

## **Revitalisierung Gewässer.**

Revitalisierungsprojekt Lattenbach (ZH).

ETH Bachelorarbeit, G. Odermatt

Referent: Prof. Dr. Bernhard Wehrli, Institut für Biogeochemie und Schadstoffdynamik, ETH Zürich

Betreuung:

Dr. sc. nat. Armin Peter, Fischökologe, Fish Consulting GmbH

Christian Hossli, Projektleiter «Fluss frei!», Aqua Viva

Flüsse und Bäche sollen wieder lebendiger und artenreicher werden – das Potenzial dafür ist in der Schweiz enorm. Viele Gewässer sind stark verbaut und in ihren natürlichen Funktionen eingeschränkt. Naturnahe Aufwertungen von Bächen, Flüssen und Seen bieten zahlreiche Vorteile: sauberes Trinkwasser, fruchtbare Böden, Hochwasserschutz, wertvolle Lebensräume und attraktive Erholungsgebiete.

Früher prägten viele gewundene und verzweigte Flüsse und Bäche das Landschaftsbild der Schweiz. Anfangs des 20. Jahrhunderts wurden Gewässer begradigt und verbaut, sei es für die Landwirtschaft oder für Infrastrukturbauten. Viele Bäche haben ihre ursprüngliche Dynamik verloren und können ihre natürlichen Funktionen nicht mehr erfüllen.

Der gesellschaftliche Rückhalt ist da, die Schweizer Gewässer wieder zu natürlichen Lebensräumen für viele bedrohte Arten zu machen. Unsere Gewässer beherbergen rund die Hälfte aller Schweizer Tier- und Pflanzenarten. Kein anderes Ökosystem in der Schweiz ist für die Biodiversität so wichtig. Auen werden deshalb auch als unsere Regenwälder bezeichnet. Eisvögel, Bachforellen, Biber oder die Nase sollen sich in und an unseren Fließgewässern wieder heimisch fühlen.

Ökologisches Monitoring eines Revitalisierungsprojektes.

Im September 2021 wurde der Lattenbach in der Gemeinde Ossingen im Kanton Zürich im Mündungsbereich in die Thur revitalisiert. Konkret wurde die Fischdurchgängigkeit zwischen Thur und Bach mit einer Riegelrampe wiederhergestellt sowie eine 90 Meter lange Strecke durch Schaffung von strukturreichen Lebensräumen für Fische sowie wassergebundene Lebewesen aufgewertet. Der Auslöser für das Projekt war die Bachforelle, da der Lattenbach ein potenzielles Laichgewässer darstellt. In der Bachelorarbeit wurde das Revitalisierungsprojekt mit einem Vorher-Nachher-Monitoring untersucht, wobei verschiedene morphologische Parameter im und am Gewässer aufgenommen wurden. Dabei konnte eine deutliche durchschnittliche Verbesserung dieser Parameter festgestellt werden. Weiter wurde die Wasserqualität in Bezug auf die Prävalenz von Nährstoffen halbquantitativ im Feld und quantitativ im Labor untersucht. Dabei konnten leicht erhöhte Phosphat- sowie Nitratwerte gemessen werden, welche jedoch keine Grenzwerte überschreiten und keine schädlichen Einflüsse auf die Bachforellen haben. Der Eintrag der Nährstoffe konnte auf die Abwasserreinigungsanlage etwa einen Bachkilometer oberhalb der revitalisierten Strecke zurückgeführt werden.

Zuletzt wurde die Laichaktivität der Bachforellen zwischen Mitte November und Mitte Dezember dokumentiert, um herauszufinden, ob der Lattenbach bereits kurzfristig nach der Ermöglichung des Fischaufstieges von den geschlechtsreifen Bachforellen aufgesucht wird. Da es keine Naturverlaichung am Lattenbach durch fehlenden Fischaufstiegsmöglichkeiten aufgrund grösserer Abstürze im Mündungsbereich vor der Revitalisierung gab, führte der Fischereiverein Andelfingen seit 2014 ein Bachforellen-Aufzuchtprogramm am Lattenbach durch. Dieses Jahr konnten einige Laichgruben beobachtet werden, teilweise jedoch ohne Sichtung von Fischen.



## Bachelorarbeit

im Studiengang Umweltnaturwissenschaften



## Ökologisches Monitoring eines Revitalisierungsprojektes

**Referent:**

Prof. Dr. Bernhard Wehrli, Institut für Biogeochemie und Schadstoffdynamik, ETH Zürich

**Betreuung:**

Dr. sc. nat. Armin Peter, Fischökologe, Fish Consulting GmbH

Christian Hossli, Projektleiter «Fluss frei!», Aqua Viva

**Verfasser:**

Georg Odermatt (19-918-788)

23.12.2021

# 1 EINLEITUNG

Zu Beginn wird ein allgemeiner Überblick über die Revitalisierungen in der Schweiz gezogen und die Revitalisierung am Lattenbach vorgestellt. Danach wird auf das Projekt «Fluss frei!» und die Wirkungskontrolle Revitalisierungen vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) eingegangen. Zum Schluss werden die Ziele und die Relevanz der Bachelorarbeit vorgestellt.

## 1.1 Revitalisierungen Schweiz

Seit der Revidierung des Gewässerschutzgesetzes (GschG) 2011 sind Revitalisierungen ein wichtiger Teil der Gewässerschutzpolitik der Schweiz. Dabei sollen naturnahe Flüsse und Seen mit ihrer charakteristischen Tier- und Pflanzenwelt wiederhergestellt werden. Diese wurden vor ungefähr 200 Jahren durch harte Uferverbauungen und Kanalisierungen eingeeignet und begradigt. Damals war das Ziel, Siedlungen vor Hochwasser zu schützen sowie mehr Platz für die Landwirtschaft zu gewinnen. Nun hat jedoch ein Umdenken stattgefunden und man will den Gewässern ihren Raum wieder zurück geben. Neben der Biodiversität profitiert dabei auch die Naherholung für die Bevölkerung sowie der Hochwasserschutz (BAFU, 2019).

Neben baulichen Aufwertungs-Massnahmen gibt es auch die Möglichkeit, passiv zu revitalisieren. Dabei wird bei-spielsweise auf die Instandhaltung von Flussverbauungen verzichtet und der Natur freien Lauf gelassen. Die wichtigsten Schlüsselprozesse und - Elemente eines fliessgewässers sollen wiederhergestellt werden. Dabei wird nicht bei den Symptomen (z.B. zu wenig Fische), sondern bei den Ursachen (z.B. fehlende Fischunterstände) einer Beeinträchtigung angesetzt. (FIBER, 2012).

Die Kantone in der Schweiz sind durch das Gewässerschutzgesetz (GschG) gefordert, Revitalisierungen zu planen und umzusetzen. Bis 2014 mussten die Kantone in einer strategischen Planung eine Priorisierung sämtlicher fliessgewässer in ihrem Kantonsgebiet vornehmen. Dabei wurde zwischen hohem, mittlerem und geringem Revitalisierungspotenzial differenziert, wobei sich das Potenzial als Nutzen für Natur und Landschaft im Verhältnis zum Aufwand definiert. Die Umsetzung der Projekte werden finanziell vom Bund unterstützt, wobei die Beiträge zwischen 35-80 Prozent der gesamten Projektkosten betragen. Dadurch lohnt sich eine Revitalisierung oftmals mehr für Kantone und Gemeinden als eine Erneuerung von bestehenden, oftmals sanierungsbedürftigen Hochwasserschutzdämmen.

Grösstes «pièce de résistance» bei Revitalisierungen stellt oftmals der erhöhte Platzbedarf für die Aufweitung des Gerinnes dar. Vielerorts wird landwirtschaftlich genutztes Land tangiert, welches von den Bauern ungern der Natur abgegeben wird. Ziel des Bundes sind eine Revitalisierung von 4000 prioritären Fluss-kilometern in der Schweiz bis ins Jahr 2100. Dafür hat der Bund bereits jetzt Beiträge im zwei-stelligen Millionenbereich pro Jahr zugesichert.

Möglichkeiten zur Finanzierung von Revitalisierungen ergeben sich auch oftmals bei der Vergabe von neuen Konzessionen an Wasserkraftwerke, welche dabei ökologische Ersatzmassnahmen erbringen müssen (BAFU, 2019).

## 1.2 Revitalisierung Lattenbach

Im August und September 2021 wurde der Lattenbach in der Gemeinde Ossingen im Kanton Zürich auf den letzten 120 Meter bis zur Mündung in die Thur revitalisiert. Ziel war es einerseits, den Gewässerabschnitt durch strukturreiche Lebensräume für Tiere aufzuwerten und andererseits, die Längsvernetzung mit der Thur zu gewährleisten und damit den Fischeaufstieg zu ermöglichen.

### 1.2.1 Entstehung des Projektes

Der Fischereiverein Andelfingen betreibt seit 2014 in Zusammenarbeit mit der Fischereiverwaltung des Kantons Zürich oberhalb des Mündungsabschnittes des Lattenbaches in die Thur mit Erfolg ein Forellen-Aufzuchtprogramm. Damit soll ein Beitrag zu Erhaltung der Bachforellenpopulation geleistet werden. Es zeigte sich jedoch, dass der Wiedereinstieg der geschlechtsreifen Bachforellen von der Thur in den Lattenbach aufgrund von mehreren Abstürzen und fehlenden Strukturen im Mündungsbereich stark eingeschränkt ist (Abbildung 1 und Abbildung 2).



*Abbildung 1: Künstliche Abstürze zwischen Brücke und Mündung in die Thur, kurz vor Beginn der Bauarbeiten.*

Darum hat der Fischereiverein Andelfingen Ende 2017 die Flussbau AG mit einer Machbarkeitsstudie zur Revitalisierung des Mündungsabschnittes des Lattenbaches beauftragt. In dieser

wurden Massnahmen aufgezeigt, mit welchen die Längsvernetzung von der Thur in den Lattenbach für Forellen wiederhergestellt und der Gewässerabschnitt ökologisch aufgewertet werden kann. In Absprache mit der Gemeinde, den zuständigen Fachstellen des Kantons und dem Fischerverein Andelfingen wurde beschlossen, die in der Machbarkeitsstudie aufgezeigte Variante «Sohlenabsenkung» weiterzuverfolgen. Die Gemeinde Ossingen hat darauf die Flussbau AG 2020 beauftragt, das Bauprojekt zur Revitalisierung des Mündungsabschnittes zu erarbeiten. Am 16. August 2021 sind die Bagger am Lattenbach aufgefahren und Ende September des gleichen Jahres konnten die Bauarbeiten erfolgreich abgeschlossen werden.



*Abbildung 2: Strukturschwacher Bachabschnitt zwischen Wald und Mündung in Thur. In Gegenflussrichtung blickend.*

### 1.2.2 Ziele des Projektes

Mit dem Bauprojekt sind laut der Submission (Flussbau AG, 2021) folgende Ziele zu erreichen:

- Abschnitt Wald bis Uferweg: Schaffen neuer strukturreicher Lebensräume für Fische, Reptilien, Amphibien und Vögel.
- Brücke Uferweg: Gewährleisten, dass Tiere der Wasserwechselzone und Landtiere unter der Brücke passieren können.
- Abschnitt Uferweg bis Thur: Gewährleisten der Längsvernetzung für die vorkommenden Fische durch Aufheben von Wanderhindernissen.

Weiter gilt es zu verhindern, dass durch die Massnahmen eine erhöhte Hochwassergefahr entsteht. Laut Jean-Pierre Mosimann, Vorstandsmitglied des Fischereivereines Andelfingen,

welcher die ganze Revitalisierung als «Zugpferd» vorangetrieben hat, steht im Zentrum des Projektes vor allem die Bachforelle und die Erschliessung des Lattenbaches als Laichplatz.<sup>1</sup> Der Fischeufstieg aus der Thur in den Lattenbach sollte mit einer Riegelrampe mit Schwellen-Becken-Sequenzen ermöglicht werden. Dabei wird der Höhenunterschied mit kleineren Überfällen und dazwischenliegenden Becken für die Fische überwindbar (Abbildung 3)

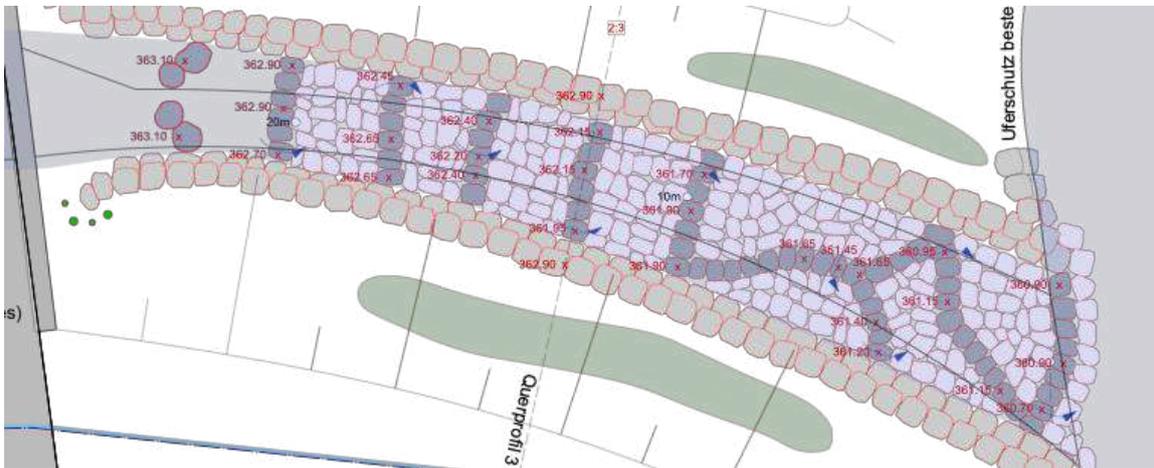


Abbildung 3: Eine Riegelrampe im Mündungsbereich soll den Fischeufstieg von der Thur (im Bild rechts) in den Lattenbach ermöglichen. Ausschnitt aus dem Situationsplan des Bauprojektes der Flussbau AG.

Die Schaffung neuer Lebensräume zwischen Brücke und Wald sollte mit dem Einbringen von Strukturen wie Totholz, Faschinen und Substrat verschiedener Grössenklassen umgesetzt werden (Abbildung 4).

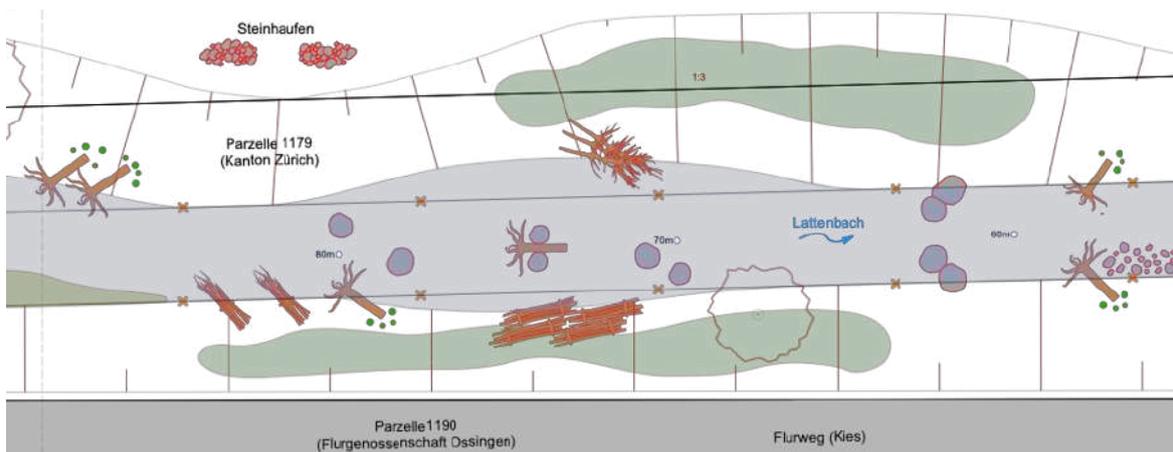


Abbildung 4: geplante Aufwertungsmaßnahmen in der Untersuchungsstrecke zwischen dem Wald und der Brücke. Ausschnitt aus dem Situationsplan des Bauprojektes der Flussbau AG.

<sup>1</sup> Mosimann, J. P. (2021, 16. August, persönliche Mitteilung)

### 1.2.3 Finanzierung des Projektes

Die Gesamtkosten des Projektes belaufen sich auf netto 237'000 CHF, wovon ungefähr die Hälfte davon die Baukosten sind. Die Kosten teilen sich Bund, Kanton, Gemeinde sowie die EWZ. Bund und Kanton beteiligen sich mit ca. 100'000 CHF (35% Bund / 10% Kanton). Die Gemeinde steuert einen Beitrag von 7'000 CHF bei. Die restlichen Kosten von 130'000 CHF werden vom EWZ *naturemade* star-Fonds übernommen (Gemeinderat Ossingen, 2020).

### 1.2.4 Grundlagen Standort

Der Lattenbach ist ein Zufluss der Thur oberhalb von Andelfingen und entwässert ein Einzugsgebiet von zirka 10 km<sup>2</sup>. Ab Ossingen fliesst er in mehrheitlich naturnahem bzw. wenig beeinträchtigtem Zustand durch einen bewaldeten Tobel. Einzig der unterste Abschnitt bei Hausen, wo der Bach durch ein offenes Feld fliesst, wurde begradigt und ist somit ökomorphologisch stark beeinträchtigt. Diese 120 Meter lange Strecke ist ein prioritärer Abschnitt für Revitalisierungsmassnahmen in der kommunalen Zuständigkeit und stellt den Projektperimeter dar (Abbildung 5). Gemäss kantonaler Revitalisierungsplanung weist der Projektabschnitt ein hohes Aufwertungspotenzial auf.

Im oberen, ca. 90 m langen Abschnitt des Projektperimeters zwischen Waldrand und Uferweg weist der Lattenbach ein flaches Längsgefälle von ca. 2% mit einheitlichem Querprofil und ohne Strukturen auf. Beide Ufer sind mit Steinen verbaut (überwachsen). Der Lattenbach wird hier laut GIS-Browser des Kanton Zürich als ökomorphologisch stark beeinträchtigt klassiert<sup>2</sup>. Die Ufer sind nicht bestockt. Rechtsufrig verläuft ein Flurweg (Kies). Der Lattenbach bietet in diesem Abschnitt kaum Lebensraum für gewässertypische aquatische und terrestrische Fauna und Flora. (Flussbau AG, 2021)

25 Meter bachaufwärts der Thurmündung quert der Uferweg den Lattenbach. Dieser untere, ca. 25 Meter lange Abschnitt zwischen dem Uferweg und der Thur ist mit einem Längsgefälle von ca. 16% klar steiler und weist mehrere künstliche Abstürze von ca. 30 – 80 cm Höhe auf. Der Abschnitt ist als ökomorphologisch wenig beeinträchtigt klassiert. Beide Ufer sind bestockt (Flussbau AG, 2021).

---

<sup>2</sup> <https://maps.zh.ch>

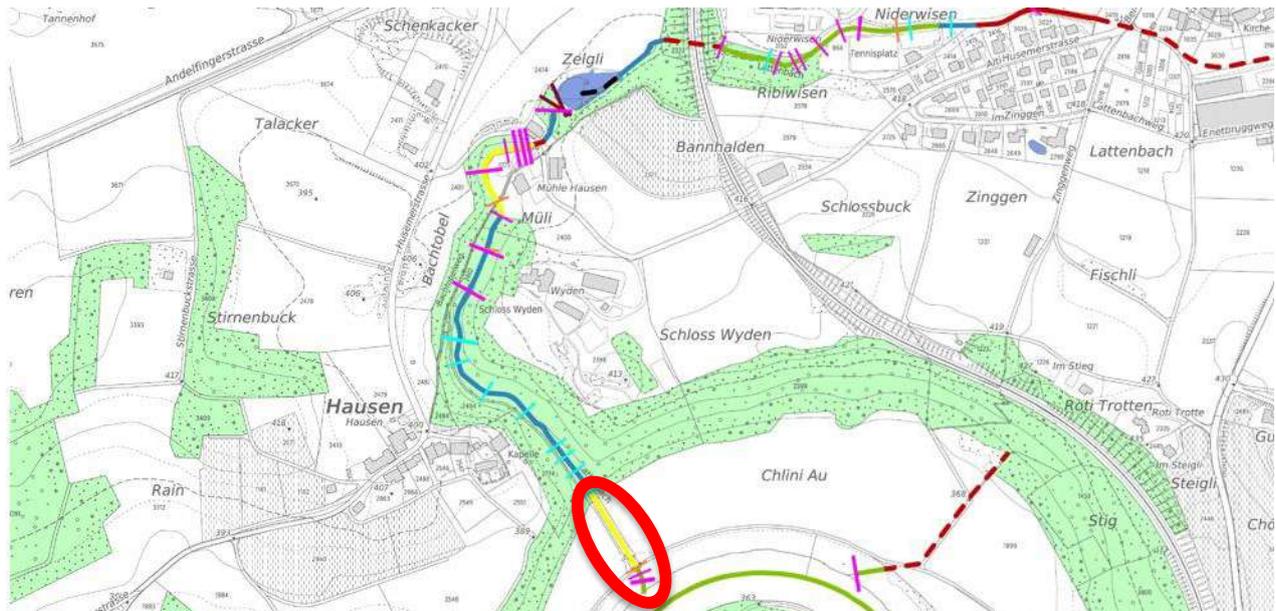


Abbildung 5: Übersicht des Lattenbaches mit rot eingezeichnetem Projektperimeter vor Einmündung in die Thur.

Die Farben des Baches stehen für die ökomorphologische Klassifizierung, wobei blau = naturnah, grün = wenig beeinträchtigt, gelb = stark beeinträchtigt, rot = naturfremd und violett = eingedolt. Ausschnitt aus dem GIS-Browser des Kantons Zürichs.

Am Lattenbach gibt es keine Abflussmessstation. Gemäss Gefahrenkarte Thur beträgt der 30-jährliche Hochwasserabfluss  $HQ_{30}$  unmittelbar bachaufwärts des Projektabschnitts  $8.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , der 100-jährliche Hochwasserabfluss  $HQ_{100}$   $12 \text{ m}^3/\text{s}$ . Der Nieder- und Mittelwasserabfluss wird auf  $Q_{347} = 20 - 30 \text{ l/s}$  respektive  $Q_m = 130 - 150 \text{ l/s}$  geschätzt. Die Schätzung stützt sich auf in ähnlich grossen Einzugsgebieten mit gleichem Abflussregimetypp gemessenen Werten (Flussbau AG, 2021). Gemäss GIS-Browser gibt es entlang des Baches Vorkommen von Neophyten (Springkraut). Beobachtungen zu Neozonen gibt es keine.

Die natürliche Sohlenbreite des Lattenbaches umfasst gemäss Art. 41a GSchV  $2.7 \text{ m}$ , daraus resultiert eine minimale Gewässerraumbreite von  $14 \text{ m}$ . Wird die im naturnahen Zustand beobachtete Sohlenbreite von  $3.2 \text{ m}$  beigezogen, errechnet sich eine minimale Gewässerraumbreite von  $15 \text{ m}$  (Flussbau AG, 2021).

### 1.3 «Fluss frei!»

Nicht nur die Begradigung und Einengung unserer Flüsse stellt ein Problem dar, sondern auch die starke Fragmentierung dieser Lebensräume. Durchschnittlich alle  $650 \text{ Meter}$  sind unsere Bäche und Flüsse in der Schweiz durch ein künstliches Hindernis (Schwellen, Wasserkraftwerke, etc.) gestört. Insgesamt gibt es in der Schweiz über  $100'000$  künstliche Barrieren über  $0.5 \text{ Meter}$ , welche ehemals intakte Lebensräume zerschneiden und die für zahlreiche Tier- und Pflanzenarten wichtige Längsvernetzung von Bächen und Flüssen verhindern (BAFU, 2015).

Darum erstaunt es nicht, dass die Fliess- und Stillgewässer nach wie vor die am meisten bedrohten Lebensräume der Schweiz sind. So ist fast die Hälfte aller Fischarten akut gefährdet, bereits jede siebte Fischart ausgestorben und über 60 Prozent der Wasserpflanzen bedroht (Kirchhofer et al., 2007). Das Projekt «Fluss frei!», welches eine Zusammenarbeit von der Gewässerschutzorganisation Aqua Viva mit dem Schweizerischen Fischereiverein (SFV), der Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG), der Flussbau AG sowie der Fish Consulting GmbH ist, will einen Gegentrend zu dieser Fragmentierung der Lebensräume setzen und gezielt Hindernisse rückbauen, um den Gewässern ihre natürliche Dynamik wieder zurückgeben zu können (Hosli, 2020).

Solche Hindernisse wurden früher beispielsweise zum Schutz vor Sohlenerosion gebaut, erfüllen heute aber oftmals keinen Zweck mehr und sind überflüssig geworden. Mit Hilfe einer im Projekt «Fluss frei!» entwickelten Methodik können Hindernisse in ausgewählten Einzugsgebieten mit einer GIS-Analyse und gezielten Feld-Begehungen klassifiziert werden und damit die vielversprechendsten Rückbauobjekte identifiziert werden. Die Verbindung des Projektes «Fluss frei!» mit der Revitalisierung am Lattenbach stellen die Hindernisse im Mündungsbereich dar, welche entfernt werden sollen. Ziel der Revitalisierung am Lattenbach und insbesondere des Rückbaus der Hindernisse im Mündungsbereich ist die Vernetzung mit der Thur, sodass der Lattenbach in Zukunft auch wieder für die Thurfische zugänglich ist und idealerweise als Laichplatz dienen kann.

Konkret wurde seitens Aqua Viva im Rahmen des Projekts «Fluss frei!» die Erfolgskontrolle des Bauprojekts bereits um eine detaillierte Vorher-/Nachher-Aufnahme der Fischfauna, welche von der FishConsulting GmbH durchgeführt wird, erweitert.<sup>3</sup> Bereits Ende 2020 wurde darum durch quantitatives elektrisches Abfischen eine Ist-Aufnahme der Fischfauna im Lattenbach aufgenommen. Nächsten Frühling wird durch ein erneutes Abfischen die neue Zusammensetzung der Fischfauna untersucht.

#### **1.4 Wirkungskontrolle Revitalisierungen**

Die Wirkungskontrolle Revitalisierungen (WiKo) wurde in Zusammenarbeit der EAWAG mit dem BAFU erarbeitet. Mit der Programmvereinbarung 2020-2024 wird in der Schweiz für die WiKo von Fliessgewässerrevitalisierungen ein einheitliches Gerüst vorgegeben. Erkenntnisse aus durchgeführten WiKo's sollen in konkrete Handlungsempfehlungen umgesetzt werden. Damit werden künftige Revitalisierungen noch kosteneffizienter und können einen wesentlichen Beitrag zur Erhaltung und Förderung der heimischen Biodiversität leisten. Ein Monitoring stellt einen wichtigen Pfeiler in einer erfolgreichen Revitalisierungsstrategie dar. Damit kann für andere

---

<sup>3</sup> Hosli, C. (2021, 25. Oktober, persönliche Mitteilung)

Projekte gelernt werden, denn laut dem US- Geomorphologen Mathias Kondolf bedeutet revitalisieren «experimentieren und lernen» (Kondolf, 1995). Die Praxisdokumentation ist in Form einer Sammlung von Merkblättern und Steckbriefen aufgebaut. In den Merkblättern wird der generelle Ablauf, die Finanzierung und die Herleitung des Konzeptes erklärt. Die Steckbriefe beschreiben das konkrete Vorgehen der Felderhebungen und der Bewertung für 10 verschiedene Indikator-Sets, welche von «Vernetzung» über «Temperatur» bis hin zu «Makrozoobenthos» reichen (Weber et al., 2019).

## **1.5 Bachelor-Arbeit**

Durch ein Praktikum bei Aqua Viva kannte ich Christian Hossli, den Projektleiter von «Fluss frei!» und habe ihn angefragt, ob es in diesem Projekt die Möglichkeit für eine Bachelorarbeit gibt. Nach Absprache mit der Expertenrunde von «Fluss frei!» ergab sich die Option, das Revitalisierungsprojekt am Lattenbach mit einem ökologischen Vorher-/Nachher-Monitoring zu untersuchen.

### **1.5.1 Ziele**

Zu Beginn der Arbeit wurde eine Projektskizze erarbeitet (siehe Anhang 1) in dem auch die Ziele des Projektes festgelegt wurden. Einerseits sollte eine habitatsbezogene Analyse des Zustandes des Gewässers anhand verschiedener morphologischer Parameter kurz vor dem Beginn des Bauprojekts sowie nach dessen Umsetzung vorgenommen werden. Andererseits sollte die Laichaktivität der Bachforelle im Lattenbach beobachtet und dokumentiert werden. Im Verlaufe der Arbeit wurde Analyse des Gewässers noch mit Nährstoffmessungen von Wasserproben ergänzt.

### **1.5.2 Relevanz**

Für das Monitoring wurde auf die Wirkungskontrolle Revitalisierungen zurückgegriffen, welche 2020 herausgegeben wurde. Da noch fast keine Revitalisierungen anhand dieses Leitfadens untersucht wurden, kann die Bachelorarbeit auch gewissermassen als Pilotprojekt zur Anwendung dieser Methodik gesehen werden. Standardmässig werden solche Monitorings 3-5 Jahre nach Umsetzung des Projektes durchgeführt, wenn sich in der Natur wieder ein Gleichgewicht eingestellt hat. Aufgrund des zeitlichen Rahmens, der die Bachelorarbeit mit sich bringt, wurde die Nachher-Erhebungen bereits viel früher vorgenommen. Dies bringt den Nachteil mit sich, dass die natürlichen Prozesse sich noch nicht wieder einpendeln konnten, ist dafür andererseits spannend, da beobachtet werden kann, ob die neu geschaffenen Habitate bereits kurzfristig von den Bachforellen als Laichgewässer genutzt werden und die Fischaufstiegshilfe funktioniert und genutzt wird.

## 2 METHODEN

Im Folgenden werden die Methoden vorgestellt, mit Hilfe derer die Feldarbeit durchgeführt wurde.

### 2.1 Morphologie

Ein Fließgewässer bietet ein vielfältiges Mosaik an Lebensräume am Wasser sowie an Land. Je nach Fließgeschwindigkeiten, Substratzusammensetzung und Fliesstiefen werden diese Lebensräume von unterschiedlichen Lebewesen genutzt. Diese Habitate werden durch abiotische Vorgänge wie Hochwasser und Geschiebetransport geformt und verändert, aber auch durch biotische Faktoren wie Biber und Pflanzenwachstum beeinflusst (Weber et al., 2019). Um den habitatsbezogenen Zustand des Lattenbaches zu erfassen, wurden verschiedene morphologische Parameter in der Untersuchungsstrecke vor, sowie nach der Umsetzung der Revitalisierung gemessen. Damit kann erfasst werden, inwiefern sich die Vielfalt an Lebensräumen durch die Revitalisierung verändert hat. Bei der Auswahl der Parameter wurde stark am Indikatoren-Set 1 «Habitatvielfalt» aus der WiKo vom BAFU orientiert.

In Tabelle 1 sind sämtliche erhobene Parameter, die jeweilige Methode, das Vorgehen sowie die Auswertung zusammengefasst. Für die direkt aus der WiKo übernommenen Parameter empfiehlt sich ein Blick in die Methodik dieser Publikation, da hier nur die wichtigsten Punkte zusammengefasst sind. Die Messungen der Parameter sollte laut dem Fischökologen Armin Peter bei einem mittleren Niedrigwasserabfluss erfolgen<sup>4</sup>. Die WiKo empfiehlt die Messung von morphologischen Parametern zwischen Juli und Oktober. Jeder Parameter wurde schlussendlich mit einem Wert zwischen 0 und 1 klassifiziert, wobei 0 für eine naturfremde und 1 für eine natürliche Ausprägung steht. Somit kann zum Schluss eine Gesamtbewertung sämtlicher morphologischer Parameter vor und nach der Umsetzung der Revitalisierung vorgenommen werden.

---

<sup>4</sup> Peter, A. (2021, 21. April, persönliche Mitteilung)

Tabelle 1: Zusammenstellung sämtlicher in der Arbeit berücksichtigter morphologischer Parameter.

| Parameter                            | Methode  | Vorgehen   | Auswertung   |
|--------------------------------------|--|--|--|
| <b>Sohlenstruktur</b>                | WiKo<br>Revitalisierungen<br>STANDARD,<br>Indikator Set 1<br>Habitatvielfalt (1.1<br>Sohlenstruktur) | Ablaufen des gesamten<br>Revitalisierungsabschnittes.<br>Identifizierung der<br>Sohlenstruktur über die<br>gesamte Sohlenbreite (inkl.<br>unbenutzter Teil der Sohle).<br>Einzeichnen der Position und<br>Ausdehnung der<br>Sohlenstrukturen in der<br>Übersichtskarte. Minimale<br>Fläche 0.5-1m <sup>2</sup> . | Anzahl Strukturen je Strukturtyp<br>und gesamte Anzahl Strukturen<br>pro Einheitslänge (= 12*Sohlenbreite inkl.<br>unbenetzter Teil).<br>Bewertungsklassen 0 (nur ein<br>Strukturtyp) bis 1 (alle<br>morphologischen Strukturen mit<br>einer hohen Dichte vorhanden)   |
| <b>Uferstruktur</b>                  | WiKo<br>Revitalisierungen<br>STANDARD,<br>Indikator Set 1<br>Habitatvielfalt (1.2<br>Uferstruktur)   | Charakterisierung der<br>Uferstrukturen anhand der<br>drei Attribute Linienführung,<br>Beschaffenheit und Neigung.<br>Festhalten in<br>Übersichtskarte. Min. Länge<br>für kleine Gewässer = 1m.  | Berechnung von AVerb<br>(Parameter Längsverbauung):<br>Bewertungsklasse 0<br>(undurchlässig verbaut) bis 0.5<br>(keine Längsverbauung).<br><br>Berechnung von AStruk<br>(Parameter Strukturelemente):<br>Bewertungsklasse 0 (nur 1<br>Strukturtyp) bis 0.5 (versch.<br>Strukturtypen, die sich<br>abwechselln)   |
| <b>Substrat-<br/>zusammensetzung</b> | WiKo<br>Revitalisierungen<br>STANDARD,<br>Indikator Set 1<br>Habitatvielfalt (1.6<br>Substrat)       | Charakterisierung des<br>Substrats anhand seiner<br>Beschaffenheit sowie<br>Mobilisierbarkeit.<br><br>Einzeichnen von Flächen mit<br>in sich einheitlicher<br>Beschaffenheit und<br>Mobilisierbarkeit in der<br>Detailkarte, minimale Grösse<br>für kleine Gewässer = 0.5-1<br>m <sup>2</sup> .                  | Für Attribut «Mobilisierbarkeit»<br>wird das Histogramm der<br>Substrattypen visuell analysiert.<br>Klassifizierung: von 0<br>(vorwiegend grobes und<br>abgeplästertes Sohlenmaterial)<br>bis 1 (Geschiebeablagerungen<br>dominieren, keine oder wenig<br>grobe, abgeplästerte Bereiche,<br>eher wenig Feinsedimente).<br>Für Attribut Beschaffenheit gibt<br>es noch keine<br>Auswertungsmethode. |

| Parameter                             | Methode  | Vorgehen   | Auswertung   |
|---------------------------------------|--|--|--|
| <b>Breiten und Tiefenverhältnisse</b> | Abgeändert nach WiKo   | Fliesstiefen alle 0.2 m messen entlang der 10 Querprofile, startend vom orographisch rechten Ufer. Genauigkeit: auf cm genau.  | Anhand Variationskoeffizient der maximalen Fliesstiefe für jedes QP wird ein standardisierter Wert zwischen 0 und 1 für die Fliesstiefe berechnet. Analog für die Breite. Danach wird der Mittelwert der beiden standardisierten Werte genommen. |
| <b>Fliessgeschwindigkeiten</b>        | WiKo<br>Revitalisierungen<br>STANDARD,<br>Indikator Set 1<br>Habitatvielfalt (1.4 Fliessgeschwindigkeit) | Messen der Fliessgeschwindigkeit mit einem Strömungsmessgerät an gleichen Punkten wo Fliesstiefen gemessen wurden.<br>Fliessgeschwindigkeit [m/s]:<br>in 40 % der Wassertiefe, d.h. 40 % über der Flusssohle.                            | Anhand Variationskoeffizient der Fliessgeschwindigkeiten wird ein standardisierter Wert zwischen 0 und 1 berechnet.  |
| <b>Unterstandsangebot</b>             | WiKo<br>Revitalisierungen<br>STANDARD,<br>Indikator Set 1<br>Habitatvielfalt (1.5 Unterstandsangebot)    | Kartierung aller Unterstände. Die Fläche jedes Unterstandes wird auf der Karte eingezeichnet und einem Unterstandstyp zugewiesen. Kann ein Unterstand zwei oder mehr Typen aufweisen, wird die Fläche nur dem dominanten Typ zugeordnet. | Gesamtfläche jedes Typs und Anteil Unterstandsangebot an gesamter benetzter Fläche bestimmen. Mit gewässertypischem Unterstandsangebot vergleichen. Bewertungsklassen 0.1 (sehr starke Abweichung) bis 1 (keine Abweichung bzw. < 10 %)          |
| <b>Längs-Vernetzung</b>               | eigene   | Kartierung und Messung der Abstürze  | Bewertungsklasse von 0 (nicht fischgängig für Bachforelle) bis 1 (komplett fischgängig für Bachforelle)  |

| Parameter                                       | Methode  | Vorgehen  | Auswertung  |
|---|--|---|---|
| <b>Laichsubstrat und Reproduktionspotenzial</b> | Innere Kolmation nach (Hunzinger, 2002)            | Entfernen der Deckschicht einer nicht überströmten Bank mit Geschiebe.  | Bewertungsklasse von 0 (vollständige Kolmation) bis 1 (keine Kolmation)   |
|   | Linienproben nach (Fehr, 1987)                     | Stab mehrmals zufällig auf das Substrat werfen und die Körnung der Partikel entlang der Stabkante in Grössenklassen von 10 mm bestimmt.   | Bewertungsklasse von 0 (ungeeignetes Substrat zum Laichen) und 1 (geeignetes Substrat zum Laichen)<br><br>Mittelwert der beiden einzelne Werte gibt Gesamtbewertung für Laichsubstrat und Reproduktionspotenzial. |
| <b>Durchfluss</b>                               | 1-Punkt Methode nach Dyck und Peschke (Dyck, 1995) | Einteilung der Querprofile in Teilflächen durch gemessene Fliesstiefen. Ausrechnen des Durchflusses für einzelne Teilflächen mit gemessenen Geschwindigkeiten. Siehe Anhang 2 für genaues Vorgehen. | Nicht berücksichtigt für Gesamtbewertung.   |

Die Kartierung der Parameter wurde zuerst im Feld mit dem iPad auf einer Karte von Swisstopo vorgenommen und später mit arcGIS digitalisiert. Ausgewertet wurden die aus der WiKo übernommenen Parameter anhand der beschriebenen Methodik in der Publikation. Dazu stand ein vorcodiertes Excel-Auswertungsfile zur Verfügung. Die weiteren Parameter wurden mit statistischen Untersuchungen mit der Programmiersprache R in der Entwicklungsumgebung RStudio ausgewertet, in der auch sämtliche Grafiken erstellt wurden.

Für die gesamte Auswertung des Indikatorsets 1 Habitatvielfalt gibt es noch keine einheitliche Methode in der Wirkungskontrolle. Eine Möglichkeit ist es, den Mittelwert aus allen Indikatoren zu nehmen, da diese jeweils zwischen 0 und 1 liegen.<sup>5</sup> Um eine einheitliche Auswertung zu vollführen, wird darum für diese Arbeit auch der Mittelwert aller acht Indikatoren gebildet.

---

<sup>5</sup> Weber, C. (2020, 13. Februar, persönliche Mitteilung)

## 2.2 Wasserqualität

Die Wasserqualität am Lattenbach wurde im Bezug auf die Lebensbedingungen für die Bachforelle untersucht.

### 2.2.1 Halbquantitative Messungen

In einem ersten Schritt wurde das Wasser mit einfachen Teststreifen auf das Vorkommen von Nährstoffen getestet. Dabei wurde die gelöste Menge von Nitrat, Nitrit sowie Phosphat ermittelt. Gemessen wurde an vier charakteristischen Punkten, am Beginn und in der Mitte der Untersuchungsstrecke, der Mündung in die Thur sowie in der Thur selber (Abbildung 6). Verwendet wurden dazu die halbquantitativen Teststäbchen von Quantofix (Abbildung 7). Nitrat und Nitrit werden dabei gemeinsam und Phosphat separat gemessen.

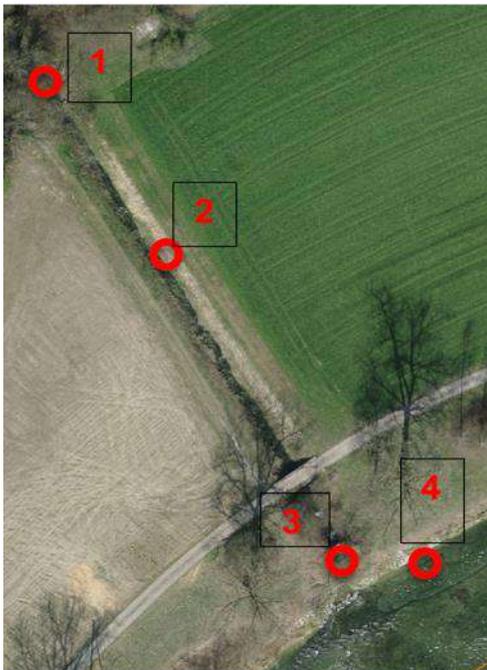


Abbildung 6: Standorte der halbquantitativen Nährstoffmessungen. Luftbild von Swisstopo.



Abbildung 7: Quantofix Testmethode für Nitrat und Nitrit.

### 2.2.2 Quantitative Messungen

Weil bei den halbquantitativen Messungen erhöhte Nitrat-Werte festgestellt wurden und da ein ansässiger Fischer aufgrund von Jungfischbeobachtungen der ausgesetzten Eier in den letzten drei Jahren erhöhte Nährstoffwerte erwartete<sup>6</sup>, wurden in einem zweiten Schritt quantitative Nährstoffmessungen im Labor durchgeführt. In diesem Fall wurde auch der Auslauf der

<sup>6</sup> Sigg, K. (2021, 10. Oktober, persönliche Mitteilung)

Abwasserreinigungsanlage (ARA) direkt beprobt, um zwischen Nährstoffeintrat aus der ARA sowie aus anderen Quellen (vermutlich Landwirtschaft) unterscheiden zu können (Abbildung 8).

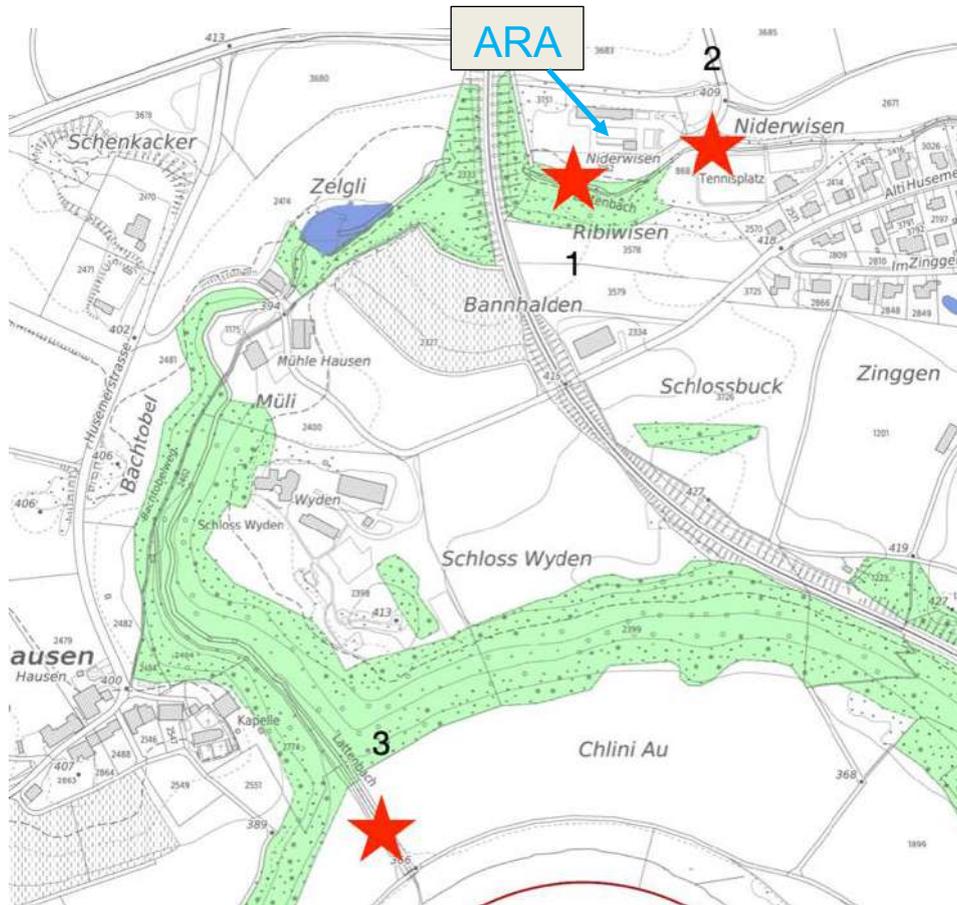


Abbildung 8: Messpunkte für quantitative Wasserprobenanalysen. Erster Messpunkt direkter Auslauf der ARA (2696118 / 1273474), zweiter Messpunkt kurz vor Einlauf der ARA in Lattenbach (2696118 / 1273474), dritter Messpunkt Untersuchungsstrecke (2696052 / 1273571). GIS ZH.

Es wurden nach einer regnerischen Periode sowie nach einer trockenen Periode Proben genommen, jeweils am Morgen und am Nachmittag. Für jede Probenentnahme wurden drei Probenbehälter gefüllt. Weiter wurde eine Kontroll-Probe mit Leitungswasser analysiert. Schlussendlich wurde noch eine Dreifachprobe für einen Messpunkt erstellt, um eine Fehlerabschätzung vornehmen zu können. Die Proben wurden nach folgendem Schema beschriftet:

|                   |                      |                          |   |
|-------------------|----------------------|--------------------------|---|
| <b>Standorte:</b> |                      | <b>Analyseverfahren:</b> |   |
| A                 | vor ARA              | F1                       | filtered for dissolved P, NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> |
| B                 | ARA                  | F2                       | filtered for total dissolved P, N                           |
| C                 | Untersuchungsstrecke | UF                       | unfiltered sample for total P and N                         |
| <b>Wetter:</b>    |                      | <b>Speziell:</b>         |   |
| T                 | Trockenzeit          | C                        | control mit Leitungswasser                                  |
| R                 | Regenperiode         | a                        | Dreifachprobe   |
| <b>Zeit:</b>      |                      | b                        | Dreifachprobe   |
| M                 | Morgen               | c                        | Dreifachprobe   |
| N                 | Nachmittag           |                          |   |

Das Probenvolumen für die gefilterten Proben betrug 10 ml und jenes für die ungefilterte Probe 15 ml. Insgesamt wurden 45 Proben entnommen. Die Proben wurden nach der Entnahme bei 5 Grad im Kühlschrank gelagert und dann an die EAWAG in Kastanienbaum geschickt, um sie im Labor zu analysieren zu lassen. Die Proben F1 wurde jeweils im Feld gefiltert (Durchmesser = 15 µm), um die partikulären Anteile zu entfernen. Danach wurden sie im Labor kolorimetrisch nach dem gelösten Stickstoff, dem Nitrit und Nitrat untersucht. Die Proben F2 wurde auch im Feld gefiltert, danach jedoch im Labor noch oxidiert, um auch das in organischen Verbindungen gelöste Phosphor und den in organischen Verbindungen gelösten Stickstoff aufzuschliessen und zu bestimmen. Die Proben UF wurden ungefiltert im Feld entnommen, um im Labor den totalen Phosphor und Stickstoff, also auch den Partikulären, zu bestimmen.

### 2.2.3 Grenzwerte

#### *Nitrat*

Für Nitrat ergibt sich die numerische Anforderung direkt aus Anhang 2 der GschV (Ziffer 11) – explizit allerdings nur für Gewässer, die zur Trinkwassernutzung dienen. Dieser beläuft sich auf 25 mg/l. Der Lattenbach entwässert in die Thur, dient also nicht direkt zur Trinkwassernutzung. Allerdings werden Gewässer ab einem Wert von 11.2 mg/l Nitrat als schlecht klassifiziert (Liechti, 2010).

#### *Gesamt-Stickstoff*

Für den Gesamt-Stickstoff ergibt sich aus GSchV Anhang 2 Ziffer 12, wiederum nur für Gewässer, die der Trinkwassernutzung dienen, ein Wert von 5.6 mg/L. Ein ökologisch begründeter Wert für den Gesamt-Stickstoff liegt bei 3-4 mg/l liegen. Gewässer ab einem Wert von 14.0 mg/l Gesamt-Stickstoff werden als schlecht klassifiziert (Liechti, 2010).

#### *Phosphor*

Für Phosphor gibt es keinen Grenzwert in der GschV. Es gibt allerdings Wassergüte-Kategorien, die im Modul-Stufen-Konzept (MSK) des Bundes definiert wurden. Dabei belaufen sich die Zielvorgaben auf 0.07 mg/l Phosphor für ungefilterte Proben. Gewässer mit einem ungefilterten Gesamt-Phosphor von mehr als 0.14 mg/l werden als schlecht eingestuft. Fließgewässer unterhalb von Seen werden jedoch durch höhere P-Gehalte kaum negativ beeinflusst, hier dient Phosphor primär als Indikator für anthropogene Belastungen (Liechti, 2010).

#### *Nitrit*

Für Nitrit wird in der GschV ein Richtwert von 0.3 mg/l angegeben.

## 2.3 Laichaktivität

Zu Beginn wird der Lebenszyklus und die Fortpflanzung der Bachforelle besprochen, danach auf die Beobachtung der Laichaktivität im Feld und zum Schluss auf die Auswertung der erhobenen Daten eingegangen.

### 2.3.1 Lebenszyklus und Fortpflanzung der Bachforelle

Die Fortpflanzung der Bachforelle kann in drei Phasen unterteilt werden: Das Laichen, die Inkubation und die Emergenz. Das Laichen beschreibt die Eiablage, die Inkubation stellt die Zeit von der Eiablage bis zur Emergenz dar und die Emergenz bezeichnet schlussendlich das Verlassen des Kiesbettes. Wie lange die ganze Fortpflanzung dauert, unterscheidet sich von Population zu Population. Weiter ist Entwicklungsdauer der Eier temperaturabhängig. Allgemein kann gesagt werden, dass nach der Eiablage ungefähr ein halbes Jahr vergeht, bevor die Larven das Kiesbett verlassen (FIBER, 2014).

Die Laichzeit von Bachforellen in Flüssen und Bächen ist von Oktober bis Januar, in seltenen Fällen sogar im Februar. Koni Sigg aus dem Fischereiverein Andelfingen rechnet mit dem Beginn der Laichzeit am Lattenbach Mitte November<sup>7</sup>. Bachforellen bevorzugen für die Fortpflanzung kleinere Seitengewässer wie den Lattenbach und vermeiden grössere Gewässer wie die Thur. Hat das Weibchen nach längerem Suchen einen geeigneten Laichplatz gefunden, legt es sich seitlich auf den Grund des Gewässers und schlägt mit seiner Schwanzflosse gegen die Gewässersohle. Dadurch reinigt es das Substrat von Feinsedimenten und der Kies kann besser mit Wasser durchflossen werden. Dabei wird feiner Kies aufgelockert und von der Strömung flussabwärts verschoben. Es entsteht eine Vertiefung, genannt Laichgrube, und flussabwärts bildet sich eine Aufschüttung (Abbildung 9).

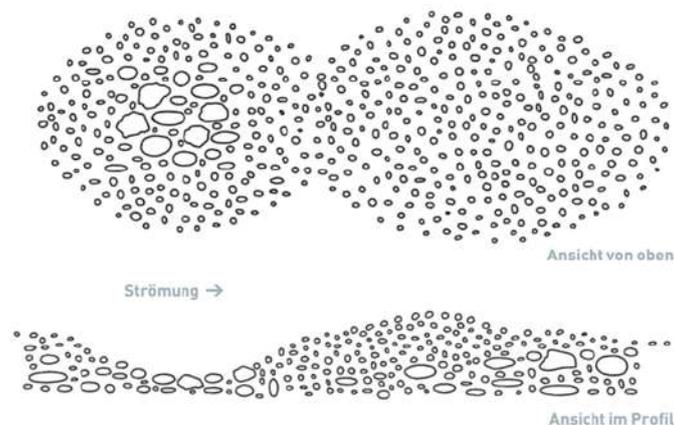


Abbildung 9: Laichgrube (links) und Aufschüttung (rechts) haben eine ovale Form. (FIBER, 2014)

<sup>7</sup> Sigg, K. (2021, 2. Oktober, persönliche Mitteilung)

Das Weibchen produziert abhängig von seinem Körpergewicht ungefähr 250 bis 2000 Eier, welche in die Laichgruben gelegt werden und von den sich konkurrenzierenden Männchen befruchtet werden. Nach der Befruchtung überdeckt das Weibchen wiederum mit starken Schlägen der Schwanzflosse die Eier mit etwas Substrat (FIBER, 2014).

Verborgen in der Dunkelheit des Kieslückensystems sind Eier und Brut optimal vor Fressfeinden geschützt. Zudem verringert sich durch das Vergraben der Eier in der Gewässer-  
sohle das Risiko, dass die Eier bei einem Winterhochwasser weggespült werden. Der Kies muss, damit er gut von Wasser durchströmt werden kann, locker sein und darf nicht zu viele feine Sedimente wie Sand oder Lehm enthalten. Nur so kann gewährleistet werden, dass die Eier und später die Brut genügend Sauerstoff erhalten und ausgeschiedene Stoffwechselprodukte erfolgreich abtransportiert werden können. Gute Laichbedingungen herrschen in 10 bis 50 Zentimeter tiefem Wasser mit Fließgeschwindigkeiten von 20 bis 80 cm/s (FIBER, 2014). Das Kieslückensystem dient der frisch geschlüpften Forellenbrut in ihren ersten Lebenswochen als Aufenthaltsort. Die Brütlinge dringen nach dem Schlupf sogar noch tiefer in den Kies ein, da sie grelles Licht vermeiden. Wenn sie merken, dass ihr Dottersack bald aufgebraucht ist, steigen sie als sogenannte Larven aus dem Kiesbett auf. Erst dann beginnen sie mit der aktiven Nahrungsaufnahme (FIBER, 2014).

In der ersten Zeit nach der Emergenz bleiben die jungen Forellen in der Nähe ihres Geburtsortes. Die Jungfische besetzen Territorien, die sie gegenüber ihren Artgenossen hartnäckig verteidigen müssen. Weil es nicht genügend geeignete Territorien für alle jungen Forellen gibt, wird während ein bis zwei Monaten eine sehr hohe, dichteabhängige Sterblichkeit beobachtet. Ideale Larventerritorien findet man in gut strukturierten, strömungsarmen Flachwasserzonen. Erst mit steigendem Alter suchen die Forellen tiefere Stellen im Gewässer auf. Dabei werden Gewässerstrukturen wie unterspülte Ufer, tiefe Kolke, Totholz und überhängende Vegetation von Forellen bevorzugt als Unterstand genutzt. Die besten Standplätze werden dabei in der Regel von den älteren und grösseren Tieren besetzt. Nach dem Erreichen einer bestimmten Grösse verlassen sie ihr Geburtsgewässer. Nachdem die abgewanderten Fische auf zum Teil stattliche Grössen herangewachsen sind, steigen sie bei Geschlechtsreife (nach etwa 3 Jahren) wieder in ihre Geburtsgewässer auf (FIBER, 2014).

### 2.3.2 Beobachtung im Feld

Auslöser für die Revitalisierung waren die fehlenden Aufstiegsmöglichkeiten der Bachforelle zurück in den Lattenbach. Darum sollten die Forellen auch am meisten von dem Projekt profitieren. Ob die geschlechtsreifen Fische nun bereits im ersten Winter nach der Revitalisierung den Bach als Laichgewässer annehmen und den Aufstieg finden würden, war unklar. Falls dies gelingen würde, wäre es jedoch ein starkes Zeichen für eine erfolgreiche Revitalisierung. Die Laichaktivität wurde von Auge und mit Hilfe einer polarisierenden Brille beobachtet. Dabei

wurden die Laichplätze anhand eines selbsterstellten Protokollbogens kartiert. Das Protokoll wurde mit Hilfe des Berichtes «redd counts» (Gallagher, 2007) zur Kartierung von Laichplätzen von Salmoniden erstellt, sowie mit dem Fischökologen Armin Peter überarbeitet. Die Grundstruktur ist Tabelle 2 zu entnehmen. Die Wassertemperatur wurde kontinuierlich (Intervalle von 10 Minuten) zwischen dem 9. November um 12:00 bis zum 15.12 um 12:00 mit einem Datenlogger im Gewässer gemessen. Die Lufttemperatur wurde anhand von MeteoSchweiz erfasst. Zu Beginn wurden einige Steine verschiedener Grössen auf der Oberseite mit Farbe markiert, um festzustellen, ob die Sohle durch ein grösseres Hochwasserereignis umgelagert und Laichplätze überdeckt wurden. Der Durchfluss wurde beim jeweiligen Feldtag grob mit der Blatt-Methode geschätzt und später mit jenem der Thur korreliert. Die Laichgruben wurden bis zum ersten grossen Absturz im Wald (dem maximal möglichen Fischaufstieg von der Thur aus) kartiert und auf einer Übersichtskarte eingezeichnet. Falls Fische bei der Laichaktivität zu beobachten waren, wurden Fotos und Videos erstellt.

Tabelle 2: Protokollblatt zur Beobachtung der Laichaktivität der Bachforellen im Feld.

|                   |       |                                    |       |
|-------------------|-------|------------------------------------|-------|
| Datum und Zeit:   | ..... | Umlagerung der Sohle?              | ..... |
| Wassertemperatur: | ..... | Wetter:                            | ..... |
| Lufttemperatur:   | ..... | Durchfluss (Bach geschätzt, Thur): | ..... |

| Nummer<br>(von unten<br>nach oben) | Breite<br>[cm] | Länge<br>[cm] | Pot vorhanden?<br>(Tiefe) [cm] | Fische zu<br>sehen? | Laich-<br>aktivität? | Koordinaten | Bemerkungen |
|------------------------------------|----------------|---------------|--------------------------------|---------------------|----------------------|-------------|-------------|
| .....                              | .....          | .....         | .....                          | .....               | .....                | .....       | .....       |
|                                    |                | ...           |                                |                     |                      |             |             |

### 3 RESULTATE

#### 3.1 Morphologie

Zuerst werden die Resultate der morphologischen Parameter einzeln präsentiert und in einem zweiten Schritt in Kapitel 5.1 einander gegenübergestellt. Für die Analysen in arcGIS wurden für die Vorher-Erhebungen das Luftbild von Swisstopo von 2019 und für die Nachher-Erhebungen ein Foto von einem Helikopterflug vom Kanton Zürich vom Oktober 2021 verwendet.

##### 3.1.1 Vorher-Zustand

Die Feldaufnahmen wurden am 10. und 11. August 2021 durchgeführt. Sämtliche Karten, welche im Feld und in arcGIS gezeichnet wurden, sind im Anhang 6 und 7 zu finden.

##### *Sohlenstruktur*

Die Einheitslänge für den Lattenbach beträgt 29.40 Meter, wodurch sich 3.06 Einheitslängen entlang des Talweges ergeben. Die wichtigsten Resultate sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

*Tabelle 3: Zusammenstellung der wichtigsten Resultate der Sohlenstruktur für die Einheitslängenabschnitte.*

| Einheitslängenabschnitt | Anzahl Strukturen | Bewertung |
|-------------------------|-------------------|-----------|
| 1                       | 7                 | 0.5       |
| 2                       | 8                 | 0.5       |
| 3                       | 14                | 0.5       |
| 4                       | 4                 | 0.5       |

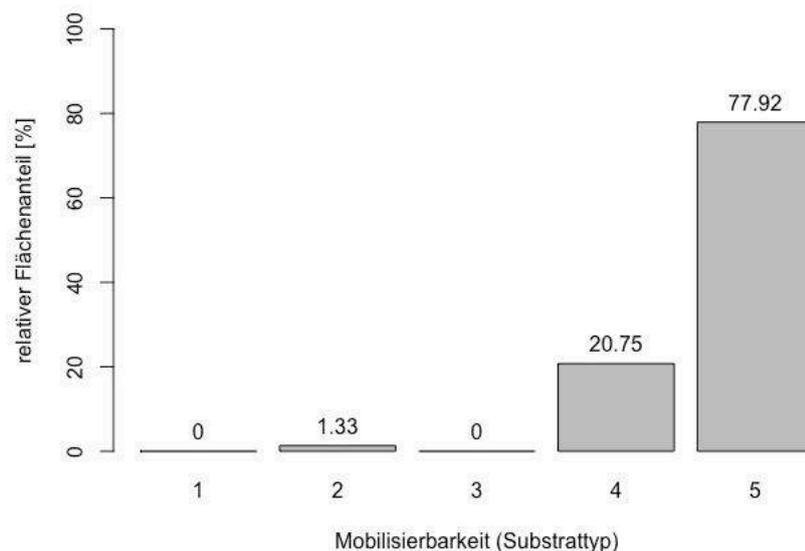
Dies ergibt ein gewichtetes Mittel von 0.5. Wie in Abbildung zu sehen, dominiert am Lattenbach vor allem die Struktur Furt. Diese bezeichnet einen breiten, flachen und langsam durchflossenen Gerinneabschnitt mit geringem Längsgefälle und einer benetzten Breite grösser im Verhältnis zur Abflusstiefe. Weiter gibt es am Rande des Lattenbaches immer wieder Flachwasserzonen. Nach grösseren Steinen oder auf der Seite des Gerinnes gibt es vereinzelt kleinere Kolke.

##### *Uferstruktur*

Für den Parameter «Averb» ergibt sich ein Wert von 0.5, da es keinen Längsverbau am Lattenbach gibt. Für den Parameter «Astruk» ergibt sich ein Wert von 0, da die drei Attribute der Uferstruktur über die ganze Strecke gleich sind (Linienführung: linear, Neigung: steil, Beschaffenheit: Lockermaterial). Zusammengerechnet gibt dies einen totalen standardisierten Wert von 0.5 für die Uferstruktur.

### *Substratzusammensetzung*

In Abbildung 10 sieht man, dass im Lattenbach für das Attribut «Mobilisierbarkeit» fast nur grobes Sohlenmaterial vorkommt, welches teilweise noch mit Geschiebe durchsetzt ist. Es gibt nur einzelne, kleinere Stellen, welche Feingeschiebe aufweisen. Dies ergibt laut der Auswertungsmethode der WiKo einen standardisierten Wert von 0. Die Klassifizierung dafür lautet: „Vorwiegend grobes und abgeplästertes Sohlenmaterial, lokal auch etwas mit Geschiebe durchsetzt.“



*Abbildung 10: Flächenanteil für jeden Substrattyp. 1 = Schwebstoffablagerungen, 2 = Feingeschiebe, 3 = Grobgeschiebe, 4 = Sohlenmaterial mit Geschiebe durchsetzt, 5 = Grobes Sohlenmaterial. Diagramm nach Auswertungsmethode WiKo.*

Für das Attribut «Beschaffenheit» dominieren vor allem Steine und grosse Steine, teilweise gibt es auch Bereiche mit grösseren Blöcken. Dies fliesst jedoch nicht in die Auswertung mit ein und die gesamte Bewertung für die Substratzusammensetzung beläuft sich auf einen standardisierten Wert von 0.

### *Breiten- und Tiefenverhältnisse*

Bei den 10 Querprofilen wurden Fliesstiefen von 0.01 bis 0.18 Meter gemessen (Abbildung 11) bei einer Durchschnittstiefe von 0.086 Meter und einer Standardabweichung von 0.042 Meter. Die maximalen Wassertiefen weisen einen Durchschnitt von 0.15 Metern bei einem Variationskoeffizienten von 14.36 % auf, was einem standardisierten Wert von 0.14 entspricht.

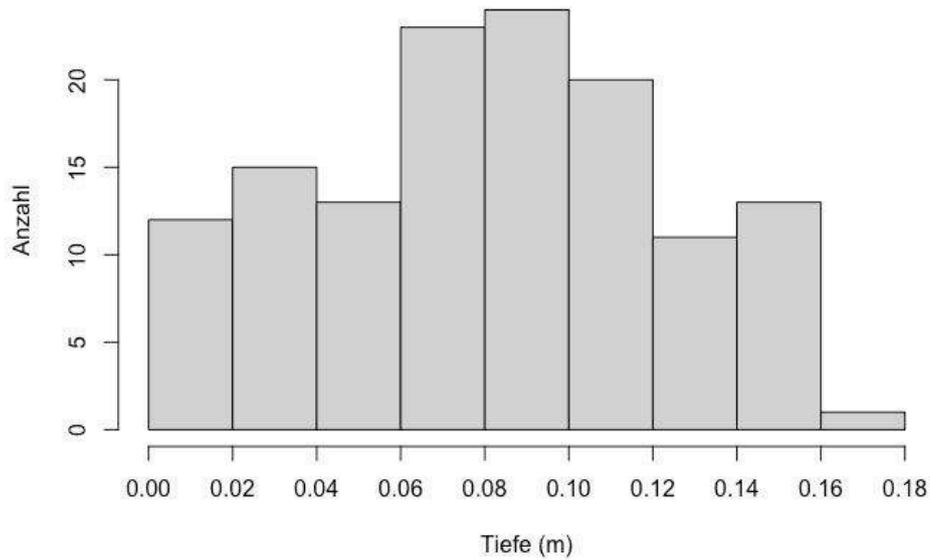


Abbildung 11: Histogramm aller gemessenen Fliesstiefen bei den 10 Querprofilen.  $N = 132$ .

Es wurden bei den Querprofilen Breiten zwischen 1.98 bis 4.19 Metern gemessen (Abbildung 12) wobei 60 Prozent zwischen 2 und 2.5 Metern liegen. Die Durchschnittsbreite beträgt 2.45 Meter bei einer Standardabweichung von 0.72 Meter. Dies ergibt einen standardisierten Wert von 0.29.

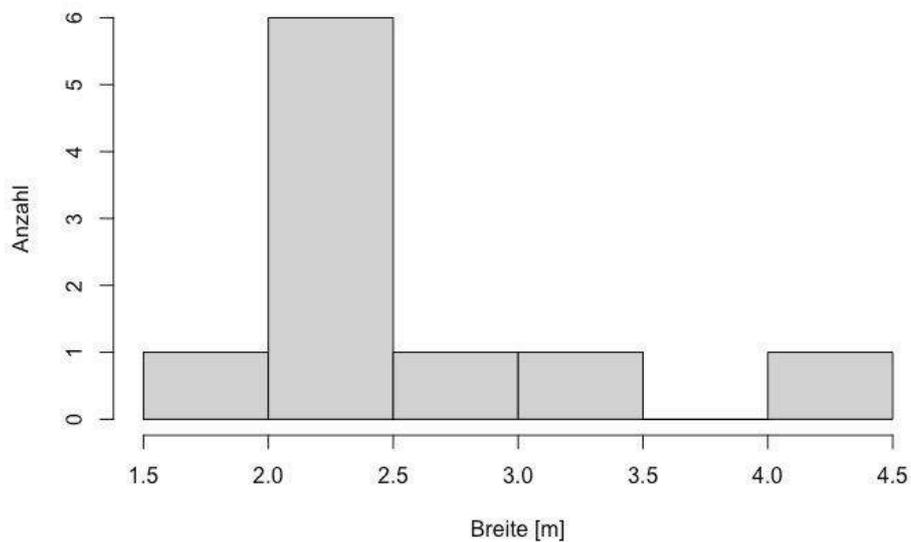


Abbildung 12: Histogramm aller gemessenen Breiten bei den 10 Querprofilen.  $N = 10$ .

Die durchschnittliche benetzte Breite beträgt 2.50 Meter bei einer Standardabweichung von 0.70 Metern. Die totale benetzte Fläche beträgt  $156.57 \text{ m}^2$ . Aus den beiden Werten für die Breiten- und Tiefenverhältnisse ergibt sich ein standardisierter Mittelwert von 0.215.

### *Fliessgeschwindigkeiten*

Bei den 10 Querprofilen wurden Fliessgeschwindigkeiten von 0 bis 0.53 m/s gemessen (Abbildung 13) bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 0.25 m/s und einer Standardabweichung von 0.16 m/s. Mit einem Variationskoeffizient von 64.01 % entspricht dies einem standardisierten Wert von 0.58.

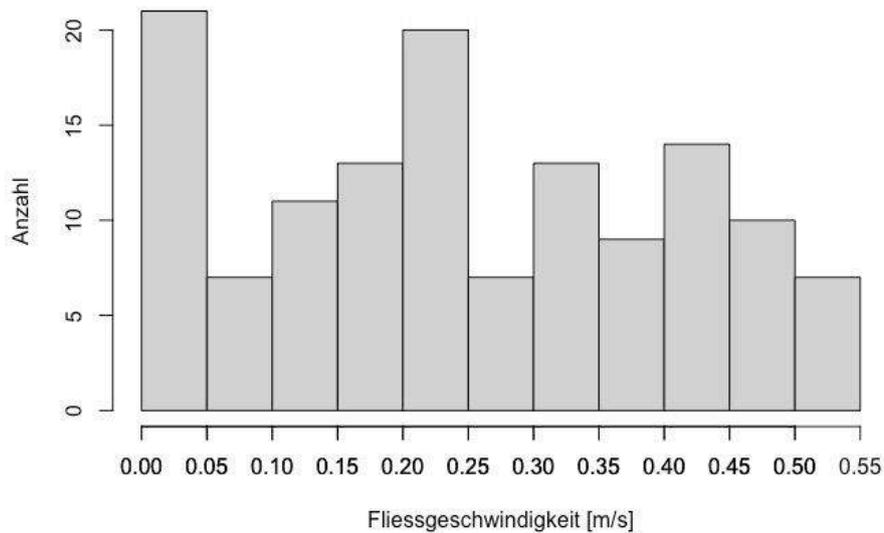


Abbildung 13: Gemessene Fliessgeschwindigkeiten bei den 10 Querprofilen.  $N = 132$ .

### *Unterstandsangebot*

Das aktuelle Unterstandsangebot beläuft sich auf 73 % der totalen benetzten Fläche. Dabei gibt es untergetauchte (1.2 %) sowie nicht untergetauchte Steine (1.1 %), oftmals mit einem anschliessenden Kolk (1.3 %). An den Ufern gibt es fast überall Bereiche mit überhängendem Gras (10.1 %), wohingegen überhängende Vegetation (1.5 %) nur an zwei isolierten Stellen vorkommt (Abbildung 14 und Abbildung 15). Grosse Teile des Lattenbaches können als turbulente Wasserzonen klassifiziert werden (57.7 %).



Abbildung 14: Überhängende Vegetation am Lattenbach kurz vor der Brücke. Fliessrichtung links nach rechts.

Grössere Äste oder Baumstümpfe gibt es keine im Gerinne. Es fehlen vor allem Unterstände, zum Beispiel tiefere Kolke, für grössere Fische. Dies widerspiegelt sich einerseits bei der kleinen Variabilität der Wassertiefen. Andererseits wurden beim elektrischen Abfischen von der Fish Consulting GmbH in der Untersuchungstrecke keine grossen Bachforellenindividuen gefangen im Vergleich zur Strecke im Wald (Wilmsmeier et al., 2020). Auffallend ist auch die geringe Variabilität im Unterstandsangebot. Wenn man von einem Referenzwert von 95 % für kleine Bäche ausgeht, welche natürlicherweise ein hohes Unterstandsangebot aufweisen (Wilmsmeier et al., 2020), ergibt sich eine Abweichung von 23.18 % vom Referenzzustand. Dies ergibt einen standardisierten Wert von 0.75 für das Unterstandsangebot.



Abbildung 15: Typisch linearer Abschnitt am Lattenbach mit überhängendem Gras am Ufer, turbulenten Wasserzonen, einigen nicht untergetauchten Steine und gröberem Sohlenmaterial auf der Sohle. Fliessrichtung von links nach rechts.

### *Längsvernetzung*

Im Bereich zwischen Brücke und Mündung in die Thur weist der Lattenbach drei Abstürze zwischen 30 und 50 cm auf (Abbildung 16). Bachforellen ab einer Länge von 35 cm können einen Überfall von 50 cm (bei einem angenommenen Absprungwinkel von 60°) grundsätzlich überwinden (Videler, 1993). Für den Absprung wird jedoch ein unterwasserseitiger Kolk mit ausreichender Tiefe (zirka 70 cm bei einer Überfallshöhe von 50 cm) gebraucht, damit die Fische Anlauf nehmen können. Kolke sind im Lattenbach nur bei den oberen beiden Abstürzen vorhanden, der Untere schliesst mit einer durchgehenden Steinplatte ab. Es muss also davon ausgegangen werden, dass der Lattenbach auch für grosse, sprungstarke Fische aus der Thur bei Niederwasserabfluss nicht erreichbar ist. Oberhalb der drei Überfalle ist der Lattenbach für Fische hingegen ohne weiteres bis zum Wald passierbar. (Wilmsmeier et al., 2020) Da der Fischeaufstieg in den Lattenbach für die Bachforelle nur bei Hochwasser möglich ist, wird die Längsvernetzung mit einem standardisierten Wert von 0 klassifiziert.



Abbildung 16: Die drei Abstürze im Mündungsbereich (von oben nach unten). Aufnahmen der Fish Consulting GmbH.

### *Abschätzung Laichsubstrat und Reproduktionspotenzial*

Die Bewertung der Kolmation war schwierig im Feld zu analysieren, da es fast keine kiesbedeckten Bänke gab, welche bei Niederwasser nicht überströmt waren. Darum wurde neben der visuellen Analyse im Feld auch auf Expertenbefragungen zurückgegriffen. Die visuellen Analysen (Abbildung 17) lassen auf eine mittlere Kolmation schliessen, da das Substrat leicht verfestigt ist. Der Standort dieses Bildes ist jedoch direkt unter der Brücke und eventuell nicht repräsentativ für die ganze Untersuchungsstrecke. Laut dem Bericht über den Lattenbach von der Fish Consulting GmbH soll es sich nur um eine leichte Kolmation handeln (Wilmsmeier et al., 2020). Der Bauführer der Kreis Sektor Wasserbau AG Simon Steiger dagegen spricht von einer mittleren bis starken Kolmation.<sup>8</sup> Schlussendlich wurde darum ein standardisierter Wert von 0.7 (zwischen leicht und mittel) für die Kolmation verwendet.



Abbildung 17: Entnahme der Deckschicht zur Beurteilung der Kolmation des Lattenbaches.

<sup>8</sup> Steiger, S. (2021, 16. August, persönliche Mitteilung)

Am Probenentnahmetag wurden Kiesgrößen zwischen 10 und 200 mm gemessen (Abbildung 18). Insgesamt wurden 262 Steine untersucht. Bachforellen bevorzugen für die Reproduktion Kiesgrößen von 5-60 mm. Die Reproduktion der Forellen am Lattenbach ist daher nicht durch das vorhandene Substrat limitiert. Dies ergibt einen standardisierten Wert von 1. Zusammen mit der Kolmation ergibt sich ein totaler standardisierter Wert für das Laichsubstrat und Reproduktionspotenzial von 0.85.

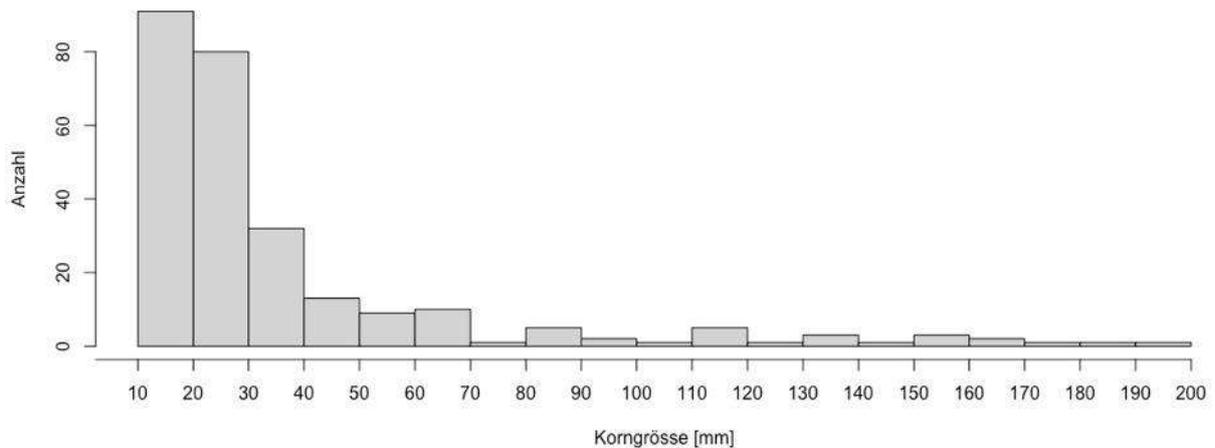


Abbildung 18: Gemessene Kiesgrößen mit Linienprobe nach Fehr. Total wurden 262 Steine vermessen.

### Durchfluss

Die berechneten Durchflüsse bei den Querprofilen lagen zwischen 120 l/s und 161 l/s bei einem Mittelwert von 140 l/s und einer Standardabweichung von 14 l/s (Abbildung 19) Dabei lag der Abfluss für diesen Tag bei einem ungefähren Mittelwasserabfluss (vgl. 1.2.4). Wie in den Methoden beschrieben, sollten die Erhebungen optimalerweise bei einem mittleren Niederwasserabfluss erfolgen. Aufgrund der ausserordentlichen Wetterlagen im Sommer 2021 mit vielen Gewittern und dem zeitlich begrenzten Zugang zum Strömungsmessgerät konnte dies nicht erreicht werden. Es wurde jedoch darauf geachtet, die Messungen nach der Umsetzung wiederum bei einem Mittelwasserabfluss durchzuführen, um bessere Vergleiche anstellen zu können.

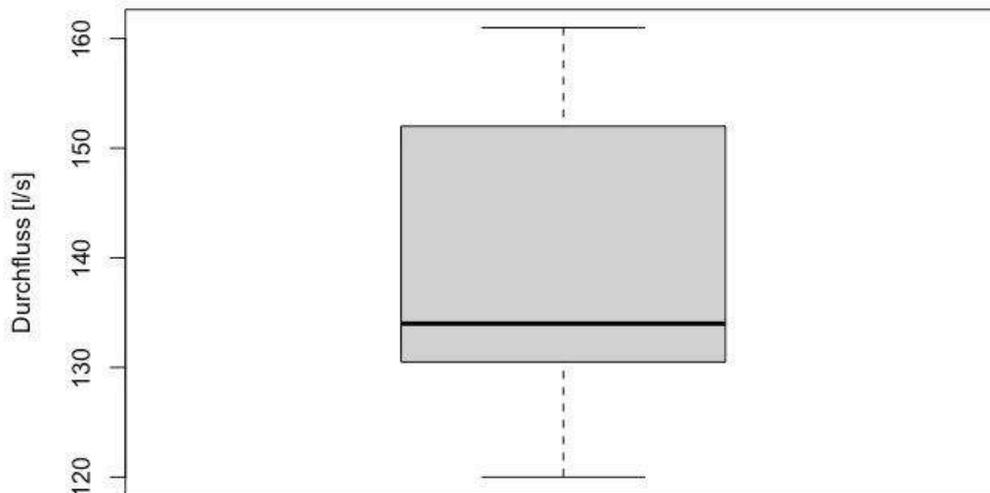
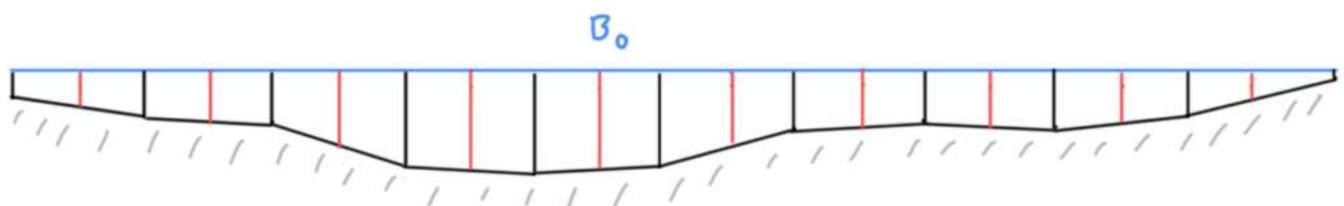


Abbildung 19: Boxplot der gemessenen Durchflüsse bei den zehn Querprofilen.

Grundsätzlich sollte aus Massenbilanzgründen der Durchfluss für alle Querschnitte ungefähr gleich gross sein, da Versickerung und Grundwasseraufstösse auf so kleinen Strecken zu vernachlässigen sind. Vor allem bei den Fließgeschwindigkeiten ist die Messgenauigkeit jedoch nicht so hoch, da bei so kleinen Fließstiefen eine konstante Messtiefe von 40% der Fließtiefe schwierig einzuhalten ist. Die Fehlerabweichungen liegen aber in einem akzeptablen Rahmen. In Abbildung 20 befindet sich eine massstäbliche Skizze des zweiten Querprofils.



0 1 2 3 cm (Masstab 1:100)

Abbildung 20: massstäbliche Skizze des Querprofils 2. Schwarz eingezeichnet sind die gemessenen Fließstiefen, die roten Striche stellen die interpolierten Werte zwischen den jeweiligen Fließstiefen dar und begrenzen die Flächen, für welche die Teildurchflüsse berechnet werden

### 3.1.2 Nachher-Zustand

Die Feldaufnahme wurden am 6. Und 7. November 2021 durchgeführt. Sämtliche Karten, welche im Feld und in arcGIS gezeichnet wurden, sind im Anhang 6 und 7 zu finden.

#### *Sohlenstruktur*

Die Einheitslänge beträgt 25.56 Meter, wodurch sich 3.52 Einheitslängen entlang des Talweges ergeben. Die wichtigsten Resultate sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

*Tabelle 4: Zusammenstellung der wichtigsten Resultate der Sohlenstruktur für die Einheitslängenabschnitte.*

| Einheitslängenabschnitt | Anzahl Strukturen | Bewertung |
|-------------------------|-------------------|-----------|
| 1                       | 7                 | 0.5       |
| 2                       | 6                 | 0.5       |
| 3                       | 9                 | 0.5       |
| 4                       | 6                 | 0.5       |

Dies ergibt ein gewichtetes Mittel von 0.5. Wie in Abbildung zu sehen, dominiert am Lattenbach vor allem die Struktur Furt. Vereinzelt gibt es grössere und kleinere Kolke sowie Flachwasserzone an den Seiten des Gerinnes. Weiter gibt es eine grosse Passage mit einer Schnelle und einer Bank dazwischen.

#### *Uferstruktur*

Für den Parameter «Averb» ergibt sich ein Wert von 0.5, da es keinen Längsverbau am Lattenbach gibt. Für den Parameter «Astruk» ergibt sich ein gewichtetes Mittel von 0.17 (Tabelle 5).

*Tabelle 5: Zusammenstellung der Längen von Uferstrukturtypen für die vier Einheitsabschnitte. 131 = Linear, Lockermaterial, flach, 132 = linear, Lockermaterial, steil, 231 = Konvex, Lockermaterial, flach, 232 = Konvex, Lockermaterial, steil, 331 = konkav, Lockermaterial, flach, 332 = konkav, Lockermaterial, steil.*

| Abschnitt | 131     | 132     | 231     | 232   | 331     | 332     | «Astruk» |
|-----------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|----------|
| 1         | 31.10 m | -       | 16.62 m | -     | 9.52 m  | -       | 0.08     |
| 2         | 12.31 m | 1.41m   | 5.70 m  | 5.67m | 10.04 m | 19.57 m | 0.33     |
| 3         | 17.47 m | -       | 16.27 m | -     | 25.36 m | -       | 0.08     |
| 4         | 7.27 m  | 20.03 m | 1.85 m  | -     | 3.28 m  | -       | 0.17     |

Die Beschaffenheit des Ufers am Lattenbach ist durchgehen Lockermaterial. Die Neigung ist überwiegend flach, es gibt jedoch einzelne steile Bereiche. Die Linienführung variiert zwischen linear, konkav und konvex. Zusammengerechnet ergibt sich ein totaler standardisierter Wert von 0.67 für die Uferstruktur.

### *Substratzusammensetzung*

Für das Attribut «Mobilisierbarkeit» dominiert grobes Sohlenmaterial, welches teilweise noch mit Geschiebe durchsetzt ist (Abbildung 21). Es gibt einzelne, kleinere Stellen, welche Feingeschiebe oder Schwebstoffablagerungen aufweisen, oftmals auf der Seite des Gerinnes in Flachwasserzonen oder Kolken. Dies ergibt laut der Auswertungsmethode der WiKo einen standardisierten Wert von 0.25. Die Klassifizierung dafür lautet: «Vorwiegend grobes und abgeplästertes Sohlenmaterial, teilweise mit Geschiebe durchsetzt. Kleine Flächen mit Geschiebeablagerungen.»

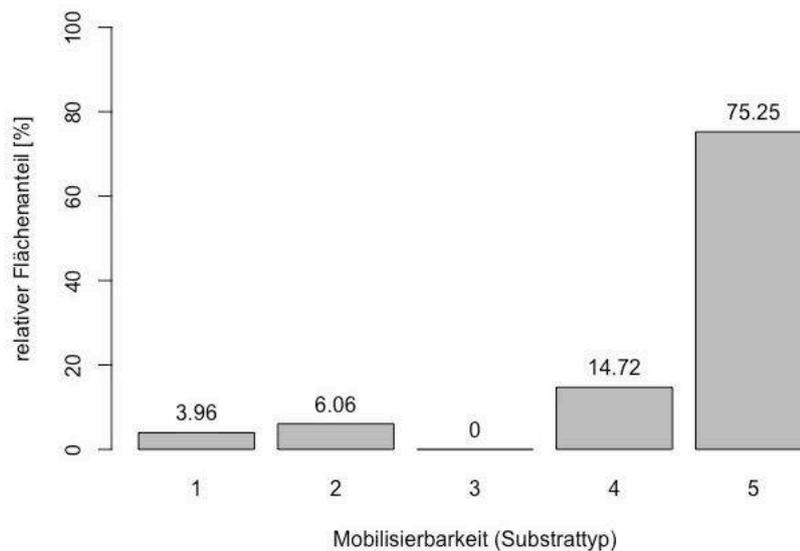


Abbildung 21: Flächenanteil für jeden Substrattyp. 1 = Schwebstoffablagerungen, 2 = Feingeschiebe, 3 = Grobgeschiebe, 4 = Sohlenmaterial mit Geschiebe durchsetzt,

### **4 = Grobes Sohlenmaterial. Diagramm aus Auswertungsmethode nach WiKo.**

Für das Attribut «Beschaffenheit» dominierend vor allem grosse Steine. Es gibt jedoch auch viele Bereiche mit Sand und Kies. Weiter gibt es Zonen mit Blöcken. Dies fließt jedoch nicht in die Auswertung mit ein und die gesamte Bewertung für die Substratzusammensetzung beläuft sich auf einen standardisierten Wert von 0.25

### *Breiten und Tiefenverhältnisse*

Bei den 10 Querprofilen wurden Fliesstiefen von 0.01 bis 0.27 Meter gemessen (Abbildung 22) bei einer Durchschnittstiefe von 0.095 Meter und einer Standardabweichung von 0.07 Meter. Die maximalen Wassertiefen weisen einen Durchschnitt von 0.19 Metern bei einem Variationskoeffizienten von 34.59 % auf, was einem standardisierten Wert von 0.35 entspricht.

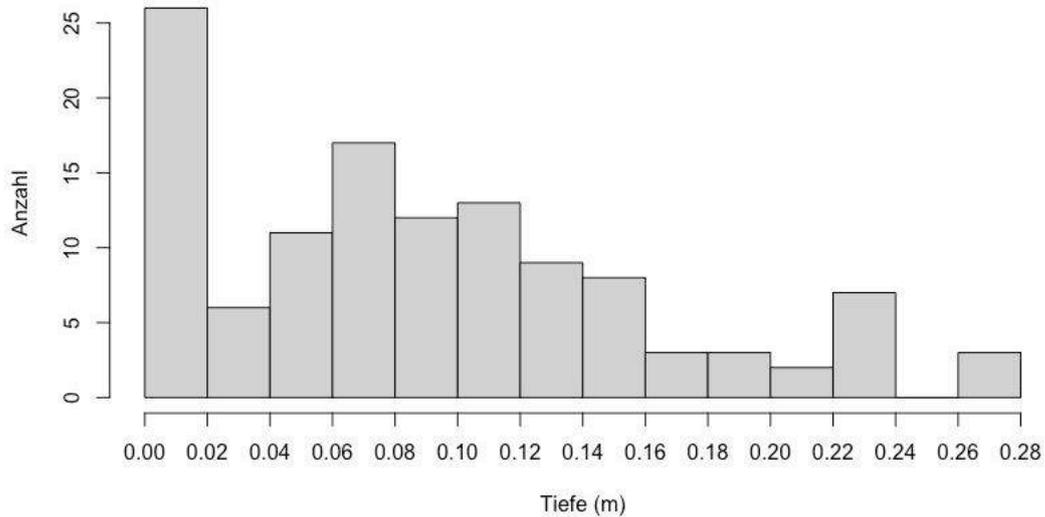


Abbildung 22: Histogramm aller gemessenen Fliesstiefen bei den 10 Querprofilen.  $N = 120$ .

Es wurden Breiten bei den Querprofilen zwischen 0.80 und 4.1 Metern gemessen (Abbildung 23). Die Durchschnittsbreite beträgt 2.13 Meter bei einer Standardabweichung von 1.10 Meter. Dies ergibt einen standardisierten Wert von 0.52.

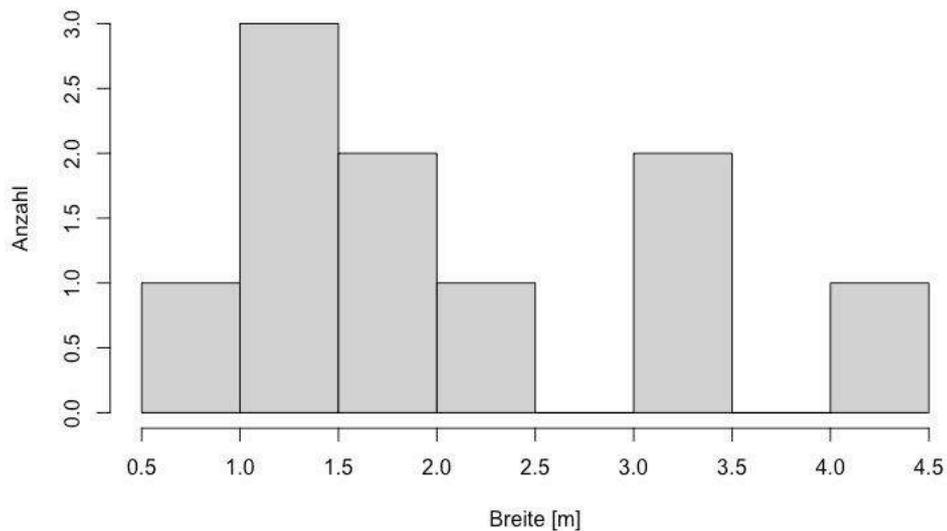


Abbildung 23: Histogramm aller gemessenen Breiten bei den 10 Querprofilen.  $N = 10$ .

Die mittlere benetzte Breite beträgt 2.23 Meter bei einer Standardabweichung von 1.02 Metern. Die totale benetzte Fläche beträgt 137.44 Meter. Aus den beiden Werten für die Breiten- und Tiefenverhältnisse ergibt sich ein standardisierter Mittelwert von 0.435.

### *Fließgeschwindigkeiten*

Bei den 10 Querprofilen wurden Fließgeschwindigkeiten von 0 bis 1.03 m/s gemessen (Abbildung 24) bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 0.20 m/s und einer Standardabweichung von 0.23 m/s. Mit einem Variationskoeffizient von 112.85 % entspricht dies einem standardisierten Wert von 1.00.

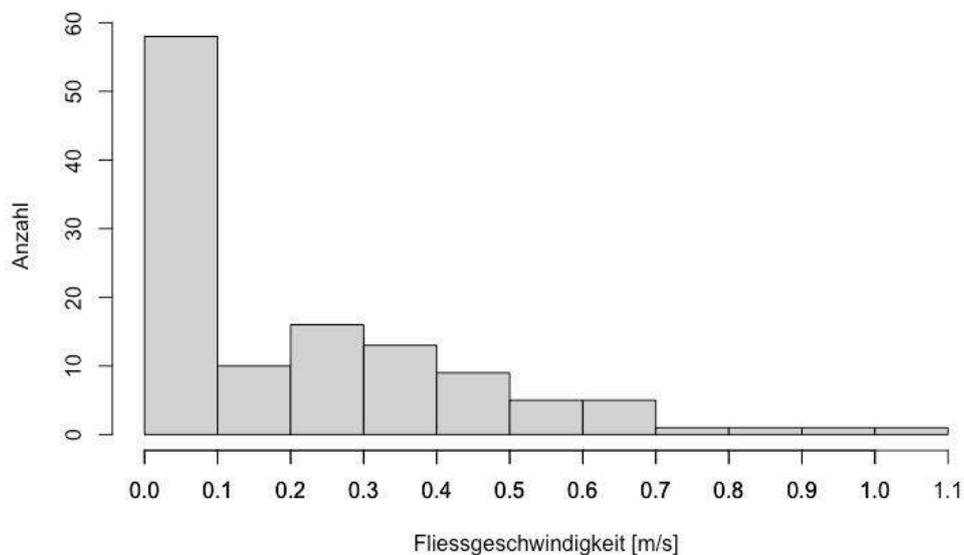


Abbildung 24: Gemessene Fließgeschwindigkeiten bei den 10 Querprofilen. N = 120.

### *Unterstandsangebot*

Das aktuelle Unterstandsangebot beläuft sich auf 86 % der totalen benetzten Fläche (Abbildung 25). Es gibt untergetauchte (< 1 %) sowie nicht untergetauchte Steine (2 %), oftmals mit einem anschliessenden Kolk (3 %). An den Ufern gibt immer wieder Bereiche mit mittleren organischen Partikeln (4%), welche den Fischen als Unterstand dienen und Schatten spenden können (Abbildung 26). Teilweise gibt es auch grosse Wurzeln und Äste (3 %) im Gerinne selbst oder auf der Seite. Grosse Teile des Lattenbaches können als turbulente Wasserzonen klassifiziert werden (72 %).

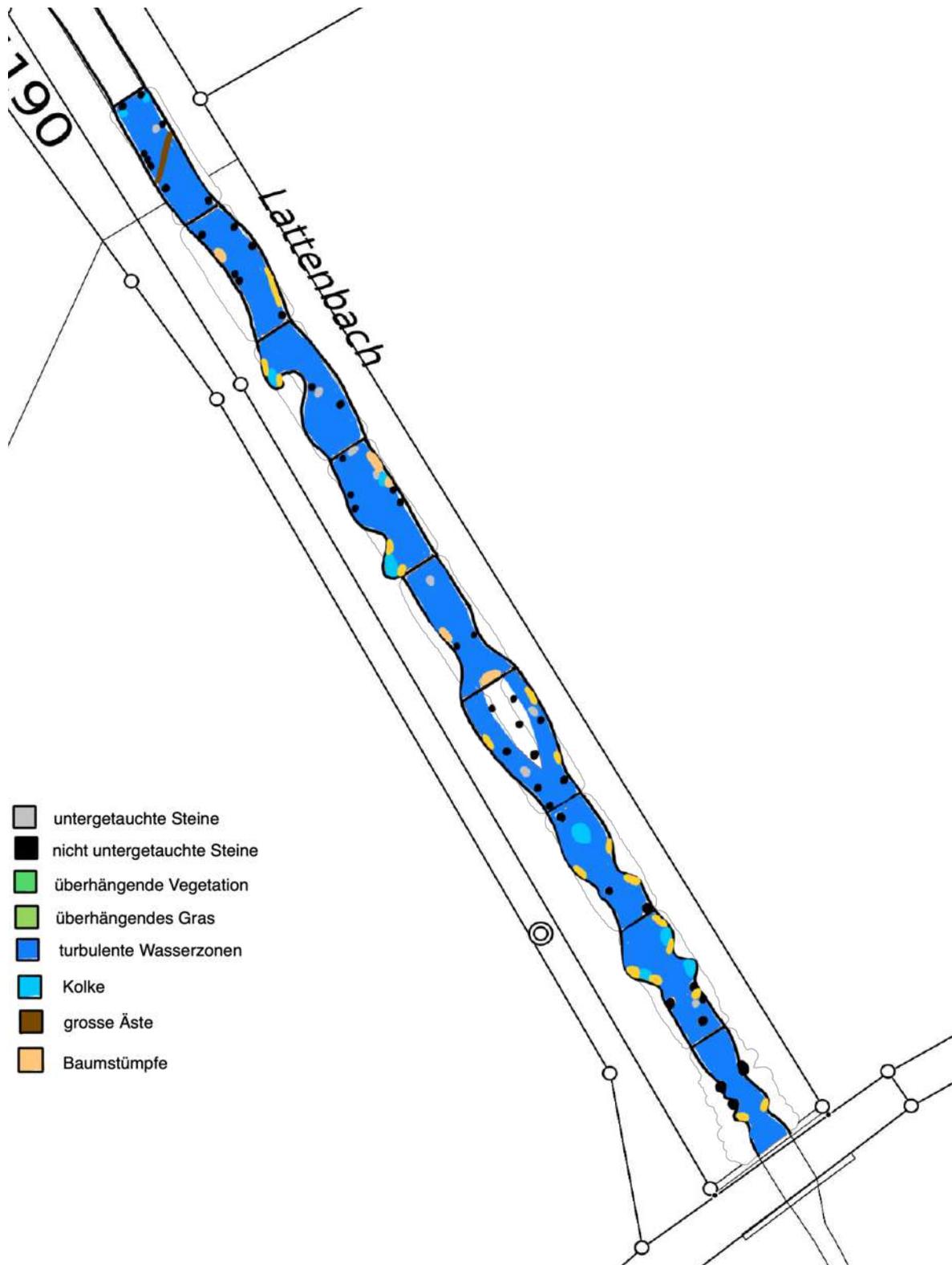


Abbildung 25: Im Feld kartiertes Unterstandsangebot.

Überhängendes Gras und überhängende Vegetation gibt es (noch) nicht, da durch die Bauarbeiten die Ufervegetation komplett entfernt wurde und sich erst nächstes Jahr wieder etablieren kann.



Abbildung 26: Organische Partikel schaffen Strukturen im Gewässer, dienen als Unterstand und spenden Schatten.

Wenn man wiederum von einem Referenzwert von 95 % für kleine Bäche ausgeht, welche natürlicherweise ein hohes Unterstandsangebot aufweisen (Wilmsmeier et al., 2020), ergibt sich eine Abweichung von etwa 8.5 % vom Referenzzustand. Dies ergibt einen standardisierten Wert von 1.0 für das Unterstandsangebot.

#### *Längsvernetzung*

Durch den Einbau der Riegelrampe ist der Fischaufstieg aus der Thur in den Lattenbach für Fische, insbesondere für die Bachforelle, nun bei allen Wasserständen möglich. Ein genaues Monitoring durch elektrisches Abfischen findet erst im Frühling 2022 statt, es konnten aber von Auge bereits Fische beim Aufstieg über die Riegelrampe beobachtet werden. Daher wird diesem Parameter ein standardisierter Wert von 1 zugeschrieben.

#### *Abschätzung Laichsubstrat und Reproduktionspotenzial*

Im revitalisierten Lattenbach gibt es im Vergleich zu vorher einige bei Niederwasser nicht überströmte Kiesbänke, was die Analyse der Kolmation erleichterte. Bei der Kiesbank in Abbildung 27 kann keine Kolmation festgestellt werden, da das Substrat grobkörnig ist und der Lückenraum dominant grobporig. Dies entspricht einem standardisierten Wert von 1.

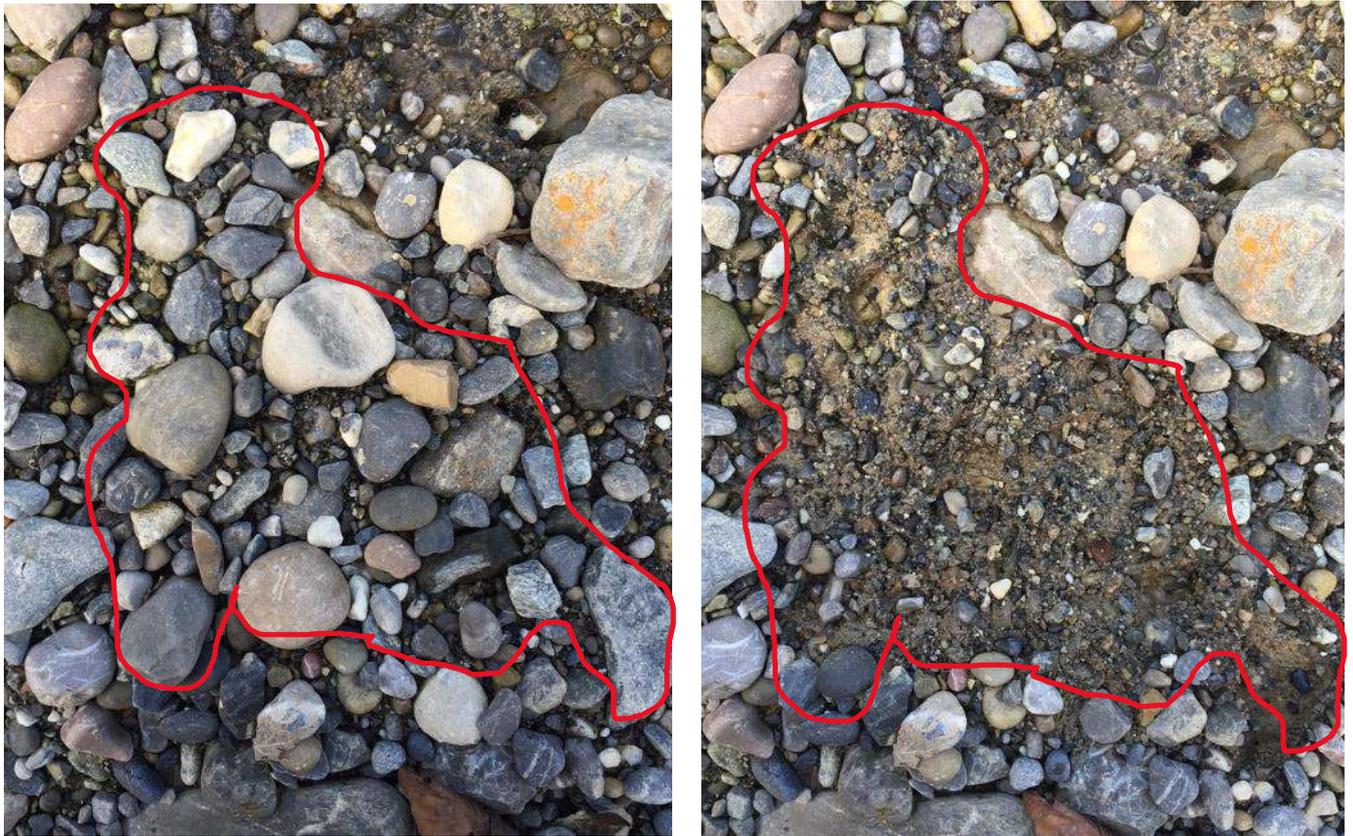


Abbildung 27: Entnahme der Deckschicht einer Kiesbank zur Beurteilung der Kolmation des Lattenbaches.

Am Probenentnahmetag wurden Kiesgrößen zwischen 3 und 210 mm gemessen (Abbildung 28). Insgesamt wurden 193 Steine untersucht. Die Reproduktion der Forellen am Lattenbach ist weiterhin nicht durch das vorhandene Substrat limitiert. Dies ergibt einen standardisierten Wert von 1. Zusammen mit der Kolmation ergibt sich ein totaler standardisierter Wert für das Laichsubstrat und Reproduktionspotenzial von 1.

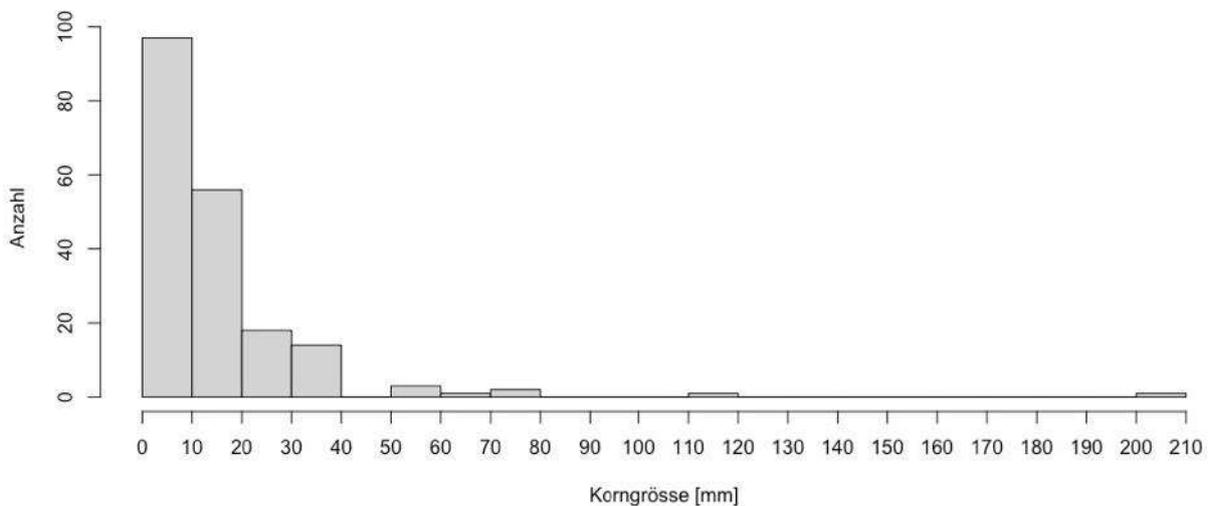


Abbildung 28: Gemessene Kiesgrößen mit Linienprobe nach Fehr. Insgesamt wurden 193 Steine vermessen.

## Durchfluss

Die berechneten Durchflüsse bei den Querprofilen lagen zwischen 101 l/s und 154 l/s bei einem Mittelwert von 119 l/s und einer Standardabweichung von 16 l/s (Abbildung 29). Somit lag der Abfluss für diesen Tag bei einem knappen Mittelwasserabfluss (vgl. 1.2.4). Auch hier liegt der Fehlerbereich in einem akzeptablen Rahmen. Der Abfluss ist fast gleich gross wie bei den Aufnahmen vor der Umsetzung der Revitalisierung ( $Q = 140$  l/s) und darum Vergleiche für die Breiten- und Tiefenverhältnisse sowie Fließgeschwindigkeiten legitim.

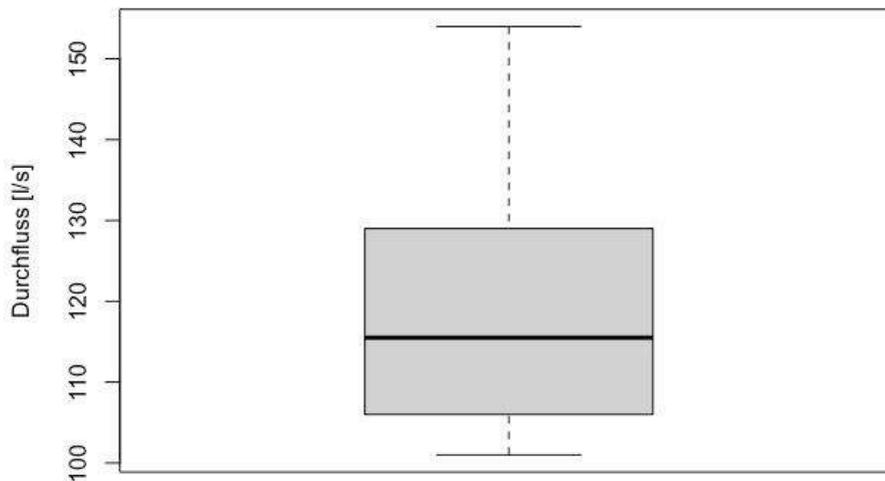


Abbildung 29: Boxplot der gemessenen Durchflüsse bei den 10 Querprofilen.

## 4.1 Wasserqualität

Sämtliche gemessenen Werte sind im Anhang 3 und 4 zusammengestellt.

### 4.1.1 Halbquantitative Messungen

Die Messungen wurden zu drei verschiedenen Zeitpunkten (26. Juli, 11. August und 10. Oktober) für jeden Standort je zwei Mal durchgeführt. Die Resultate sind in Tabelle 6 zusammengestellt, wobei die drei verschiedenen Standorte des Lattenbaches zusammengefasst werden konnten, da es jeweils keine Unterschiede bei den gemessenen Werten gab.

Tabelle 6: Zusammengefasste Resultate der halbquantitativen Nährstoffmessungen am Lattenbach und in der Thur.

| Standort   | Nitrat [mg/L] | Nitrit [mg/L] | Phosphat [mg/L] |
|------------|---------------|---------------|-----------------|
| Lattenbach | 75            | 0.5           | 3               |
| Thur       | 10            | 0.6           | 0 – 3           |

Bei den Probennahmen im Juli und August wurde neben dem Bach auf den landwirtschaftlichen Flächen Saatkartoffeln und Mais angebaut. Die Abstände zwischen Bach und Felder betragen

auf jeder Seite circa acht Meter. Es wird vermutet, dass die erhöhten Nitratwerte von weiter oberhalb im EZG stammen, entweder vom Ausfluss der ARA, oder von weiter oben liegenden Landwirtschaftsflächen. Dies wurde anhand der quantitativen Messungen untersucht.

#### 4.1.2 Quantitative Messungen

Leider konnten die Proben von Standort B, welche dem direkten Abfluss der ARA entnommen wurden, nicht untersucht werden. Die Proben wurden zuerst mit einer Methode gemessen, welche auf nicht solch hohe Konzentrationen an Nährstoffen ausgelegt ist und konnten aufgrund des durchgeführten Aufschlusses nicht erneut verwendet werden. Die wichtigsten Resultate sind in Tabelle 7 zusammengestellt, die gesamten Resultate befinden sich im Anhang 4.

*Tabelle 7: Gemessenen Nährstoffe am Lattenbach für die Standorte A und C. TDP = total dissolved P, TP = total P, TDN = total dissolved N, TN = total N. ATN = Standort A (vor ARA), Trockenperiode, Nachmittag, CTN = Standort C (Untersuchungsstrecke), Trockenperiode, Nachmittag.*

| Probe | Phosphat [mg/L] | TDP [mg/L] | TP [mg/L] | Nitrat [mg/L] | TDN [mg/L] | TN [mg/L] |
|-------|-----------------|------------|-----------|---------------|------------|-----------|
| ATN   | < 0.005         | 0.011      | 0.006     | 0.686         | 0.664      | 0.678     |
| CTN   | 0.43            | 0.244      | 0.176     | 9.928         | 9.541      | 9.668     |

Beim Phosphat, TDP und TP verlaufen einige Werte (beispielsweise für CTN) mit höherem Aufschlussgrad kleiner. Dies kann grundsätzlich nicht sein, da beim totalen Phosphor der höchste Wert sein müsste. Die Frage besteht nun, worin wird die Messung gestört wird. Es ist bekannt, dass einige Ionen die Messung aktiv stören, z.B. Silizium. Da die Störung aber in Abhängigkeit mit dem Aufschluss und dem Filtrationsgrad auftaucht, ist es schwer, eine plausible Erklärung zu finden<sup>9</sup>. Es fällt aber auf, dass jene Proben, welche nach einer Trockenperiode entnommen sind, häufiger davon betroffen sind. Die Fehlerrechnung wurde mit dem Mittelwert der Dreifachprobe für jeden Nährstoff durchgeführt. In Tabelle 8 werden nur die statistischen Kennzahlen für Phosphat und Nitrat dargestellt, die Werte für die restlichen Nährstoffe befinden sich im Anhang 5.

*Tabelle 8: Fehlerrechnung für die Dreifachprobe am Standort C.*

| Statistische Kennzahlen | Phosphat [mg/L] | Nitrat [mg/L] |
|-------------------------|-----------------|---------------|
| $\mu$                   | 0.335           | 4.193         |
| $\sigma$                | 0.009           | 0.052         |
| $\Delta x$              | 0.011           | 0.060         |

<sup>9</sup> Kathriner, P. (2021, 16. Dezember, persönliche Mitteilung)

Der wahre Messwert liegt jeweils mit einer Sicherheit von 95% im Intervall von  $\mu \pm \Delta x$ . Laut Patrick Kathriner<sup>10</sup>, Verantwortlicher für die Auswertung der Proben bei der EAWAG, liegt die Messgenauigkeit ihrer Messmethode bei  $\pm 10\%$ . Beim Vergleich der halbquantitativen mit den quantitativen Messungen in der Untersuchungsstrecke, sieht man, dass die halbquantitative Messungen für Phosphat sowie Nitrat beide überschätzt haben (Tabelle 9). Die Abweichung liegt bei einer Grössenordnung. Auch wenn es bei der Analyse der Proben im Labor einige ungewöhnliche Resultate gab, sind diese Werte sicher verlässlicher als jene der halbquantitativen Messungen.

*Tabelle 9: Gegenüberstellung der halbquantitativen und quantitativen Messungen für die Untersuchungsstrecke.*

| Methode         | Phosphat [mg/L] | Nitrat [mg/L] |
|-----------------|-----------------|---------------|
| halbquantitativ | 3               | 75            |
| quantitativ     | 0.43            | 9.928         |

Da die gemessenen Werte mit einigen Unsicherheiten behaftet sind und sich keine klaren Trends zeigen, wird darauf verzichtet, innerhalb von Standorten Analysen zwischen den verschiedenen Probenzeitpunkten und Wetterperioden vorzunehmen. Messungenauigkeiten können einerseits durch die Analyse im Labor begründet sein, durch ungenaue Probenentnahme im Feld oder durch unterschiedlich langes Lagern im Kühlschrank der Proben. Klar ersichtlich ist jedoch der Unterschied zwischen dem Standort A und dem Standort C (Tabelle 7). Beim Standort C wurden für alle Konstellationen von Wetter und Tageszeit deutlich höhere Nährstoffwerte gemessen (eins bis zwei Grössenordnungen mehr). Beim Vergleich mit den in Kapitel 2.2.3 angesprochenen Grenz- und Richtwerten kann bilanziert werden, dass für den Gesamt-Stickstoff der Wert in der Untersuchungsstrecke leicht höher als ein «ökologisch begründeter» liegt. Der Gesamt-Phosphor in der Untersuchungsstrecke muss als «schlecht» eingestuft werden.

## 4.2 Laichaktivität

Zu Beginn werden die Laichplätze nach Zeit und Ort aufgetragen, danach die Daten aus dem Temperaturlogger ausgewertet und zuletzt die Schlupfzeit der Eier berechnet. Das gesamte Laichprotokoll befindet sich in Anhang 8.

---

<sup>10</sup> Kathriner, P. (2021, 17. Dezember, persönliche Mitteilung)

#### 4.2.1 Laichplätze

Die erste Sichtung eines Laichplatzes erfolgte am 21. November, am 4. Dezember wurde der letzte Laichplatz ausgemacht. Insgesamt konnten 9 Laichplätze in einer Zeitperiode von zwei Wochen beobachtet werden (Abbildung 30).

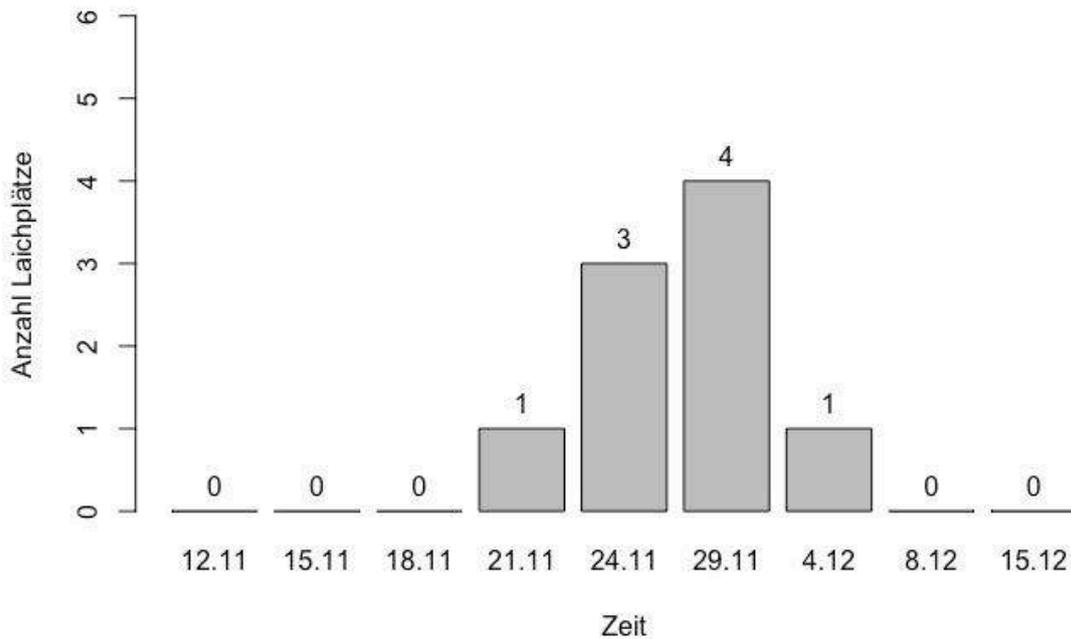


Abbildung 30: Anzahl neuer Laichplätze am Lattenbach zwischen dem 12.11. und 15.12.2021. Total 9 Feldbegehungen.

Die Resultate sind jedoch mit Vorsicht zu geniessen, denn nur auf dem Laichplatz vom 21. November konnten Fische ausgemacht werden. Ob es sich bei den anderen um Laichplätze handelt, konnte weder nach Gesprächen mit dem ansässigen Fischer Koni Sigg sowie dem Fischökologen Armin Peter abschliessend geklärt werden. Die Form, Farbe sowie Substratbeschaffenheit der Laichplätze stimmten, jedoch konnten keine Fische bei den Laichplätzen gesichtet werden (Abbildung 31).

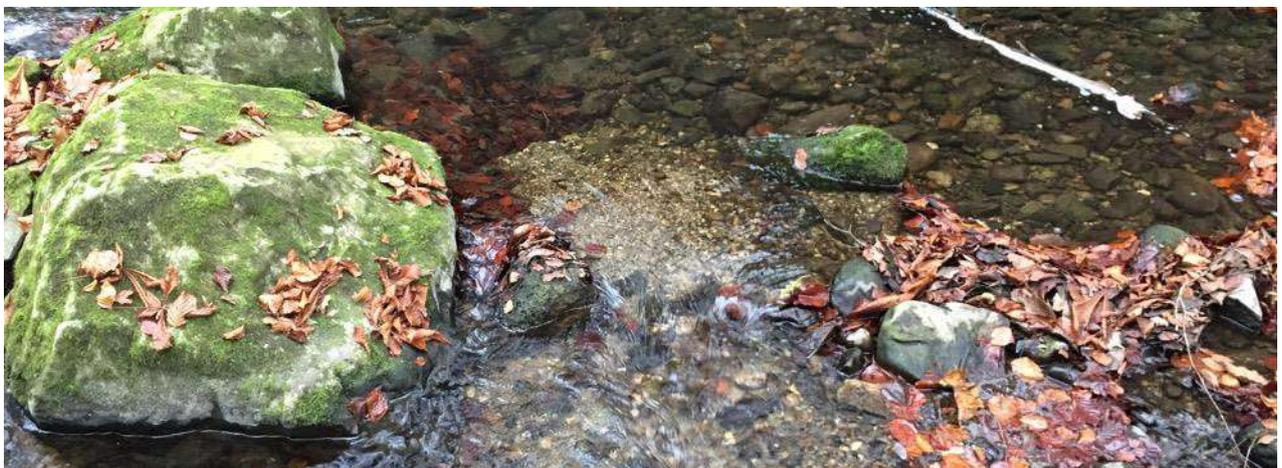


Abbildung 31: möglicher Laichplatz am Lattenbach.

Die Standorte der Laichplätze waren etwa gleichmässig auf den Laichperimeter verteilt, wobei es jedoch keinen in der revitalisierten Untersuchungsstrecke Strecke gab (Abbildung 32). Eine zeitliche oder örtliche Präferenz, beispielsweise ein mit der Zeit höherer Aufstieg im Bach, kann nicht ausgemacht werden.

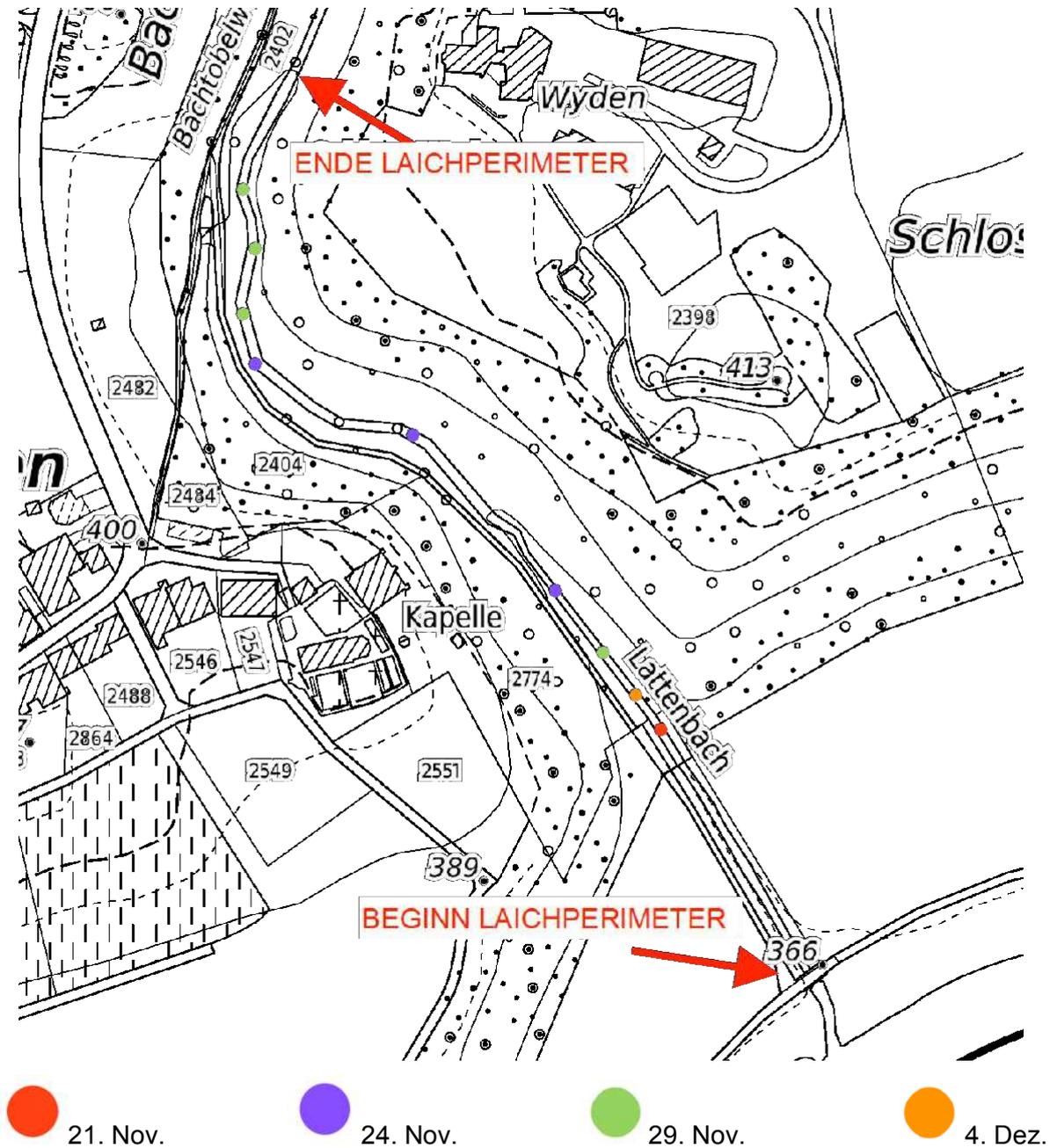


Abbildung 32: Laichplätze am Lattenbach in der Untersuchungsstrecke eingezeichnet auf Übersichtskarte von gis.zh.ch.

#### 4.2.2 Wassertemperatur

Die Wassertemperatur wurde in Intervallen von 10 Minuten zwischen dem 9. November um 12:00 bis zum 15.12 um 12:00 mit einem Datenlogger im Gewässer gemessen (Abbildung 33).

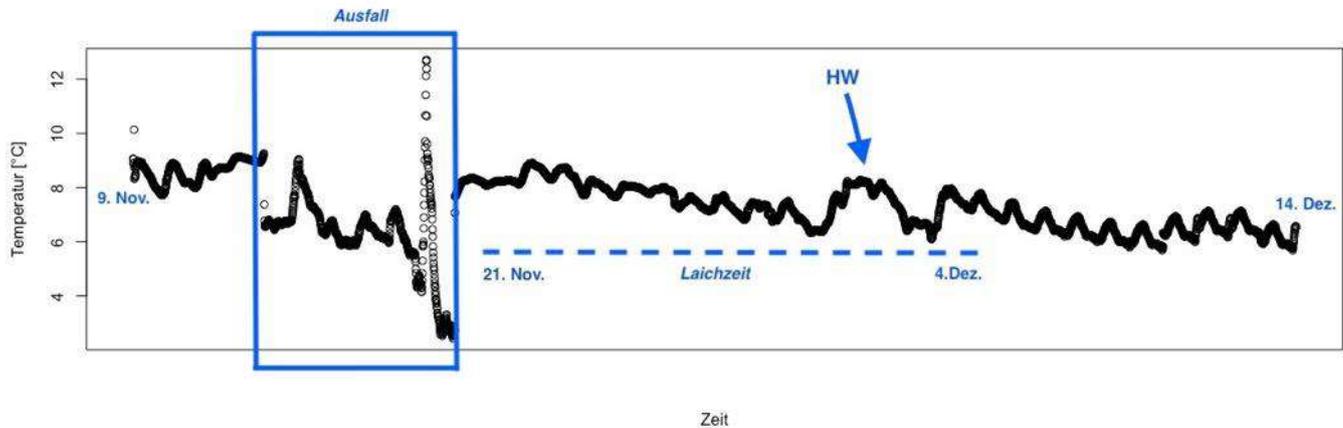


Abbildung 33: Wassertemperatur am Lattenbach zwischen dem 9. November und 14. Dezember

Zwischen dem 13. und dem 19. November zeigen die Messungen sprunghafte Übergänge und unrealistische Werte. In dieser Zeit lag das Strömungsmessgerät nicht komplett im Bach und mass darum teilweise die Lufttemperatur. Diese zeigt höhere Amplituden im Tagesverlauf, da Luft über eine geringere Wärmekapazität als Wasser verfügt. Da es zu dieser Zeit kein Hochwasser gab und der erste Temperatursprung am Mittag erfolgte, gehe ich davon aus, dass ein Hund von einem Spaziergänger mit dem Seil, an dem das Strömungsmessgerät befestigt war, gespielt und ihn teilweise aus dem Wasser gezogen hat.

Nach der Bereinigung dieser Werte und anderen Ausreissern ergibt sich eine Durchschnittstemperatur von 7.42 °C. Die Maximaltemperatur von 8.94 °C wurde am 9. November am frühen Abend erreicht, die Minimaltemperatur von 5.75 °C frühmorgens am 14. Dezember. Die Amplitude zwischen der maximalen Temperatur am Tag und der minimalen in der Nacht beträgt typischerweise etwa 1 °C, wobei die tiefste jeweils kurz vor Sonnenaufgang und die höchste Temperatur jeweils kurz vor Sonnenuntergang erreicht wird. Damit zeigt sich klar, dass die Sonne für den Temperaturverlauf des Baches innerhalb eines Tages bestimmend ist.

Am 4. November gab es starke Niederschläge und ein anschliessendes Hochwasser, welches die Bachtemperatur für einige Tage um etwa 2 °C ansteigen liess. Insgesamt ist auch ein klarer Trend ersichtlich, wobei sich die Bachtemperatur in der gemessenen Periode immer etwas gesenkt hat, von durchschnittlich 8.6 °C in den ersten Tagen zu durchschnittlich 6.4 °C in den letzten Tagen.

Bachforellen bevorzugen für die Laichaktivität Wassertemperaturen von ungefähr 8 °C<sup>11</sup>. In der Laichzeit am Lattenabch, sprich zwischen der Sichtung der ersten und letzten Laichgrube,

<sup>11</sup> Sigg, K. (2021, 10. Oktober, persönliche Mitteilung)

lag die Durchschnittstemperatur bei gut 7.5 °C, wobei auch die Werte in der Nacht berücksichtigt wurden. Das erste Mal fiel die Temperatur am 23. November unter 8 °C, zwei Tage nach Beobachtung der ersten Laichgrube.

#### 4.2.3 Schlupfzeit

Fischeier brauchen eine bestimmte Anzahl von diesen Tagesgraden bis zum Schlupf. Damit kann die Schlupfzeit der Eier berechnet werden. Für die Bachforellen sind es ungefähr 408 Tagesgrade (Elliott, 1975). Die Schlupfzeit wurde beispielhaft für die Laichgrube am 21. November berechnet, da es sich bei dieser sicher um eine handelt. Bei Annahme einer durchschnittlichen Wassertemperatur von 5 °C im Lattenbach über den Winter werden die Eier etwa 82 Tage bis zum Schlupf brauchen. Dies wird etwa auf die zweite Februarwoche im nächsten Jahr fallen.

## 5 DISKUSSION

Nachfolgend werden die Resultate aus dem letzten Kapitel diskutiert und in einen grösseren Zusammenhang gestellt.

### 5.1 Veränderung der Morphologie

In Tabelle 10 sind sich die einzelnen Parameter der Morphologie vor und nach der Umsetzung der Revitalisierung gegenübergestellt.

Tabelle 10: Standardisierte Werte der morphologischen Parameter vor und nach der Umsetzung der Revitalisierung.

| Parameter                                | Bewertung Vorher | Bewertung Nachher |
|--|------------------|-------------------|
| Sohlenstruktur                           | 0.5              | 0.5               |
| Uferstruktur                             | 0.25             | 0.67              |
| Substratzusammensetzung                  | 0                | 0.25              |
| Breiten- und Tiefenverhältnisse          | 0.215            | 0.435             |
| Fliessgeschwindigkeiten                  | 0.58             | 1                 |
| Unterstandsangebot                       | 0.75             | 1                 |
| Längsvernetzung                          | 0                | 1                 |
| Laichsubstrat und Reproduktionspotenzial | 0.85             | 1                 |
| <b>Durchschnitt</b>                      | <b>0.39</b>      | <b>0.73</b>       |

Durch die Revitalisierung ergibt sich eine klare Verbesserung der morphologischen Parameter am Lattenbach. Speziell die *Längsvernetzung* und die *Fliessgeschwindigkeiten* konnten optimiert werden. Auch die *Uferstrukturen* und *Breitenverhältnisse* weisen eine erheblich höhere Bewertung auf. Das Laichsubstrat und Reproduktionspotenzial sowie Unterstandsangebot waren vorher schon hoch und konnte ihre Qualität behalten. Dies kann trotzdem als Erfolg gewertet werden, denn es besteht durch eine Revitalisierung auch die Gefahr, einige morphologische Parameter zu verschlechtern. Einzig die *Substratzusammensetzung* und *Tiefenverhältnisse* weisen nur eine geringe Verbesserung auf und befinden sich immer noch auf einem tiefen Wert. Die Sohlenstrukturen konnten nicht verbessert werden. In Abbildung 34 und Abbildung 35 sind jeweils die Fliesstiefen und korrespondieren Fliessgeschwindigkeiten für das Querprofil 3 aufgetragen. Dabei ist gut ersichtlich, wie nach der Revitalisierung die Fliessgeschwindigkeiten viel variabler über den Querschnitt sind und nicht der Fliesstiefe folgen.

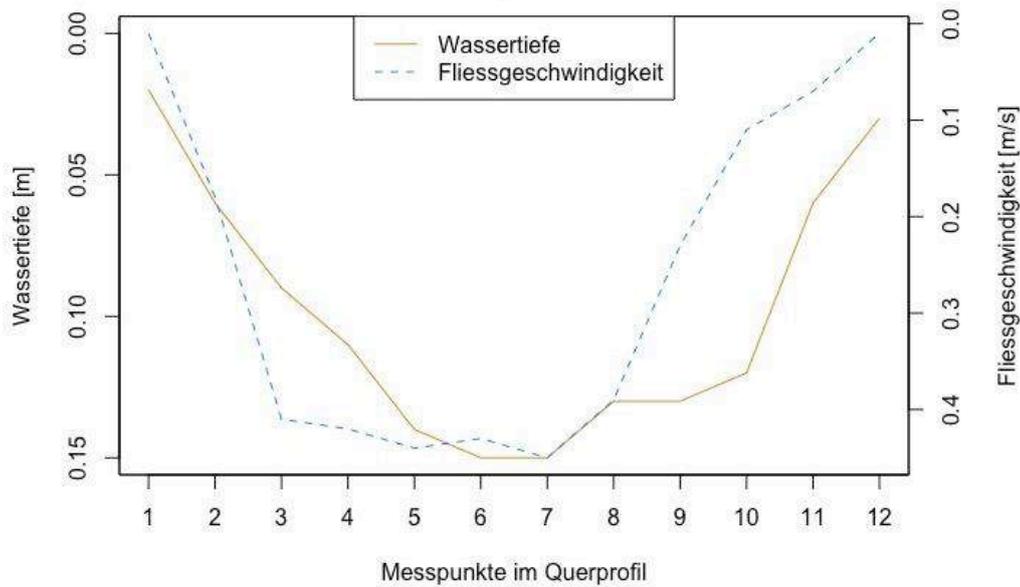


Abbildung 34: Fliesstiefe und korrespondierende Fliessgeschwindigkeit für das QP 3 vor der Revitalisierung. Gesamtbreite = 2.2 Meter. In Gegenflussrichtung blickend.

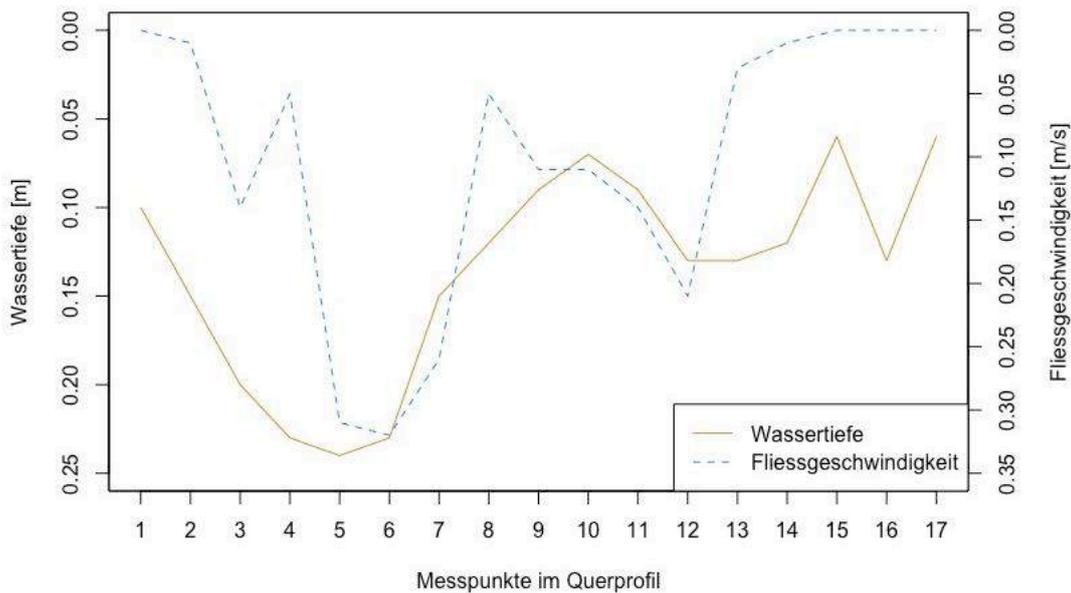


Abbildung 35: Fliesstiefe und korrespondierende Fliessgeschwindigkeit für das QP 3 nach der Revitalisierung. Gesamtbreite = 3.4 Meter. In Gegenflussrichtung blickend.

Wieso sich durch die Revitalisierung die Variabilität der Fliessgeschwindigkeit bei den Querprofilen viel stärker als die Tiefenvariabilität verbessert hat, liegt wohl daran, dass bei der Fliessgeschwindigkeit alle gemessenen Werte und bei den Tiefenverhältnissen nur die jeweils bei einem Querprofil maximal gemessene Wassertiefe analysiert wurde. Die Abfolge von Fliesstiefen innerhalb eines Querprofiles konnte gesteigert werden und folgt nicht mehr wie vor der Revitalisierung immer dem gleichen Muster und ist in der Mitte am tiefsten. Dies wird jedoch in der Auswertung nicht berücksichtigt.

Die Breitenvariabilität bei den Querprofilen hat zugenommen, während die Durchschnittsbreite etwa gleich gross geblieben ist. Ausser einigen Bereichen mit Schnellen haben sich die *Sohlenstrukturtypen* und ihre räumliche Verteilung nicht verändert. Die *Uferstruktur* konnte verbessert werden, da die Linienführung nicht mehr nur linear ist, sondern sich konkave, konvexe und lineare Bereiche abwechseln (Abbildung 36). Weiter ist das Ufer nun mehrheitlich flach mit einigen steilen Abschnitten, wobei vor der Revitalisierung sämtliches Ufer als steil eingestuft wurde.



### Uferstruktur

|  |  |   |
|--|--|---|
| <span style="color: red;">—</span> 131 = linear, Lockermaterial, flach   | <span style="color: cyan;">—</span> 231 = konvex, Lockermaterial, flach  | <span style="color: black;">—</span> 331 = konkav, Lockermaterial, flach  |
| <span style="color: brown;">—</span> 132 = linear, Lockermaterial, steil | <span style="color: green;">—</span> 232 = konvex, Lockermaterial, steil | <span style="color: yellow;">—</span> 332 = konkav, Lockermaterial, steil |

Abbildung 36: Uferstruktur vor (links) und nach (rechts) der Umsetzung der Revitalisierung. Abbildung aus ArcGIS.

Die *Substratzusammensetzung* konnte leicht verbessert werden, da es mehr Bereiche mit Feingeschiebe gibt sowie Bereiche mit Schwebstoffablagerungen, die vorher ganz gefehlt haben. Es dominiert zwar immer noch grobes Sohlenmaterial, durch Betrachtung der auf der Karte eingezeichneten Mobilisierbarkeit ist jedoch sichtbar, dass sich ein viel abwechslungsreicheres Muster von Substrattypen nach der Revitalisierung ergeben hat (Abbildung 37). Dies fließt

jedoch nicht in die Auswertung ein, da für den standardisierten Wert nur die absolute Fläche und nicht die räumliche Verteilung der Substrattypen berücksichtigt wird.

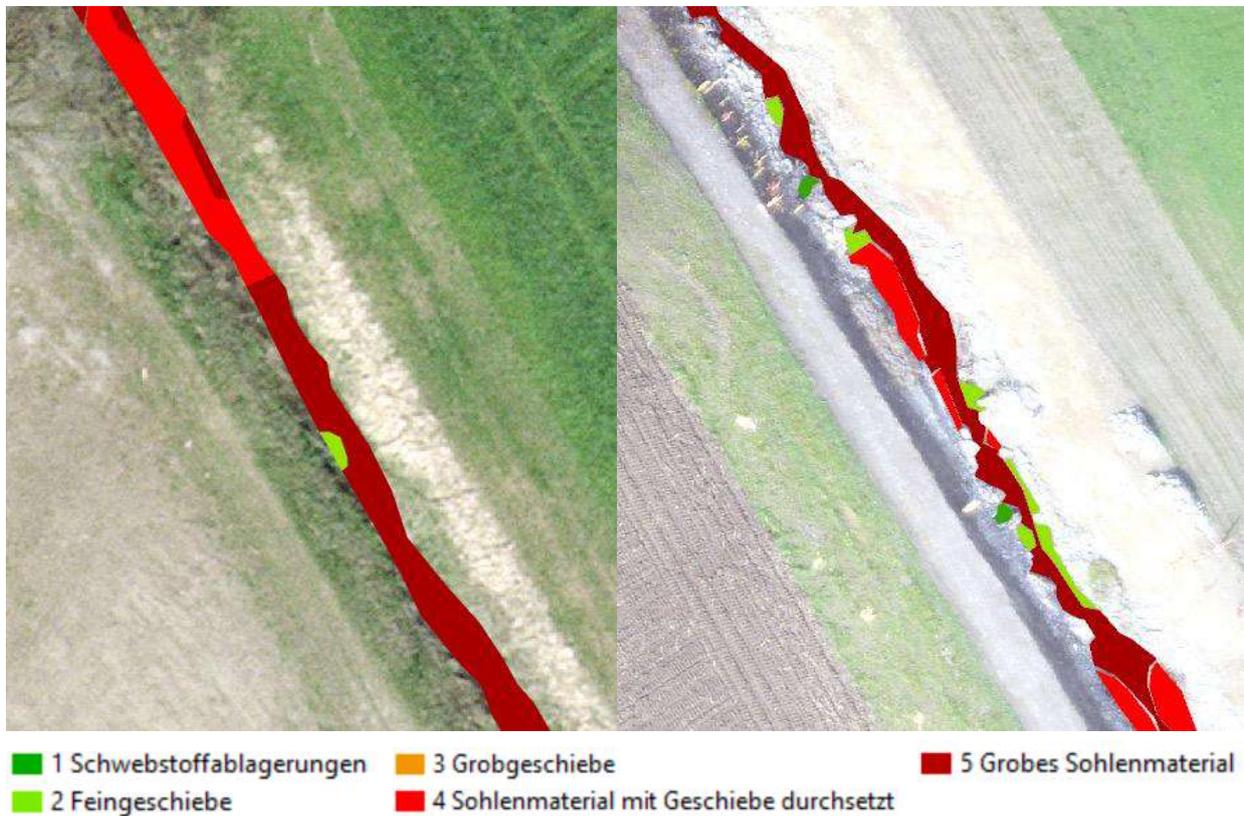


Abbildung 37: Auszug aus ArcGIS für die Substrattypen vor (links) und nach (rechts) der Revitalisierung.

Die Bewertung für das *Unterstandsangebot* hat sich leicht gesteigert, vor allem aber hat sich die Variabilität im Unterstandsangebot verbessert. Es gibt nun auch tiefere Kolke, welche grösseren Fischen einen Lebensraum bieten (Abbildung 38). Diese Variabilität wird jedoch nicht in der Auswertung berücksichtigt, sondern nur die gesamte Fläche an Lebensräumen. Das aktuelle Unterstandsangebot wird sich nächstes Jahr noch zusätzlich verbessern, wenn die Ufervegetation wieder nachgewachsen ist.



Abbildung 38. Lattenbach nach der Revitalisierung mit 30 cm tiefem Kolkloch. Fliessrichtung links nach rechts.

Die *Längsvernetzung* des Lattenbaches mit der Thur konnte durch den Einbau der Riegelrampe mit Schwellen-Becken-Sequenzen gewährleistet werden (Abbildung 39).



Abbildung 39: Riegelrampe mit Schwellen-Becken-Sequenzen im Mündungsbereich des Lattenbaches in die Thur.

Dadurch wurde eine 390 Meter lange Strecke fischgängig gemacht, der erste grössere Absturz von über einem Meter im Wald beendet den Fischaufstieg aber definitiv (Abbildung 40).



Abbildung 40: Ein Absturz im Bereich des bewaldeten Tobels beendet den Fischaufstieg aus der Thur endgültig.

Durch die Kiesschüttungen wurde die leichte Kolmation behoben. Die gemessenen Kiesgrößen mit der Linienprobe nach Fehr haben gezeigt, dass das Substrat noch etwas feinkörniger

geworden ist. Dies zeigte sich auch bei der Mobilisierbarkeit des Parameters *Substratzusammensetzung*, wo es nun etwas weniger Bereiche mit Grobgeschiebe gibt. Der Parameter *Laichsubstrat und Reproduktionspotenzial* konnte somit mit der höchstmöglichen Bewertung versehen werden.

## 5.2 Laichaktivität

Der Erfolg der Laichaktivität ist schwer einzuschätzen. Geht man davon aus, dass es sich bei allen in den Resultaten genannten Laichgruben wirklich um solche handelt, kann man von einem klaren Erfolg sprechen. Aber auch falls nur die eine Laichgrube mit den gesichteten Fischen darauf eine war, kann dies als kleiner Erfolg gewertet werden, denn in den letzten Jahren gab es am Lattenbach gar keine Naturverleischung<sup>12</sup> und die Jungfische stammten jeweils nur vom Aufzuchtprogramm. Wie bereits erläutert braucht es auch seine Zeit, bis sich die Natur von solch einem Eingriff erholt hat. Es kann also gehofft werden, dass in den nächsten Jahren noch mehr Bachforellen den Weg zurück in den Lattenbach finden und ablaichen werden. Obwohl der Parameter Laichsubstrat und Reproduktionspotenzial in der revitalisierten Untersuchungsstrecke eine sehr gute Bewertung erhält, gab es keine Laichgruben in diesem Bereich. Diesem Umstand muss noch weiter nachgegangen werden.

## 5.3 Nährstoffbelastung

Wie in den Resultaten bereits diskutiert, sind die gemessenen Werte leider mit einiger Unsicherheit behaftet. Ersichtlich ist jedoch, dass der Eintrag von Nährstoffen klar auf die ARA zurückgeführt werden kann und nicht auf landwirtschaftliche Flächen im Einzugsgebiet. Diese Fragestellung war auch der primäre Grund für die Durchführung von quantitativen Messungen. Darum war es auch nicht so bedeutsam, dass die Wasserproben des direkten ARA-Auslaufes nicht analysiert werden konnten. Die Nährstoffbelastung in der Untersuchungsstrecke vor allem durch Phosphor und Phosphat überdurchschnittlich, dies ist jedoch nicht verwunderlich, da die ARA nur etwa einen Bachkilometer oberhalb liegt. Laut dem Fischökologen Armin Peter haben diese erhöhten Nährstoffwerte jedoch negativen Auswirkungen<sup>13</sup>. Weder auf die Bachforellen, auf die Entwicklung der Bachforelleneier noch auf die Eignung des Baches als Laichplatz.

---

<sup>12</sup> Sigg, K. (2021, 16. August, persönliche Mitteilung)

<sup>13</sup> Peter, A. (2021, 1. Dezember, persönliche Mitteilung)

## **6 REFLEXION UND AUSBLICK**

Zu Beginn werde ich eine Bilanz über das Revitalisierungsprojekt ziehen, bevor ich auf die Bachelorarbeit eingehe, den Arbeitsprozess reflektiere, die Wahl der Methoden begründe sowie die Aussagekraft der Resultate einschätze.

### **6.1 Revitalisierung Lattenbach**

Zuerst wird besprochen, ob die in Kapitel 1.2.2 angesprochenen Ziele des Bauprojektes der Flussbau AG erreicht werden konnten, bevor auf die Akzeptanz sowie die Zukunft des Projekts eingegangen wird.

#### **6.1.1 Erfolg und Akzeptanz**

Das Schaffen neuer strukturreicher Lebensräume konnte sicherlich für Fische umgesetzt werden, wie man an der Verbesserung des Unterstandsangebotes und der positiven Veränderung der anderen morphologischen Parameter sehen konnte. Lebensräume für Reptilien konnten durch zwei Steinhäufen etwa in der Mitte der Untersuchungsstrecke geschaffen werden. Für Amphibien und Vögel wird es noch eine Weile dauern, bis sich die Ufervegetation wieder etablieren konnte und auch sie neue Lebensräume auffinden können. Das zweite Ziel, die Gewährleistung der Durchgängigkeit unter der Brücke für Tiere der Wasserwechselzone und Landtiere, konnte realisiert werden. Hier muss jedoch angefügt werden, dass dies bereits vor der Revitalisierung der Fall war und der Zustand beibehalten werden konnte. Das letzte Ziel stellte die Wiederherstellung der Längsvernetzung des Lattenbaches mit der Thur für Fische dar. Durch den Einbau der Riegelrampe mit Schwellen-Becken-Sequenzen konnte dies erreicht werden.

Die Lebensräume der Fische und der Fischaufstieg stehen nun zur Verfügung, ob diese aber wirklich von den Bachforellen genutzt werden, insbesondere den Jungfischen im nächsten Frühjahr, wird erst das Monitoring durch elektrisches Abfischen zeigen. Dies soll im nächsten Frühling durch die Fish Consulting GmbH durchgeführt werden. Laichplätze in der Untersuchungsstrecke gab es keine. Dies war jedoch auch kein primäres Ziel der Revitalisierung und könnte sich in den nächsten Jahren noch ergeben.

Eine Revitalisierung wird nicht nur für die Natur und Tiere gemacht, sondern bietet auch einen Wert für die Bevölkerung in Form einer Naherholungsmöglichkeit (vgl. Kapitel 1.1). Der Erfolg einer Revitalisierung wird daher auch an der Akzeptanz der Bevölkerung für das Projekt gemessen (Weber et al., 2019). Am Lattenbach wurden keine quantitativen Befragungen durchgeführt, bei den Feldtagen habe ich jedoch oft mit Spaziergängern gesprochen. Optisch gefallen hat das Projekt den meisten, viele verstanden den Grund bzw. Auslöser jedoch nicht, wieso man den Bach revitalisiert hat. Die Erklärung, dass der Lattenbach nun wieder als

Laichgewässer dienen kann, wurde von den meisten als sinnvoll erachtet. Aufgrund dieser Gespräche machte ich der Gemeinde den Vorschlag, mit einer Infotafel am Lattenbach das Projekt genauer vorzustellen und für die Spaziergänger fassbarer zu machen. Diese Idee stiess auf offene Ohren und wird nun weiterverfolgt. Meines Erachtens wäre dies sehr wertvoll, da damit die Sensibilisierung der Spaziergänger für die Thematiken am Lattenbach erfolgen kann. Denn der Lattenbach kann auf alle Fälle als Vorzeigeprojekt für zukünftige Revitalisierungen dienen - strukturschwache Bäche mit fehlender Längsvernetzung gibt es (leider) genug in der Schweiz.

Das Aussergewöhnliche an der Revitalisierung am Lattenbach ist die Tatsache, dass die Initiative für das Projekt nicht vom Kanton, sondern vom Fischereiverein Andelfingen selbst gekommen ist. Hier ist insbesondere Jean-Pierre Mosimann zu nennen, der das Projekt mit unzähligen Gesprächen mit den verschiedenen Stakeholdern vorantrieb. Zwischen den ersten Gesprächen und dem Abschluss des Projektes dauerte es knapp sechs Jahre. Dass die Gemeinde das Projekt dann schlussendlich gutgeheissen hat, liegt vermutlich auch daran, dass sie sich mit 7'000 Franken nur mit einem Bruchteil an den Gesamtkosten beteiligen mussten (vgl. Kapitel 1.2.3).

#### 6.1.2 Zukunft

Bis sich die Ufervegetation wieder etablieren konnte, braucht es seine Zeit. Die eingepflanzten Bäume sind leider, vermutlich aus finanziellen Gründen, sehr klein und werden lange brauchen, bis sie Insekten als Lebensraum dienen oder dem Gewässer Schatten bieten können. Die morphologischen Parameter des Lattenbaches befinden sich in einem stetigen Wandel und werden sich in den nächsten Jahren durch die natürliche Dynamik immer wieder ein bisschen verändern. Die Laichaktivität wird hoffentlich in den nächsten Jahren noch zunehmen. Die Wasserqualität in Bezug auf Nährstoffe wird sich vermutlich nicht gross ändern, da die ARA in absehbarer Zeit nicht erneuert wird. Der Eintrag von Nährstoffen von landwirtschaftlichen Flächen wird sich je nach Umweltpolitik der Schweiz verändern, ist aber für den Lattenbach im Vergleich zur ARA von geringer Bedeutung.

## 6.2 Arbeitsprozess Bachelorarbeit

Es stellte sich als sehr spannend heraus, Vorher-Nachher Messungen zu machen. So konnte festgestellt werden, wie sich der Bach verändert hatte, da man durch die Aufnahme des Ist-Zustandes einen Referenzwert hatte. Eine «echte» Revitalisierung in meiner Bachelorarbeit untersuchen zu können, war eine sehr praxisbezogene Arbeit. Die zeitliche Koordination war dafür anspruchsvoll, da nie ganz klar war, wann die Bauphase am Lattenbach stattfindet und wie lange sie dauern wird. Trotzdem konnte der zu Beginn formulierte Zeitplan und die Projektvereinbarung (siehe Anhang 9 und 10) relativ gut eingehalten werden konnte. Probleme hatte ich

vor allem mit der Auswertungsarbeit in arcGIS, da ich noch nie mit dieser Software gearbeitet habe und so auf viel Unterstützung von Studienkollegen und Internetrecherche angewiesen war.

### 6.2.1 Feldarbeit

Bei der Feldarbeit konnte ich eine klare Verbesserung zwischen den Messungen der morphologischen Parameter vorher und nachher feststellen. Aus den Fehlern beim ersten Mal konnte ich lernen und beim zweiten Mal viel effizienter arbeiten. Obwohl ich eine Materialliste erstellt und zu Hause den Ablauf durchgegangen bin, war beim ersten Mal im Feld doch alles etwas anders. Wertvoll waren die Helfer bei der Feldarbeit, da dann jeweils eine Person messen und die andere Person aufschreiben konnte. Es war anspruchsvoll, bei der Kartierung einheitliche Flächen auszuscheiden. Vor der Revitalisierung war es schwierig, unterschiedliche Strukturen zu identifizieren beziehungsweise nicht zu grosse Flächen nur einem Typ zuzuordnen, weil die Morphologie des Baches sehr homogen war. Nach der Revitalisierung hingegen musste man darauf achten, nicht zu viele kleine Flächen auszuscheiden, sondern einige zusammenzufassen, da der Bach nun viel diverser war.

Etwas mühsam gestaltete sich die Anreise zum Bach, da ich jeweils 30 Minuten mit dem Zug und dann noch 15 Minuten zu Fuss zurücklegen musste. Die Beobachtung der Laichaktivität stellte sich als anspruchsvoll heraus, da ich oftmals nicht wusste, ob es sich nun um eine Laichgrube oder einfach um etwas helleres Substrat handelte. Gemerkt habe ich während den Feldarbeiten auch, dass diese sehr witterungsabhängig sind und man immer flexibel bleiben muss. Für die Messungen der Morphologie vor der Umsetzung der Revitalisierung musste ich lange warten, da es ständig regnete und der Abfluss erhöht war. Hingegen wartete ich im November für die Wasserprobenanalysen mehrere Wochen vergeblich auf Regen.

### 6.2.2 Wahl der Methoden

Viele Parameter wurden fast direkt aus der WiKo übernommen, womit dann auch direkt Auswertungsmethode zur Verfügung stand. Dass die Methodik vom BAFU neu ist, war einerseits spannend, weil die Umsetzung dieser neuen Methodik ein aktuelles Thema ist, andererseits fehlte es dadurch an Referenzprojekten. Ich denke, dass die wichtigsten Parameter gemessen wurden, bei mehr verfügbarer Zeit wären auch Aufnahmen des Makrozoobenthos spannend gewesen.

Gerne hätte ich auch die Akzeptanz und Meinung bei den Stakeholdern für das Projekt genauer untersucht. Dies wäre auch der Alternativplan gewesen, falls die Revitalisierung aus etwaigen Gründen nicht dieses Jahr umgesetzt worden wäre und sich die Nachher-Feldmessungen erübrigt hätten (vgl. Zeitplan Anhang 9). Während des Arbeitsprozesses stellte sich die Frage, ob das Wasser noch nach Mikroschadstoffen untersucht werden sollte. Nach diversen Gesprächen habe ich mich jedoch dagegen entschieden, da diese Analysen sehr teuer

gewesen wären (5000 - 6000 CHF) und die Auswirkungen auf die Fische danach schwierig zu quantifizieren gewesen wären.

### 6.2.3 Aussagekraft der Resultate

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, werden Wirkungskontrollen von Revitalisierungsprojekten standardmässig erst 2-3 Jahre nach der Umsetzung durchgeführt. Die aktuell erhobenen Daten stellen darum noch nicht den Gleichgewichtszustand dar, der sich erst nach einiger Zeit wieder einstellen kann. Einen statischen Gleichgewichtszustand wird es aber sowieso nicht geben, denn grundsätzlich sind Fliessgewässer dynamische Systeme, die sich im Jahresverlauf sowie zwischen den Jahren immer wieder verändern. Für die Erhebung der morphologischen Parameter braucht es einige Erfahrung, welche durch die Übung bei vielen Projekten erlangt werden kann. Über diese Erfahrung verfügte ich zu Beginn des Projektes nicht und daher wäre die Auswertung durch eine andere Person vielleicht etwas anders ausgefallen.

Ich achtete jedoch darauf, zwischen den Vorher- und Nachher-Messungen möglichst konsistent zu sein. Die Messgenauigkeit für die Fliessgeschwindigkeit ist aufgrund der kleinen Wassertiefen mit einigen Fehlern behaftet (vgl. 3.1.1). Die Auswertung nach der WiKo für einige Parameter ist wie bereits in Kapitel 5.1 beschrieben teilweise sehr einfach gehalten, da nur die Gesamtfläche und nicht die räumliche Verteilung berücksichtigt wird. Für das Unterstandsangebot spielt es keine Rolle, ob sich die Gesamtfläche aus sich abwechselnden Strukturen zusammensetzt, oder beispielsweise nur aus turbulenten Wasserzonen. Für die Fische ist dies jedoch von Bedeutung, da sie je nach Altersstadium und Grösse auf andere Lebensräume angewiesen sind. Hingegen für die Substratzusammensetzung war es schwierig zu erkennen, ob es sich nun noch um Grobgeschiebe (regelmässig transportiert) oder bereits um grobes Sohlenmaterial (fast kein Transport) handelt. Die Grössenverhältnisse richtig einzuschätzen war allgemein anspruchsvoll, da die Methodik auch für grosse Flüsse entwickelt wurde und so ein grosses Spektrum an verschiedengrossen Fliessgewässern abdecken muss. Der Lattenbach befindet sich mit einer Durchschnittsbreite von gut zwei Metern bei den sehr kleinen Fliessgewässern.

Die Zuordnung eines Bereiches im Wasser zum Unterstandstyp «turbulente Wasserzone» war anspruchsvoll, mit Anteilen von 58 % bzw. 72% der gesamten Fläche nach der Revitalisierung spielt dieser Lebensraumtyp aber eine wichtige Rolle am gesamten Lebensraumangebot und kann so die Auswertung massgebend beeinflussen. Die Aussagekraft für die Laichaktivität ist wie erwähnt schwierig einzuschätzen, da es eine grosse Unsicherheit bei der Kartierung der Laichgruben gab. Die leicht erhöhten Nährstoffwerte konnten klar auf die ARA zurückgeführt werden. Aussagen über den Einfluss von Tageszeit und Wetterperiode auf die Wasserqualität in Bezug auf Nährstoffe konnten keine verlässliche gemacht werden.

## **DANKSAGUNG**

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während dieser Bachelorarbeit unterstützt und motiviert haben. Zuerst gebührt mein Dank Prof. Dr. Bernhard Wehrli für die Hauptbetreuung dieser Arbeit. Seine Stelle an der EAWAG haben mir erlaubt, meine Wasser-proben im Labor analysieren zu lassen und das Strömungsmessgerät aus-zuleihen. Ganz herzlich bedanken möchte ich mich bei Christian Hossli vom Projekt «Fluss frei!», welcher mir ermöglicht hat, meine Bachelorarbeit am Lattenbach durchführen zu können. Vielen Dank auch an Dr. sc. nat. Armin Peter, welcher mir während der Arbeit immer wieder mit wertvollen Tipps zu fischökologischen Aspekten zur Hilfe stand, bei der Ausarbeitung des Laichgrubenprotokolls geholfen hat und den Temperaturlogger zur Verfügung gestellt hat.

Weiter geht mein Dank an Koni Sigg vom Fischereiverein Andelfingen, welcher mir durch seine lokalen Kenntnisse als Fischer manche Fragen beantworten konnte. Ebenfalls möchte ich mich bei meinen Kommilitonen Mirco Gorbach, welcher mich jeweils bei den Feldarbeiten unter-stützte sowie Angela Jenni, welche mich bei den GIS-Analysen half, bedanken. Ein besonderer Dank gilt Wiltrud Momm für das Korrekturlesen meiner Bachelorarbeit sowie Hannah Grenacher für die Gestaltung des Titelblattes. Ausserdem gilt mein Dank der Flussbau AG für die Bereit-stellung von Fotos und Unterlagen zum Bauprojekt.

Zum Schluss möchte ich mich noch bei Patrick Kathriner für die Analysen meiner Nährstoffproben an der EAWAG in Kastanienbaum, Dr. Christine Weber zur Bereitstellung von Auswertungsfiles der WiKo sowie Dr. Andreas Müller für die Hilfe bei Endnote bedanken.

Georg Odermatt

*Winterthur, 23.12.2021*



## LITERATURVERZEICHNIS

- BAFU. (2015). Renaturierung der Schweizer Gewässer: Die Sanierungspläne der Kantone ab 2015. 13.
- BAFU. (2019). Revitalisierungen. Retrieved from <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/massnahmen-zum-schutz-der-gewaesser/renaturierung-der-gewaesser/revitalisierungen.html>
- Dyck, S. (1995). Grundlagen der Hydrologie.
- Elliott, J. M. (1975). The Growth Rate of Brown Trout (*Salmo trutta* L.) Fed on Maximum Rations. *Journal of Animal Ecology*, 44(3), 805-821. doi:10.2307/3720
- Fehr, R. (1987). Einfache Bestimmung der Korngrößenverteilung von Geschiebematerial mit Hilfe der Linienzahlanalyse. *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 7.
- FIBER. (2012). Revitalisierung von Fliessgewässern. 12. Retrieved from [https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Forschung/Oekosysteme/Oekosysteme/fiber\\_revitalisierung.pdf](https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Forschung/Oekosysteme/Oekosysteme/fiber_revitalisierung.pdf)
- FIBER. (2014). Forellen in der Schweiz; Vielfalt, Biologie und Fortpflanzung. 15.
- Flussbau AG. (2021). Lattenbach Revitalisierung Mündungsabschnitt, Submission, technischer Bericht. 23.
- Gallagher, S. P. P., K.; Hahn, J; Johnson, D.H. (2007). Redd Counts. 38.
- Gemeinderat Ossingen. (2020). Revitalisierung Mündungsabschnitt Lattenbach ANTRAG Projektkredit. 6.
- Hossli, C. (2020). Fluss frei! Ein Projekt zur Vernetzung von Lebensräumen sowie für die Artenvielfalt von Fliessgewässern, Phase 2 Projektbeschrieb. 11.
- Hunzinger, S. A. (2002). Kolmation, Methoden zur Erkennung und Bewertung. 26.
- Kirchhofer, A., Breitenstein, M., & Zaugg, B. (2007). Rote Liste der Fische und Rundmäuler der Schweiz. 66.
- Kondolf, M. G. (1995). Five Elements for Effective Evaluation of Stream Restoration. 5.
- Liechti, P. (2010). Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe. 46.
- Videler, J. J. (1993). Fish Swimming.
- Weber, C., Sprecher, L., Åberg, U., Thomas, G., Baumgartner, S., & Haertel-Borer, S. (2019). Wirkungskontrolle Revitalisierung – Gemeinsam lernen für die Zukunft. 128.
- Wilmsmeier, L., Schölzel, N., & Peter, A. (2020). Wirkungskontrolle Revitalisierung Lattenbach. Phase I: Erhebung des Ist-Zustandes vor dem baulichen Eingriff. 22.



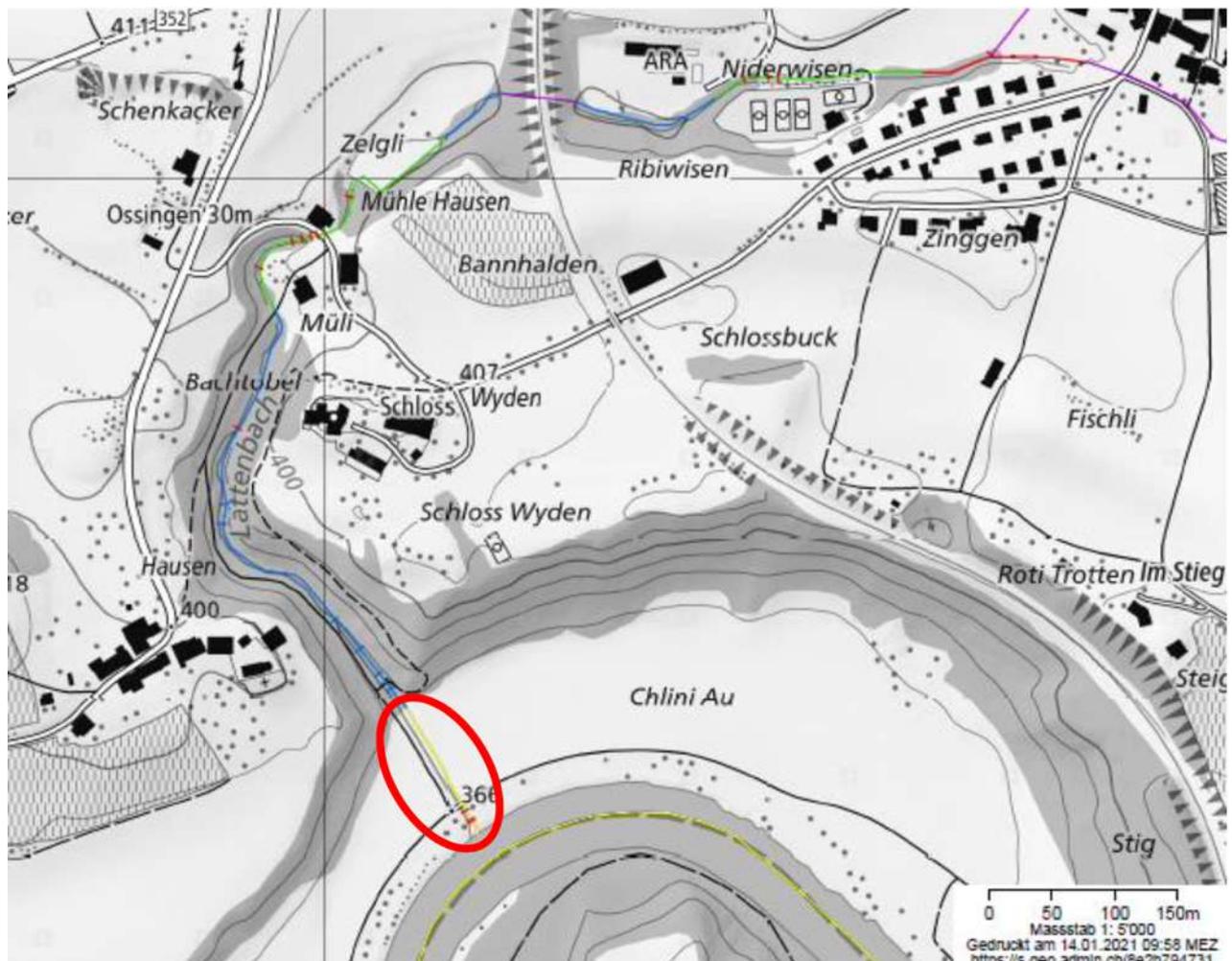
## **ANHANG**

|  |    |
|--|----|
| 1 PROJEKTSKIZZE  | 1  |
| 2 BERECHNUNG DES DURCHFLUSSES NACH DYCK UND PESCHKE                                    | 4  |
| 3 NÄHRSTOFFMESSUNGEN HALBQUANTITATIV   | 6  |
| 4 NÄHRSTOFFMESSUNGEN QUANTITATIV   | 7  |
| 5 FEHLERRECHNUNG FÜR QUANTITATIVE NÄHRSTOFFMESSUNGEN                                   | 7  |
| 6 PLÄNE IM FELDE FÜR UNTERSTANDSANGEBOT, SOHLENSTRUKTUR UND<br>SUBSTRATZUSAMMENSETZUNG | 8  |
| 7 ARCGIS AUSZÜGE FÜR DIE AUSWERTUNG DER WIKO   | 16 |
| 8 LAICHPROTOKOLL   | 28 |
| 9 ZEITPLAN   | 30 |
| 10 PROJEKTVEREINBARUNG   | 32 |
| 11 EIGENSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG  | 33 |



## 1 Projektskizze

Der Lattenbach mündet in der Nähe von Ossingen im Kanton Zürich in die Thur. Die letzten 120 Meter bis zur Mündungstelle ist der Fluss ökomorphologisch stark beeinträchtigt und soll darum mit Revitalisierungsmassnahmen und dem Rückbau von Hindernissen im Flusslauf wieder naturnaher gestaltet werden. Das Vorhaben wurde im Rahmen des Projektes «Fluss frei!» von Aqua Viva und in Zusammenarbeit mit dem AWEL Zürich in Auftrag gegeben und soll im Juli 2021 von der Flussbau AG umgesetzt werden. Die FishConsulting GmbH hat vorgeschlagen, das Projekt fischökologisch zu begleiten und hat dafür im Oktober 2020 eine Baseline (Zustand vor dem Bauprojekt) aufgenommen. Dokumentiert wurde der ökomorphologische Ist-Zustand der 90 Meter langen Untersuchungsstrecke sowie die qualitative Zusammensetzung der Fischfauna in der Strecke ab Waldbeginn. (siehe Abbildung)



**Abbildung:** Lattenbach mit Mündungsbereich in Thur, rot eingekreistem Projektperimeter sowie ökomorphologischer Klassifizierung der Flussabschnitte und durch Querbalken eingezeichnete Hindernisse im Flusslauf.  
(Darstellung übernommen von Wirkungskontrolle Revitalisierung Lattenbach)

Im Rahmen der Bachelorarbeit soll das Revitalisierungsprojekt mit ökologischen Untersuchungen und Dokumentationen begleitet werden. Folgende Punkte sind geplant, wobei die ersten beiden den Kernbereich der Arbeit darstellen:

- 1) **Habitatsbezogene Analyse des Ist-Zustandes** der 120m bis zur Mündung anhand verschiedener Parameter kurz vor dem Beginn des Bauprojekts sowie Messung der gleichen Parameter nach dessen Umsetzung (normalerweise wird dies erst 4-6 Jahre nach Umsetzung gemacht, aufgrund der zeitlichen Beschränkung der BA wird dies viel kürzer danach erfolgen). Vorgehen nach dem Schema der Methode „Merkblätter BAFU Wirkungskontrollen Standard“.

zu untersuchende Parameter:

- Analyse der Tiefen- und Breitenverhältnisse
- Analyse der Substratzusammensetzungen und der inneren und äusseren Kolmation (zweite Messung erst nach HW)
- Analyse der Strömungsverhältnisse und Fliessgeschwindigkeiten
- Erhebung der Fischunterstände
- Analyse der Uferstruktur
- Analyse der Durchgängigkeit

mögliche Fragestellungen:

- Quantität und Qualität der Lebensräume
- räumliche Verteilung der Lebensräume
- Verteilung und Verhältnis der entwicklungsspezifischen Lebensräume
- Beobachtung der Nutzung der neu geschaffenen Lebensräume
- Vergleich der Parameter vor und nach dem baulichen Eingriff

Es bietet sich an, diese Fragen mit statistischen Analysen zu untersuchen.

- 2) **Dokumentation der Laichaktivität der Bachforellen** im Lattenbach (Herbst 2021). Ein Teil dieser Beobachtungen wird mit zweimaligem elektrischem Abfischen erfolgen, das im Rahmen der fischökologischen Begleitung des Projektes durch die FishConsulting GmbH erfolgt.

mögliche Fragestellungen:

- örtliche und zeitliche Erfassung der Laichfische
- Grösse und Anzahl der Laichfische
- Habitatspräferenzen der Laichtiere
- Laicherfolg (im Bezug auf Besiedelung der Laichplätze)

3) **weitere gewässerchemische und morphologische Messungen** des Vorher-Nachher-Zustandes (im Gewässer selbst oder im Gewässerraum), Temperaturverhältnisse und Salzgehalt, Nährstoffverhältnisse (Stickstoff und Phosphor)

Welche Messungen in diesem Projekt sinnvoll sind, beziehungsweise interessante Resultate ergeben könnten, soll im weiteren Verlauf mit Fachpersonen (z.B. Christine Weber, Eawag) besprochen werden.

Die Bachelorarbeit wird vermutlich im Bereich der inter- und transdisziplinären Arbeiten angesiedelt sein, da sie einerseits Aspekte aus dem Bereich Naturwissenschaften (naturwissenschaftliche Methoden der Datenerhebung, -auswertung und -interpretation) und andererseits Aspekte aus dem Bereich Technik (Auseinandersetzung mit Umweltauswirkungen eines Bauprojektes) beinhaltet.

Die Arbeit wird in deutscher Sprache verfasst und beinhaltet einen Projektbesrieb, die Fragestellungen und Hypothesen, sowie die Datenerhebungen und Auswertungen. In einer Einleitung soll das Projekt in einen grösseren politischen sowie geografischen Kontext gestellt werden um beispielsweise die Aufteilung der Kompetenzen zwischen Bund, Gemeinde und Kanton zu untersuchen. Falls das Bauprojekt nicht umgesetzt werden könnte, werden als Alternative zu den zweiten Feldaufnahmen Interviews mit verschiedenen Stakeholdern (Gemeinde, Kanton, Bauausführende, Fischer, Landwirtschaft, Anwohner, Fischökologen, etc.) zu ihren Erwartungen an das Projekt beziehungsweise ihren Einschätzungen nach der Umsetzung des Projektes durchgeführt. Damit kann die Akzeptanz für das Projekt anhand der in der WiKo Revitalisierungen vorgeschlagenen Methode eruiert werden.

Betreuung der Arbeit:

- Hauptbetreuung durch Bernhard Wehrli, Professor für aquatische Chemie an der ETH
- Christian Hossli, Projektleiter von «Fluss frei!»
- Armin Peter, Fish Consulting GmbH

## 2 Berechnung des Durchflusses nach Dyck und Peschke

Durch das Messen der Fliesstiefen und Fliessgeschwindigkeiten entlang der 10 Querprofile kann der ungefähre Durchfluss mit der 1-Punkt Methode und der Kontinuitätsgleichung nach Dyck und Peschke 1995 (Dyck, 1995) bestimmt werden. Dabei wird der gesamte Fließquerschnitt in einzelne Teilflächen unterteilt. (Abbildung 41)

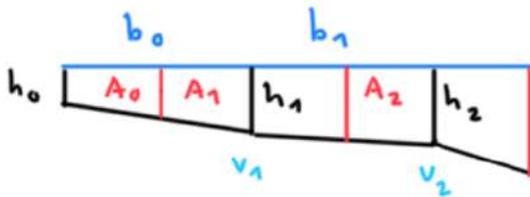


Abbildung 41: Einteilung des Querprofils in Teilflächen. Ausschnitt von ganzem Querprofil.

Die einzelnen Flächen berechnen sich jeweils aus zwei Teilflächen, wobei eine Teilfläche das Produkt aus dem Mittelwert zwischen zwei nebeneinander liegenden Fliesstiefen mit dem Abstand zwischen den Fliesstiefen ist (siehe Formel 1)

$$(1) \quad A_i = \frac{h_{i-1} + h_i}{2} \cdot b_{i-1} + \frac{h_i + h_{i+1}}{2} \cdot b_i$$

Angewendet auf die Abbildung 3 ergibt sich für die Teilfläche  $A_1$  folgende Formel 2:

$$(2) \quad A_1 = \frac{h_0 + h_1}{2} \cdot b_0 + \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot b_1 \quad (\Delta \neq A_0, A_w)$$

Da die Breiten alle 0.2 Meter gemessen wurde, beträgt  $b_i$  standardmässig 0.2 Meter. Der letzte Abschnitt  $b_n$  ist variabel. Die Geschwindigkeit am Ufer ist standardmässig 0 m/s, wurde jedoch jeweils zu 0.01 m/s gewählt, da sie ja als Durchschnittsgeschwindigkeit für die ganze Teilfläche dient. Diese einzelnen Flächen werden dann mit der gemessenen Geschwindigkeit in der Mitte der Fläche multipliziert, wobei angenommen wird, dass dies ungefähr die Durchschnittsgeschwindigkeit über die gesamte Teilfläche darstellt (siehe Formel 3). Laut logarithmischem Geschwindigkeitsansatz ist die Fliessgeschwindigkeit an der Sohle durch Reibung am geringsten und direkt an der Oberfläche am höchsten. Da die Geschwindigkeit in 40% der Tiefe gemessen wurde, kann die Annahme dieser Geschwindigkeit als Durchschnittsgeschwindigkeit gerechtfertigt werden.

(3)  $Q_i = A_i \cdot v_i$

Wiederum angewendet auf die Fläche A1 ergibt sich folgender Ausdruck (4):

(4)  $Q_1 = A_1 \cdot v_1$

Schlussendlich werden die einzelnen Durchflüsse zu einem Gesamtdurchfluss aufsummiert.

### 3 Nährstoffmessungen halbquantitativ

Nährstoffmessungen 26.7 (jeweils 2 Messungen pro Standort)

|                             | <b>NO<sub>3</sub> [mg/l]</b> | <b>NO<sub>2</sub> [mg/l]</b> | <b>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> [mg/l]</b> |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|--|
| <b>Beginn</b>               | 75                           | 0.5                          | 3  |
| <b>Untersuchungsstrecke</b> |                              |                              |  |
| <b>Mitte der</b>            | 75                           | 0.5                          | 3  |
| <b>Untersuchungsstrecke</b> |                              |                              |  |
| <b>Mündungsbereich</b>      | 75                           | 0                            | 3  |
| <b>Thur</b>                 | 10                           | 0                            | 0  |

Nährstoffmessungen 11.8 (jeweils 2 Messungen pro Standort)

|                             | <b>NO<sub>3</sub> [mg/l]</b> | <b>NO<sub>2</sub> [mg/l]</b> | <b>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> [mg/l]</b> |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|--|
| <b>Beginn</b>               | 75                           | 0.5                          | 3  |
| <b>Untersuchungsstrecke</b> |                              |                              |  |
| <b>Mitte der</b>            | 75                           | 0.5                          | 3  |
| <b>Untersuchungsstrecke</b> |                              |                              |  |
| <b>Mündungsbereich</b>      | 75                           | 0.5                          | 3  |
| <b>Thur</b>                 | 25                           | 0                            | 3  |

Nährstoffmessungen 10.10 (jeweils 2 Messungen pro Standort)

|                             | <b>NO<sub>3</sub> [mg/l]</b> | <b>NO<sub>2</sub> [mg/l]</b> | <b>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> [mg/l]</b> |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|--|
| <b>Beginn</b>               | 75                           | 0.5                          | 3  |
| <b>Untersuchungsstrecke</b> |                              |                              |  |
| <b>Mitte der</b>            | 75                           | 0.5                          | 3  |
| <b>Untersuchungsstrecke</b> |                              |                              |  |
| <b>Mündungsbereich</b>      | 75                           | 0.5                          | 3  |
| <b>Thur</b>                 | 25                           | 0.5                          | 0  |

#### 4 Nährstoffmessungen quantitativ

| Probe | Phosphat [ $\mu\text{g/L}$ ] | TDP [ $\mu\text{g/L}$ ] | TP [ $\mu\text{g/L}$ ] | Nitrat [ $\mu\text{g/L}$ ] | TDN [ $\mu\text{g/L}$ ] | TN [ $\mu\text{g/L}$ ] |
|-------|------------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|
| ATM   | < 5                          | 9.9                     | 7.3                    | 677                        | 676                     | 682                    |
| ATN   | < 5                          | 10.4                    | 5.8                    | 686                        | 664                     | 678                    |
| ARM   | 13.2                         | 46.7                    | 22.5                   | 388                        | 388                     | 388                    |
| ARN   | 59.7                         | 41.8                    | 78.2                   | 307                        | 331                     | 338                    |
| CTM   | 346                          | 176                     | 106                    | 9507                       | 9330                    | 9451                   |
| CTN   | 430                          | 224                     | 176                    | 9928                       | 9541                    | 9668                   |
| CRM   | 643                          | 573                     | Tube defekt            | 9313                       | 9270                    | Tube defekt            |
| CRNa  | 335                          | 352                     | 430                    | 4252                       | 4452                    | 4906                   |
| CRNb  | 324                          | 364                     | 473                    | 4125                       | 4533                    | 4843                   |
| CRNc  | 346                          | 379                     | 507                    | 4201                       | 4487                    | 4995                   |
| C     | 2.6                          | 4.5                     | 13.3                   | 1538                       | 1626                    | 1543                   |

#### 5 Fehlerrechnung für quantitative Nährstoffmessungen

| Statistische Kennzahlen | Phosphat [ $\mu\text{g/L}$ ] | TDP [ $\mu\text{g/L}$ ] | TP [ $\mu\text{g/L}$ ] | Nitrat [ $\mu\text{g/L}$ ] | TDN [ $\mu\text{g/L}$ ] | TN [ $\mu\text{g/L}$ ] |
|-------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|
| $\mu$                   | 335                          | 365                     | 470                    | 4193                       | 4491                    | 4915                   |
| $\sigma$                | 9.23                         | 11.06                   | 31.35                  | 51.97                      | 33.28                   | 62.53                  |
| $\Delta x$              | 10.66                        | 12.77                   | 36.20                  | 60.00                      | 38.43                   | 72.20                  |

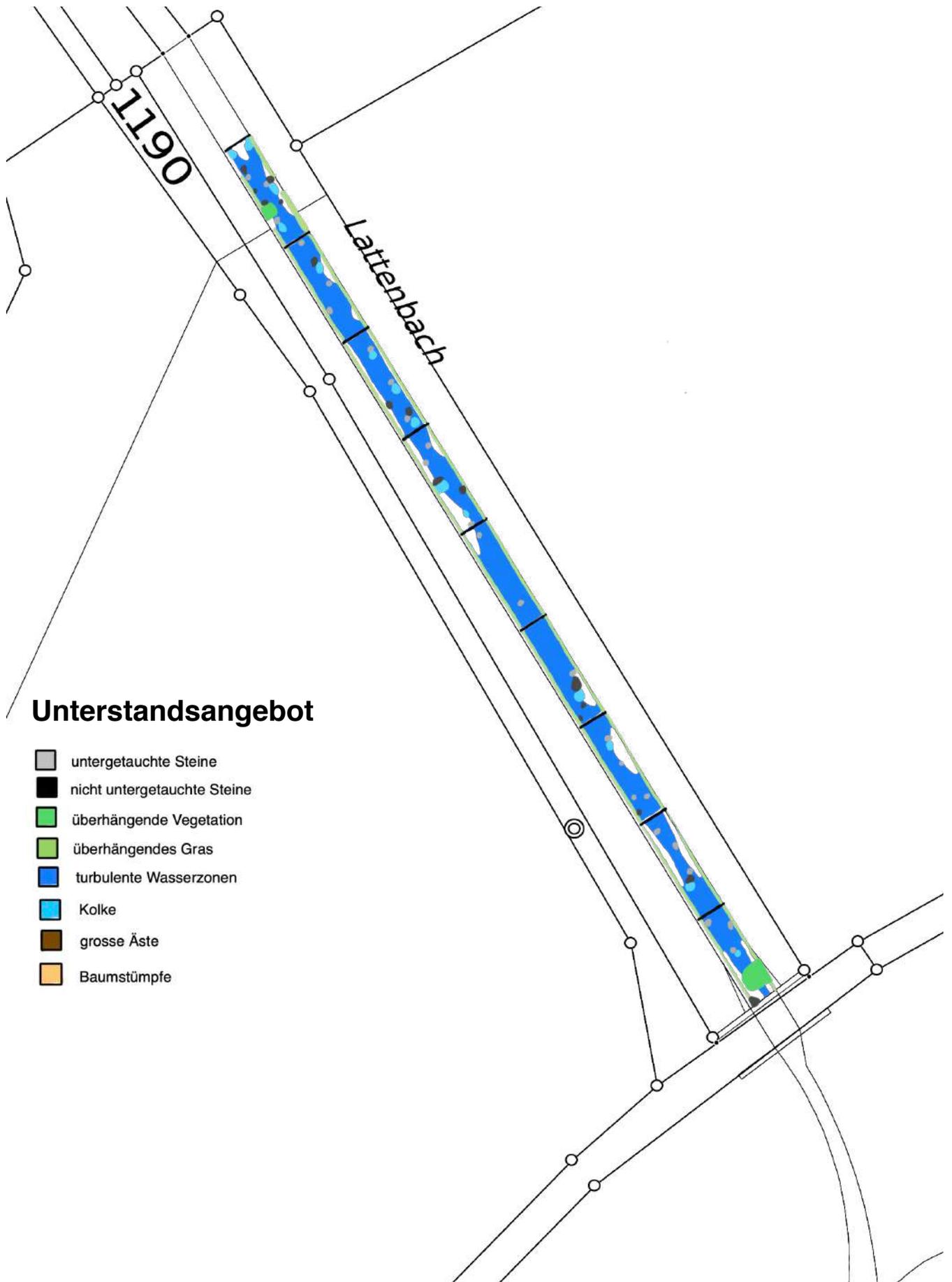
## 6 Pläne im Feld für Unterstandsangebot, Sohlenstruktur und Substratzusammensetzung

### Sohlenstrukturen vorher

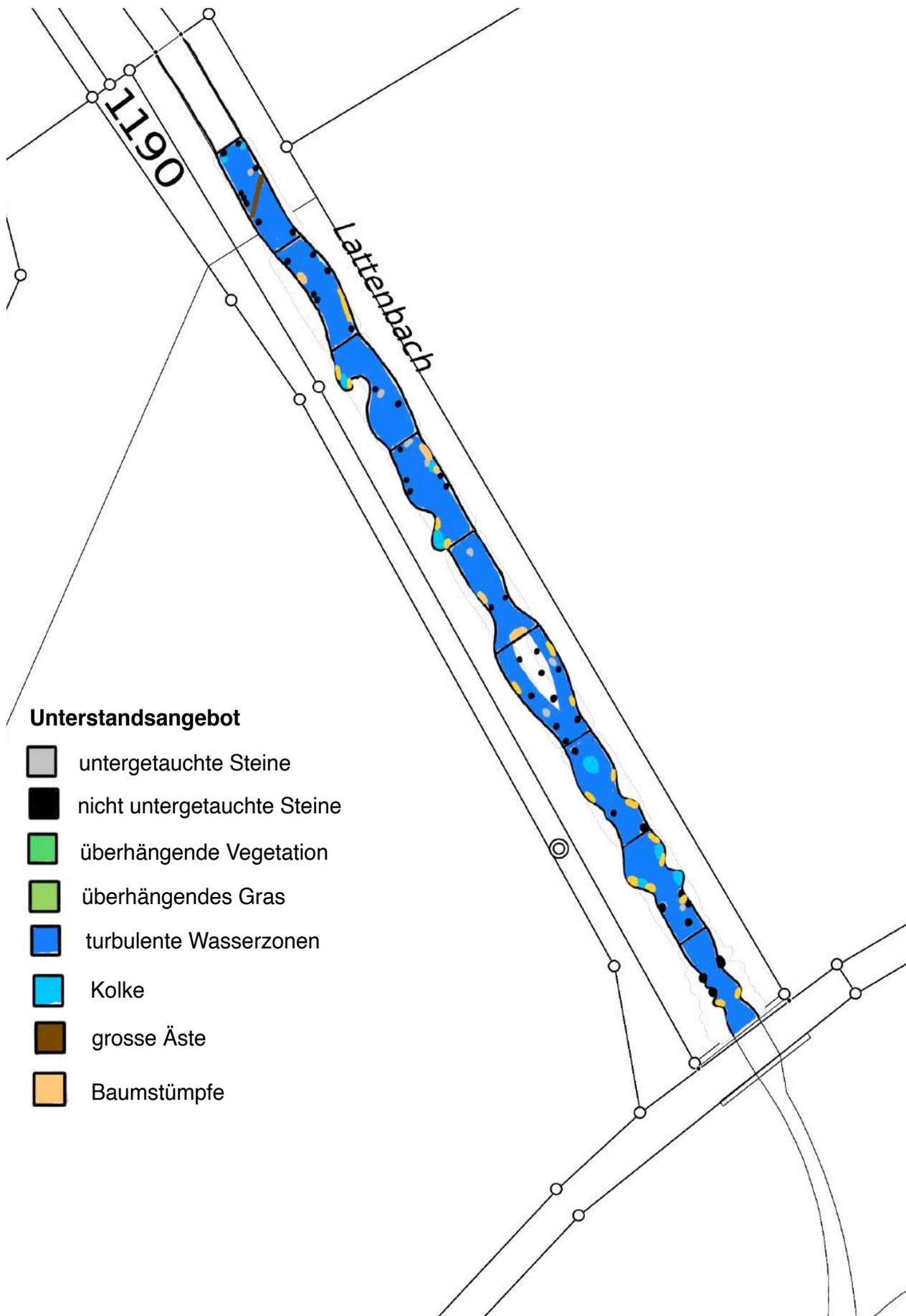




## Unterstandsangebot vorher

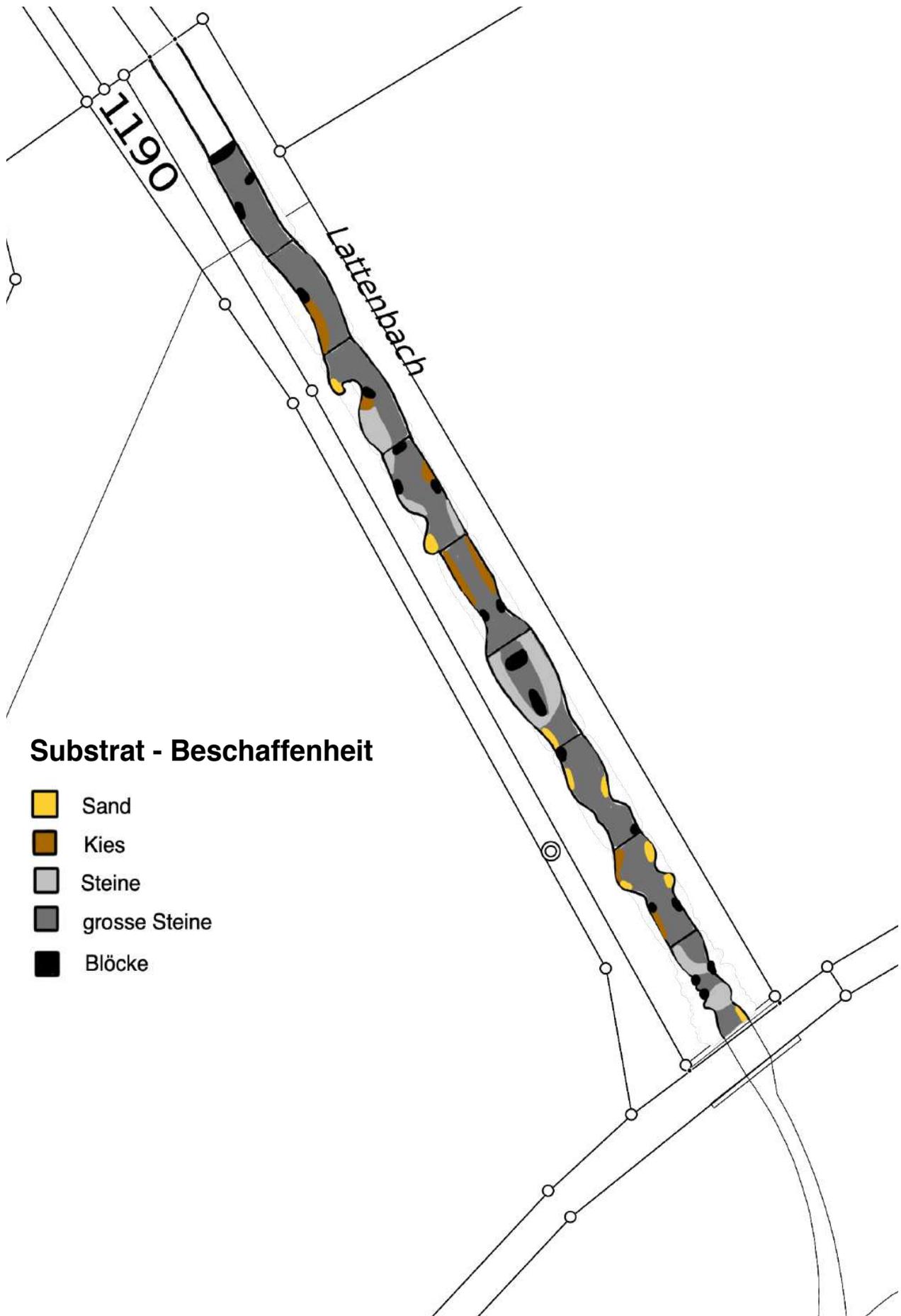


## Unterstandsangebot nachher

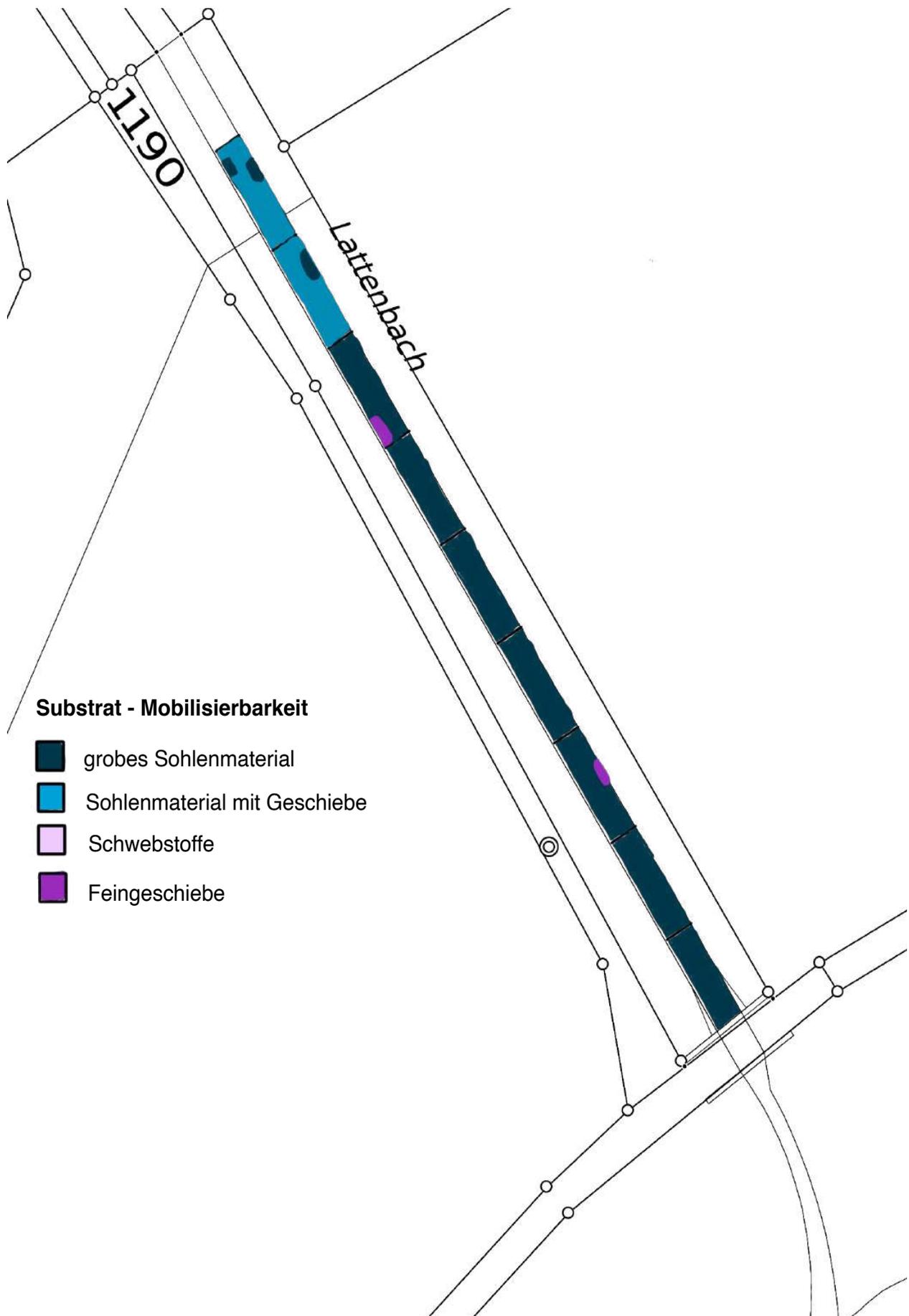




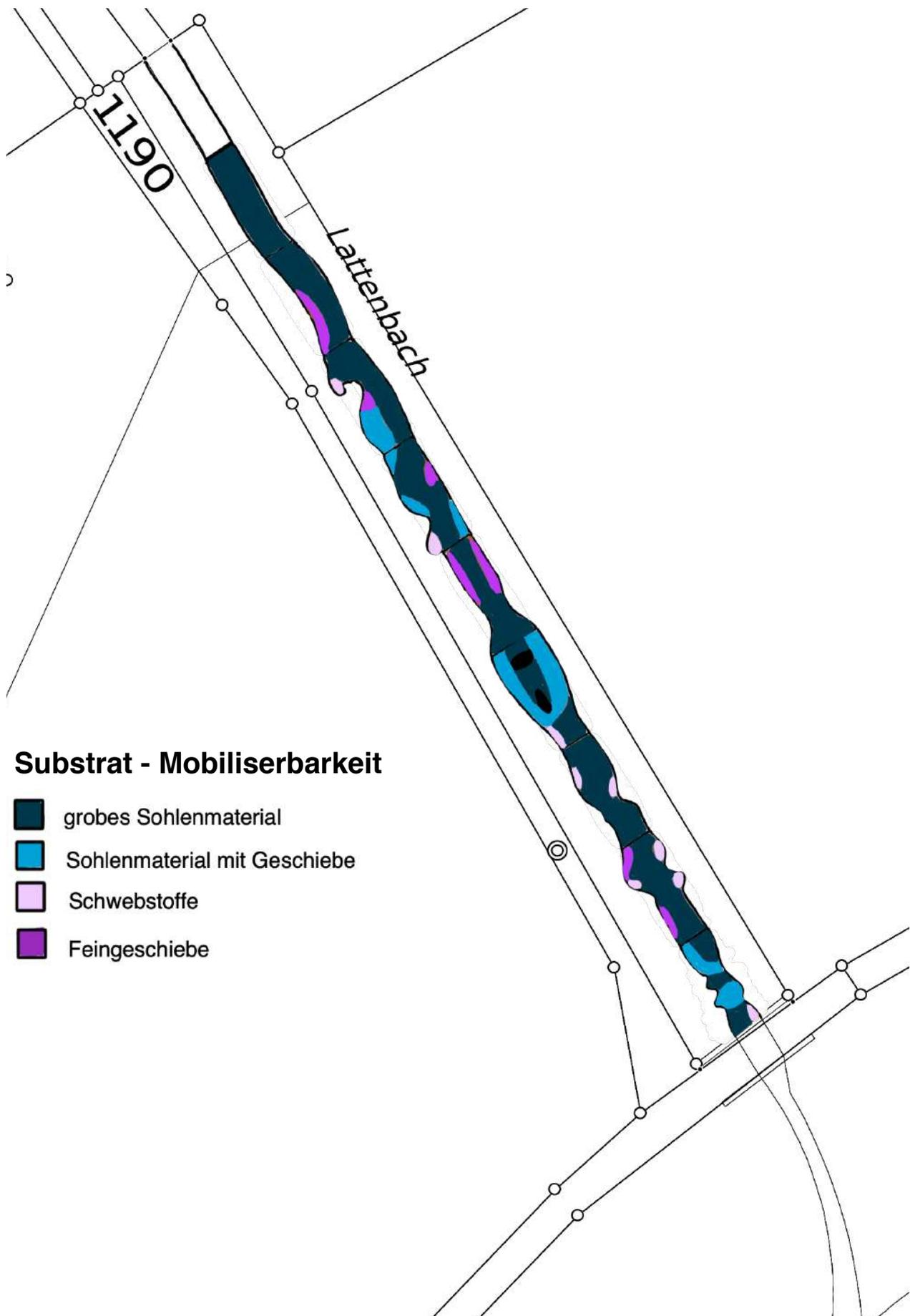
**Substrat, Beschaffenheit nachher**



### Substrat, Mobilisierbarkeit vorher



## Substrat, Mobilisierbarkeit nachher

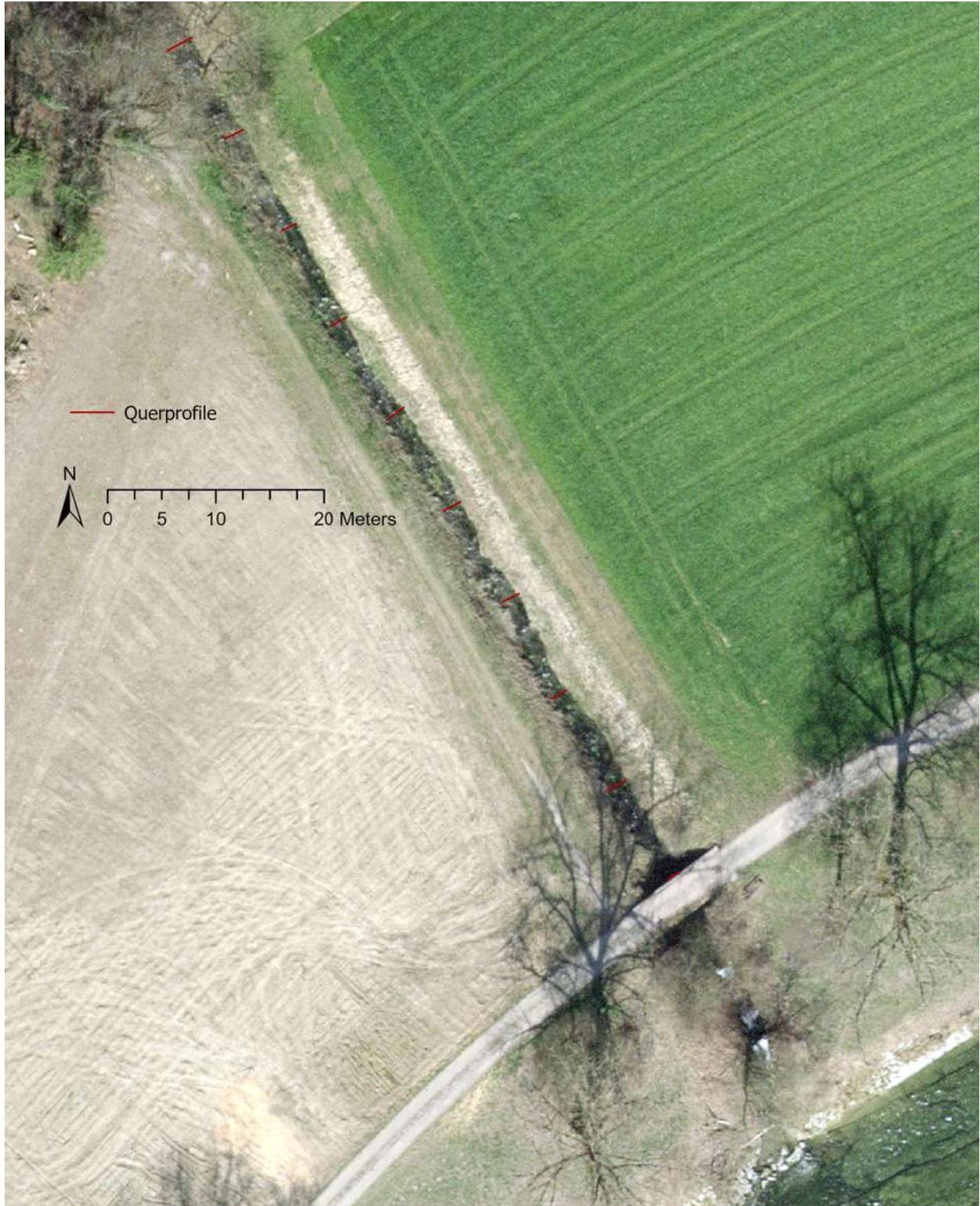


## Substrat - Mobilisierbarkeit

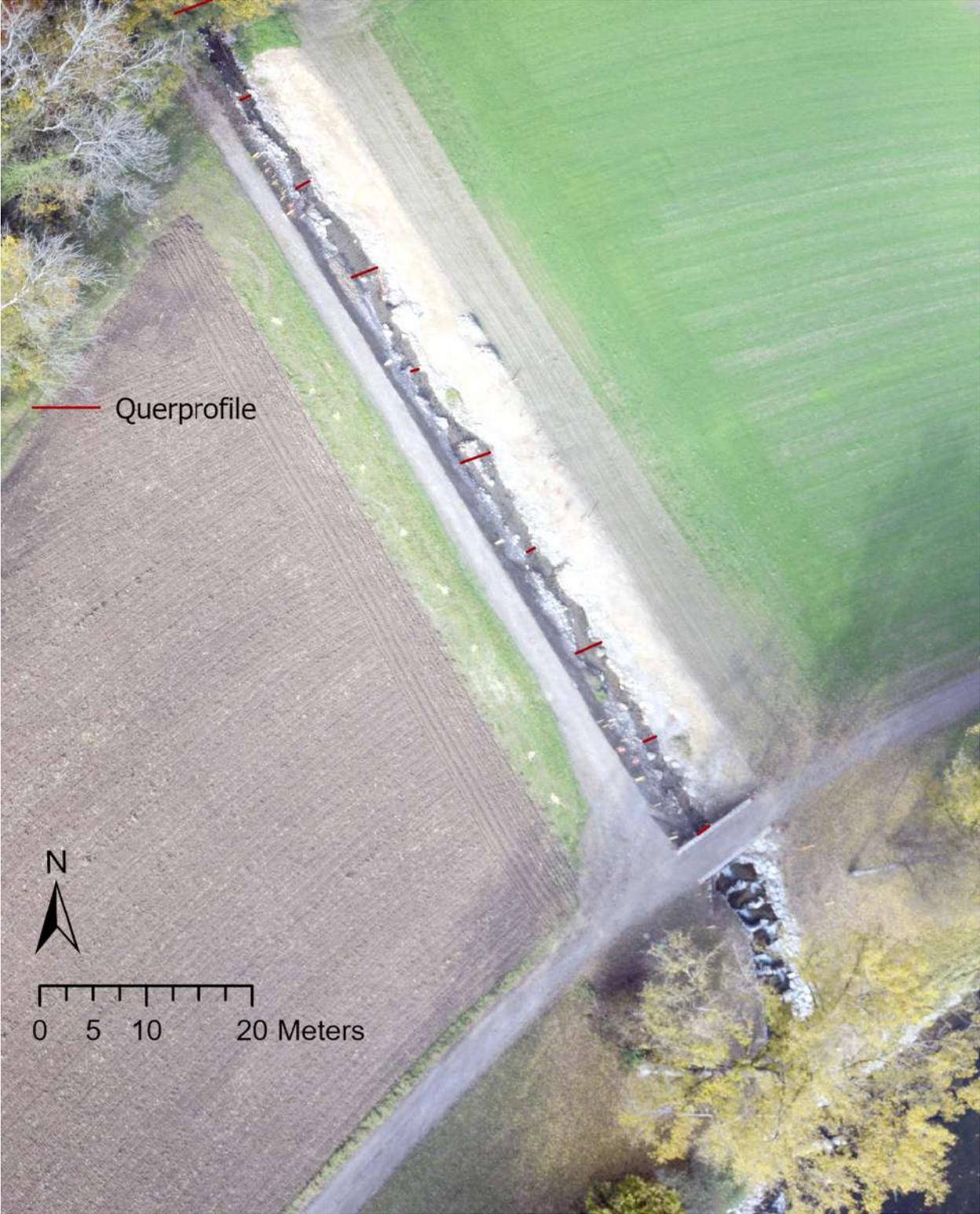
-  grobes Sohlenmaterial
-  Sohlenmaterial mit Geschiebe
-  Schwebstoffe
-  Feingeschiebe

## 7 ArcGis Auszüge für die Auswertung der WiKO

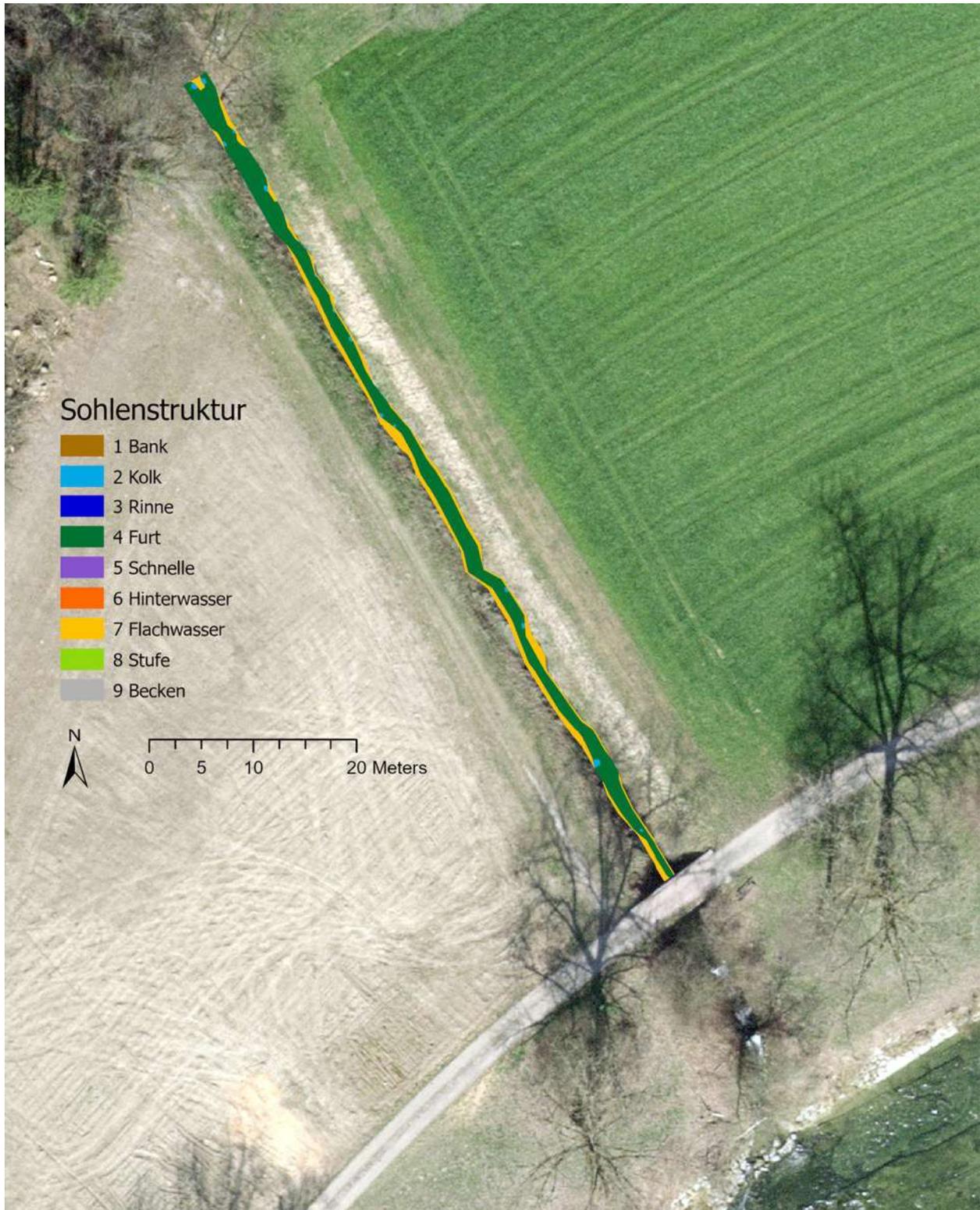
Vorher



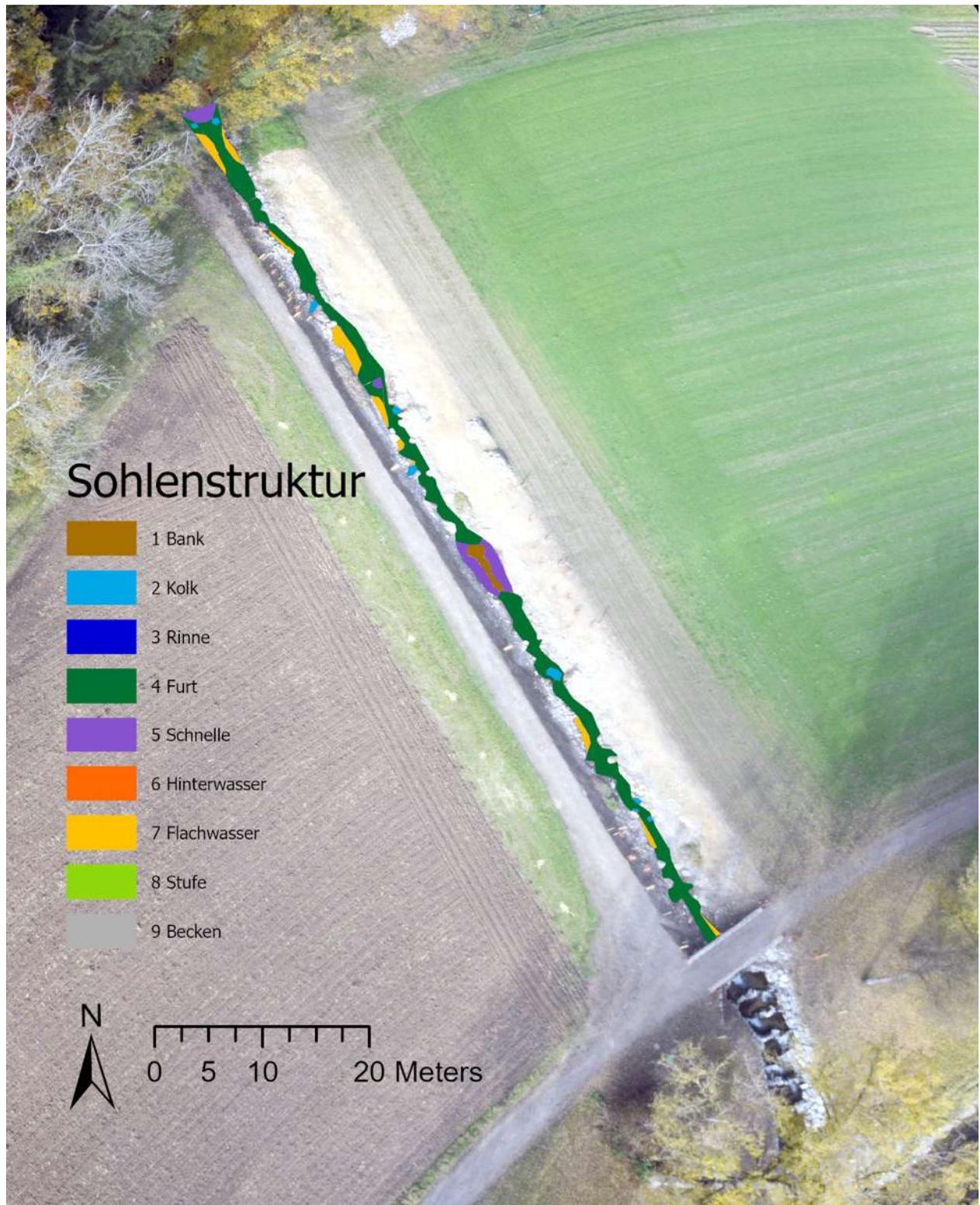
Nachher



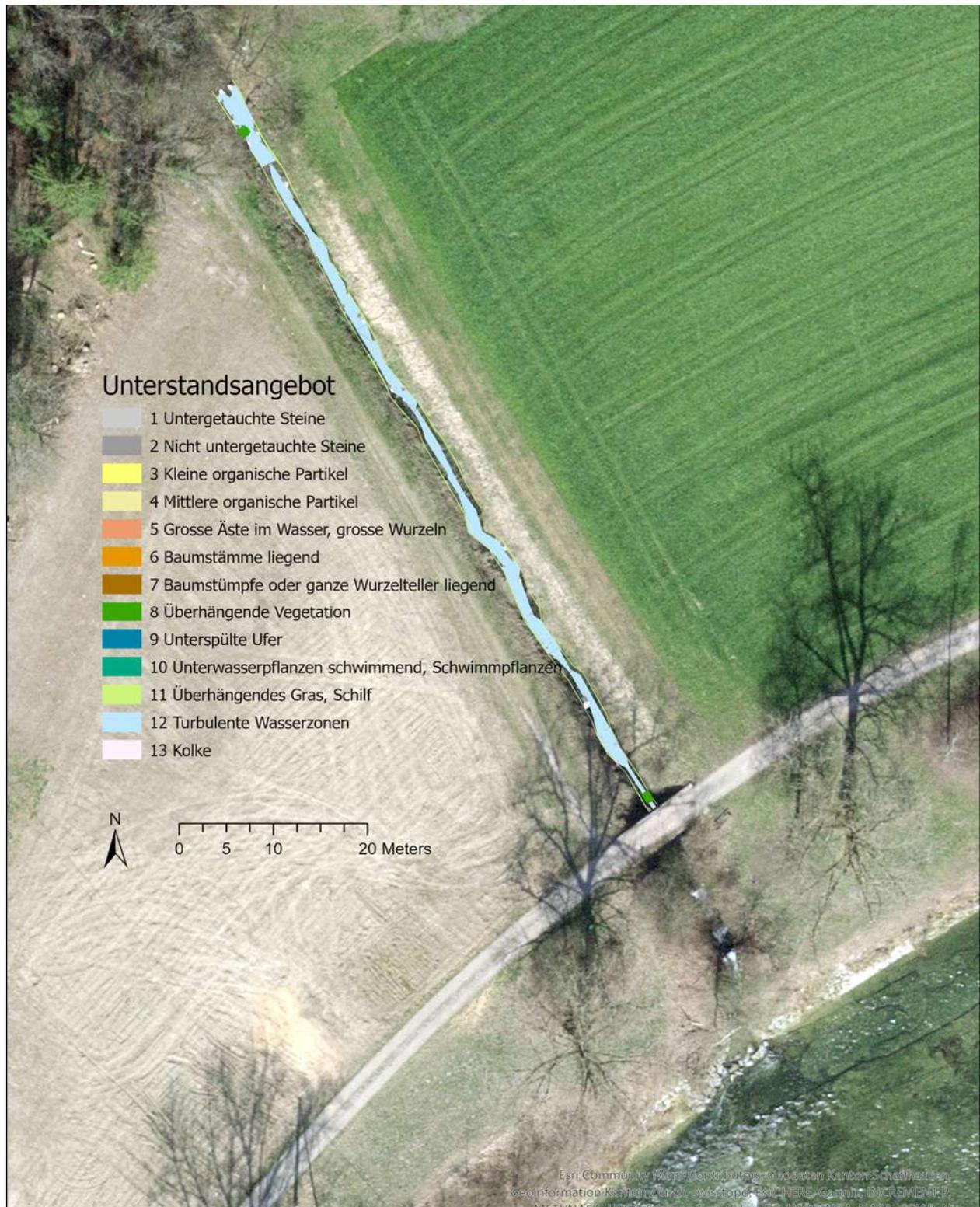
## Vorher



## Nachher



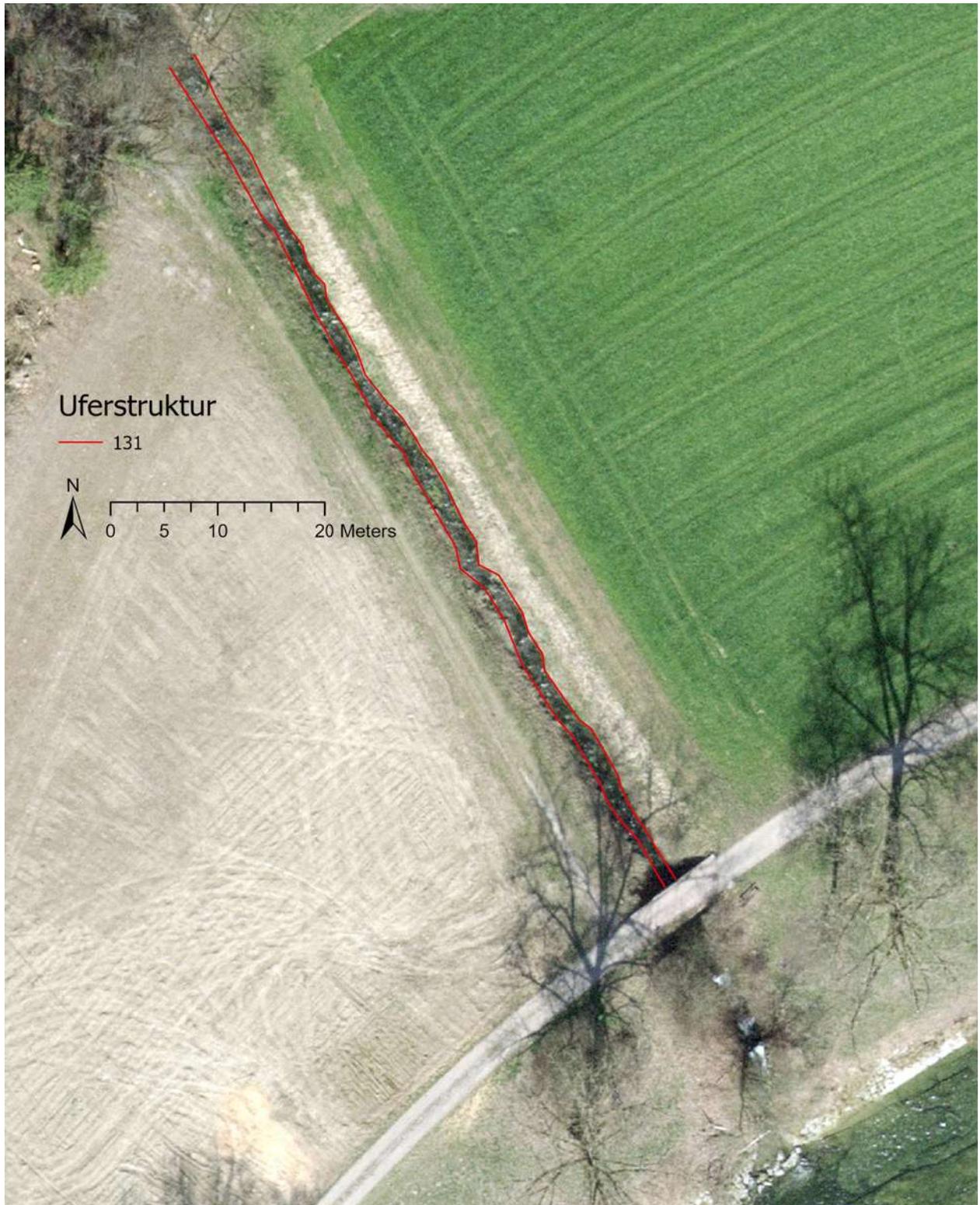
## Vorher



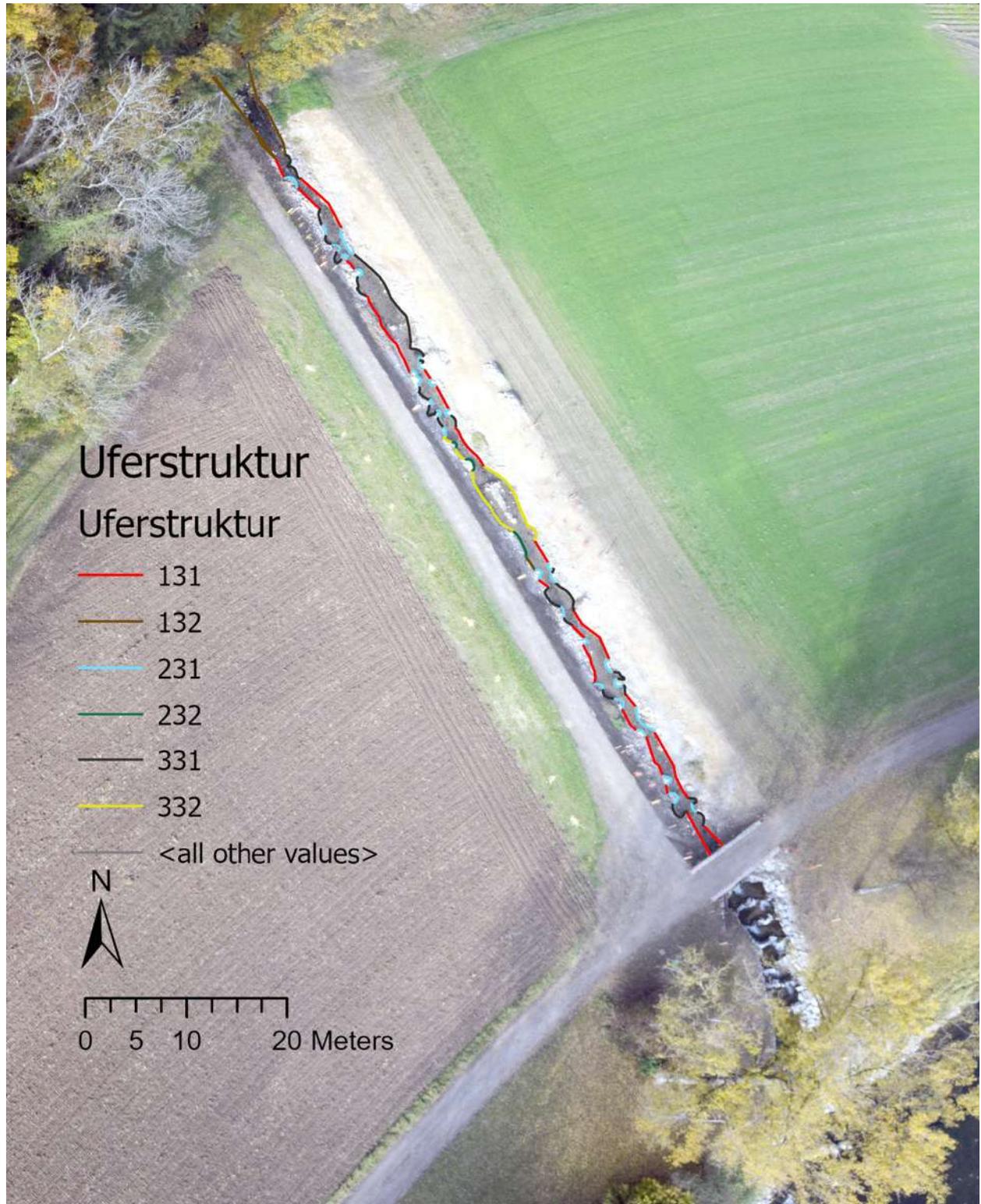
## Nachher



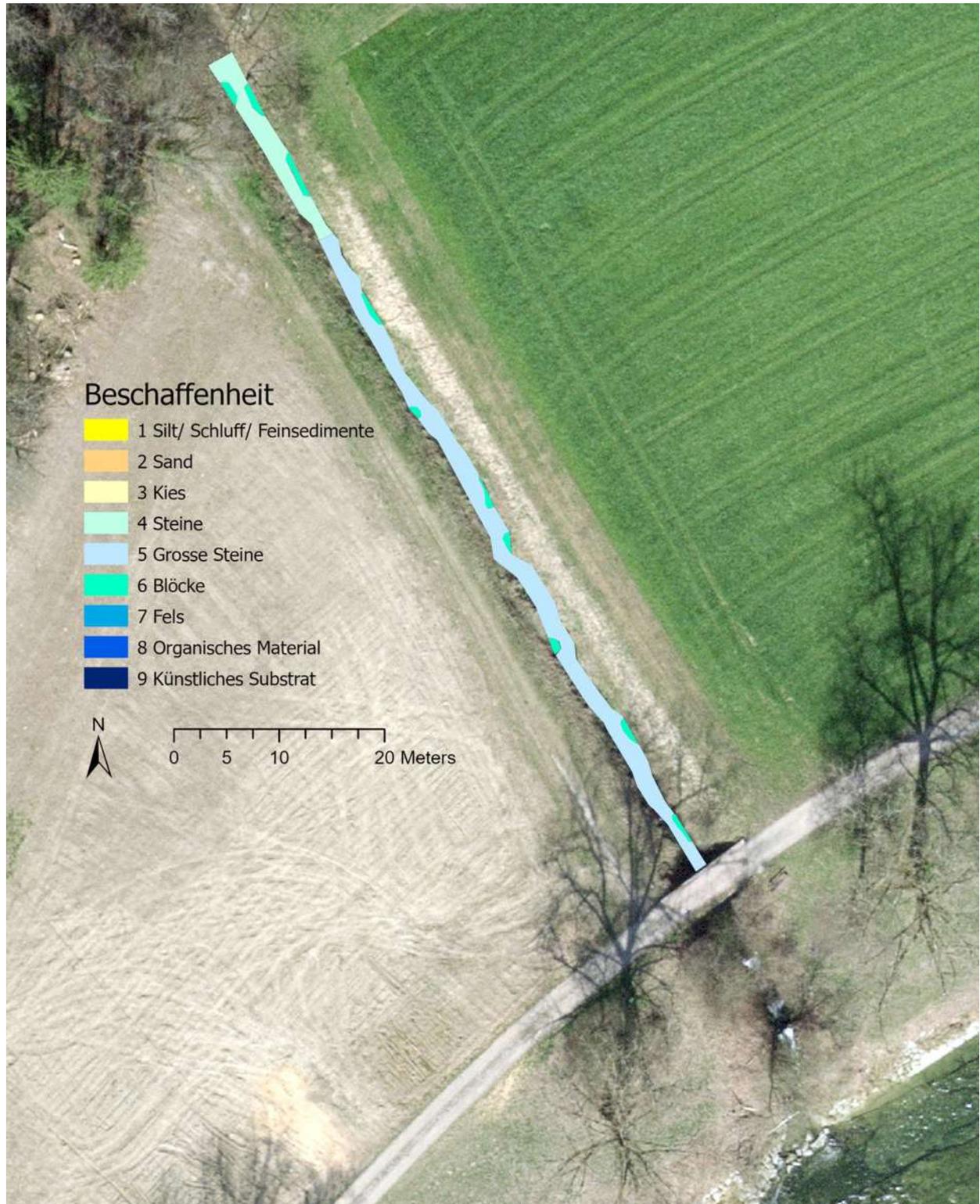
# Vorher



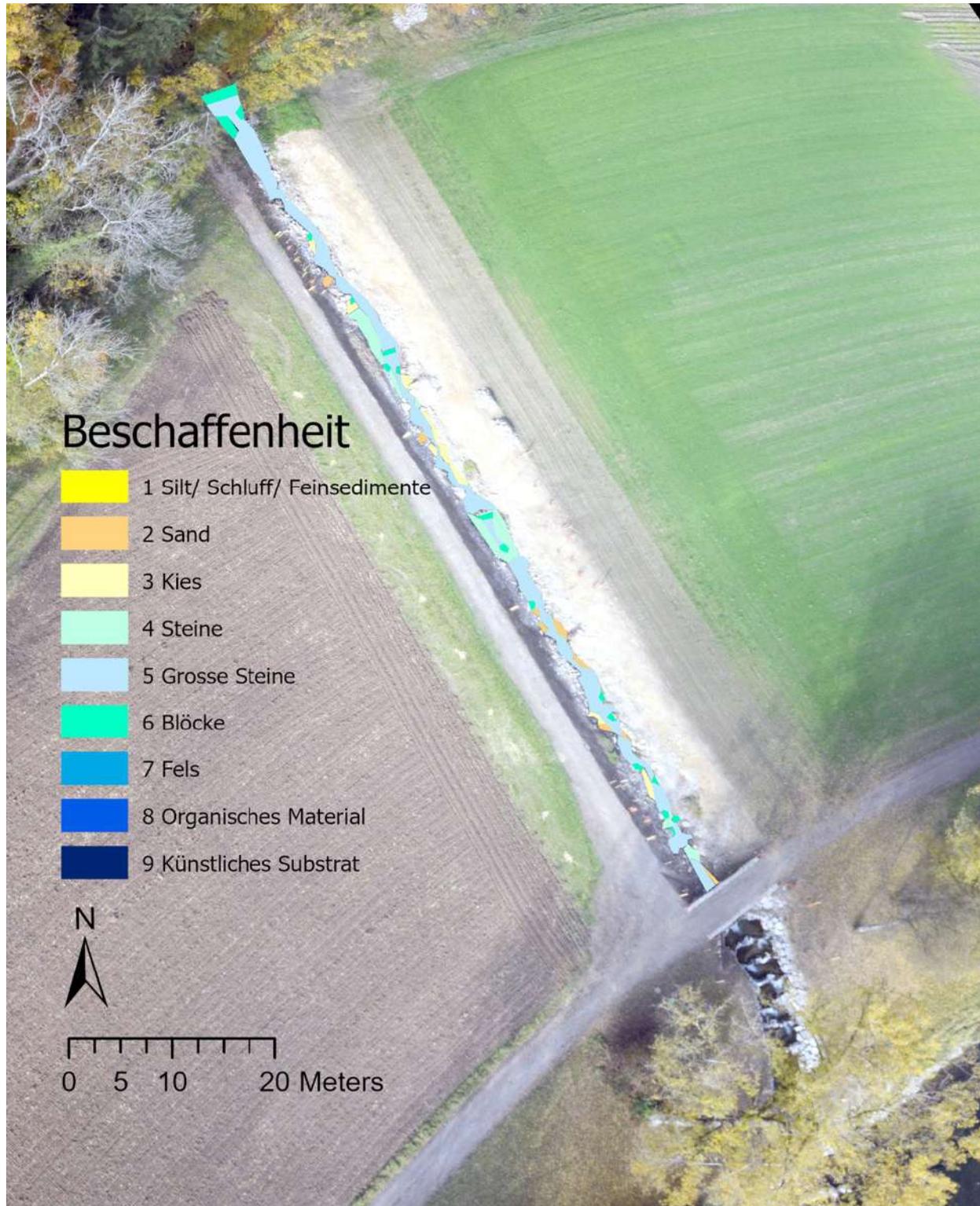
# Nachher



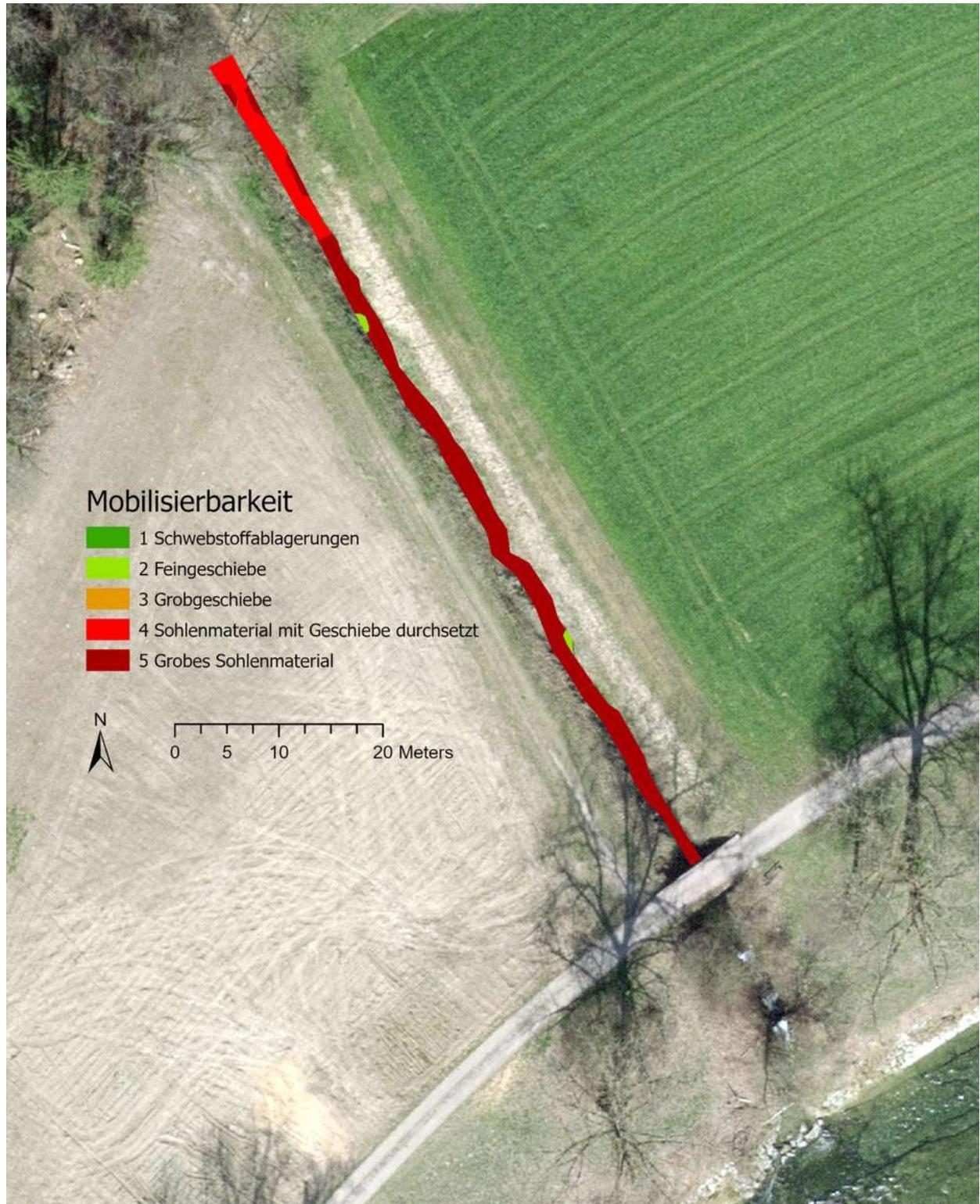
## Vorher



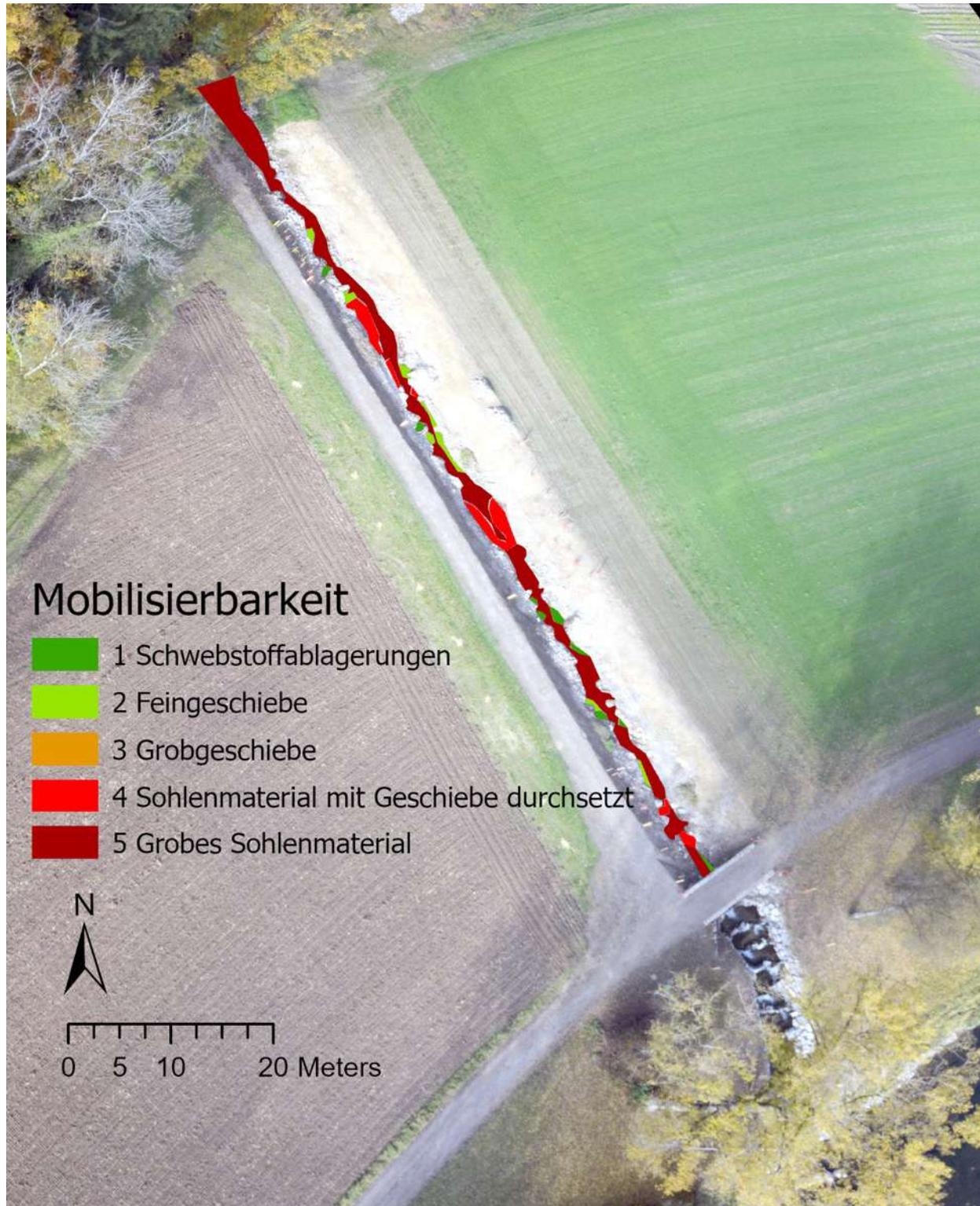
## Nachher



## Vorher



## Nachher



## 8 Laichprotokoll

|                        |              |   |                            |
|------------------------|--------------|---|----------------------------|
| Datum und Zeit:        | 21.11, 13:50 | Umlagerung der Sohle?                     | nein                       |
| Wassertemperatur [°C]: | 8.58         | Wetter:                                   | bewölkt mit leichter Sonne |
| Lufttemperatur [°C]:   | 5            | Durchfluss [m³/s] (Bach geschätzt, Thur): | 0.100, 8.7                 |

| Nummer (von unten nach oben) | Breite [cm] | Länge [cm] | Pot vorhanden? (Tiefe) [cm] | Fische zu sehen? | Laichaktivität zu beobachten? | Koordinaten       | Bemerkungen        |
|------------------------------|-------------|------------|-----------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------|--------------------|
| 1                            | 40          | 90         | nein                        | ja (2)           | nein                          | 2696056 / 1273581 | von Koni gesichtet |

|                        |             |   |           |
|------------------------|-------------|---|-----------|
| Datum und Zeit:        | 24.11, 9.00 | Umlagerung der Sohle?                     | nein      |
| Wassertemperatur [°C]: | 7.66        | Wetter:                                   | Nebel     |
| Lufttemperatur [°C]:   | 4           | Durchfluss [m³/s] (Bach geschätzt, Thur): | 0.110, 11 |

| Nummer (von unten nach oben) | Breite [cm] | Länge [cm] | Pot vorhanden? (Tiefe) [cm] | Fische zu sehen? | Laichaktivität zu beobachten? | Koordinaten       | Bemerkungen |
|------------------------------|-------------|------------|-----------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------|-------------|
| 1                            | 50          | 50         | nein                        | nein             | nein                          | 2696023 / 1273624 |             |
| 2                            | 40          | 70         | nein                        | nein             | nein                          | 2695972 / 1273680 |             |
| 3                            | 30          | 70         | nein                        | nein             | nein                          | 2695919 / 1273704 |             |

|                        |             |   |           |
|------------------------|-------------|---|-----------|
| Datum und Zeit:        | 29.11, 9.00 | Umlagerung der Sohle?                     | nein      |
| Wassertemperatur [°C]: | 6.78        | Wetter:                                   | bedeckt   |
| Lufttemperatur [°C]:   | 0           | Durchfluss [m³/s] (Bach geschätzt, Thur): | 0.110, 11 |

| Nummer (von unten nach oben) | Breite [cm] | Länge [cm] | Pot vorhanden? (Tiefe) [cm] | Fische zu sehen? | Laichaktivität zu beobachten? | Koordinaten       | Bemerkungen |
|------------------------------|-------------|------------|-----------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------|-------------|
| 1                            | 40          | 80         | nein                        | nein             | nein                          | 2696028 / 1273619 |             |
| 2                            | 110         | 30         | nein                        | nein             | nein                          | 2695914 / 1273723 |             |
| 3                            | 50          | 30         | nein                        | nein             | nein                          | 2695919 / 1273745 |             |
| 4                            | 50          | 80         | nein                        | nein             | nein                          | 2695914 / 1273763 |             |

|                        |             |   |           |
|------------------------|-------------|---|-----------|
| Datum und Zeit:        | 4.12, 10.00 | Umlagerung der Sohle?                     | nein      |
| Wassertemperatur [°C]: | 7.21        | Wetter:                                   | bedeckt   |
| Lufttemperatur [°C]:   | 3           | Durchfluss [m³/s] (Bach geschätzt, Thur): | 0.200, 26 |

| Nummer (von unten nach oben) | Breite [cm] | Länge [cm] | Pot vorhanden? (Tiefe) [cm] | Fische zu sehen? | Laichaktivität zu beobachten? | Koordinaten       | Bemerkungen |
|------------------------------|-------------|------------|-----------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------|-------------|
| 1                            | 60          | 100        | nein                        | nein             | nein                          | 2696047 / 1273599 |             |