensetzung wies nach der Renaturierung eine grössere Vielfalt auf, was positiv zu bewerten ist. Während vor der Revitalisierung Kies vorherrschend war, waren nach der Revitalisierung ebenfalls grosse Steine und Blöcke vorhanden. Ein Grossteil der Blöcke wurde im Rahmen der Revitalisierung als Blockrampe zur Sohlenstabilisierung eingebracht (Belop, 2021).

### **4.3 Potenzielle Fehlerquellen bei der Wirkungskontrolle**

Die Qualität der Feldaufnahmen zur Wirkungskontrolle hängen stark von der Erfahrung und der Auffassung der Person ab. So wurden zum Beispiel in Abschnitt 4 und 5 (Abbildung 2), bei welcher sehr wenige bauliche Massnahmen durchgeführt wurden, an denselben Stellen unterschiedliche Beschaffenheiten des Ufers vor und nach der Revitalisierung identifiziert. So wurden am orographisch linken Ufer in der zweiten Erhebung 72.3% mehr Wurzelwerk kartiert. Im Hinblick auf die durchgeführten Rodungen ist dies wenig realistisch. Auch bei den anderen Parametern wäre zu erwarten, dass zwei Personen nicht zum exakt gleichen Ergebnis kommen werden. Daher ist es von Vorteil, wenn alle Aufnahmen bei einer Wirkungskontrolle von derselben Person aufgenommen würden und die Erhebung mit Kriterien genau dokumentiert würde.

Auch die Methodik der Datenerhebung hat einen Einfluss auf die Datenqualität. Dies wurde bei der Messung der Fliessgeschwindigkeit vernachlässigt. Aber auch die Qualität anderer Daten könnte mit technischen Hilfsmitteln möglicherweise verbessert werden. So kann mit einer Drohnenaufnahme ein akkurateres Bild der Uferlinie generiert werden, wenn diese dann aufgrund des Bewuchses möglich ist. Ebenfalls ist zu erwarten, dass eine GPS-basierte Aufnahme der Querprofile es ermöglichen würde, die exakte Position dieser wieder zu finden, während dies bei einer revitalisierten Strecke ohne GPS mehr Schwierigkeiten verursacht. Trotzdem ist zu erwähnen, dass auch mit diesen modernen Hilfsmitteln nicht auszuschliessen ist, dass Fehler in den Messungen vorkommen.

Zwei weitere Punkte wurde schon in der Analyse der Zielerreichung abgehandelt. So ist es zum einen wichtig, die Erhebungen bei ähnlichen Abflussverhältnissen durchzuführen, um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, da die Abflussverhältnisse fast alle erhobenen Parameter massgeblich beeinflussen. Zum anderen sollte ein genügend grosser Zeitraum zwischen der Revitalisierung und der Zweitaufnahme der Wirkungskontrolle vorhanden sein. Beide diese Punkte sind dann auch in den Dokumentationen zur Wirkungskontrolle vom BAFU festgelegt (Weber et al. 2019b, BAFU 2019a).

### **4.4 Fazit**

Die Ergebnisse der Wirkungskontrolle anhand von Indikatoren-Set 1 Habitatvielfalt (BAFU, 2019a) sind geeignet einen Grossteil der aquatischen Ziele, welche bei der Revitalisierung definiert wurden, zu überprüfen. In Tabelle 10 sind die Ergebnisse dieser Überprüfung, die Variablen, welche für diese genutzt wurden und Vorschläge für Ergänzungen sowie Neuerhebungen aufgelistet.

Zu Ziel 3, der Breitenvariabilität, und zu Ziel 5, den Kiesbänken und Überflutungsbereichen konnten im Rahmen der Wirkungskontrolle definitive Aussagen gemacht werden.

Für Ziel 2, Fischunterstände, und Ziel 6, Beschattung, wird eine Neuerhebung vier Jahre nach der Revitalisierung gemäss Merkblatt 2 (Weber et al., 2019b) empfohlen, da die Vegetation, welche Unterstände und Beschattung beeinflusst Zeit brauchen, um sich zu entwickeln. Daher wurde zu diesen Zielen keine abschliessende Beurteilung über die Erfüllung dieser gemacht.

Auch für Ziel 1, Kolke, wird eine Neuerhebung zu einem späteren Zeitpunkt empfohlen, da sich seit der Revitalisierung kein bettbildendes Hochwasser ereignet hat, welches eine erneute Kolkbildung ermöglicht (Brunke et al., 2012). Auch auf Ziel 7, die Laichplätze könnte ein Hochwasser noch einen Einfluss haben, daher wäre eine Analyse mit Daten nach einem Hochwasser wünschenswert.

Das letzte Ziel, welches einer Neuerhebung bedarf, ist Ziel 4, die Fliessgeschwindigkeit. Abgesehen von der Messungenauigkeit bei der Zweitaufnahme waren die Abflussverhältnisse der beiden Erhebungen nicht vergleichbar. Daher wird empfohlen die Neuerhebung gemäss Vorgabe in Indikatoren-Set 1 (BAFU, 2019a) bei mittlerem Niedrigwasserabfluss zu machen.

Der Abgleich mit den Zielen hat gezeigt, dass mit den im Indikatoren-Set 1 vorgegebenen Analysen nicht alle Fragestellungen beantwortet werden konnten. So wären für die Überprüfung der Fischunterstände (Ziel 2) und der Laichplätze (Ziel 7) weitergehende Analysen notwendig, welche verschiedene Variablen kombinieren.

Ergänzungen der Daten werden sind bei drei Zielen hilfreich oder notwendig. Bei Ziel 1, der Überprüfung der Kolke wäre eine Tiefenmessung der Kolke notwendig, um zu verifizieren, ob die Kolke die Mindesttiefe von 0.5 m erreichen. Im Hinblick auf die Revitalisierungsziele hätte die Wirkungskontrolle um diese Messgrösse erweitert werden können. Weiter ist die Beurteilung der Beschattung mit den Daten der Wirkungskontrolle nur aufgrund der Fotodokumentation möglich und folgt keiner vorgegebenen Methodik. Dadurch ist eine quantitative Aufnahme, welche auch eine Vergleichbarkeit gewährleistet nicht gegeben. Eine weitere Variable, welche es ermöglichen würde, die Beschattung zu quantifizieren wäre hilfreich. Als letzte Ergänzung der Daten würden gezielte Messungen von Substrat, Fliessgeschwindigkeit und Fliesstiefe bei vorselektionierten Fischlaichplätzen bessere Informationen über die Eignung des Lebensraumes für Forellen liefern. Hier wäre in Fischgewässern auch eine optionale Analyse weiterer Mikrohabitate denkbar.

Trotz oben aufgeführter Defizite hat die Analyse Eignung der Variablen zur Überprüfung der Revitalisierungsziele gezeigt, dass mit der vorgegebenen Methodik und einigen weiteren analytischen Auswertungen der grösste Teil der Revitalisierungsziele überprüft werden konnte oder könnte. Der Zeitpunkt der Wirkungskontrolle und die Erfahrung der erhebenden Person sind jedoch essenziell für die Qualität der Daten. Vorhandene technische Hilfsmittel können je

## Diskussion

---

nach Situation zusätzlich zur Güte der Daten beitragen. Nichtsdestotrotz ist die standardisierten Wirkungskontrolle sicherlich ein wertvolles Instrument, um Revitalisierungen in einem grösseren Kontext zu untersuchen. Dies gilt insbesondere, wenn anhand der verschiedenen Indikatoren-Sets Korrelationen identifiziert werden können.

## Diskussion

**Tabelle 10:** Zusammenfassung der Eignung der Variablen aus Indikatoren-Set 1 (BAFU, 2019a) für die Überprüfung der Revitalisierungsziele, Analyse der Zielerreichung, notwendige Ergänzungen und Zusatzbemerkungen.

	Ziel 1 Kolke	Ziel 2 Fischunterstände über Kolken	Ziel 3 Breitenvariabilität	Ziel 4 Fließgeschwindigkeit	Ziel 5 Kiesbänke / Über- flutungsbereiche	Ziel 6 Beschattung	Ziel 7 Laichplätze
<b>Variablen Wirkungskontrolle Indikatoren-Set 1</b>							
Sohlenstruktur							
Linienführung Ufer							
Uferbeschaffenheit							
Uferneigung							
Sohlenbeschaffenheit							
Unterstandstyp							
Querprofile							
Fotodokumentation							
<b>Analyse</b>							
Zielerreichung	(✓) / ?	?	✓	?	(✓)	?	?
Neuerhebung	Nach Hochwasser	4 Jahre nach Be- pflanzung	-	Erhebung bei mitt- lerer Niederwas- serführung	-	4 Jahre nach Be- pflanzung	-
Zusatzvariablen	Tiefenmessung in den Kolken	-	-	-	-	Alternative quanti- tative Erhebungs- methode	Gezielte Erhebung der Verhältnisse bei potenziellen Laichplätzen -
Zusatzanalyse	-	Verschnitt von Kol- ken und Unterstän- den	-	-	-	-	Kombianalyse von Substrat, Fließge- schwindigkeit und -tiefe
Bemerkungen	Neuerhebung nach Hochwasser	Zusatzanalyse mit vorhandenen Da- ten	-	Neuerhebung bei geeigneten Ab- flussverhältnissen	-	Keine quantitative Erhebung möglich	
<b>Legende</b>							
	Variabel zur Überprüfung des Ziels geeignet						
	Variabel in Kombination mit anderen Variablen zur Überprüfung des Ziels geeignet						
	Variabel kann Zusatzinformationen liefern						
✓	Ziel erreicht						
(✓)	Ziel teilweise erreicht						
?	Zielerreichung konnte nicht beurteilt werden						

## 4.5 Ausblick

Gesamthaft gesehen ist die Wirkungskontrolle gemäss Indikatoren-Set 1 (BAFU, 2019a) ein gutes Instrument um die Veränderungen bei der Revitalisierung eines Gewässers standardisiert aufzunehmen. Die Daten ermöglichen eine erweiterte Analyse und garantieren eine Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen Projekten, was zu einem Projektunabhängigen Lernprozess beiträgt.

Trotzdem sollte die Möglichkeit ergriffen werden, die standardisierten Wirkungskontrollen mit einzelnen individuellen Komponenten zu ergänzen, um spezifische Fragestellungen bezüglich der Zielerreichung beantworten zu können. Dies könnte auch in den Dokumenten des BAFUs zur Wirkungskontrolle explizit erwähnt werden.

Ein Defizit der Wirkungskontrolle, welches behoben werden sollte ist, dass die Beschattung nicht explizit untersucht wird. Im Hinblick globale Erwärmung wird auch die zunehmende Erwärmung der Fliessgewässer zum Problem. Mit guter Beschattung könnte die mittlere Wassertemperatur aber um 4 bis 5° C reduziert werden (Mende & Sieber, 2022). Da die Beschattung einen solch grossen Einfluss auf die Wassertemperatur und folglich die Habitatsqualität hat, sollte diese unbedingt auch im Indikator-Set 1 integriert werden.

Weiter wäre es interessant, die standardisierte Wirkungskontrolle vom BAFU mit konkreten Revitalisierungszielen zu verknüpfen und so auch die Analyse über die bestehenden Elemente zu erweitern. Ein breiter Katalog mit konkreten Revitalisierungszielen, die passenden Instrumenten für die Analyse und Auswertung könnten dazu beitragen, die Ergebnisse noch besser zu strukturieren dadurch neue Erkenntnisse zu gewinnen.

Im Falle der Revitalisierung Schwandbach wird es eine weitere Möglichkeit geben, die das Indikator-Set 1 zum richtigen Zeitpunkt zu erheben. Da diese gemeinsam mit Indikatorset- 7, Fische, aufgenommen werden wird, könnte auch untersucht werden, ob das Angebot der verschiedenen Lebensräume mit dem Vorkommen der verschiedenen Altersstadien der Forelle korreliert. Zudem wird bis zum Zeitpunkt der Erhebung im Idealfall ein Hochwasserereignis geschehen sein und die Vegetation weiter fortgeschritten sein.

Bei der dritten Erhebung der Revitalisierungsstrecke ist sicherlich darauf zu achten, möglichst erfahrenes Personal (wenn möglich die gleiche Person, die die Erstaufnahme gemacht hat) einzusetzen, den richtigen Erhebungszeitpunkt abzuwarten und die Wirkungskontrolle mit gezielten Untersuchungen, welche anhand der festgelegten Ziele bestimmt werden, zu ergänzen.

## 5 Literaturverzeichnis

- Adams, P., James, C., Speas, C., (2008). Brown trout (*Salmo trutta*) Species and Conservation Assessment. Prepared for the Grand Mesa, Uncompahgre, and Gunnison National Forests. Abgerufen am 4.8.2021 von [https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stel\\_prdb519\\_9817.pdf](https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stel_prdb519_9817.pdf).
- Aquaplus (2019). Erstaufnahme Indikator-Set 1 Schwandbach.
- Belop (2021). Integrale Verbesserung Schwandbach Sportplatz Moos. Bau- und Auflageprojekt / Technischer Bericht.
- Brunke, M., Purps, M., & Wirtz, C. (2012). Furten und Kolke in Fließgewässern des Tieflands: Morphologie, Habitatfunktion für Fische und Renaturierungsmaßnahmen. *Hydrol. Wasserbewirtsch.*, 56(3).
- Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) 2018: Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich 2020–2024. Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde an Gesuchsteller. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1817: 294 S.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) (2019a). Indikator-Set 1 – Habitatvielfalt. In: Wirkungskontrolle Revitalisierung – Gemeinsam lernen für die Zukunft. Bern. Steckbrief 1, V1.04.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) (2019b). Indikator-Set 7 – Fische. In: Wirkungskontrolle Revitalisierung – Gemeinsam lernen für die Zukunft. Bern. Steckbrief 7, V1.03.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) (2022). Habitatvielfalt (1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5): Auswertungsdatei (Version 1.01); abrufbar unter [https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wasser/fachinfo-daten/wirkungskontrolle-revitalisierung/habitatevielfalt.xlsx.download.xlsx/Auswertung\\_Set1\\_1\\_01.xlsx](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wasser/fachinfo-daten/wirkungskontrolle-revitalisierung/habitatevielfalt.xlsx.download.xlsx/Auswertung_Set1_1_01.xlsx)
- Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK (Hrsg.) (2010). Für naturnahe Gewässer: Geändertes Gewässerschutzgesetz ab Januar in Kraft. Abgerufen am 31. 7. 2022. von <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-35253.html>
- Hunzinger, L. (2004). Flussaufweitungen: Möglichkeiten und Grenzen. *Wasser Energie Luft*, 9(10), 243-249.
- Kanton Obwalden (2014). Strategische Planung Revitalisierung der Fliessgewässer 2014 – 2033. Schlussbericht. Version vom Mai 2015.
- Mende, M. & Sieber, P. (2022). Wie halten wir unsere Gewässer kühl? Untersuchung und Visualisierung von Temperaturflüssen, Ableitung von Massnahmenvorschlägen. *Wasser Energie Luft*, 1(2022), 1-8.
- Müller, S., Willi, H. P., Weissmann Zeh, H., Könitzer, C., Bertiller, A. (2010) Strukturen der Fliessgewässer in der Schweiz. *Geomatik Schweiz: Geoinformation und Landmanagement* Nr.3. 98 – 102.
- Peter A., Scheidegger, C. (2012). Erfolgskontrolle bei Revitalisierungen. Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie. BAFU, Bern. Merkblatt 8.
- Rau, C., & Peter, A. (2011). Fliessgewässerrevitalisierungen. Das grosse Potenzial kleiner Bäche. *Wasser Energie Luft* 1(2011), 43-48.
- Pulg, U., & Schnell, J. (2011). Kieslaichplätze - ein vergessenes Habitat. *Bayrische Akademie für Naturschutz und Landespflege (Hrsg.): Landschaftsökologische Grundlagen, Methoden, Anwendungen*, 118-123.

Weber, C., Sprecher, L., Åberg, U., Thomas, G., Baumgartner, S., Haertel-Borer (2019a): Wirkungskontrolle Revitalisierung – das Wichtigste auf einen Blick. In: Wirkungskontrolle Revitalisierung – Gemeinsam lernen für die Zukunft. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Merkblatt 1, V1.02.

Weber, C., Sprecher, L., Åberg, U., Thomas, G., Baumgartner, S., Haertel-Borer, S. (2019b) Wirkungskontrolle STANDARD – Ablauf und Organisation. In: Wirkungskontrolle Revitalisierung – Gemeinsam lernen für die Zukunft. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Merkblatt 2, V1.03.

Werth, S., Weibel, D., Alp, M., Junker, J., Karpati, T., Peter, A., & Scheidegger, C. (2011). Lebensraumverbund Fließgewässer: Die Bedeutung der Vernetzung. Wasser Energie Luft, 3(2011), 224-234.

Woolsey, S., C. Weber, T. Gonser, E. Hoehn, M. Hostmann, B. Junker, C. Roulier, S. Schweizer, S. Tiegs, K. Tockner & A. Peter (2005). Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fließgewässerrevitalisierungen. Publikation des Rhone-Thur Projektes. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ. 112 pp.

**Angang A: Bewertung Uferlinien und Karte der Linienführung**

	Vorher	Nachher
Länge Verbau undurchlässig linear [m]	0.0	0.0
Länge Verbau durchlässig linear [m]	109.0	52.4
A_Verbau (gewichtetes Mittel)	0.4	0.5
Anzahl Uferstrukturtypen pro Einheitslänge (n; gewichtetes Mittel)	3.0	6.4
A_Struktur (gewichtetes Mittel)	0.1	0.4
Länge Ufer [m]	407.3	395.2
Standardisierter Wert Uferstruktur [-]	0.5	<b>0.8</b>

**Tabelle A:** Berechnungen für die Variablen der Uferstruktur

**Abbildung A:** Linienführung vor und nach der Revitalisierung. Fließrichtung von links nach rechts.

