

Revitalisierungen an der Bünz: Zusammenhänge zwischen Hydromorphologie und Makrozoobenthos



Diplomarbeit von
Tino Stäheli

Department Umweltnaturwissenschaften
Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich (ETH)

Eingereicht am Wasserforschungs-Institut
des ETH-Bereichs (EAWAG)

Dübendorf, August 2008

Betreut durch
PD Dr. Christopher T. Robinson
Dr. Armin Peter

Zusammenfassung

Mit der starken Verbesserung der Wasserqualität in Mitteleuropa in den letzten Jahrzehnten hat die hydromorphologische Beeinträchtigung der Fließgewässer heute stärksten negativen Einfluss auf die aquatischen Lebensgemeinschaften. Auf Grund von umfassenden flussbaulichen Massnahmen in der Vergangenheit und dem resultierenden schlechten Zustand der Morphologie von Schweizer Flüssen und Bächen besteht ein grosses Potential für die Revitalisierung von Strukturen und Prozessen. Durch solche revitalisierenden Massnahmen werden Habitate aufgewertet oder neu geschaffen und die natürliche Entwicklung der aquatischen Lebensgemeinschaften wird angestrebt und erwartet. Eine wichtige Frage in diesem Zusammenhang ist, wie gut die Makroinvertebraten den hydromorphologischen Zustand eines Gewässerabschnittes, bzw. die Veränderung von diesem, repräsentieren. Am Beispiel eines Schweizer Mittellandbaches wurden in sechs Untersuchungsstrecken von vielfältiger ökologischer Qualität die Veränderungen der hydromorphologischen Strukturen im Vergleich zu einer degradierten Referenz untersucht. Im Vordergrund dieser Veränderungen wurde die Entwicklung der taxonomischen Zusammensetzung des Makrozoobenthos in einem zeitlichen und räumlichen Kontext beurteilt. Mit Hilfe von abiotischen und biotischen Indikatoren wurden verschiedene Projektziele im Bereich Umwelt und Ökologie charakterisiert. Die mit Indikatorwerten ausgeführte Kategorisierung von Veränderungen von hydromorphologischen Parametern wurde mit Messungen von chemischen und hydraulischen Grössen ergänzt. Durch die Revitalisierungsmassnahmen gebildete und entstandene Fischhabitats wurden separat untersucht und die Folgen für die Fischfauna diskutiert. Die Ergebnisse der zoobenthologischen Probenahme wurden anhand des sich neu bietenden Potentials beurteilt. Es wurde festgestellt, dass sich die Artengemeinschaften trotz verbesserter Strukturen in ihrer Indikatoreigenschaft verschlechtert haben oder gleich geblieben sind. Die zu kurze Zeit für die Entwicklung der Habitate und Gemeinschaften, fehlende Längs- und Lateralvernetzung und Hemmnisse bei der Kolonisierung der neuen Habitate durch Individuen aus externen Artenpools wurden als Gründe für diese Befunde genannt. Wanderhindernissen und die dadurch verursachte Fragmentierung des Baches verhindern zudem eine Besiedlung der entstandenen Habitate durch Fische und eine natürliche Entwicklung der Populationen. Die Abschätzung und Beseitigung von diesen und anderen Hemmnissen für das Entwicklungspotential der revitalisierten Abschnitte wurde gefordert. Die durchgeführten Revitalisierungsprojekte wurden jedoch als erfolgreich bewertet und eine weitere Entwicklung der Abschnitte hin zu einem natürlicheren Zustand wird erwartet. Gegenwärtig laufende und in Zukunft geplante Projekte können diese Entwicklung weiter positiv beeinflussen und beschleunigen.

Inhalt

| | | |
|---------|--|----|
| 1. | Einleitung..... | 1 |
| 1.1. | Fragen..... | 2 |
| 1.2. | Hypothesen | 2 |
| 2. | Methoden..... | 3 |
| 2.1. | Untersuchungsdesign | 3 |
| 2.2. | Probenahme und Messungen | 4 |
| 2.3. | Hydrologie des Untersuchungsgebietes..... | 5 |
| 2.4. | Untersuchungsstrecken..... | 5 |
| 2.5. | Erfolgskontrolle bei Fließgewässerrevitalisierungen | 10 |
| 2.6. | Indikatoren der hydraulischen und morphologischen Variabilität | 10 |
| 2.6.1. | Vom Modul-Stufen-Konzept abgeleitete Indikatoren..... | 10 |
| 2.6.2. | Weitere Indikatoren aus dem HEFR (Woolsey, et al., 2005)..... | 11 |
| 2.7. | Biotischer Indikator | 11 |
| 2.8. | Projektziele..... | 12 |
| 2.9. | Methodik der Probenahmen | 13 |
| 2.9.1. | Probenahme Makrozoobenthos | 13 |
| 2.9.2. | Probenahme Fische | 13 |
| 2.9.3. | Chemische und physikalische Probenahme | 13 |
| 2.10. | Datenauswertung..... | 14 |
| 2.10.1. | Auswertung der Indikatoren | 14 |
| 2.10.2. | Statistische Analyse | 14 |
| 2.11. | Übersicht Methoden und Resultate | 17 |
| 3. | Resultate..... | 18 |
| 3.1. | Beurteilung der Indikatoren, der Projektziele und des ökologischen Erfolgs | 18 |
| 3.1.1. | Indikatoren | 18 |
| 3.1.2. | Projektziele | 18 |
| 3.1.3. | Bereich Umwelt und Ökologie..... | 20 |
| 3.2. | Indikator Makroinvertebraten: Termin-Taxalisten | 21 |
| 3.3. | Indikatoren Makroinvertebraten: Gesamttaxalisten | 23 |
| 3.4. | Ergebnisse MZB qualitativ | 23 |
| 3.5. | Abfischung | 24 |
| 3.6. | Fischhabitate | 24 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.7. | Hydraulik der unteren Untersuchungsstrecken | 26 |
| 3.8. | Hauptkomponentenanalyse | 27 |
| 3.8.1. | Analyse der chemischen und physikalischen Parameter | 27 |
| 3.8.2. | Qualitative Ergänzung zu der Analyse | 27 |
| 3.8.3. | Analyse der Taxalisten | 28 |
| 3.9. | Korrelationsanalyse | 30 |
| 4. | Diskussion | 31 |
| 4.1. | Hydromorphologie | 31 |
| 4.2. | Hydraulische Parameter | 32 |
| 4.3. | Chemische und physikalische Parameter | 32 |
| 4.4. | Veränderungen des Makrozoobenthos: Indikatoren | 33 |
| 4.5. | Veränderung des Makrozoobenthos: Quantitative und qualitative Analyse der Taxalisten | 33 |
| 4.6. | Veränderungen für die Fischfauna | 34 |
| 5. | Synthese | 35 |
| 5.1. | Fragen und Hypothesen | 36 |
| 5.2. | Fazit und Konsequenzen | 36 |
| | Danksagung | 38 |
| | Abbildungsverzeichnis | 39 |
| | Tabellenverzeichniss | 40 |
| | Literaturverzeichnis | 41 |
| | Anhang | 45 |

1. Einleitung

Mit der Verbesserung der Wasserqualität in Mitteleuropa in den letzten Jahrzehnten hat die hydromorphologische Beeinträchtigung der Fließgewässer heute den stärksten negativen Einfluss auf die aquatischen Lebensgemeinschaften (Lorenz, Hering, Feld, & Rolauffs, 2004). Auch in der Schweiz hat die Verschmutzung der Gewässer in den letzten Jahren stark abgenommen (Fischnetz, 2004). Die Morphologie der Fließgewässer ist hingegen in einem schlechten Zustand. Sie wurde durch großräumige anthropogene Aktivitäten, besonders durch flussbauliche Maßnahmen, stark verändert. Daraus ergibt sich in der Gegenwart ein großes Potential für Flussrevitalisierungen (Peter, Kienast, & Woolsey, 2005). Der Verlust von struktureller Komplexität, die vereinfachten Flussmuster, die fehlende Vernetzung und die Abnahme des Angebots an Mikrohabitaten u. a. haben negative Folgen für eine Vielzahl von Arten, welche in Fließgewässern vorkommen (Petersen, et al., 1987; Zwick, 1992). Es herrscht denn auch Einigkeit betreffend der Notwendigkeit von Revitalisierungstätigkeiten, welche dieser Situation Abhilfe schaffen. Es fehlt jedoch nach wie vor ein Konsensus darin, was eine erfolgreiche Revitalisierung ist (Palmer, et al., 2005). Maßnahmen, welche die Hydromorphologie eines Gewässers und dadurch auch die Habitate modifizieren, haben unabhängig von ihrem Ziel eine Auswirkung auf die Invertebraten (Muotka, Paavola, Haapala, Novikmec, & Laasonen, 2002). Eine wichtige Frage in diesem Zusammenhang ist, wie gut die Makroinvertebraten den hydromorphologischen Zustand eines Flussabschnittes, bzw. die Veränderung von diesem, repräsentieren (Lorenz, Hering, Feld, & Rolauffs, 2004).

Mit dem Begriff „Revitalisierung“ wird hier schon eine Einschränkung im Sinne von Bradshaw, 1996 gemacht. Die Revitalisierung stellt im Gegensatz zu der Renaturierung geringere Anforderungen an das Erreichen eines natürlichen Ausgangszustandes (siehe auch Abbildung 1). Vielmehr wird eine Veränderung eines aktuellen Zustandes in die Richtung des natürlicheren angestrebt. In diesem Sinne ist jede Tätigkeit, welche eine Verbesserung gegenüber dem degradierten Ausgangszustand bewirkt, eine Revitalisierung. Auch das Unterlassen einer Tätigkeit, welche einen negativen Einfluss auf das Ökosystem hat, kann als Revitalisierung verstanden werden (Roni, 2005). Dadurch wird ermöglicht, dass natürlicherweise eine Entwicklung in die Richtung des natürlichen Zustands stattfinden kann.

Die Lebensgemeinschaften der Makroinvertebraten sind durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Neben der Hydromorphologie spielen die Wasserqualität (s. o.) und die Hydraulik, aber auch großräumige Prozesse wie die Landnutzung im Einzugsgebiet und das Klima eine Rolle. Während es für Wasserqualität etablierte

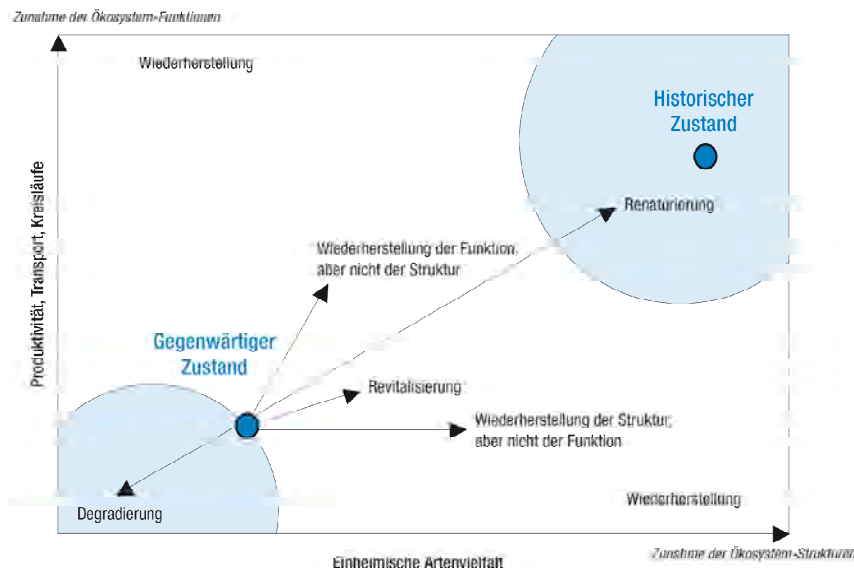


Abbildung 1: Die Rolle von ökologischen Strukturen und Funktionen bei Revitalisierungen (Williams et al. 1997 in: Woolsey, et al., 2005).

Bewertungsmethoden gibt, sind neue Methoden zur Bewertung des hydromorphologischen Zustands von Gewässern zum Beispiel in der EU in Entwicklung (Böhmer, et al., 2004). Eine Herausforderung in dieser Beziehung ist die Differenzierung der verschiedenen Ursachen für Beeinträchtigungen der Lebensgemeinschaften sowie die Gewährleistung der Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Systemen (Flusstypen). Wäre es möglich, alle Faktoren bis auf einen konstant zu halten, könnten wertvolle Erkenntnisse für Revitalisierungen gewonnen werden.

In dieser Arbeit wurden sechs Abschnitte von einem Schweizer Mittellandbach mit einer degradierten Referenzstrecke verglichen. Eine Vielfalt von hydromorphologischen Gegebenheiten in einem ansonsten relativ einheitlichen System bot sich an, um Zusammenhänge zwischen Hydromorphologie und Makrozoobenthos aufzuzeigen. Es wurde versucht, Erkenntnisse für zukünftige Revitalisierungsprojekte an diesem Bach zu gewinnen.

1.1.Fragen

Die Untersuchungsstrecken und die Lebensgemeinschaften der Makroinvertebraten wurden mit der degradierten Referenz verglichen. Es ergaben sich die folgenden Fragen:

- Beurteilung des hydromorphologischen Zustandes der Untersuchungsstrecken. Vergleich mit der degradierten Referenz.
 - Gibt es Veränderungen in der Hydromorphologie?
 - Wie ist das Ausmaß der Veränderungen?
 - Wo liegen eventuelle Defizite?
- Beurteilung der taxonomischen Zusammensetzung der Makroinvertebraten in den Untersuchungsstrecken. Vergleich mit der degradierten Referenz.
 - Welche quantitativen und welche qualitativen Unterschiede gibt es?
 - Wie korrelieren diese Unterschiede mit der Hydromorphologie?
 - Wo liegen eventuelle Defizite?
- Aufnahme der Fischhabitats und Abfischung von zwei Strecken.
 - Wie hat sich die Fischfauna entwickelt?
 - Hat sich das Habitatangebot für die Fische verändert?
 - Wo liegen eventuelle Defizite?

1.2.Hypothesen

Anhand von dieser Fragestellung wurden drei Hypothesen formuliert.

H₁

Der hydromorphologische Zustand der sechs Untersuchungsstrecken unterscheidet sich nicht von dem der degradierten Referenz.

H₂

Die taxonomische Zusammensetzung und Diversität / Abundanz der Makroinvertebraten in den sechs Untersuchungsstrecken unterscheidet sich nicht von der der degradierten Referenz.

H₃

Das Habitatangebot für Fische hat sich nicht verändert.

2. Methoden

2.1. Untersuchungsdesign

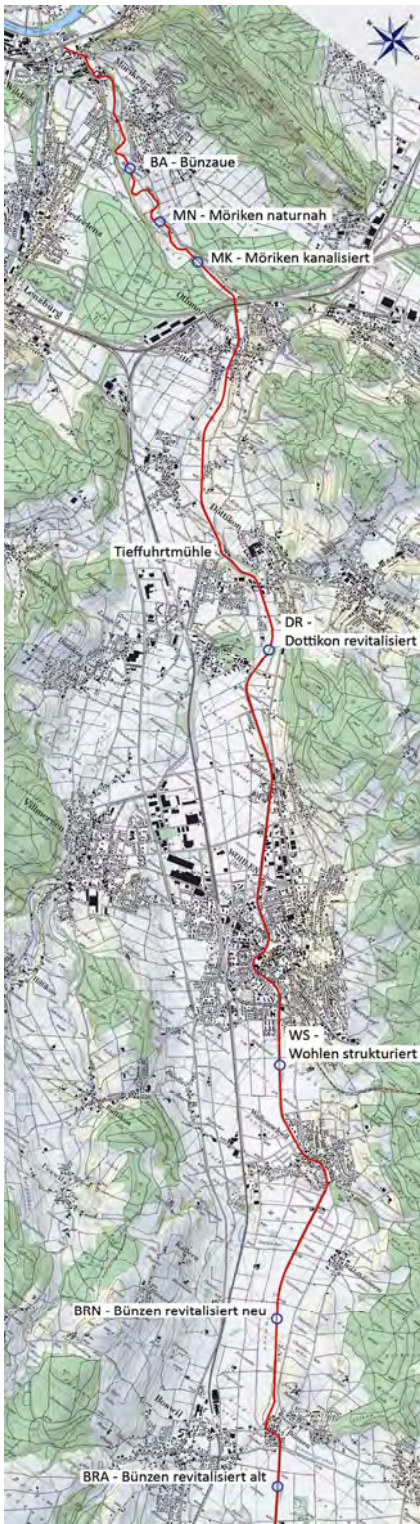


Abbildung 2: Übersichtskarte der Bünz mit den Untersuchungsstrecken.

An der Bünz präsentiert sich aus Sicht der Morphologie und der Hydraulik eine vielfältige Situation. Aufgrund von Korrekturen in der Vergangenheit (Begradigung und Kanalisierung) und einigen Revitalisierungsprojekten in der Gegenwart ergab sich auf relativ engem Raum eine Abfolge von Bachabschnitten von sehr unterschiedlicher Qualität. Dazu kam das Hochwasser im Mai des Jahres 1999, welches das Bachbett bei Möriken massiv umgestaltete und über Nacht eine Aue schuf, welche nun im Bundesinventar der Auengebiete von nationaler Bedeutung figuriert. Weitere Revitalisierungen sind im Gange (Murimooos) und geplant (Othmarsingen). Aufgrund von diesem aktuellen Zustand wurde die Bünz als Untersuchungsobjekt gewählt.

Um diesem Zustand bei der Untersuchung der Bünz Rechnung zu tragen, wurden in dieser Arbeit sechs Bachabschnitte ausgewählt. Es sollte ein möglichst breites Spektrum bzw. ein Gradient an morphologischen Zuständen in den Abschnitte enthalten sein. Es wurden zwei räumliche Abgrenzungen für die untersuchten Abschnitte gemacht. Die „Untersuchungsabschnitte“ haben eine Länge von $L_{UA} \geq 1\text{km}$ mit mehr oder weniger einheitlicher Hydromorphologie. Bei der „Untersuchungsstrecke“ handelt es sich um eine 100 Meter lange Strecke innerhalb des Untersuchungsabschnitts, welche für diesen charakteristisch bzw. repräsentativ ist. Proben wurden ausschließlich in den Untersuchungsstrecken genommen, Messungen der Hydromorphologie, wo nötig, auch auf die Untersuchungsabschnitte ausgeweitet.

Die Wiederherstellung von einem naturnahen Zustand ist in dem dicht besiedelten Schweizer Mittelland nicht möglich und natürliche Gewässer sind nicht mehr vorhanden. Aus diesem Grund wurde auf einen Vergleich mit einer räumlichen oder historischen Referenz verzichtet. Es sollte in dieser Arbeit aufgezeigt werden, ob und wie sich die Untersuchungsabschnitte von dem dominierenden, kanalisierten Zustand der Bünz unterscheiden. Dafür wurde für den Vergleich eine degradierte Referenzstrecke gewählt. Diese Strecke in einem begradigten, mit dem Turnheersystem verbauten Abschnitt, wurde als „worst-case“ Szenario für die Bünz außerhalb von Siedlungsflächen angenommen. Dabei wurde eine Verschiebung von diesem hin zu einem naturnaheren Zustand *a priori* als Erfolg definiert. Die Wahl einer degradierten Referenz ist bei fehlenden natürlichen Referenzen (Palmer, et al., 2005) zulässig oder wenn der Ausgangszustand von Interesse für die Auswertung der Veränderung bei kleinräumigen Revitalisierungen ist (Rohde, 2004). Auch Veränderungen in den Invertebratengesellschaften in revitalisierten Abschnitten können nur relativ zu kanalisierten Abschnitten veranschaulicht werden (Muotka, Paavola, Haapala,

Novikmec, & Laasonen, 2002).

Der Vergleich der sechs Untersuchungsstrecken mit der degradierten Referenz orientiert sich an der Methode aus dem Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fließgewässerrevitalisierungen (Woolsey, et al., 2005). Projekte, welche als Revitalisierung durchgeführt werden, haben implizit die Verbesserung des ökologischen Zustandes zum Ziel (Palmer, et al., 2005). Auch wenn der Begriff Projekt nicht auf alle unsere Untersuchungsabschnitte zutrifft, wurden diese als solche behandelt und nach Projektzielen aus dem Bereich Umwelt und Ökologie beurteilt. Mit der Aufnahme von Veränderungen gegenüber der degradierten Referenz fand eine Art Raum für Zeit Substitution statt. Mit der Wahl von zehn Indikatoren zur Bewertung von Projektzielen sollten mit einem im Rahmen dieser Arbeit möglichen Arbeitsaufwand eine gute Abdeckung erreicht werden. Eine Verwendung dieser Indikatoren nach ein bis zwei Jahren nach der Revitalisierung ist auch geeignet (Woolsey, et al., 2005).

Beim Vergleich der Strecken interessierte besonders die Gegenüberstellung der hydromorphologischen Bedingungen und der Zusammensetzung der Makroinvertebraten. Es wurde der Frage nachgegangen, ob und in welchem Ausmaß sich strukturelle Verbesserungen nach kurzer Zeit (ein bis drei Jahre) auf die Lebensgemeinschaften auswirken. Dabei wurde auf die räumlichen und zeitlichen Zusammenhänge geschaut und die Strecken im Kontext ihrer Entstehung betrachtet. Um den Vergleich anhand von Indikatoren zu ergänzen, wurden weitere chemische und physikalische Parameter gemessen und Diversitätsindizes für das Makrozoobenthos berechnet. Weiter wurden für vier Untersuchungsabschnitte quantitative Aufnahmen von hydraulischen Größen gemacht. Zum Schluss wurden an zwei Untersuchungsstrecken Abfischungen durchgeführt. Über einen Vergleich mit alten Daten und mit Unterstützung von Ergebnissen aus einer Fischhabitatsaufnahme wurde die Veränderung der Untersuchungsabschnitte hinsichtlich der Fischfauna beurteilt.

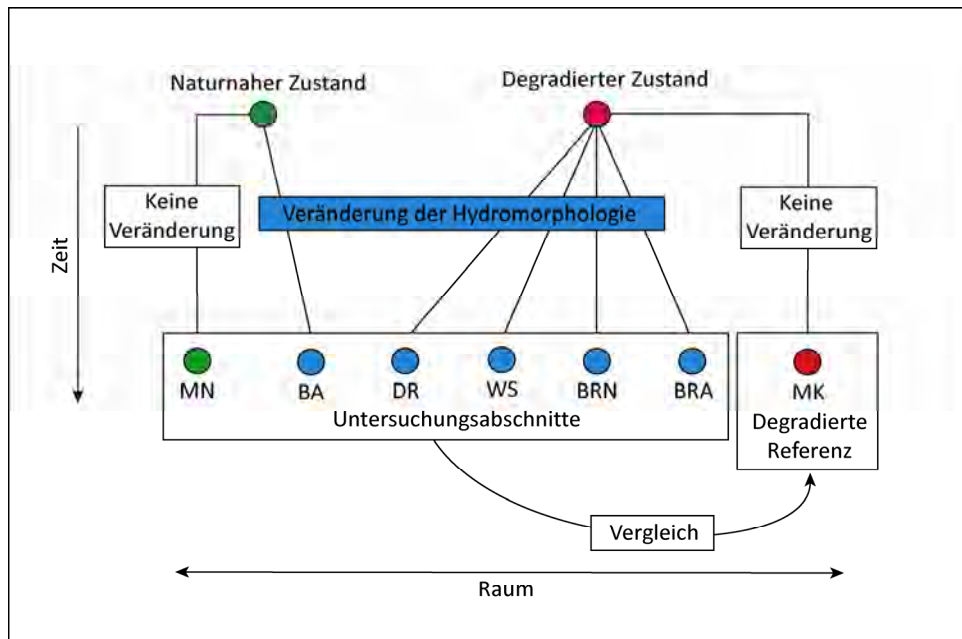


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Untersuchungsdesigns.

2.2. Probenahme und Messungen

Makrozoobenthos Proben wurden an drei Terminen genommen (31. März, 5. Mai und 20. Juni, siehe auch Kapitel 2.9.1). An den gleichen drei Terminen wurden die chemischen und physikalischen Parameter gemessen. Der Abfluss und die Strömungsgeschwindigkeit der Untersuchungsstrecken wurden am ersten Termin gemessen. Die weiteren morphologischen und hydraulischen Messungen wurden ein Mal im Mai, Juni oder Juli durchgeführt. Die Abfischung von zwei Strecken (BA und MK) fand am 10. Juni statt.

2.3. Hydrologie des Untersuchungsgebietes

Das Einzugsgebiet der Bünz umfasst 111 km² auf denen sich ein Gewässernetz von 261km Länge erstreckt (Landeshydrologie (BWG), 1992). Das durchschnittliche Gefälle auf einer Bachlänge von ca. 25km zwischen Muri (450 m ü. M.) und der Mündung in den Aabach bei Wildegg (350 m ü. M.) beträgt 4.4‰ (Aqua Plus, 2005). Die Bünz unterliegt einem Abflussregime des Typs pluvial-inférieure (Aschwanden & Weingartner, 1985) mit starken Abflussspitzen nach Niederschlagsereignissen (mittlere Jahreshochwasserspitzen von 22.6 m³/s (Landeshydrologie (BWG), 1992)). Zwischen 1977 und 2005 betrug der mittlere Abfluss bei der Messstation in Othmarsingen (AG 332 Bünz-Othmarsingen) 1.73 m³/s (mittlerer Abfluss April 1.95 m³/s, Mai 1.91 m³/s und Juni 1.77 m³/s) und ein Abfluss von 5.97 m³/s wird durchschnittlich neun Mal pro Jahr erreicht oder überschritten (Departement Bau, Verkehr und Umwelt Kt. Aargau (BVU), Abteilung Landschaft und Gewässer).

2.4. Untersuchungsstrecken

Die sechs Untersuchungsstrecken sind die Bünzaue (BA), Möriken naturnah (MN), Dottikon revitalisiert (DR), Wohlen strukturiert, Bünzen revitalisiert neu (BRN) und Bünzen revitalisiert alt (BRA). Möriken kanalisiert (MK) ist die Strecke, welche als degradierte Referenz dient.

Erklärung der Kenngrößen

| | |
|--------------------|---|
| Verändert | Datum an dem sich die Hydromorphologie durch arbeiten im Bachbett oder natürliche Ereignisse zuletzt massgeblich verändert hat. |
| Abfluss | Gemessener Abfluss am 31.3.08. Eine statistische Untersuchung ergab, dass diese Werte die Strecken ähnlich gut beschreiben wie Messreihen über mehrere Monate. |
| Breite Ø | Der Mittelwert der gemessenen Breiten. |
| Wasserfläche | Die Wasserspiegelfläche pro 100m. Die Wasserfläche wurde über Maßstab getreue Skizzen bestimmt. |
| Tiefenvariabilität | Die Tiefenvariabilität wurde nach der Methode Ökomorphologie Stufe F in drei Kategorien eingeteilt: Wenig, Mäßig, Ausgeprägt (BUWAL, 1998). |
| Gefälle | Das Gefälle wurde einer Graphik aus Streule (2000) entnommen. |
| Ökomorphologie | Dies ist die Klassifizierung der Ökomorphologie anhand der Methode Ökomorphologie Stufe F (BUWAL, 1998). Klassen: I = natürlich/naturnah, II = wenig beeinträchtigt, III = stark beeinträchtigt, IV = naturfremd/künstlich. Für MN, MK und WS stammen die Daten aus dem Jahr 2001 (Quelle: Peter Berner, Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung für Landschaft und Gewässer, Kanton Aargau). Für die anderen Untersuchungsabschnitte wurden die Daten für diese Studie aufgenommen. |

Tabelle 1: Übersicht der Kenngrößen der sieben Untersuchungsstrecken.

| | BA | MN | MK (deg) | DR | WS | BRN | BRA |
|--------------------------------|--------|------------|----------|------------|-------|------------|---------|
| Verändert | 2007 | Um 1930 | Um 1930 | 2005/06 | 1995 | 2007/08 | 2005/06 |
| Abfluss [m ³ /s] | 1.91 | 1.75 | 1.54 | 1.30 | 0.71 | 0.68 | 0.37 |
| Breite Ø [m] | 12 | 8.8 | 5 | 8.1 | 7 | 5.7 | 3.6 |
| Wasserfläche [m ²] | 1768 | 1089 | 520 | 907 | 587 | 594 | 416 |
| Tiefenvariabilität | Mässig | Ausgeprägt | Keine | Ausgeprägt | Wenig | Ausgeprägt | Mässig |
| Gefälle [‰] | 10.5 | 7.5 | 3 | 1.5 | 3 | 2 | 1.5 |
| Ökomorphologie | I - II | II | III | II | III | I | II |

Bünzaue

| | |
|--------------------|-------------------------------------|
| Kurzbezeichnung | BA |
| Anfang | E 8° 12' 04.2'' N 47° 24' 23.8'' |
| Ende | E 8° 12' 09.2'' N 47° 24' 23.2'' |
| Verändert | 2007 |
| Abfluss (31.3.08) | 1.91 m ³ /s |
| Breite | Ø 12m max. 18m min. 6.5m Var. 20.67 |
| Wasserfläche | 1768m ² |
| Tiefenvariabilität | mässig |
| Gefälle | 10.5‰ |
| Ökomorph. (MSK) | I-II |

Kurzbeschreibung

Die Bünzaue, vorher ein naturnaher Abschnitt, entstand nach einem 100 jährigen Hochwasser im Jahre 1999. Sie wird geprägt von offenen Kiesflächen, frühen Stadien der Auenvegetation und einer starken Dynamik. Durch ein HW im 2007 und Arbeiten im Flussbett wurde der Lauf begradigt und stellenweise stabilisiert. Die Bünzaue ist im Verzeichnis der Auen von nationaler Bedeutung eingetragen.



Möriken naturnah

| | |
|--------------------|-------------------------------------|
| Kurzbezeichnung | MN |
| Anfang | E 8° 11' 00.7'' N 47° 24' 39.5'' |
| Ende | E 8° 11' 04.2'' N 47° 22' 34.5'' |
| Verändert | 1930 |
| Abfluss (31.3.08) | 1.75 m ³ /s |
| Breite | Ø 8.8m max. 12.3m min. 3.6 Var. 8.5 |
| Wasserfläche | 1089m ² |
| Tiefenvariabilität | Ausgeprägt |
| Gefälle | 7.5‰ |
| Ökomorph. (MSK) | II |

Kurzbeschreibung

In diesem Abschnitt wurde die Bünz, abgesehen von lokalen Verbauungen aus der Zeit um 1930 zur Fixierung des Laufes, nie korrigiert. Der Bach mäandriert hier, begleitet von einem eher schmalen Vegetationsstreifen. Es gibt vielfältige Ufer- und Sohlenstrukturen und die hydraulischen Grössen sind variabel.



Möriken kanalisiert (degradierte Referenz)

| | |
|-------------------------|--------------------------------|
| Kurzbezeichnung | MK |
| Anfang | E 8° 19' 51.0" N 47° 22' 37.3" |
| Ende | E 8° 14' 52.4" N 47° 22' 34.5" |
| Verändert | 1930 |
| Abfluss (31.3.08) | 1.54 m ³ /s |
| Breite | Ø 5m max. 5m min. 5m Var. 0 |
| Wasserfläche | 520m ² |
| Tiefenvariabilität | keine |
| Gefälle | 3‰ |
| Ökomorph. (MSK) | III |
| <u>Kurzbeschreibung</u> | |

Die Bünz wurde ab hier während den umfassenden Bachkorrekturen um 1930 kanalisiert. Dieser Abschnitt ist begradigt und monoton. Für die Verbauung wurde das Turnherr-System verwendet, bei dem in regelmässigen Abständen Sohlenschwellen zwischen den glatten Elementen der Uferverbauung verlegt sind. Diese Untersuchungsstrecke wird als degradierte Referenz verwendet.

Dottikon revitalisiert

| | |
|-------------------------|-------------------------------------|
| Kurzbezeichnung | DR |
| Anfang | E 8° 11' 33.8" N 47° 24' 27.8" |
| Ende | E 8° 11' 37.6" N 47° 24' 28.4" |
| Verändert | 2005/06 |
| Abfluss (31.3.08) | 1.30 m ³ /s |
| Breite | Ø 8.1m max. 9.8m min. 5.4m Var. 2.0 |
| Wasserfläche | 907m ² |
| Tiefenvariabilität | ausgeprägt |
| Gefälle | 1.5‰ |
| Ökomorph. (MSK) | II |
| <u>Kurzbeschreibung</u> | |

Oberhalb von Dottikon wurde die Bünz auf einer Länge von fast 1.5km revitalisiert. Der Gewässerlauf ist verbreitert und strukturiert, grosse Baumstämme beeinflussen den Lauf. Die Breite des standortgerecht bepflanzten Ufers ist nicht immer genügend. Der oberhalb mündende Leihofbach wurde ausgedolt.



Wohlen strukturiert

| | |
|-------------------------|---------------------------------|
| Kurzbezeichnung | WS |
| Anfang | E 08° 17' 17.1" N 47° 20' 29.3" |
| Ende | E 08° 17' 21.2" N 47° 20' 26.4" |
| Verändert | 1995 |
| Abfluss (31.3.08) | 0.71 m ³ /s |
| Breite | Ø 7m max. 7.5m min. 6m Var. 0.3 |
| Wasserfläche | 587m ² |
| Tiefenvariabilität | wenig |
| Gefälle | 3‰ |
| Ökomorph. (MSK) | III |
| <u>Kurzbeschreibung</u> | |

Oberhalb der Stadt Wohlen fand das erste Projekt statt, um die Bünz aus ihrem Korsett zu befreien. Die dort angewandten Massnahmen sind Strukturverbesserungen. Das Turnheer-System, Sohlen- und Uferverbauungen, wurde entfernt und Störsteine wurden im Bachbett plaziert.



Bünzen revitalisiert neu

| | |
|-------------------------|-----------------------------------|
| Kurzbezeichnung | BRN |
| Anfang | E 08° 18' 42.2" N 47° 19' 09.2" |
| Ende | E 08° 18' 44.3" N 47° 19' 06.7" |
| Verändert | 2007/08 |
| Abfluss (31.3.08) | 0.68 m ³ /s |
| Breite | Ø 5.7m max. 7.6m min. 4m Var. 1.5 |
| Wasserfläche | 594m ² |
| Tiefenvariabilität | ausgeprägt |
| Gefälle | 2‰ |
| Ökomorph. (MSK) | I |
| <u>Kurzbeschreibung</u> | |

Diese Revitalisierung ist noch sehr frisch. Die Vegetation der flach angelegten Ufer befindet sich in frühen Sukzessionsstadien. Das Bachbett ist stellenweise sehr stark verbreitert worden. Der Lauf folgt einer leicht schlängelnden Führung mit kleineren und grösseren Inseln. Bei einem alten Tümpel mit grossen Weiden wurden eine Kiesfläche und Kiesbänke angelegt.



Bünzen revitalisiert alt

| | |
|--------------------|-----------------------------------|
| Kurzbezeichnung | BRA |
| Anfang | E 08° 19' 40.1" N 47° 18' 16.6" |
| Ende | E 08° 19' 42.9" N 47° 18' 13.7" |
| Verändert | 2005/06 |
| Abfluss (31.3.08) | 0.37m ³ /s |
| Breite | Ø 3.6m max. 4.9m min.2.5 Var. 0.7 |
| Wasserfläche | 416m ² |
| Tiefenvariabilität | mässig |
| Gefälle | 1.5‰ |
| Ökomorph. (MSK) | II |

Kurzbeschreibung

Auf Höhe dieser Revitalisierung ist der Abfluss bereits sehr gering. Die Strukturierung des Gewässers ist bescheidener als bei den anderen zwei revitalisierten Untersuchungsabschnitten. Das Ufer ist hier eher steil, der bepflanzte Uferbereich hat viele Reptilienburgen und einen Erlebnispfad mit kleinen Holzbrücken in regelmässigem Abstand.



2.5. Erfolgskontrolle bei Fließgewässerrevitalisierungen

Zur Beurteilung der Veränderungen von der degradierten Referenz zu dem aktuellen Zustand der Untersuchungsstrecken bzw. zur Charakterisierung der Projektziele dienen Indikatoren aus dem Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fließgewässerrevitalisierungen (Woolsey, et al., 2005; Im weiteren Text wird das Handbuch mit HEFR abgekürzt). Über einen Standardisierungsprozess werden die Indikatoren in Werte zwischen 1 (naturnaher Zustand) und 0 (naturferner Zustand) umgewandelt. Diese Richtwerte wurden mit Expertenwissen und mit Erfahrungswerten aus der Literatur festgelegt (Woolsey, et al., 2005).

Für eine ausführliche Beschreibung der hier zusammengefassten Indikatoreigenschaften können Steckbriefe auf der Homepage Integrales Gewässermanagement heruntergeladen werden (Rhone-Thur-Projekt; www.rivermanagement.ch).

2.6. Indikatoren der hydraulischen und morphologischen Variabilität

2.6.1. Vom Modul-Stufen-Konzept abgeleitete Indikatoren

Fünf der verwendeten Indikatoren aus dem HEFR basieren auf der Methodik des Modul-Stufen-Konzepts Ökomorphologie Stufe F (BUWAL, 1998). Vorliegende Daten der Ökomorphologie Stufe F mit Stand vom Jahr 2001 wurden bei vier Untersuchungsabschnitten, welche sich seither verändert haben, ergänzt.

Indikator 4: Durchgängigkeit für Fische

Wirbellose und vor allem Fische sind auf eine uneingeschränkte Auf- und Abwanderung in einem Gewässer angewiesen (BUWAL, 1998). Die Durchgängigkeitsstörungen, die diese Wanderung erschweren oder verhindern, sowie deren Höhe werden aufgenommen. Die Beurteilung erfolgt mit Hilfe eines Flussdiagramms und anhand jener Durchgängigkeitsstörung, welche die stärkste Einschränkung für die Fischwanderung bedeutet.

Indikator 14: Qualitative Ausprägung der Wasserspiegelbreitenvariabilität

Die Wasserspiegelbreitenvariabilität gibt Auskunft über die Strukturvielfalt der Sohle und über die Wasser-Land-Vernetzung. Die Einteilung in eine von drei Kategorien, ausgeprägt, eingeschränkt oder keine, gibt auch Auskunft über Tiefenvariabilität und Strömungsvielfalt (BUWAL, 1998). Die Beurteilung berücksichtigt den Anteil der drei Zustandskategorien an der Gesamtstrecke.

Indikator 37: Verbauungsgrad und –art der Sohle

Eine Verbauung der Sohle zerstört den Lebensraum im Übergangsbereich zwischen Fluss- und Grundwasser und verhindert eine natürliche Geschiebedynamik (BUWAL, 1998). Die Verbauungsart und der Verbauungsgrad werden kategorisiert und die prozentuale verbaute Fläche abgeschätzt. Aus Kategorie und Anteil der Fläche an der Gesamtstrecke ergibt sich die Beurteilung.

Indikator 42: Breite und Beschaffenheit des Uferbereichs

Der Uferbereich hat in der Gewässerökologie eine große Bedeutung, etwa beim Stoffaustausch zwischen Land und Gewässer (BUWAL, 1998). Die Breite und Beschaffenheit des Ufers werden aufgenommen. Die Beurteilung erfolgt mit Hilfe der Studie „Raumbedarf von Fließgewässern“ (Heeb, Schönborn, Mosimann, & Huber, 1996) und orientiert sich an der Gewässerbreite.

Indikator 46: Verbauungsgrad und –art des Böschungsfusses

Durch eine Verbauung des Böschungsfusses wird die Seitenerosion verhindert. Wirbellose, Kleintiere und Fische finden keinen Schutz. Verbauungsgrad und –art werden aufgenommen, der verbaute Anteil an der Gesamtstrecke dient zur Beurteilung.

2.6.2. Weitere Indikatoren aus dem HEFR (Woolsey, et al., 2005)

Indikator 11: Fische: Unterstände und Strukturen

Fischunterstände sind für Salmoniden, in geringerem Maß auch für Cypriniden, von großer Bedeutung. Ein Wiederherstellen von Unterständen kann zu einer Zunahme der Fischdichte führen (Björn & Reiser (1991), in Peter, 2005)). Die Unterstandstypen und deren Fläche werden aufgenommen. Die Gegenüberstellung des aktuellen Unterstandangebots und des Angebots einer Referenzstrecke dient zur Beurteilung.

In dieser Arbeit wird mit einer degradierten Referenz gearbeitet. Eine Anpassung der Originalmethode, die auf einer natürlichen Referenz basiert, ist notwendig um im Rahmen des geführten Vergleiches der Untersuchungsstrecken eine Aussage zu ermöglichen. Die Matrix zur Ermittlung der Bewertungspunkte wird zu diesem Zweck umgekehrt, eine starke Abweichung bedeutet eine hohe Bewertung, eine schwache Abweichung eine niedrige Bewertung. Um eine maximale Bewertung vieler Strecken zu verhindern und eine Verteilung auf die fünf möglichen Bewertungspunktegrößen zu ermöglichen wird die Untersuchungsstrecke mit der grössten Abweichung als 100%ige Abweichung (sehr starke Abweichung) definiert. Die Abweichungen der anderen Strecken werden dementsprechend normiert.

In der Originalmethode wird explizit darauf hingewiesen, dass eine Zunahme des Unterstandangebotes nicht automatisch als Verbesserung eingestuft wird. In dieser Arbeit wird eine Entwicklung eines Systems in die Richtung eines natürlicheren Zustandes *a priori* als Erfolg gewertet. In diesem Sinne wird darauf hingewiesen, dass im Rahmen dieser Arbeit eine Zunahme des Unterstandangebotes als Verbesserung eingestuft wird. Dies geschieht vorsätzlich und wird bei der Diskussion berücksichtigt.

Indikator 35: Qualität und Korngrösseverteilung des Substrats

Die Kornverteilung im Substrat widerspiegelt die Morphologie von Sohle und die Vielfalt an Habitatbedingungen. Der Flächenanteil von verschiedenen Substratklassen wird aufgenommen. Deren Verteilung bildet die Grundlage zur Beurteilung.

Indikator 36: Sohlenstruktur

Die Vielfalt verschiedener Habitatstrukturen mit unterschiedlichen hydraulischen Bedingungen fördert die Vielfalt der Biozönose. Anhand der Anzahl Strukturen pro Einheitslänge (LE = 12 x Breite) wird die Sohlenstruktur bewertet.

Indikator 45: Uferstruktur

Das natürliche Ufer erfüllt eine wichtige Funktion bei der lateralen Vernetzung und als Ökoton. Art und Längenanteil von Längsverbauungen sowie die Anzahl Strukturtypen im unverbauten Abschnitt werden aufgenommen. Aus verbauten und unverbauten Abschnitten werden zwei Parameter gebildet, welche verrechnet die Beurteilung ergeben.

2.7. Biotischer Indikator

Indikator 23: Taxonomische Zusammensetzung des Makrozoobenthos

Die Morphologie, die Hydrologie, die Gewässerdynamik und auch die Wasserqualität haben einen Einfluss auf die Makroinvertebraten. Da diese wenig mobil und oft empfindlich sind, widerspiegelt die Artenzusammensetzung alle die auf sie einwirkenden Faktoren. Die Artengemeinschaft in einem Gewässer kann somit als integrierendes Überwachungsinstrument für den Gesamtzustand des Fließgewässerökosystems verwendet werden (BUWAL, 2005). Die Methode zur zoobenthologischen Erhebung basiert auf BUWAL 2005 (siehe Abschnitt 2.9.1). Zur Berechnung des Indikatorwertes können der Makroindex (MI) und der Indice

biologique global normalisé (IBGN) (Agences de l'eau, 2000) verwendet werden. Die Zuordnung erfolgt anhand einer Tabelle, welche jedem Indexwert einen Indikatorwert zuschreibt.

Eine eindeutige Zuordnung anhand beider Indexwerte war jedoch nicht möglich. Die auf dem MI basierenden Indikatorwerte waren alle sehr nahe beieinander. Es wurde der IBGN zur Bestimmung des Indikatorwerts verwendet.

Durch seine Abhängigkeit von dem Verhältnis Insektentaxa/nicht Insektentaxa wertet der MI eine Zunahme der Anzahl Taxa, welche hauptsächlich durch nicht Arthropoden Taxa verursacht wird negativ. Der IBGN macht diese Wertung nicht *a priori* und ist in diesem Sinne stärker an den präsenten Indikatortaxa (Insekten) orientiert. Bei der Zuordnung von Indexwerten hat der MI darüber hinaus eine gröbere Auflösung (1-8) als der IBGN (0-20). Eine eingeschränkte Anwendbarkeit bei kleinräumigeren Aufnahmen (im Gegensatz zu der Anwendung auf Stufe F) wird auch durch Rückmeldungen von Anwendern angedeutet (pers. Mitteilung Dr. S. Langhans, Modul-Stufen-Konzept). Für eine detailliertere Anwendung sei der IBGN dann auch besser geeignet, da er eine differenziertere Aussage zulässt (pers. Mitteilung Dr. U. Karaus, Aqua Plus). Der MI wird in der Schweiz häufiger verwendet, im Rahmen der Verwendung des HEFR ist der Gebrauch des IBGN jedoch zulässig. Aus diesen Gründen, und um eine interpretierbare Differenz zu haben, fiel die Wahl auf den IBGN. Die Werte des MI werden auch präsentiert.

2.8. Projektziele

Zur Beurteilung des Erfolgs werden die Indikatoren im HEFR nach der individuellen Betrachtung gemäß ihrer Eignung für die Beurteilung von Projektzielen aggregiert (Tabelle 2). In der Originalmethode bestimmen die gewählten, zu bewertenden Projektziele die Indikatorwahl. Aufgrund der Einschränkungen entsprechend dem zu leistenden Arbeitsaufwand wurden in dieser Arbeit die Indikatoren direkt gewählt. Demnach bestimmte diese Wahl die Projektziele, welche beurteilt werden konnten. Dadurch wird die Aussagekraft betreffend des Erfolgs bei bestimmten Projektzielen, welche nur anhand weniger Indikatoren (z. T. indirekt) beurteilt wurden, verringert (Vergleich Tabelle 2). Die Veränderungen bei den Projektzielen werden im HEFR schlussendlich weiter aggregiert, und der Bereich Umwelt und Ökologie kann beurteilt werden.

Tabelle 2: Eignung der Indikatoren für die Beurteilung der Projektziele. O = direkte Messgrösse, X = indirekte Messgrösse. Blau sind vom Modul-Stufen-Konzept abgeleitete Indikatoren, rot Indikatoren des HEFR (zusammengestellt nach Woolsey, et al., 2005)

| | Indikator Nr. | | | | | | | | | |
|--|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 4 | 11 | 14 | 35 | 36 | 37 | 42 | 45 | 46 | 23 |
| Morphologische und hydraulische Variabilität | | X | O | O | O | O | O | O | O | X |
| Naturnaher Geschiebehaushalt | | X | X | X | X | | | | | X |
| Naturnahes Temperaturregime | | | | | | | X | | | |
| Longitudinale Vernetzung | O | | | | X | | | X | | X |
| Laterale Vernetzung | | X | O | | X | | X | O | X | X |
| Vertikale Vernetzung | | | | X | X | | | | O | X |
| Naturnahe Diversität und Abundanz der Flora | | | | | X | | X | | X | |
| Naturnahe Diversität und Abundanz der Fauna | | X | | X | X | X | X | X | X | O |
| Funktionierende organische Kreisläufe | | X | | | X | | X | | X | |

2.9. Methodik der Probenahmen

2.9.1. Probenahme Makrozoobenthos

Die zoobenthologische Erhebung wurde mit der in BUWAL 2005 beschriebenen Methode durchgeführt. Die Vorgehensweise wurde dabei leicht angepasst. An jeder Untersuchungsstrecke wurde das Substrat während fünf Minuten aufgewühlt und das aufgewirbelte Material in Strömungsrichtung mit dem Handnetz (Öffnung, Maschenweite) aufgefangen (Kick Sampling). Dabei wurden im vornherein der zeitliche Aufwand innerhalb dieser fünf Minuten für jedes Choriotope entsprechend seines flächenmäßigen Anteils an der Untersuchungsstrecke abgeschätzt. Für Strecken mit einer Vielfalt von Choriotopen ergab sich somit eine kürzere Beprobungszeit pro Choriotope als bei Abschnitten mit einem oder wenigen Choriotopen. Die erhaltene Mischprobe wurde im Feld durch Dekantieren von Steinen und kiesigem Material befreit und in Plastikbehältnisse umgefüllt. Die gesamte Probe wurde fixiert (Ethanol 70%) und zur Bearbeitung ins Labor mitgenommen. Da zum Teil beachtliche Mengen an organischem Material in den Proben enthalten waren, wurden diese im Labor zusätzlich zur chemischen Konservierung bei 4°C gelagert.

Probenahmen wurden an drei Terminen durchgeführt, am 31. März, am 8. Mai und am 21. Juni 2008. Neben den empfohlenen Proben von Sommer und Winter wurde somit eine weitere zu einem Zeitpunkt dazwischen genommen.

Bei der Bearbeitung der Proben im Labor wurde der Vorgehensweise in BUWAL 2005 gefolgt. Für die Auswertung der Daten wurden die Resultate der Bestimmung der enthaltenen Taxa in dem PC-Datenbank-Programm ECOPROF 2.5_CH eingegeben. Der IBGN, der MI und weitere Diversitätsindizes wurden berechnet.

2.9.2. Probenahme Fische

Zur Befischung der Untersuchungsabschnitte wurde die Removal Methode verwendet, bei der die in mehreren Durchgängen gefangenen Fische aus dem Gewässer entfernt werden (Peter & Erb, 1996). Es handelt sich hier um eine quantitative Befischung, bei der die zu untersuchende Strecke am oberen und unteren Ende abgesperrt wird. Die Voraussetzungen für den Einsatz dieser Methode (White, Anderson, Burnham, & Otis, 1982) wurden erfüllt. Bei dieser Momentaufnahme ist es möglich, eine Fehlerabschätzung für die berechnete Populationsgrösse zu machen. Die Removal Methode neigt jedoch zu einer Unterschätzung der wahren Populationsgrösse (Peter & Erb, 1996).

Es wurden an den Untersuchungsstrecken Bünzaue und Autobahn Befischungen durchgeführt, wobei bei der Bünzaue der Hauptarm und der Nebenarm in separaten Befischungen erhoben wurden. Die empfohlenen drei Durchgänge wurden für die Bünzaue auf einer Länge von 265m (140m im Hauptgerinne und 125m im Nebengerinne) und für Möriken kanalisiert auf einer Länge von 200m gemacht. Während der Halterung der Fische in großen belüfteten Becken an Land wurden für alle Individuen die Art bestimmt und die Länge und das Gewicht aufgenommen.

2.9.3. Chemische und physikalische Probenahme

Wasserproben (Ein Liter pro Untersuchungsstrecke) wurden an den gleichen drei Terminen wie die zoobenthologische Proben genommen. Die Proben wurden kühl gelagert und am gleichen Tag zur Untersuchung im Wasserchemielabor der Eawag abgegeben. Gemessen wurden die Werte von Alkalinität, DOC (gelöster organischer Kohlenstoff), POC (partikulärer organischer Kohlenstoff), TIC (totaler inorganischer Kohlenstoff), Nitrat, Nitrit, Ammonium, ortho-Phosphat, partikulärem und gelöstem Stickstoff und partikulärem und gelöstem Phosphor. Die Temperatur, die Leitfähigkeit (WTW LF 340, Weinheim, Deutschland) und die Trübheit (Cosmos, Züllig AG, Schewitz) wurden mit elektronischen Sonden gemessen. Die Messung dieser Parameter diente in erster Linie der Überprüfung, ob es neben den hydromorphologischen Unterschieden weitere wichtige Faktoren gibt, welche eine Abgrenzung der Untersuchungsstrecken zueinander zur Folge haben.

2.10. Datenauswertung

Für die Auswertung der erhobenen Daten wurden unabhängig von einander zwei Vorgehensweisen verfolgt. Die Auswertung der Ergebnisse der Indikatorerhebung nach der Methodik im HEFR erlaubt eine Aussage betreffend der Veränderung der Untersuchungsstrecken. Die Einteilung in eine von fünf Erfolgskategorien geschieht je Indikator, für die Projektziele und für den Bereich Umwelt und Ökologie.

Die gemessenen chemischen und physikalischen Parameter und die Artenlisten wurden quantitativ analysiert. Zudem wurde eine statistische Methode auf die Gesamtheit der erhobenen Daten der Morphologie und der Lebensgemeinschaften angewendet. Ziel von dieser war es, wichtige Faktoren für die Artenzusammensetzung zu identifizieren, und die Gründe für Veränderungen zu analysieren.

2.10.1. Auswertung der Indikatoren

Die Auswertung der Indikatoren erfolgt nach der Methode des HEFR (Woolsey, et al., 2005). Dem Vergleich der Indikatorwerte vor und nach dem Eingriff entspricht in dieser Arbeit der Vergleich der Indikatorwerte der degradierten Referenz (MK) mit denen der anderen Untersuchungsstrecken. Die Veränderungskategorien werden anhand einer Vergleichsmatrix bestimmt. Dabei wird eine jeweils die Ausgangssituation berücksichtigt. Die gleiche Veränderung ausgehend von einem stark degradierten Zustand wird als leichte Verbesserung gewertet, ausgehend von einem naturnahen Zustand als starke Verbesserung.

In einem nächsten Schritt findet eine Beurteilung der durch die Indikatoren bemessenen Projektziele statt. Zuletzt wird der den Projektzielen übergeordneten Bereich Umwelt und Ökologie in Form einer Aussage zum ökologischen Erfolg des „Projektes“ beurteilt.

2.10.2. Statistische Analyse

Analyse von Unterschieden

Die gemessenen chemischen und physikalischen Parameter sowie die Taxalisten wurden mit einer Hauptkomponentenanalyse untersucht. Die Ergebnisse wurden in Streudiagrammen dargestellt und interpretiert.

Analyse von Korrelationen

Zur Analyse der Korrelationen zwischen den Parametern der Hydromorphologie und der Lebensgemeinschaften (Ersatzwerte für Artendiversität und –zusammensetzung: Shannon-Wiener, Whilm-Dorris (Wilhm & Dorris, 1968), Evenness, Artenzahl, IBGN (Agences de l'eau, 2000)) wurde eine Hauptkomponentenanalyse nach dem Ansatz von Burnham und Anderson (2002) durchgeführt.

Model Selektion (Burnham & Anderson, 2002) wurde verwendet, um die Effekte der morphologischen und hydraulischen Parameter auf die Artenzusammensetzung der Makroinvertebraten zu erklären. Es wurden *a priori* 17 Kandidatenmodelle formuliert, welche je eine Hypothese repräsentieren.

In einem ersten Schritt wurden über eine Variablenreduktion Faktoren eliminiert, welche stark korrelierten ($r \geq 0.5$). Faktoren, welche in die Analyse gingen, wurden Z-standardisiert und die Anzahl Taxa wurde log-transformiert um die Normalverteilung der Residuen zu gewährleisten. Die Kandidatenmodelle wurden in der Statistik-Software R (R Development Core Team, 2005) mit allgemeinen linearen Modellen angepasst. Die Anpassung der Modelle wurde anhand des Determinationskoeffizienten (R^2) bemessen.

Tabelle 3: Faktoren, die bei der „model-selection“ verwendet wurden. Der Name der Modelle ist eindeutig. Die Bezeichnung in R und die Symbole wurden kontextabhängig verwendet. Die Faktoren werden kurz beschrieben. Faktoren welche in den besten Modellen vorkamen sind fett markiert. Eine Graphik mit den der diskreten Variable „Störung“ zugrundeliegenden Abflussdaten befindet sich im Anhang. Die Anzahl Makrozoobenthos Taxa ist die verwendete abhängige Variable.

| Variablen | Name | Bezeichnung in R | Symbol | Beschreibung |
|---|---|------------------------|--|--|
| Abhängige Variablen (berechnen anhand der Taxalisten je Stelle und Termin) | IGBN | igbn | | Indice global biologique normalisé |
| | Diversität S&W | divsw | | Diversität nach Shannon-Wiener |
| | Diversität W&D | divwd | | Diversität nach Whilm-Dorris |
| | Eveness | evenness | | Eveness |
| | Anzahl Taxa | nspecies | N | Anzahl Taxa |
| | Modul Stufen Konzept | msk | | Ökomorphologieklasse nach BUWAL (1998). |
| Beschreibende Variablen | Saison | day | d | Enthält den Zeitunterschied zwischen dem 1., 2. und 3. Termin |
| | Indikator Fischhabitat | morfishhab | | Indikator Fischhabitate (HEFR) |
| | Indikator Breitenvariabilität | morwidthvar | | Indikator qualitative Wasserspiegelbreitenvariabilität (HEFR) |
| | Indikator Substratqualität | morsoilquality | | Indikator Qualität und Korngrösseverteilung des Substrats (HEFR) |
| | Indikator Strukturen | morstruc | | Indikator Sohlenstruktur (HEFR) |
| | Indikator Sohlenverbauung | morsoildegr | | Indikator Sohlenverbauung (HEFR) |
| | Indikator Uferbereichsqualität | morbankwidth | | Indikator Breite und Beschaffenheit des Uferbereichs (HEFR) |
| | Indikator Uferstruktur | morbankstruc | | Indikator Uferstruktur (HEFR) |
| | Indikator Uferverbauung | morbankdegr | | Indikator Verbauungsgrad und -art des Böschungsfusses (HEFR) |
| | Indikatoren Mittelwert | mor_mw | Ö_{mor} | Mittelwert der Indikatoren (HEFR) |
| | Abfluss Einzelmessung | discharge | Q | Am ersten Termin gemessener Abfluss bei jeder Untersuchungsstrecke. |
| | Tiefenvariabilität | depth | | Gemessene Tiefenvariabilität |
| | Wasserspiegelbreite | width | | Mittelwert der gemessenen Wasserspiegelbreite |
| | Wasserspiegelbreitenvariabilität | width_var | B_{var} | Variabilität der gemessenen Wasserspiegelbreite |
| | Gefälle | slope | | Gefälle (Quelle: Streule (2000)) |
| | Habitatsalter | habage | H_{Age} | Zeit seit der Entstehung der Habitate |
| Abfluss Mittelwert | discharge_longMW | | Langfristiger Mittelwert des Abflusses der nächsten Messstation | |
| Abfluss Mittelwert CV | discharge_longCV | Q_{var} | Variabilität der langfristigen Mittelwerte des Abflusses der nächsten Messstation | |
| Fliessgeschwindigkeit Mittelwert | velocity_mw | v | Mittelwert der gemessenen Fliessgeschwindigkeiten | |
| Fliessgeschwindigkeit CV | velocity_cv | | Variabilität der gemessenen Fliessgeschwindigkeit | |
| Diskrete beschreibende Variablen (nicht in Variabelreduktion eingegangen) | Störung (Hochwasser) | flood | HW | Störung durch ein Hochwasser in den 19 Tagen vor der Probenahme |
| | Standort | site | US | Standort |

Zur Interpretation der Ergebnisse wurden Akaike's Kriterien für kleine Proben ($\Delta AICc$), Akaike's Gewichtungen (w_i), Effektgrößen β , Variationskoeffizienten und Vertrauensintervalle betrachtet (Burnham & Anderson, 2002). Differenzen unter den Akaike Kriterien für kleine Proben ($\Delta AICc$) wurde verwendet um die Rangfolge der Modelle zu beurteilen und die Akaike Gewichtungen (w_i) dienen zur Auskunft über die Unsicherheiten bei der Modellwahl. Bei einem Wert von $\Delta AICc > 10$ wird keine Unterstützung des Modells durch die Daten mehr

angenommen. Ein w_i von 0.9 oder niedriger deutet auf Unsicherheiten bei der Modellwahl hin (Burnham & Anderson, 2002). Um Unsicherheiten bei der Modellwahl einzuschließen, wurde Modell-Mittelwertbildung angewandt (Burnham & Anderson, 2002). Zur Bestimmung der Relevanz der Faktoren wurden die Regressionskoeffizienten (Betas, β) und die Variationskoeffizienten ($CV=SE/\beta$) sowie die Vertrauensintervalle betrachtet. Faktoren mit hohen Betas haben den stärksten Einfluss. Faktoren, welche Null im Vertrauensintervall enthielten und solche mit $CV > 0.5$ wurden als irrelevant klassiert (Burnham & Anderson, 2002).

Siebzehn Kandidatenmodelle wurden zur Bestimmung der Betas quantifiziert. Voruntersuchungen mit nicht linearen Abhängigkeiten ergaben keine Unterschiede zu linearen. Der kleine Datensatz erlaubte keine Modellierung von nichtlinearen Effekten und Interaktionen. Es wurden maximal zwei Faktoren pro Modell verwendet. Mit den Ein-Faktor Modellen wird eine überragende Abhängigkeit des Makrozoobenthos von einzelnen Faktoren angenommen. Die Untersuchungsstrecke kommt bei Zwei-Faktor-Modellen hinzu, um zu überprüfen, ob die Faktoren nur Standortbedingt einen Einfluss haben.

Tabelle 4: Kandidatenmodelle mit Beschreibung der Art des Einflusses der Faktoren auf die Zusammensetzung des Makrozoobenthos (MZB).

| Nr. | Faktoren | Modell | Art des Einflusses auf die Zusammensetzung des MZB |
|-----|-----------------------|---|---|
| 1 | US | Standorteffekt | Der Standort bestimmt das MZB |
| 2 | \ddot{O}_{Mor} | Hydromorphologische Qualität | Die Hydromorphologie allgemein beeinflusst das MZB |
| 3 | US + \ddot{O}_{Mor} | Standorteffekt und Hydromorphologische Qualität | - |
| 4 | H_{Age} | Zeit seit Habitatentstehung | Die Zeit seit der Habitatentstehung ist für das MZB entscheidend |
| 5 | US + H_{Age} | Standorteffekt und Zeit seit Habitatentstehung | - |
| 6 | d | Saisonale Schwankungen | Die Jahreszeit ist für das MZB entscheidend |
| 7 | US + d | Standorteffekt und Saisonale Schwankungen | - |
| 8 | Q | Abflussgrösse | Die Grösse des mittleren Abflusses beeinflusst das MZB |
| 9 | US + Q | Standorteffekt und Abflussgrösse | - |
| 10 | v | Strömungsverhältnisse | Die Strömungsgeschwindigkeiten beeinflussen das MZB |
| 11 | US + v | Standorteffekt und Strömungsverhältnisse | - |
| 12 | HW | Hochwasser (Störung) | Hochwasserereignisse haben einen Einfluss auf das MZB |
| 13 | US + HW | Standorteffekt und Hochwasser (Störung) | - |
| 14 | Q_{var} | Dynamik des Abflusses (Wiederkehrende Störung) | Die periodizität von Hochwassern beeinflusst das MZB |
| 15 | US + Q_{var} | Standorteffekt und Dynamik des Abflusses (Wiederkehrende Störung) | - |
| 16 | B_{var} | Wasserspiegelbreitenvariabilität | Die Wasserspiegelbreitenvariabilität hat einen einfluss auf das MZB |
| 17 | US + B_{var} | Standorteffekt und Wasserspiegelbreitenvariabilität | - |

2.11. Übersicht Methoden und Resultate

Tabelle 5: Übersicht der angewendeten Methoden und der Resultate die präsentiert werden.

| | Morphologie und Hydraulik | Makrozoobenthos | Fischfauna |
|-----------|--|--|--|
| Methoden | <ul style="list-style-type: none"> • Aufnahme von hydromorphologischen Parametern (BUWAL, 1998; Woolsey, et al., 2005). • Berechnung der Indikatoren des HEFR (Woolsey, et al., 2005). • Aufnahme von hydraulischen Größen. • Messung von chemischen und physikalischen Parametern an drei Terminen. | <ul style="list-style-type: none"> • Zoobenthologische Probenahme an drei Terminen (BUWAL, 2005). • Berechnung des Indikators Makroinvertebraten (BUWAL, 2005; Woolsey, et al., 2005). • Berechnung von Indizes (Diversitätsindizes, MI (BUWAL, 2005), IBGN (Agences de l'eau, 2000)). • Quantitative Analyse der Taxalisten. • Qualitative Analyse der Taxalisten. | <ul style="list-style-type: none"> • Abfischung an zwei Strecken nach der Removal-Methode (Peter & Erb, Leitfaden für fischbiologische Erhebungen in Fließgewässern unter Einsatz der Elektrofischerei. In Mitteilungen zur Fischerei Nr. 58., 1996). • Berechnung des Indikators Fische: Habitate und Strukturen (Woolsey, et al., 2005). |
| Resultate | <ul style="list-style-type: none"> • Bewertung von Veränderungen bei 9 Indikatoren (HEFR) auf den Stufen Indikator, Projektziele und Bereich Umwelt und Ökologie. • Hydraulische Daten für vier Untersuchungsstrecken (BA, MN, MK und DR). • Qualitativer Beschrieb der sieben Untersuchungsstrecken. • Analyse von chemischen und physikalischen Parameter. | <ul style="list-style-type: none"> • Bewertung von Veränderungen bei einem Indikator (HEFR). • Vergleich des IBGN und des Diversitätsindex (S&W) für die sieben Strecken. • Quantitative und qualitative Bewertung der Taxalisten. | <ul style="list-style-type: none"> • Bewertung von Veränderungen bei einem Indikatoren (HEFR). • Qualitativer Beschrieb des Habitatangebots der sieben Strecken. • Daten einer Abfischung bei zwei Strecken (BA und MK). |

3. Resultate

3.1. Beurteilung der Indikatoren, der Projektziele und des ökologischen Erfolgs

Die Untersuchung mit der Methode des HEFR liefert Ergebnisse in der Form von Veränderungen gegenüber dem Ausgangszustand bzw. in dieser Arbeit gegenüber der degradierten Referenz. Diese Veränderungen werden in fünf Veränderungskategorien bewertet. Die Kategorien sind in Tabelle 6 beschrieben. Die Auswertung erfolgt in drei Schritten. In einem ersten Schritt werden die Indikatoren einzeln und für jede Untersuchungsstrecke bewertet. In einem zweiten Schritt werden die Ergebnisse der einzelnen Indikatoren gemäß ihrer Eignung zur Beurteilung der verschiedenen Projektziele aggregiert. Die Beurteilung der Veränderung bei jedem Projektziel erfolgt wieder anhand der Erfolgskategorien. In einem dritten und letzten Schritt wird der Bereich Umwelt und Ökologie, zu dem die Projektziele gehören, in der gleichen Form bewertet. Zuerst werden die Ergebnisse für die abiotischen Indikatoren präsentiert, danach die für den Indikator Makroinvertebraten

Tabelle 6: Veränderungskategorien für die Indikatoren, die Projektziele und den Bereich Umwelt und Ökologie. Zuordnung zu Symbolen und Farbcode.

| Symbol | Veränderung |
|--------|-----------------------|
| - | Verschlechterung |
| 0 | keine Veränderung |
| + | leichte Verbesserung |
| ++ | mittlere Verbesserung |
| +++ | starke Verbesserung |

3.1.1. Indikatoren

In Tabelle 6 sind die Veränderungskategorien für alle Indikatoren dargestellt. Es gibt bei keinem Indikator eine Verschlechterung. Bei dem Indikator für die longitudinale Konnektivität (Indikator 4) gab es in keiner Strecke eine Veränderung. Die Indikatoren für die Sohlen- und Böschungsfussverbauung (37 und 46) erzielten bei allen Abschnitten eine starke Verbesserung. Auch bei den Indikatoren 14, 36 und 45 werden bei allen Strecken Verbesserungen verzeichnet, zum Teil nur schwache. Die durchschnittlich kleinsten Veränderungen für alle Strecken wurden bei den Fischhabitaten und bei dem Substrat festgestellt (11 und 35). Bei dem Uferbereich sind es die beiden obersten Strecken die eine starke Verbesserung erfahren. Der geringere Platzbedarf des Baches spielt hierbei eine entscheidende Rolle. Aber auch bei BA gibt es eine Verbesserung, dies obwohl der Bach hier mit großem Abstand am breitesten ist.

3.1.2. Projektziele

Alle Projektziele aus dem Bereich Umwelt und Ökologie konnten mit den erhobenen Indikatoren bewertet werden. Auch der Indikator Makroinvertebraten, welcher oben weggelassen wurde, ging in die Bewertung ein.

Die Einteilung der sechs Untersuchungsstrecken in die Veränderungskategorie je Projektziel wird in Tabelle 7 zusammengefasst dargestellt. BA, BRN und BRA verzeichnen bei zwei Projektzielen eine starke Verbesserung, MN und DR bei einem. Alle Untersuchungsstrecken außer WS verzeichnen bei mindestens sieben Projektzielen eine mittlere Verbesserung. Die Verbesserung bei WS ist in sechs Fällen leicht und in einem Fall gab es keine Veränderung.

Tabelle 7: Veränderungskategorien der neun abiotischen Indikatoren für die Untersuchungsstrecken.

| Stelle | Indikatoren | | | | | | | | |
|--------|-------------|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 4 | 11 | 14 | 35 | 36 | 37 | 42 | 45 | 46 |
| BA | 0 | 0 | +++ | 0 | +++ | +++ | ++ | +++ | +++ |
| MN | 0 | + | ++ | ++ | +++ | +++ | + | +++ | +++ |
| DR | 0 | +++ | +++ | + | ++ | +++ | + | +++ | +++ |
| WS | 0 | + | + | 0 | + | +++ | 0 | ++ | +++ |
| BRN | 0 | 0 | +++ | ++ | ++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| BRA | 0 | + | + | ++ | + | +++ | +++ | ++ | +++ |

- 4 Durchgängigkeit für Fische
- 11 Fische: Unterstände und Strukturen
- 14 Qual. Ausprägung der W'spiegelbreitenvariabilität
- 35 Sohle: Qualität und Korngrösseverteilung des Substrats
- 36 Sohle: Sohlenstruktur
- 37 Sohle: Verbauungsgrad und -art der Sohle
- 42 Ufer: Breite und Beschaffenheit des Uferbereiches
- 45 Ufer: Uferstruktur
- 46 Ufer: Verbauungsgrad und -art des Böschungsfusses

Tabelle 8: Veränderungskategorien der neun Projektziele für die Untersuchungsstrecken.

| Stelle | Projektziele | | | | | | | | |
|--------|--------------|----|-----|----|----|----|-----|----|-----|
| | a | b | c | d | e | f | g | h | i |
| BA | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | +++ | ++ | +++ |
| MN | ++ | ++ | + | ++ | ++ | ++ | +++ | ++ | ++ |
| DR | ++ | ++ | + | + | ++ | ++ | ++ | ++ | +++ |
| WS | + | + | 0 | + | + | + | ++ | + | ++ |
| BRN | ++ | ++ | +++ | + | ++ | ++ | +++ | ++ | ++ |
| BRA | ++ | + | +++ | + | ++ | ++ | +++ | ++ | ++ |

- a Morphologische und hydraulische Variabilität
- b Naturnaher Geschiebehaushalt
- c Naturnahes Temperaturregime
- d Longitudinale Vernetzung
- e Laterale Vernetzung
- f Vertikale Vernetzung
- g Naturnahe Diversität und Abundanz der Flora
- h Naturnahe Diversität und Abundanz der Fauna
- i Funktionierende organische Kreisläufe

3.1.3. Bereich Umwelt und Ökologie

Die auf den Bereich Umwelt und Ökologie aggregierten Veränderungen der Untersuchungsstrecken sind sehr gleichmäßig (Abbildung 4). Alle Strecken außer WS weisen eine mittlere Verbesserung auf. Die Verbesserung bei WS ist leicht.

Bei einer differenzierteren Betrachtung der Veränderung der Projektziele kann man eine Rangfolge machen. Dabei wird beispielsweise eine leichte Verbesserung bei zwei Projektzielen besser gewertet als eine mittlere Verbesserung bei einem Projektziel. Die Bünzaue erzielt so die stärkste Verbesserung, dahinter ist BRN, die neuste der drei Revitalisierungen. An dritter Stelle steht MN, die naturnahe Strecke. BRA kommt auf den vierten Platz, gefolgt von DR, der ältesten Revitalisierung. Klar an letzter Stelle bei der Verbesserung der Projektziele ist WS.

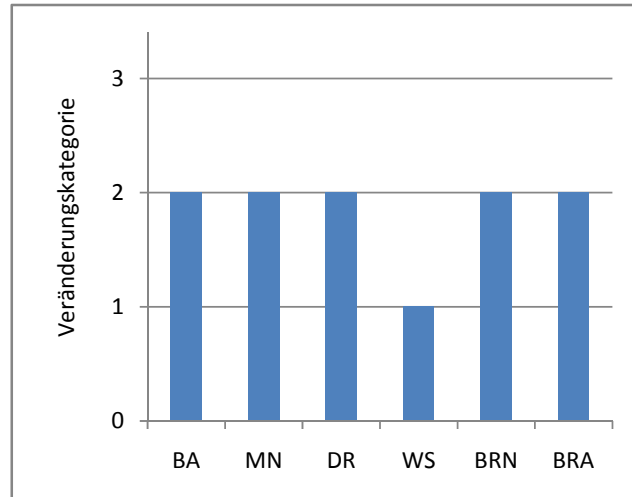


Abbildung 4: Veränderungskategorien für den Bereich Umwelt und Ökologie der Untersuchungsstrecken.

3.2. Indikator Makroinvertebraten: Termin-Taxalisten

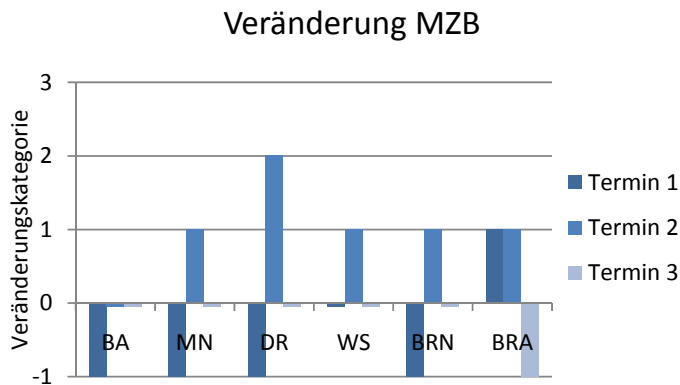
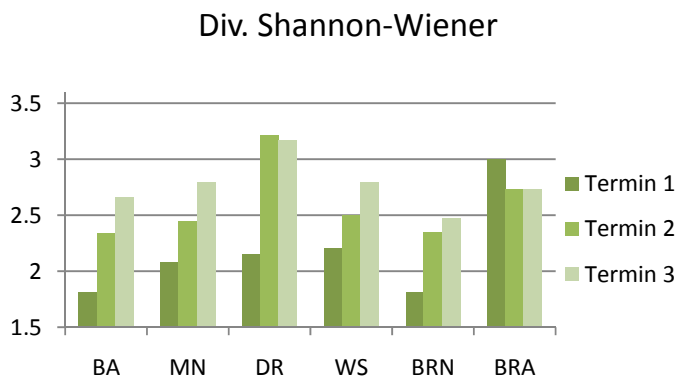
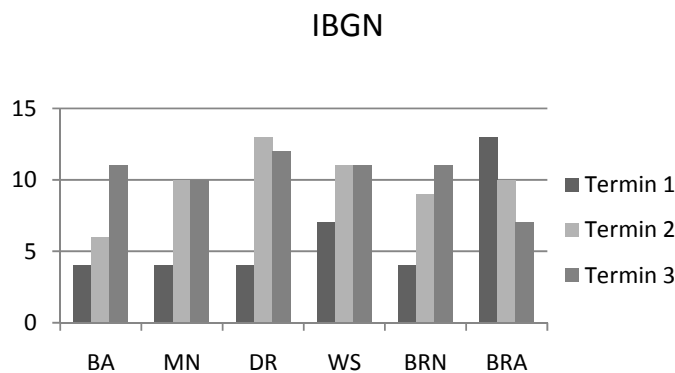
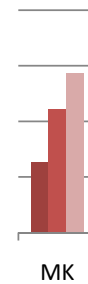


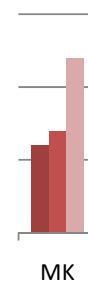
Abbildung 5: Einteilung der Untersuchungsstrecken in die Veränderungskategorien (-1 = (-), 1 = (+), 2 = (++) , 3 = (+++)) für die Taxalisten der Makroinvertebraten der drei Termine. Vergleich mit dem zugrundeliegenden IBGN und dem Shannon-Wiener-Index. Bei den Indizes sind die Werte für die degradierte Referenz, welche die direkte Vergleichsgrundlage ist, dargestellt.



Ref.



Ref.



Die Bewertung der Makroinvertebraten mit den Veränderungskategorien fällt sehr unterschiedlich aus (Abbildung 5). Nur eine Untersuchungsstrecke (DR) verzeichnet am zweiten Termin eine mittlere Verbesserung. Alle Untersuchungsstrecken ausser BA verzeichnen an mindestens einem Termin eine leichte Verbesserung. Eine Verschlechterung wird bei BA, MN, DR und BRN am ersten, bei BRA am letzten Termin gemessen. WS zeigt nie eine Verschlechterung. Sieben Mal wurde kein Unterschied zu der degradierten Referenz festgestellt. Der Vergleich wurde immer innerhalb eines Termins durchgeführt.

Bei der Entwicklung des IBGN über die drei Termine ist der allgemeine Trend eine Verbesserung von Anfang Saison gegen Sommer, auch bei der degradierten Referenz. Bei DR wird der höchste Wert am zweiten Termin gemessen. Und BRA zeigt einen gegenläufigen Trend, der IBGN ist am ersten Termin am höchsten und nimmt gegen Sommer hin ab.

Veränderung MZB

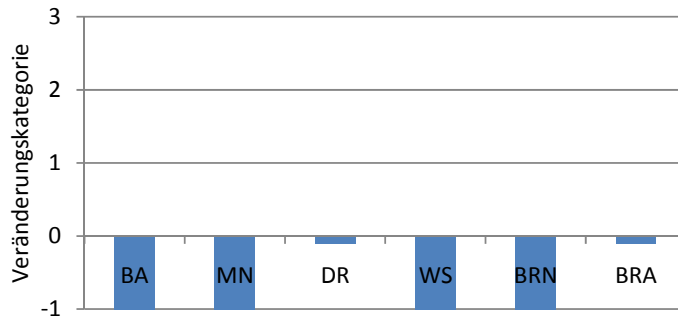
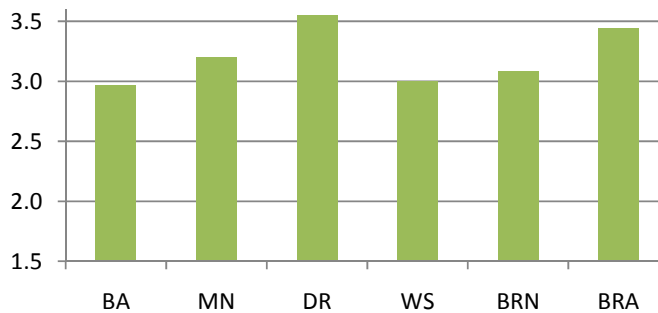


Abbildung 6: Einteilung der Untersuchungsstrecken in die Veränderungskategorien (-1 = (-), 1 = (+), 2 = (++) , 3 = (+++)) für die Gesamttaxaliste der Makroinvertebraten. Vergleich mit dem zugrundeliegenden IBGN und dem Shannon Wiener Index. Bei den Indizes sind die Werte für die degradierte Referenz, welche die direkte Vergleichsgrundlage ist, dargestellt.

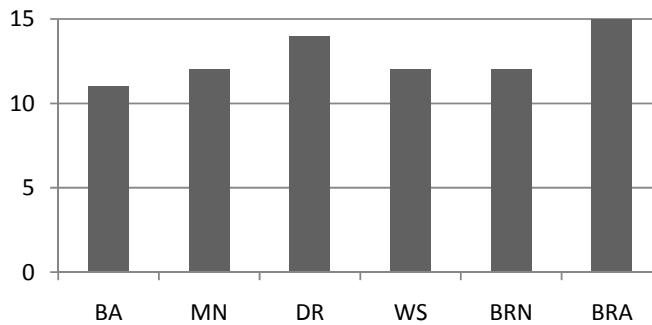
Div. Shannon-Wiener



Ref.



IBGN



Ref.



Tabelle 9: Zuordnung einer Gewässerstelle zu einer von fünf Qualitätsklassen anhand der Anzahl Gesamtpunkte des IBGN mit üblichem Farbcode (aus: BUWAL, 2005).

| Biologischer Gewässerzustand | IBGN |
|------------------------------|-----------|
| sehr gut | 17 bis 20 |
| gut | 13 bis 16 |
| mässig | 9 bis 12 |
| unbefriedigend | 5 bis 8 |
| schlecht | 0 bis 4 |

Bei den Diversitätsindizes nach Shannon-Wiener zeigt sich das gleiche Bild wie bei dem IBGN. Der positive Trend zum Sommer hin ist aber deutlicher. Der negative Trend bei BRA hingegen weniger deutlich. DR hat wiederum am zweiten Termin den höchsten Diversitätsindex.

3.3. Indikatoren Makroinvertebraten: Gesamttaxalisten

Wenn man die IBGN Werte der Gesamttaxalisten, also der Liste aller gefundenen Taxa aus den drei Terminen, vergleicht, verzeichnen BA, MN, WS und BRN eine Verschlechterung. Bei den revitalisierten Untersuchungsstrecken DR und BRA wird keine Veränderung festgestellt. Den höchsten IBGN für die Gesamttaxalisten hat BRA gefolgt von DR. Alle anderen Untersuchungsstrecken haben hier einen niedrigeren IBGN als die degradierte Referenz (MK). Wie bei den Indizes für die Termin-Taxalisten zeigt sich auch bei den Gesamttaxalisten ein sehr ähnliches Bild bei dem IBGN und den Diversitätsindizes. Den höchsten Diversitätsindex hat DR.

3.4. Ergebnisse MZB qualitativ

Die häufigsten Taxa, bei welchen die Individuen oft in großer Anzahl vorkamen, sind Chironomiden, Baetis sp. und Gammarus fossarum (starke Abnahme am letzten Termin). Vor allem bei den Chironomiden muss bei manchen Proben von klarer Dominanz gesprochen werden. Im Allgemeinen sind es die toleranten Arten oder Familien, welche in großer Zahl vorkommen. Für eine qualitative Unterscheidung der Untersuchungsstrecken spielen jedoch wenig abundante Taxa eine Rolle.

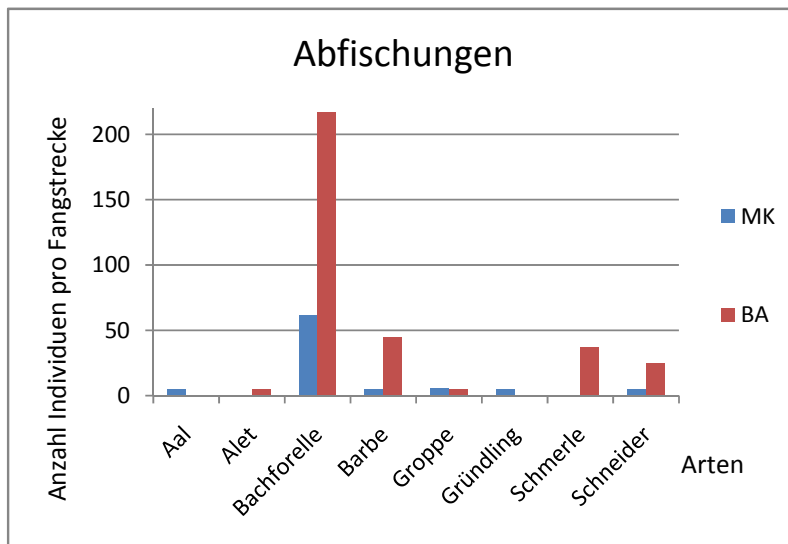
Die Unterschiede zwischen der Taxalisten der degradierten Referenz und der Taxalisten der anderen sechs Stellen wurden untersucht. Es wurden 35 Taxa gefunden, welche nicht in der degradierten Referenz vorkommen. Dies sind 49% aller Taxa, welche im Rahmen dieser Probenahmen an der Bünz gefunden wurden. Umgekehrt wurden nur vier Taxa gefunden, welche in der degradierten Referenz vorkommen und nicht in den anderen Untersuchungsstrecken. Bei allen vier handelt es sich um Einzelfunde. Man kann somit sagen, dass Taxa, welche in der degradierten Referenz vorkommen auch an den anderen Stellen vorkommen. Umgekehrt ist dies nicht der Fall.

Die autökologischen Eigenschaften der Taxa (Euro-limpacs Consortium, 2008; Quellen für die ökologische Daten für taxonomische Gruppen sind im Literaturverzeichnis mit * gekennzeichnet), welche auf Artniveau bestimmt wurden und welche im Vergleich zur degradierten Referenz dazugekommen sind wurden betrachtet. Bei neun von vierzehn Arten wurden Ökologische Parameter (Ansprüche an den Lebensraum, Strömungspräferenzen, Substratspräferenzen, Ernährungsweisen) gefunden, welche sich nicht mit dem Habitatsangebot von MK decken. Das Vorhandensein von POM (partikulärem organischem Material), Holz, Schlamm, Sand, von strömungsberuhigten Habitaten und von einem strukturierten Ufer sind mögliche Faktoren, welche die Präsenz dieser Arten erklären.

3.5. Abfischung

Am 10. Juni wurden Abfischungen bei BA und MK durchgeführt. Die restlichen Strecken konnten nicht befischt werden. Die Daten werden hier präsentiert und mit Daten von früheren Abfischungen verglichen. Abfischungsdaten für die Untersuchungsstrecken BA, MN, MK und WS sind für die Jahre 2000 und 2004 vorhanden. Weitere Fischdaten aus den verschiedenen Bünzabschnitten liegen auch für frühere Jahre vor (einen Überblick bietet Aqua Plus, 2005). Für die revitalisierten Strecken gibt es keine Abfischungsdaten bzw. Daten für die Abschnitte, in welchen sich die Revitalisierungen befinden, stammen von vor den Revitalisierungen.

Da die Ergebnisse der Abfischung nur begrenzt eine Populationsabschätzung zulassen, werden absolute Fangzahlen und Diversitäten präsentiert (für detaillierte Daten der Abfischung: Fierz, unveröffentlicht; eine Verteilung der Längenklassen für die Forellen in den beiden Strecken befindet sich im Anhang).



Es wurden vier der sechs Arten, welche in 2000 (Streule, 2000) und in 2004 (Aqua Plus, 2005) in der Bünzau nachgewiesen wurden, gefunden. Darunter die Schmerle, welche seit 1900 (Hofer, 1911) nicht mehr in der Bünz nachgewiesen werden konnte. Der große Unterschied zwischen dem Hauptgerinne (H) und dem Nebengerinne (N) ist bei BA hervorzuheben. Alle Alet ($n = 5$) und 88% der Schmerlen wurden in BA N gefangen. Alle Groppen ($n = 5$) und 76% der Schneider wurden in BA H gefangen. Bei den anderen Arten sind die

Abbildung 7: Absolute Fangzahlen der Abfischungen bei BA und MK. Die kürzesten Balken sind vergrößert und repräsentieren Anzahlen von ein oder zwei Individuen.

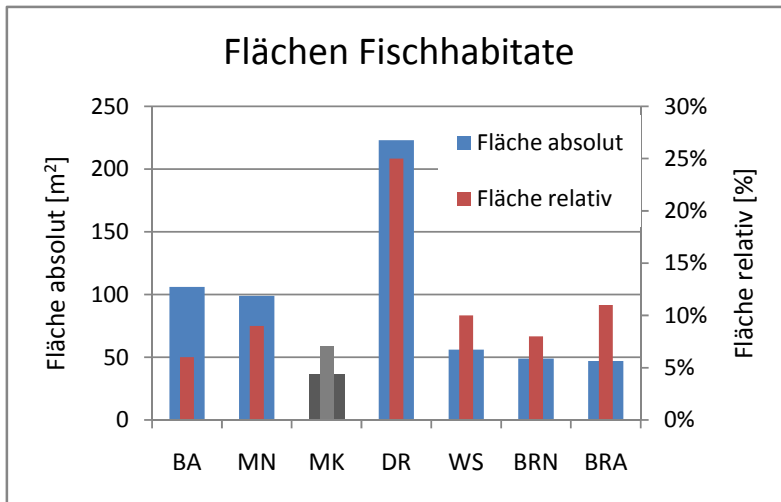
Individuen gleichmäßiger auf beide Gerinne verteilt. Im Vergleich der beiden Strecken ist die Abundanz bei den Arten, die nicht nur vereinzelt vorkamen bei BA durchaus höher. Die Diversitätsindizes nach Shannon-Wiener sind für BA 0.46 und für MK 0.33.

Im Vergleich zu den Daten der Untersuchungsstrecken BA und MK vom Jahr 2000 (Streule, 2000) und vom Jahr 2004 (Aqua Plus, 2005) gibt es bei den absoluten Fangzahlen große Unterschiede, sowohl bei der Verteilung der Abundanzen auf die verschiedenen Arten, wie auch bei den absoluten Fangzahlen (siehe Anhang). Die Diversitätsindizes der aktuellen Befischung liegen unter denen der Jahre 2000 und 2004. Die Unterschiede bei diesen zwei Strecken werden in dieser Arbeit jedoch nicht weiter untersucht, da kein Vergleich mit allen Strecken möglich ist. Die Diskussion der Unterschiede wird anhand der Fischhabitats geführt.

3.6. Fischhabitats

Die Revitalisierungen bzw. das unterschiedliche Habitatangebot in den sieben Untersuchungsstrecken muss auch einen Einfluss auf die Fischfauna haben. Aus folgenden Gründen wird diese Veränderung in dieser Arbeit anhand der Fischhabitats diskutiert, welche im Rahmen der Methode des HEFR erhoben wurden. Ein Grund ist, dass nur an zwei Strecken Abfischungen durchgeführt werden konnten. Des Weiteren ist die longitudinale Konnektivität an der Bünz stark beeinträchtigt. Der Indikator Durchgängigkeit für Fische erreichte für alle

Untersuchungsstrecken den Wert 0. Zudem findet an der Bünz ein Besatz mit Bachforellen statt. Diese Gegebenheiten würden eine vergleichende Aussage nicht erlauben.



Die Berechnung des Indikators wurde für den Vergleich mit der degradierten Referenz angepasst (siehe 2.6.2). In Abbildung 8 sind die absoluten und relativen Flächen abgebildet. Die untersuchte Länge betrug in jedem Fall 100m, die Länge der Untersuchungsstrecken. Die degradierte Referenz MK hat die kleinste absolute Habitatfläche. BA, obwohl dies eine sehr offene Strecke ohne jegliche Ufervegetation oder Wasserpflanzen ist, und MN haben eine dreimal größere Fläche. Die Unterschiede gleichen sich bei der relativen Fläche stark aus. Hier ist die stark vergrößerte Wasserspiegelfläche von BA und MN gegenüber MK zu erkennen. Bei den drei oberen Strecken ist die relative Fläche im Vergleich zur absoluten besser. DR hat absolut und relativ mit Abstand die größte Fischhabitatfläche. Es muss noch auf das große Entwicklungspotential von der sehr neuen Revitalisierung in BRN hingewiesen werden, welche sich im Verlauf der Sukzession und durch Erosion in den nächsten Jahren noch erheblich verändern kann.

Die Unterschiede gleichen sich bei der relativen Fläche stark aus. Hier ist die stark vergrößerte Wasserspiegelfläche von BA und MN gegenüber MK zu erkennen. Bei den drei oberen Strecken ist die relative Fläche im Vergleich zur absoluten besser. DR hat absolut und relativ mit Abstand die größte Fischhabitatfläche. Es muss noch auf das große Entwicklungspotential von der sehr neuen Revitalisierung in BRN hingewiesen werden, welche sich im Verlauf der Sukzession und durch Erosion in den nächsten Jahren noch erheblich verändern kann.

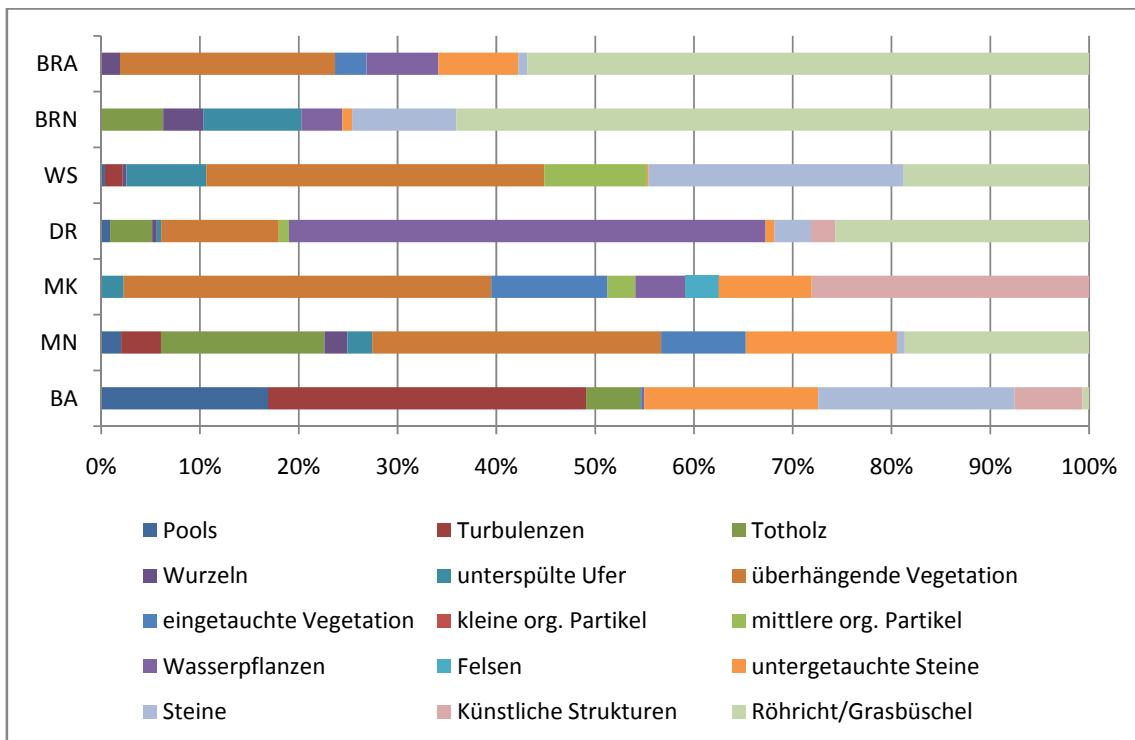
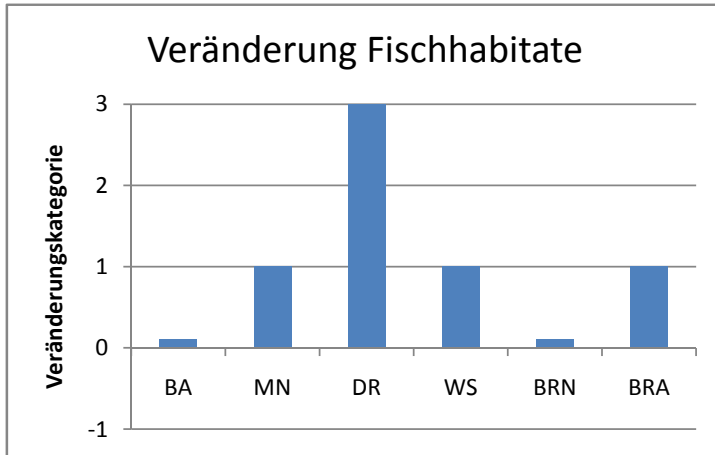


Abbildung 9: Relativer Anteil der Fischhabitatstypen in den Untersuchungsstrecken.

Es gibt klare Unterschiede in der Verteilung der verschiedenen Habitatstypen auf die gesamten Habitatsfläche (Abbildung 9). In den revitalisierten Strecken tragen Röhricht und Grasbüschel bei BRN und BRA und Wasserpflanzen bei DR einen großen Teil zur Habitatsfläche bei. BA weist als einzige Strecke einen größeren Anteil an hydraulischen Strukturen auf. Die gleichmäßigste Verteilung der Fläche auf die verschiedenen Habitatstypen bei gleichzeitig vielen repräsentierten Typen hat MN, die naturnahe Strecke.



Die Einteilung der Strecken in Veränderungskategorien ist in Abbildung 10 dargestellt. Die Bünzaue und die neue Revitalisierung bei Bünzen verzeichnen keine Veränderung. Die anderen Strecken haben sich leicht verbessert, außer DR, welche eine starke Verbesserung zeigt. Dies ist durch die Art der Berechnung begründet (siehe 2.6.2).

Abbildung 10: Veränderungskategorie der Untersuchungsstrecken für den Indikator Fische: Unterstände und Strukturen.

3.7. Hydraulik der unteren Untersuchungsstrecken

Für vier der sieben Untersuchungsabschnitte (BA, MN, MK, DR) wurde eine quantitative Aufnahme von hydraulischen Kennwerten durchgeführt. Der Untersuchungsabschnitt DR ist dabei als Vertreter der revitalisierten Abschnitte gewählt worden.

Der Abfluss nimmt von BA zu DR ab. Der Mittelwert der Fließgeschwindigkeit ist im kanalisiertem Abschnitt (MK) deutlich am höchsten. Der revitalisierte Abschnitt (DR) weist den niedrigsten Wert auf. Die Standardabweichungen bei BA und MN sind groß, bei MK und DR sind sie klein. Bei dem Mittelwert der Fließtiefe weist BA einen besonders niedrigen Wert auf. Die Tiefe bei MN und MK ist im Mittel ähnlich groß, DR hat die höchste mittlere Tiefe. Die Standardabweichung ist bei MK etwas kleiner als bei BA. Bei MN und DR ist die Standardabweichung jeweils mehr als doppelt so groß. Der Minimalwert der Fließtiefe ist bei MK 24 cm, bei den anderen Abschnitten ist er Null.

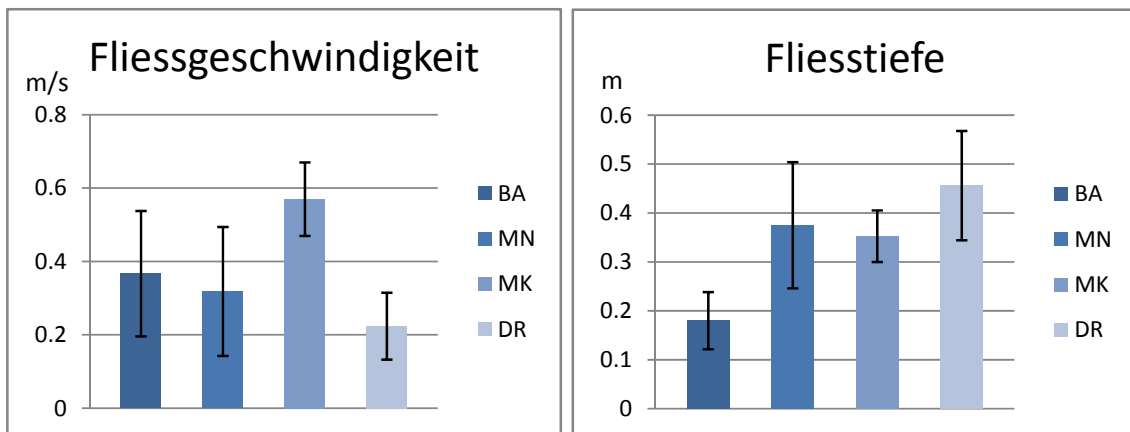


Abbildung 11: Mittelwert der Fließgeschwindigkeit und der Fließtiefe für die Strecken BA, MN, MK und DR, mit Angabe der Standardabweichung.

3.8. Hauptkomponentenanalyse

3.8.1. Analyse der chemischen und physikalischen Parameter

Es kann keine klare Einteilung der Untersuchungsstrecken anhand der gemessenen chemischen und physikalischen Parameter vorgenommen werden. Es lässt sich jedoch eine saisonale Entwicklung und eine longitudinale Unterscheidung in den Daten erkennen. Die saisonale Differenzierung gilt vor allem für die Daten des ersten Termins, mit höheren Werten für Alkalinität, TIC (totaler inorganischer Kohlenstoff) und POC (partikulärer organischer Kohlenstoff). Longitudinal heben sich vor allem BRA und BRN ab. Sie zeichnen sich durch höhere PP (partikulärer Phosphor) und niedrigere Nitrat Werte aus. Die Abnahme der Nitratwerte zu den oberen Strecken hin ist ein (leichter) Trend, welcher über die drei Termine zu beobachten ist (Alle Messwerte der drei Termine befinden sich im Anhang).

3.8.2. Qualitative

Ergänzung zu der Analyse

Die DOC (gelöster organischer Kohlenstoff) und Nitrat Werte bewegen sich teilweise in dem Bereich der Grenzwerte der Gewässerschutzverordnung (GSchV), eine nennenswerte Überschreitung gab es an den drei Terminen jedoch nicht.

Die Temperaturentwicklung an den sieben Untersuchungsstrecken ist leicht streckenabhängig (siehe Anhang). Von Werten um die 8°C im März steigen die Temperaturen auf Werte zwischen 16°C und 19°C Ende Juni. Der Temperaturanstieg ist in den oberen drei Untersuchungsstrecken stärker als in den unteren drei. DR ist eine Ausnahme im Trend und erreicht als mittlere Strecke beim letzten Termin die niedrigste Temperatur von 16°C.

Zusammengefasst scheint es jedoch keine Anhaltspunkte zu geben, um einen entscheidend unterschiedlichen Einfluss einer der Parameter auf die Lebensgemeinschaften eines Untersuchungsabschnitts anzunehmen. Bei akuten Belastungsereignissen spielt der Verdünnungsfaktor eine Rolle, in diesem Fall können die oberen Strecken überproportional belastet werden.

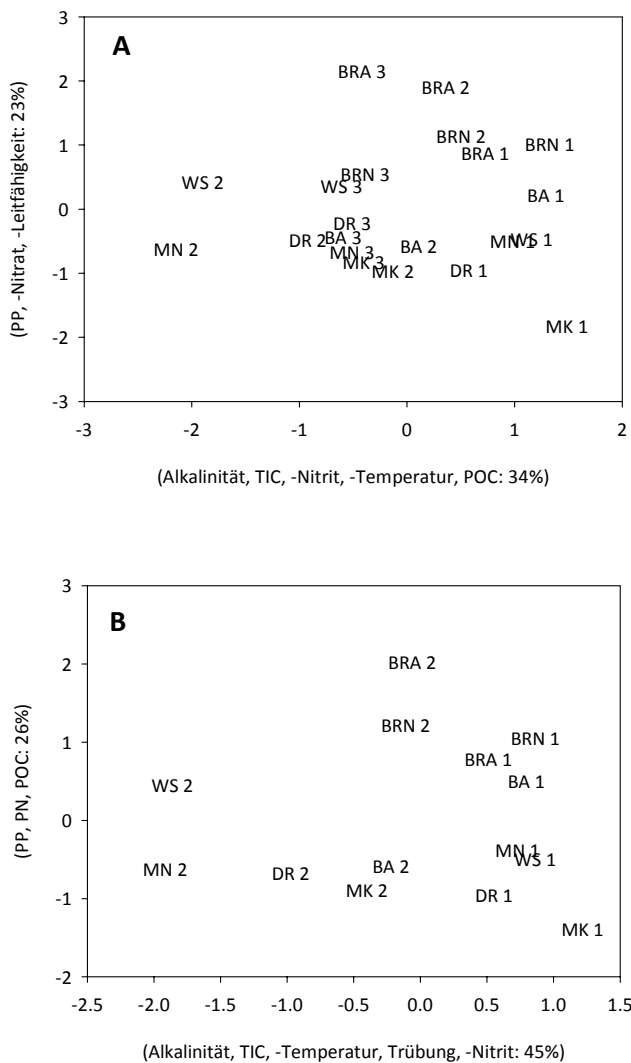


Abbildung 12: Streudiagramme für die chemischen und physikalischen Parameter mit Nitrit (A) und ohne Nitrit (B).

3.8.3. Analyse der Taxalisten

Um Unterschiede in den Taxalisten der sieben Untersuchungsstrecken und der drei Termine (n = 21) aufzudecken, wurde eine PCA durchgeführt. Dabei wurden die relevanten Familien (10, 15 und 20 Familien mit den höchsten relativen Abundanzen) und die Ordnungen (sieben Ordnungen) betrachtet (Erklärungen zu den Datenbezeichnungen und den Abbildungen in den Beschriftungen).

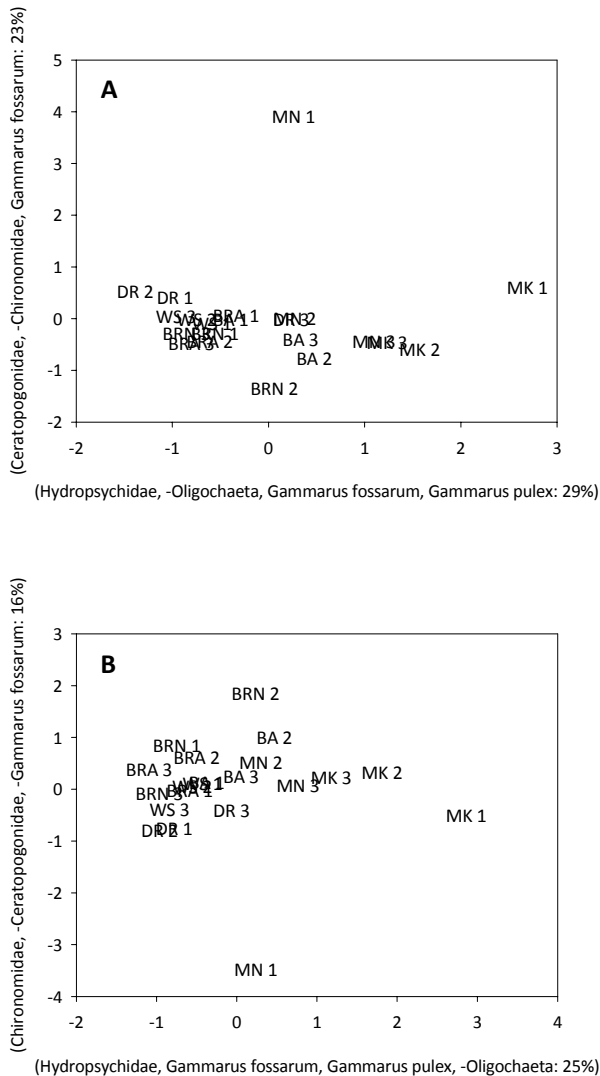


Abbildung 13: Streudiagramme für die 20 häufigsten Taxa (A) und für die 15 häufigsten Taxa (B). Die Datenpunkte haben die Form „Untersuchungsstrecke Termin“ (Bsp. DR 2 ist die Taxaliste der Untersuchungsstrecke DR am zweiten Termin).

abundante Taxa zurückzuführen sind, welche sich erst später im Jahr etablieren konnten. Allgemein grenzt sich der dritte Termin für alle Untersuchungsstrecken relativ stark ab. Der erste Termin an den obersten drei Stellen grenzt sich vertikal von den anderen ab. An diesen Strecken waren vor allem die Populationen der Eintagfliegengattung *Baetis* noch nicht so weit entwickelt. Für die ersten beiden Termine sind keine Unterschiede zu erkennen.

In den Abbildung 13 A und B (Top 10 und 15 Familien) sind MN 1 und MK 1 Ausreißer. Sehr tiefe Abundanz von Chironomiden bei MN 1 und sehr hohe Abundanz von *Gammarus fossarum* bei MK 1 verursachen diese starke Abweichung. MK ist allgemein auf der horizontalen Achse von den anderen Strecken abgesetzt. Dies weist auf die hohen Abundanzen der Gattungen *Gammarus* und *Hydropsyche* hin. Es ist auch eine Abgrenzung der unteren drei Stellen (BA, MN, MK) von den oberen vier (DR, WS, BRN, BRA) erkennbar. Dies ist besonders in Abbildung 13 B zu sehen. BA 1 und DR 3 folgen diesem Trend jeweils nicht. Die Unterschiede in den Abbildung 13 A und B basieren auf unterschiedlichen Abundanzen der häufigen Diptera Familien und der Gammariden in den Untersuchungsstrecken. In Abbildung 14 C ist hingegen ein starker saisonaler Trend zu erkennen. Die drei Termine sind hier entlang der horizontalen Achse relativ klar von einander abgesetzt. Dieser klare Unterschied zu den Streudiagrammen 11 A und B liegt an den weniger abundanten Taxa. Eine Verlagerung von *Baetis* sp. zu *Ephemerella* sp. und Unterschiede in den Abundanzen der Familien *Lumbricidae*, *Tipulidae* und der Steinfliegenfamilie *Leuctridae* führt zu dieser Abgrenzung. Innerhalb der Termine unterscheiden sich die Strecken voneinander, ein Trend ist nicht zu erkennen.

Das Bild bei der Analyse der Ordnungen in Abbildung 14 D ist nicht so klar wie die vorigen. DR 2 und DR 3 grenzen sich horizontal relativ stark ab. An dieser Stelle wurden an den beiden letzten Terminen die höchsten Diversitäten errechnet, welche zu einem großen Teil auf nicht

Es lassen sich also zwei grobe Trends aus der Analyse herauslesen. Einerseits gibt es bei den sehr abundanten Taxa (Top 10 und 15) Unterschiede zwischen den Strecken. Dabei können die unteren drei und die oberen vier Untersuchungsstrecken gruppiert werden. Bei der degradierten Referenz MK ist der erkennbare Unterschied deutlicher als unter den anderen Strecken. Nimmt man fünf weitere, weniger abundante, Taxa hinzu, wird ein relativ klarer saisonaler Trend sichtbar.

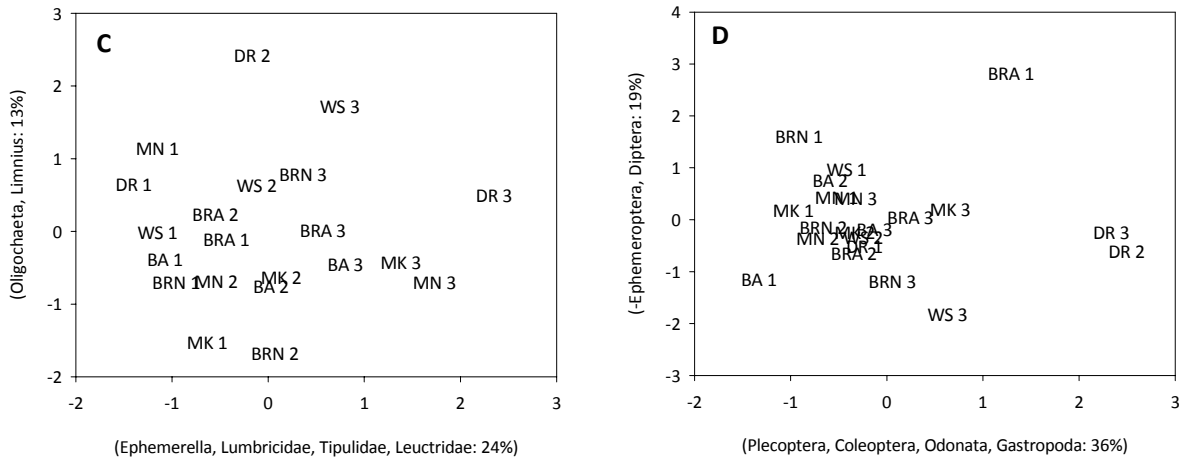


Abbildung 14: Streudiagramme für die 10 häufigsten Taxa (C) und für die Ordnungen (D). Die Datenpunkte haben die gleiche Form wie in Abbildung 11.

3.9. Korrelationsanalyse

Bei der Variablenreduktion wurden aus anfänglich 26 nicht kategorischen Variablen 17 eliminiert (Korrelationsmatrix und Biplots befinden sich im Anhang). Hervorzuheben ist, dass die sechs eingegangenen abhängigen Variablen (Diversitätsindex nach Shannon-Wiener und nach Whilm-Dorris, Evenness, Anzahl Taxa, IBGN) sehr stark korrelierten ($r > 0.74$), im Fall der Diversitätsindizes nach Shannon-Wiener und nach Whilm-Dorris wurde eine Korrelation von Eins errechnet. Aus diesem Grund wurde die Modellierung mit nur einer abhängigen Variablen gemacht, der Anzahl Taxa. Des Weiteren wurden von neun Indikatoren des ökomorphologischen Zustandes nur zwei, „Sohle: Qualität und Korngrößenverteilung des Substrats“ und der Mittelwert aller Indikatoren, als unkorreliert befunden. Generell erklärten viele Variablen in unserem Datensatz das Gleiche.

Das Ranking der besten elf Modelle wird in Tabelle 10 präsentiert, die Modelle, welche Unterstützung durch $\Delta AICc$ und w_i erhielten, sind fett dargestellt. Diese Modelle enthalten zum Teil $\Delta AICc$ Werte grösser als Zehn. Die Wahl ist durch den abrupten Bruch in den $\Delta AICc$ Werten und den Akaike Gewichtungen (evidence ratios, w_i) nach dem neunten Modell begründet. Eine Verzerrung der Effektgröße sollte so umgangen worden sein.

Tabelle 10: Ranking der elf besten Modelle. Modelle die für die Modell-Mittelwertbildung verwendet wurden sind fett markiert.

| Nr. | Modell | k | $\Delta AICc$ | w_i |
|-----------|---|---|---------------|----------|
| 5 | Saisonale Schwankungen | 3 | 0.00 | 0.918 |
| 11 | Hochwasser (Störung) | 3 | 5.74 | 0.052 |
| 9 | Strömungsverhältnisse | 3 | 9.71 | 0.007 |
| 16 | Wasserspiegelbreitenvariabilität | 3 | 10.59 | 0.005 |
| 7 | Abflussgrösse | 3 | 10.60 | 0.005 |
| 13 | Dynamik des Abflusses (Wiederkehrende Störung) | 3 | 10.72 | 0.004 |
| 3 | Zeit seit Habitatentstehung | 3 | 10.75 | 0.004 |
| 1 | Hydromorphologische Qualität | 3 | 10.79 | 0.004 |
| 6 | Standorteffekt und Saisonale Schwankungen | 9 | 13.84 | 0.001 |
| 12 | Standorteffekt und Hochwasser (Störung) | 9 | 24.43 | 4.54E-06 |
| 15 | Standorteffekt | 8 | 24.54 | 4.30E-06 |

Nur die Faktoren Standort ($0.062 < CV < 0.08$; 0 ist nicht Element vom Vertrauensintervall) und Hochwasser ($CV = 0.44$, 0 ist nicht Element vom Vertrauensintervall) sind bei den besten Modellen wichtig. Das β ist bei dem Faktor Standort zwischen 2.12 bei BRN und 2.70 bei DR, beim Faktor Hochwasser ist es 0.34. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Untersuchungsstrecken eine typische, standortabhängige und gut voraussagbare Lebensgemeinschaft aufweisen. Einzig der Einfluss von Hochwassern (welche in diesem Gewässer relativ häufig vorkommen) hat nach dieser Analyse einen Einfluss auf die Makroinvertebraten. Modelle welche morphologische und hydraulische Faktoren einschließen, erklären die Artenzahl schlecht. Eine mögliche Erklärung für diesen Befund ist, dass morphologische Faktoren erst in Kombination eine Rolle spielen. Diese Interaktionen konnten jedoch mit dem Datensatz nicht untersucht werden.

4. Diskussion

Bevor die verschiedenen Bereiche der Untersuchung diskutiert werden, wird hier daran erinnert, dass der Vergleich mit einer natürlichen oder historischen Referenz fehlt. Die gemessenen Veränderungen, i. e. der Abstand zu der degradierten Referenz, sind präsent. Eine Einstufung als Verbesserung ist in diesem Rahmen zulässig, eine Aussage über die Natürlichkeit der Abschnitte kann jedoch nicht gemacht werden. Besonders trifft dies auch bei den Fischhabitaten zu (siehe 2.6.2, Indikator Fische: Unterstände und Strukturen).

4.1. Hydromorphologie

Die Beurteilung der Untersuchungsstrecken mit den Indikatoren des HEFR ergibt ein relativ klares Ergebnis. Auf der höchsten Aggregationsstufe, dem Bereich Umwelt und Ökologie, verzeichnen fünf Untersuchungsstrecken eine mittlere Verbesserung gegenüber der degradierten Referenz. Die Strecke WS verzeichnet eine leichte Verbesserung. Eine Veränderung der hydromorphologischen Zustände der Strecken in die Richtung eines natürlicheren Zustandes wurde *a priori* als Erfolg definiert. Demnach wird bei der *post hoc* Untersuchung, i. e. der Substitution der Messung vor und nach der Revitalisierung mit einer dem Ausgangszustand äquivalenter räumlichen Referenz, bei allen sechs „Projekten“ ein Erfolg verzeichnet. Aufgrund der sehr großen hydromorphologischen Ähnlichkeit des Ausgangszustandes der revitalisierten Abschnitte mit der degradierten Referenz, wird dieser Befund als aussagekräftig angenommen.

Die beste Bewertung der Bünzaue (BA) bei der Bildung einer Rangfolge überrascht nicht groß. Der Bach hat in diesem Abschnitt sehr viel Platz und eine ausgeprägte Dynamik. Bei der Vegetation auf den ausgedehnten Kiesflächen ist die Sukzession jedoch noch in einem frühen Stadium. Vor allem die vor kurzem durchgeführten Arbeiten auf den Kiesflächen dürften die Entwicklung zurückgeworfen haben. Dass die neue Revitalisierung bei Bünzen (BRN) ein so gutes Ergebnis erzielt, wurde hingegen nicht erwartet. Zwar waren die geschaffenen Strukturen erfolversprechend, vor allem auch der teilweise sehr große Raumanpruch der Bünz in diesem Abschnitt. Doch ist diese Revitalisierung sehr frisch, besonders die Ufervegetation ist noch sehr wenig entwickelt. Es gab zwar schon Hochwasser nach der Fertigstellung dieses Abschnittes, die Resilienz dieses Ökosystems ist aber noch sehr fraglich. Demnach wird die gute Beurteilung von BRN im Vergleich zu den anderen Untersuchungsstrecken als sehr vorübergehend eingestuft. Die Verwendung der Indikatoren nach ein bis zwei Jahren ist zwar ratsam, eine Beurteilung der Revitalisierungen in sechs bis 15 Jahren (Woolsey, et al., 2005) würde eine viel endgültigere Aussage zulassen. Das Gegenteil ist bei dem naturnahen Abschnitt (MN) der Fall, welcher die drittbeste Bewertung der Verbesserungen hat. In diesem Abschnitt gab es seit mehreren Jahrzehnten keine nennenswerte Veränderung der Hydromorphologie. Die Defizite liegen hier klar bei der Breite und der Beschaffenheit des Uferbereichs, welche sich negativ auf die organischen Kreisläufe auswirken. Die nächstbeste Bewertung hat die alte Revitalisierung bei Bünzen (BRA). Die schlechte Bewertung des Geschiebehauhalts ist im Vergleich zu den Abschnitten vorher entscheidend. Der Bach hat hier auch nur eine sehr geringe Strömung und wirkt relativ eingegraben. Dass DR schlechter als die anderen Revitalisierungen abschneidet, wurde nicht erwartet. Die Schaffung von Strukturen im Bachbett und im Uferbereich wurde im vornherein als gut eingeschätzt und diese Revitalisierung hatte auch am meisten Zeit für die Sukzession.

Der Parameter, welcher für die kleinen Unterschiede in der Gesamtbewertung maßgeblich verantwortlich ist, ist die Breite und die Beschaffenheit des Uferbereichs. Bei der Erstellung des naturnahen Abschnitts (Korrekturarbeiten) wurde dies im Gegensatz zu den Revitalisierungen seinerzeit nicht berücksichtigt. MN hat vor allem in diesem Sinne einen Nachteil. Im Vergleich innerhalb der drei Revitalisierungen liegt der Grund des besseren Abschneidens der oberen Strecken bei dem geringeren Raumbedarf des Baches in diesem Abschnitt. Eine genügende Breite des Uferbereichs hätte die beste Bewertung für die Revitalisierung bei Dottikon zur Folge gehabt.

An letzter Stelle steht die Revitalisierung bei Wohlen, welche als Strukturverbesserung eingestuft werden kann. Die minimalen Maßnahmen, welche hier durchgeführt wurden, begründen diesen Befund. Dennoch ist die Hydromorphologie messbar besser als in der degradierten Referenz.

Der Erfolg bei der Hydromorphologie, das heißt der anhand von abiotischen Kriterien beurteilte Erfolg, liegt an der direkten Zugänglichkeit der Strukturen für revitalisierende Maßnahmen. Die Indikatoren, welche den Zustand von indirekt beeinflussten Parametern wie der Geschiebedynamik beschreiben, haben auch die geringste Verbesserung gezeigt.

4.2. Hydraulische Parameter

An den unteren vier Untersuchungsabschnitten wurden detaillierte Aufnahmen der hydraulischen Parameter gemacht. Der Abfluss ist hier vergleichbar, und mit diesen vier Abschnitten sind die degradierte Referenz (MK), der naturnahe Abschnitt (MN), die „anthropogene“ Revitalisierung (DR) und die „natürliche“ Revitalisierung (BA) vertreten.

Die schlechten Ergebnisse für den kanalisiertem Abschnitt (MK) waren zu erwarten. Obwohl das Gefälle hier viel kleiner als in MN und BA ist (Gefälle MK < 50% Gefälle MN), ist die Fließgeschwindigkeit mit Abstand am höchsten und ihre Variabilität klein. Auch die Variabilität der Tiefe ist am kleinsten. Darüber hinaus ist die flachste Stelle immer noch 24cm tief, einen Übergang Land-Wasser wie es ihn bei den anderen Stecken gibt ($h_{\min} = 0\text{cm}$), gibt es nicht. Der naturnahe Abschnitt (MN), mit der größten Variabilität bei der Fließgeschwindigkeit und –tiefe ist von der Vielfalt der hydraulischen Strukturen klar am besten. Die eingeschränkte Eigendynamik des Baches in diesem Abschnitt hat sich nur bis zu einem gewissen Punkt negativ auf die Hydraulik ausgewirkt, ein Ausschnitt aus der natürlichen Vielfalt wurde fixiert. Selbst dieser Zustand ist mit gezielten Revitalisierungsmaßnahmen nicht ohne weiteres zu erreichen. Neben diesen zu erwartenden Messwerten gibt es zwei Ergebnisse die interessant sind.

Erstens, die geringe und wenig variable Fließtiefe bei der Bünzaue (BA). Die Bünzaue ist ein eher untypischer Abschnitt für die Bünz, welcher historisch auch nie so ausgeprägt war. Eine solche Entwicklung wurde erst durch die menschliche Aktivität, die Entwaldung und landwirtschaftlichen Nutzung des Uferbereichs, ermöglicht. Dieser Abschnitt ist aus dem naturnahen Zustand hervorgegangen, welcher noch in MN herrscht. Durch die starke Verbreiterung ist die mittlere Tiefe bei ähnlicher Fließgeschwindigkeit aber etwa halb so groß. Wie sich dieser stark dynamische Abschnitt in Zukunft entwickelt, bleibt zu erwarten. Er ist mit seiner großen Fläche mit Turbulenzen aber ein wertvoller Beitrag zu der hydraulischen Strukturvielfalt im unteren Lauf der Bünz.

Und zweitens, die Fließgeschwindigkeit bei der revitalisierten Strecke (DR). Mit 1.5‰ ist das Gefälle hier rund zehn Mal kleiner als bei BA, dies ist eine Erklärung für den kleinen Mittelwert der Fließgeschwindigkeit. Die kleine Variabilität bei der Fließgeschwindigkeit hier ist jedoch ein Defizit. Das Potential zur Schaffung von hydraulischen Strukturen scheint höher zu sein, der Erfolg dieser Revitalisierung ist in dieser Hinsicht geschmälert.

4.3. Chemische und physikalische Parameter

Mit der Messung von chemischen und physikalischen Parameter des Wassers sollte in erster Linie überprüft werden, ob es für die Lebensgemeinschaften an den verschiedenen Untersuchungsabschnitten maßgebliche Unterschiede gibt. Anhand der Ergebnisse gibt es keinen Grund zur Annahme, dass dies so ist. Die Messungen an den drei Terminen liefern aber nur punktuelle Daten und vor allem akute Belastungen haben den Lebensgemeinschaften in der Bünz in der Vergangenheit zugesetzt (Huber Gysi, 2003). Dank Sanierungen und Aufhebungen von ARA hat sich die Wasserqualität in den letzten Jahren entscheidend verbessert, die gesetzlichen Anforderungen werden jedoch noch nicht erfüllt (Grenacher, 2005). Einen positiven Effekt sollte zudem die Umleitung der ARA Wohlen im Jahr 2002 gehabt haben, ein weiterer Abwärtstrend der chemischen

Parameter seit dem Jahr 2004 könnten ein Zeichen dafür sein (Messdatenreihe der regelmäßigen chemischen Untersuchung bei Möriken und Anglikon, Dr. A. Stöckli, Departement Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau, Abteilung für Umwelt). Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde davon ausgegangen, dass die Hemmnisse für die Entwicklung von natürlicheren Artengemeinschaften in anderen Bereichen, i. e. bei der Hydromorphologie, liegen.

4.4. Veränderungen des Makrozoobenthos: Indikatoren

Die mit dem Indikator „Taxonomische Zusammensetzung des Makrozoobenthos“ festgestellten Veränderungen in den sechs Untersuchungsstrecken im Vergleich zu der degradierten Referenz zeigen vor allem bei der Betrachtung der einzelnen Termine ein vielförmiges Bild. Die meisten Strecken starten beim ersten Termin mit einer Verschlechterung. Der dafür verantwortlich IBGN ist bei diesen Strecken am Anfang der Vegetationsperiode klein (biologischer Gewässerzustand (bG) schlecht) und auch im Vergleich zu der degradierten Referenz (MK) schlechter (bG MK: unbefriedigend). Woran dieser „Vorsprung“ von MK liegt, ist unklar.

Der IBGN bleibt für MK am zweiten Termin Anfang Mai aber fast unverändert, während er sich bei den anderen Strecken stark verbessert (bG mäßig). Zwei Ausnahmen sind BA, wo sich der IBGN nur schwach verbessert und BRA, wo er sich gegenläufig entwickelt, also verschlechtert. Bei BRA war der IBGN beim ersten Termin am höchsten (höchster Wert überhaupt, bG gut) und auch beim zweiten Termin noch relativ hoch (bG mäßig). Diese Entwicklung verursacht bei allen Strecken außer BA eine Verbesserung gegenüber MK.

Vom zweiten zum dritten Termin gibt es bei den meisten Strecken wiederum nur eine leichte Veränderung (Verbesserung bei BRN, gleicher Wert bei MN und WS und Verschlechterung bei DR und BRA). Die zwei Ausnahmen sind hier BA und MK, welche sich stark verbessern (beide von bG unbefriedigend auf bG mäßig). Dieses „Aufholen“ von MK führt bei den Veränderungskategorien zu der Einteilung der meisten Strecken in „keine Veränderung“. Bei BRA ist es eine Verschlechterung.

Die sechs Strecken zeigen bei dieser Bewertung anhand von Veränderungskategorien, welche wiederum auf dem IBGN basieren, eine sehr eigene Dynamik. Vor allem in der relativen Entwicklung der Indexwerte zu einander (zwischen MK und den anderen Strecken) ist kein Trend zu erkennen.

Bei den Veränderungen anhand des IBGN der Gesamttaxalisten von den drei Terminen ist das Bild ernüchternd. Da die degradierte Referenz einen IBGN von 13 erreicht (bG gut), kommen auch DR (IBGN 14) und BRA (IBGN 15) bei der Veränderungskategorie nur auf „keine Veränderung“. Die anderen Strecken (alle bG mäßig) verzeichnen eine Verschlechterung. Man muss also sagen, dass es vor allem an dem so gemessenen guten biologischen Gewässerzustand der degradierten Referenz liegt, dass die anderen Strecken schlecht abschneiden. Anhand von biotischen Beurteilungskriterien lässt sich folglich kein Erfolg messen.

4.5. Veränderung des Makrozoobenthos: Quantitative und qualitative Analyse der Taxalisten

Bei der quantitativen Analyse der Taxalisten für die sieben Stellen und die drei Termine ergaben sich erst mit dem Hinzunehmen von weniger abundanten Taxa deutlichere Unterschiede. Es ist dann sowohl eine saisonale Entwicklung wie auch eine Abgrenzung der Untersuchungsstrecken untereinander zu erkennen. Auch bei der qualitativen Analyse präsentierte sich dieses Bild. Nur anhand von nicht abundanten Taxa lassen sich die Strecken differenzieren, besonders die degradierte Referenz (MK) von den anderen. In Form von Anzahl Taxa machen diese Arten aber immerhin fast die Hälfte der gefundenen Taxa aus und sie führen bei den Strecken DR und BRA zu den höchsten gemessenen Diversitäten in der Bünz. Eine Entwicklung der Artengemeinschaft findet sozusagen vermutlich im Hintergrund statt.

4.6. Veränderungen für die Fischfauna

Die Fischfauna in der Bünz zeigt einen klaren Aufwärtstrend und die Artenzusammensetzung entspricht fast der historisch überlieferten (Aqua Plus, 2005). Mit dem Fang von 37 Schmerlen in der Bünzaue (BA) wurde bei der Abfischung auch eine von drei noch vermissten Arten nachgewiesen. Es gibt aber deutliche Einschränkungen für diesen positiven Trend. Die größten Hemmnisse für eine natürliche Entwicklung der Fischfauna in der Bünz sind mit dem unüberwindbaren Absturz bei Wilhalden oberhalb von MK und dem Wehr bei dem Kraftwerk Tieffurtmühle klar identifiziert (Aqua Plus, 2005). Ein Aufwandern und Nutzen der Revitalisierungen, die weiter oben entstanden sind, ist nicht möglich. Aqua Plus (2005) fasst die Situation vor vier Jahren so zusammen, dass unterhalb der Tieffurtmühle die durch die Stauhaltung negativ beeinflusste Wasserqualität (Huber Gysi, 2003) und oberhalb die schlechte Ökomorphologie (entspricht dem Begriff Hydromorphologie) die Defizite sind, welche einer Wiederbelebung der Bünz durch Fische im Weg stehen. Mit den Revitalisierungen hat sich die Situation betreffend der Ökomorphologie im oberen Teil jedoch verbessert. Das Unterstandsangebot wurde in den Untersuchungsabschnitten (Länge Untersuchungsabschnitte $L \geq 1\text{km}$) WS, BRN und BRA vergrößert. Bei DR ist das Angebot aktuell (absolut und relativ) mehr als doppelt so groß wie in BA und MN, wo sich die positive Entwicklung der Fischfauna in der Bünz abgespielt hat. Darüber hinaus kommt eine Verbesserung aller gemessener hydromorphologischer (oder ökomorphologischer) Parameter hinzu. Besonders die Diversifizierung der Sohlenstruktur spielt dabei eine Rolle, da diese zusätzliche Strukturelemente für die Fische schafft. Angesichts der positiven Entwicklung in den unteren Abschnitten in den letzten Jahren wird das durch die Revitalisierungen geschaffene Potential für die Fische als groß eingeschätzt. Mit der Revitalisierung bei Muri und der geplanten Revitalisierung bei MK wird das Angebot an ökologischen Trittsteinen innerhalb der sonst immer noch monotonen Bünz erhöht werden. Die Forderung von verschiedenen Seiten nach einer Sanierung des Kraftwerks Tieffurtmühle muss in diesem Zusammenhang unterstützt und bekräftigt werden.

5. Synthese

Das Makrozoobenthos hat sich in keiner Weise in dem gleichen Ausmaß positiv entwickelt wie die Hydromorphologie. Während alle Untersuchungsstrecken eine Verbesserung bei den abiotischen Parametern verzeichnen, haben die besten zwei Untersuchungsstrecken bei der Bewertung der taxonomischen Zusammensetzung des Makrozoobenthos nur „keine Veränderung“ gegenüber der degradierten Referenz geschafft. Es gibt verschiedene Gründe dafür. Drei Jahre (DR) oder weniger (BRA, BRN) sind klar zu kurz um eine Erholung der Invertebratengesellschaften von den Revitalisierungsarbeiten zu erlauben (Muotka, Paavola, Haapala, Novikmec, & Laasonen, 2002). Es ist deswegen bemerkenswert und ermutigend, dass die Revitalisierungen DR und BRA am besten abgeschnitten haben. Selbst BRN, welche erst Anfang dieses Jahres fertiggestellt wurde, hat im Vergleich zu den anderen, nicht-revitalisierten Strecken ein gutes Ergebnis gezeigt. Das Ausmaß der Störung, die ein komplettes Umstrukturieren des Bachbettes mit schweren Maschinen bedeutet, ist mit keinem natürlichen Ereignis vergleichbar. Dass die Lebensgemeinschaften der Revitalisierung rasch zurück zu der Situation in dem ungestörten, degradierten Abschnitt gekommen sind und diesen sogar hinsichtlich Artenzahl und Diversität übertreffen, ist ein Zeichen für die geschaffenen Werte und das Entwicklungspotential.

Warum aber haben der naturnahe Abschnitt (MN) und die Bünzau (BA) keine Verbesserung gezeigt? Ein Grund dafür könnten nach wie vor die negativen Auswirkungen der Stauhaltung Tieffurtmühlen sein (Bruder, 2005, Aqua Plus, 2005, Huber Gysi, 2003). Die starke Sedimentation der belasteten Schwebstoffe in der Bünzau wurden bereits belegt (Bruder, 2005). Auch in MN wird die Retention von Schwebstoffen grösser sein als in MK, wo diese einfach durchgespült werden. Auch die Abgrenzung der Artenzusammensetzung der unteren drei Strecken zu denen der oberen vier Strecken deutet auf einen solchen Einfluss hin.

Ein weiterer Grund, welcher auch in Hinsicht auf die ganze Bünz relevant ist, ist die Kolonisierung von außen. Bei MN ist die Hydromorphologie in den letzten Jahrzehnten zwar gleich geblieben, die Wasserqualität hat sich jedoch verbessert. Arten welche verschwunden waren, könnten jetzt wieder in MN wie auch in den revitalisierten Abschnitten überleben. Es ist jedoch eine irrtümliche Annahme, dass die Wiederherstellung von Habitaten automatisch eine Rückkehr von Arten mit sich bringt (Field of Dreams Hypothese: Hildebrand, Watts, & Randle, 2005; Palmer, Ambrose, & Poff, 1997). Der Artenpool der Bünz ist wahrscheinlich stark vermindert (Lake, Bond, & Reich, 2007). Schon die Ausbreitung innerhalb des Baches als unidirektionaler Lebensraum ist für die meisten Arten nicht einfach (Fagan, 2002), vor allem nicht, wenn dieser, wie die Bünz, stark fragmentiert ist. Bei einer Kolonisierung von eventuell weit entfernten Artenpools außerhalb des Einzugsgebietes der Bünz kommen zusätzliche Hindernisse hinzu. Es müssen in diesem Pool Arten enthalten sein, welche über die nötigen Ausbreitungsfähigkeiten verfügen um die physikalischen und chemischen Habitatfilter des Einzugsgebietes und der einzelnen Strecken zu überwinden (Poff, 1995). Doch selbst bei der erfolgreichen Ankunft einer neuen Art müssen noch biotische Hemmnisse in der Form von gut etablierten und zum Teil sehr abundanten Arten überwunden werden (Lake, Bond, & Reich, 2007; Poff, 1995). Diese etablierten Arten werden zusätzlich durch Drift von oberhalb gelegenen, dominierenden kanalisierten Abschnitten nachgeliefert. Eine Chance für die Neankömmlinge ist der starke Einfluss von Störungen auf die Zusammensetzung der Artengemeinschaft (Matthaei, et al., 2004). Dies wird auch durch den Befund unterstützt, dass neben dem Standorteffect die Störungen durch Hochwasser der beste Einflusswert für die Artenzusammensetzungen an den Untersuchungsstrecken ist. Die Bünz ist von häufigen, kurz andauernden Hochwassern geprägt. Eine Entwicklung der Artengemeinschaft wird durch das Vorhandensein von Refugien und der dadurch höheren Resilienz der Strecken mit einer höheren Strukturvielfalt gefördert. Kurzfristig ist die Entwicklung der Artengemeinschaft in den Revitalisierungen wahrscheinlich stark von bereits vorhandenen Arten geprägt, langfristig jedoch können sich neue Arten etablieren und die neu geschaffenen Lebensräume nutzen. Durch Begünstigung (facilitation) kann sich dieser Vorgang nach den anfänglichen Erholungsprozessen zusätzlich beschleunigen. Der Verlauf und der Endpunkt der Entwicklung sind aber ungewiss (Lake, Bond, & Reich, 2007). Eine Erleichterung bei der Kolonisierung der Bünz könnte die Annahme sein, dass mehrere revitalisierte Strecken sich gegenseitig positiv beeinflussen (Dr. Daniel Hering, pers. Mitteilung), vor allem in

Form eines abwärts gerichteten Drifts von Individuen. Davon dürften bei einer Entfernung des Wehrs bei der Tieffurtmühle auch der naturnahe Abschnitt und die Bünzau bei Möriken profitieren.

5.1. Fragen und Hypothesen

Bei der Beurteilung des hydromorphologischen Zustandes wurden für alle Untersuchungsstrecken Verbesserungen im Vergleich zu der degradierten Referenz festgestellt. Nur auf der niedrigsten Aggregationsstufe gab es für eine Minderheit der Indikatoren keine Veränderung und auf der Ebene der Projektziele gab es bei WS bei einem Projektziel keine Veränderung. Die Veränderungen erreichten die Kategorien „leichte Verbesserung“ bis „starke Verbesserung“. Defizite wurden im Bereich der Längsvernetzung und der Uferbreite identifiziert.

Die Veränderung bei der taxonomischen Zusammensetzung der Makroinvertebraten wurde in vier Fällen in die Kategorie „Verschlechterung“, in zwei Fällen in „keine Veränderung“ eingeteilt. Es wurden jedoch sowohl quantitative wie auch qualitative Unterschiede zu der degradierten Referenz gefunden. Ein Zusammenhang mit der positiven Entwicklung der Hydromorphologie wurde nicht gefunden. Die Hemmnisse bei der Kolonisierung von neuen Habitaten wurden als Defizit genannt.

Bei der Entwicklung der Fischfauna wurden Unterschiede in der Artenzusammensetzung und in den Fangzahlen zu den vergangenen Abfischungen in zwei Strecken gefunden. Die Schmerle konnte erstmals seit 100 Jahren in der Bünz nachgewiesen werden. Das Angebot der Fischhabitats hat in den Untersuchungsstrecken zugenommen. Die Zunahme der relativen Flächen ist zum Teil klein, die Wasserfläche wurde jedoch stark vergrößert. Die nach wie vor unpassierbaren Wanderhindernisse für Fische machen den Erfolg in diesem Bereich jedoch nutzlos.

Die Hypothesen H1 und H3 können verworfen werden. Die Hydromorphologie und das Angebot an Fischhabitats haben sich im Vergleich zu der degradierten Referenz klar positiv verändert. Bei der Hypothese H2 muss eine differenzierte Betrachtung stattfinden. Die taxonomische Zusammensetzung hat sich unter der Verwendung des IBGN zum Teil nicht verändert. Eine fundierte Aussage zu den Abundanzen ist nicht möglich und bei den Diversitäten gibt es Trends, jedoch keine klaren Ergebnisse. Diese Hypothese kann mit den vorliegenden Resultaten nicht angenommen oder verworfen werden.

5.2. Fazit und Konsequenzen

Es gibt an der Bünz Abschnitte, welche in einem guten hydromorphologischen Zustand sind. Die Revitalisierungen und die Bünzau haben sich in diesem Aspekt stark verbessert und bieten nun neue Lebensräume für Pflanzen und Tiere, aquatische und terrestrische. Insbesondere haben die Fläche und das Angebot an verschiedenen Typen von Fischhabitats zugenommen. Auch der naturnahe Abschnitt hat trotz der Fixierung seines Laufes eine relativ hohe Strukturvielfalt behalten. Die Ausdolung von Seitenbächen hat die ökologische Qualität des Gewässernetzes im Bünztal weiter erhöht. Ein zusätzlicher Aspekt, welcher in dieser Arbeit nicht betrachtet wurde, ist die gesteigerte Attraktivität der Bünz als Naherholungsziel. Dies ist auch ein wichtiges Ziel von Revitalisierungsprojekten und hat großen Wert für die Bildung von Akzeptanz. Erfahrungen, welche im Rahmen der Feldarbeit an der Bünz gemacht wurden, sind in diesem Zusammenhang vollumfänglich als positiv zu bewerten.

Trotz der kurzen Zeit, die seit der Veränderung der Hydromorphologie in verschiedenen Abschnitten der Bünz vergangen ist, weisen die höchstens als leicht zu bezeichnenden Veränderungen in der taxonomischen Zusammensetzung des Makrozoobenthos auf eventuelle Hemmnisse bei der Kolonisierung hin. Untersuchungen in diesem Zusammenhang, auch hinsichtlich der Erfolgsaussichten von weiteren Revitalisierungsprojekten, werden als wichtig erachtet. Defizite könnten identifiziert und Maßnahmen, welche das Problem entschärfen, getroffen werden. Ein bereits mehrmals identifiziertes Defizit ist die mangelhafte longitudinale Konnektivität, besonders aufgrund von künstlichen Abstürzen und der Stauhaltung bei dem

Kraftwerk Tieffurtmühle, aber auch durch dicht besiedeltes Gebiet und dessen Einfluss auf den Gewässerlauf. Die Entfernung von Wanderhindernissen und eine allgemeine Verbesserung der Längsvernetzung durch geeignete Strukturen würden der Entwicklung der Lebensgemeinschaften, insbesondere der der Fische, in den revitalisierten Abschnitten zugute kommen. Durch die Sanierung der Tieffurtmühle würden außerdem die Problematik der regelmäßigen Spülung und die dadurch erhöhte Sedimentation von belasteten Schwebstoffen in den unteren Abschnitten entschärft. Diese Maßnahmen werden an dieser Stelle erneut gefordert.

Die Entwicklung der Bünz durch die zugelassene Veränderung bei der Bünzaue und den durchgeführten Revitalisierungen wird als positiv bewertet. Eine Wiederherstellung von einem ursprünglichen natürlichen Zustand ist im Schweizer Mittelland unrealistisch. Das Konzept von diversen kleinräumigen Revitalisierungsprojekten, mit mehr oder weniger ehrgeiziger Zielsetzung, ist eine Möglichkeit um diverse Interessen und Kosten-Nutzen-Effizienz unter einen Hut zu bringen. Die Zuordnung von hoher Priorität für die Durchführung von weiteren Revitalisierungsprojekten an diesem System, welches durch positive Interaktionen zusätzliche Erfolgsaussichten bieten, wird empfohlen. Eine genügende Vernetzung zu anderen Ökosystemen muss dabei immer gewährleistet sein.

Durch die naturnahen, die natürlich entstandenen und die revitalisierten Abschnitte wird der ökologische Gesamtzustand der Bünz verbessert. Hemmnisse, welche das Entwicklungspotential dieser Abschnitte vermindern, sind die (longitudinale) Vernetzung und die Breite des Uferbereichs. Mit der Stauhaltung Tieffurtmühle besteht weiterhin eine Belastungsquelle für die unteren Abschnitte und eine Isolierung der oberen Abschnitte. Weitere Revitalisierungsprojekte werden gefordert, da sich diese positiv auf die Entwicklung der Abschnitte auswirken und diese beschleunigen können. Gleichermassen würden solche Revitalisierungen von den bestehenden Abschnitten von verbesserter ökologischer Qualität profitieren.

Danksagung

Ich möchte mich herzlich bei den folgenden Personen für ihre Hilfe und Unterstützung während meiner Diplomarbeit bedanken:

Chris Robinson für die Betreuung der Diplomarbeit, die Hilfe im Feld und bei der Auswertung der Daten. Auch für seine unkomplizierte Art und die ständige Verführbarkeit für meine vielen Fragen.

Armin Peter für die Betreuung der Diplomarbeit, die Inputs in der Planungsphase und das umfangreiche Feedback zu dem Bericht. Auch für die Organisation und Durchführung der Abfischungen an der Bünz.

Christina Baumgartner für ihre Hilfe im Feld, ihre Gesellschaft beim Insekten identifizieren und für das offene Ohr für meine vielen, laut ausgedrückten Gedanken.

Maria Alp für Ihre Besorgtheit um mein Wohlbefinden, das durchlesen meines Berichtes und ihre allgemeine Hilfe bei vielen Fragen.

Lukas Indermauer für seine spontan angebotene, grosse Hilfe bei der statistischen Auswertung des Datensets und für seine Geduld mit mir.

Christa Jolidon für Ihre Hilfe bei der Identifizierung der Proben.

Simone Langhans und **Ute Karaus** für Ihre hilfreichen Kommentare zur Verwendung der Indizes IBGN und MI.

Jean-Martin Fierz für die Hilfe bei der Aufnahme der Fischhabitats.

Den Leuten von der Abteilung Fischökologie für Ihren Einsatz bei der Abfischung von zwei Strecken an der Bünz.

Walter Gostner für die Unterstützung bei der Aufnahme von hydraulischen Parametern.

Den Leuten von dem Departement Bau, Verkehr und Landschaft, Abteilung für Umwelt, Kanton Aargau und speziell bei **Arno Stöckli** für die Versorgung mit verschiedenen Daten zu der Bünz und den Revitalisierungen.

Andrea Funk für das Gegenlesen meines Berichtes und das Ertragen meiner ständigen Unverfügbarkeit und nicht immer guter Laune während der letzten Wochen meiner Diplomarbeit.

Meinen Eltern **Guido Stäheli** und **Maria Sandholzer** für das Ermöglichen meines Studiums, Ihrer Unterstützung bei meinem Weg durch das Leben und für alles andere.

Danke auch an alle anderen die mich in irgendeiner Weise unterstützt haben!!

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Die Rolle von ökologischen Strukturen und Funktionen bei Revitalisierungen (Williams et al. 1997 in: Woolsey, et al., 2005). | 1 |
| Abbildung 2: Übersichtskarte der Bünz mit den Untersuchungsstrecken. | 3 |
| Abbildung 3: Schematische Darstellung des Untersuchungsdesigns. | 4 |
| Abbildung 4: Veränderungskategorien für den Bereich Umwelt und Ökologie der Untersuchungsstrecken. | 20 |
| Abbildung 5: Einteilung der Untersuchungsstrecken in die Veränderungskategorien für die Taxalisten der Makroinvertebraten der drei Termine. Vergleich mit dem zugrundeliegenden IBGN und dem Shannon-Wiener-Index. Bei den Indizes sind die Werte für die degradierte Referenz, welche die direkte Vergleichsgrundlage ist, dargestellt. | 21 |
| Abbildung 6: Einteilung der Untersuchungsstrecken in die Veränderungskategorien für die Gesamttaxaliste der Makroinvertebraten. Vergleich mit dem zugrundeliegenden IBGN und dem Shannon Wiener Index. Bei den Indizes sind die Werte für die degradierte Referenz, welche die direkte Vergleichsgrundlage ist, dargestellt. | 22 |
| Abbildung 7: Absolute Fangzahlen der Abfischungen bei BA und MK. Die kürzesten Balken sind vergrößert und repräsentieren Anzahlen von ein oder zwei Individuen. | 24 |
| Abbildung 9: Relativer Anteil der Fischhabitattypen in den Untersuchungsstrecken. | 25 |
| Abbildung 8: Absolute und relative Flächen der Fischhabitate (Unterstände und Strukturen). Vergleich mit der degradierten Referenz (MK) in grau. | 25 |
| Abbildung 10: Veränderungskategorie der Untersuchungsstrecken für den Indikator Fische: Unterstände und Strukturen. | 26 |
| Abbildung 11: Mittelwert der Fließgeschwindigkeit und der Fliesstiefe für die Strecken BA, MN, MK und DR, mit Angabe der Standardabweichung. | 26 |
| Abbildung 12: Streudiagramme für die chemischen und physikalischen Parameter mit Nitrit (A) und ohne Nitrit (B). | 27 |

Abbildung 13: Streudiagramme für die 20 häufigsten Taxa (A) und für die 15 häufigsten Taxa (B). ... 28

Abbildung 14: Streudiagramme für die 10 häufigsten Taxa (C) und für die Ordnungen (D). Die Datenpunkte haben die gleiche Form wie in Abbildung 11. 29

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Kenngrößen der sieben Untersuchungsstrecken. 5

Tabelle 2: Eignung der Indikatoren für die Beurteilung der Projektziele (zusammengestellt nach Woolsey, et al., 2005)..... 12

Tabelle 3: Faktoren, die bei der „model-selection“ verwendet wurden.. 15

Tabelle 4: Kandidatenmodelle mit Beschreibung der Art des Einflusses der Faktoren auf die Zusammensetzung des Makrozoobenthos (MZB)..... 16

Tabelle 5: Übersicht der angewendeten Methoden und der Resultate die präsentiert werden. 17

Tabelle 6: Veränderungskategorien für die Indikatoren, die Projektziele und den Bereich Umwelt und Ökologie. Zuordnung zu Symbolen und Farbcode. 18

Tabelle 7: Veränderungskategorien der neun abiotischen Indikatoren für die Untersuchungsstrecken. 19

Tabelle 8: Veränderungskategorien der neun Projektziele für die Untersuchungsstrecken. 19

Tabelle 9: Zuordnung einer Gewässerstelle zu einer von fünf Qualitätsklassen anhand der 22

Tabelle 10: Ranking der elf besten Modelle. Modelle die für die Modell-Mittelwertbildung verwendet wurden sind fett markiert. 30

Literaturverzeichnis

Agences de l'eau. (2000). *Indice biologique global normalisé I.B.G.N NF T 90-350. Guide technique. 2ème édition.* Paris: Les études des agences de l'eau n° 90.

*AQEM expert consortium. (2002). *Ecological classifications by AQEM expert consortium.*
<http://www.aqem.de>.

Aqua Plus. (2005). *Datenüberblick und Bestandesentwicklung der Fischfauna in der Bünz.* Sektion Jagd und Fischerei des Kantons Aargau.

Aschwanden, H., & Weingartner, R. (1985). *Die Abflussregimes der Schweiz.* Bern: Geographisches Institut der Universität Bern. Abt. Physikalische Geographie-Gewässerkunde. Publikation Gewässerkunde No. 65.

Björnn, T., & Reiser, D. (1991). Habitat requirements of salmonids in streams. *American Fisheries Society special publication* (19), S. 83-138.

Böhmer, J., Rawer-Jost, C., Zenker, A., Meier, C., Feld, C. K., Biss, R., et al. (2004). Assessing streams in Germany with benthic invertebrates: Development of a multimetric invertebrate based assessment system. *Limnologia* (34), S. 416-432.

Bradshaw, A. D. (1996). Underlying principles of restoration. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* , S. 3-9.

Bruder, A. (2005). *Auswirkungen der Stauhaltung Tieffurtmühle in Dottikon auf die Gewässerbiologie der Bünzauen in Möriken. Praktikumsbericht.* Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Kanton Aargau.

Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2002). Avoiding Pitfalls when using information-theoretic methods. *Journal of Wildlife Management* , S. 912-918.

BUWAL. (2005). *Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer: Makrozoobenthos Stufe F (flächendeckend), Entwurf.* Bern: Dokumentationsdienst Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.

BUWAL. (1998). *Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer: Oekomorphologie Stufe F (flächendeckend). In Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 27.* Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Bern: Dokumentationsdienst Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.

BUWAL. (1998). Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer: Modul-Stufen-Konzept. *Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr.26* , S. 42 pp.

Departement Bau, Verkehr und Umwelt Kt. Aargau (BVU), Abteilung Landschaft und Gewässer. *Portal des Kantons Aargau.* Abgerufen am 24. Juni 2008 von http://www.ag.ch/alg/de/pub/gewaessernutzung/hydrometrie/jahrbuecher/jahrbuecher_abfluss.php

Eawag, WSL, ETHZ, EPFL. (2005). *Integrales Gewässermanagement: Erkenntnisse aus dem Rhone-Thur Projekt* . Abgerufen am 12. März 2008 von <http://www.rivermanagement.ch>

- *Eder, E., Hödl, W., Moog, O., Neumann, H., Pöckl, M., & Wittmann, K. (1995). *Crustacea (authors depending on taxagroup)*. In: Moog, O. (Ed.): *Fauna Aquatica Austriaca, Lieferungen 1995, 2002*. Wien: Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land - und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- *Euro-limpacs Consortium. (2008). *Freshwaterecology.info - The Taxa and Autecology Database for Freshwater Organisms (version 3.1: 02.2007)*. Abgerufen am 28. Juli 2008 von www.freshwaterecology.info
- Fagan, W. F. (2002). Connectivity, Fragmentation, and Extinction Risk in Dendritic Metapopulations. *Ecology*, 12 (83), S. 3243-3249.
- Fischnetz. (2004). *Dem Fischrückgang auf der Spur. Schlussbericht des Projekts "Netzwerk Fischrückgang Schweiz"*.
- *Graf, W., Grasser, U., & Waringer, J. (1995). *Trichoptera*. In: Moog, O. (Ed.): *Fauna Aquatica Austriaca, Lieferung 1995*. Wien: Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.
- *Graf, W., Grasser, U., & Waringer, J. (2002). *Trichoptera*. In: Moog, O. (Ed.): *Fauna Aquatica Austriaca, Lieferung 2002*. Wien: Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.
- *Graf, W., Grasser, U., & Weinzierl, A. (1995). *Plecoptera*. In: Moog, O. (Ed.): *Fauna Aquatica Austriaca, Lieferung 1995*. Wien: Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.
- *Graf, W., Grasser, U., & Weinzierl, A. (2002). *Plecoptera*. In: Moog, O. (Ed.): *Fauna Aquatica Austriaca, Lieferung 2002*. Wien: Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.
- *Graf, W., Murphy, J., Dahl, J., Zamora-Muñoz, C., López Rodríguez, M. J., & Schmidt-Kloiber, A. (2006). *Trichoptera Indicator Database. Euro-limpacs project (contract no. GOCE-CT-2003-505540), Workpackage 7 - Indicators of ecosystem health, Task 4*.
- Grenacher, M. (2005). *Wasserqualität im Bünztal: Zusammenfassung der Datenauswertung: Stand 2004*. Departement Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau, Abteilung für Umwelt.
- Heeb, J., Schönborn, A., Mosimann, T., & Huber, F. (1996). *Raumbedarf von Fliessgewässern. Naturwissenschaftliche Grundlagen. Studie im Auftrag der Schweizerischen Bundesämter für Wasserwirtschaft, Umwelt, Wald und Landschaft, Raumplanung und Landwirtschaft (unveröffentlicht)*.
- Hildebrand, R. H., Watts, A. C., & Randle, A. M. (2005). The Myths of Restoration Ecology. *Ecology and Society*, 10 (1), S. (online) URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art19/>.
- Hofer, J. (1911). Die Fischfauna des Kantons Aargau. *Mitteilungen der aargauischen Naturforschenden Gesellschaft* (12), S. 61-74.
- Huber Gysi, M. (2003). *Fischereibiologischer Zustand und fischereibiologisches Potential der Bünz, mit besonderem Augenmerk auf die mögliche Sanierung des Krafwerks Tieffurtmühle (Dottikon) und der*

- Entlastung der Bünz durch die Direkteinleitung der ARA Wohlen in die Aare. Sektion Jagd und Fischerei des Kantons Aargau.
- Lake, P. S., Bond, N., & Reich, P. (2007). Linking ecological theory with stream restoration. *Freshwater Biology* (52), S. 597-615.
- Landeshydrologie (BWG). (1992). *Hydrologischer Atlas der Schweiz*. Bern.
- Lorenz, A., Hering, D., Feld, C., & Rolaufts, P. (17. März 2004). A new method for assessing the impact of hydromorphological degradation on the macroinvertebrate fauna of five German stream types. *Hydrobiologia*, S. 107-127.
- Matthaei, C. D., Townsend, C. R., Arbuckle, C. J., Peacock, K. A., Guggelberger, C., Kuster, C. E., et al. (2004). *Disturbance, assembly rules, and benthic communities in running waters: a review and some implications for restoration projects*. In: *Assembly Rules and Restoration Ecology. Bridging the Gap between Theory and Practice*. pp. 367-388. Washington: Island Press.
- Muotka, T., Paavola, R., Haapala, A., Novikmec, M., & Laasonen, P. (2002). Long-term recovery of stream habitat structure and benthic invertebrate communities from in-stream restoration. *Biological Conservation*, S. 243-253.
- Palmer, M. A., Ambrose, R. F., & Poff, L. N. (1997). Ecological Theory and Community Restoration Ecology. *Restoration Ecology*, 5 (4), S. 291-300.
- Palmer, M. A., Bernhardt, E. S., Allan, J. D., Lake, P. S., Alexander, G., Brooks, S., et al. (2005). Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology*, 42 (2), S. 208 - 217.
- Peter, A. (2005). *Fischhabitate: Unterstände und Strukturen: Indikatorsteckbrief Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fliessgewässerrevitalisierungen*. Publikation des Rhone-Thur Projektes. Eawag, WSL, LCG-EPFL, VAW-ETHZ. 5 pp.
- Peter, A., & Erb, M. (1996). *Leitfaden für fischbiologische Erhebungen in Fliessgewässern unter Einsatz der Elektrofischerei*. In *Mitteilungen zur Fischerei Nr. 58*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
- Peter, A., Kienast, F., & Woolsey, S. (Mai 2005). River rehabilitation in Switzerland: scope, challenges and research. *Archiv für Hydrobiologie. Supplement Volume Large Rivers*, S. 643-656.
- Petersen, R. C., Madsen, B. L., Wilzbach, M. A., Magadza, C. H., Paarlberg, A., Kullberg, A., et al. (1987). Stream management: emerging global similarities. *Ambio* (16), S. 166-179.
- Poff, L. N. (1995). Landscape filters and species traits: towards mechanistic understanding and prediction in stream ecology. *The North American Benthological Society*, 2 (16), S. 391-409.
- R Development Core Team. (2005). *R: a language and environment for statistical computing*. Wien: R Foundation for Statistical Computing.
- Reichert, P., Borsuka, M., Hostmann, M., Schweizer, S., Spörria, C., Tockner, K., et al. (2007). Concepts of decision support for river rehabilitation. *Environmental Modelling & Software*, 22 (2), S. 188-201.

Rhone-Thur-Projekt. *Rivermanagement*. Abgerufen am 12. März 2008 von <http://www.rivermanagement.ch>

Rohde, S. (2004). *River restoration: Potential and limitations to re-establish riparian landscapes. Assessment & Planning. PhD Thesis. 133 pp.* ETH Zurich and WSL Birmensdorf.

Roni, P. (2005). *Monitoring stream and watershed restoration*. Bethesda, Maryland: American Fisheries Society.

Streule, T. (2000). *Erfolgskontrolle bei Revitalisierungen von Fliessgewässern*. Diplomarbeit ETH Zürich.

White, G. C., Anderson, D. R., Burnham, K. P., & Otis, D. L. (1982). *Capture-recapture and removal methods for sampling closed populations*. Los Alamos: Los Alamos National Laboratory, LA-8787 NERP, UC-11.

Wilhm, J. L., & Dorris, T. C. (1968). Biological Parameters for Water Quality Criteria. *BioScience*, 18 (6), S. 477-481.

Woolsey, S., Weber, C., Gonser, T., Hoehn, E., Hostmann, M., Junker, B., et al. (2005). *Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fliessgewässerrevitalisierungen*. Publikation des Rhone-Thur Projektes. Eawag, WSL, LCG-EPFL, VAW-ETHZ. 112 pp.

Zwick, P. (1. Juni 1992). Stream habitat fragmentation: a threat to biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, S. 80-97.

Anhang

| | |
|--|-------|
| Anhang 1: Taxalisten der sieben Untersuchungsstrecken für die drei Termine | II |
| Anhang 2: Fangzahlen der Abfischungen von Streule (2000), Aqua Plus (2004) und Stäheli (2008) der Strecken BA und MK. Länge der befischten Abschnitte: 100m in den Jahren 2000 und 2004, 200m im Jahr 2008. | XI |
| Anhang 3: Verteilung der Forellen auf Längensklassen (10mm Klassen) für die Abfischungen bei Möriken naturnah und Möriken kanalisiert. Die horizontale Achse ist zwischen 220 und 371 mm unterbrochen. | XII |
| Anhang 4: Ephiliton: Artvorkommen und Biomasse (ash-free dry weight) pro Fläche für die Untersuchungsstrecken. Probenahme am 1. Termin (31.3.2008). | XIII |
| Anhang 5: Prozentuale Verteilung der Substratsklassen bei den Untersuchungsstrecken | XIV |
| Anhang 6: Mittlere Tagesabflüsse für die 19 Tage vor jedem Termin. Daten der Abflussmessstationen Othmarsingen (für BA, MN und MK), Wohlen (für DR und WS) und Anglikon (für BRN und BRA)..... | XV |
| Anhang 7: Korrelationsmatrix für alle Faktoren (ausser diskrete Faktoren). Faktoren mit Korrelation $r \geq 0.5$ wurden reduziert. | XVII |
| Anhang 8: Biplot aller a) und der für die Modellierung verwendet b) Faktoren | XVIII |
| Anhang 9: Vergleich des Laufes der Bünz von 1880 und 1994 (aus Aqua Plus, 2005)..... | XIX |
| Anhang 10: Messwerte der chemischen Parameter mit graphischer Darstellung. Bezeichnung in der Form „Stelle – Termin“ | XX |
| Anhang 11: Messwerte der Temperatur [°C], der Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}^2$] und der Trübheit. | XXII |

Anhang 1: Taxalisten der sieben Untersuchungsstrecken für die drei Termine

Bünzaue BA

| Termin | Klasse | Ordnung | Familie | Gattung | Art | N Individuen |
|----------|-------------|---------------|----------------|-------------|-----------|--------------|
| 1 | Clittelata | Oligochaeta | | | Gen. Sp. | 14 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | fossarum | 14 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | pulex | 12 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 233 |
| | Insecta | Diptera | Empididae | | Gen. Sp. | 2 |
| | Insecta | Diptera | Simuliidae | | Gen. Sp. | 3 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Baetis | sp. | 243 |
| | Nematoda | | | | Gen. Sp. | 2 |
| 2 | Arachnida | Acari | Hydracarina | | Gen. Sp. | 4 |
| | Clittelata | Oligochaeta | Lumbricidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Clittelata | Oligochaeta | | | Gen. Sp. | 8 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | fossarum | 52 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | pulex | 4 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Elmis | sp. | 4 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Elmis | sp. | 4 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Limnius | sp. | 4 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 52 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 940 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Acentrella | sinaica | 4 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Baetis | sp. | 208 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Ephemerellidae | Ephemerella | sp. | 24 |
| | Insecta | Trichoptera | Hydropsychidae | Hydropsyche | sp. | 12 |
| | Insecta | Trichoptera | Rhyacophilidae | Rhyacophila | sp. | 4 |
| Insecta | Trichoptera | | | Gen. Sp. | 4 | |
| 3 | Arachnida | Acari | Hydracarina | | Gen. Sp. | 8 |
| | Clittelata | Oligochaeta | Lumbricidae | Eiseniella | tetraedra | 16 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | fossarum | 80 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | pulex | 12 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Esolus | sp. | 4 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Esolus | sp. | 4 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Limnius | sp. | 4 |
| | Insecta | Diptera | Anthomyiidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 40 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 916 |
| | Insecta | Diptera | Dolichopodidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Insecta | Diptera | Simuliidae | | Gen. Sp. | 48 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Acentrella | sinaica | 12 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Baetis | sp. | 432 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Ephemerellidae | Ephemerella | sp. | 136 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Ephemerellidae | Torleya | major | 16 |
| | Insecta | Plecoptera | Leuctridae | Leuctra | sp. | 8 |

| | | | | | |
|---------|-------------|----------------|-------------|-----|---|
| Insecta | Trichoptera | Hydropsychidae | Hydropsyche | sp. | 4 |
| Insecta | Trichoptera | Rhyacophilidae | Rhyacophila | sp. | 4 |

3606

Möriken naturnah MN

| Termin | Klasse | Ordnung | Familie | Gattung | Art | N Individuen |
|---------|-------------|------------------|-----------------|----------------|-----------|--------------|
| 1 | Clittelata | Hirudinea | | | Gen. Sp. | 1 |
| | Clittelata | Oligochaeta | | | Gen. Sp. | 13 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | fossarum | 144 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | pulex | 9 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Limnius | sp. | 3 |
| | Insecta | Diptera | Ceratopogonidae | | Gen. Sp. | 129 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 1 |
| | Insecta | Diptera | Empididae | | Gen. Sp. | 1 |
| | Insecta | Diptera | Limoniidae | | Gen. Sp. | 1 |
| | Insecta | Diptera | Simuliidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Insecta | Diptera | Tabanidae | | Gen. Sp. | 1 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Baetis | sp. | 26 |
| | Insecta | Trichoptera | Limnephilidae | Stenophylacini | Gen. Sp. | 4 |
| 2 | Bivalvia | | Sphaeriidae | Sphaerium | sp. | 4 |
| | Clittelata | Oligochaeta | Lumbricidae | | Gen. Sp. | 8 |
| | Clittelata | Oligochaeta | | | Gen. Sp. | 40 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | fossarum | 92 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | pulex | 16 |
| | Crustacea | Isopoda | Asellidae | Asellus | aquaticus | 4 |
| | Gastropoda | | Valvatidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Elmis | sp. | 4 |
| | Insecta | Diptera | Ceratopogonidae | | Gen. Sp. | 8 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 40 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 816 |
| | Insecta | Diptera | Tabanidae | | Gen. Sp. | 8 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Acentrella | sinaica | 8 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Baetis | sp. | 364 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Ephemerellidae | Ephemerella | sp. | 28 |
| Insecta | Heteroptera | Nepidae | | Gen. Sp. | 4 | |
| Insecta | Trichoptera | Hydropsychidae | Hydropsyche | sp. | 20 | |
| Insecta | Trichoptera | Lepidostomatidae | Lepidostoma | hirtum | 4 | |
| Insecta | Trichoptera | Rhyacophilidae | Rhyacophila | sp. | 4 | |
| 3 | Bivalvia | | Sphaeriidae | Pisidium | sp. | 4 |
| | Clittelata | Hirudinea | | | Gen. Sp. | 4 |
| | Clittelata | Oligochaeta | Lumbricidae | Eiseniella | tetraedra | 12 |
| | Clittelata | Oligochaeta | | | Gen. Sp. | 4 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | fossarum | 80 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | pulex | 16 |
| | Crustacea | Isopoda | Asellidae | Asellus | aquaticus | 12 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Elmis | sp. | 4 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Elmis | sp. | 4 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Limnius | sp. | 12 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Limnius | sp. | 12 |

| | | | | | |
|---------|---------------|------------------|-------------|----------|-----|
| Insecta | Diptera | Anthomyiidae | | Gen. Sp. | 32 |
| Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 788 |
| Insecta | Diptera | Simuliidae | | Gen. Sp. | 16 |
| Insecta | Diptera | Tipulidae | | Gen. Sp. | 8 |
| Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Acentrella | sinaica | 4 |
| Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Baetis | sp. | 152 |
| Insecta | Ephemeroptera | Ephemerellidae | Ephemerella | sp. | 104 |
| Insecta | Trichoptera | Hydropsychidae | Hydropsyche | sp. | 32 |
| Insecta | Trichoptera | Lepidostomatidae | Lepidostoma | hirtum | 4 |
| Insecta | Trichoptera | Rhyacophilidae | Rhyacophila | sp. | 8 |
| Insecta | Trichoptera | Rhyacophilidae | Rhyacophila | sp. | 8 |

3134

Möriken kanalisiert MK (degradierte Referenz)

| Termin | Klasse | Ordnung | Familie | Gattung | Art | N Individuen |
|--------|------------|---------------|-----------------|----------------|----------|--------------|
| 1 | Clittelata | Oligochaeta | Lumbricidae | | Gen. Sp. | 5 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | fossarum | 305 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | pulex | 185 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Riolus | sp. | 5 |
| | Insecta | Diptera | Ceratopogonidae | | Gen. Sp. | 5 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 505 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 5 |
| | Insecta | Diptera | Empididae | | Gen. Sp. | 30 |
| | Insecta | Diptera | Empididae | | Gen. Sp. | 5 |
| | Insecta | Diptera | Simuliidae | | Gen. Sp. | 5 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Baetis | sp. | 180 |
| | Insecta | Trichoptera | Hydropsychidae | Hydropsyche | sp. | 165 |
| | Insecta | Trichoptera | Limnephilidae | Stenophylacini | Gen. Sp. | 5 |
| | Insecta | Trichoptera | Limnephilidae | | Gen. Sp. | 5 |
| | Nematoda | | | | Gen. Sp. | 5 |
| 2 | Clittelata | Hirudinea | | | Gen. Sp. | 4 |
| | Clittelata | Oligochaeta | Lumbricidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Clittelata | Oligochaeta | Lumbricidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | fossarum | 68 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | pulex | 20 |
| | Gastropoda | | Hydrobiidae | | Gen. Sp. | 12 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Elmis | sp. | 4 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Limnius | sp. | 8 |
| | Insecta | Diptera | Ceratopogonidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 608 |
| | Insecta | Diptera | Empididae | | Gen. Sp. | 8 |
| | Insecta | Diptera | Empididae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Acentrella | sinaica | 8 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Baetis | sp. | 216 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Ephemerellidae | Ephemerella | sp. | 88 |
| | Insecta | Trichoptera | Hydropsychidae | Hydropsyche | sp. | 84 |
| | Insecta | Trichoptera | Phryganeidae | Trichostegia | minor | 4 |
| | Insecta | Trichoptera | Rhyacophilidae | Rhyacophila | sp. | 8 |

| | | | | | | |
|----------|------------|---------------|-------------------|---------------|-----------|-----|
| 3 | Bivalvia | | Sphaeriidae | Sphaerium | sp. | 4 |
| | Clittelata | Hirudinea | | | Gen. Sp. | 4 |
| | Clittelata | Oligochaeta | Lumbricidae | Eiseniella | tetraedra | 4 |
| | Clittelata | Oligochaeta | | | sp. | 12 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | fossarum | 48 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | pulex | 16 |
| | Gastropoda | | Hydrobiidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Gastropoda | | Planorbidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Gastropoda | | Valvatidae | | Gen. Sp. | 8 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Limnius | sp. | 4 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Limnius | sp. | 16 |
| | Insecta | Diptera | Ceratopogonidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 16 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 684 |
| | Insecta | Diptera | Tipulidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Baetis | sp. | 48 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Ephemerellidae | Ephemerella | sp. | 156 |
| | Insecta | Plecoptera | Leuctridae | Leuctra | sp. | 4 |
| | Insecta | Trichoptera | Hydropsychidae | Hydropsyche | sp. | 16 |
| | Insecta | Trichoptera | Hydroptilidae | Hydroptila | sp. | 4 |
| | Insecta | Trichoptera | Limnephilidae | Limnephilini | Gen. Sp. | 4 |
| | Insecta | Trichoptera | Polycentropodidae | Polycentropus | sp. | 4 |
| | Insecta | Trichoptera | Rhyacophilidae | Rhyacophila | sp. | 4 |

3647

Dottikon revitalisiert DR

| Probenahme | Klasse | Ordnung | Familie | Gattung | Art | N Individuen |
|------------|------------|---------------|-----------------|-------------|-----------|--------------|
| 1 | Clittelata | Oligochaeta | | | Gen. Sp. | 23 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | pulex | 5 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Limnius | sp. | 10 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Riolus | sp. | 1 |
| | Insecta | Diptera | Ceratopogonidae | | Gen. Sp. | 10 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 165 |
| | Insecta | Diptera | Empididae | | Gen. Sp. | 9 |
| | Insecta | Diptera | Limoniidae | | Gen. Sp. | 2 |
| | Insecta | Diptera | Simuliidae | | Gen. Sp. | 1 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Baetis | sp. | 123 |
| | Insecta | Trichoptera | Psychomyiidae | | Gen. Sp. | 1 |
| | Nematoda | | | | Gen. Sp. | 1 |
| | 2 | Arachnida | Acari | Hydracarina | | Gen. Sp. |
| Bivalvia | | | Sphaeriidae | Sphaerium | sp. | 4 |
| Clittelata | | Hirudinea | | | Gen. Sp. | 8 |
| Clittelata | | Oligochaeta | Lumbricidae | | Gen. Sp. | 16 |
| Clittelata | | Oligochaeta | | | Gen. Sp. | 468 |
| Crustacea | | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | fossarum | 16 |
| Crustacea | | Isopoda | Asellidae | Asellus | aquaticus | 4 |
| Gastropoda | | | Ancylidae | | Gen. Sp. | 4 |
| Gastropoda | | | Hydrobiidae | | Gen. Sp. | 24 |
| Gastropoda | | | Valvatidae | | Gen. Sp. | 4 |

| | | | | | | |
|----------|------------|---------------|-----------------|---------------|-------------|-----|
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Elmis | sp. | 12 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Elmis | sp. | 12 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Limnius | sp. | 4 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Limnius | sp. | 48 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Riolus | sp. | 12 |
| | Insecta | Diptera | Ceratopogonidae | | Gen. Sp. | 16 |
| | Insecta | Diptera | Chaoboridae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 8 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 364 |
| | Insecta | Diptera | Empididae | | Gen. Sp. | 16 |
| | Insecta | Diptera | Limoniidae | | Gen. Sp. | 8 |
| | Insecta | Diptera | Stratiomyidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Acentrella | sinaica | 4 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Baetis | sp. | 416 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Centroptilium | pennulatum | 4 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Ephemerellidae | Ephemerella | sp. | 32 |
| | Insecta | Odonata | Gomphidae | Ophiogomphus | sp. | 8 |
| | Insecta | Plecoptera | Leuctridae | Leuctra | sp. | 16 |
| | Insecta | Trichoptera | Hydropsychidae | Hydropsyche | sp. | 4 |
| | Insecta | Trichoptera | Hydroptilidae | Hydroptila | sp. | 4 |
| | Insecta | Trichoptera | Rhyacophilidae | Rhyacophila | sp. | 12 |
| 3 | Arachnida | Acari | Hydracarina | | Gen. Sp. | 8 |
| | Clittelata | Oligochaeta | Lumbricidae | Eiseniella | tetraedra | 12 |
| | Clittelata | Oligochaeta | | | Gen. Sp. | 48 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | fossarum | 40 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | pulex | 12 |
| | Crustacea | Isopoda | Asellidae | Asellus | aquaticus | 8 |
| | Gastropoda | | Hydrobiidae | | Gen. Sp. | 8 |
| | Gastropoda | | Physidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Gastropoda | | Valvatidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Elmis | sp. | 4 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Elmis | sp. | 8 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Limnius | sp. | 28 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Riolus | sp. | 4 |
| | Insecta | Diptera | Athericidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Insecta | Diptera | Ceratopogonidae | | Gen. Sp. | 8 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 536 |
| | Insecta | Diptera | Simuliidae | | Gen. Sp. | 12 |
| | Insecta | Diptera | Tipulidae | | Gen. Sp. | 28 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Acentrella | sinaica | 4 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Baetis | sp. | 200 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Ephemerellidae | Ephemerella | sp. | 140 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Ephemerellidae | Torleya | major | 8 |
| | Insecta | Odonata | Gomphidae | Gomphus | sp. | 4 |
| | Insecta | Plecoptera | Leuctridae | Euleuctra | geniculata | 4 |
| | Insecta | Plecoptera | Leuctridae | Leuctra | sp. | 20 |
| | Insecta | Trichoptera | Hydropsychidae | Hydropsyche | sp. | 4 |
| | Insecta | Trichoptera | Hydroptilidae | Allotrichia | pallicornis | 8 |
| | Nematoda | | | | Gen. Sp. | 4 |

3091

Wohlen strukturverbessert WS

| Probenahme | Klasse | Ordnung | Familie | Gattung | Art | N Individuen |
|------------|---------------|----------------|-----------------|-------------|-----------|--------------|
| 1 | Clittelata | Oligochaeta | | | Gen. Sp. | 17 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Limnius | sp. | 7 |
| | Insecta | Diptera | Ceratopogonidae | | Gen. Sp. | 26 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 379 |
| | Insecta | Diptera | Empididae | | Gen. Sp. | 7 |
| | Insecta | Diptera | Limoniidae | | Gen. Sp. | 5 |
| | Insecta | Diptera | | | Gen. Sp. | 3 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Baetis | sp. | 83 |
| | Insecta | Trichoptera | Hydropsychidae | Hydropsyche | sp. | 2 |
| | Insecta | Trichoptera | Rhyacophilidae | Rhyacophila | sp. | 2 |
| | Nematoda | | | | Gen. Sp. | 2 |
| 2 | Arachnida | Acari | Hydracarina | | Gen. Sp. | 16 |
| | Clittelata | Oligochaeta | Lumbricidae | Eiseniella | tetraedra | 4 |
| | Clittelata | Oligochaeta | | | Gen. Sp. | 4 |
| | Clittelata | Oligochaeta | | | Gen. Sp. | 92 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | fossarum | 8 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Limnius | sp. | 8 |
| | Insecta | Diptera | Ceratopogonidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Insecta | Diptera | Ceratopogonidae | | Gen. Sp. | 20 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 12 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 568 |
| | Insecta | Diptera | Empididae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Insecta | Diptera | Limoniidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Baetis | sp. | 300 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Ephemerellidae | Ephemerella | sp. | 16 |
| | Insecta | Plecoptera | Leuctridae | Leuctra | sp. | 4 |
| | Insecta | Trichoptera | Hydropsychidae | Hydropsyche | sp. | 4 |
| | Insecta | Trichoptera | Hydroptilidae | Hydroptila | sp. | 4 |
| Insecta | Trichoptera | Rhyacophilidae | Rhyacophila | sp. | 4 | |
| 3 | Arachnida | Acari | Hydracarina | | Gen. Sp. | 2 |
| | Clittelata | Hirudinea | | | Gen. Sp. | 2 |
| | Clittelata | Oligochaeta | Lumbricidae | Eiseniella | tetraedra | 2 |
| | Clittelata | Oligochaeta | | | Gen. Sp. | 120 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | fossarum | 8 |
| | Crustacea | Isopoda | Asellidae | Asellus | aquaticus | 4 |
| | Gastropoda | | Hydrobiidae | | Gen. Sp. | 8 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Elmis | sp. | 2 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Limnius | sp. | 16 |
| | Insecta | Diptera | Anthomyiidae | | Gen. Sp. | 2 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 6 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 168 |
| | Insecta | Diptera | Ephydriidae | | Gen. Sp. | 2 |
| | Insecta | Diptera | Simuliidae | | Gen. Sp. | 2 |
| Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Baetis | sp. | 226 | |
| Insecta | Ephemeroptera | Ephemerellidae | Ephemerella | sp. | 52 | |

| | | | | | |
|---------|---------------|----------------|-------------|-------|----|
| Insecta | Ephemeroptera | Ephemerellidae | Torleya | major | 22 |
| Insecta | Plecoptera | Leuctridae | Leuctra | sp. | 4 |
| Insecta | Trichoptera | Hydropsychidae | Hydropsyche | sp. | 2 |
| Insecta | Trichoptera | Rhyacophilidae | Rhyacophila | sp. | 16 |

2274

Bünzen revitalisiert neu BRN

| Probenahme | Klasse | Ordnung | Familie | Gattung | Art | N Individuen |
|------------|------------|---------------|-----------------|-------------|-----------|--------------|
| 1 | Clittelata | Hirudinea | | | Gen. Sp. | 3 |
| | Clittelata | Oligochaeta | | | Gen. Sp. | 50 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | fossarum | 3 |
| | Crustacea | Isopoda | Asellidae | Asellus | aquaticus | 3 |
| | Insecta | Diptera | Athericidae | | Gen. Sp. | 3 |
| | Insecta | Diptera | Ceratopogonidae | | Gen. Sp. | 15 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 570 |
| | Insecta | Diptera | Limoniidae | | Gen. Sp. | 3 |
| | Insecta | Diptera | Tabanidae | | Gen. Sp. | 5 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Baetis | sp. | 50 |
| 2 | Clittelata | Oligochaeta | Lumbricidae | Eiseniella | tetraedra | 8 |
| | Clittelata | Oligochaeta | Lumbricidae | | Gen. Sp. | 164 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | fossarum | 4 |
| | Gastropoda | | Hydrobiidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Gastropoda | | Valvatidae | | Gen. Sp. | 20 |
| | Insecta | Diptera | Ceratopogonidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 20 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 816 |
| | Insecta | Diptera | Tipulidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Baetis | sp. | 324 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Ephemerellidae | Ephemerella | sp. | 28 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Ephemeridae | Ephemera | sp. | 4 |
| | Insecta | Trichoptera | Hydropsychidae | Hydropsyche | sp. | 4 |
| | Insecta | Trichoptera | Hydroptilidae | Hydroptila | sp. | 20 |
| Nematoda | | | | Gen. Sp. | 4 | |
| 3 | Arachnida | Acari | Hydracarina | | Gen. Sp. | 2 |
| | Bivalvia | | Sphaeriidae | Sphaerium | sp. | 2 |
| | Clittelata | Oligochaeta | | | Gen. Sp. | 28 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | fossarum | 8 |
| | Gastropoda | | Hydrobiidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Limnius | sp. | 4 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 24 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 210 |
| | Insecta | Diptera | Simuliidae | | Gen. Sp. | 2 |
| | Insecta | Diptera | Simuliidae | | Gen. Sp. | 16 |
| | Insecta | Diptera | Tipulidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Baetis | sp. | 214 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Ephemerellidae | Ephemerella | sp. | 14 |
| | Insecta | Plecoptera | Leuctridae | Leuctra | sp. | 2 |
| | Insecta | Trichoptera | Rhyacophilidae | Rhyacophila | sp. | 2 |

2667

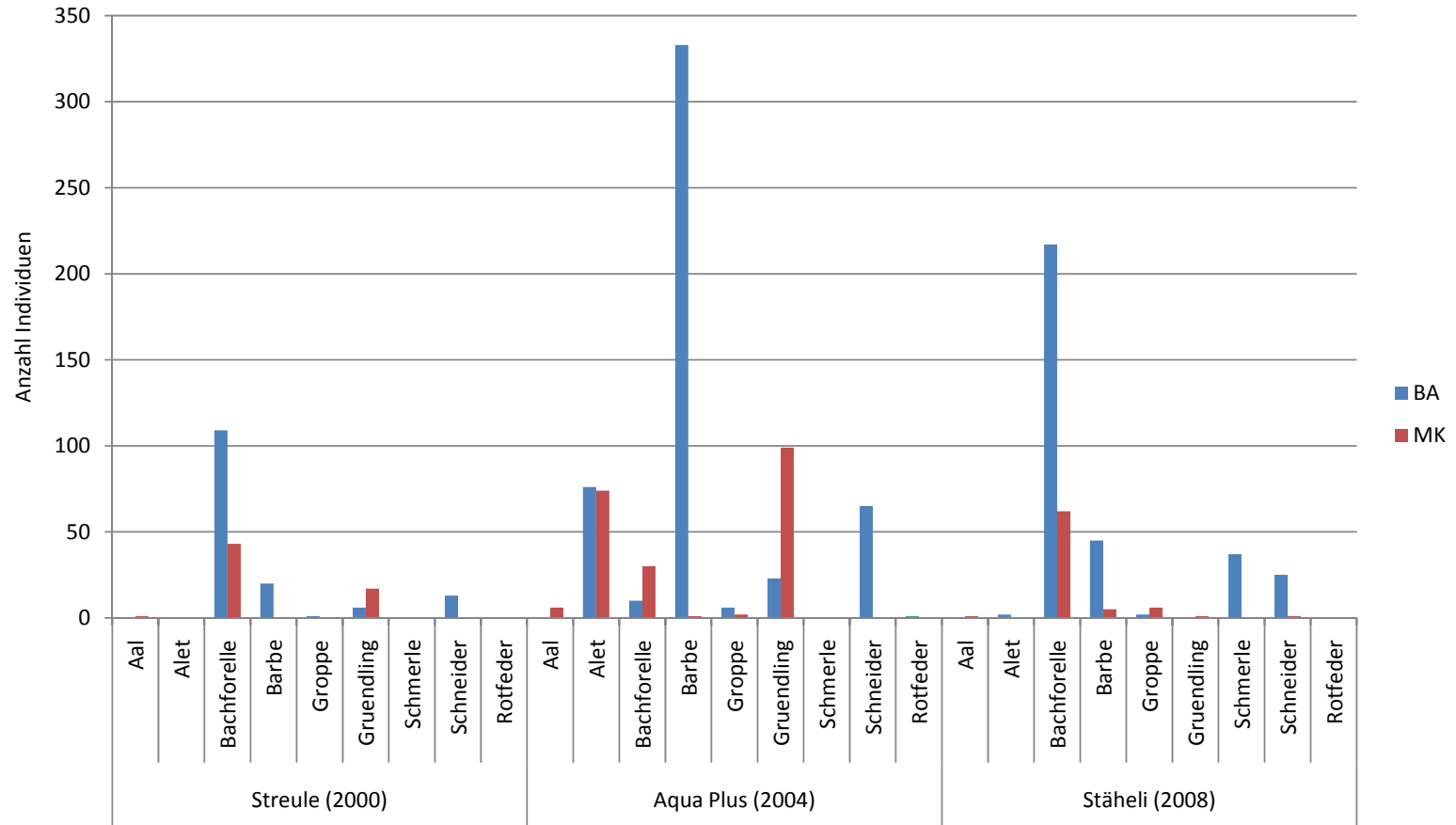
Bünzen revitalisiert alt BRA

| Termin | Klasse | Ordnung | Familie | Gattung | Art | N Individuen |
|------------|------------|---------------|-----------------|-------------|-----------|--------------|
| 1 | Clittelata | Hirudinea | | | Gen. Sp. | 3 |
| | Clittelata | Oligochaeta | | | Gen. Sp. | 50 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | fossarum | 3 |
| | Crustacea | Isopoda | Asellidae | Asellus | aquaticus | 8 |
| | Gastropoda | | Hydrobiidae | | Gen. Sp. | 3 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Limnius | sp. | 5 |
| | Insecta | Diptera | Ceratopogonidae | | Gen. Sp. | 28 |
| | Insecta | Diptera | Chaoboridae | | Gen. Sp. | 3 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 505 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 3 |
| | Insecta | Diptera | Empididae | | Gen. Sp. | 5 |
| | Insecta | Diptera | Leptoceridae | | Gen. Sp. | 5 |
| | Insecta | Diptera | Limoniidae | | Gen. Sp. | 23 |
| | Insecta | Diptera | Odontoceridae | | Gen. Sp. | 5 |
| | Insecta | Diptera | Simuliidae | | Gen. Sp. | 5 |
| | Insecta | Diptera | Tabanidae | | Gen. Sp. | 3 |
| | Insecta | Diptera | Tipulidae | | Gen. Sp. | 5 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Baetis | sp. | 38 |
| | Insecta | Odonata | Gomphidae | | Gen. Sp. | 10 |
| | Insecta | Trichoptera | Hydropsychidae | Hydropsyche | sp. | 5 |
| | Insecta | Trichoptera | Limnephilidae | Anabolia | nervosa | 5 |
| | Insecta | Trichoptera | Rhyacophilidae | | Gen. Sp. | 5 |
| | Nematoda | | | | Gen. Sp. | 3 |
| | 2 | Arachnida | Acari | Hydracarina | | Gen. Sp. |
| Clittelata | | Oligochaeta | Lumbricidae | | Gen. Sp. | 2 |
| Clittelata | | Oligochaeta | | | Gen. Sp. | 34 |
| Crustacea | | Isopoda | Asellidae | Asellus | aquaticus | 2 |
| Gastropoda | | | Hydrobiidae | | Gen. Sp. | 4 |
| Gastropoda | | | Valvatidae | | Gen. Sp. | 6 |
| Insecta | | Coleoptera | Elmidae | Limnius | sp. | 6 |
| Insecta | | Diptera | Ceratopogonidae | | Gen. Sp. | 2 |
| Insecta | | Diptera | Ceratopogonidae | | Gen. Sp. | 4 |
| Insecta | | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 2 |
| Insecta | | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 390 |
| Insecta | | Diptera | Limoniidae | Hexatomiini | Gen. Sp. | 4 |
| Insecta | | Diptera | Limoniidae | Limoniini | Gen. Sp. | 12 |
| Insecta | | Diptera | Limoniidae | Pediciini | Gen. Sp. | 2 |
| Insecta | | Diptera | Ptychopteridae | | Gen. Sp. | 2 |
| Insecta | | Diptera | Tabanidae | | Gen. Sp. | 2 |
| Insecta | | Ephemeroptera | Baetidae | Baetis | sp. | 276 |
| Insecta | | Ephemeroptera | Ephemerellidae | Ephemerella | sp. | 4 |
| Insecta | | Heteroptera | Aphelocheiridae | | Gen. Sp. | 2 |
| Insecta | | Trichoptera | Hydropsychidae | Hydropsyche | sp. | 10 |
| Insecta | | Trichoptera | Hydroptilidae | Hydroptila | sp. | 8 |
| Insecta | | Trichoptera | Rhyacophilidae | Rhyacophila | sp. | 2 |
| Nematoda | | | | | Gen. Sp. | 8 |

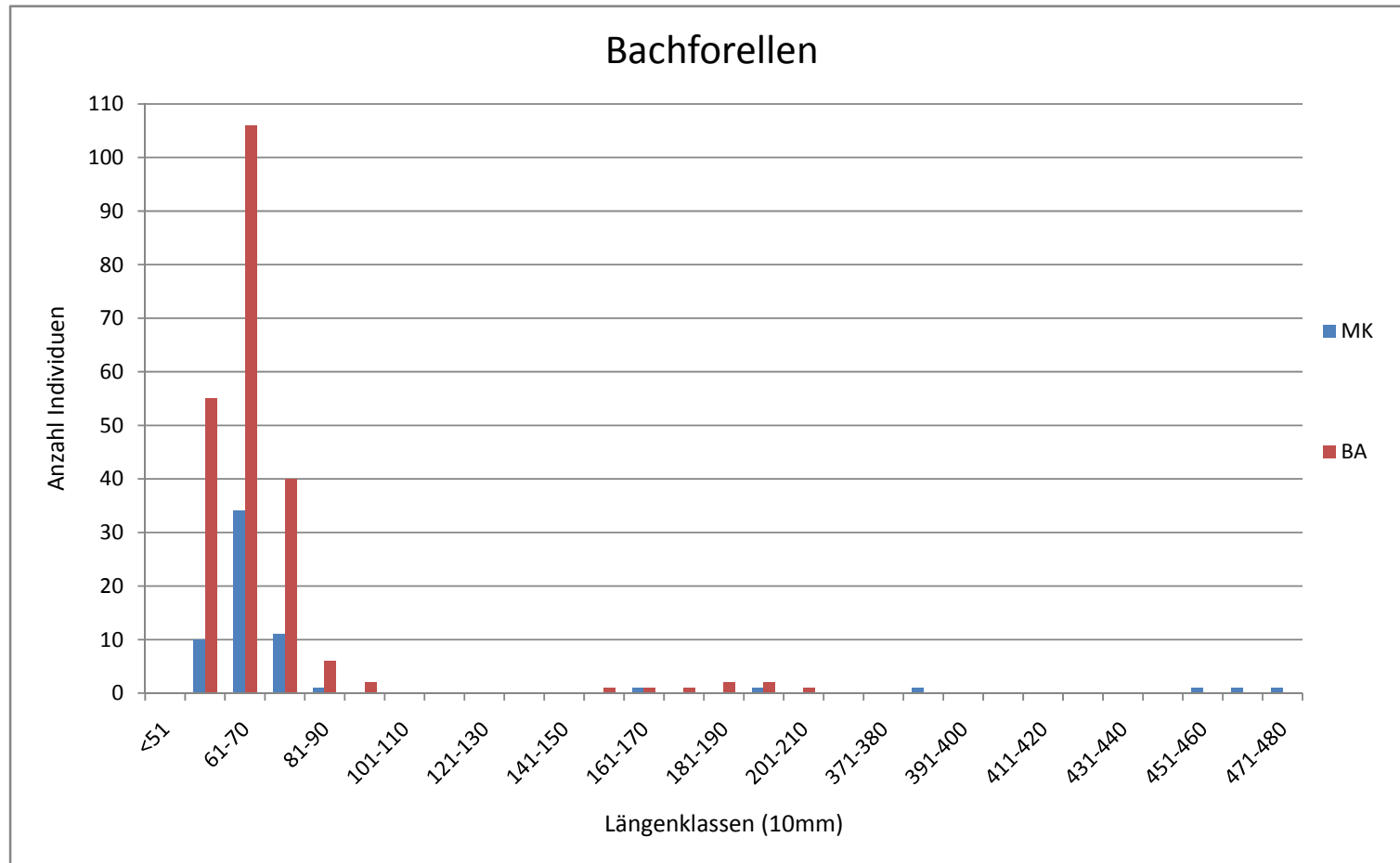
| | | | | | | |
|----------|------------|---------------|----------------|----------------|-----------|-----|
| 3 | Clittelata | Hirudinea | | Gen. Sp. | 8 | |
| | Clittelata | Oligochaeta | Lumbricidae | Eiseniella | tetraedra | 4 |
| | Clittelata | Oligochaeta | Lumbricidae | | Gen. Sp. | 8 |
| | Clittelata | Oligochaeta | | | Gen. Sp. | 104 |
| | Crustacea | Amphipoda | Gammaridae | Gammarus | pulex | 4 |
| | Crustacea | Isopoda | Asellidae | Asellus | aquaticus | 48 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | Limnius | sp. | 8 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 12 |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | | Gen. Sp. | 420 |
| | Insecta | Diptera | Simuliidae | | Gen. Sp. | 8 |
| | Insecta | Diptera | Tipulidae | | Gen. Sp. | 4 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Acentrella | sinaica | 4 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | Baetis | sp. | 340 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Ephemerellidae | Ephemerella | sp. | 52 |
| | Insecta | Ephemeroptera | Ephemerellidae | Torleya | major | 4 |
| | Insecta | Odonata | Lestidae | Lestes | sp. | 8 |
| | Insecta | Trichoptera | Limnephilidae | Stenophylacini | Gen. Sp. | 12 |
| | Insecta | Trichoptera | Rhyacophilidae | Rhyacophila | sp. | 12 |

2573

Anhang 2: Fangzahlen der Abfischungen von Streule (2000), Aqua Plus (2004) und Stäheli (2008) der Strecken BA und MK. Länge der befischten Abschnitte: 100m in den Jahren 2000 und 2004, 200m im Jahr 2008.

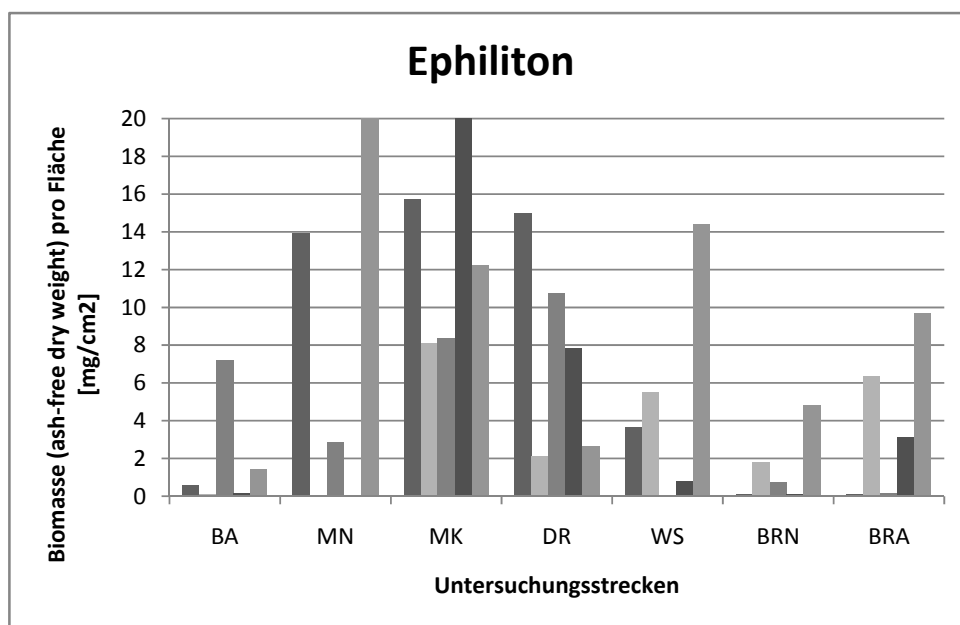


Anhang 3: Verteilung der Forellen auf Längenklassen (10mm Klassen) für die Abfischungen bei Möriken naturnah und Möriken kanalisiert. Die horizontale Achse ist zwischen 220 und 371 mm unterbrochen.

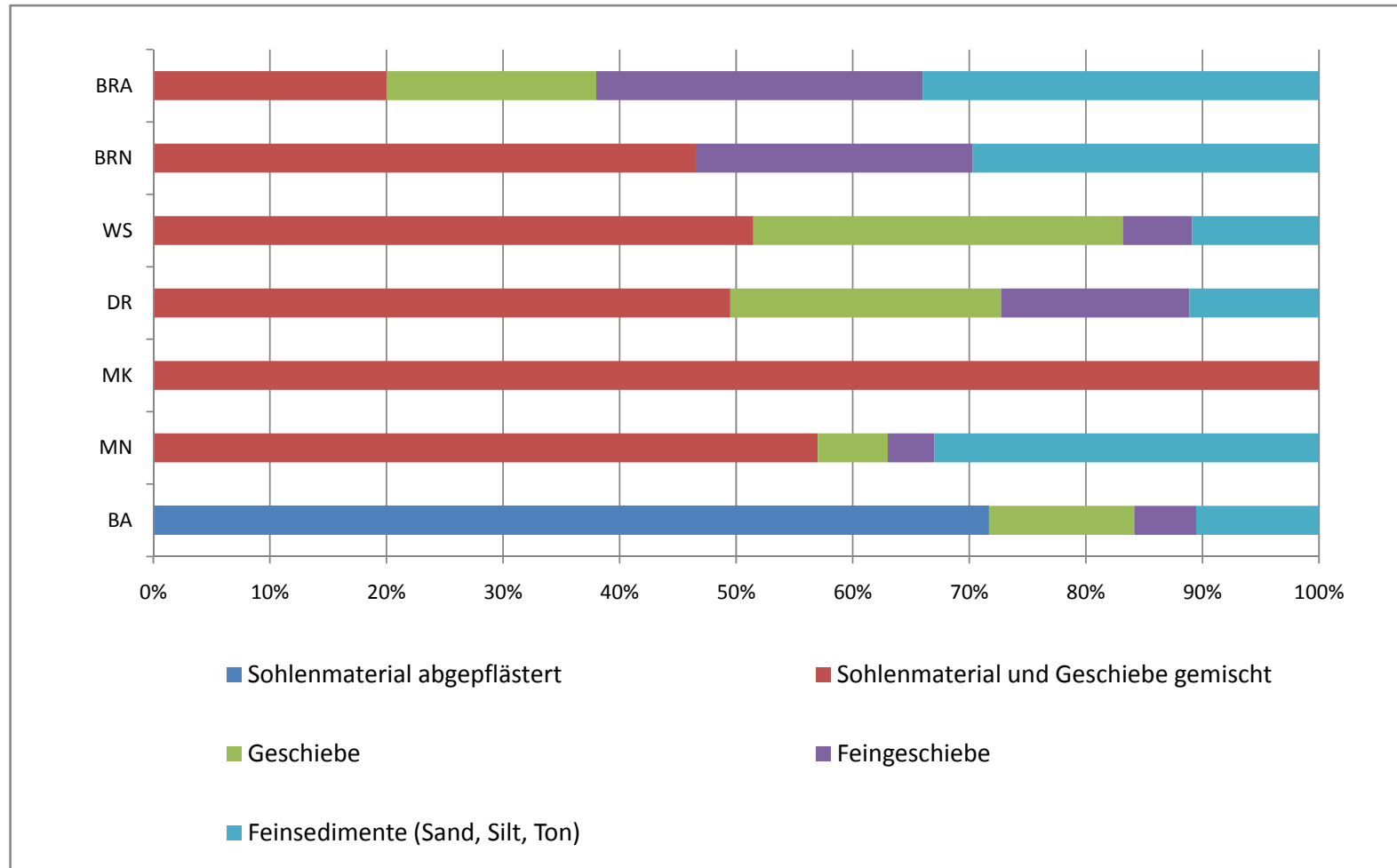


Anhang 4: Ephiliton: Artvorkommen und Biomasse (ash-free dry weight) pro Fläche für die Untersuchungsstrecken. Probenahme am 1. Termin (31.3.2008).

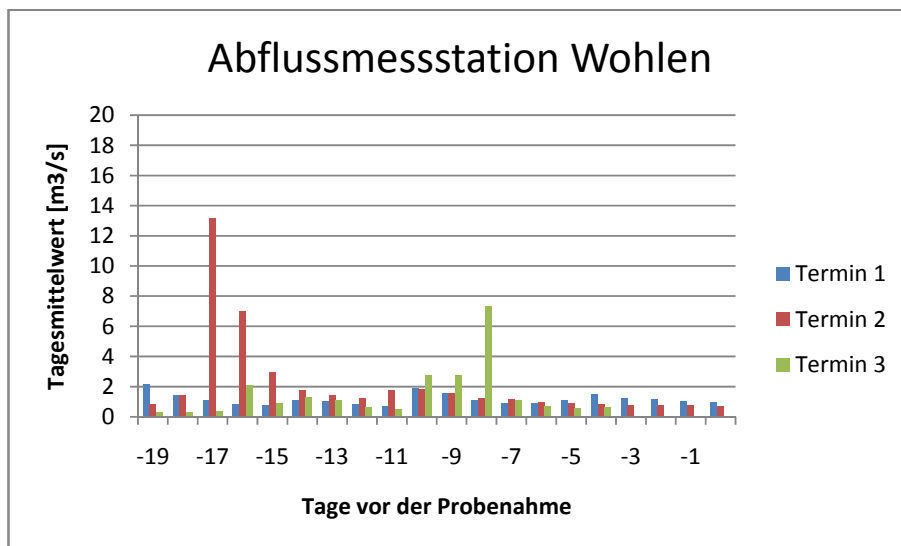
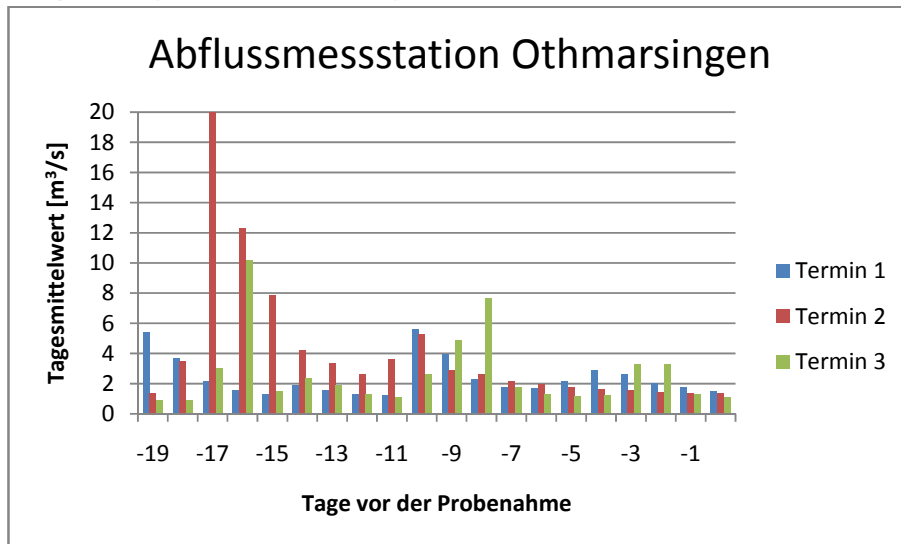
| Art | BA | MN | MK | DR | WS | BRN | BRA |
|--------------------------|----|----|----|----|----|-----|-----|
| Achnanthes minutissima | * | * | * | * | * | * | * |
| Achnanthes sp | * | * | * | * | * | | |
| Amphora peciculus | * | * | * | * | | | |
| Amphora ovalis | * | * | * | * | | | * |
| Closterium ehrenbergii | * | * | * | * | * | * | |
| Cocconeis placentula | * | * | * | * | * | * | * |
| Cymbella minuta | * | * | * | * | * | * | * |
| Cymbella affinis | * | | | | | | |
| Diatoma vulgare | * | * | * | * | * | | |
| Gyrosigma acuminatum | | * | * | * | * | | |
| Melosira varians | * | * | * | * | * | | |
| Meridion circulare | | * | | | | | |
| Navicula tripunctata | * | * | * | * | * | * | * |
| Navicula cryptotenella | * | * | * | * | * | * | * |
| Navicula sp. | * | * | * | * | * | * | * |
| Nitzschia obtusa | * | * | * | * | * | * | * |
| Nitzschia linearis | * | * | * | * | | | * |
| Nitzschia palea | * | * | * | * | * | * | * |
| Rhoicosphenia abbreviata | * | * | * | * | * | * | * |
| Surirella ovalis | * | * | * | * | * | * | * |
| Surirella constricta | * | * | * | * | * | | |
| Microspora sp | * | * | * | | * | * | * |
| Lyngbya sp. | | * | * | | * | * | * |
| Stigeocolonium sp. | | | | | | * | * |
| Cladophora sp | * | * | * | | * | | * |



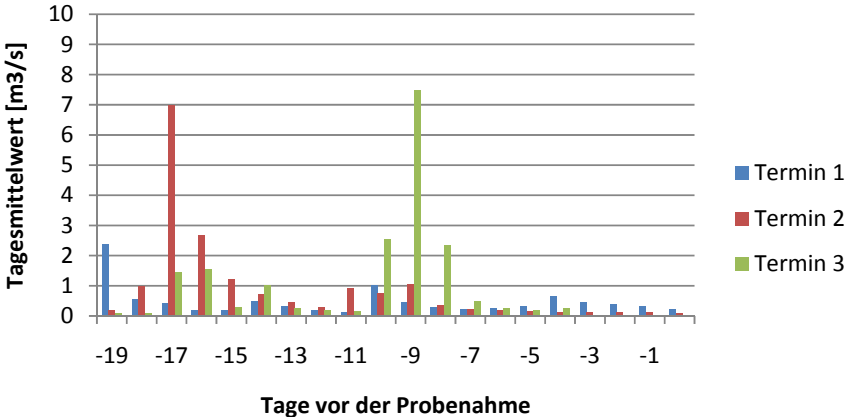
Anhang 5: Prozentuale Verteilung der Substratsklassen bei den Untersuchungsstrecken



Anhang 6: Mittlere Tagesabflüsse für die 19 Tage vor jedem Termin. Daten der Abflussmessstationen Othmarsingen (für BA, MN und MK), Wohlen (für DR und WS) und Anglikon (für BRN und BRA).



Abflussmessstation Anglikon

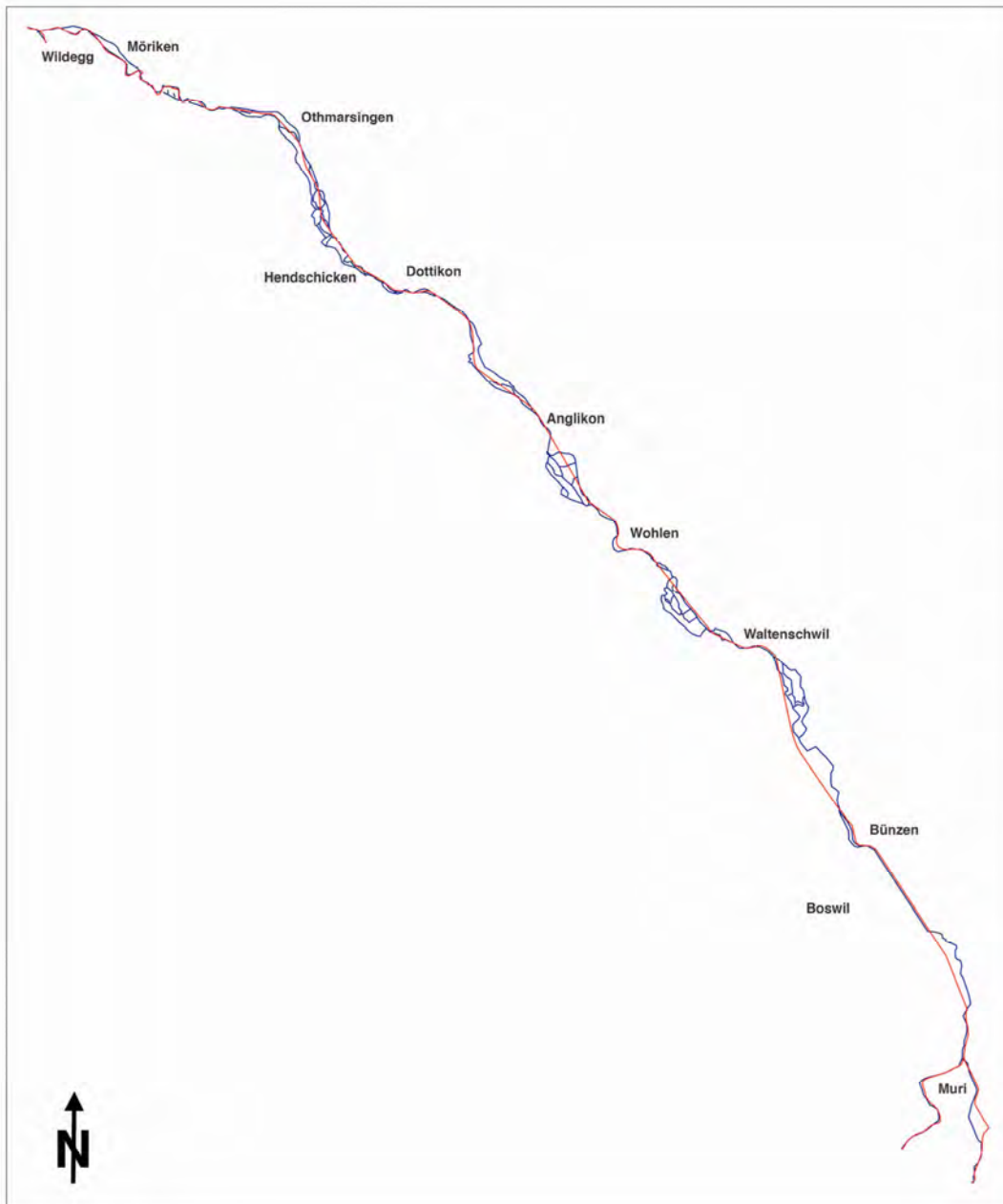


Anhang 7: Korrelationsmatrix für alle Faktoren (ausser diskrete Faktoren). Faktoren mit Korrelation $r \geq 0.5$ wurden reduziert.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 1.00 | 0.87 | 0.87 | 0.75 | 0.84 | 0.61 | -0.19 | 0.15 | -0.08 | 0.05 | -0.21 | 0.04 | -0.01 | -0.03 | 0.04 | -0.02 | -0.24 | 0.00 | -0.21 | -0.16 | -0.27 | -0.11 | 0.06 | -0.20 | 0.01 | -0.02 |
| 2 | | 1.00 | 1.00 | 0.81 | 0.96 | 0.65 | -0.28 | 0.36 | -0.15 | 0.06 | -0.26 | -0.04 | -0.02 | -0.11 | -0.04 | -0.05 | -0.17 | -0.06 | -0.25 | -0.18 | -0.32 | -0.08 | -0.01 | -0.15 | 0.24 | -0.01 |
| 3 | | | 1.00 | 0.81 | 0.96 | 0.65 | -0.28 | 0.36 | -0.16 | 0.05 | -0.27 | -0.04 | -0.03 | -0.11 | -0.04 | -0.05 | -0.17 | -0.06 | -0.25 | -0.19 | -0.33 | -0.07 | -0.02 | -0.14 | 0.24 | -0.01 |
| 4 | | | | 1.00 | 0.74 | 0.64 | -0.24 | 0.14 | -0.12 | 0.07 | -0.11 | 0.08 | -0.16 | 0.06 | 0.08 | 0.00 | -0.15 | 0.06 | -0.13 | -0.12 | -0.17 | 0.04 | -0.05 | -0.09 | 0.07 | 0.05 |
| 5 | | | | | 1.00 | 0.55 | -0.20 | 0.45 | -0.04 | 0.06 | -0.14 | 0.03 | -0.02 | -0.01 | 0.03 | 0.05 | -0.06 | 0.04 | -0.12 | -0.09 | -0.24 | -0.09 | -0.09 | -0.09 | 0.26 | 0.08 |
| 6 | | | | | | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | | | | | | | 1.00 | 0.00 | 0.85 | 0.41 | 0.67 | 0.54 | 0.77 | 0.57 | 0.54 | 0.74 | 0.12 | 0.54 | 0.42 | 0.80 | 0.38 | -0.53 | 0.43 | -0.18 | -0.60 | 0.62 |
| 8 | | | | | | | | 1.00 | 0.41 | 0.00 | 0.11 | 0.30 | 0.00 | 0.28 | 0.30 | 0.41 | 0.10 | 0.44 | 0.24 | 0.03 | -0.23 | -0.34 | -0.32 | -0.11 | 0.34 | 0.28 |
| 9 | | | | | | | | | 1.00 | 0.42 | 0.61 | 0.72 | 0.60 | 0.73 | 0.72 | 0.89 | 0.01 | 0.83 | 0.43 | 0.63 | 0.13 | -0.65 | 0.26 | -0.34 | -0.50 | 0.70 |
| 10 | | | | | | | | | | 1.00 | 0.22 | 0.44 | 0.45 | 0.54 | 0.44 | 0.56 | -0.38 | 0.66 | -0.35 | 0.42 | -0.26 | -0.25 | 0.68 | -0.51 | -0.43 | 0.78 |
| 11 | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.58 | 0.17 | 0.79 | 0.58 | 0.71 | 0.58 | 0.58 | 0.82 | 0.90 | 0.80 | 0.03 | -0.21 | 0.38 | -0.21 | 0.71 |
| 12 | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.48 | 0.92 | 1.00 | 0.92 | -0.27 | 0.75 | 0.34 | 0.67 | 0.14 | -0.61 | 0.25 | -0.44 | -0.68 | 0.79 |
| 13 | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.30 | 0.48 | 0.57 | -0.40 | 0.26 | -0.08 | 0.53 | -0.07 | -0.81 | 0.77 | -0.60 | -0.72 | 0.43 |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.92 | 0.93 | 0.02 | 0.86 | 0.48 | 0.79 | 0.33 | -0.32 | 0.10 | -0.17 | -0.50 | 0.92 |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.92 | -0.27 | 0.75 | 0.34 | 0.67 | 0.14 | -0.61 | 0.25 | -0.44 | -0.68 | 0.79 |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.07 | 0.87 | 0.42 | 0.79 | 0.20 | -0.59 | 0.26 | -0.35 | -0.55 | 0.91 |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.06 | 0.75 | 0.30 | 0.77 | 0.59 | -0.74 | 0.93 | 0.58 | -0.01 |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.26 | 0.53 | -0.02 | -0.37 | 0.19 | -0.33 | -0.35 | 0.86 |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.60 | 0.84 | 0.09 | -0.61 | 0.60 | 0.07 | 0.27 |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.67 | -0.23 | 0.15 | 0.10 | -0.45 | 0.81 |
| 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.35 | -0.45 | 0.74 | 0.01 | 0.21 |
| 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.58 | 0.80 | 0.67 | -0.30 |
| 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.80 | -0.72 | 0.29 |
| 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.65 | -0.23 |
| 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.42 |
| 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 |

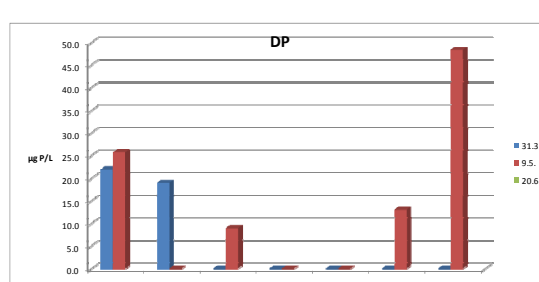
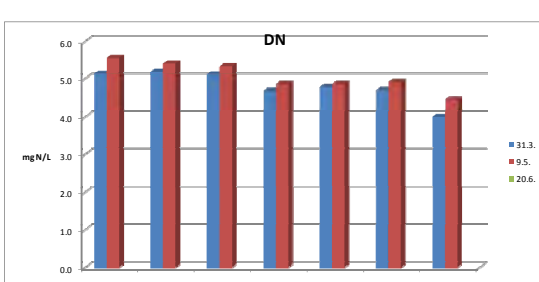
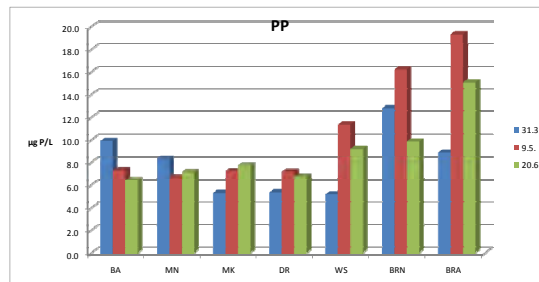
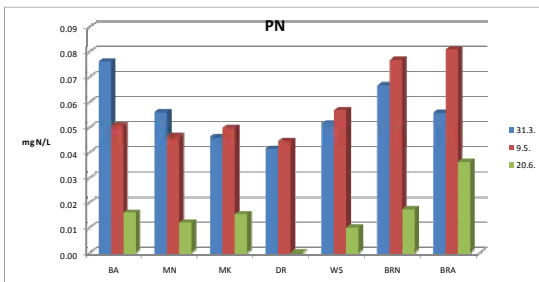
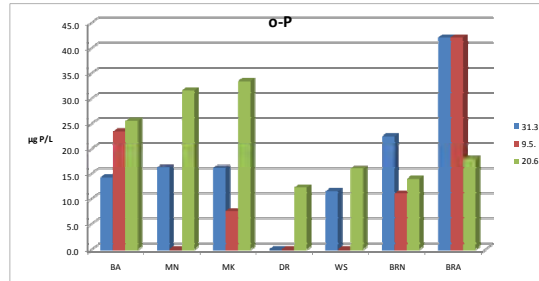
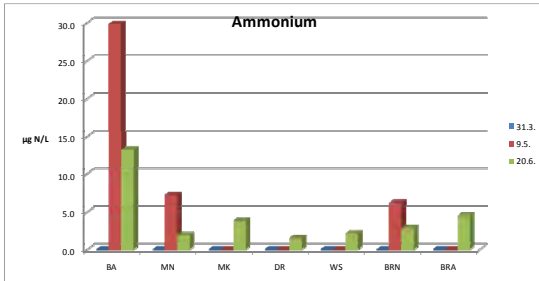
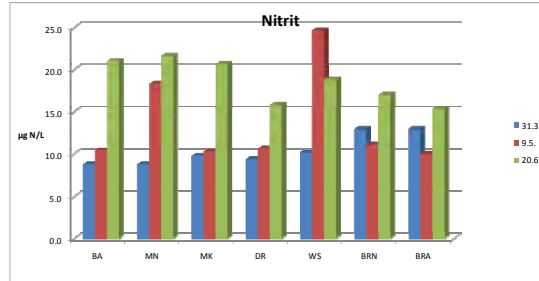
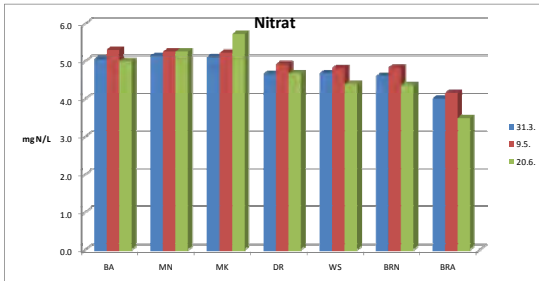
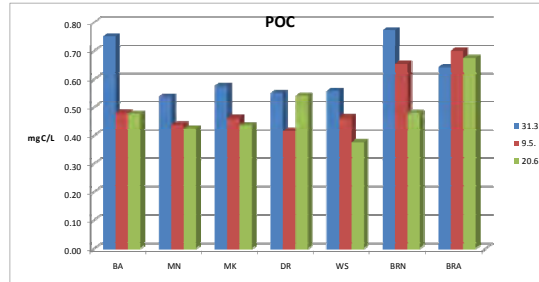
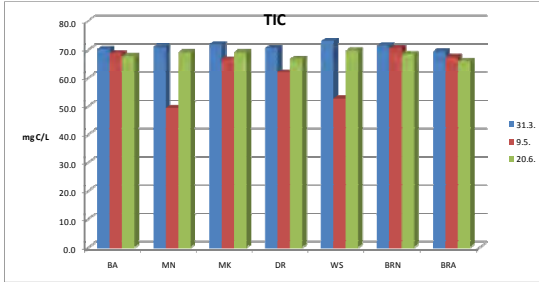
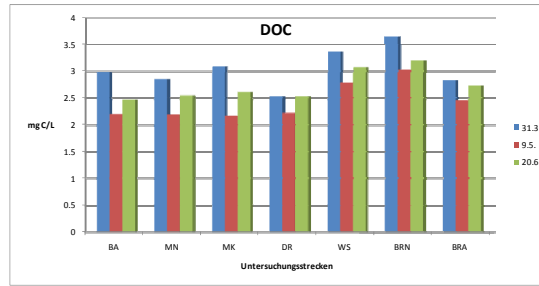
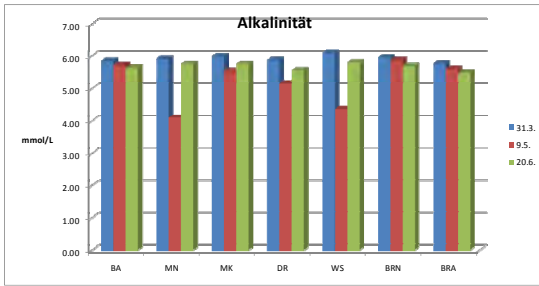
| | | | | | |
|---|-------------------------------|----|--------------------------------|----|----------------------------------|
| 1 | IGBN | 10 | Indikator Substratqualität | 19 | Wasserspiegelbreite |
| 2 | Diversität S&W | 11 | Indikator Strukturen | 20 | Wasserspiegelbreitenvariabilität |
| 3 | Diversität W&D | 12 | Indikator Sohlenverbauung | 21 | Gefälle |
| 4 | Eveness | 13 | Indikator Uferbereichsqualität | 22 | Habitatsalter |
| 5 | Anzahl Taxa | 14 | Indikator Uferstruktur | 23 | Abfluss Mittelwert CV |
| 6 | Saison | 15 | Indikator Uferverbauung | 24 | Abfluss Mittelwert |
| 7 | Modul Stufen Konzept | 16 | Indikatoren Mittelwert | 25 | Fliessgeschwindigkeit Mittelwert |
| 8 | Indikator Fischhabitat | 17 | Abfluss Einzelmessung | 26 | Fliessgeschwindigkeit CV |
| 9 | Indikator Breitenvariabilität | 18 | Tiefenvariabilität | | |

Anhang 9: Vergleich des Laufes der Bünz von 1880 und 1994 (aus Aqua Plus, 2005)



Anhang 10: Messwerte der chemischen Parameter mit graphischer Darstellung. Bezeichnung in der Form „Stelle – Termin“.

| Bezeichnung | DOC mg C/L | Alkalinität mmol/L | TIC mg C/L | Nitrat mg N/L | Nitrit µg N/L | Ammonium µg N/L | o-P µg P/L | part. C (POC) mg/L | part. P (PP) µg/L | part. N (PN) mg/L | DP µg P/L | DN mg N/L |
|-------------|---------------|-----------------------|---------------|------------------|------------------|--------------------|---------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|--------------|
| 1-1 | 3.0 | 5.85 | 70.2 | 5.1 | 8.7 | <5 | 14.2 | 0.75 | 9.9 | 0.08 | 22.0 | 5.1 |
| 2-1 | 2.9 | 5.92 | 71.0 | 5.1 | 8.7 | <5 | 16.2 | 0.54 | 8.3 | 0.06 | 19.0 | 5.2 |
| 3-1 | 3.1 | 5.98 | 71.8 | 5.1 | 9.7 | <5 | 16.1 | 0.58 | 5.3 | 0.05 | n.a. | 5.1 |
| 4-1 | 2.5 | 5.88 | 70.5 | 4.7 | 9.3 | <5 | <5 | 0.55 | 5.3 | 0.04 | n.a. | 4.7 |
| 5-1 | 3.4 | 6.09 | 73.1 | 4.7 | 10.1 | <5 | 11.5 | 0.56 | 5.2 | 0.05 | n.a. | 4.8 |
| 6-1 | 3.6 | 5.95 | 71.4 | 4.6 | 12.9 | <5 | 22.4 | 0.77 | 12.7 | 0.07 | n.a. | 4.7 |
| 7-1 | 2.8 | 5.77 | 69.3 | 4.0 | 12.9 | <5 | 42.0 | 0.64 | 8.9 | 0.06 | n.a. | 4.0 |
| 1-2 | 2.2 | 5.72 | 68.7 | 5.3 | 10.4 | 29.8 | 23.4 | 0.48 | 7.3 | 0.05 | 25.7 | 5.6 |
| 2-2 | 2.2 | 4.10 | 49.2 | 5.3 | 18.3 | 7.2 | <5.0 | 0.44 | 6.7 | 0.05 | <5.0 | 5.4 |
| 3-2 | 2.2 | 5.55 | 66.6 | 5.2 | 10.2 | <5 | 7.5 | 0.46 | 7.2 | 0.05 | 8.9 | 5.3 |
| 4-2 | 2.2 | 5.15 | 61.8 | 4.9 | 10.6 | <5 | <5.0 | 0.42 | 7.1 | 0.04 | <5.0 | 4.9 |
| 5-2 | 2.8 | 4.37 | 52.5 | 4.8 | 24.6 | <5 | <5.0 | 0.46 | 11.3 | 0.06 | <5.0 | 4.9 |
| 6-2 | 3.0 | 5.88 | 70.5 | 4.8 | 11.1 | 6.2 | 11.0 | 0.65 | 16.2 | 0.08 | 13.0 | 4.9 |
| 7-2 | 2.5 | 5.61 | 67.4 | 4.2 | 9.9 | <5 | 42.0 | 0.70 | 19.3 | 0.08 | 48.4 | 4.4 |
| 1-3 | 2.5 | 5.64 | 67.6 | 5.0 | 21.0 | 13.2 | 25.5 | 0.48 | 6.4 | 0.02 | n.a. | n.a. |
| 2-3 | 2.6 | 5.75 | 69.0 | 5.3 | 21.6 | 1.9 | 31.6 | 0.42 | 7.1 | 0.01 | n.a. | n.a. |
| 3-3 | 2.6 | 5.76 | 69.1 | 5.7 | 20.6 | 3.8 | 33.4 | 0.44 | 7.7 | 0.02 | n.a. | n.a. |
| 4-3 | 2.5 | 5.56 | 66.7 | 4.7 | 15.8 | 1.5 | 12.2 | 0.54 | 6.7 | <0.01 | n.a. | n.a. |
| 5-3 | 3.1 | 5.80 | 69.6 | 4.4 | 18.8 | 2.1 | 16.0 | 0.38 | 9.2 | 0.01 | n.a. | n.a. |
| 6-3 | 3.2 | 5.69 | 68.3 | 4.4 | 17.0 | 2.8 | 13.9 | 0.48 | 9.8 | 0.02 | n.a. | n.a. |
| 7-3 | 2.7 | 5.49 | 65.9 | 3.5 | 15.3 | 4.5 | 18.0 | 0.67 | 15.0 | 0.04 | n.a. | n.a. |



Anhang 11: Messwerte der Temperatur [°C], der Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}^2$] und der Trübheit.

| Stelle | 31.3. | | | 8.5. | | | 20.6. | | |
|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|
| | Temp. | Leitf. | Trübh. | Temp. | Leitf. | Trübh. | Temp. | Leitf. | Trübh. |
| BA | 8.4 | 607 | 6.5 | 12.5 | 597 | 0.77 | 16.4 | 607 | n.a. |
| MN | 8.4 | 620 | 6.4 | 12.7 | 597 | 0.56 | 16.3 | 627 | n.a. |
| MK | 8.3 | 814 | 5.3 | 13.1 | 647 | 0.59 | 16.4 | 634 | n.a. |
| DR | 8.3 | 621 | 6.4 | 14.4 | 577 | 0.71 | 16.0 | 600 | n.a. |
| WK | 8.0 | 592 | 4.2 | 15.6 | 599 | 1.45 | 17.7 | 565 | n.a. |
| BRN | 8.3 | 590 | 10.7 | 16.0 | 583 | 3.26 | 18.3 | 587 | n.a. |
| BRA | 8.9 | 572 | 7.4 | 15.8 | 568 | 8.43 | 19.0 | 547 | n.a. |

