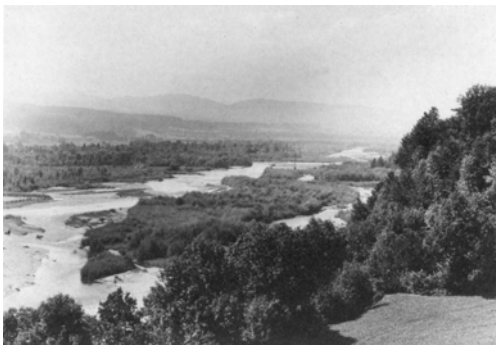
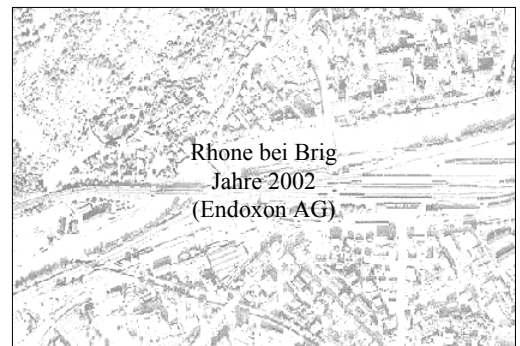
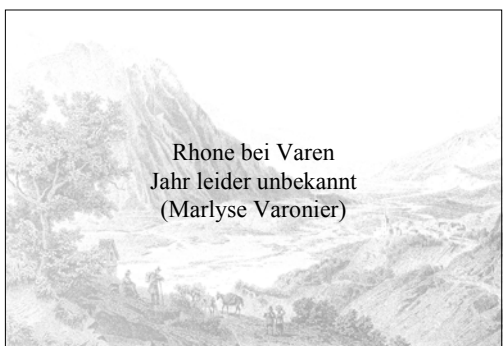
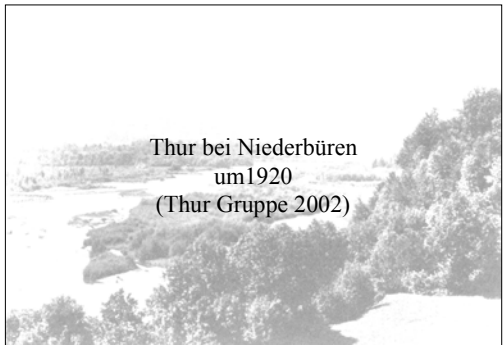


Habitat- und Makrozoobenthosdiversität entlang drei alpiner Flüsse



Helene Baur

Diplomarbeit
Zürich, Oktober 2002



Habitat- und Makrozoobenthosdiversität entlang drei alpiner Flüsse

Diplomarbeit von

Helene Baur

Anna-Heer-Strasse 4

8057 Zürich

baurhe@student.ethz.ch

Betreuung:

Dr. Klement Tockner

Ute Karaus

ausgeführt an der

**Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und
Gewässerschutz (EAWAG)**

am

**Departement Umweltwissenschaften,
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich**

Zürich, Oktober 2002

Zusammenfassung

Die Flüsse Tagliamento (Italien), Thur (Schweiz) und Rhone (Schweiz) wurden entlang des gesamten Flusslaufes in ihrer Habitat- und Makrozoobenthosdiversität untersucht und miteinander verglichen. Alle 10 Kilometer wurden in einem 1 Kilometer langen Abschnitt alle vorhandenen Tümpel, Hinterwasser (backwaters) und Zuflüsse aufgenommen. In 20 Kilometer Abständen erfolgte eine semiquantitative Beprobung des Hauptflusses und der Tümpel.

Am Tagliamento wurden deutlich mehr Backwaters als an der Thur und an der Rhone gefunden. Bei den Tümpeln konnte gezeigt werden, dass es am Tagliamento signifikant mehr als an der Rhone hat. Die Anzahl der Zuflüsse ist am Tagliamento geringer als an der Thur und an der Rhone.

Die Rhone ist mit insgesamt 22 gefundenen Taxa signifikant artenärmer als Thur und Tagliamento. Der Tagliamento mit 49 Taxa und die Thur mit 52 nachgewiesenen Taxa sind einander zumindest in der Anzahl Taxa ähnlich. Während beim Tagliamento und der Rhone eine kontinuierliche Veränderung der Lebensgemeinschaften im Flussverlauf festgestellt werden konnte, ist die Thur in naturnahe und naturferne Abschnitte fragmentiert.

Der Tagliamento ist vor allem im Ober- und Mittellauf als schützenswerte Flusslandschaft einzustufen. Die Thur hat ein grosses Potenzial sich durch eine Renaturierung wieder über weite Strecken in ein natürliches Flusssystem zurück zu verwandeln. Die Rhone ist morphologisch und hydrologisch stark gestört. Für eine erfolgreiche Revitalisierung müssten beide Komponenten berücksichtigt werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Untersuchungsgebiete	9
2.1	Tagliamento	9
2.2	Thur	12
2.3	Rhone	12
3	Material und Methoden	15
3.1	Abiotische Parameter	15
3.2	Fauna	19
3.2.1	Beprobung	19
3.2.2	Auswertung	20
3.3	Datenauswertung	21
4	Ergebnisse	23
4.1	Verteilung der Gewässertypen	23
4.2	Diversität des Makrozoobenthos	34
4.2.1	α -Diversität	34
4.2.2	γ -Diversität	34
4.2.3	β -Diversität	35
5	Diskussion	43
5.1	Gewässervielfalt	43
5.2	Diversität des Makrozoobenthos	44
5.2.1	Fragmentierung der Thur	44
5.2.2	Thur artenreicher als Tagliamento?	44
5.2.3	Rhone artenarm	45
5.2.4	Tümpel tragen zur Makrozoobenthosdiversität bei	48
5.2.5	Biodiversität entlang des Flusslaufes	48
6	Schlussfolgerungen	51
7	Danksagung	53
A	Taxalisten	59
B	Nachgewiesene Taxa an Tagliamento, Thur und Rhone	65

Kapitel 1

Einleitung

Flussauen gelten als sogenannte Biodiversitätshotspots (Tockner und Ward 1999). Sie gehören zu den artenreichsten kontinentalen Lebensräumen (Ward 1998). In der Schweiz werden zum Beispiel 85 % der terrestrischen Arten in den Flussauen gefunden, obwohl diese nur mal gerade 0.28 % der gesamtschweizerischen Fläche ausmachen (Teuscher 1995). Im Nationalpark Donauauen (Österreich) wurden 79 verschiedene Schneckenarten gefunden, von denen 80 % als gefährdet gelten. Bei den 7 nachgewiesenen Reptilien- und 12 Amphibienarten sind sämtliche gefährdet (Tockner et al. 1998). Flussauen sind deshalb als schützenswert zu betrachten. Sie gehören zu den weltweit am stärksten gefährdeten Ökosystemen.

Viele Flüsse wurden jedoch schon anthropogen verändert bevor es die relativ junge Forschungsrichtung der Fliessgewässerökologie überhaupt gab (Ward et al. 2001). Umso wichtiger ist es natürliche und naturnahe Flusssysteme zu verstehen und zu erhalten. Auch in der Schweiz wurden schon im 19. Jahrhundert Gewässer verbaut (Office fédéral des routes et des digues 1964). Heute sind deshalb verschiedene Projekte zur Renaturierung von Schweizer Fliessgewässern in Planung oder wurden bereits ausgeführt. Middleton (1999) definiert Renaturierung folgendermassen: „Zurückführen eines Abschnittes in einen ähnlichen Zustand wie er vor der Veränderung war, das heisst Wiederherstellung seiner natürlichen Funktionen und damit zusammenhängenden physikalischen, chemischen und biologischen Charakteristiken. Das Ziel ist es, einen Zustand zu schaffen, der sich selber reguliert und in die Landschaft integriert ist und nicht einen nicht ursprünglichen Zustand wieder herzustellen [...]“. Damit möglichst effektiv revitalisiert werden kann, sollten Flüsse in Angriff genommen werden, die noch ein hohes Potenzial für eine Wiederherstellung des natürlichen Zustandes in sich bergen. In der Schweiz kann eine Abschätzung des Renaturierungspotenzials aufgrund der Beurteilung durch das Modul-Stufen-Konzept erfolgen, welches auf Stufe F flächendeckend durchgeführt wird (BUWAL 1998). Die Untersuchungen zur Ökomorphologie sind in einigen Kantonen schon abgeschlossen, in anderen befinden sie sich in der Ausführung. Um Ergebnisse solcher Erhebungen einordnen zu können, ist es wichtig, dass ein Referenzsystem vorhanden ist. Der Tagliamento bietet sich als einer der letzten natürlichen Flüsse in Europa dafür an (Müller 1995, Ward et al. 1999).

Natürliche Flusssysteme zeichnen sich durch eine grosse Vielfalt an verschiedenen Gewässertypen aus (Abbildung 1.1). Dabei sind lotische (fliessende) und lentische (stehende) Gewässer zu unterscheiden. Die Konnektivität der einzelnen Gewässer mit dem Hauptfluss kann dabei permanent oder vorübergehend sein (Amoros und

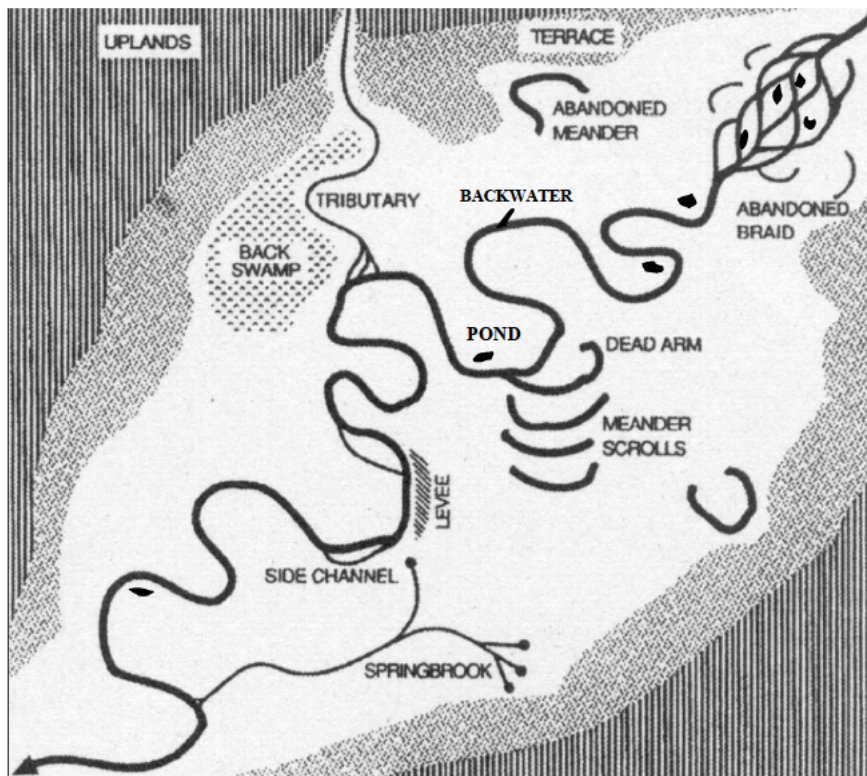


Abbildung 1.1: Verschiedene Gewässertypen in einer Aue

Bornette 2002). Es scheint diese grosse Vielfalt an Gewässertypen zu sein, die dazu beiträgt, dass Auen so artenreich sind. Denn Habitatveränderung ist der bedeutendste Faktor, welcher zum Verlust von aquatischer Biodiversität führt (Allan und Flecker 1993).

Es gibt nur wenige Studien, die sich gleichzeitig mit der longitudinalen und lateralen Komponente eines Flusslaufes beschäftigt haben (zum Beispiel Arscott 2001). Dies ist darauf zurückzuführen, dass es nur noch wenige Flüsse gibt, die sich sowohl in ihrer longitudinalen wie in ihrer lateralen Ausdehnung in einem natürlichen oder naturnahen Zustand befinden und die in ihrer ganzen Länge für Untersuchungen zugänglich sind (Arscott 2001). Jedoch nur durch die Betrachtung eines gesamten Flusskorridors in seiner lateralen und longitudinalen Ausdehnungen können für das Flusssystem sensible Stellen aufgedeckt und entsprechend geschützt werden.

Diese Arbeit ist in das Querprojekt „Rhone-Thur-Projekt“ (EAWAG, WSL, BWG und BUWAL; www.rhone-thur.eawag.ch) eingebunden. Ziel der vorliegenden Diplomarbeit ist es, drei alpine Flüsse in ihrer longitudinalen und lateralen Dimension miteinander zu vergleichen, festzustellen in wie weit die Thur und die Rhone gegenüber dem Tagliamento degradiert sind und das Potenzial für eine mögliche Renaturierung auszuleuchten. Dazu wurde bei den drei Flüssen alle 10 Kilometer auf einer Länge von 1 Kilometer die Anzahl von Tümpeln, Backwaters und Zuflüssen aufgenommen. Gleichzeitig erfolgte eine Benthosbeprobung der verschiedenen Gewässertypen. Die Auswahl fiel auf den Makrozoobenthos, da diese Gruppe individuen- und artenreich ist und eine künstliche Manipulation zum Beispiel durch Besatz auszuschliessen ist. Zudem sind verschiedene Konzepte über die Veränderung

des Makrozoobenthos entlang von Flussläufen entwickelt worden (zum Beispiel Vannote et al. 1980, Ward und Stanford 1995). Ausserdem sind Vertreter des Makrozoobenthos in lotischen und lentischen Gewässertypen der Flussaue zu finden, was für den Vergleich dieser zwei Gewässertypen unumgänglich ist.

Hinsichtlich ihrer Grösse, ihres Abflusses und ihrer ursprünglichen Morphologie sind die 3 Flüsse vergleichbar. Sie unterscheiden sich jedoch durch einen Gradienten von anthropogener Beeinflussung: Der Tagliamento ist der natürlichste Fluss, dann folgt die Thur und zum Schluss die Rhone (siehe auch Kapitel 2). Es wurden folgende Hypothesen formuliert:

- Eine Flussregulierung führt zur Reduktion von lentischen Gewässern. Folglich sind am Tagliamento mehr Tümpel und Backwater vorhanden als an der Thur und an der Rhone. An der Thur ist deren Anzahl höher als diejenige an der Rhone.
- Die Biodiversität der Makroinvertebraten ist am Tagliamento höher als an der Thur, und die der Thur ist höher als jene der Rhone. Die Diversität des Makrozoobenthos spiegelt die Diversität des Lebensraumes wider.
- Tümpel tragen zu einer Erhöhung der Biodiversität innerhalb eines Flusskorridores bei.

Kapitel 2

Untersuchungsgebiete

Für diese Studie wurden drei Flüsse mit einer unterschiedlichen anthropogenen Beeinträchtigung ausgewählt: Der Tagliamento als einer der natürlichsten Flüsse Europas (Müller 1995, Ward et al. 1999), die Thur als morphologisch beeinträchtigter Fluss und die Rhone als stark verbautes und durch den Schwallbetrieb von Kraftwerken in ihrem natürlichen Abflusssystem erheblich gestörtes Fließgewässer. Die Lage der Einzugsgebiete von Tagliamento, Thur und Rhone ist in Abbildung 2.1 zu finden. Tabelle 2.1 zeigt die unterschiedlichen Beeinträchtigung der drei Flüsse durch den Menschen. In Tabelle 2.2 sind die wichtigsten Kenngrößen der Untersuchungsgebiete zusammengefasst.

Die Flüsse wurden systematisch alle 10 Kilometer auf jeweils einer Länge von 1 Kilometer untersucht (siehe Karrenberg van der Nat 2002). Es wurde bei Kilometer 5 begonnen. Einige Stellen mussten etwas flussauf- oder abwärts verlegt werden, da sie sonst nicht zugänglich gewesen wären. Die einzelnen Untersuchungsorte sind in Tabelle 4.1 kurz beschrieben. In Abbildung 2.2 sind die Probestellen im Längensprofil der Flüsse dargestellt.

2.1 Tagliamento

Der Tagliamento entspringt in den südlichen Kalkalpen Nordostitaliens (Karnische Alpen) und mündet bei Lignano in die Adria. Er gilt als einer der letzten dynamischen alpinen Flüsse in Europa (Müller 1995, Ward et al. 1999), ist jedoch nicht völlig von menschlichen Eingriffen verschont geblieben. Zur Zeit werden bei Forni di Sopra (Flusskilometer 5) Hochwasserschutzmassnahmen erstellt. Bei Caprizzi (Flusskilometer 25) wird Wasser zur Energiegewinnung abgeleitet, so dass das Flussbett danach über weite Strecken trocken fällt. Oberhalb von Ospedaletto (Flusskilometer 65) wird das Wasser des Tagliamentos in einen Nebenkanal umgelei-

Tabelle 2.1: Stufe der Beeinträchtigung der Flüsse Tagliamento, Thur und Rhone im Jahr 2002.

*** naturnah; ** verändert; * naturfremd

	Hydrologie	Morphologie
Tagliamento	**	***
Thur	***	**
Rhone	*	*

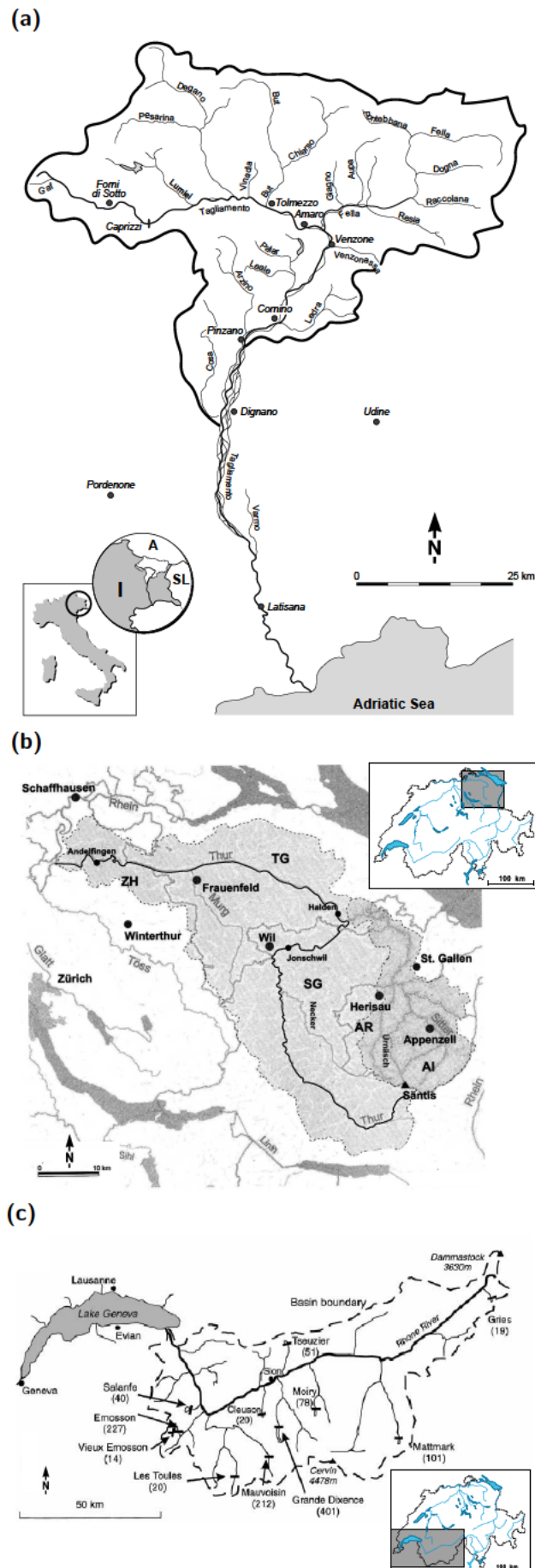


Abbildung 2.1: Einzugsgebiete der Flüsse Tagliamento, Thur und Rhone in den Alpen. Im eingefügten Bildausschnitt befindet sich jeweils eine Übersichtskarte der Umgebung. (a) Tagliamento; (b) Thur (Arbeitsgruppe Thur 2001, verändert); (c) Rhone (Biedermann et al. 1996, verändert)

Tabelle 2.2: Charakterisierung der Einzugsgebiete der Flüsse Tagliamento, Thur und Rhone. Die Abflussdaten der Thur stammen von der Station Andelfingen (1904-2000), die der Rhone von der Station Porte Du Scex (1935-2000). * bei Riddes (Uhlmann 2001)

	Tagliamento	Thur	Rhone
Länge [km]	172	127	166
Höhendifferenz [m]	1195	1150	1895
Flussordnungszahl	7	7	6*
Einzugsgebiet [km ²]	2580	1750	5220
Abflussregime	pluvio-nival	nivo-pluvial	glacio-nival
mittlerer Jahresabfluss [m ³ /s]	109	47	182
maximaler Abfluss [m ³ /s] (Jahr)	4000	1130 (1999)	1370 (2000)
minimaler Abfluss [m ³ /s] (Jahr)	unbekannt	2.24 (1997)	33.8 (1942)

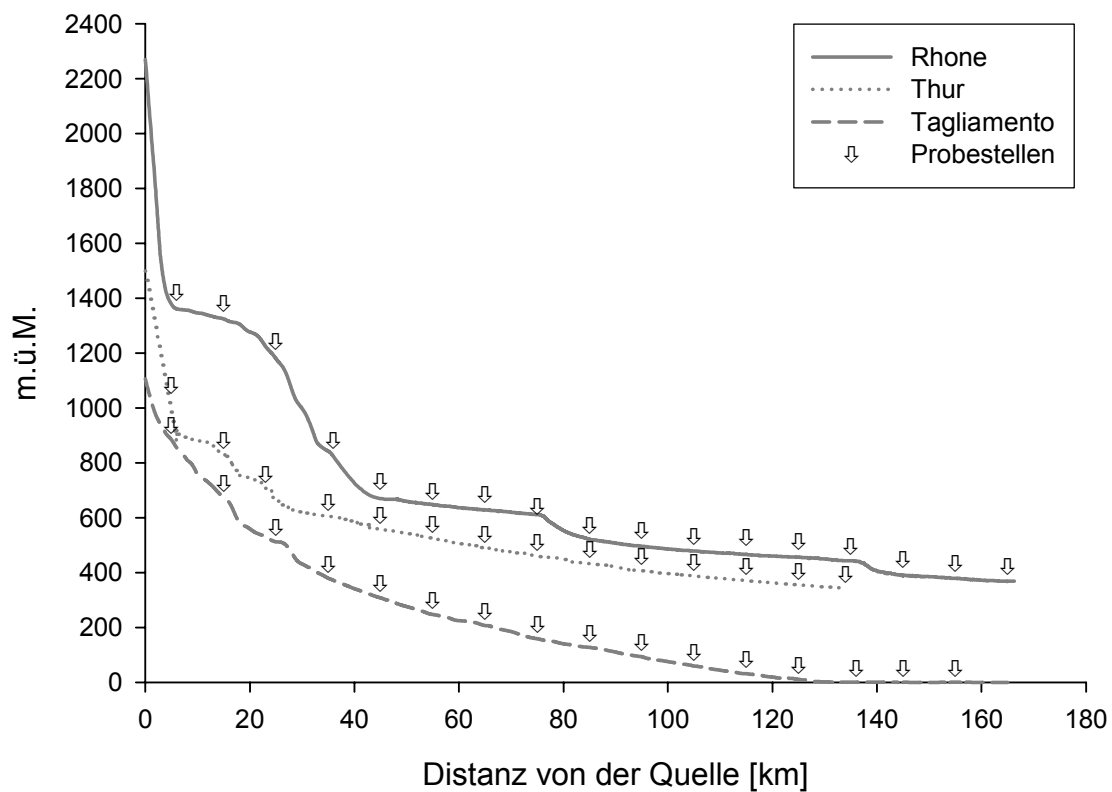


Abbildung 2.2: Längenprofile von Tagliamento, Thur und Rhone. Die Pfeile kennzeichnen die Probestellen. Die Vermessungsdaten für die Thur stammen vom Bundesamt für Wasser und Geologie. Die Daten für die Rhone stammen zwischen Naters (Flusskilometer 48) bis zum Genfersee von G. De Cesare (ETH Lausanne) und wurden von der Quelle bis nach Naters aus der 1:25'000 Karten der schweizerischen Landestopographie herausgelesen

tet. Im bis auf einen Grundwasseraufstoss trockenen Flussbett wird im grossen Stil Kies abgebaut. Eine neu erstellte Schutzmauer ziert das rechte Ufer des Tagliamentos bei Flusskilometer 136. Pappelplantagen reichen hier bis an das linke Abrasionsufer. Flussab von Latisana ist der Tagliamento begradigt.

Trotz all diesen Beeinträchtigungen ist der Flusslauf des Tagliamento auch heute noch überwiegend natürlich.

2.2 Thur

Die Thur entspringt in der Ostschweiz am Säntis und mündet in den Rhein. Ursprünglich war die Thur ein Fluss mit verzweigten und mäandrierenden Abschnitten (siehe Titelbild). In der 1. Thurkorrektur von ca. 1862 bis 1920 wurde sie jedoch ab Schwarzenbach (ca. Kilometer 57) bis zur Mündung verbaut und über weite Strecken begradigt. Im Oberlauf beschränkten sich die Massnahmen auf einzelne Stellen (Arbeitsgruppe Thur 2001). Verschiedene Überschwemmungen im 20. Jahrhundert führten zur 2. Korrektur, welche im Kanton Zürich ab 1987 und im Kanton Thurgau ab 1993 in Angriff genommen wurde. In diesen Projekten wird nun der Thur wieder mehr Raum gegeben.

Heute ist die Thur ein Alpenfluss, der bei starken Niederschlägen schnell anschwellen kann. Er ist morphologisch stark beeinträchtigt, sein Wasserregime ist jedoch noch weitgehend natürlich. Nur wenige Kraftwerke an der Thur und deren Zuflüsse beeinträchtigen das Wasserregime.

2.3 Rhone

Das Untersuchungsgebiet an der Rhone beschränkt sich auf die Schweizer Rhone, welche im Wallis am Rhonegletscher entspringt und in den Genfersee mündet. An der Schweizer Rhone wurde schon von 1862 bis ca. 1876 die 1. Korrektur durchgeführt. Die 2. Rhonekorrektur erfolgte in 3 Etappen: Die 1. Etappe dauerte von 1934 bis 1942, die 2. Etappe von 1945 bis 1949 und die 3. Etappe von 1950 bis 1961 (Office fédéral des routes et des digues 1964). Die Rhone wurde so bis auf wenige Stellen völlig verbaut. Zwischen Brig und der Mündung in den Genfersee ist nur noch der Abschnitt bei Pfywald (ca. Flusskilometer 86-94) naturnah erhalten. Zur Zeit befindet sich die 3. Rhonekorrektur in Planung. Die Ziele der 3. Rhonekorrektur sind folgendermassen definiert: „Diese Korrektur bezweckt eine dreifache Verbesserung: diejenige des Hochwasserschutzes, diejenige des natürlichen Wertes des Flusszustandes und diejenige seines sozialwirtschaftlichen Potentials (Landwirtschaft, Tourismus, Energie, Arbeitsplätze, ...) [...]“ (Staatsrat des Kanton Wallis 2000). Zusätzlich zur baulichen Veränderungen des Flusses wurde nach 1950 die Anzahl und Kapazität der Speicherwasserkraftwerke im Einzugsgebiet der Rhone stark erhöht (Abbildung 2.3). In den Speicherseen wird das Wasser in den Sommermonaten gesammelt, um dann im Winter damit Elektrizität zu erzeugen. Dies hat zur Folge, dass sich der Sommerabfluss verringert und der Winterabfluss erhöht. Zudem wird die Anzahl und Intensität von Hochwasserereignissen reduziert (Loizeau und Dominik 2000). Der Schwall-Sunk-Betrieb bewirkt jedoch tägliche Wasserstandsschwankungen von bis zu 80 cm und mehr (Uhlmann 2001).

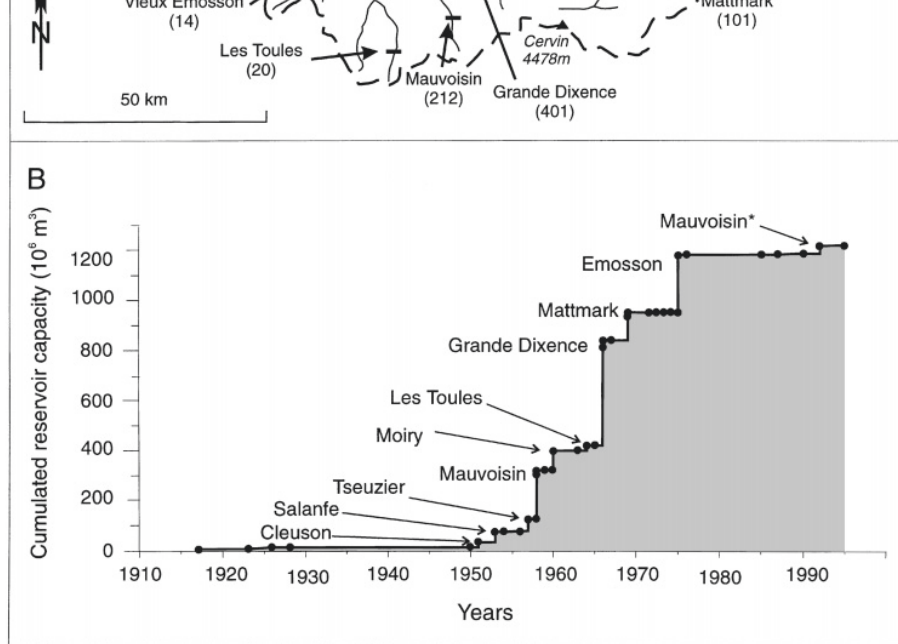


Abbildung 2.3: Die Entwicklung der totalen Kapazität der Speicherkraftwerke im Einzugsgebiet der Rhone. 1990 machte die totale Kapazität von 1,22 km³ 20% des jährlichen Rhoneabflusses in den Genfersee aus (Biedermann et al. 1996). (A) Rhone River watershed and Lake Geneva. The major dams in the watershed are located on the Rhone River tributaries. The reservoir capacity of each dam is given in parentheses (data from Biedermann et al. 1996). (B) Evolution of the total capacity of reservoirs in the Rhone River watershed. In 1990, the total capacity of 1.22 km³ represented 20% of the annual Rhone water discharge to Lake Geneva (Biedermann et al., 1996). Mauvoisin* corresponds to the increased volume of the original Mauvoisin reservoir after the height of the dam wall was increased

Die Rhone ist heute ein morphologisch und hydrologisch stark beeinträchtigter Fluss.

Kapitel 3

Material und Methoden

Der Tagliamento wurde zwischen dem 9. April 2002 und dem 18. April 2002 untersucht. Zwischen dem 12. April 2002 und dem 16. April 2002 musste die Arbeit unterbrochen werden, da der Wasserstand zu stark angestiegen war und abgewartet werden musste, bis er sich wieder absenkte.

Die Thur wurde vom 22. April 2002 bis am 24. April 2002 sowie am 2. Mai 2002 beprobt. Auch hier ist der Wasserstand nach dem 24. April 2002 zu stark angestiegen und senkte sich erst am 30. April wieder unter die Toleranzschwelle von 30 cm Differenz zum ursprünglichen Wasserstand.

Die Rhone wurde ohne Unterbruch vom 29. April 2002 bis am 1. Mai 2002 beprobt. Es ist anzumerken, dass im unteren Teil der Schweizer Rhone wegen des Schwallbetriebes der Wasserstand im Laufe des Tages beträchtlich variiert. In Abbildung 3.1 findet sich eine Übersicht über die Wasserstandsschwankungen sowie den Beprobungszeitraum.

Die Definition eines **Tümpels** wurde wie folgt festgelegt: Ein Tümpel stellt ein stehendes Gewässer dar, das grösser als 2 m² und tiefer als 10 cm ist. Er verfügt weder über sichtbaren Zu- noch Abfluss. Tümpel, in denen eine Strömung von Auge sichtbar war, wurden nicht als solche eingestuft. Abbildung 3.2 zeigt ein Beispiel von einem Tümpel. Tümpel, die im Auwald gefunden wurden, werden als *Auwaldtümpel* bezeichnet.

Ein „**backwater**“ ist ein vom Fluss rückwärtsgerichtetes Gewässer (Abbildung 3.3). Eine reine Einbuchtung des Hauptflusses wie in Abbildung 3.4 wurde nicht als „backwater“ angesehen.

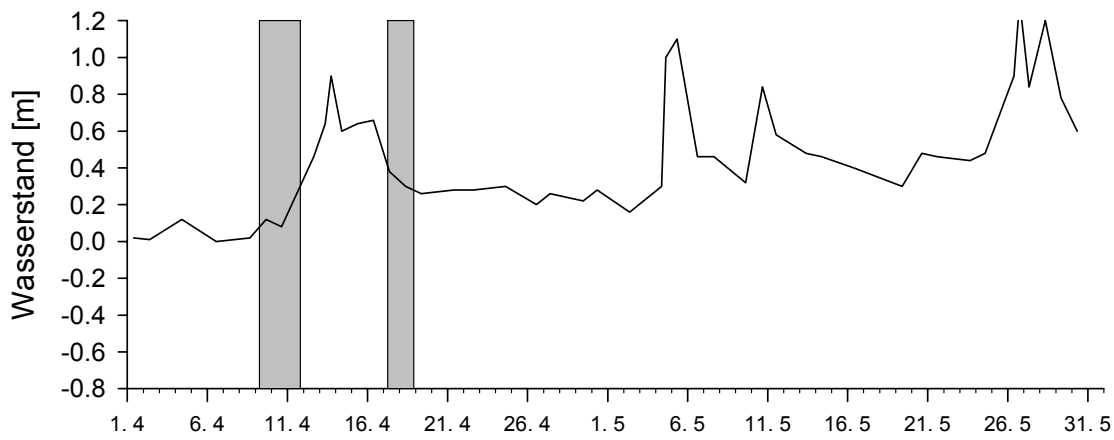
Unter einem **Zufluss** versteht man ein fließendes Gewässer, das in den Fluss einmündet und dessen Quelle nicht in unmittelbarer Nähe liegt.

Das Auffinden der Tümpel war je nach Gestalt der Aue nicht einfach. Damit kein Tümpel übersehen wurde, musste die ganze Aue zu Fuss abgesprochen werden. Die Aue wurde dazu in Schlaufen abgegangen. Der Abstand zwischen den einzelnen Personen wurde je nach Übersichtlichkeit der Aue zwischen 20 und 80 m variiert (Abbildung 3.5).

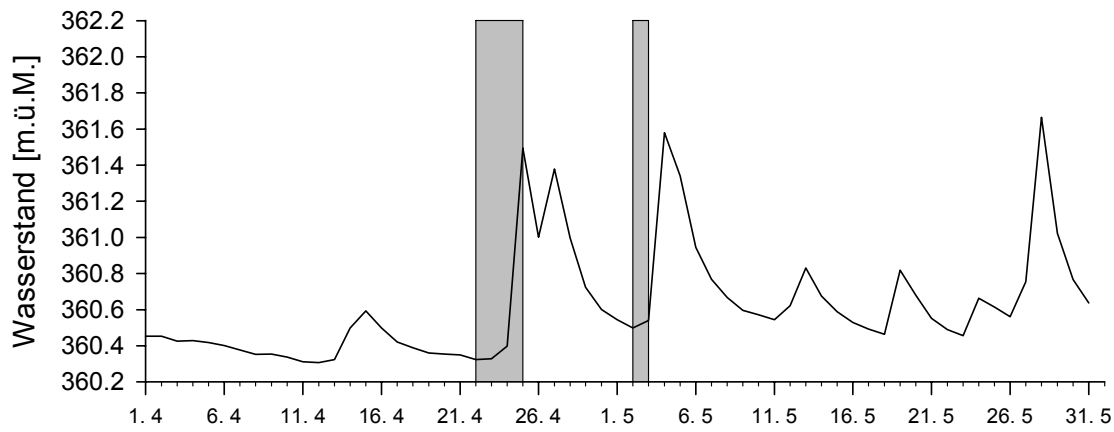
3.1 Abiotische Parameter

Von jedem Tümpel wurden verschiedene chemische und physikalische Parameter erfasst, die im Detail in Tabelle 3.1 dargestellt sind.

(a) Tagliamento bei San Pietro



(b) Thur bei Andelfingen



(c) Rhone bei Sion

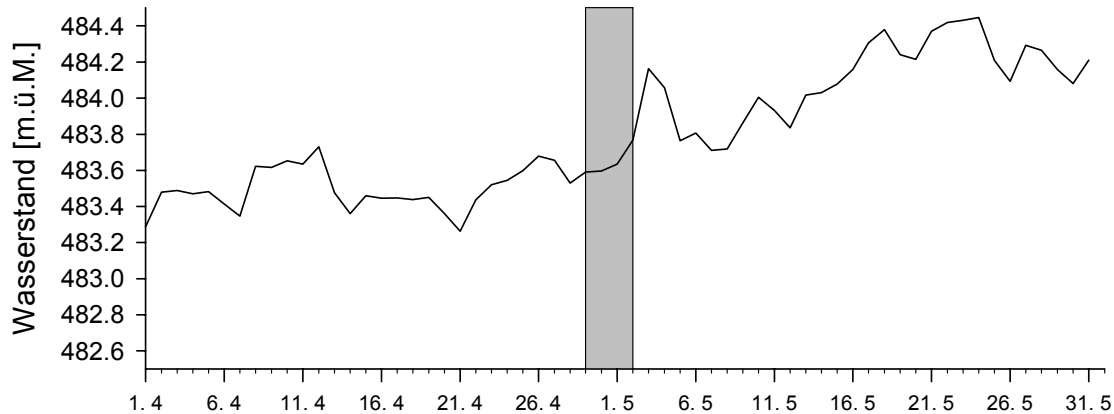


Abbildung 3.1: Wasserstände von Tagliamento, Thur und Rhone zwischen dem 1. April 2002 und dem 31. Mai 2002. Beim Tagliamento wurde der Pegel periodisch abgelesen. Die dazwischen liegenden Werte wurden extrapoliert. Bei Thur und Rhone wurden die Tagesmittelwerte vom Bundesamt für Wasser und Geologie verwendet. Die grauen Balken markieren den Zeitraum der Untersuchung



Abbildung 3.2: Beispiel für einen Tümpel (Foto: Ute Karaus)

(a)



(b)

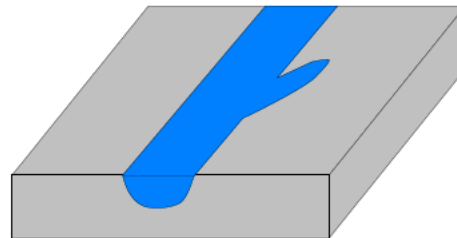


Abbildung 3.3: Beispiel eines Backwaters. (a) Foto (Ute Karaus) (b) schematisch

(a)



(b)

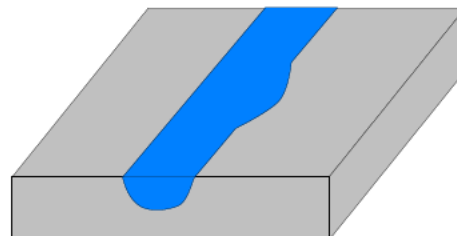


Abbildung 3.4: Dieser Gewässertyp wurde **nicht** als Backwater eingestuft. (a) Foto (Ute Karaus) (b) schematisch

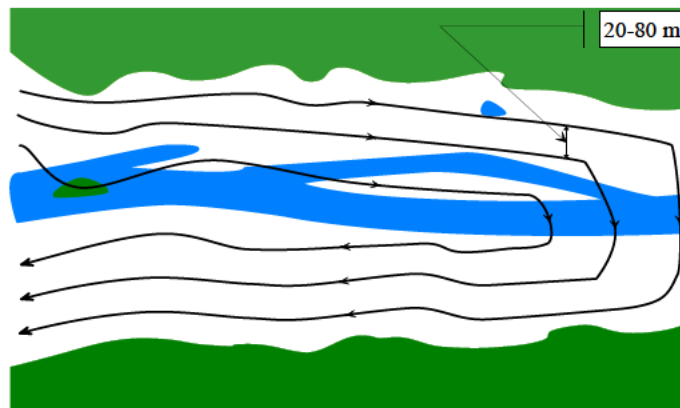


Abbildung 3.5: Begangene Schlaufen zum Aufsuchen der Tümpel. Je nach Sichtweite wurde der Abstand zwischen den Personen zwischen 20 und 80 m variiert

Tabelle 3.1: Gemessene chemische und physikalische Parameter

Parameter	Einheit	verwendetes Messgerät/ verwendete Methode
Maximale Tiefe	[m]	Zollstock
Maximale Länge	[m]	Massband bzw. Schrittlänge bei Tümpeln über 50m Länge
Maximale Breite	[m]	Massband bzw. Schrittlänge bei Tümpeln über 50m Länge
Fläche	[m ²]	Die Fläche wurde aus der Länge und Breite vor Ort berechnet
Leitfähigkeit	[μS/cm]	TetraCon 325 (WTW, Weilheim Deutschland); Referenztemperatur 25°C
Trübung	[NTU]	Cosmos (Züllig, Rheineck Schweiz)/ aus drei Messwerten wurde der Median bestimmt
pH		pH-340-A/ Set 1 (WTW GmbH, Weilheim Deutschland)
O ₂ -Konzentration	[mg/l]	Cellox 325 (WTW GmbH, Weilheim Deutschland)
O ₂ -Sättigung	[%]	
Temperatur	[°C]	TetraCon 325 (WTW GmbH, Weilheim Deutschland)

Tabelle 3.2: Aufgenommene Habitatparameter

Habitatparameter	Skalenspunkte
Beschattung	1-4
Algen	1-4
Makrophyten	1-4
Totholz	1-4
Fischdichte	1-4
Bewölkung	0/8-8/8

Tabelle 3.3: Beschreibung der Skalenspunkte der Habitatparameter

Skalenspunkte	Beschreibung	prozentuale Angaben
1	nicht vorhanden bis sehr wenig	0-25 %
2	wenig	26-50 %
3	häufig	51-75 %
4	dominierend	76-100 %

Zusätzlich wurden die Habitatparameter Beschattung, Algen-, Makrophyten-, Totholz-, Fischdichte und Bewölkung aufgenommen (Tabelle 3.2). Zur Erfassung der Habitatparameter wurde eine Klasseneinteilung von 1 bis 4 vorgenommen, wobei 1 für nicht vorhanden bis sehr wenig und 4 für dominierend steht (Tabelle 3.3). Bei der Bewölkung wurde angegeben, wieviele Achtel des gesamten sichtbaren Himmels mit Wolken bedeckt waren.

3.2 Fauna

3.2.1 Beprobung

Das **Hauptgerinne** und jeder **Zufluss** wurden jeweils 10 Minuten durch „Kicksampling“ beprobt. Dabei wurde darauf geachtet, dass alle Habitatstrukturen (Riffle, Pool, Makrophyten) mit einbezogen wurden. Das verwendete Netz hatte eine Maschenweite von 250 μm und eine annähernd halbkreisförmige Öffnung (Abbildung 3.6).

Die Fauna-Beprobung der Tümpel und Backwaters konnte erst begonnen werden, nachdem der ganze Abschnitt abgesucht worden war. Wenn mehr als 5 Tümpel vorhanden waren, wurden 5 Tümpel zufällig ausgesucht.

Wenn weniger als 5 Tümpel vorhanden waren, wurden alle vorhandenen Tümpel beprobt. Von den 5 ausgewählten Tümpeln wurde die Gesamtfläche bestimmt. Je nach Grösse der Gesamtfläche wurde eine unterschiedliche Gesamtdauer der Beprobung gewählt (Tabelle 3.4). Die Gesamtzeit wurde dann nach Flächenprozenten auf die fünf Tümpel verteilt (Beispiel in Tabelle 3.5). Die ausgewählten Tümpel wurden erneut aufgesucht und während der entsprechenden Zeit mittels Kicksampling beprobt. Wurde ein Tümpel in einer kürzeren Zeit als verlangt völlig abgesucht, wurde die Probenahme frühzeitig beendet und die beprobte Zeit festgehalten. Waren weniger als 5 Tümpel vorhanden wurde analog verfahren, allerdings wurde dann die Gesamtfläche der entsprechenden Anzahl Tümpel verwendet und die Zeiten auf die

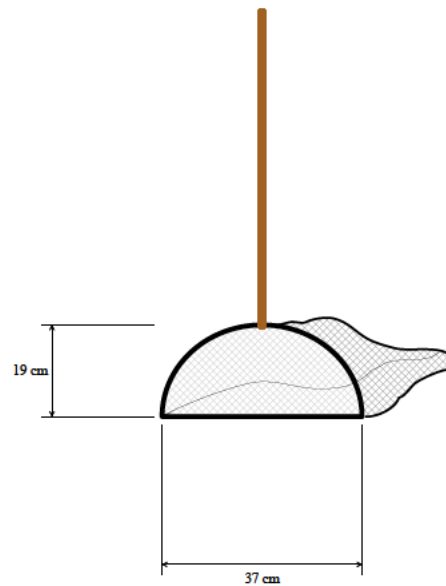


Abbildung 3.6: Das verwendete Kicknetz mit einer Maschenweite von $250 \mu\text{m}$ und einer Öffnungsfläche von ca. 0.057 m^2

Tabelle 3.4: Probenzeiten für die entsprechenden Tümpel-/Backwaterflächen

Fläche	Probenahmezeit
$< 5 \text{ m}^2$	10 min
5- 50 m^2	20 min
$> 50 \text{ m}^2$	30 min

entsprechende Anzahl Tümpel verteilt. Alle Benthosproben wurden in 4 % Formol konserviert.

3.2.2 Auswertung

Die Benthosproben wurden durch ein Sieb mit einer Maschenweite von 0.63 mm gewaschen. Danach wurden alle mit dem Auge sichtbaren Lebewesen aussortiert. Die Gruppen Plecoptera, Ephemeroptera und Coleoptera wurden bis auf die Gattung bestimmt. An der Thur und Rhone konnten sie zum Teil bis zur Art bestimmt werden. In die Auswertung wurde aber nur die Gattungsebene berücksichtigt, damit sie mit dem Tagliamento gleichgestellt waren. Die Bestimmung der Trichoptera

Tabelle 3.5: Beispiel zum Berechnen der Probenzeiten für die einzelnen Tümpel

Tümpel	Fläche [m^2]	Fläche [%]	Probenahmezeit [min]
1	15	23	7
2	20	31	9
3	5	8	2
4	10	15	5
5	15	23	7
Total	65	100	30

Tabelle 3.6: Die verwendete Literatur zum Bestimmen der Makroinvertebraten

Gruppe	verwendete Bestimmungsliteratur
Coleoptera	Klausnitzer (1996) Tachet et al. (2000) Nilsson & Holmen (1995)
Ephemeroptera	Bauernfeind & Humpesch (2001) Studemann et al. (1992) Tachet et al. (2000)
Plecoptera	Lubini et al. (Entwurf) Aubert (1959) Tachet et al. (2000)
Trichoptera	Waringer & Graf (1997) Sedlak (1985) Tachet et al. (2000)

erfolgte wo immer möglich bis auf die Art. Tabelle 3.6 gibt einen kurzen Überblick über die verwendete Bestimmungsliteratur. Aus zeitlichen Gründen wurden nur die Hauptfluss- und Tümpelproben in 20 Kilometer Abständen ausgewertet.

3.3 Datenauswertung

Tagliamento, Thur und Rhone wurden in ihrer durchschnittlichen Anzahl an Tümpeln, Backwaters und Zuflüssen miteinander verglichen. Zur Überprüfung der Signifikanz wurde ein Mann-Whitney U-Test durchgeführt ($p < 0.5$; Statistica 6.0). Dieser Test eignete sich, weil die Anzahl Stichproben gering und die Daten nicht normalverteilt waren.

Der Unterschied in der Taxaanzahl der drei Flüsse wurde mit einem zweiseitigen t-Test ($p < 0.05$) getestet. Zur Bestimmung der α -Diversität wurde der Fisher- α -Index berechnet. Dieser Index eignet sich, da er wenig sensibel gegenüber Abundanzunterschieden ist und Unterschiede deutlich aufzeigt (Magurran 1988). Er sollte nicht angewendet werden, wenn die Daten nicht der log-Serien-Verteilung entsprechen, deshalb wurden alle Standorte mit einem χ^2 -Test ($p < 0.05$) auf diese Verteilung getestet. Alle vorliegenden Daten entsprechen diesem Modell, ausser die Kilometer 105 und 145 des Tagliamentos und Kilometer 105 und 165 der Rhone, da in diesen Kilometerabschnitten zu wenig Individuen vorhanden waren. Für diese Standorte wurde kein Index berechnet. Die β -Diversität wurde nach Harrison et al. (1992) berechnet (β_1). β_1 kann für den paarweisen Vergleich zwischen zwei Standorten verwendet werden, wobei 0 völlige Ähnlichkeit und 100 völlige Verschiedenheit bedeutet. Als zusätzliches Mass für die Ähnlichkeit zweier Standorte wurde der Sörensen-Index berechnet (Magurran 1988).

Für die Abschätzung der Anzahl Arten in den drei Flüssen wurde eine Jackknife-Simulation 1. Ordnung (50 Wiederholungen) mit Hilfe des Programmes EstimateS (Colwell 1997) durchgeführt. Dabei wurde die Taxa-Anzahl einmal auf die Anzahl

Probestellen und einmal auf die Anzahl Individuen standardisiert und die entsprechenden 95%-Konfidenzintervalle berechnet.

Kapitel 4

Ergebnisse

4.1 Verteilung der Gewässertypen

Die Anzahl der vorgefundenen Gewässertypen war in den drei Flüssen sehr unterschiedlich. Abbildung 4.1 gibt einen Überblick über alle untersuchten Gewässertypen. In Tabelle 4.1 sind die einzelnen Kilometerabschnitte charakterisiert. Der Verbauungsgrad wurde aufgrund der folgenden Kriterien beurteilt: Bei unverbaut war keine Befestigung des Böschungsfusses sichtbar. Leicht verbaut bedeutet, dass die Uferlinie punktuell befestigt war. Wenn eine Seite ganz oder ein Grossteil beider Seiten verändert waren, dann wurde der Abschnitt als mittel verbaut klassiert. Mit stark verbaut wurde ein Abschnitt beurteilt, wenn beide Seiten auf der ganzen Strecke befestigt waren.

Beim **Tagliamento** ist zu beachten, dass nicht immer ein Hauptfluss im Flussbett vorgefunden wurde. Bei Flusskilometer 35 war kein eigentlicher Hauptfluss vorhanden. Das Flussbett wurde nur durch einen Zufluss gespiessen. Bei Flusskilometer 65 wurde der Tagliamento in einen Kanal umgeleitet, so dass das Flussbett trocken fiel. Hier wurde ausnahmsweise ein Grundwasseraufstoss beprobt. Sonst erfolgte keine Aufnahme der Grundwasseraufstösse. Am Tagliamento wurden total 49 Tümpel, 47 Backwaters und 8 Zuflüsse in den untersuchten 16 Kilometer Flusslauf vorgefunden. Die durchschnittliche Anzahl Tümpel pro Flusskilometer ist signifikant höher als in der Rhone, jedoch nicht höher als in der Thur (Abbildung 4.2a). Bei der Anzahl der Backwaters konnte ein signifikanter Unterschied mit der Thur und der Rhone festgestellt werden (Abbildung 4.2b). Am Tagliamento wurde eine Tümpelfläche von total 5696 m² verteilt auf 16 Flusskilometer festgestellt. Diejenige der Backwaters ist mit total 11'111 m² noch grösser. In Abbildung 4.3a ist die Verteilung der Flächen auf die einzelnen Flussabschnitte dargestellt. In den mittleren Abschnitten sind tendenziell am meisten Tümpel und Backwaters mit den grössten Flächen zu verzeichnen (Abbildungen 4.3a, 4.4a, 4.5a). Die durchschnittliche Tümpelgrösse nimmt am Tagliamento im Unterlauf ab (Abbildung 4.6a), während die der Backwaters tendenziell zunimmt (Abbildung 4.7a). Die Zuflüsse sind am Tagliamento eher spärlich (Abbildung 4.2c) und konzentrieren sich auf den oberen Flusslauf (Abbildung 4.8a).

Die **Thur** führt auf der ganzen Strecke von der Quelle bis zur Mündung Wasser. Auf insgesamt 14 1-km langen Flussabschnitten wurden 8 Tümpel, 11 Backwaters und 17 Zuflüsse nachgewiesen. Entlang der Thur wurden vor allem im Unterlauf Auwaldtümpel vorgefunden (Abbildung 4.1b). Es fällt auf, dass bei Flusskilome-

ter 115 (bei Niederneuenforn) sechs verschiedene Gewässertypen vorhanden sind. Die Gesamtfläche der untersuchten Tümpel ist an der Thur mit 192 m^2 deutlich geringer als am Tagliamento, die der Backwaters mit insgesamt 1976 m^2 ebenfalls. Die durchschnittliche Tümpelgrösse nimmt bei der Thur flussabwärts zu (Abbildung 4.6b). An der Thur wurden signifikant mehr Zuflüsse als am Tagliamento gefunden (Abbildung 4.2c). Sie sind entlang des gesamten Korridors verteilt (Abbildung 4.8b).

Auch die **Rhone** führt durchgehend Wasser. Sie weist auf 17 1-km langen Abschnitten nur 3 Tümpel und 8 Backwaters auf. Die Flächen dieser Gewässertypen sind gegenüber derjenigen des Tagliamentos und der Thur verschwindend klein (Abbildung 4.3c). Hingegen ist die Anzahl Zuflüsse mit 21 relativ hoch. Im Oberlauf sind es durchschnittlich vier, während es im Unterlauf meist einen Zufluss pro Flusskilometer hat (Abbildung 4.8c).

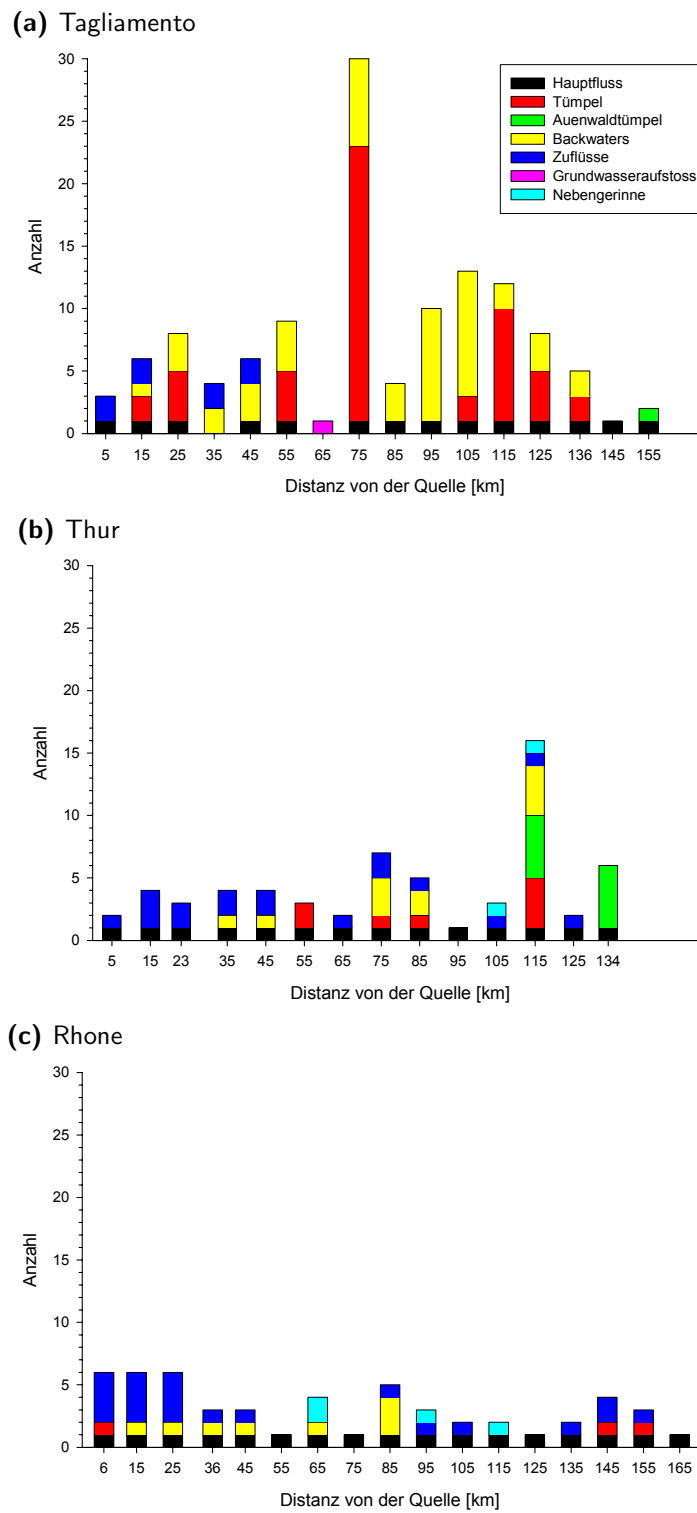


Abbildung 4.1: Übersicht über die Gewässertypen im Längsverlauf von Tagliamento, Thur und Rhone. (Jeweils 1-km lange Flussabschnitte systematisch über die Gesamtlänge verteilt)

Tabelle 4.1: Überblick über die untersuchten Flussabschnitte. Das Gefälle wurde aus den Längenprofilen berechnet. Für die mit * bezeichneten Stellen konnte aufgrund mangelnder Datenlage kein Gefälle berechnet werden. Verbauungsgrad: 0 unverbaut, 1 leicht verbaut, 2 mittel verbaut, 3 stark verbaut (siehe auch Text). #=Anzahl

(a) Tagliamento

Abschnitt	Flusskilometer	m. ü. M.	Gefälle	# Tümpel	# Backwaters	# Zuflüsse	Verbauungsgrad
1	5	884	2.07	0	0	2	2
2	15	674	1.70	2	1	2	0
3	25	512	0.72	4	3	0	1
4	35	379	1.06	0	2	2	2
5	45	308	0.57	0	3	2	0
6	55	247	0.46	4	4	0	0
7	65	207	0.54	0	0	0	2
8	75	159	0.29	22	7	0	0
9	85	127	0.17	0	3	0	0
10	95	94	0.23	0	9	0	1
11	105	60	0.41	2	10	0	0
12	115	31	0.15	9	2	0	2
13	125	11	0.29	4	3	0	1
14	136	0	0.03	2	0	0	2
15	145	0	0.00	0	0	0	3
16	155	0	0.02	1	0	0	2
Total				50	47	8	18
Durchschnitt				3.13	2.94	0.50	1.13

(b) Thur

Abschnitt	Flusskilometer	m. ü. M.	Gefälle	# Tümpel	# Backwaters	# Zuflüsse	Verbauungsgrad
1	5	1030	3.13	0	0	1	0
2	15	830	0.09	0	0	3	1
3	23	710	1.43	0	0	2	1
4	35	610	0.28	0	1	2	3
5	45	560	0.30	0	1	2	0
6	55	530	0.26	2	0	0	1
7	65	490	0.18	0	0	1	2
8	75	470	0.32	1	3	2	2
9	85	440	0.24	1	2	1	3
10	95	410	0.15	0	0	0	3
11	105	390	0.19	0	0	1	2
12	115	370	0.15	9	4	1	1
13	125	360	0.15	0	0	1	3
14	134	350	0.17	5	0	0	3
Total				18	11	17	25
Durchschnitt				1.29	0.79	1.21	1.79

(c) Rhone

Abschnitt	Flusskilometer	m. ü. M.	Gefälle	# Tümpel	# Backwaters	# Zuflüsse	Verbauungsgrad
1	6	1370	*	1	0	4	2
2	15	1330	*	0	1	4	1
3	25	1220	*	0	1	4	1
4	35	840	*	0	1	1	2
5	46	680	*	0	1	1	3
6	55	650	0.22	0	0	0	3
7	65	630	0.12	0	1	0	3
8	75	620	0.17	0	0	0	3
9	85	520	0.41	0	3	1	3
10	95	500	0.19	0	0	1	3
11	105	490	0.10	0	0	1	3
12	115	470	0.12	0	0	0	3
13	125	460	0.05	0	0	0	3
14	136	450	0.10	0	0	1	3
15	145	400	0.11	1	0	2	3
16	155	380	0.07	1	0	1	3
17	165	370	0.02	0	0	0	3
Total				3	8	21	45
Durchschnitt				0.18	0.47	1.24	2.65

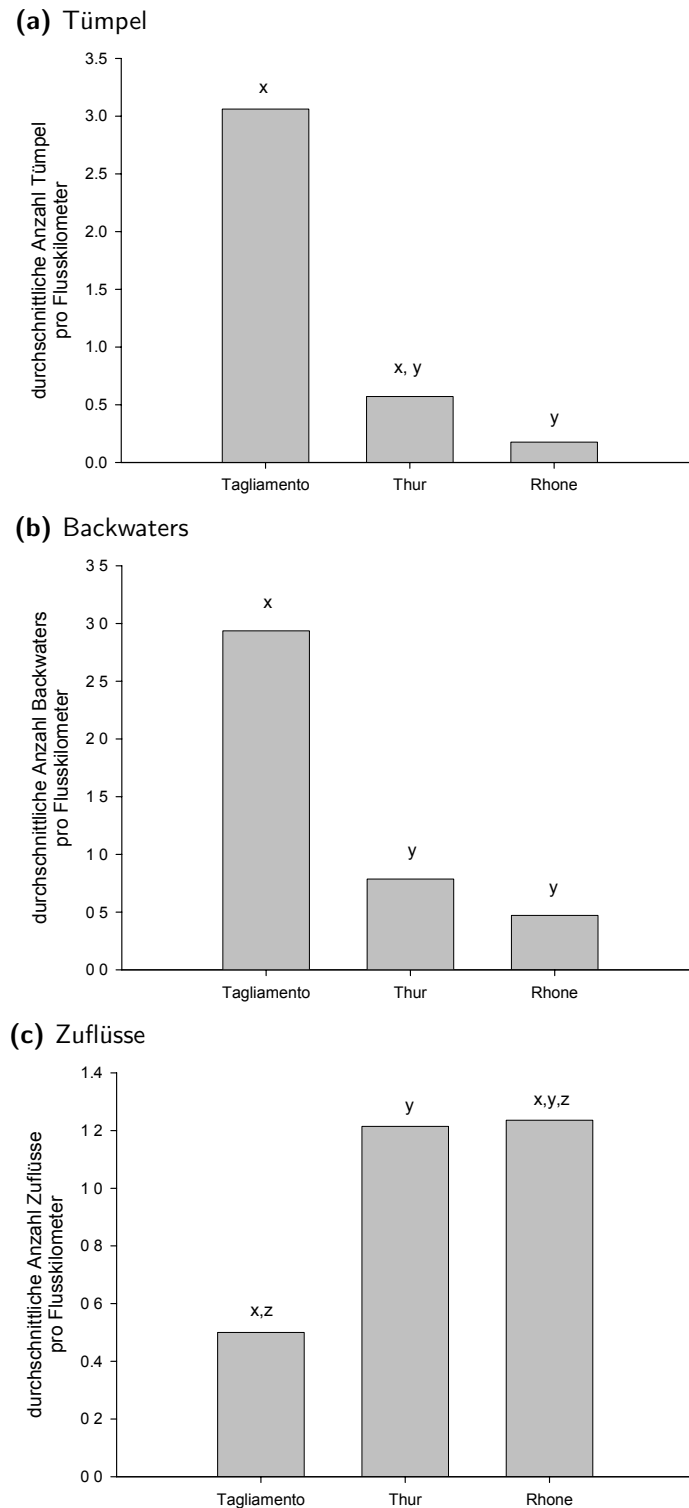
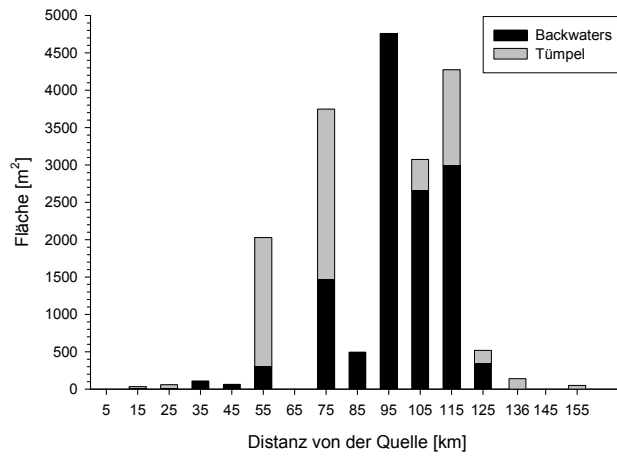
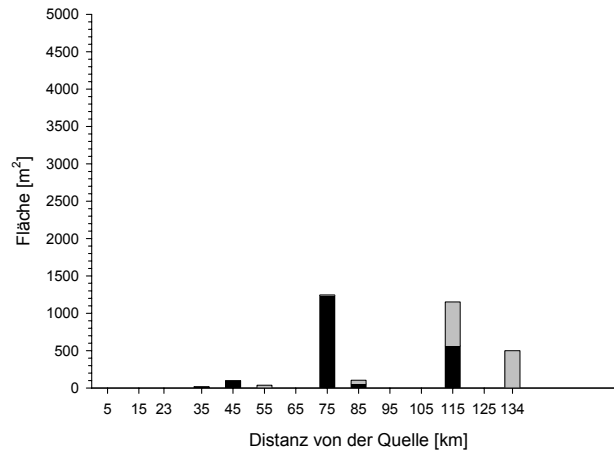


Abbildung 4.2: Durchschnittliche Anzahl der verschiedenen Gewässertypen pro Flusskilometer an Tagliamento, Thur und Rhone. Balken mit unterschiedlichen Buchstaben (x,y,z) unterscheiden sich signifikant (Mann-Whitney U-Test ($p < 0.5$)). (a) Es unterscheiden sich nur der Tagliamento und die Thur signifikant. (b) Der Tagliamento unterscheidet sich signifikant von der Thur und der Rhone. Die Thur und die Rhone sind jedoch nicht signifikant verschieden. (c) Signifikanz besteht nur zwischen Tagliamento und Thur

(a) Tagliamento



(b) Thur



(c) Rhone

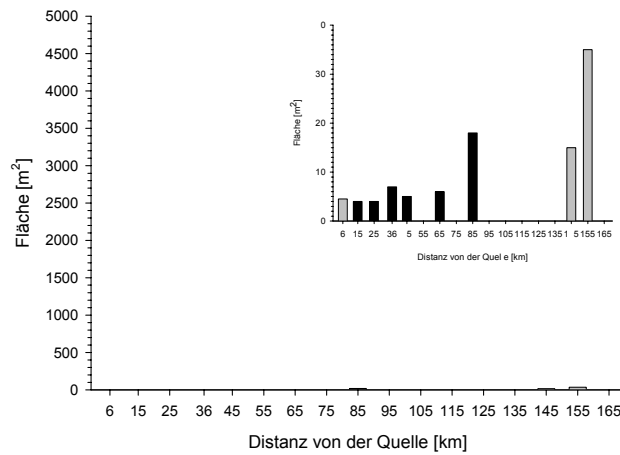
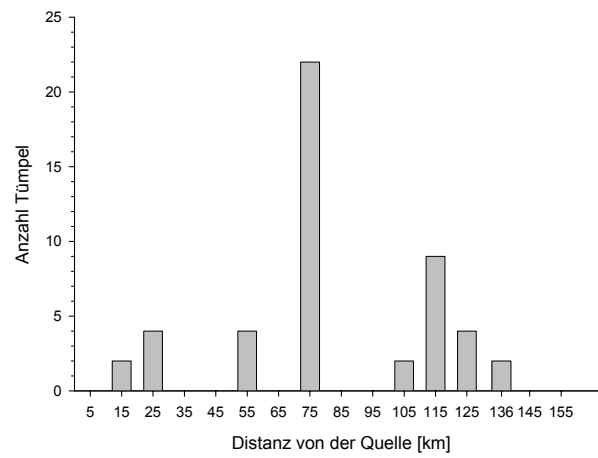
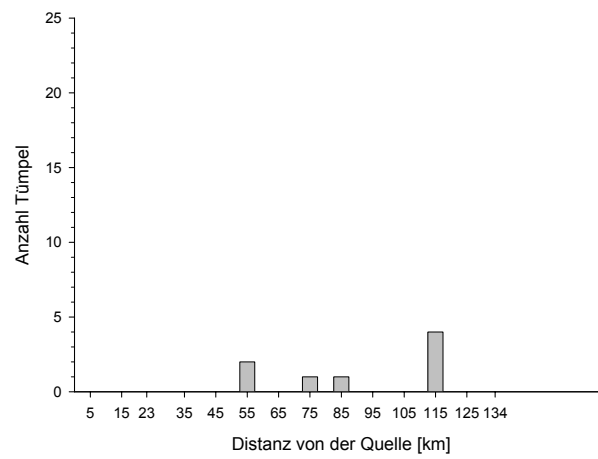


Abbildung 4.3: Die Flächensumme der Backwaters und Tümpel (inklusive Auwaldtümpel) in den einzelnen Kilometerabschnitten. In Abbildung c wurde eine Vergrößerung eingefügt.

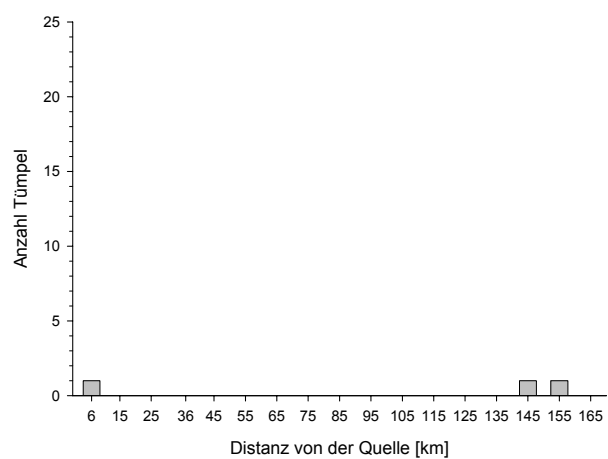
(a) Tagliamento



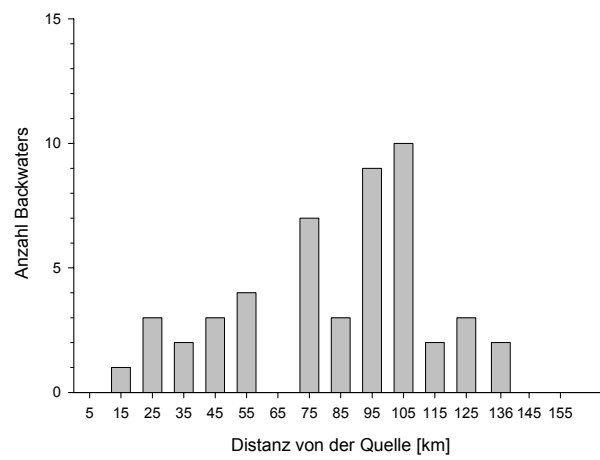
(b) Thur



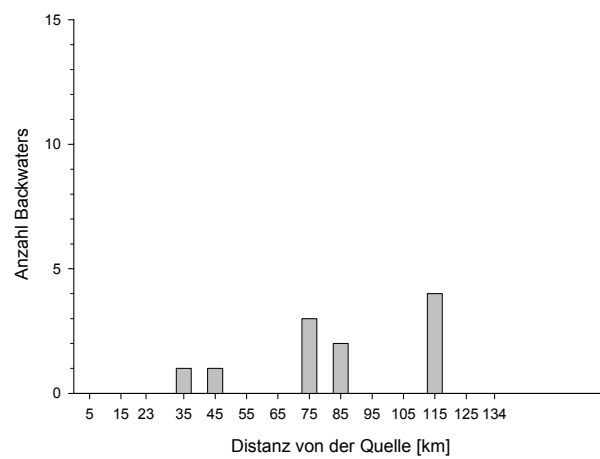
(c) Rhone

**Abbildung 4.4:** Anzahl Tümpel (ohne Auwältümpel) entlang von Tagliamento, Thur und Rhone.

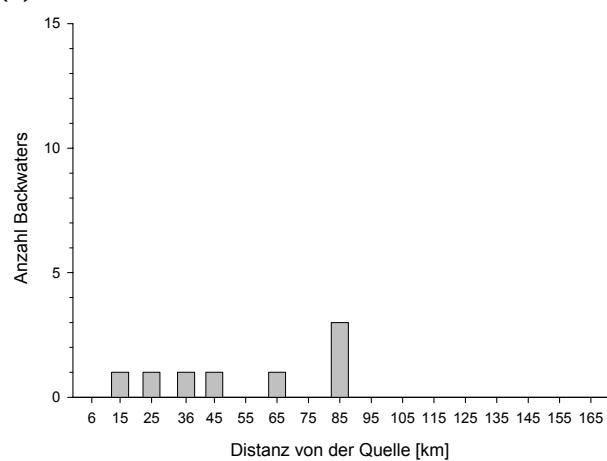
(a) Tagliamento



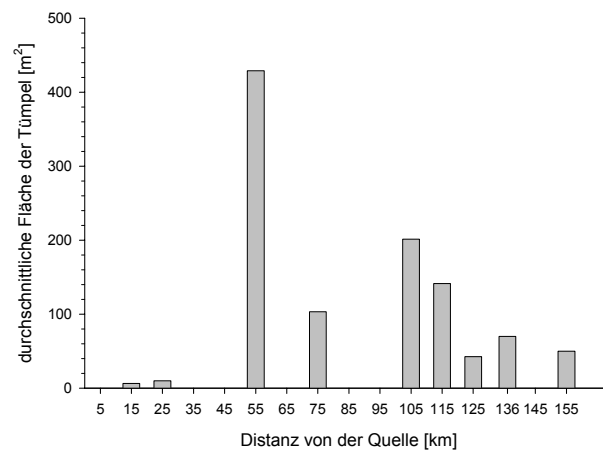
(b) Thur



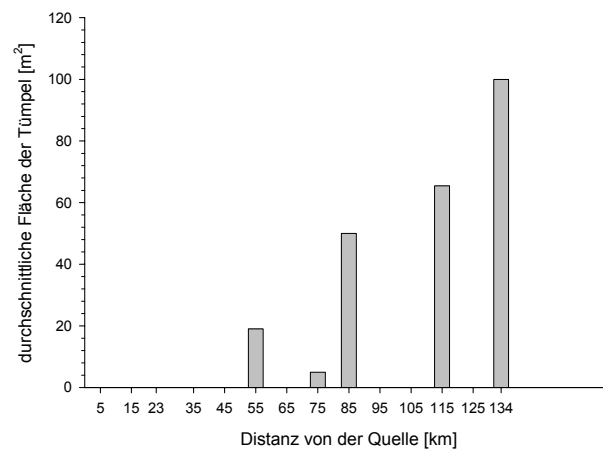
(c) Rhone

**Abbildung 4.5:** Anzahl Backwaters entlang von Tagliamento, Thur und Rhone.

(a) Tagliamento



(b) Thur



(c) Rhone

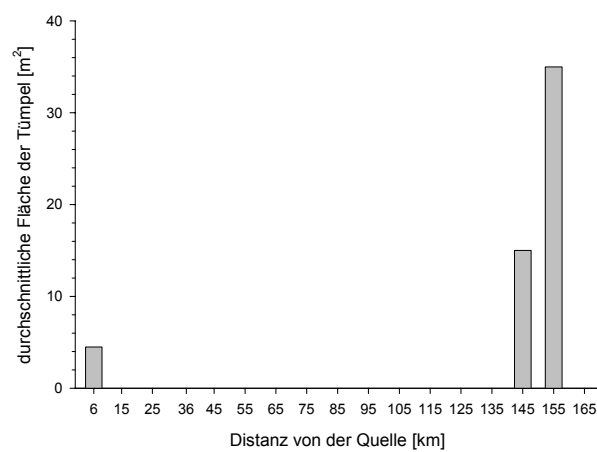
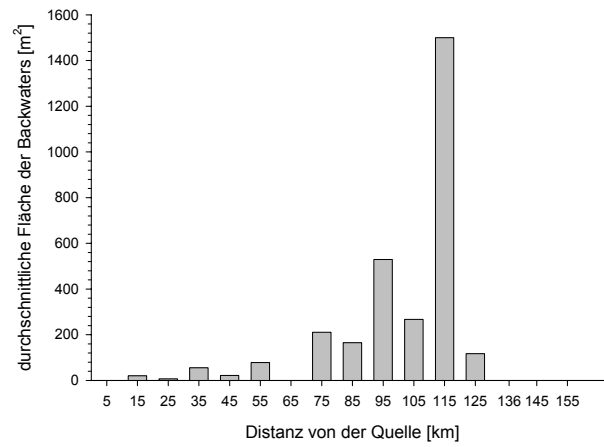
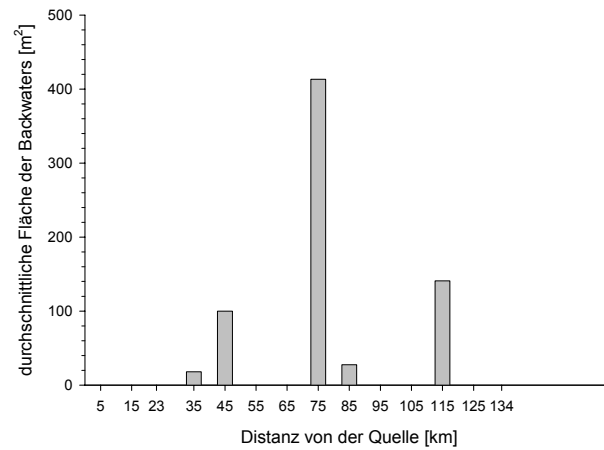


Abbildung 4.6: Durchschnittlichen Tümpelgrösse (inklusive Auwaldtümpel) im Längsverlauf von Tagliamento, Thur und Rhone. Man beachte die unterschiedliche Achsenskalierung.

(a) Tagliamento



(b) Thur



(c) Rhone

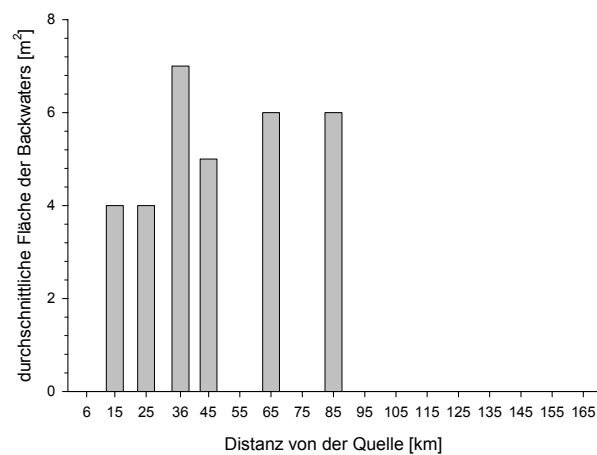
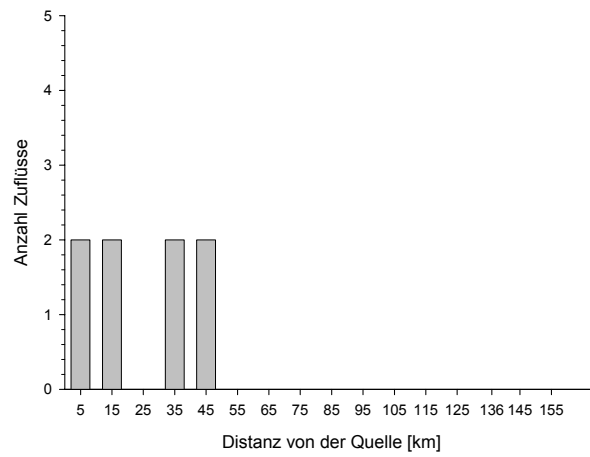
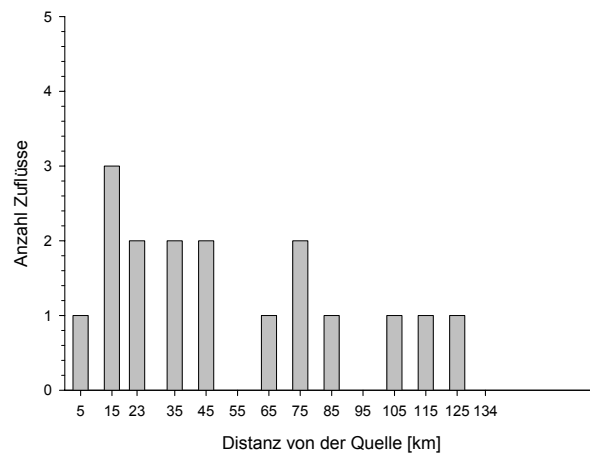


Abbildung 4.7: Durchschnittlichen Backwatergrösse im Längsverlauf von Tagliamento, Thur und Rhone. Man beachte die unterschiedliche Achsenskalierung.

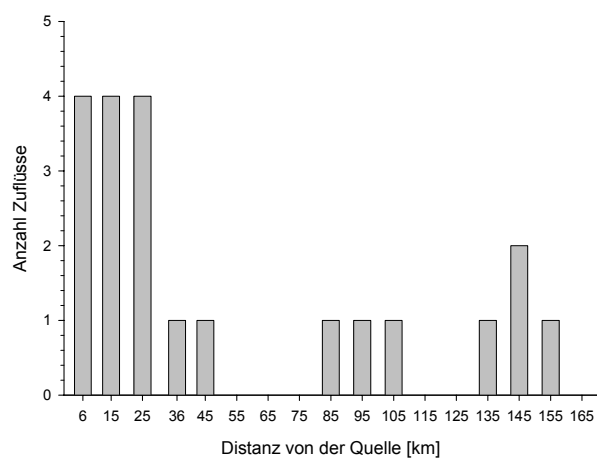
(a) Tagliamento



(b) Thur



(c) Rhone

**Abbildung 4.8:** Anzahl Zuflüsse entlang von Tagliamento, Thur und Rhone.

4.2 Diversität des Makrozoobenthos

4.2.1 α -Diversität

In Abbildung 4.9 sind die Anzahl Taxa im Hauptfluss entlang der drei untersuchten Flüsse dargestellt. Die Anzahl der Taxa schwankt am Tagliamento zwischen 2 und 28, an der Thur zwischen 9 und 29 und an der Rhone zwischen 1 und 16. Am Tagliamento sind im Unterlauf weniger Taxa als im Ober- und im Mittellauf vorhanden. Bei der Rhone sind es im Oberlauf mehr Taxa als im Mittel- und Unterlauf. An der Thur ist nur ein geringfügiger Unterschied zwischen Ober-, Mittel- und Unterlauf in der Anzahl der Taxa festzustellen. Kilometer 105 der Thur scheint jedoch besonders artenreich zu sein. An der Thur ist die Ordnung Coleoptera häufig anzutreffen, während sie am Tagliamento sporadisch auftritt und an der Rhone völlig fehlt. Im Anhang A ist die genaue Verteilung der einzelnen Taxa auf die verschiedenen Abschnitte beschrieben.

Die Anzahl der vorgefundenen Individuen schwankt entlang der Flusskorridore erheblich, obwohl immer gleich lang beprobt wurde (Abbildung 4.10). Am Tagliamento wurden insgesamt weniger als halb so viel Individuen gefunden wie an der Thur und an der Rhone (Tabelle 4.2).

4.2.2 γ -Diversität

Am Tagliamento wurden unter Berücksichtigung der vier Ordnungen Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera und Coleoptera insgesamt 49 Taxa, an der Thur 52 und an der Rhone 22 gefunden (Abbildung 4.11c). In Bezug auf die Anzahl Taxa unterscheiden sich alle drei Flüsse signifikant. Am Tagliamento wurden in 8 Proben des Hauptflusses 39 Taxa und in 10 Tümpeln 22 Taxa gefunden. An der Thur waren es 49 Taxa in 7 Hauptflussproben und 20 Taxa in 1 Tümpel. An der Rhone konnten in 9 Proben des Hauptflusses 21 Taxa und in 2 Tümpeln nur 1 Taxon nachgewiesen werden. In Abbildung 4.11d ist dargestellt, wieviele Taxa im Hauptfluss, wieviele in den Tümpeln und wieviele gleichzeitig im Hauptfluss und in den Tümpeln vorkommen. Am Tagliamento steuern die Tümpel mehr zur Gesamtdiversität bei als an der Thur und an der Rhone.

Es wurde eine Abschätzung der Anzahl Arten durch die Jackknife-Analyse durchgeführt. Bei der Standardisierung auf die Anzahl Probenahmestellen erwies sich die Thur als artenreicher als der Tagliamento. Wurde jedoch auf die Anzahl Individuen standardisiert, war die Abschätzung der Anzahl Taxa am Tagliamento höher (Abbildung 4.12). Die Rhone schnitt bei beiden Standardisierungen schlechter ab. Die Anzahl erwarteter Taxa steigt beim Tagliamento mit zunehmender Individuenzahl sehr schnell an. Die Thur und der Tagliamento scheinen bei der Anzahl ausgewerteter Proben und gefundener Individuen noch keine Sättigung zu erreichen. Die Rhone scheint sich zumindest bei der Standardisierung auf die Anzahl Probestellen einer Sättigung zu nähern.

Abbildung 4.13 zeigt die Verteilung der Taxa auf die verschiedenen Familien. Bei den Ordnungen Ephemeroptera, Plecoptera und Coleoptera handelt es sich dabei um Gattungen, während es bei der Trichoptera eine Mischung aus Arten und Gattungen sind. Am Tagliamento wurden 23 verschiedene Familien und an der Thur

deren 25 gefunden. Mehr Familien wurden an der Thur vor allem in den Ordnungen Ephemeroptera und Trichoptera gefunden. In der Ordnung Coleoptera wurden hingegen am Tagliamento mehr Familien gefunden. An der Rhone wurden nur gerade 10 verschiedene Familien nachgewiesen.

In Anhang B sind alle Taxa in den drei Flüssen aufgelistet, auch die nachgewiesenen Ephemeropteren- und Plecopterenarten in Thur und Rhone, welche nur auf Gattungsniveau in die Auswertung aufgenommen wurden (siehe auch Kapitel 3).

4.2.3 β -Diversität

Die β_1 -Diversität nimmt vom Tagliamento über Thur zur Rhone hin ab (Abbildung 4.14). Der Verlauf der Kurven ist bis auf den Unterlauf in allen drei Flüssen ähnlich.

In Abbildung 4.15 ist der Zusammenhang zwischen der Distanz zweier Probenahmestellen und deren β_1 -Diversität verdeutlicht. Dafür wurde die β_1 -Diversität zwischen jeweils zwei Probenahmestellen auf die y-Achse aufgetragen, während die Distanz zwischen den beiden auf der x-Achse aufgetragen wurde. Es sind folglich mehr Vergleiche mit kurzen Distanzen als mit langen vorhanden. Die β_1 -Diversität nimmt bei Tagliamento und Rhone mit zunehmender Distanz signifikant zu. Bei der Thur konnte dieser Zusammenhang nicht nachgewiesen werden.

Die Sørensen-Indexe im longitudinalen Verlauf zeigen ein ähnliches Muster (Tabelle 4.3). Benachbarte Probestellen sind sich am Tagliamento und an der Rhone ähnlicher als weiter entfernte. Es ist auch klar erkennbar, dass sich die einzelnen Standorte am Tagliamento stärker unterscheiden als an der Rhone. Bei der Thur lässt sich kein deutliches Muster erkennen.

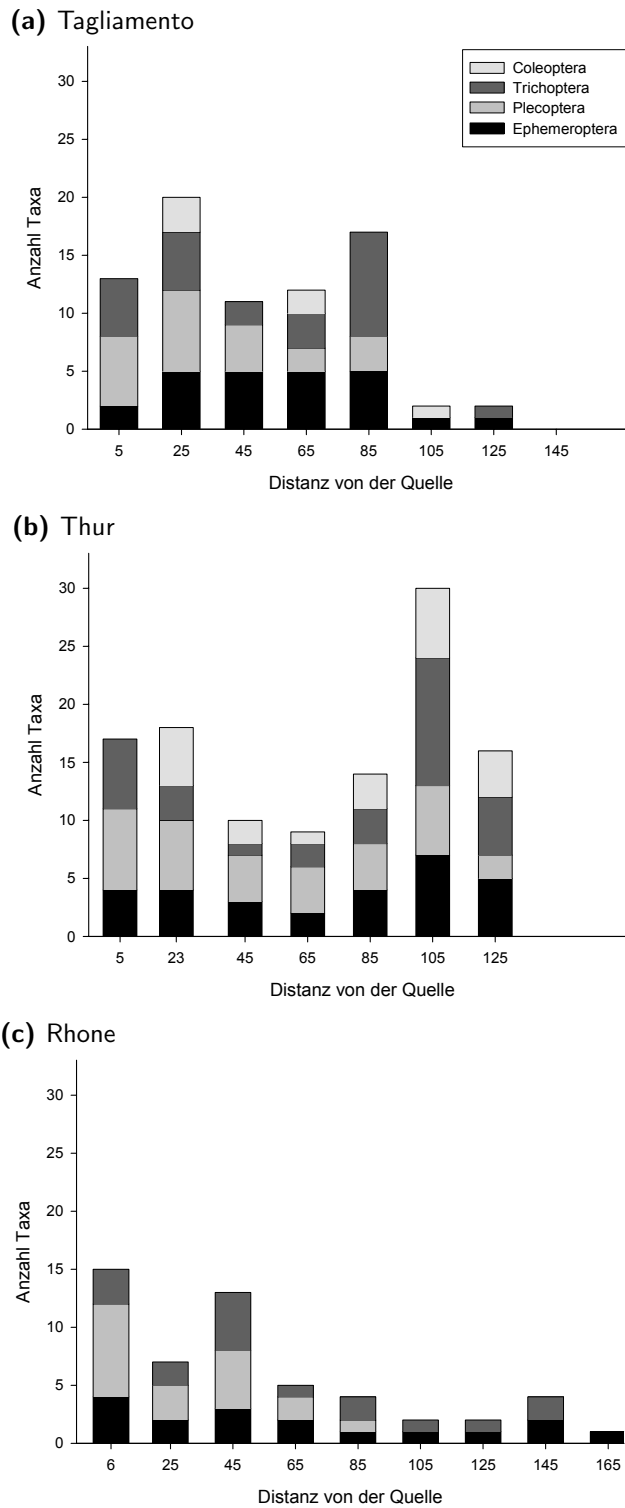
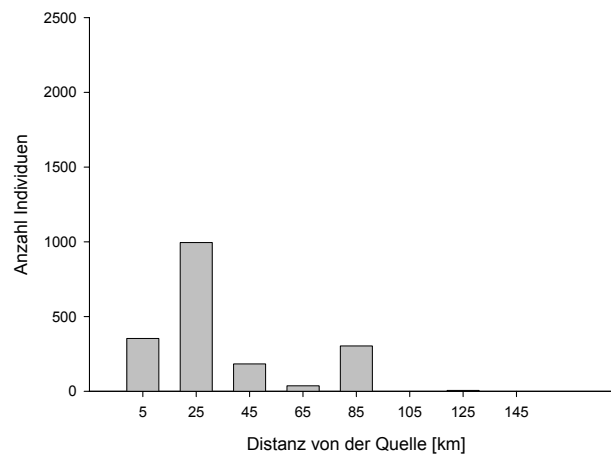
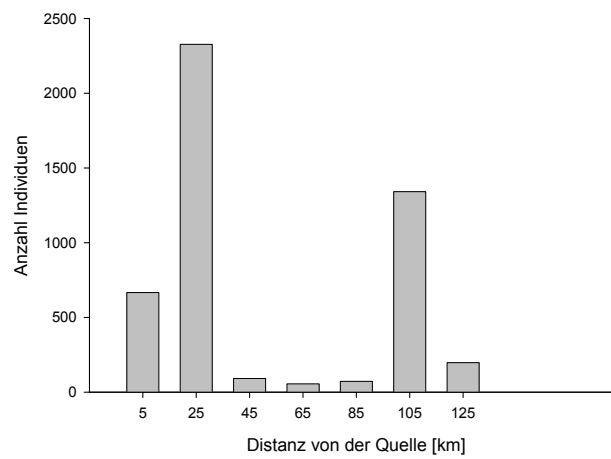


Abbildung 4.9: Anzahl Taxa entlang von Tagliamento, Thur und Rhone (nur Hauptfluss)

(a) Tagliamento



(b) Thur



(c) Rhone

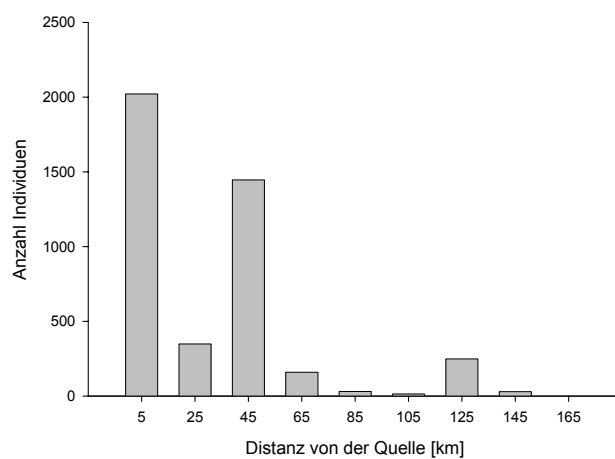
**Abbildung 4.10:** Anzahl Individuen entlang von Tagliamento, Thur und Rhone (nur Hauptfluss)

Tabelle 4.2: Übersicht der Anzahl Taxa, Anzahl Individuen und des Fishers α für die einzelnen Abschnitte (Hauptfluss und Tümpel). * hier konnte aufgrund mangelnder Individuenzahl kein Fishers α berechnet werden (siehe auch Kapitel 3.3)

(a) Tagliamento

Flusskilometer	Anzahl Taxa	Anzahl Individuen	Fishers α
5	13	353	2.67
25	28	1710	4.77
45	11	183	2.65
65	19	37	8.00
85	5	303	0.93
105	5	7	*
125	2	16	1.05
145	6	0	*
Total	49	2609	8.62
Durchschnitt	11.1	326.1	3.34

(b) Thur

Flusskilometer	Anzahl Taxa	Anzahl Individuen	Fishers α
5	17	667	3.23
23	17	2328	2.51
45	10	92	2.96
65	9	56	3.03
85	23	589	4.81
105	29	1342	5.24
125	16	197	4.16
Total	52	5271	8.08
Durchschnitt	17.3	753	3.71

(c) Rhone

Flusskilometer	Anzahl Taxa	Anzahl Individuen	Fishers α
6	16	2024	2.39
25	7	348	1.24
45	13	1447	1.98
65	5	160	0.99
85	4	31	1.40
105	2	14	*
125	2	249	0.30
145	4	29	1.26
165	1	2	*
Total	22	4304	2.98
Durchschnitt	6	478.2	1.37

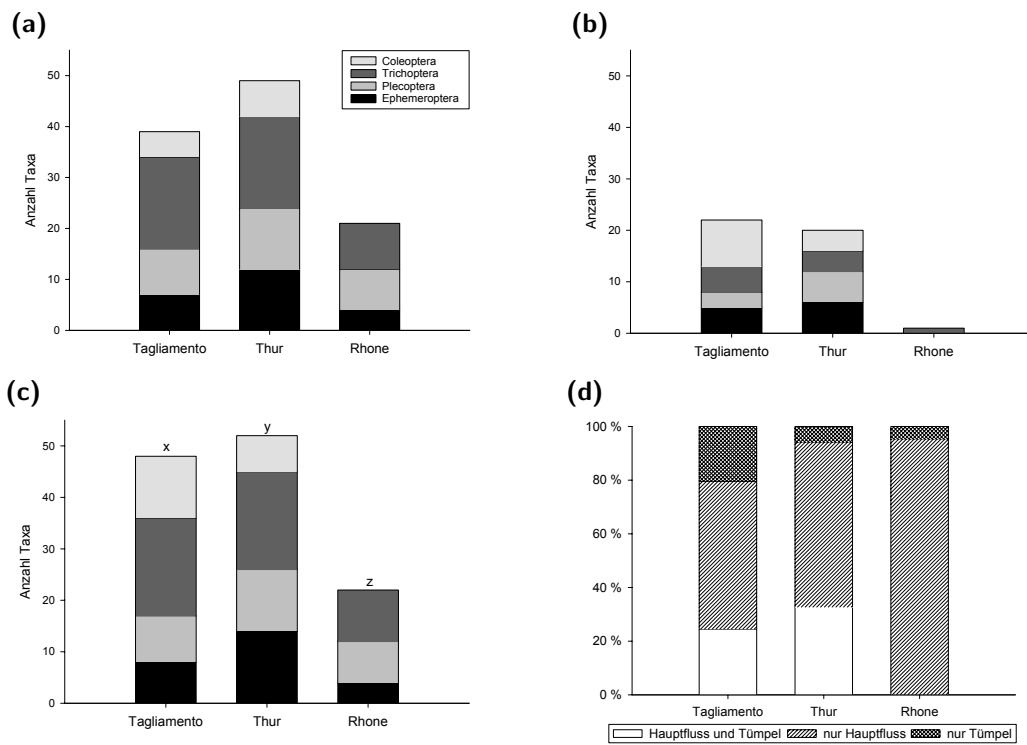


Abbildung 4.11: Vergleich der Anzahl Taxa der Flüsse Tagliamento, Thur und Rhone. (a) Anzahl Taxa im Hauptfluss (b) Anzahl Taxa in den Tümpeln (c) Anzahl Taxa gesamt (zweiseitiger t-Test; $p < 0.05$) (d) Beiträge von Hauptfluss und Tümpeln zur Anzahl Taxa

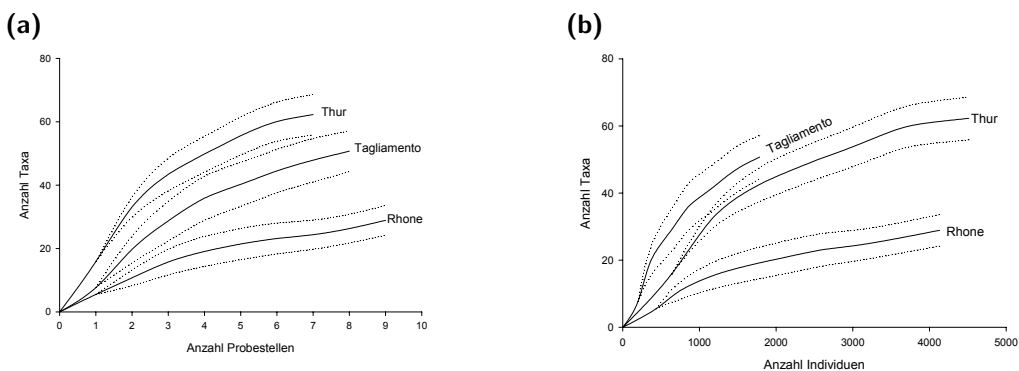


Abbildung 4.12: Jackknife-Abschätzung 1. Ordnung (50 Wiederholungen) aufgrund der Hauptflussbeobachtungen. (a) Standardisierung auf die Anzahl Probestellen (b) Standardisierung auf die Anzahl Individuen

Tagliamento



Thur



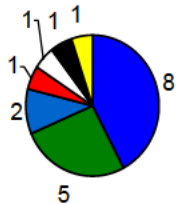
Rhone



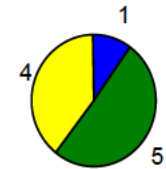
- Heptageniidae
- Leptophlebiidae
- Baetidae
- Ephemerelellidae
- Siphonuridae
- Caenidae



- Nemouridae
- Chloroperlidae
- Perilidae
- Perlotidae
- Taeniopterigidae
- Leuctridae



- Limnephilidae
- Hydropsychidae
- Polycentropodidae
- Rhyacophilidae
- Hydroptilidae
- Philopotamidae
- Psychomyiidae
- Sericostomatidae
- Odontoderidae
- Beraeidae



- Elmidae
- Dytiscidae
- Hydraenidae
- Gyrinidae

Abbildung 4.13: Aufteilung der Taxa auf die verschiedenen Familien in den Ordnungen Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera und Coleoptera. Die Zahlen stehen für die Anzahl gefundener Taxa in einer Familie (nur Hauptfluss)

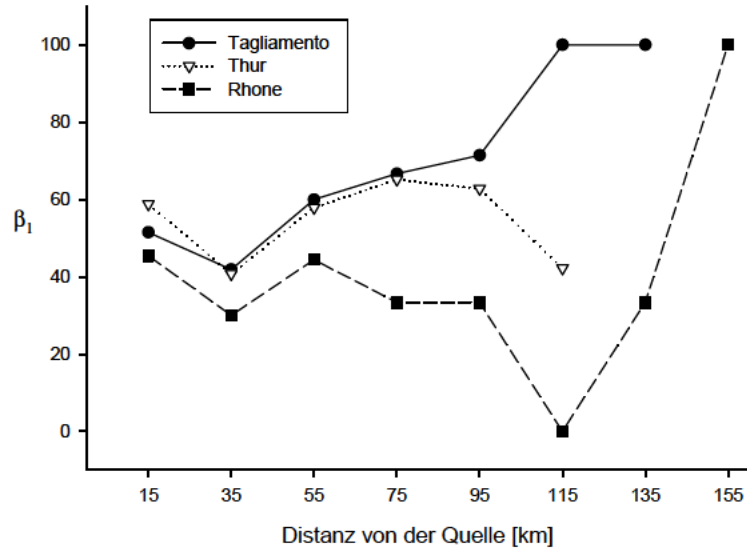


Abbildung 4.14: Paarweiser Vergleich der β_1 -Diversität entlang von Tagliamento, Thur und Rhone (nur Hauptfluss. $\beta_1=100$: völlig verschieden; $\beta_1=0$: identische Lebensgemeinschaft)

Tabelle 4.3: Sörensen-Koeffizienten (Ähnlichkeit) in 5 Klassen für die Flüsse Tagliamento, Thur und Rhone (nur Hauptfluss)

(a) Tagliamento

[km]	5	25	45	65	85	105	125
5							
25	0.48						
45	0.58	0.58					
65	0.31	0.46	0.40				
85	0.22	0.32	0.50	0.33			
105	0.13	0.09	0.15	0.10	0.29		
125	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
145	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

(b) Thur

[km]	5	23	45	65	85	105
5						
23	0.41					
45	0.44	0.59				
65	0.31	0.38	0.42			
85	0.19	0.32	0.50	0.35		
105	0.30	0.65	0.41	0.42	0.37	
125	0.18	0.48	0.46	0.32	0.40	0.58

(c) Rhone

[km]	6	25	45	65	85	105	125	145
6								
25	0.55							
45	0.64	0.70						
65	0.40	0.50	0.56					
85	0.21	0.55	0.35	0.67				
105	0.12	0.44	0.27	0.57	0.67			
125	0.12	0.44	0.27	0.57	0.67	1.00		
145	0.21	0.36	0.35	0.67	0.50	0.67	0.67	
165	0.13	0.25	0.14	0.33	0.40	0.67	0.67	0.40

□ 0-0.2 □ 0.2-0.4 □ 0.4-0.6 □ 0.6-0.8 □ 0.8-1

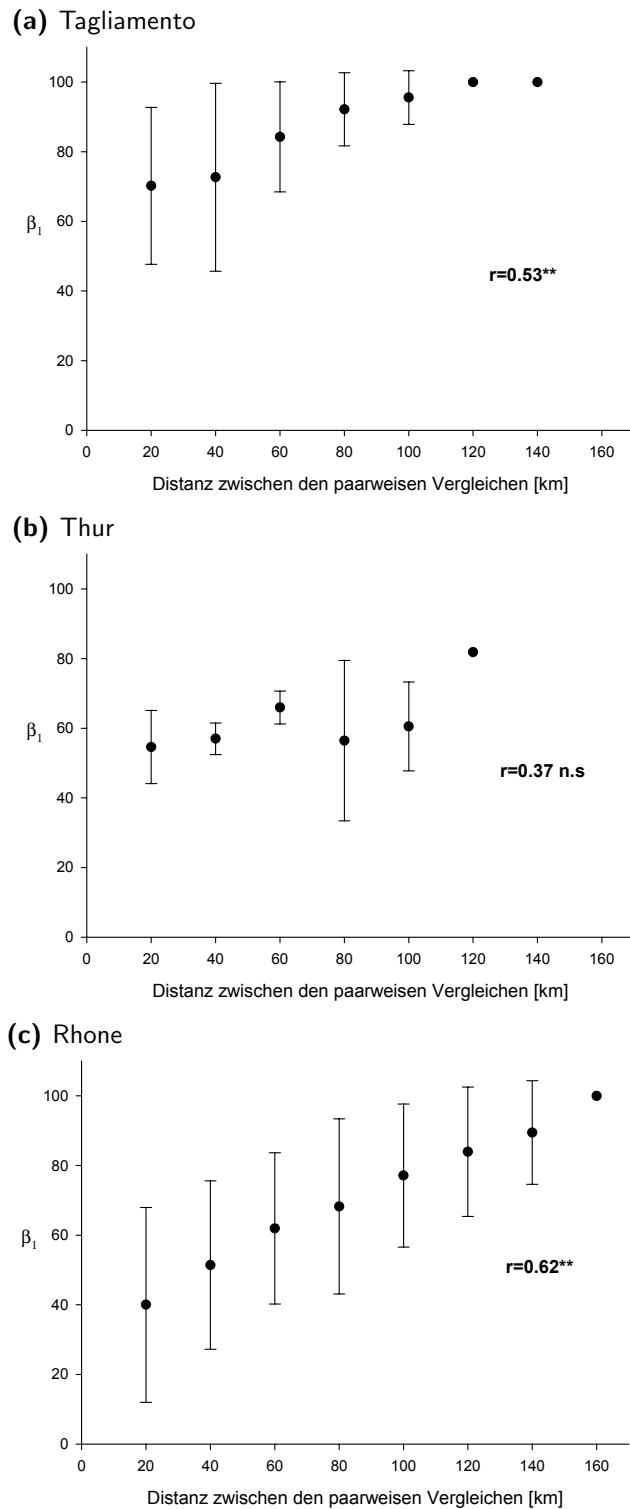


Abbildung 4.15: Zusammenhang zwischen paarweisem Vergleich von β_1 -Diversität und der Distanz zwischen jedem Vergleich (nur Hauptfluss); ** $p < 0.05$, n.s. nicht signifikant

Kapitel 5

Diskussion

5.1 Gewässervielfalt

Am Tagliamento wurden insgesamt zwar mehr **Tümpel** gefunden als an der Thur, aber es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen Tagliamento und Thur festgestellt werden. Am Tagliamento sind jedoch signifikant mehr Tümpel vorhanden als an der Rhone. Die Hypothese, dass es einen Gradienten der Tümpelanzahl zwischen Tagliamento, Thur und Rhone gibt, konnte daher nur teilweise bestätigt werden. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass am Tagliamento die verzweigte Aue mit Inseln zwischen Cornino und Pinzano nicht untersucht wurde. In diesem Abschnitt wurden in einem 1-Kilometer langen Abschnitt bei gleichem Wasserstand 21 Tümpel nachgewiesen (Karaus mündliche Auskunft). An der Thur ist bisher kein so tümpelreicher Abschnitt beschrieben worden. Bei Betrachtung der Landkarte ist auch kein solcher Abschnitt zu erwarten. Eine detaillierte Untersuchung der Flussläufe würde wahrscheinlich zu einem besseren Abschneiden des Tagliamentos führen.

Thur und Rhone verfügen über signifikant weniger **Backwaters** als der Tagliamento. Zwischen Thur und Rhone konnte jedoch kein Unterschied gefunden werden. Backwaters scheinen von einer künstlichen Veränderung des Flusses stärker betroffen als Tümpel.

Tümpel und Backwaters verschwinden durch die Regulierung eines Fließgewässers. Der Fluss wird auf das Hauptgerinne reduziert, wodurch lentische Gewässertypen verloren gehen und die Habitatvielfalt somit stark geschmälert wird.

Im Unterlauf des Tagliamentos sind keine **Zuflüsse** gefunden worden. Dies kann zum Teil damit erklärt werden, dass der Tagliamento im Unterlauf durch eine Ebene fließt, die relativ durchlässig mit einem grossen Aquifer verbunden ist (Ward et al. 1999). Es wird ihm also kein zusätzliches Wasser aus dem umliegenden Gebiet mehr zugebracht. In Abbildung 2.1a ist sehr gut ersichtlich, dass sich im Unterlauf das Einzugsgebiet auf den Flusslauf beschränkt. Die Rhone fließt hingegen bis zum Genfersee durch ein Tal und entwässert so die umliegenden Berggebiete. Die Thur fließt im Unterlauf durch eine hügelige Landschaft und wird von kleinen Zuflüssen gespeist.

5.2 Diversität des Makrozoobenthos

5.2.1 Fragmentierung der Thur

Am Tagliamento und an der Rhone sind sich Stellen, die näher beieinander liegen ähnlicher als Stellen, die weiter auseinander liegen. Dies spricht für eine graduelle Ablösung von verschiedenen Lebensgemeinschaften. Am Tagliamento bestätigt dies den Befund von Arscott (2001).

An der Thur kann kein deutliches Muster erkannt werden. Eine Begründung dafür könnte sein, dass sich an der Thur naturnahe und naturferne Abschnitte abwechseln. Die longitudinale Abfolge von Artengemeinschaften wird daher durch den Effekt von unterschiedlicher Beeinträchtigung überlagert. Es kann also sein, dass sich zwei naturnahe Stellen ähnlicher sind als eine naturnahe und eine naturferne in unmittelbarer Nähe. So sind sich die Stellen Flusskilometer 23 und 125 relativ ähnlich (Tabelle 4.3). Beide Stellen weisen einen relativ geringen Verbauungsgrad auf (Tabelle 4.1b). Corigliano et al. (2001) wiesen einen ähnlichen Effekt anhand von Ephemeropteren in Zusammenhang mit Abwasserverschmutzung nach.

Die Thur wird von vielen kleinen Zuflüssen gespiesen, welche kleinräumig die Lebensgemeinschaft beeinflussen, indem sie der Thur typische Arten für Kleinfließgewässer zubringen. Dies könnte ein weiterer Faktor sein, welcher zum sprunghaften Wechsel der Taxa führt.

5.2.2 Thur artenreicher als Tagliamento?

Die Hypothese, dass am Tagliamento mehr Taxa vorhanden sind als an der Thur konnte nicht bestätigt werden. An der Thur wurden signifikant mehr Taxa gefunden als am Tagliamento. Im Ober- und im Mittellauf ist die Anzahl der Taxa von Thur und Tagliamento durchaus vergleichbar. Ab Kilometer 105 wurden jedoch am Tagliamento nur noch vereinzelt Individuen der untersuchten Gruppen gefunden (Tabelle 4.2). Gleichzeitig fällt auch die Anzahl nachgewiesener Taxa stark ab (Abbildung 4.9a). Bei Flusskilometer 145 kann dies teilweise damit erklärt werden, dass der Tagliamento zu tief war, um eine Kicksamplingbeprobung durchzuführen. So konnte nur am Rande beprobt werden. Für Flusskilometer 105 und 125 gibt es jedoch keine methodenbedingte Erklärung. Der Abfall der Individuendichte könnte zum Beispiel durch eine Verschmutzung verursacht worden sein. Eine detailliertere Analyse von Wasser und Sediment könnte zur Aufklärung beitragen.

Abbildung 4.12b liefert einen Hinweis darauf, dass ein Zusammenhang der Anzahl vorgefundener Individuen mit der Anzahl Taxa besteht. Beim Tagliamento wurden bezogen auf die Individuen schneller mehr Arten gefunden als an der Thur. Bei der Betrachtung des Fishers α -Indexes, der relativ unempfindlich gegenüber Abundanz ist (Magurran 1988), schneidet der Tagliamento besser ab als die Thur (Tabelle 4.2, Abbildung 5.1).

An der Thur ist die Individuendichte deutlich höher als am Tagliamento. Dies deutet darauf hin, dass die Thur produktiver als der Tagliamento ist. Von 28 Studien über aquatische Invertebraten zum Zusammenhang zwischen Artenreichtum und Produktivität fanden rund 40 % einen buckelförmigen Zusammenhang (Mittelbach et al. 2001). Buckelförmig bedeutet, dass am meisten Arten bei einer mittleren Pro-

duktivität gefunden werden. Der Tagliamento ist extrem Kohlenstoff und Phosphor limitiert (Kaiser mündliche Auskunft). Es könnte daher sein, dass am Tagliamento mit zunehmender Produktivität die Artenzahl noch steigen würde, während sich die Thur schon beim Maximum oder nahe vom Maximum befindet. Diese Hypothese müsste jedoch noch genauer überprüft werden.

Im Unterlauf des Tagliamento dominieren Crustacea, Oligochaeta, Nematoda und Chironomidae (Arscott 2001). Diese Gruppen wurden in der vorliegenden Diplomarbeit jedoch nicht berücksichtigt. Die Anzahl der Taxa wurde daher unterschätzt. Im Gegensatz zu Rhone und Thur weist der Tagliamento eine typische Unterlaufssituation auf. Bei Thur und Rhone wurde durch die Regulierungen der Flusslauf gestreckt, was zu einer Ausdehnung des Oberlaufes flussabwärts führt. Die Fliessgeschwindigkeit wird dadurch im Unterlauf erhöht und die Temperaturen gesenkt. In Thur und Rhone sind daher auch im Unterlauf Taxa des Mittellaufes vorhanden.

Der Tagliamento unterscheidet sich von der Thur dadurch, dass er direkt ins Meer mündet. Dies führt zu einer grösseren Isolation als bei der Thur, welche in den Rhein mündet und so von einem viel grösseren Einzugsgebiet profitieren kann.

Eine gesichertere Aussage über den Vergleich der Biodiversität der drei Flüsse könnte durch die Berücksichtigung aller Tiergruppen und mehrerer Jahreszeiten erreicht werden. Die Betrachtung einzelner Tiergruppen liefert immer nur einen Ausschnitt der gesamten Diversität. Es ist nicht möglich mit einer einzigen Beprobungsaktion alle Taxa zu erfassen, da nie alle Taxa gleichzeitig in einem sammelbaren Stadium sind. Ausserdem könnte durch eine höhere Probendichte die Aussagekraft verstärkt werden.

Höhere Artenzahlen deuten nicht immer auf eine bessere Umweltqualität eines Habitates hin (Duelli und Obrist 1997). Wie in Abschnitt 5.2.1 erörtert wurde, ist die Thur ein fragmentierter Flusslauf. Bei Fragmentierung der Landschaft kann die Artenzahl zwar konstant bleiben oder sich unter Umständen sogar erhöhen, die Integrität der Lebensgemeinschaft geht dabei jedoch verloren (Tockner und Ward 1999).

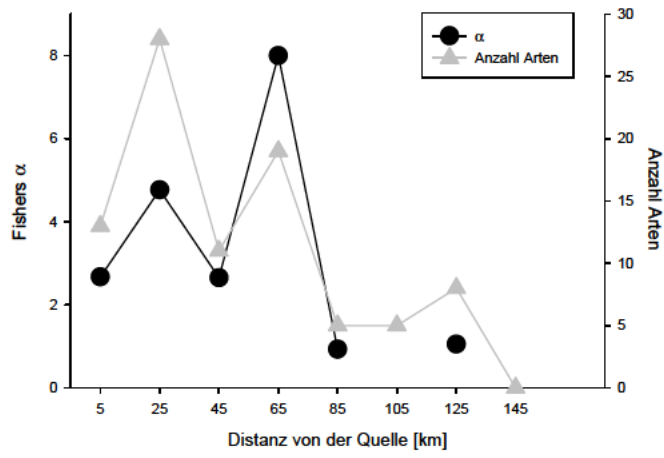
5.2.3 Rhone artenarm

An der Rhone wurden deutlich weniger Arten als an der Thur und am Tagliamento gefunden. Dies ist wahrscheinlich auf die Doppelbelastung von anthropogen morphologischer und hydrologischer Veränderung zurückzuführen.

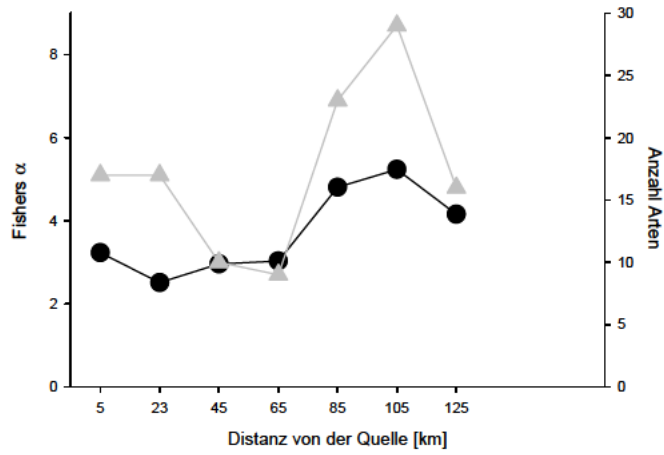
Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass der einzige naturnahe Abschnitt Pfywald (unterhalb Leuk) nicht in das Untersuchungsgebiet fiel. Dies ist eine Restwasserstrecke, wo der Abfluss stark reduziert ist. Dafür sind die Wasserschwankungen durch den Schwallbetrieb stark vermindert. Morphologisch ist dieser Abschnitt nahezu natürlich. Es wäre sicherlich sinnvoll diesen Abschnitt in eine longitudinale Untersuchung miteinzubeziehen, um das Potenzial für eine Renaturierung der Rhone abzuschätzen.

An der Rhone waren 92 % der 632 gesammelten Trichopteren *Allogamus auricollis*. Am Ticino wurde auch eine starke Dominanz von *Allogamus auricollis* vorgefunden (Frutiger submitted). Der Ticino ist ähnlich wie die Rhone in seinem natürlichen Wasserregime stark gestört. Frutiger (submitted) begründet die Do-

(a) Tagliamento



(b) Thur



(c) Rhone

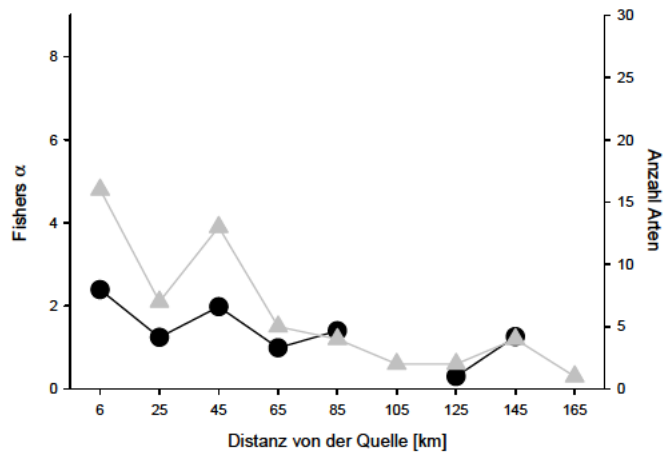


Abbildung 5.1: Fishers α -Index und Anzahl Arten entlang von Tagliamento, Thur und Rhone (Hauptfluss und Tümpel)

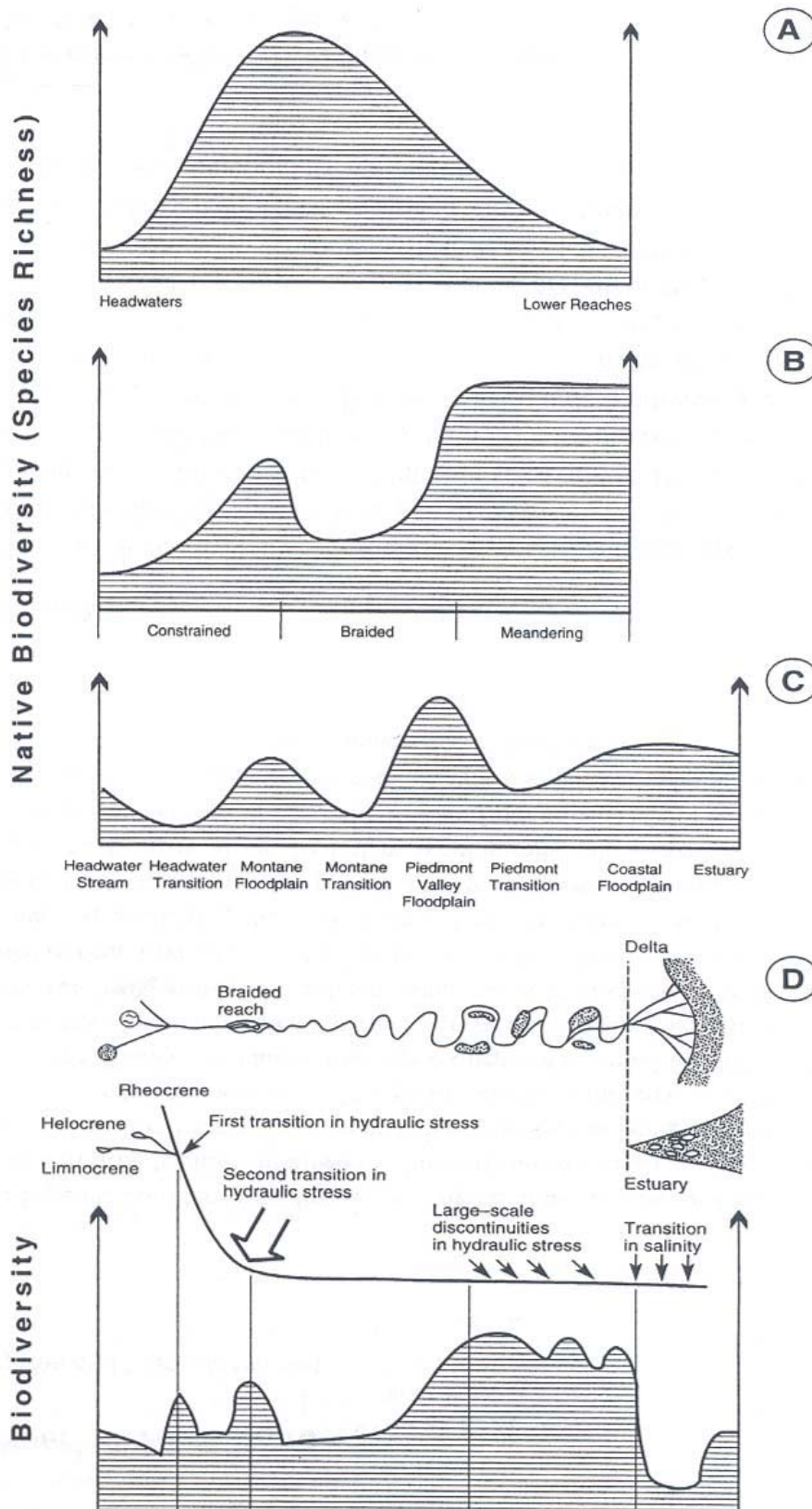


Abbildung 5.2: Vier verschiedene Konzepte zur Vorhersage von Biodiversitäts-Mustern entlang hypothetischer Flusssysteme. A: nach Vannote et al. (1980); B: nach Ward und Stanford (1995); C: nach Stanford et al. (1996); D: nach Statzner und Higler (1986). In den Konzepten C und D sind Küstenauen und der Mündungsbereich auch enthalten (übernommen von Tockner und Ward (1999))

minanz von *Allogamus auricollis* damit, dass er gegenüber Temperaturschwankungen relativ unempfindlich reagiert. Das Temperaturregime ist durch das künstlich veränderte Wasserregime am Ticino stark gestört. Es ist anzunehmen, dass an der Rhone ähnliche Ursachen zu einer Dominanz von *Allogamus auricollis* führen.

5.2.4 Tümpel tragen zur Makrozoobenthosdiversität bei

Am Tagliamento und an der Rhone gibt es Taxa, die nur in den Tümpeln vorkommen (Abbildung 4.11d). Bisher wurden am Tagliamento 10 und an der Thur nur 1 Tümpel ausgewertet. Es ist anzunehmen, dass sich der Beitrag zur Diversität mit der Auswertung von mehr Tümpelproben noch erhöhen würde. Auch wurden in den Tümpel im Vergleich zum Hauptfluss vermehrt Gastropoda und Odonata vorgefunden, welche bisher nicht in die Auswertung miteinbezogen wurden. Es kann daher angenommen werden, dass die Tümpel einen erheblichen Beitrag zur Makrozoobenthosdiversität leisten. Es sind jedoch noch genauere Untersuchungen nötig, um diese Hypothese zu bestätigen. Interessant wäre auch weitere Gewässertypen wie Backwaters und Zuflüsse faunistisch zu untersuchen, um ihre Relevanz bezüglich Diversität zu testen.

An der Rhone konnte nur gerade ein zusätzliches Taxon in den Tümpeln nachgewiesen werden (Limnophilidae). Eine Ursache für den geringen Beitrag der Rhone-Tümpel zur Gesamtdiversität der Rhone könnte sein, dass die untersuchten Tümpel durch den Schwallbetrieb täglich vom Hauptfluss gespült wurden. Durch diese häufige Störung, kann sich keine typische Tümpel-Fauna etablieren.

5.2.5 Biodiversität entlang des Flusslaufes

Die Biodiversität entwickelt sich unterschiedlich entlang der drei Flussläufe (Abbildung 5.1). Vergleicht man die Entwicklung am Tagliamento mit bestehenden Konzepten, ist es schwierig den Tagliamento einem theoretischen Konzept zu zuordnen (Abbildung 5.2). Das modifizierte „River Continuum Concept“ von Ward und Stanford (1995) kann jedoch nicht in Einklang mit dem Verlauf am Tagliamento gebracht werden. Die Vorhersage, dass im verzweigten Mittellauf die Diversität geringer ist als im mäandrierenden Unterlauf kann am Tagliamento nicht bestätigt werden. Im Gegensatz, der verzweigte Mittellauf scheint sehr artenreich zu sein. Dies entspricht eher dem Konzept von Stanford et al. (1996), welches die höchste Diversität in den Schwemmebenen und die tiefste Diversität jeweils in den Übergangszonen voraussagt. Ausserdem wird eine Verbindung zwischen der Anzahl angebotener Habitate und der Anzahl Arten gesehen. Das Konzept von Statzner und Higl (1986) beruht auf hydraulischen Daten, welche in dieser Untersuchung nicht erhoben wurden. Zudem ist es sehr fein ausgearbeitet und nicht mit dem groben Raster dieser Studie zu vergleichen. Die Thur und die Rhone werden hier nicht mit den bestehenden Konzepten verglichen, da sie nicht mehr natürlich sind.

Der Vergleich von erhobenen Daten mit theoretischen Konzepten ist immer problematisch, da die Konzepte meist von der Gesamtheit der Arten ausgehen, während die Daten sich meist auf einzelne Artengruppen beschränken. Die Überprüfung theoretischer Konzepte würde jedoch vereinfacht, wenn die Distanzen zwischen den einzelnen Probenahmen kürzer wären. Es wäre ratsam anstatt einer Sammelprobe meh-

rere Proben zu nehmen, damit die Varianz innerhalb eines einzelnen Abschnittes bestimmt werden kann, was wiederum eine bessere Fehlerabschätzung ermöglichen würde.

Kapitel 6

Schlussfolgerungen

Lentische Gewässer tragen zur Diversität von Flusslandschaften bei. Sie sind daher bei der Betrachtung eines Flusssystemes nicht zu vernachlässigen und in Renaturierungspläne und Erfolgskontrollen mit einzubeziehen.

Erstes Ziel soll es sein noch weitgehend unbeeinflusst Flüsse zu erhalten. Der Tagliamento ist daher als natürliche Flusslandschaft zu erhalten. Trotz intensiver Forschung am Tagliamento sind noch lange nicht alle Vorgänge in einem natürlichen Flusssystem geklärt. Weitere Untersuchung die zum Verständnis der natürlichen Flussdynamik beitragen sind daher erwünscht.

Die Thur ist für einen Schweizer Fluss sehr artenreich. Schon Lubini (1994) konnte 1990/91 33 Eintagsfliegen-, 21 Steinfliegen-, 43 Köcherfliegen- und 3 Libellenarten nachweisen. Die Thur ist folglich als ein Fluss mit einem hohen Potenzial für eine Renaturierung einzustufen. Durch eine Aufweitung der Thur könnte mehr Platz für die Bildung von Tümpeln und Backwaters bereitgestellt werden, welche zu einer Erhöhung der Diversität führen könnte. Ausserdem ist es erstrebenswert, der Fragmentierung in naturnahe und naturferne Abschnitte entgegen zu wirken. Naturferne Abschnitte sollten auf ein Minimum reduziert und nach Möglichkeit natürlicher gestaltet werden.

Die Makrozoobenthosdiversität der Rhone ist durch das Zusammenwirken von morphologischer und hydrologischer Beeinträchtigung stark vermindert. Es ist fraglich in wie weit eine Verbesserung des morphologischen Zustandes die Diversität der Rhone erhöhen würde. Für eine sinnvolle Renaturierung im biologischen Sinne müssten morphologische und hydrologische Beeinträchtigung vermindert werden. Die Rhone ist daher nicht als Fluss mit einem hohen Potenzial für eine Revitalisierung anzusehen. Trotzdem soll von der geplanten dritten Rhonekorrektur nicht abgesehen werden, da sie sicherlich zur Verbesserung des Hochwasserschutzes und zu einer Aufwertung des Erholungsraumes Rhone beitragen wird.

Kapitel 7

Danksagung

Ich möchte Dr. Klement Tockner und Ute Karaus für die gute Betreuung meiner Diplomarbeit danken. Sie hatten immer ein offenes Ohr für meine Probleme und konnten mich kompetent unterstützen. Ute Karaus und Simone Blaser sei für die vielen nicht immer mit Sonnenschein beglückten Stunden harter Feldarbeit gedankt. Simone Blaser, Marija Mihailova und Silvia Haug danke ich für das Auszählen der Rhoneproben. Dr. Verena Lubini und Dr. Wolfram Graf danke ich für die sorgfältige Nachbestimmung meiner unsicheren EPT-Taxa. Hannes Schneebeil sei für die Unterstützung in geomatischen Fragen gedankt. Ein grosses Dankeschön an Herrn Burri vom BWG, welcher mir beim Zusammensuchen der Daten für die Längensprofile eine grosse Hilfe war. In diesem Zusammenhang bedanke ich mich auch bei der Terra-Vermessungs AG, K & P Geoinfo AG, Giovanni De Cesare und Sophie Karrenberg, die mir ihre Daten für die Längensprofile zur Verfügung gestellt haben.

Ich möchte mich bei der ganzen Abteilung Limnologie an der EAWAG für das angenehme Arbeitsklima bedanken. Jacqueline Bernet, Achim Pätzold, Justyna Wolinska, Chihiro Yoshimura, Romana Snozzi und Verena Lubini danke ich für die immer wieder unterhaltsamen Mittagessen.

Meinen Eltern möchte ich dafür danken, dass sie mir dieses Studium ermöglicht haben und mich in meinen Ausbildungsplänen immer unterstützt haben.

Marcel Guillong danke ich für das kritische Durchlesen meiner Diplomarbeit und das Verständnis, wenn ich erst zu später Stunde nach Hause kam.

Literaturverzeichnis

- Allan, J. und Flecker, A. (1993): Biodiversity conservation in running waters. *BioScience*, 43(1):32–43.
- Amoros, C. und Bornette, G. (2002): Connectivity and biocomplexity in waterbodies of riverine floodplains. *Freshwater Biology*, 47(4):761–776.
- Arbeitsgruppe Thur (2001): Die Thur: Ein Fluss mit Zukunft für Mensch, Natur und Landschaft. Technischer Bericht, Kantonale Fachstellen für Wasserbau (AI, AR, SG, TG, ZH) und Bundesamt für Wasser und Geologie.
- Arcott, D. (2001): Habitat Heterogeneity and Aquatic Invertebrates along an Alpine Floodplain River. Dissertation, Swiss Federal Institute of Technology Zürich.
- Aubert, J. (1959): Plecoptera, Band 1 von *Insecta Helvetica*. Société entomologique suisse, Lausanne.
- Bauernfeind, E. und Humpesch, U. (2001): Die Eintagsfliegen Zentraleuropas (Insecta: Ephemeroptera): Bestimmung und Ökologie. Verlag des Naturhistorischen Museums Wien, Wien.
- Biedermann, H., R., Pougatsch, G., Darbre, P.-B., Raboud, C., Fux, B. H. und Sander, B. (1996): Aménagements hydroélectriques à accumulation et protection contre les crues. *Wasser, Energie, Luft*, 88:221–266.
- BUWAL (1998): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer: Modul-Stufen-Konzept, Band Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr.26 von *Vollzug Umwelt*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- Colwell, R. (1997): EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples.
- Corigliano, M. C., Gualdoni, C. M., Oberto, A. M. und Raffaini, G. (2001): Longitudinal distribution of the mayfly (Ephemeroptera) communities at the Chocanchavara river basin (Cordoba, Argentina). In E. Dominguez (Herausgeber), *Trends in Research in Ephemeroptera and Plecoptera*, Seiten 89–95, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Duelli, P. und Obrist, M. (1997): In search of the best correlates for local organismal biodiversity in cultivated areas. *Biodiversity and Conservation*, 7(3):297–309.
- Frutiger, A. (submitted): Effects of Hydroelectric Power Production on the Life History of a Benthic Invertebrate (*Allogamus auricollis*, Trichoptera). *Freshwater Biology*.

- Harrison, S., Ross, S. und Lawton, J. (1992): Beta diversity on geographic gradients in Britain. *Journal of Animal Ecology*, 61:151–158.
- Kaiser, E. (mündliche Auskunft): Abteilung Limnologie, EAWAG Dübendorf.
- Karaus, U. (mündliche Auskunft): Abteilung Limnologie, EAWAG Dübendorf.
- Karrenberg van der Nat, S. (2002): Tree Regeneration on the Flood Plain of an Alpine River. Dissertation, ETH.
- Klausnitzer, B. (1996): Käfer im und am Wasser, Band 567 von *Die Neue Brehm-Bücherei*. Spektrum Akademischer Verlag, Magdeburg, 2 Auflage.
- Loizeau, J. L. und Dominik, J. (2000): Evolution of the Upper Rhone River discharge and suspended sediment load during the last 80 years and some implications for Lake Geneva. *Aquatic Sciences*, 62(1):54–67.
- Lubini, V. (1994): Hydrobiologische Untersuchungen der Thur (Kanton Zürich, Schweiz) - I. Libellen, Eintags-, Stein-, Köcher- und Schlammfliegen (Insecta: Odonata, Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Megaloptera). *Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich*, 139(1):23–31.
- Lubini, V., Knispel, S. und Vinçon, G. (Entwurf 2000): Plecoptera - Bestimmungsschlüssel der Schweiz.
- Magurran, A. E. (1988): *Ecological diversity and its measurement*. Croom Helm Ltd., London.
- Middleton, B. (1999): *Wetland Restoration, Flood Pulsing, and Disturbance Dynamics*. Wiley, New York.
- Mittelbach, G. G., Steiner, C. F., Scheiner, S. M., Gross, K. L., Reynolds, H. L., Waide, R. B., Willig, M. R., Dodson, S. I. und Gough, L. (2001): What is the observed relationship between species richness and productivity? *Ecology*, 82(9):2381–2396.
- Müller, N. (1995): River dynamics and floodplain vegetation and their alterations due to human impact. *Archiv für Hydrobiologie Supplementband*, 101(3/4):477–512.
- Nilsson, A. und Holmen, M. (1995): The aquatic Adephaga (Coleoptera) of Fennoscandia and Denmark. II. Dytiscidae, Band 32 von *Fauna Entomologica Scandinavica*. Fauna Entomologica Scandinavica, Leiden.
- Office fédéral des routes et des digues (1964): *La correction du Rhône en amont du lac Léman*. Technischer Bericht, Département fédéral de l'intérieur.
- Sedlak, E. (1985): *Bestimmungsschlüssel für mitteleuropäische Köcherfliegenlarven (Insecta, Trichoptera)*. Bundesanstalt für Wassergüte, Wien.
- Staatsrat des Kanton Wallis (2000): *Botschaft zum Beschluss betreffend die dritte Rhonekorrektion*.

- Stanford, J. A., Ward, J. V., Liss, W. J., Frissell, C. A., Williams, R. N., Lichatowich, J. A. und Coutant, C. C. (1996): A general protocol for restoration of regulated rivers. *Regulated Rivers: Research and Management*, 12:391–413.
- Statzner, B. und Higler, B. (1986): Stream hydraulics as a major determinant of benthic invertebrate zonation patterns. *Freshwater Biology*, 16:127–139.
- Studemann, D., Landolt, P., Sartori, M., Hefti, D. und Tomka, I. (1992): Ephemeroptera, Band 9 von *Insecta Helvetica*. Schweizerische Entomologische Gesellschaft, Lausanne.
- Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M. und Usseglio-Polatera, P. (2000): *Invertébrés d'eau douce*. CNRS Editions, Paris.
- Teuscher, F. (1995): Auen in der Schweiz: Von der Zustandsanalyse zum umfassenden Schutz. *Archiv für Hydrobiologie Supplementband*, 101/9(3/4):589–597.
- Tockner, K., Schiemer, F. und Ward, J. V. (1998): Conservation by restoration: the management concept for a river-floodplain system on the Danube River in Austria. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Systems*, 8:71–86.
- Tockner, K. und Ward, J. V. (1999): Biodiversity along riparian corridors. *Archiv für Hydrobiologie*, (3):293–310.
- Uhlmann, V. (2001): Die Uferzoozönosen in natürlichen und regulierten Flussabschnitten. Diplomarbeit, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.
- Vannote, R., Minshall, G., Cummins, K., Sedell, J. und Cushing, C. (1980): The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37:130–137.
- Ward, J. und Stanford, J. (1995): Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation. *Regulated Rivers: Research and Management*, 11:105–119.
- Ward, J. V. (1998): Riverine landscapes: biodiversity patterns, disturbance regimes, and aquatic conservation. *Biological Conservation*, 83(3):269–278.
- Ward, J. V., Tockner, K., Edwards, P. J., Kollmann, J., Bretschko, G., Gurnell, A. M., Petts, G. E. und Rossaro, B. (1999): A reference river system for the Alps: The 'Fiume Tagliamento'. *Regulated Rivers-Research & Management*, 15(1-3):63–75.
- Ward, J. V., Tockner, K., Uehlinger, U. und Malard, F. (2001): Understanding natural patterns and processes in river corridors as the basis for effective river restoration. *Regulated Rivers-Research & Management*, 17(6):311–323.

Tabelle A.2: Taxaliste für die Thur T: Tümpel

Taxa-Nomenklatur	Distanz von der Quelle [km]							
	5	23	45	65	85	85-T	105	125
Ephemeroptera								
Heptageniidae								
Rhithrogena	3	156	14	21	0	0	9	0
Ecdyonurus	33	8	3	0	0	5	17	1
Epeorus	0	59	0	0	0	0	3	1
	0	0	0	0	0	0	0	1
Heptagenia	0	0	0	0	0	0	1	0
Electrogena	1	0	0	0	0	0	0	0
Ephemerellidae								
Serratella	0	0	0	0	0	0	3	0
Siphonuridae								
Siphonurus	0	0	0	0	1	362	0	0
Baetidae								
Baetis	341	1252	2	19	3	0	594	119
Centroptilum	0	0	0	0	0	8	0	0
Leptophlebiidae								
Habrophlebia	0	0	0	0	5	11	0	0
Paraleptophlebia	0	0	0	0	1	1	0	0
Habroleptoides	0	0	0	0	0	9	0	0
Caenidae								
Caenis	0	0	0	0	0	0	4	1
nicht bestimmbar	21	87	5	0	1	5	17	6
Plecoptera								
Chloroperlidae								
Chloroperla	0	0	34	8	19	25	0	0
Leuctridae								
Leuctra	113	520	16	3	26	49	291	6
Nemouridae								
Amphinemura	0	11	5	0	1	3	2	1
Nemoura	19	0	0	0	0	0	0	0
Protonemura	1	28	0	1	0	0	1	0
Perlidae								
Dinocras	0	0	0	1	0	4	15	0
Perla	0	2	0	0	0	0	0	0
Perlodidae								
Isoperla	71	59	7	0	0	9	3	0
Perlodes	9	0	0	0	0	1	0	0
Taeniopterigyidae								
Brachyptera	0	1	0	0	0	0	1	0
Rhabdiopteryx	17	0	0	0	0	0	0	0
nicht bestimmbar	25	53	3	0	6	5	0	0

Taxa-Nomenklatur	Distanz von der Quelle [km]							
	5	23	45	65	85	85-T	105	125
Trichoptera								
Rhyacophilidae								
<i>Rhyacophila sensu stricto</i>	0	51	0	0	0	1	11	0
Hydroptilidae								
Hydroptilia	0	0	0	0	0	0	43	16
Hydropsychidae								
<i>Hydropsyche siltalai</i>	0	0	0	1	1	0	28	16
<i>Hydropsyche angustipennis</i>	0	0	0	1	0	0	1	0
<i>Hydropsyche instabilis</i>	1	1	0	0	0	0	5	0
<i>Hydropsyche pellucidula</i>	0	0	0	0	0	0	0	1
Polycentropodidae								
<i>Cyrus trimaculatus</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Polycentropus flavomaculatus</i>	0	0	0	0	1	1	1	0
Psychomyiidae								
<i>Psychomyia pusilla</i>	0	0	0	0	0	0	6	1
Limnephilidae								
<i>Metanoea rhaetica</i>	1	0	1	0	0	0	0	0
<i>Potamophylax sp.</i>	5	0	0	0	0	0	0	0
<i>Halesus cf rubricollis</i>	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Drusus biguttatus</i>	2	0	0	0	0	0	0	0
Lepidostomatidae								
<i>Lepidostoma hirtum</i>	0	0	0	0	0	0	9	0
Leptoceridae								
<i>Athripsodes albifrons</i>	0	0	0	0	1	2	157	0
<i>Ceraclea dissimilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	1
Odontoceridae								
<i>Odontocerum albicorne</i>	0	0	0	0	0	0	1	0
Sericostomatidae								
Sericostoma	0	1	0	0	0	0	4	0
nicht bestimmbar	1	0	0	0	0	0	0	0
Coleoptera								
Elmidae								
Esolus	0	18	1	0	1	2	16	2
Elmis	0	2	0	1	0	7	89	22
Limnius	0	7	1	0	3	5	2	1
Oulimnius	0	0	0	0	0	0	3	1
Dytiscidae								
Scarodytes	0	0	0	0	1	1	0	0
Hydraenidae								
Hydraena	0	10	0	0	0	0	0	0
Gyrinidae								
Oretochilus	0	0	0	0	0	0	4	0
nicht bestimmbar	0	2	0	0	0	0	1	0

Anhang B: Nachgewiesene Taxa an Tagliamento, Thur und Rhone

Tagliamento

Ephemeroptera

Heptageniidae
 Rhithrogena
 Ecdyonurus
 Electrogena
 Heptagenia
 Ephemerellidae
Serratella ignita
 Siphonuridae
 Siphonurus
 Baetidae
 Baetis
 Centropilum
 Cloeon

Plecoptera

Chloroperlidae
 Chloroperla
 Leuctridae
 Leuctra
 Nemouridae
 Amphinemura
 Nemoura
 Protonemura
 Perlidae
 Perla
 Perlodidae
 Isoperla
 Taeniopterygidae
 Brachyptera
 Rhabdiopteryx

Trichoptera

Rhyacophiliidae
Rhyacophila sensu stricto
 Hydroptilidae
Hydroptilia
 Philopotamidae
Wormaldia copiosa
 Hydropsychidae
Hydropsyche incognita
Hydropsyche guttata
Hydropsyche angustipennis
Hydropsyche instabilis
Hydropsyche sp.
Hydropsyche dinarica
Hydropsyche pellucidula
Hydropsyche incognita
 Limnephilidae
Polycentropus excisus
Allogamus auricollis
Potamophylax sp.
Chaetopteryx major
Mystacides sp.
 Sericostomatidae
Notidobia ciliaris
Sericostoma

Coleoptera

Beraeidae
Beraemyia squamosa
 Elmidae
 Esolus
 Elmis
 Hydrophiliidae
 Berosus
 Helochaes
 Hydraenidae
 Ochthebius
 Dytiscidae
 Laccophilus
 Deronectes
 Scarodytes
 Hydroporinae
 Haliplidae
 Halipilus
 Peltodytes
 Dryopidae
 Dryops

Thur

Ephemeroptera

Heptageniidae
Rhithrogena degrangei
Rhithrogena semicolorata
 Ecdyonurus
Epeorus assimilis
 Heptagenia
 Electrogena
 Ephemerellidae
Serratella ignita
 Siphonuridae
Siphonurus lacustris
 Baetidae
Baetis rhodani
Baetis lutheri
Baetis alpinus
Centropilum luteolum
 Leptophlebiidae
Habrophlebia lauta
Paraleptophlebia submarginata
Habroleptoides confusa
 Caenidae
 Caenis

Plecoptera

Chloroperlidae
Chloroperla tripunctata
 Leuctridae
Leuctra inermis
Leuctra sp.
 Nemouridae
Amphinemura triangularis
Nemoura mortoni
Nemoura obtusa
Protonemura praecox
 Perlidae
Dinocras cephalotes
Perla grandis
 Perlodidae
Isoperla grammatica
Perlodes intricatus
Perlodes microcephalus
 Taeniopterygidae
Brachyptera risi
Rhabdiopteryx negelcti

Trichoptera

Rhyacophiliidae
Rhyacophila sensu stricto
 Hydroptilidae
 Hydroptilia
 Hydropsychidae
Hydropsyche siltalai
Hydropsyche angustipennis
Hydropsyche instabilis
Hydropsyche pellucidula
 Polycentropodidae
Cyrus trimaculatus
Polycentropus flavomaculatus
Psychomyia pusilla
 Limnephilidae
Metanoea rhaetica
Potamophylax sp.
Haesus cf rubricollis
Drusus biguttatus
 Lepidostomatidae
Lepidostoma hirtum
 Leptoceridae
Athripsodes albifrons
Ceraclea dissimilis
 Odontoceridae
Odontocerum albicorne
 Sericostomatidae
Sericostoma personatum od. flavicorne

Coleoptera

Elmidae
 Esolus
 Elmis
 Limnius
 Oulimnius
 Dytiscidae
 Scarodytes
 Hydraenidae
 Hydraena
 Gyrinidae
 Oretochilus

Rhone

Ephemeroptera

Heptageniidae
Rhithrogena degrangei
 Ecdyonurus
 Heptagenia oder Electrogena
 Baetidae
Baetis alpinus
Baetis rhodani

Plecoptera

Chloroperlidae
 Leuctridae
Leuctra inermis
Leuctra sp.
 Nemouridae
Nemoura mortoni
Protonemura lateralis
 Perlodidae
 Dictyogenus
 Isoperla
Perlodes intricatus
 Taeniopterygidae
Rhabdiopteryx neglecta

Trichoptera

Rhyacophiliidae
Rhyacophila sensu stricto
Rhyacophila torrentium
Rhyacophila intermedia
Rhyacophila hirticornis
 Hydropsychidae
Hydropsyche instabilis
 Limnephilidae
Allogamus auricollis
Potamophylax sp.
Drusus biguttatus
 Drusus