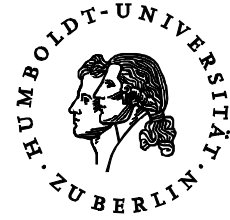


HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN



eawag
aquatic research **000**



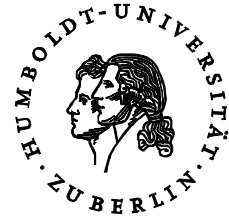
Maria Alp

**Nahrungsökologie der Bachforelle in
alpinen Flüssen mit Schwallbetrieb**

Diplomarbeit

Mai 2006

HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN



MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE FAKULTÄT I
INSTITUT FÜR BIOLOGIE

Diplomarbeit
ZUM ERWERB DES AKADEMISCHEN GRADES
DIPLOM-BIOLOGIN

*Nahrungsökologie der Bachforelle in alpinen Gewässern mit
Schwallbetrieb*

vorgelegt von

Maria Alp

geb. am 05.08.1981 in Tallinn, Estland

betreut von

PD Dr. Rolf Schneider, Arbeitsgruppe Spezielle Zoologie am Institut für
Biologie, Humboldt-Universität zu Berlin

Dr. Armin Peter, Arbeitsgruppe Angewandte Fischökologie
(Abt. FishEc), EAWAG (ETHZ Schweiz)

eawag
aquatic research ooo

Berlin, im Mai 2006

Zusammenfassung

Heute ist Wasserkraft eine der wichtigsten regenerativen Energiequellen, die ein immer grösseres Interesse in vielen Ländern der Welt auf sich zieht. Für Alpine Länder, wie die Schweiz, ist Spitzenenergieproduktion durch Speicherwasserkraftwerke typisch. Diese hat zwar viele ökonomische Vorteile (wie zum Beispiel die Ausbalanzierung von Energienachfrage und -angebot), hat aber einen sehr grossen Einfluss auf die Lebensbedingungen der aquatischen Organismen in den betroffenen Gewässerstrecken. So liess sich in zahlreichen Studien die Abnahme der Abundanz und der Artenzusammensetzung der Fische und der Makroinvertebraten feststellen.

In der vorliegenden Untersuchung soll ein Einblick in die Auswirkungen des Schwallbetriebs auf die trophischen Zusammenhänge zwischen diesen beiden Organismengruppen sowie in die für derartige Studien geeignete Methodik geschaffen werden.

Für die Probenahmen wurden die folgenden vier südalpinen Flüsse ausgewählt: der Ticino, die Morobbia, die Moesa und die Rhone. In jedem der Flüsse wurde eine Schwallstrecke, jeweils bei Schwall und bei Sunk, und eine Referenzstrecke befischt. Den gefangenen Bachforellen wurde der Mageninhalt ausgepumpt, um einen Vergleich, sowohl in der Zusammensetzung, als auch in der Menge der aufgenommenen Nahrung zwischen Schwall, Sunk (Schwallstrecke) und den schwallunbeeinflussten Bedingungen (Referenz) zu ermöglichen. Die Fische wurden in zwei Grössenkategorien eingeteilt und der mögliche Zusammenhang der Fischgrösse und der nahrungsökologischen Reaktion der Fische auf Schwallbetrieb statistisch überprüft.

Die erhaltenen Resultate zeigen eine sehr starke Variabilität und lassen nur vorsichtige Schlussfolgerungen zu. Gewisse Tendenzen waren jedoch vorhanden:

- Mit Hilfe der Varianzanalyse konnten Unterschiede in der Ernährung der Fische zwischen Schwall und Sunk, sowie zwischen Schwall- und Referenzstrecke gezeigt werden
- Die Auftrennung der Fische in zwei Grössenklassen hat sich als sehr erfolgreich erwiesen: es konnte ein deutlicher Unterschied in der Ernährung zwischen den Fischen mit Körperlänge unter und über 140 mm festgestellt werden. Ein Zusammenhang zwischen der Fischgrösse und dem Ausmass der Auswirkungen der Schwallbedingungen auf die Ernährung der Fische konnte nicht gefunden werden,
- Die in einigen Flüssen festgestellte Erhöhung der Biomasse und Diversität der Nahrung wies darauf hin, dass die Fische in den Schwallstrecken anscheinend von der benthischen Katastrophendrift profitieren können

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass Bedarf an weiteren, umfassenderen Untersuchungen besteht, bei denen auch wichtige Faktoren wie das Temperaturregime des Gewässers, die Zusammensetzung der benthischen Drift zur Zeit der Beprobung und die Tagesperiodik der Fressaktivität der Fische mitberücksichtigt werden.

Danksagung

Für die allseitige Unterstützung meiner Arbeit möchte ich mich ganz herzlich bei folgenden Personen und Organisationen bedanken:

- meine Betreuer **Dr. Armin Peter** und **Dr. Rolf Schneider**, die während meiner Diplomarbeit immer für mich da waren und diese Arbeit überhaupt möglich gemacht haben.
- **Dr. Tom Gonser**, der praktisch mein dritter Betreuer war und mich mit seinem enormen Wissen bei der Makroinvertebratenbestimmung sowie bei der Interpretation der Daten unterstützt hat.
- **Doris Hohmann**, der ich die wertvollsten Ratschläge zur Probenbearbeitung, zum Überleben in der EAWAG und allgemein fürs Leben zu verdanken habe.
- **Brigitte Germann**, **Erwin Schöffner** und **Flavio Nollo**, die als unermüdliche und immer engagierte Anodenführer die Feldarbeit geleitet haben.
- **Andi Brand**, **Paolo Caretti**, **Torsten Diem**, **Christoph Dombrowsky**, **Fabienne Künzli**, **Stefano Rainoldi**, **Sabine Sibler**, **Annika Wagenhoff**, **Christine Weber**, **Helen Zbinden** und **Giuseppe Guscetti** und seine Fischereiaufseher (Kanton Tessin), die freiwillige und desto mehr wertvolle Hilfe bei den Abfischungen geleistet haben.
- **Dr. Bruno Polli** (Kanton Tessin) und **Dr. Marcel Michel** (Kanton Graubünden) von den Kantonalen Jagd- und Fischereiverwaltungen, die unseren Abfischungen das grüne Licht gegeben haben und immer bereit waren alle Fragen zu beantworten und die Feldarbeit mit wertvollen Informationen und Ratschlägen zu erleichtern.
- **Dr. Hans Jürg Meng**, der immer sehr nett und hilfsbereit war und alle Probleme und Fragen zum Thema PC spielend leicht geklärt hat.
- **Christian Dang**, **Dr. Susanne Haertel-Borer**, **Scott Tiegs**, **Christine Weber** sowie **Rahel Liesch** und **Stefan Oberhaensli** von der statistischen Beratung der ETH, die mir auf dem harten Weg der statistischen Bearbeitung der Daten immer die Hand gegeben haben.
- **Michael Schurter** und **Brigitte Germann** für die technische Unterstützung und **Andre Steffen** für die Möglichkeit einer problemlosen Mobilität sowohl auf zwei als auch auf vier Rädern.
- **Eliane Scharmin**, die die ganze bürokratische Organisation für mich als Nichtschweizerin sehr leicht gemacht hat.
- **Dr. Sandra Steingruber** (Kanton Tessin), **Dr. Klement Tockner** (Abteilung Limnologie, EAWAG) sowie die **Mitarbeiter des Amtes für Natur und Umwelt des Kantons Graubünden**, die mir freundlicherweise ökomorphologische Daten zu den Flüssen zur Verfügung gestellt haben.
- **Daniel Wyss** (AMB), **Corrado Rossini**, (AET), **Alfiero Martinoli** (SBB-Ritom), **Alessandro Bonanini** (Misoixer Kraftwerke AG), die diese Arbeit mit den Abflussdaten und dem während der Abfischungen reduzierten Turbinenbetrieb immer sehr freundlich und hilfsbereit unterstützt haben.
- **Torsten Diem** und **Andi Brand**, denen ich besonders dankbar bin, da sie immer Zeit gefunden haben, um meine Texte durchzulesen und mein Deutsch zu verbessern.

- **Lorenz Jaun**, der sich immer wieder von seinen wichtigen Berichten ablenken liess, um mir bei der Gestaltung meiner Diplomarbeit die wichtigen Tricks im Word und Excel zu demonstrieren.
- **Fabienne Künzli**, die wie ein Motor für unser gemeinsames Projekt war und mit der es extrem viel Spass gemacht hat zusammenzuarbeiten.
- **Stefano Rainoldi**, der mutig die harte Zeit meiner Zweifel und Schwierigkeiten beim Schreiben überstanden hat und mich immer mit viel Verständnis und Liebe unterstützt hat.
- **alle meine lieben Freunde an der EAWAG**, von denen ich immer eine Aufmunterung und seelische Unterstützung bekommen habe und die mir die Zeit in Kastanienbaum so schön gemacht haben.
- die **Heinz-Schwarzkopf-Stiftung**, die mich während meiner Diplomarbeit mit einem Stipendium finanziell unterstützt hat.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
Danksagung	5
Inhaltsverzeichnis.....	7
1 Einleitung.....	9
1.1 Schwallproblematik.....	9
1.2 Fragestellung	11
2 Untersuchungsgebiet.....	13
2.1 Ticino (Kanton Tessin).....	14
2.2 Moesa (Kantone Tessin und Graubünden).....	17
2.3 Morobbia (Kanton Tessin).....	19
2.4 Rhone (Kanton Wallis).....	22
3 Methoden.....	24
3.1 Elektrofischen.....	24
3.2 Probenahme.....	24
3.3 Magenspülung und Analyse der Proben.....	24
3.4 Gewässercharakterisierung.....	26
3.5 Datenbearbeitung.....	27
4 Resultate.....	29
4.1 Ticino.....	29
4.2 Moesa.....	35
4.3 Morobbia.....	41
4.4 Rhone.....	46
4.5 Statistischer Vergleich.....	51
4.6 Morphologische Parameter. Vergleich der Schwall- und der Referenzstrecke.....	52
5 Diskussion.....	53
5.1 Fragestellung 1.....	53
5.2 Fragestellung 2.....	56
5.3 Fragestellung 3.....	57
6 Schlussfolgerungen.....	59
6.1 Analyse der Ernährung der Bachforelle in schwallbeeinflussten Bedingungen	59
6.2 Mögliche Fehlerquellen.....	60
6.3 Empfehlungen für weitere Studien.....	61
7 Literaturverzeichnis.....	62
7.1 Zitierte Publikationen.....	62
7.2 Verwendete Literatur zur statistischen Bearbeitung der Daten.....	64
7.3 Bestimmungsliteratur.....	64
8 Verzeichnisse.....	66
8.1 Abbildungen.....	66
8.2 Tabellen.....	67
9 Anhang.....	68
9.1 Frequenzhistogramm.....	68
9.2 Zusammenfassende Graphen zu allen Flüssen.....	69
9.3 Grösseneinteilung der gefressenen Insekten in den Proben.....	71
9.4 Taxalisten.....	75

1 Einleitung

1.1 Schwallproblematik

Zusammen mit der rasch anwachsenden Bevölkerung und der zunehmenden Industrialisierung in weiten Teilen der Welt steigt auch der Energieverbrauch immer weiter an. Heute stammen weltweit 80 % der verbrauchten Energie aus fossilen Brennstoffen, die jedoch nur begrenzt verfügbar sind und nicht in einem angemessenen Zeitraum regeneriert werden können, sowie einen beträchtlichen Beitrag zum anthropogenen Treibhauseffekt leisten. Deshalb besteht ein verstärktes Interesse an umweltschonenderen, regenerierbaren Energiequellen. Unter diesen nimmt momentan die Wasserkraft mit ihrem Anteil von 92 % zweifellos die führende Position ein (Romer 2004).

Die Nutzung der Wasserkraft in Alpenin Ländern wie der Schweiz basiert auf einer langen Tradition. Schon Ende des 19. Jahrhunderts wurden die ersten Zentralen und Talsperren an und in schweizerischen Flüssen errichtet. Ihren Durchbruch schaffte die Wasserkraft allerdings erst in den 1950er-1960er Jahren, in denen zahlreiche Staudämme und Wasserkraftwerke, vor allem an alpinen und voralpinen Flüssen entstanden.

Heute deckt die Wasserkraft mit einer Jahresproduktion von 38 TWh etwa 58% des schweizerischen Elektrizitätsverbrauchs (Wüest 2002). Rund 60 % dieser Energie werden in der Alpenregion durch Speicherkraftwerke produziert.

Die Energieerzeugung aus Wasserkraft hat aber auch ihre problematischen Seiten, vor allem wenn es um ihre Auswirkungen auf den ökologischen Zustand der bewirtschafteten Gewässer geht (Baumann & Klaus 2003).

So nutzen Speicherkraftwerke Wasser aus höher gelegenen Stauseen um zu Spitzenverbrauchszeiten - vor allem mittags und im Winter - die hohe Energienachfrage abzudecken. Innerhalb weniger Minuten kann, je nach Bedarf, die Stromproduktion an- oder abgestellt werden, was flussabwärts der Zentralen zu starken Abflussschwankungen führt. Es ändert sich nicht nur der Tagesverlauf, sondern auch die saisonale Verteilung der Abflussmengen, mit einer Verschiebung vom Sommer hin zum Winter.

In dieser Arbeit wird der erhöhte Abfluss während des Turbinenbetriebes als **Schwall** und die tiefe, oft unter dem natürlichen Niederwasser liegende, Wasserführung während der übrigen Zeiten als **Sunk** bezeichnet (Abb. 1).



Abbildung 1: Moesa bei Sunk

Die rote Linie zeigt den Unterschied im Wasserstand zwischen Schwall und Sunk.

Gemäss Limnex (2001) erzeugen ca. 25 % der mittelgrossen und grossen schweizerischen Wasserkraftwerke schwallartige Abflussschwankungen in den flussabwärts liegenden Gewässerabschnitten.

Zu solchen regelmässig künstlich erzeugten Hochwassern existiert keine natürliche hydrologische Entsprechung. Sie verändern den physikalischen und chemischen Zustand des Gewässers und somit auch die Lebensbedingungen für die aquatischen Organismen stark.

Zu den bereits nachgewiesenen **Folgen des Schwallbetriebes** gehören:

- saisonale Änderungen des Temperaturregimes (erhöhte Temperaturen im Winter und tiefere im Sommer) und des Sauerstoffgehalts im Wasser (Frutiger 2004, ARGE Trübung Alpenrhein 2001)
- erhöhte Kolmation als Folge der Infiltration von Flusswasser (ARGE Trübung Alpenrhein 2001)
- Schwankungen der Fliessgeschwindigkeit und die Verschiebung der Wassergrenzlinie (ARGE Trübung im Alpenrhein 2001)
- Abschwemmung („Katastrophendrift“) von Makroinvertebraten und Jungfischen bei Schwall (Moog 1993, Cereghino und Lavandier 1998)
- Stranden von Benthosorganismen, Fischeiern und Fischen während des Sunks (Salveit et al. 2001)
- Reduktion der Populationsgrösse und Änderung der Populationsstruktur bei Makroinvertebraten und bei Fischen (Bretschko & Moog 1990, Moog 1993, Cereghino 2002, Cereghino et al. 1997, Almodovar & Nicola 1999).

1.2 Fragestellung

Da durch den Schwallbetrieb das Habitat der aquatischen Organismen stark verändert wird sind praktisch alle Flussbewohner, und somit auch die Vernetzungen des Ökosystems davon betroffen. Es wurde bisher nur eine begrenzte Anzahl Studien über den nahrungsökologischen Aspekt der Schwallproblematik durchgeführt. So weist zum Beispiel Valentin (1995) in schwallbeeinflussten Gewässern Veränderungen der trophischen Zusammenhänge zwischen Epilithon und Makrozoobenthos nach. Lagarrigue (2002) zeigt, wie sich das Ausmass und das Tagesmuster der Makroinvertebratendrift unter dem Einfluss des Schwallbetriebs ändern und dadurch auch das Fressverhalten der Fische, saisonal, ebenso wie im Tagesverlauf. De Jalon (1988) kommt zur Schlussfolgerung, dass sich der Schwallbetrieb in dem von ihm untersuchten Fluss Cinca nicht direkt, sondern über seine Folgen in der Nahrungskette negativ auf die Fische auswirkt.

In dieser Arbeit soll die Nahrungsökologie von Fischen in den Schwallstrecken während des Schwalls und im Sunk, wie auch in vergleichbaren schwallfreien Strecken näher untersucht werden. Als Untersuchungsobjekt wird, wie in der oben erwähnten Studie von Lagarrigue (2002), die Bachforelle ausgewählt - eine in alpinen und voralpinen Flüssen der Schweiz weit verbreitete Fischart. Diese Fischart ernährt sich hauptsächlich von benthischen und driftenden Makroinvertebraten (Elliott 1970, Neveu 1999). Damit schliesst diese Untersuchung ebenfalls eine zweite Organismengruppe ein, die, wie bereits von Moog (1993), Cereghino (2002) und anderen (siehe oben) gezeigt wurde, von den Abflussschwankungen merklich beeinträchtigt wird.

Um die möglichen Auswirkungen des Schwallbetriebs genauer zu untersuchen, wurden folgende Fragestellungen und Hypothesen formuliert:

Fragestellung 1: Gibt es Unterschiede bezüglich Zusammensetzung und Biomasse der aufgenommenen Fischnahrung zwischen schwallbeeinflussten und schwallfreien Strecken?

Hypothese 1 Die Diversität und der Umfang (Biomasse und Anzahl der gefressenen Makroinvertebraten) der aufgenommenen Fischnahrung sind in der Schwallstrecke niedriger als in einer schwallfreien Referenz.

Hypothese 2 Die Nahrung der Fische in der Schwallstrecke enthält mehr terrestrische Tiere (diese werden während des Schwallbetriebs in erhöhter Anzahl aus der Uferzone abgeschwemmt). Die gefressenen aquatischen Makroinvertebraten sind vor allem durch an Schwall angepasste Arten vertreten.

Fragestellung 2: Unterscheidet sich die Ernährungsweise der Fische einer schwallbeeinflussten Strecke zwischen Schwall und Sunk?

Diese Fragestellung ist besonders interessant, da bisher noch keine Studien zu diesem Thema in der Literatur beschrieben worden sind. Da die Bedingungen im Schwall und im Sunk sehr verschieden sind, wird intuitiv folgende Annahme formuliert:

Hypothese 3 Die Zusammensetzung und die aufgenommenen Mengen der Fischnahrung unterscheiden sich zwischen Schwall und Sunk.

Fragestellung 3: Wird die Nahrungsökologie der jüngeren Fische in einem anderen Ausmass als die der Älteren durch Schwallbetrieb beeinflusst?

Da bekannt ist, dass jüngere Fische ein engeres Spektrum der Nahrungstiere als die Älteren haben, wird folgende Annahme bezüglich der Reaktion der Fische unterschiedlichen Alters auf den Schwallbetrieb getroffen:

Hypothese 4 Die jüngeren Fische sind bezüglich der Nahrungsökologie empfindlicher gegenüber dem Schwallbetrieb als die Älteren.

Zur Überprüfung der erläuterten Hypothesen werden folgende **Parameter** herangezogen:

- 1) **qualitative Zusammensetzung der Nahrung: Anzahl, Diversität und Zusammensetzung der Taxa**
- 2) **Biomasse und Anzahl der gefressenen Makroinvertebraten**
- 3) **Anteil der terrestrischen Tiere in der Nahrung**

2 Untersuchungsgebiet

Für die Probenahme wurden drei Fließgewässer auf der Alpensüdseite ausgewählt: der Ticino und zwei seiner Zuflüsse, die Moesa und die Morobbia.

Zusätzlich wurden auch einige Proben in der Rhone (bei Aproz und Riddes) genommen. Abbildung 2 gibt einen Überblick über die geographische Lage dieser Gewässer in der Schweiz.

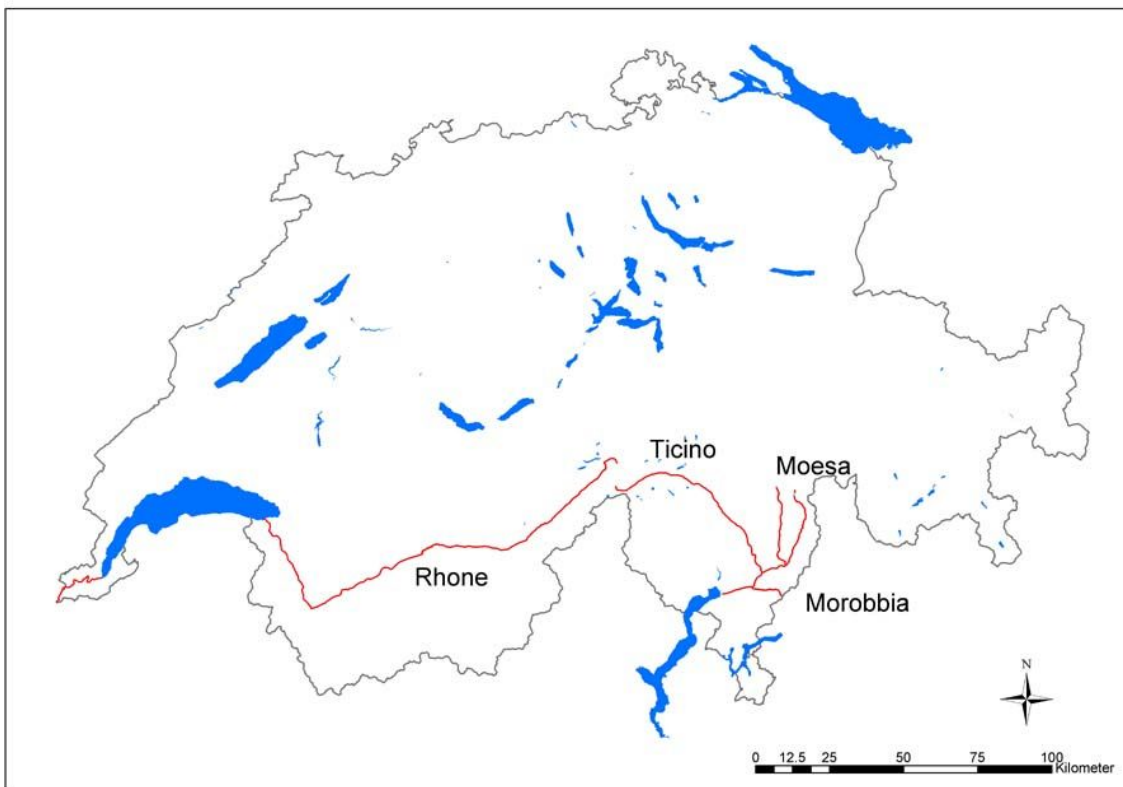


Abbildung 2: Die untersuchten Flüsse

Quelle: ArcMap 8.3 (ESRI, Redlands, CA, U.S.A.), Bundesamt für Landestopographie¹

In jedem dieser Gewässer (mit Ausnahme der Rhone) erfolgten **drei Probenahmen**. Zwei davon wurden in einer Schwallstrecke, jeweils eine bei Schwallbetrieb und eine in der Sunkphase durchgeführt. Für die dritte Probenahme wurde eine Referenzstrecke - entweder die Restwasserstrecke oder (im Fall der Rhone) eine Strecke mit weniger stark ausgeprägtem Schwallbetrieb - ausgesucht.

Im Fall der Rhone gab es nur zwei Probenahmen, eine in einer Schwallstrecke beim Schwall und eine andere in einer Referenzstrecke.

Es wurde versucht die schwallbeeinflussten und die Referenzstrecken so auszuwählen, dass sich deren ökomorphologischer Zustand möglichst ähnlich war.

¹ Reproduziert mit Bewilligung von Swisstopo (BA067646)

2.1 Ticino (Kanton Tessin)

Der Ticino entspringt auf einer Höhe von 2566 m am Nufenenpass. Er durchfließt die Täler Bedretto, Leventina und Riviera, sowie die Magadino Ebene bis er bei Locarno in den Lago Maggiore mündet. Das Einzugsgebiet des Ticino umfasst 1'616 km². Die Länge seiner Fliessstrecke in der Schweiz beträgt 91 km (Landeshydrologie (BWG) 2001). Zusammen mit seinen beiden untersuchten Zuflüssen gehört das Gewässer zur Ökoregion der Südalpen (Schager und Peter 2004).

Nur auf 5,4 von 34 km zwischen der ersten Wasserfassung und dem letzten Kraftwerk fließt das Wasser des Ticino frei im Flussbett. Im restlichen Teil der Strecke wird es (mit Ausnahme des im Flussbett verbleibenden Mindestabflusses) für hydroelektrische Zwecke gefasst, über ein Rohrsystem von einem Kraftwerk zum nächsten weitergeleitet und auf diesem Weg insgesamt drei Mal turbinert (Frutiger 2004).

Bis zum Zufluss der Moesa wird der Ticino durch 71 Wasserfassungen und 13 hydroelektrische Kraftwerke beeinflusst (Frutiger 2004). Die erste Schwalleinleitung in den Ticino liegt bei der Ortschaft Piotta. Hier wird das turbinerte Wasser der Kraftwerke Stalvedro (AET) und Ritom (SBB) in den Fluss zurückgeführt.

Die Probenahmestellen befinden sich in der Nähe dieser beiden Kraftwerke, zwischen den Ortschaften Piotta und Quinto.

2.1.1 Probenahmestellen

Im Untersuchungsgebiet hat der Ticino (Abb. 3) ein Gefälle von ca. 2,5 %, ist kanalisiert und zwischen 9 m und 16 m breit (Tab. 1). Fischökologisch gehört das Gewässer zur Forellenregion (Huet 1949). Ökomorphologisch wurde der Ticino hier als stark bis wenig beeinträchtigt eingestuft (Daten von Divisione del' Ambiente, Kanton Tessin).

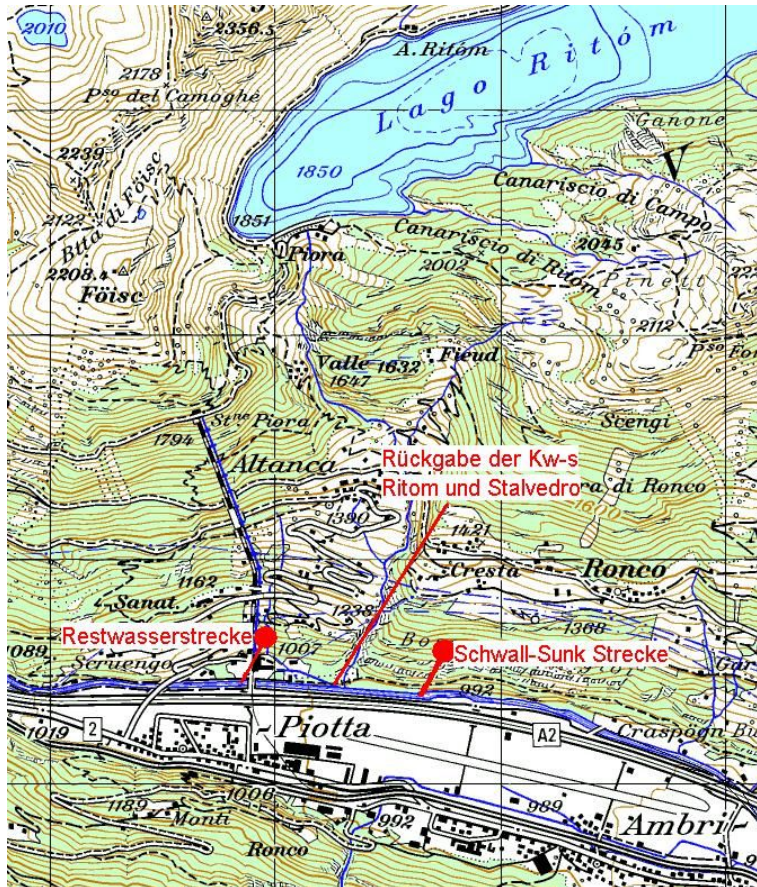


Abbildung 3: Probenahmestellen Ticino
 Quelle: Swiss Map 50, Bundesamt für Landestopographie)¹

¹ Reproduziert mit Bewilligung von Swisstopo (BA067646)

Tabelle 1: Charakterisierung der Probenahmestellen, Ticino *

Strecke	Restwasserstrecke	Schwallstrecke : Sunk (Schwall)*
Datum und Zeit der Befischung	03.06.05, 9:00	21.05.05, 14:00 (03.06.05, 14:30)
Höhenlage [m.ü.M.]	1000	990
Koordinaten	694987/152438	695636/152530
Typ der Abflussregime	nival-meridional	nival-meridional
Ordnungszahl nach STRAHLER (1964)	5	5
Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	611	521 (351)
Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]	+8.2 $^{\circ}\text{C}$	9.4 (10.1)
Distanz vom KW [m]	270 flussaufwärts	375 (bis 500) flussabwärts
Gefälle [‰]	24.9	10.8
Mittlere Breite bei Sunk[m]	9.64	16.9
Mittlere Tiefe bei Sunk [m]	0.53	0.61
maximales Schwall-Sunk-Verhältnis [x :1]	-	54:1 (im Winter) 29:1 (im Sommer)
Substratkorngrösse Median (Dichtemittel) [cm]	3 (1)	3(1)
Substratkorngrösse Schwankungsbereich der Einzelwerte [cm]	1-25	1-30
Innere Kolmation nach Schälchli (2002)	mittel bis stark	stark
Ökomorphologie (Quelle:Umweltamt des Kantons Tessin)	stark beeinträchtigt	stark bis wenig beeinträchtigt

* In der Tabelle 1 sowie in folgenden Tabellen zu den anderen Flüssen (Tab. 1-4) wird zwischen Schwall- und Referenzstrecke unterschieden. Bei den Parametern, die bei den Abfischungen im Schwall und im Sunk in der Schwallstrecke unterschiedlich waren, werden die Daten zum Schwall in Klammern angegeben. Zur Substratkorngrösse werden Median und Dichtemittel (Wert in Klammern hinter dem Medianwert) angegeben.

2.1.2 Hydrologische Nutzung der Strecke

Der Schwall in der untersuchten Strecke wird von zwei nebeneinander liegenden Kraftwerken erzeugt: den Anlagen Ritom der SBB (Schweizerische Bundesbahnen) und Stalvedro der AET (Azienda Elettrica Ticinese).

Die Anlage Ritom ist ein Speicherkraftwerk und nutzt zur Energieerzeugung das Wasser vom 850 Meter höher liegenden Ritomsee. Maximal kann sie eine Wassermenge von 6 m³/s turbinieren (pers. Mitteilung A. Martinoli, SBB). Das vom Kraftwerk Stalvedro turbinierete Wasser stammt aus dem flussaufwärts von Stalvedro liegendem Ausgleichsbecken des Kraftwerks Lucendro (ATEL) bei Airolo. Es wird über eine 130 m lange Druckleitung zur Anlage transportiert. Zu Spitzenzeiten verarbeitet Stalvedro bis 12.4 m³/s (Informationsblatt der AET). Zusammen produzieren diese zwei Kraftwerke einen starken Schwall, der bis 19 m³/s erreichen kann.

Die Restwassermenge im Ticino zwischen Airolo und Piotta ist mit 0.35 m³/s in Wintermonaten (Oktober - April) und 0.65 m³/s in Sommermonaten (Mai-September) dotiert.

2.2 Moesa (Kantone Tessin und Graubünden)

Einer der grössten Zuflüsse des Ticino ist die Moesa. Ihre Quelle liegt am San Bernardino Pass in Graubünden und von dort fliesst sie durch das Mesolcina Tal nach Süden, wo sie im Kanton Tessin nördlich von Bellinzona in den Ticino mündet. Das Einzugsgebiet der Moesa umfasst 471 km² (Frutiger 2004), ihre Länge beträgt 44 km (Hydrologischer Atlas der Schweiz).

Sowohl in Graubünden, als auch im Tessin wird die Moesa intensiv für die Stromerzeugung genutzt. Laut der Generalkarte der Schweiz (2002), existieren sechs an der Moesa liegende Wasserkraftwerke. Zwei von ihnen, Soazza und Lostallo, erzeugen einen Schwall in der flussabwärts liegenden Strecke (Limnex 2004). Oberhalb der Kraftanlage Soazza liegt eine hydrologisch unbeeinflusste Strecke. Für die Probenahme wurde diese Strecke als Referenz ausgewählt und die Schwallstrecke direkt unterhalb des Kraftwerks Soazza festgelegt.

2.2.1 Probenahmestellen

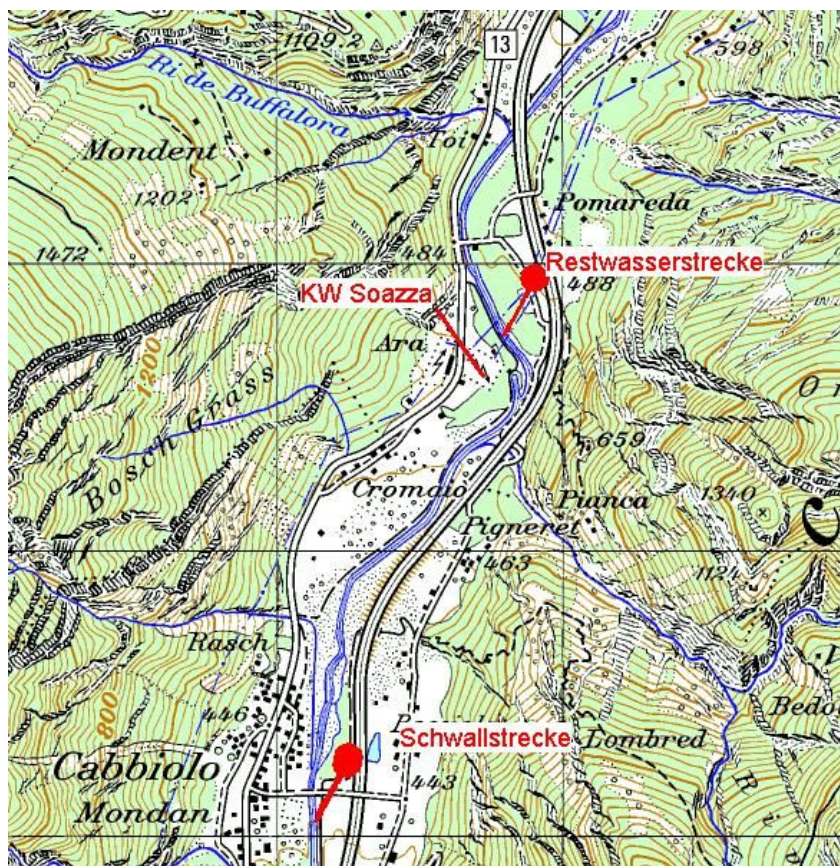


Abbildung 4: Probenahmestellen Moesa

Quelle: Swiss Map 50, Bundesamt für Landestopographie¹

Im untersuchten Abschnitt (Abb. 4) ist die Moesa ziemlich stark kanalisiert und mit Blockwurf befestigt. Eine ökomorphologische Untersuchung des Kantons beurteilte die Strecke als stark beeinträchtigt bis naturfremd (Tab. 2). Flussabwärts des Untersuchungsgebiets wurden vor kurzem

¹ Reproduziert mit Bewilligung von Swisstopo (BA067646)

einige Auenrevitalisierungsprojekte durchgeführt (z.B. im Auengebiet Rosera bei Lostallo). Die Nähe zu diesen revitalisierten Zonen (v.a. der Schwallstrecke) könnte einen Einfluss auf die Zusammensetzung der Proben haben.

Tabelle 2: Charakterisierung der Probenahmestellen, Moesa

Strecke	Restwasserstrecke	Schwallstrecke: Sunk (Schwall)*
Datum und Zeit der Befischung	09.10.05, 13:00	09.10.05, 16:15 (21.09.05,15:10)
Höhenlage [m.ü.M.]	460	440
Koordinaten	736787/133792	736147/132102
Typ der Abflussregime	nival meridional	nival meridional
Ordnungszahl nach STRAHLER (1964)	4	4
Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	537	456(107.9)
Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]	+11.6	+13.3 (+11.6)
Distanz vom KW [m]	270 flussaufwärts	1725 flussabwärts
Gefälle [‰]	17.0	17.0
maximales Schwall-Sunk-Verhältnis [x :1]	-	14:1
Substratkorngrösse Median (Dichtemittel) [cm]**	3 (1)	4 (4)
Substratkorngrösse Schwankungsbereich der Einzelwerte[cm]	1-40	1-30
Innere Kolmation nach Schälchli (2002)	schwach	mittel bis stark
Ökomorphologie (Quelle: Amt für Natur und Umwelt des Kantons Graubünden)	stark beeinträchtigt	naturfremd

* Bei den Parametern, die bei den Abfischungen im Schwall und im Sunk in der Schwallstrecke unterschiedlich waren, werden die Daten zum Schwall in Klammern angegeben.

** Zur Substratkorngrösse werden Median und Dichtemittel (Wert in Klammern hinter dem Medianwert) angegeben.

2.2.2 Hydrologische Nutzung der Strecke

Die schwallerzeugende Kraftanlage in der untersuchten Strecke gehört den NKV Misoxer Kraftwerken (Officine idroelettriche Mesoncina). Über ein Rohrsystem wird das Wasser von der flussaufwärts liegenden Anlage Spina zu den Turbinen der Anlage Soazza geleitet und stammt aus dem Stausee Lago d'Isola bzw. aus dem Nachbartal Cavalanca. (Informationsblatt OIM). Der Durchfluss bei maximaler Leistung dieses Kraftwerks beträgt $14 \text{ m}^3/\text{s}$ (pers. Mitteilung, A. Bonanini, OIM). Die vom Stausee Isola entnommene Restwassermenge ist nicht dotiert, das Flussbett trocknet aber während des Jahrverlaufes nie aus (pers. Mitteilung, A. Bonanini, OIM).

2.3 Morobbia (Kanton Tessin)

Die Morobbia entspringt auf der Höhe des Passes San Jorio. Von hier durchfließt sie das Tal Morobbia und mündet im Norden der Magadino Ebene in den Ticino. Die Gesamtlänge der Morobbia beträgt etwa 15.4 km, ihr Einzugsgebiet umfasst 45 km² (Hydrologischer Atlas der Schweiz).

Bis zum Siedlungsgebiet bei den Ortschaften Camorino und Giubiasco behält das Gewässer einen ökomorphologisch naturnahen bis wenig beeinträchtigten Zustand. Im Oberlauf des Flusses konnte sogar Naturverlaichung der Bachforellen nachgewiesen werden (Künzli 2005), was für eine ökologisch sehr gute Qualität dieses Flussabschnitts spricht.

Vom Anfang des Siedlungsgebiets bis zur Mündung in den Ticino wird der Fluss aber schon als stark beeinträchtigt eingestuft, das Bachbett ist kanalisiert und abgetieft, das Ufer mit Blockwürfen befestigt und nur stellenweise mit Bäumen und Sträuchern bewachsen.

2.3.1 Probenahmestellen

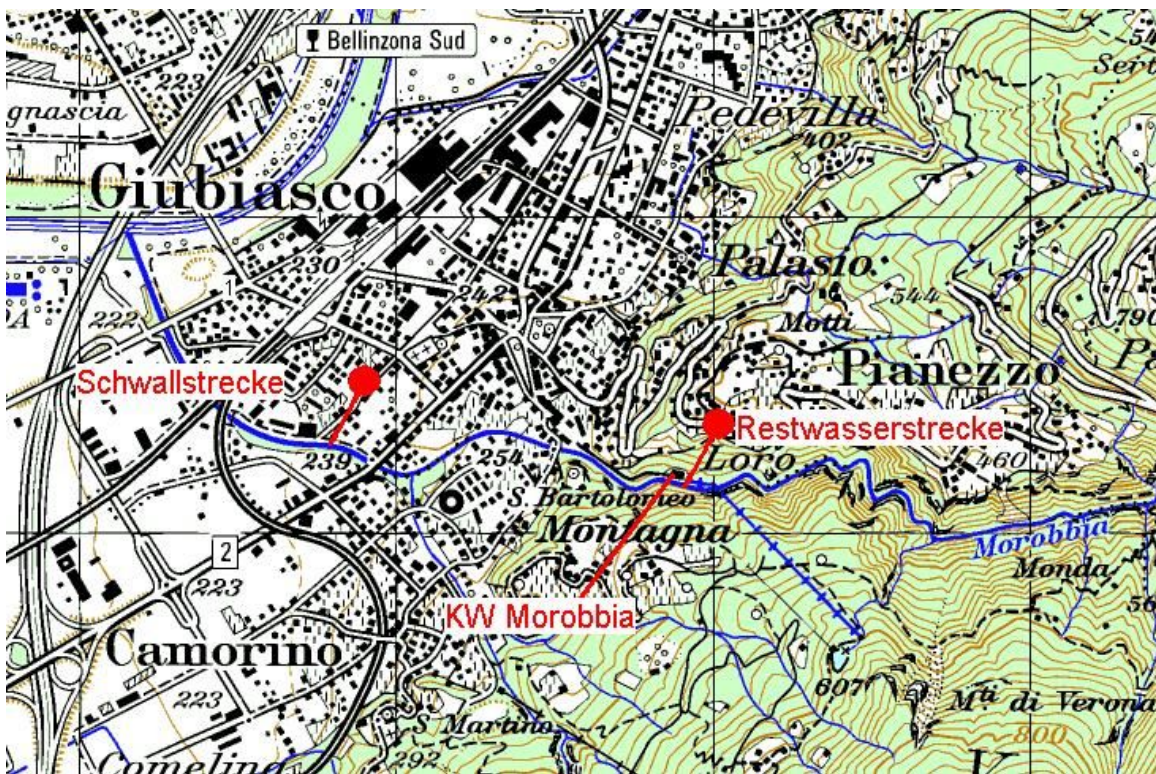


Abbildung 5: Probenahmestellen Morobbia

Quelle: Swiss Map 50, Bundesamt für Landestopographie¹

Im Fall der Morobbia mussten zwei Probenahmestrecken gewählt werden, die sich ökomorphologisch ziemlich stark unterscheiden. So lag die Referenzstrecke (die Restwasserstrecke oberhalb des Kraftwerks) im Oberlauf des Flusses, der, wie schon erwähnt, einen naturnahen Zustand behalten hat. Da es direkt unterhalb des Kraftwerks nicht ausreichend Fische für die

¹ Reproduziert mit Bewilligung von Swisstopo (BA067646)

Probennahmen gab, wurde für die Schwall- und Sunkprobenahmen eine weiter flussabwärts, in Giubiasco liegende immer noch schwallbeeinflusste Strecke gewählt (Abb. 5).

Am Probenahmetag 26.05.05 wurde bis 13:00 Uhr vom KW Morobbia Schwall erzeugt. Die Abfischung in der schwallbeeinflussten Strecke begann etwa 1 Stunde nach dem Abstellen der Stromerzeugung und die Magenproben der zwischen 14:00 Uhr und 15:00 Uhr gefangenen Fische wurden als Schwallproben gewertet. Alle nach 15:00 Uhr aufgenommenen Proben galten als Sunkproben.

Diese Unterscheidung zwischen den Proben basierte auf der Annahme dass der grösste Teil der Nahrung in Mägen, der in den ersten 2 Stunden nach dem Einstellen der Turbinen gefangenen Fische, noch während des Schwallbetriebs aufgenommen wurde. Nach Elliott (1972) sind bei den vorliegenden Wassertemperaturen (12-14°C) 2 Stunden nach der Nahrungsaufnahme noch etwa 80 % der gefressenen Nahrung im vorderen Magenabschnitt zu finden.

Die später als 2 Stunden nach dem Einstellen der Zentrale aufgenommenen Proben sollten einen immer grösseren Anteil an im Sunk gefressener Nahrung enthalten. Deshalb wurden sie zu den Sunkproben gezählt.

Da aus dieser Abfischung nur fünf Schwallproben resultierten, wurde die Abfischung im Schwall am 03.06.05 wiederholt.

Tabelle 3: Charakterisierung der Probenahmestellen, Morobbia

Strecke	Restwasserstrecke	Schwallstrecke: Schwall (Sunk)*
Datum und Zeit der Befischung	26.05.05, 09:00	26.05.05, 15.40 (26.05.05, 14:00; 03.06.05, 16:30)
Höhenlage [m.ü.M.]	260	239
Koordinaten	721909/114151	720790/114290
Typ der Abflussregime	nivo-pluvial meridional	nivo-pluvial meridional
Ordnungszahl nach STRAHLER (1964)	4	4
Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	81	73 (89)
Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]	+12.4	+14.1 (+12.8)
Distanz vom KW [m]	80 flussaufwärts	1170 flussabwärts
Gefälle [%]	17.95	17.95
Mittlere Breite bei Sunk [m]	7.24	8.61
Mittlere Tiefe bei Sunk [m]	0.6	0.38
maximales Schwall-Sunk-Verhältnis [x : 1]	-	70:1
Substratkorngrösse Median (Dichtemittel) [cm]**	2 (1)	5 (1)
Substratkorngrösse Schwankungsbereich der Einzelwerte [cm]	1-8	1-40
Innere Kolmation nach Schälchli (2002)	schwach	schwach bis mittel
Ökomorphologie (Quelle: Umweltamt des Kantons Tessin)	naturnah	stark beeinträchtigt

* Bei den Parametern, die bei den Abfischungen im Schwall und im Sunk in der Schwallstrecke unterschiedlich waren, werden die Daten zum Schwall in Klammern angegeben.

** Zur Substratkorngrösse werden Median und Dichtemittel (Wert in Klammern hinter dem Medianwert) angegeben.

2.3.2 Hydrologische Nutzung der Strecke

Das Kraftwerk am Fluss Morobbia gehört der AMB und versorgt die Stadt Bellinzona sowie 13 weitere Gemeinden mit Elektrizität. Das Wasser wird auf der Höhe von 642 m im Carmena See gestaut und von dort durch ein Druckrohr zu den Turbinen geleitet.

Die dotierte Restwassermenge beträgt $0.08 \text{ m}^3/\text{s}$ und wird nicht direkt vom Stausee her abgegeben, sondern durch die Druckleitung transportiert. Die Restwasserstrecke wird durch Zuflüsse und Infiltrationen gespeist und bleibt ganzjährig wasserführend (Mitteilung D. Wyss AMB).

2.4 Rhone (Kanton Wallis)

2.4.1 Probenahmestellen

Die Proben in der Rhone wurden ergänzend zu den Benthosprobenahmen des Rhone-Thur-Projektes (Baumann 2004) an identischen Probenahmestellen genommen (Abb. 6). Der Schwallstrecke entsprach das Querprofil Riddes 3, der Referenzstrecke das Querprofil Riddes 1, eine Abfischung im Sunk wurde nicht durchgeführt. Die meisten Daten zur Abiotik an diesen Probenahmestellen wurden aus dem Bericht des Rhone-Thur-Projekts übernommen.

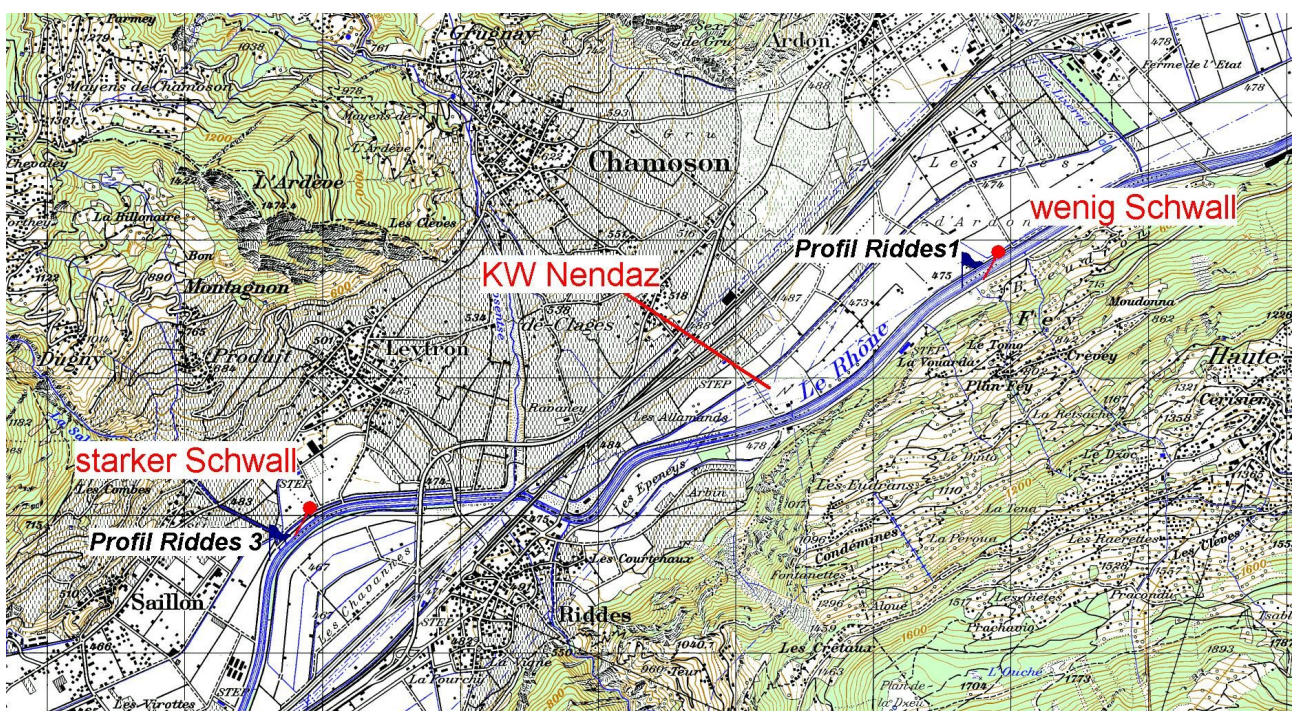


Abbildung 6: Probenahmestellen Rhone

Quelle: Swiss Map 50, Bundesamt für Landestopographie¹

Die Probenahmestellen des Rhone-Thur-Projektes (Baumann, 2004) sind schwarz beschriftet.

¹ Reproduziert mit Bewilligung von Swisstopo (BA067646)

Tabelle 4: Charakterisierung der Probenahmestellen, Rhone

Strecke	Referenzstrecke (Riddes 1)	Strecke mit starkem Schwall (Riddes 3)
Datum und Zeit der Befischung	26.07.05, 10:10	26.07.05, 12:25
Höhenlage [m.ü.M.]	475	467
Koordinaten	586805/115725 (586675/115650*)	581804/113864 (581650/7113675)
Typ der Abflussregime	glazio-nival	glazio-nival
Ordnungszahl nach STRAHLER (1964)	5	5
Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	164.4	167.7
Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]	+8.6	+8.9
Distanz vom KW-Eingabe [m]	810 flussabwärts	4920 flussabwärts
Gefälle [%]	0.74*	3.45*
Mittlere Breite [m] (im Sommer bei Sunk)	53**	54**
Mittlere Tiefe [m] (Im Sommer bei Sunk)	3.3**	3**
maximales Schwall-Sunk-Verhältnis [x :1]	4:1*	5.5:1*
Substratkorngrösse Median [cm]	2.2	7.2
Substratkorngrösse Schwankungsbereich der Einzelwerte [cm]	1.5 - 3.5	3.3 - 11.4
Innere Kolmation nach Schälchli (2002)	keine*	keine-deutlich*
Ökomorphologie (Quelle: Klement Tockner, EAWAG)	naturfremd	naturfremd

* Daten aus dem Bericht des Rhone-Thur-Projekts übernommen

** Daten aus der Abbildung 12 des Berichts des Rhone-Thur-Projekts abgeschätzt (Baumann 2004)

2.4.2 Hydrologische Nutzung der Strecke

Beide untersuchten Strecken sind schwallbeeinflusst, zwischen ihnen liegt aber die Zentrale Nendaz (Grande Dixence, S.A.), die den Hauptteil des Wassers aus dem Speichersee Grande Dixence verarbeitet. Dieses Kraftwerk erhöht den Maximalschwall um über 50 % (von 70 auf 110 m³/s) und führt zu einem Anstieg des Schwall-Sunk -Verhältnisses von 4:1 auf 5.5:1. Deswegen wird die Strecke bei Profil Riddes 1 als Referenz und die Strecke bei Profil Riddes 3 als Strecke mit starkem Schwall bezeichnet.

3 Methoden

3.1 Elektrofischen

Zum Elektrofischen wurde in den meisten Fällen ein stationäres Gerät (EFKO, 8kW, 150-300 V bei Stufe 1 /300-600 V bei Stufe 2) benutzt, nur bei den Abfischungen am Fluss Moesa wurde ein Rückengerät (FEG 1500, 1,5 KW, 150-300 V bei Stufe 1/ 300-600 V bei Stufe 2) eingesetzt. Die Spannungsstufe wurde in Abhängigkeit von der *in situ* gemessenen Leitfähigkeit gewählt.

3.2 Probenahme

Die gefangenen Fische wurden in einem mit Wasser gefüllten Eimer zur Messstation gebracht, wo sie vor und nach der Messung in einem mit Sauerstoff belüfteten Wasserbecken gehalten wurden. Nach einer kurzen Erholung von der Galvanonarkose, wurden die Fische in einem Nelkenölbad betäubt. Dazu wurden jeweils 1 ml Nelkenöl (Hersteller: Hänseler AG, Herisau, Art. 1-3900-2 *Caryophyllus floris*) in 20 ml 70 %-Ethanol gelöst und mit 30 l Wasser verdünnt.

Die Totallänge (von der Schnauzenspitze bis zur Schwanzflosse) und das Gewicht der Fische wurden gemessen, anschliessend mit einer modifizierten Seaburgpumpe eine Magenspülung durchgeführt

Abbildung 7 zeigt das Arbeitsprinzip der Seaburgpumpe. Dabei wird das Material aus dem vorderen Abschnitt des S-förmigen Forellenmagens herausgespült. Die Nahrung, die sich in diesem Magenabschnitt befindet, wurde von dem Fisch in den letzten 2-4 Stunden gefressen (Eliott 1972), die Nahrungspartikel (meistens Makroinvertebraten) sind noch wenig verdaut und gut bestimmbar. Erst nachdem sich die Fische in einem zweiten Becken wieder von der Betäubung erholt hatten wurden sie in den Fluss zurück gebracht.

3.3 Magenspülung und Analyse der Proben

Entnommene Magenproben wurden in 70 %-igem Alkohol konserviert, bis die Makroinvertebraten unter dem Mikroskop gezählt und bestimmt wurden. Wenn kein ganzes Tier vorhanden war, wurden Köpfe und grosse Thoraxteile (mit allen drei Extremitätenpaaren) extra aussortiert und gezählt (immer paarweise: Kopf + Thorax= 1 Tier), die übrig gebliebene Köpfe (oder Thoraces) wurden als einzelne Tiere gezählt.

Die Bestimmung von aquatischen Insekten erfolgte wenn möglich auf Familienniveau, die der restlichen Tiere auf Niveau der Ordnung, bzw. Klasse. Es wurde auch zwischen verschiedenen Entwicklungsstadien, wie Larve, Puppe und Imago unterschieden, da beim Stadienwechsel der aquatischen Insekten oft auch ein Übergang aufs Land und eine radikale Änderung der Lebensweise stattfinden. Die schlüpfenden Insekten (meist mit schon ausgebreiteten aber noch nicht voll entwickelten Flügeln) wurden zu den vorangehenden aquatischen Stadien gezählt, während die voll entwickelten, geschlüpften aquatischen Insekten (die Imagines) als terrestrische Insekten gewertet wurden.

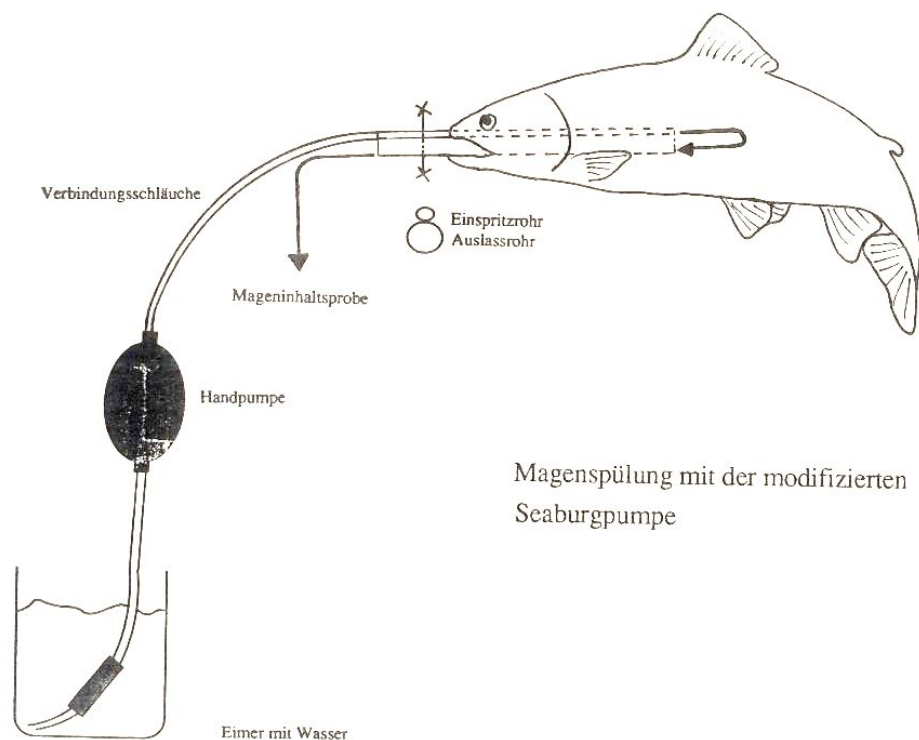


Abbildung 7: Magenspülung

Quelle: Gisler 1991

Bei der Besprechung der taxonomischen Zusammensetzung der Magenproben, wurden die einzelnen Taxa nach der Einteilung von Mühleberg, Bogenrieder & Behre (1993) den verschiedenen Dominanzklassen zugeordnet (siehe Tab.5).

Tabelle 5: Einteilung der Taxa in Dominanzklassen

Dominanzklasse	Vorkommen des Taxons in der Nahrung	Bezeichnung
Eudominant	32.00-100 %	Haupttaxon
Dominant	10.00-31.99 %	Haupttaxon
Subdominant	3.2-9.99 %	Haupttaxon
Rezedent	1.00-3.19 %	Begleittaxon
Subrezedent	0.32-0.99 %	Begleittaxon
Sporadisch	unter 0.32 %	Begleittaxon

Um die Biomasse der Mageninhalte abschätzen zu können, wurde das Benthos analog zur Einteilung durch Boller und Würmli (2004) in 4 Grössenklassen aufgeteilt (Tab.6).

Tabelle 6: Einteilung von Benthos in Grössenklassen

Grössenklasse	Länge [mm]	Durchmesser [mm]	Multiplikationsfaktor
klein	<5	<0.5	1
mittel	5-10	0.5-1	5
gross	10-20	1-3	50
sehr gross	>20	>3	1000

Jeder Grössenklasse entsprach ein Multiplikationsfaktor - ein relatives Mass für die Biomasse des Tieres. Die Summe aller relativen Gewichte ergab die Biomasse pro Probenahme, die in Biomasse pro Gramm Fisch umgerechnet wurde.

Da diese einheitslose Biomasse immer auf dieselbe Art berechnet wurde, konnte man einzelne Probenahmen untereinander gut vergleichen und auf die aufwendige Bestimmung des realen Gewichts jeder Probe verzichten.

3.4 Gewässercharakterisierung

Zur Charakterisierung des Gewässers und der genauen Bedingungen am Tag der Probenahme wurden folgende Daten erhoben:

- **Leitfähigkeit, Temperatur, Zeit, Koordinaten des Probenahmeortes (GPS)** wurden immer vor Ort notiert.
- **Distanz von der Probenahmestelle zum KW und Gefälle** wurden mit Hilfe der Software Swiss Map 50 (50:000, Bundesamt für Landestopographie) bestimmt.
- **innere Kolmation** (Ablagerung der Feinpartikeln im Porenraum der Gewässersohle) wurde nach der Methode von Schälchli (2002) abgeschätzt.
- **Flussordnungszahl** wurde aufgrund der Landeskarten im Massstab von 1:25000 bzw. der Karten im Hydrologischen Atlas der Schweiz nach Strahler (1957) ausgerechnet.
- **Substratgrössenverteilung** der Grobkomponente des Sohlenmaterials wurde mit der Linienzahlanalyse (Fehr 1987) bestimmt.
- nach dem Verfahren von Hütte & Niederhauser (1998) erhobenen Daten zur **Ökomorphologie** der Flüsse wurden von den einzelnen Kantonen bereitgestellt.
- **Abflussdaten** wurden von der BWG und entsprechenden Kraftwerken für diese Arbeit zur Verfügung gestellt.

3.5 Datenbearbeitung

3.5.1 Aufteilung der Fische in zwei Grössenklassen

Aus der Literatur ist bekannt, dass die Fressgewohnheiten der Bachforellen sich mit dem Alter ändern. Die 0+ und 1+ Fische sind vor allem auf driftende benthische Nahrung angewiesen, wohingegen die älteren Fische ein breiteres Nahrungsspektrum haben, das z.B. auch Anflugsinsekten und kleinere Fische mit einschliesst (Tippets 1978, Elliott 1966).

So scheint es sinnvoll die untersuchten Fische in zwei Altersklassen aufzuteilen und diese Aufteilung beim weiteren Vergleich der Ergebnisse beizubehalten. Als Basis dafür dient das Längenhäufigkeitshistogramm aller gefangener Fische (siehe Anhang Abb.30), mit dessen Hilfe eine Trennlinie zwischen zwei Altersklassen bei 140 mm gezogen werden kann. Somit lassen sich die 0+ und 1+ Fische in etwa von den Älteren trennen. Wahrscheinlich ist die so gezogene Grenze zwischen 1+ und 2+ Fischen nicht eindeutig, das heisst die Fische mit einer Länge im Bereich von 140 mm werden nicht unbedingt in die richtige Altersklasse eingeteilt. Trotzdem hat sich diese Auftrennung später als erfolgreich herausgestellt.

Die zwei festgelegten Grössenkategorien werden weiter im Text entweder als „kleine“ und „grosse“, bzw. „ältere“ und „jüngere“ Fische oder als Fische „unter“, bzw. „über 140 mm“ bezeichnet.

3.5.2 Berechnung der Kenngrössen

Für die statistische Analyse werden die integrale Biomasse und die Anzahl der gefressenen Makroinvertebraten auf die Gesamtmasse der Fische bezogen.

Ausserdem wird für jedes Taxon die Anzahl der gefressener Tiere über alle Fische einer Probenahme aufsummiert. Daraus werden die Evenness, der Shannon-Wiener-Index und die in Prozenten ausgedrückten Mittelwerte (Grössenverteilung der gefressenen Makroinvertebraten, sowie Anteile der einzelnen Taxa bzw. der terrestrischen Tiere an der Gesamtzahl der Insekten) berechnet.

Für die Bestimmung der Diversitätskennwerte werden folgende Formeln gebraucht:

Shannon-Wiener-Index

$$H = -\sum p \cdot \ln p$$

H= Diversitätsindex

p = die relative Häufigkeit jedes Taxons

Evenness

$$E = \frac{H}{\ln N}$$

E=Evenness

N = die gesamte Anzahl der Taxa

Zusätzlich wird zu jedem Datensatz der mittlere **Konditionsfaktor der Fische** berechnet:

$$K = \frac{(100 \cdot G)}{L^3}$$

K=Konditionsfaktor

G=Gewicht [g]

L=Totallänge [cm]

3.5.3 Statistische Auswertung

Die Möglichkeiten zur statistischen Bearbeitung dieser Daten sind begrenzt, da an allen Strecken wegen des hohen zeitlichen Aufwandes nur eine Abfischung durchgeführt werden konnte. Somit ist eine Varianzanalyse innerhalb jedes Flusses nicht möglich, und es werden deswegen die Mittelwerte aller Flüsse für den Vergleich der Strecken verwendet.

Folgende **Varianztests** wurden durchgeführt:

1) **mehrfaktorielle ANOVA** (mit den Faktoren Fluss, Strecke und Fischgrösse) zum Vergleich der Referenz mit der Schwallstrecke, in welche Schwall- und Sunkproben einfließen. Durch die Funktion „Crossing“ wird hier auch das mögliche Zusammenspiel einzelner Faktoren, wie „Fischgrössenklasse“ und „Strecke“ berücksichtigt.

2) **nested ANOVA** (der Faktor „Strecke“ wird im Faktor „Fluss“ eingebettet) zum Vergleich von Schwall und Sunk in den untersuchten Flüssen.

Zur Durchführung der genannten Tests wird das Programm SYSTAT (Version 10, SPSS Inc., 2000) verwendet.

Die für diese parametrischen Tests vorausgesetzte Normalverteilung und konstante Varianz der Fehler werden nach der Absprache mit statistischer Beratung ETH Zürich mit Hilfe der SYSTAT-Funktionen Probability-Plot (QQ Plot) und Scatter-Plot (Tukey-Plot) überprüft.

Um die genannten Voraussetzungen zu erfüllen, werden die Daten zur Biomasse und Anzahl Makroinvertebraten pro g Fisch logarithmisch transformiert. Die in Prozenten ausgedrückten Daten zum Anteil der terrestrischen Tiere in der Nahrung unterliegen einer Wurzeltransformation (Lozan & Kausch 2004).

4 Resultate

4.1 Ticino

Tabelle 7: Zusammenfassung der Resultate, Ticino*

Strecke	Referenz		Schwall		Sunk	
	<140	>140	<140	>140	<140	>140
Fischgrösse [mm]						
Anzahl Fische	10	10	5	15	5	16
Konditionsfaktor Fische	1.08	1.15	1.14	1.15	0.84	0.88
Biomasse pro g Fisch (Median)	1.81	1.21	11.04	3.67	29.90	5.38
Anzahl MIV pro g Fisch (Median)	0.45	0.25	1.72	0.49	5.45	0.45
davon terrestrische [%]	8.80	9.90	6.09	11.13	1.20	10.90
Taxa	17	18	14	26	12	20
davon terrestrische Taxa	8	8	4	9	1	7
Diversitätsindex nach Shannon	1.69	1.86	1.42	2.03	1.18	1.87
Evenness	0.60	0.64	0.54	0.62	0.49	0.61

* Für die Biomasse und die Anzahl Makroinvertebraten pro g Fisch werden **Medianwerte**, für alle restlichen Kenngrössen **Mittelwerte** angegeben.

4.1.1 Biomasse und Anzahl der gefressenen Makroinvertebraten pro g Fisch

Im Ticino verhalten sich die Biomasse und die Anzahl Makroinvertebraten pro g Fisch ähnlich: die Werte in der Restwasserstrecke sind am geringsten, die Sunkwerte in der Schwallstrecke am höchsten (Abb. 8). Dabei sind die Mediane der Biomassen in der Schwallstrecke bei kleinen Fischen sechs bis sechzehn Mal höher als der des Restwassers. Bei den grossen Fischen sind die Unterschiede zwischen den Strecken etwas weniger ausgeprägt.

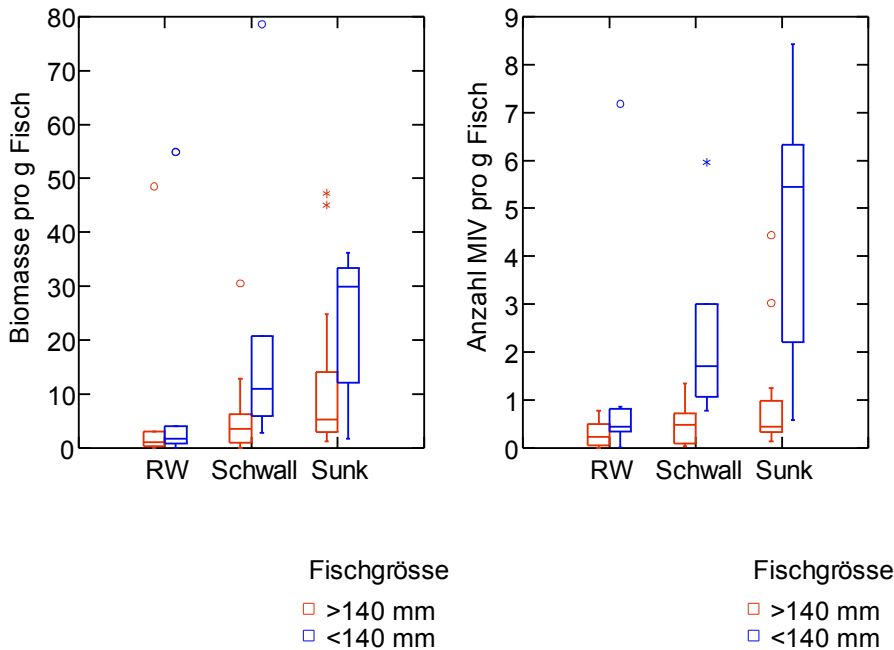


Abbildung 8: Ticino, Box-Plots zur Menge der aufgenommenen Nahrung
 Links gefressene Biomasse pro g Fisch, rechts Anzahl gefressener Makroinvertebraten pro g Fisch

Erklärungen zum Box-Plot

Die Box-Plot-(Box-and-Whiskers-Plot) Darstellung der Daten zur Biomasse und Anzahl gefressener Makroinvertebraten pro g Fisch erlaubt einen guten Überblick über die Verteilung und Variabilität der Werte in jeder Probenahme. Der Strich im Kasten, (sog. "Box") entspricht dem Median. Die durch den Kasten vorgegebenen Grenzen entsprechen der 25. und 75. Perzentile. Demnach beinhaltet der Kasten 50 % aller Werte. Zwischen dem Median und der oberen bzw. unteren Kastengrenze liegen genau 25 % aller Werte. Durch die "Whiskers" werden Minimum und Maximum der Werte und somit auch der Bereich, in dem die Werte liegen, gezeigt. Zwischen oberen bzw. unterem "Whisker" und oberer bzw. unterer Kastengrenze liegen wiederum genau 25 % aller Werte.

(aus http://www.datenconsult.de/statistikkurs/statistik_24.html)

Mit RW(Restwasser) wird die Referenzstrecke bezeichnet.

Die relativen Unterschiede zwischen den einzelnen Strecken weisen für beide Grössenklassen eine gewisse Abweichung bei der Anzahl der Makroinvertebraten pro g Fisch von der Biomasse auf, was darauf hindeutet, dass sich die Grössenverteilung der gefressenen Insekten zwischen den Strecken unterscheidet. Tatsächlich werden zum Beispiel von Fischen über 140 mm im Sunk durchschnittlich grössere Insekten als im Schwall gefressen (siehe Anhang, Abb. 36), mit dem Ergebnis, das trotz einer ähnlichen Anzahl von Makroinvertebraten pro g Fisch, die Biomassewerte im Schwall deutlich niedriger sind (Tab. 7).

Auch bei den kleineren Fischen lassen sich solche Unterschiede feststellen: im Sunk werden grössere Tiere (darunter viele Rhyacophilidae) als in den anderen Strecken gefressen (siehe Anhang, Abb. 35), was sich vor allem im Verhältnis von kleinen und mittelgrossen Insekten zeigt.

Wie in der Box-Plot-Darstellung (Abb. 8) gut zu sehen ist, zeichnet sich die Schwallstrecke durch den am stärksten ausgeprägten Unterschied zwischen den beiden Grössenklassen und die hohe Variabilität der Daten aus.

4.1.2 Anzahl Taxa in der Nahrung

Die Anzahl gefundener Taxa (30), und auch der Anteil terrestrischer Taxa (11) ist in den Schwallproben am höchsten. In der Schwallstrecke bei Sunk und in der Referenzstrecke liegen die Werte geringfügig tiefer: 23 Taxa bei Sunk, 21 Taxa in der Referenz (Abb. 9 und Tab. 7).

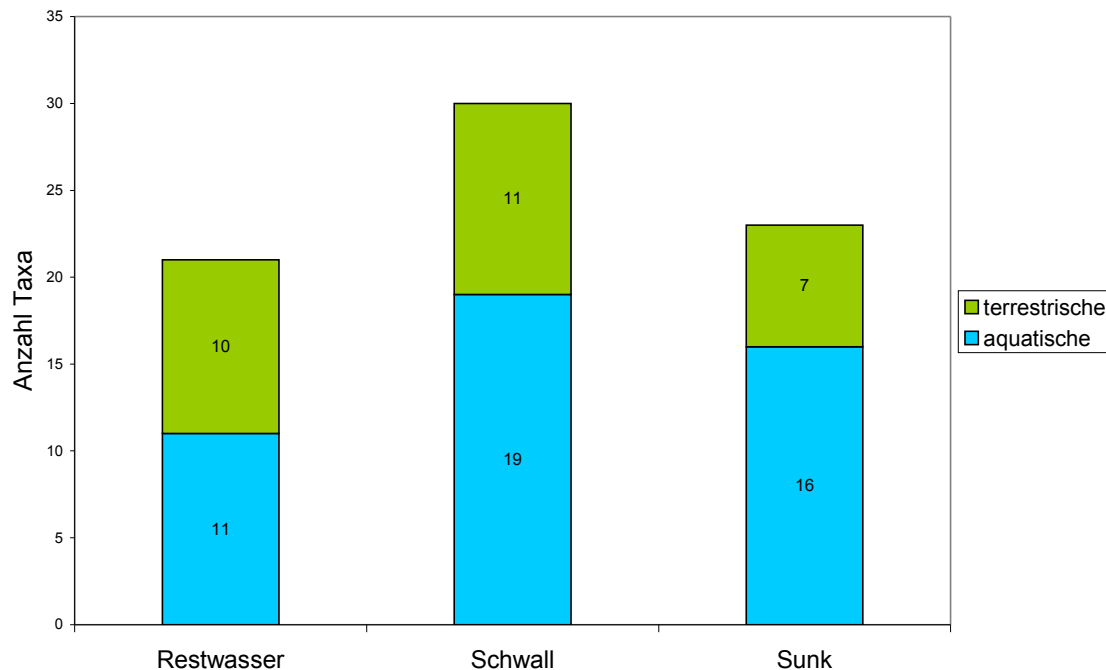


Abbildung 9: Ticino, Gesamtanzahl der Taxa in der Nahrung

In dieser Darstellung sind die Daten zu kleinen und grossen Fischen zusammengefasst.

Beim Vergleich der Grössen Kategorien der Fische (Tab. 7), lässt sich feststellen, dass in der Schwallstrecke die Nahrung der Fische unter 140 mm ein geringeres taxonomisches Spektrum und weniger terrestrische Taxa als die der Fische über 140 mm enthält. Einen grossen Teil dieser Unterschiede machen die vor allem durch Einzelbefunde vertretenen Begleittaxa aus. In der Restwasserstrecke dagegen ist die Anzahl der in der Nahrung gefundenen Taxa bei kleinen und grossen Fischen praktisch gleich (Tab. 7).

4.1.3 Taxonomische Zusammensetzung der Nahrung

Hinsichtlich der taxonomischen Zusammensetzung der Nahrung weisen die jüngeren und die älteren Bachforellen im Ticino besonders deutliche Unterschiede auf (Abb 10 und 11).

Bei den Fischen unter 140 mm (Abb. 10) sind die Ergebnisse in verschiedenen Strecken ziemlich einheitlich: mehr als 80 % der Nahrung besteht aus zwei Haupttaxa, Leuctridae und Chironomidae (89,5 % bei Sunk), dazu kommen 5-7 Taxa die jeweils unter 5 % liegen und 5-9 subrezedente Taxa (unter 1 %).

Bei den Fischen über 140 mm (Abb. 12) machen Leuctridae und Chironomidae nur 42-69 % der Nahrung aus, dafür kommen andere Haupttaxa ins Spiel: Baetidae (31 %), Rhyacophilidae und Diptera Imagines (beide um 9 %) bei Sunk, Limnephilidae (9-10 %) im Restwasser und beim Schwall. Auffallend ist das Auftreten eines terrestrischen Taxons, der adulten Dipteren, unter den dominanten Taxa im Sunk.

Zu den Haupttaxa kommen zahlreiche weitere Nährtiere hinzu, deren Anteil jeweils weniger als 8 % beträgt. Am zahlreichsten sind diese Taxa im Schwall (22 Taxa) vertreten, und in etwas geringerem Ausmass im Restwasser und im Sunk (14 und 15 Taxa), wobei im Sunk fast alle (ausser der Köcherfliegenfamilie Limnephilidae) in die Kategorie <1 % fallen und nur einen unbedeutenden Anteil der Nahrung ausmachen.

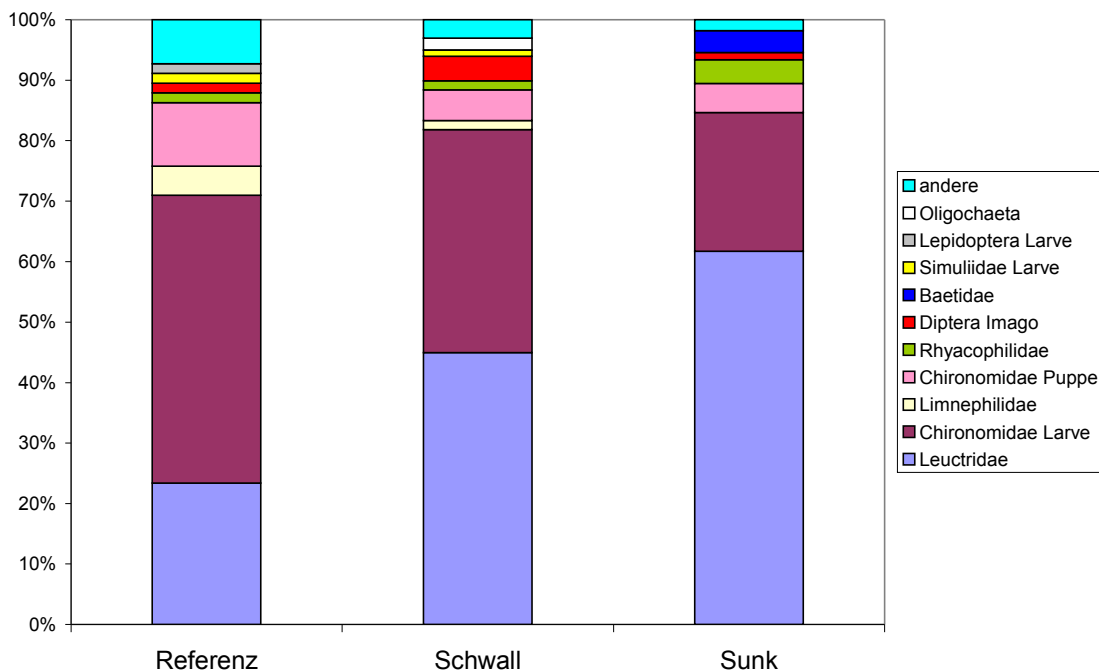


Abbildung 10: Ticino, taxonomische Zusammensetzung der Nahrung, Fische <140 mm
 „Andere“ kennzeichnet diejenigen Taxa, die jeweils weniger als 1 % der Nahrung ausmachen.

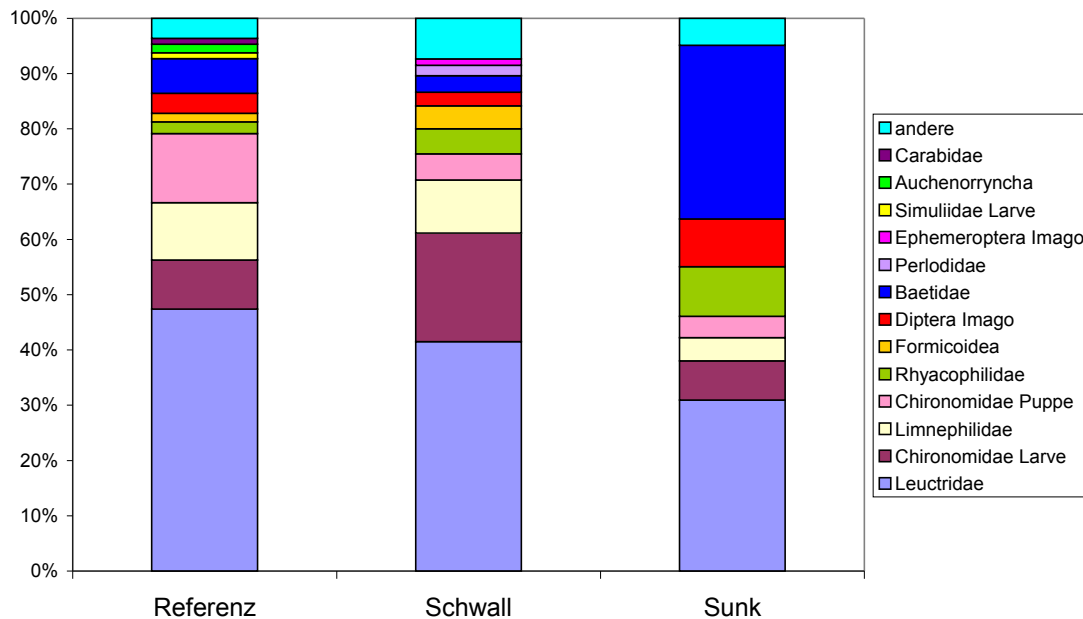


Abbildung 11: Ticino, taxonomische Zusammensetzung der Nahrung, Fische >140 mm
 „Andere“ kennzeichnet diejenigen Taxa, die jeweils weniger als 1 % der Nahrung ausmachen.

4.1.4 Diversität

Die in der Abbildung 12 dargestellten **Evenness**-Werte liegen bei allen Proben ziemlich tief (0.49-0.64) und spiegeln die schon aus der Artenzusammensetzung ersichtliche Dominanzstruktur wider. Insgesamt sind die Evennesswerte bei den kleinen Fischen etwas niedriger (0.49 - 0.60) und verweisen auf die stark ausgeprägte Dominanz von zwei Haupttaxa, Leuctridae und Chironomidae. Den tiefsten Wert überhaupt zeigen die Sunkproben (0.49), bei denen diese zwei Familien 89,5 % ausmachen und die wenigen restlichen Taxa eine sehr untergeordnete Rolle spielen. Bei den Fischen über 140 mm liegt die Evenness etwas höher und es sind kaum Unterschiede zwischen den Strecken vorhanden (0.61-0.64).

Auch der **Shannon-Wiener-Index** (Abb. 14) weist auf eine allgemein höhere Diversität in der Nahrungszusammensetzung der grossen Fische (1.86-2.07) hin, mit dem höchsten Wert im Schwall. Die kleinen Fische zeigen dagegen in der Schwallstrecke eine geringere Diversität der Nahrung als in der Referenz.

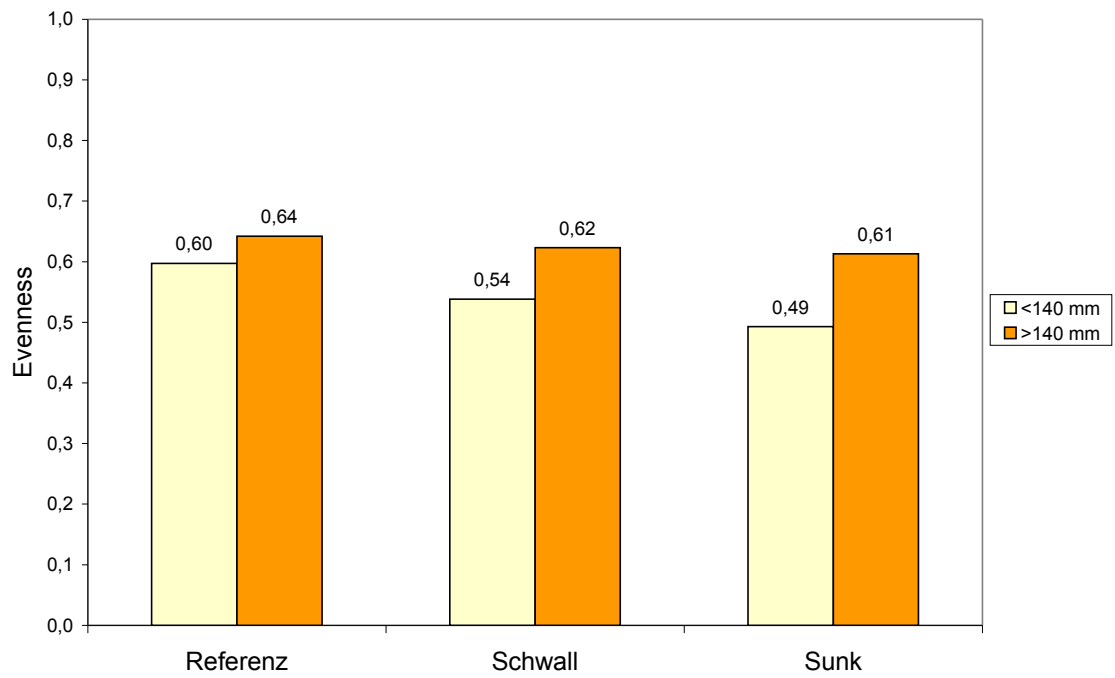


Abbildung 12: Ticino, Evenness der Nahrungszusammensetzung

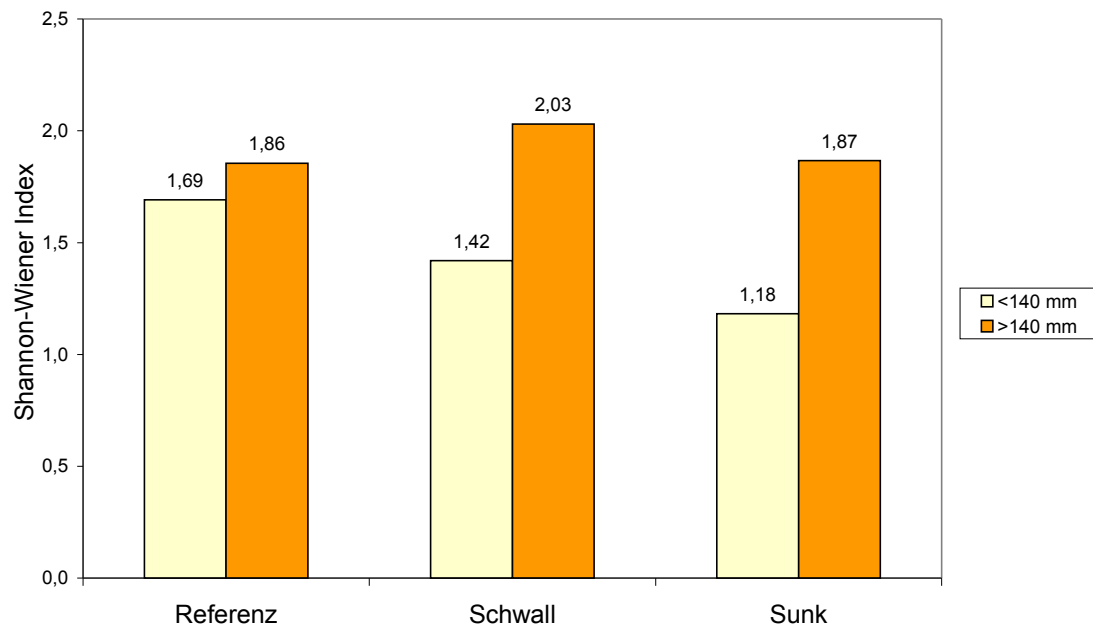


Abbildung 13: Ticino, Shannon-Wiener-Diversitätsindex der Nahrungszusammensetzung

4.2 Moesa

Tabelle 8: Zusammenfassung der Resultate, Moesa*

Strecke	Referenz		Schwall		Sunk	
	<140	>140	<140	>140	<140	>140
Fischgrösse [mm]	<140	>140	<140	>140	<140	>140
Anzahl Fische	4	18	11	12	6	16
Konditionsfaktor Fische	1.12	1.06	1.04	1.06	1.03	1.06
Biomasse pro g Fisch (Mediane)	1.39	0.27	6.69	2.12	0.64	0.91
Anzahl MIV pro g Fisch (Mediane)	0.48	0.09	1.52	0.58	0.24	0.22
davon terrestrische [%]	44.16	25.15	24.72	9.59	22.47	45.80
Taxa	14	25	22	26	14	31
davon terrestrische Taxa	8	14	7	11	7	15
Diversitätsindex nach Shannon	2.11	1.96	2.15	1.57	1.89	2.32
Evenness	0.80	0.61	0.70	0.48	0.72	0.68

* Für die Biomasse und die Anzahl Makroinvertebraten pro g Fisch werden **Medianwerte**, für alle restlichen Kenngrössen **Mittelwerte** angegeben.

4.2.1 Biomasse und Anzahl der gefressenen Makroinvertebraten pro g Fisch

Wie im Ticino weisen die Werte zur gefressenen Biomasse und zur Anzahl Makroinvertebraten pro g Fisch auf klare Unterschiede zwischen den zwei Fischgrössenklassen hin. So liegen die Biomassen im Schwall und in der Restwasserstrecke bei den jüngeren Fischen 3-5 Mal höher als bei den älteren. Die Sunkwerte sind aber im Gegensatz zum Ticino für beide Grössenklassen sehr ähnlich.

Die Grösse der gefressenen Insekten variiert zwischen den Strecken kaum (siehe Anhang, Abb. 37-38). So zeigen Biomasse und Anzahl Makroinvertebraten sehr ähnliche Tendenzen (Abb. 14).

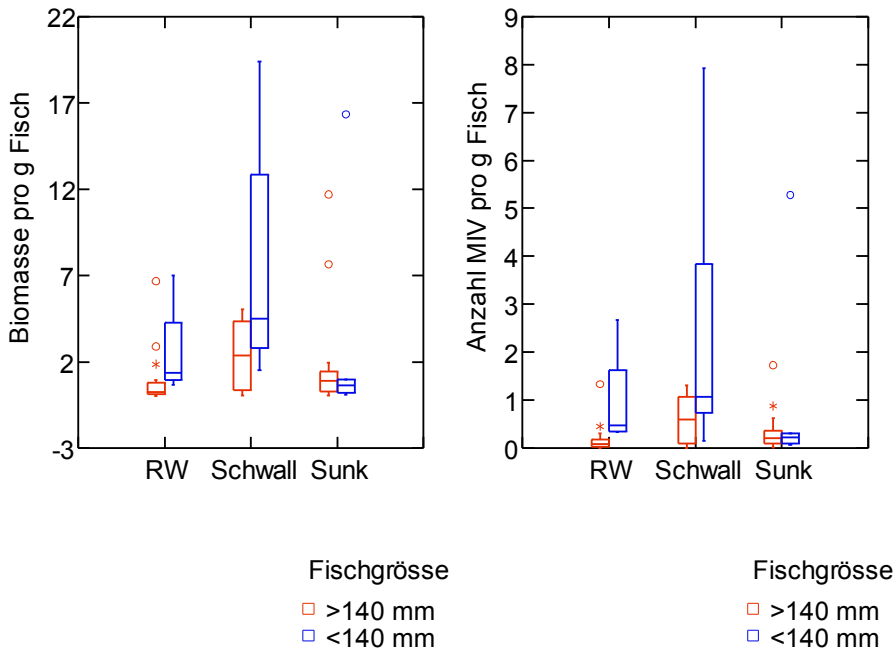


Abbildung 14: Moesa, Box-Plots zur Menge der aufgenommenen Nahrung
 Links die gefressene Biomasse pro g Fisch, rechts die Anzahl gefressener Makroinvertebraten pro g Fisch
 Mit RW(Restwasser) wird die Referenzstrecke bezeichnet.

4.2.2 Anzahl Taxa in der Nahrung

Die Gesamtanzahl der Taxa (Abb. 15 und Tab. 8) liegt in der Schwallstrecke höher als im Restwasser: 34 Taxa im Vergleich zu 26. Dabei sind die terrestrischen Tiere überall etwa gleich vertreten (Tab. 8). Wie auch beim Ticino, werden diese Unterschiede vor allem durch die Taxa, die weniger als 1 % der gefressenen Insekten ausmachen hervorgerufen.

Die Nahrung der jüngeren Fische zeigt auch hier wesentlich weniger Taxa und auch weniger terrestrische Taxa (jeweils nur 7 im Vergleich zu 13-16 bei Fischen >140 mm) als die der Älteren (siehe Resultate Ticino).

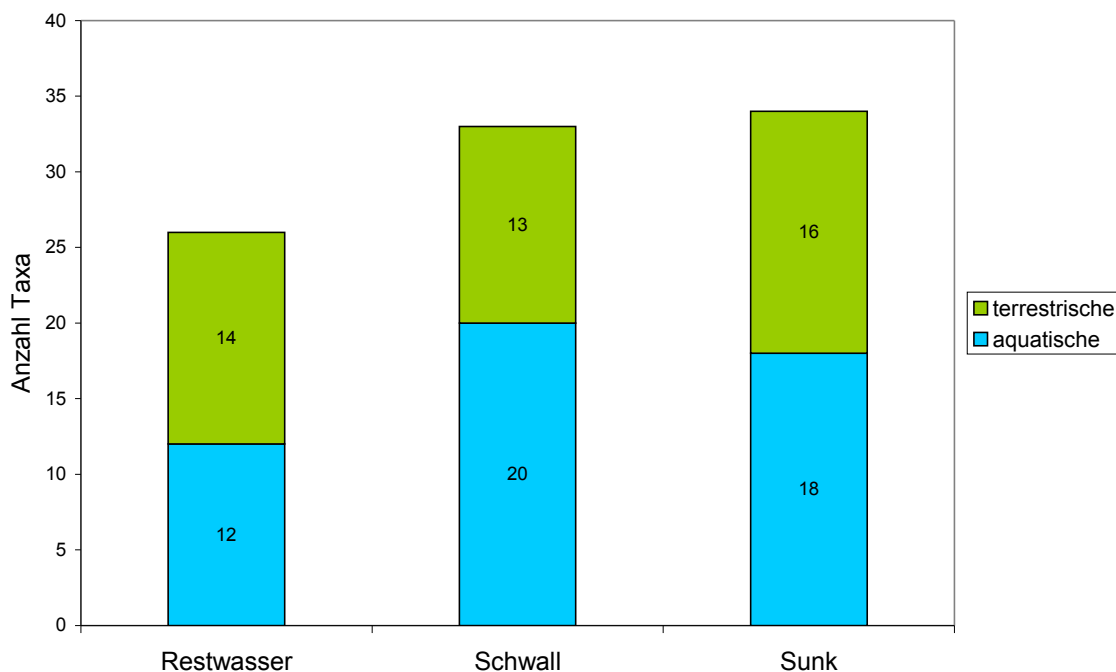


Abbildung 15: Moesa, Gesamtanzahl der Taxa in der Nahrung

4.2.3 Taxonomische Zusammensetzung der Nahrung

Bei der taxonomischen Zusammensetzung der Nahrung sind keine stark ausgeprägten Unterschiede zwischen den jüngeren und älteren Fischen festzustellen.

Den kleinen Fischen fehlen zwar im Vergleich zu den grösseren einige Taxa (Abb. 16-17), die Dominanzstruktur ist bei ihnen aber durch mehrere Familien geprägt und etwas ausgeglichener als bei den Grossen, was sich auch in der Evenness und dem Diversitätsindex zeigt (siehe unten).

In den Magenproben der Moesa spielen die Insekten terrestrischer Herkunft eine wichtige Rolle: sowohl die schlüpfenden aquatischen Insekten, wie die Eintagsfliegen, Steinfliegen und Zweiflügler, als auch die rein terrestrischen Insekten, wie Staubläuse (Sternorrhyncha) oder Zikaden (Auchenorrhyncha), nehmen ihren Platz in der Liste der dominanten und subdominanten Arten ein. Ausser bei den grossen Fischen im Schwall, beträgt der Anteil dieser in die Kategorie „terrestrische“ eingeordneten Insekten bei allen Proben zwischen 22 und 45 %.

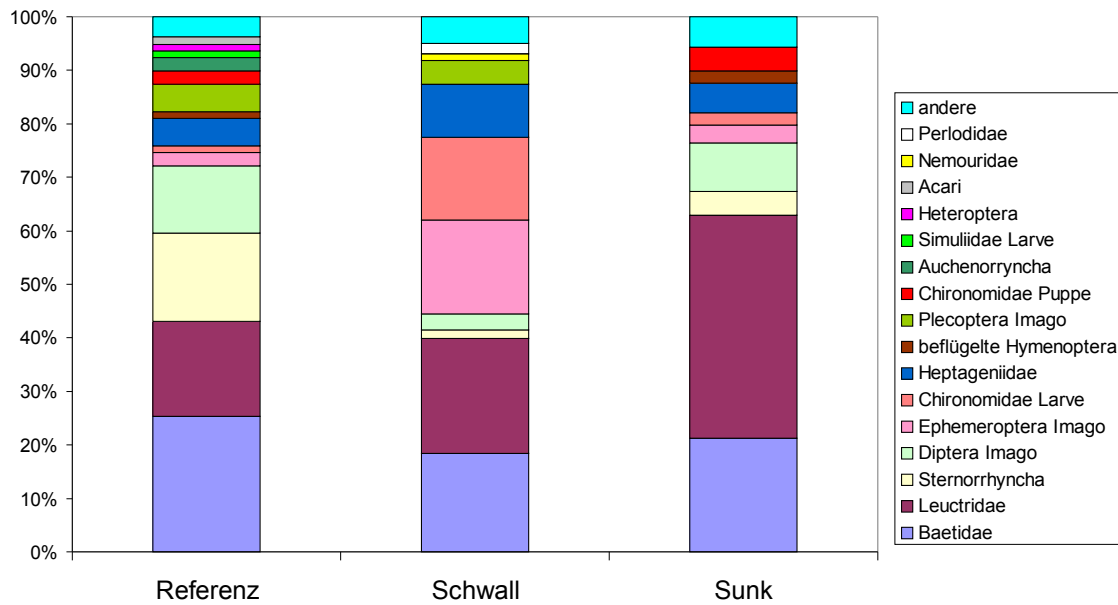


Abbildung 16: Moesa, taxonomische Zusammensetzung der Nahrung, Fische <140 mm
 „Andere“ kennzeichnet diejenigen Taxa, die jeweils weniger als 1 % der Nahrung ausmachen.

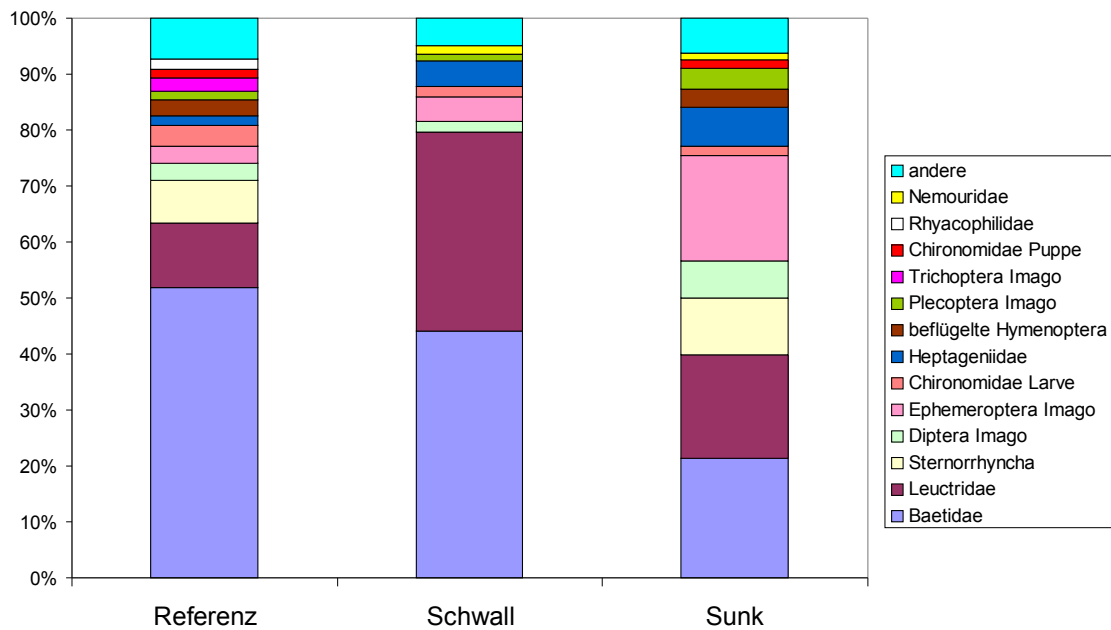


Abbildung 17: Moesa, taxonomische Zusammensetzung der Nahrung, Fische >140 mm
 „Andere“ kennzeichnet diejenigen Taxa, die jeweils weniger als 1 % der Nahrung ausmachen.

4.2.4 Diversität

Die Zusammensetzung der Fischnahrung in der Moesa ist wesentlich diverser und im Sinne der Dominanzstruktur ausgewogener als im Ticino (Abb. 18-19). Den höchsten Wert erreicht die **Evenness** bei den kleinen Fischen im Restwasser mit 0.80, der **Shannon-Index** bei den grossen Fischen im Sunk mit 2.32.

Meistens korrelieren die beiden Kenngrössen, die Schwallproben der kleinen Fische stellen aber eine Ausnahme dar. Sie zeigen zwar eine hohe Anzahl Taxa und entsprechend einen hohen Diversitäts-Index, dagegen aber eine sehr geringe Evenness, denn mehr als die Hälfte der 26 Taxa trägt jeweils weniger als 1 % zur Nahrung bei.

Anders als im Ticino, liegen die beiden Kennwerte zur Diversität der jüngeren Fische bei der Moesa mit nur einer Ausnahme (Shannon-Index bei Sunk) immer über denen der Älteren.

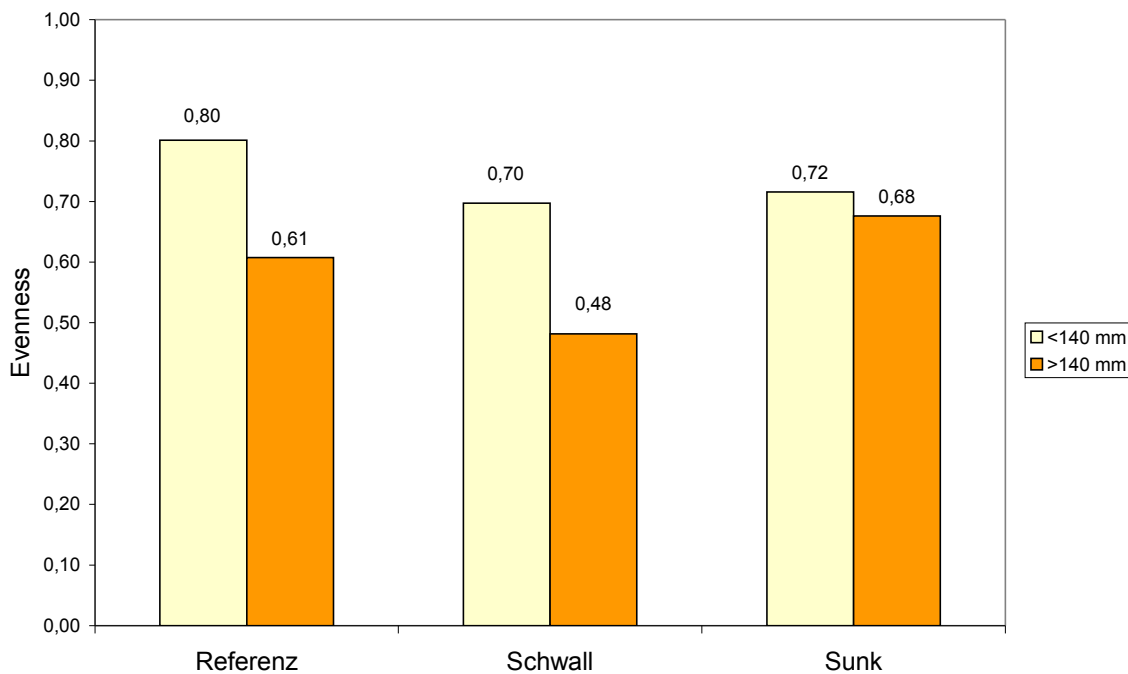


Abbildung 18: Moesa, Evenness der Nahrungszusammensetzung

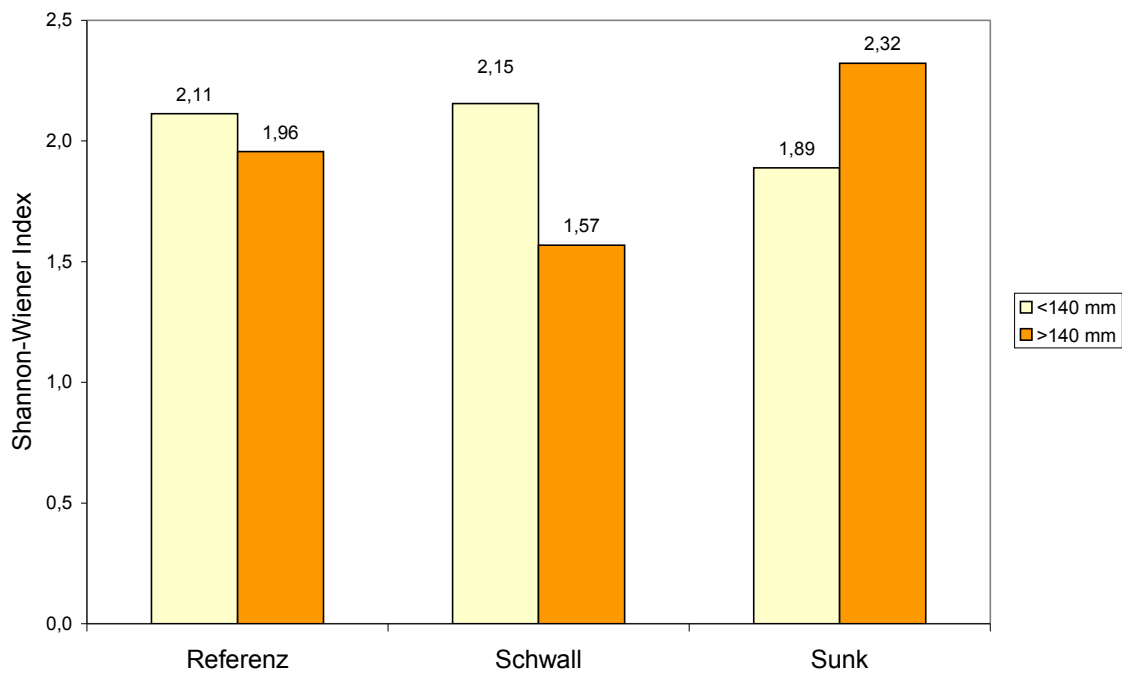


Abbildung 19: Moesa, Shannon-Diversitätsindex der Nahrungszusammensetzung

4.3 Morobbia

Tabelle 9: Zusammenfassung der Resultate, Morobbia*

Strecke	Referenz		Schwall	Sunk
	<140 mm	>140 mm	>140 mm	>140 mm
Fischgrösse [mm]	<140 mm	>140 mm	>140 mm	>140 mm
Anzahl Fische	3	19	10	10
Konditionsfaktor Fische	0.97	0.86	0.90	0.90
Biomasse pro g Fisch (Mediane)	1.91	3.54	1.81	4.54
Anzahl MIV pro g Fisch (Mediane)	0.35	0.17	0.12	0.15
davon terrestrische [%]	4.76	46.42	54.79	45.28
Taxa	9	33	31	26
davon terrestrische Taxa	1	12	10	8
Diversitätsindex nach Shannon	1.85	2.95	2.86	2.44
Evenness	0.84	0.84	0.84	0.76

* Für die Biomasse und die Anzahl Makroinvertebraten pro g Fisch werden **Medianwerte**, für alle restlichen Kenngrössen **Mittelwerte** angegeben.

4.3.1 Biomasse und Anzahl der gefressenen Makroinvertebraten pro g Fisch

In der Morobbia wurden die kleinen Fische ausschliesslich im Restwasser und auch dort lediglich in sehr kleiner Zahl (3) gefangen (Tab. 9), weshalb nur in dieser Strecke ein Vergleich zwischen den Grössenklassen der Fische möglich ist. Dabei ergibt sich eine interessante Beobachtung: die kleinen Fische fressen deutlich mehr Makroinvertebraten als die Grösseren, dafür aber im Durchschnitt kleinere Tiere. Als Folge dessen bleiben die Werte zur Biomasse bei Fischen unter 140 mm trotz der hohen Anzahl gefressener Makroinvertebraten viel niedriger als bei den grösseren Fischen.

Die Nahrung der grossen Fische in der Morobbia hat generell einen im Vergleich zu anderen Flüssen hohen Anteil an grossen und sehr grossen Makroinvertebraten: zwischen 9 und 18 % (siehe Anhang, Abb. 40). Deswegen sind die Werte der Biomasse trotz der geringen Anzahl gefressener Makroinvertebraten eher hoch (Tab. 9).

Die Variabilität der Daten ist in der Referenz am höchsten. Bei manchen Bachforellen wurde eine Biomasse von bis zu 167 relativen Einheiten pro g Körpergewicht festgestellt. Hierbei handelt es sich aber wahrscheinlich um einen Ausreisser.

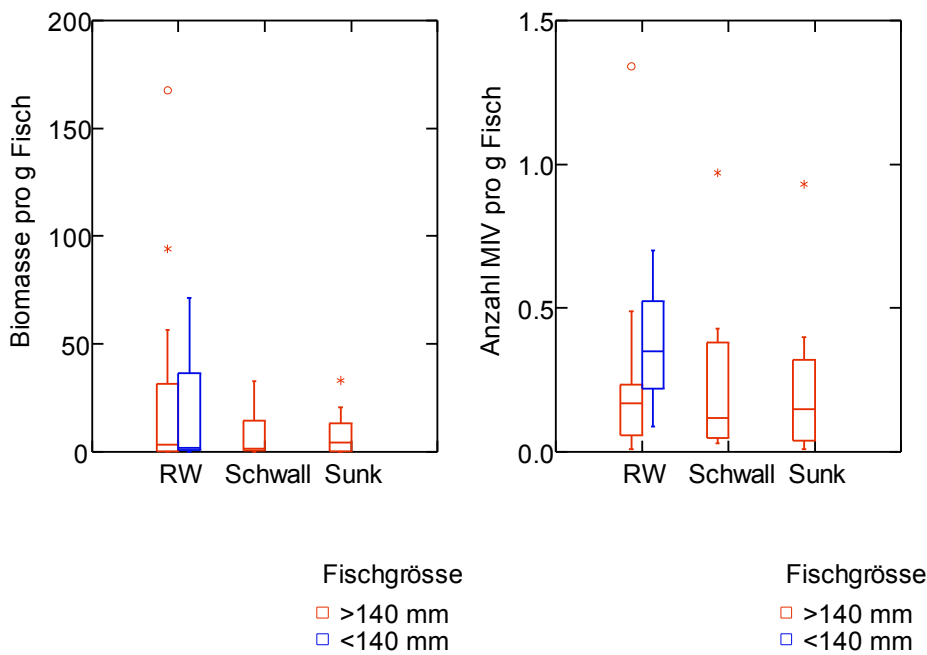


Abbildung 20: Morobbia, Box-Plots zur Menge der aufgenommenen Nahrung
 Links gefressene Biomasse pro g Fisch, rechts Anzahl gefressener Makroinvertebraten pro g Fisch
 Mit RW(Restwasser) wird die Referenzstrecke bezeichnet.

4.3.2 Anzahl der Taxa in der Nahrung

Mit 33 Taxa stellt sich die Referenzstrecke als die artenreichste dar, und sie enthält auch den höchsten Anteil an terrestrische Insekten in der Taxaliste. Wie auch bei anderen Flüssen, hat die Nahrung der kleinen Fische in der Morobbia ein deutlich kleineres taxonomisches Spektrum als die der Grossen. Da aber dieses Ergebnis eine Folge des sehr geringen Stichprobenumfangs von nur 3 Fischen sein könnte, werden im weiteren Verlauf nur die Ergebnisse zur Artenzusammensetzung und Biodiversität bei den grossen Fischen besprochen, um falsche Schlussfolgerungen zu vermeiden.

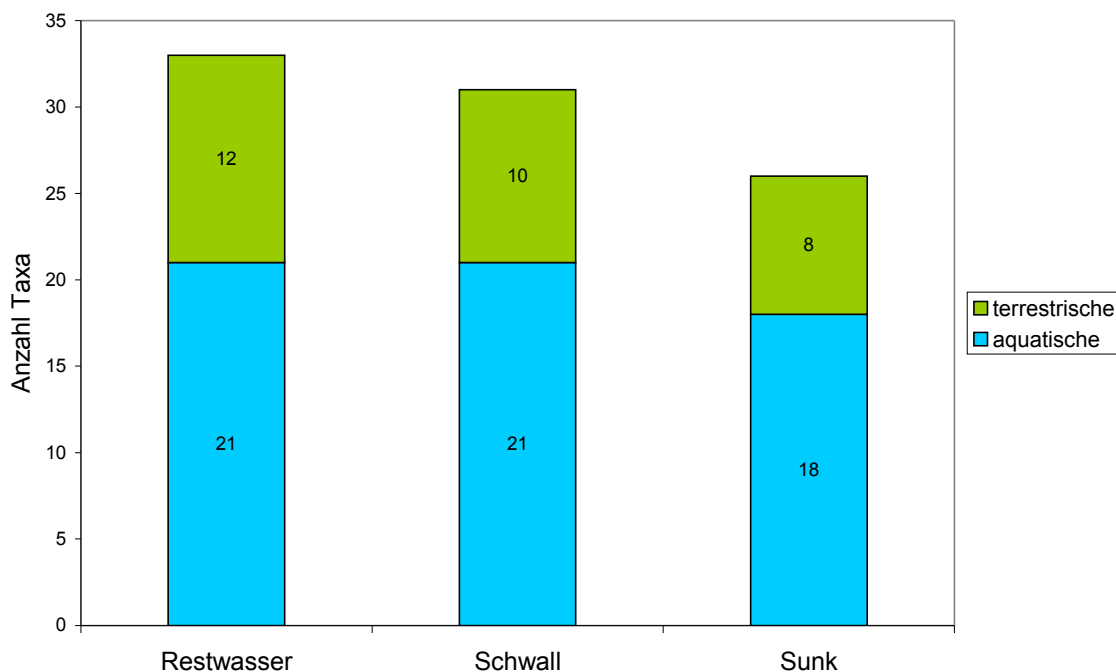


Abbildung 21: Morobbia, Gesamtanzahl der Taxa in der Nahrung

4.3.3 Taxonomische Zusammensetzung der Nahrung

Von allen untersuchten Flüssen haben die Proben der Morobbia die höchste Diversität, mit den höchsten Werten für Shannon-Index, Evenness und Anzahl Taxa.

Die Dominanzstruktur wird in allen Proben von mehreren Taxa geprägt, die zwischen 5 - 30 % der Nahrung ausmachen (Abb. 25). Bei den Restwasser- und Schwallproben sind es jeweils 12 Arten, bei den Sunkproben dagegen nur 4, von denen die Imaginalstadien der Eintagsfliegen und Zweiflügler knapp 50 % zur Nahrung im Sunk beitragen.

Die terrestrischen Taxa sind in allen Proben vertreten und machen etwa die Hälfte der gefressenen Tiere aus. Am zahlreichsten sind sie jedoch mit 54,8 % im Schwall.

Einen interessanten Fund gab es bei den Restwasserproben, als im Magen einer Bachforelle von 180 mm Körperlänge ein junger Molch gefunden wurde.

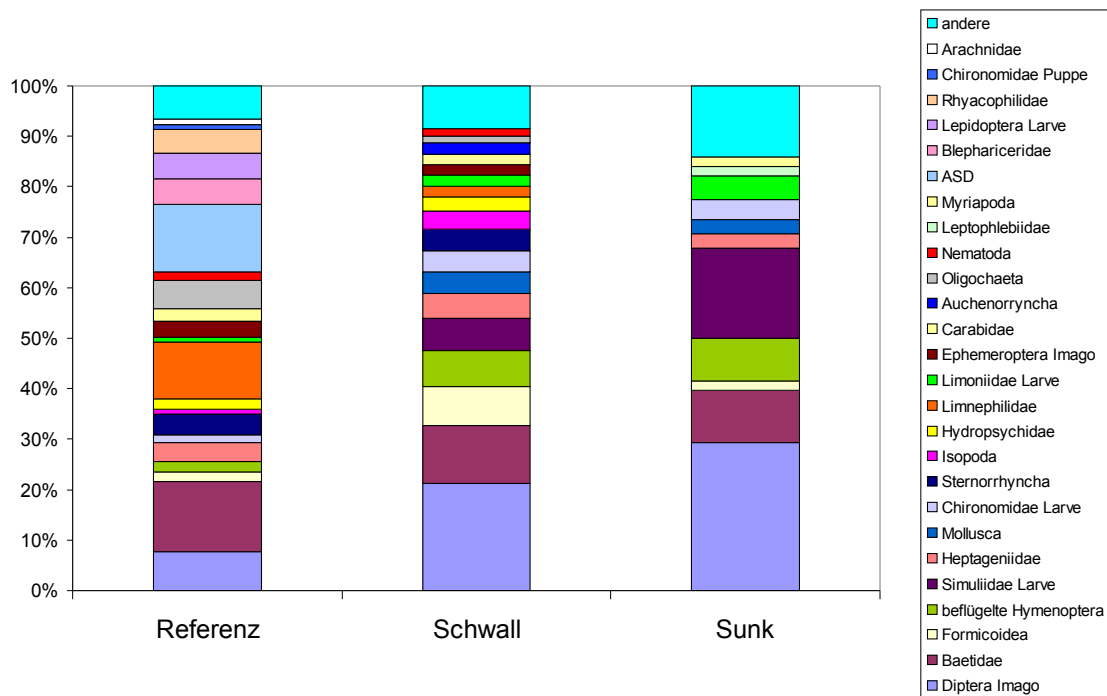


Abbildung 22: Morobbia, taxonomische Zusammensetzung der Nahrung, Fische >140 mm
 „Andere“ kennzeichnet diejenigen Taxa, die jeweils weniger als 1 % der Nahrung ausmachen.
 Unter der Abkürzung „ASD“ werden Tiere aufgelistet, die zu einer der folgenden Dipterenfamilien gehören und aus Zeitgründen nicht weiter bestimmbar waren: Anthomyiidae, Sciomyzidae, Dolichopodidae.

4.3.4 Diversität

Wie schon oben erwähnt, erreichen die Evenness und die Diversität bei der Morobbia besonders hohe Werte (Abb. 26-27), die bei weitem diejenigen aller anderen in dieser Studie untersuchten Flüsse überschreiten.

Im Schwall und in der Referenzstrecke führt die sehr ausgeglichene, durch mehrere Taxa bestimmte Dominanzstruktur der Fischnahrung zu diesen Ergebnissen. Im Gegensatz dazu liegen die Diversitätskennwerte bei Sunk beträchtlich tiefer (wenn auch immer noch über denen der anderen Flüsse), was das viel ärmere Taxaspektrum der Fischnahrung und die starke Dominanz sehr weniger Taxa widerspiegelt (Kapitel 4.3.3.).

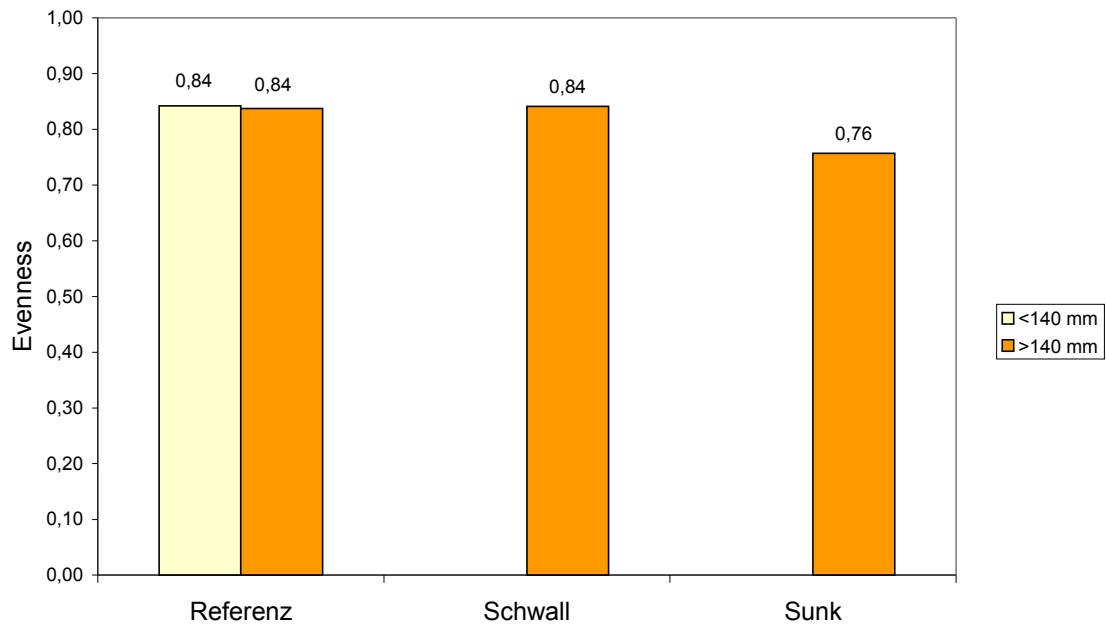


Abbildung 23: Morobbia, Evenness der Nahrungszusammensetzung

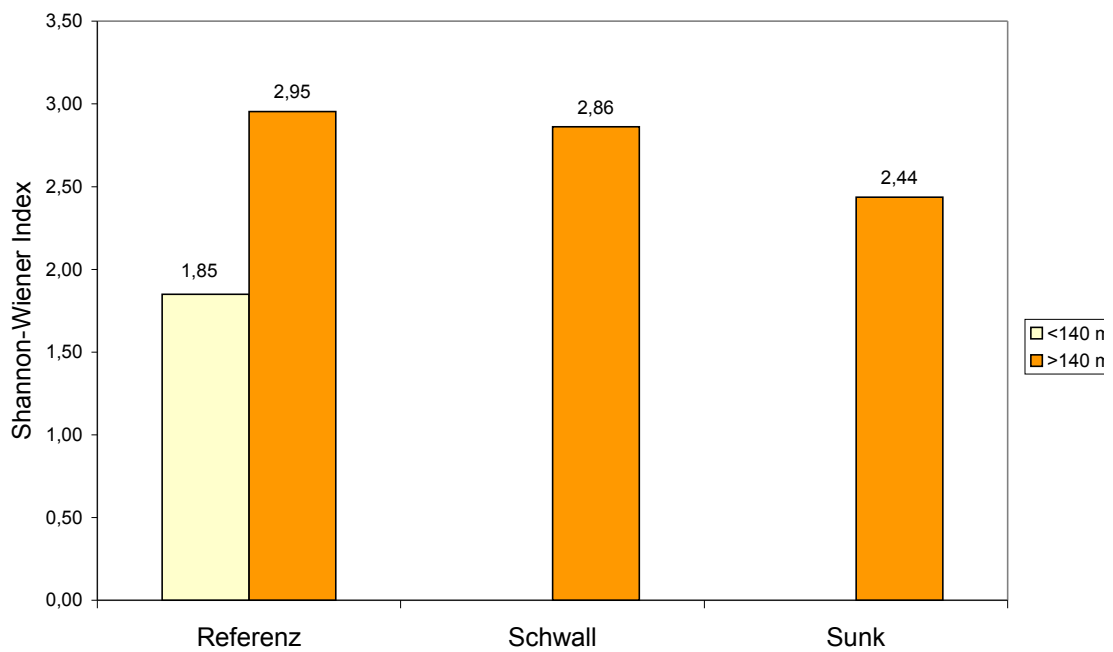


Abbildung 24: Morobbia, Shannon-Diversitätsindex der Nahrungszusammensetzung

4.4 Rhone

Tabelle 10: Zusammenfassung der Resultate, Rhone*

Strecke	Referenz	starker Schwall	
		<140 mm	>140 mm
Fischgrösse [mm]	>140 mm	<140 mm	>140 mm
Anzahl Fische	6	3	13
Konditionsfaktor Fische	1.14	1.59	1.09
Biomasse pro g Fisch (Mediane)	0.88	1.96	3.53
Anzahl MIV pro g Fisch (Mediane)	0.11	0.45	0.24
davon terrestrische [%]	5.77	12.12	8.76
Taxa	4	4	6
davon terrestrische Taxa	2	2	3
Diversitätsindex nach Shannon	0.35	0.51	0.23
Evenness	0.25	0.37	0.13

Für die Biomasse und die Anzahl Makroinvertebraten pro g Fisch werden **Medianwerte**, für alle restlichen Kenngrössen **Mittelwerte** angegeben.

4.4.1 Biomasse und Anzahl der gefressenen Makroinvertebraten pro g Fisch

Wie in der Morobbia, wurden während der Abfischung in der Rhone fast ausschliesslich grosse Fische (Tab. 10) gefangen. Allgemein war die Anzahl der gefangenen Fische und damit der entnommenen Proben sehr klein (6 in der Referenz bzw. 13 im Schwall).

Die Werte für Biomasse und Anzahl Makroinvertebraten pro g Fisch liegen hier ziemlich tief (bei grossen Fischen 0.88-1.96 relative Einheiten pro g Fisch) und zeigen keine offensichtlichen Unterschiede zwischen den Strecken und den Grössenkategorien. Auch die Grösse der gefressenen Tiere (siehe Anhang, Abb. 41-42) ändert sich zwischen den Strecken kaum und hat keine Auswirkung auf die Ergebnisse zur Biomasse und zur Anzahl der Makroinvertebraten.

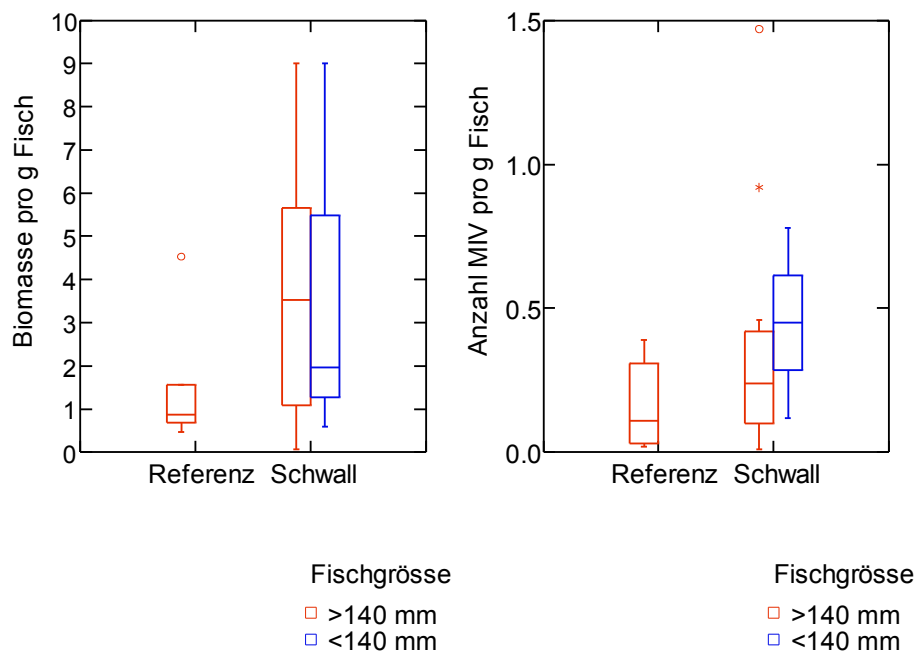


Abbildung 25: Rhone, Box-Plots zur Menge der aufgenommenen Nahrung
Links gefressene Biomasse pro g Fisch, rechts Anzahl gefressener Makroinvertebraten pro g Fisch
Mit RW(Restwasser) wird die Referenzstrecke bezeichnet.

4.4.2 Anzahl der Taxa in der Nahrung

Die Rhone zeichnet sich durch eine besondere Armut an Taxa aus. Mit insgesamt nur 6 in den Proben festgestellten Taxa (Abb. 28) ist die Diversität der Nahrung der Bachforelle in beiden Strecken extrem niedrig, was auch in der Evenness und dem Shannon-Index sichtbar wird (s. Kapitel 4.4.4).

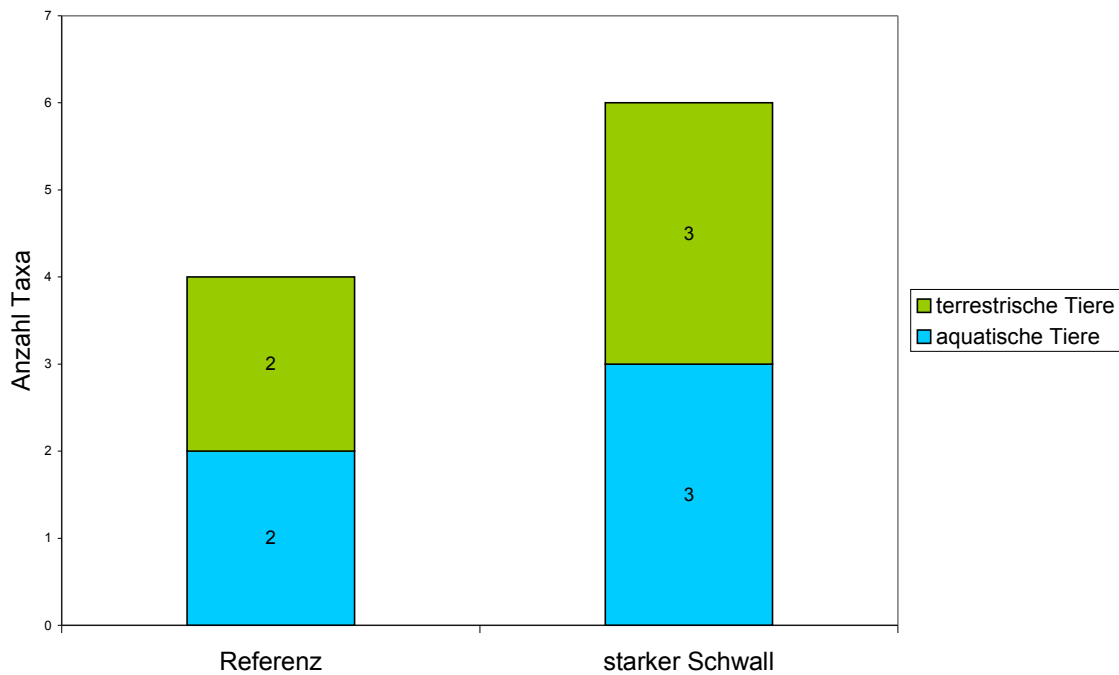


Abbildung 26: Rhone, Gesamtanzahl der Taxa in der Nahrung

4.4.3 Taxonomische Zusammensetzung der Nahrung

Die Magenproben der Rhone werden sehr stark von der Köcherfliegenfamilie Limnephilidae dominiert, ausschliesslich vertreten durch die Art *Allogamus auricollis*. Es kommen noch zwei stark unterrepräsentierte Eintagsfliegenfamilien und drei terrestrische Insektentaxa dazu (Abb. 31)

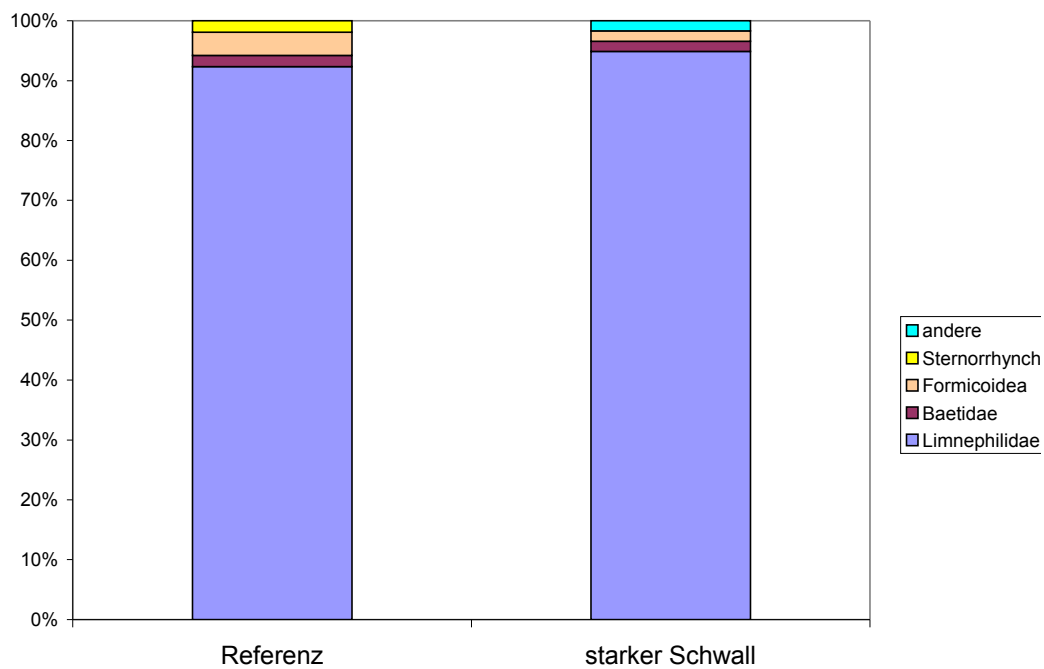


Abbildung 27: Rhone, taxonomische Zusammensetzung der Nahrung
 „Andere“ kennzeichnet diejenigen Taxa, die jeweils weniger als 1 % der Nahrung ausmachen.

4.4.4 Diversität

Von den vier untersuchten Flüssen stellt die Rhone einen Extremfall mit ausgesprochen geringer Diversität dar (Abb. 28-29). Der **Shannon-Index** in diesem Fluss liegt nahe bei Null, die **Evennesswerte** zwischen 0.13 und 0.37 geben die Eudominanz von *Allogamus auricollis* (Limnephilidae) deutlich wider.

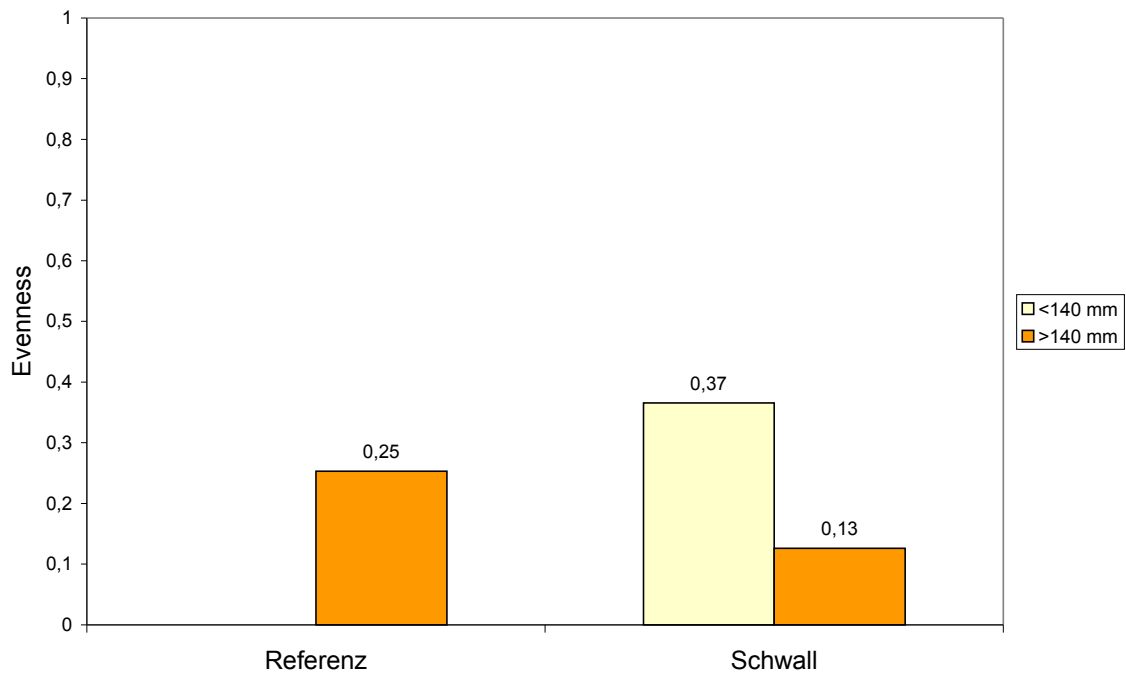


Abbildung 28: Rhone, Evenness der Nahrungszusammensetzung

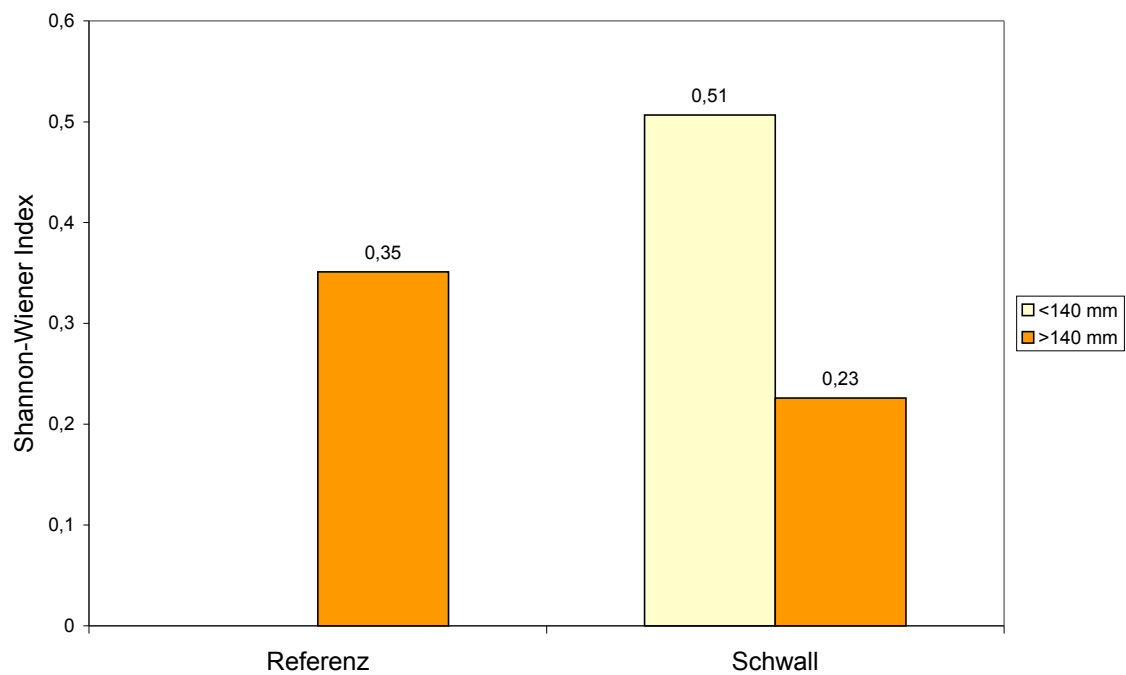


Abbildung 29: Rhone, Shannon-Diversitätsindex der Nahrungszusammensetzung

4.5 Statistischer Vergleich

Zwar zeigen die Daten in verschiedenen Flüssen eine stark ausgeprägte Variabilität (siehe zusammenfassende Graphen im Anhang, Abb. 31-34), aber mit Hilfe der statistischen Tests lassen sich trotzdem gewisse Tendenzen feststellen.

4.5.1 Vergleich der Referenz mit der Schwallstrecke

Tabelle 11: Vergleich der Referenz- und der Schwallstrecke, mehrfaktorielle ANOVA*

Faktor	Fischgrösse	Fluss	Strecke
Biomasse pro g Fisch	P<0.01	P<0.01	n.s.
MIV pro g Fisch	P<0.01	P<0.1	P<0.05
Evenness	n.s.	P<0.01	n.s.
Shannon	n.s.	P<0.01	n.s.
Anteil terr. Insekten	n.s.	P<0.05	n.s.

* in den Tabellen 11 und 12 bedeutet „n.s.“, dass von dem entsprechenden Faktor kein signifikanter Unterschied in der Kenngrösse verursacht wird

Beim Vergleich der Referenz mit der Schwallstrecke zeigt sich folgendes:

- Die Werte der Biomasse und der Anzahl gefressener Makroinvertebraten pro g Fisch liegen bei den kleinen Fischen signifikant über denen der grossen.
- Unterschiede zwischen den Strecken zeigen sich nur in der Anzahl der Makroinvertebraten pro g Fisch.
- Alle Kenngrössen weisen auf deutliche Unterschiede zwischen den Flüssen hin.

Zwischen den Faktoren konnten keine signifikanten Wechselwirkungen nachgewiesen werden.

4.5.2 Vergleich der Schwall- und Sunkproben

Tabelle 12: Vergleich von Schwall und Sunk, nested ANOVA

	Fischgrösse	Fluss(Strecke)
Biomasse pro g Fisch	P<0.05	P<0.05
MIV pro g Fisch	p<0.01	p<0.01
Evenness	n.s.	P<0.05
Shannon	n.s.	p<0.1
Anteil terr. Insekten	n.s.	p<0.1

Ähnlich wie beim Vergleich der Schwallstrecke mit der Referenz zeigt sich, dass:

- Unterschiede zwischen den zwei Grössen Kategorien in der Biomasse, sowie der Anzahl Makroinvertebraten pro g Fisch nachweisbar sind

Alle Kenngrössen weisen signifikante Unterschiede zwischen Schwall und Sunk nach

4.6 Morphologische Parameter. Vergleich der Schwall- und der Referenzstrecke

Unter den in dieser Studie verwendeten Parametern zur Charakterisierung der Flussmorphologie waren drei für den Vergleich der Schwall- und der Referenzstrecke besonders bedeutend. Sowohl Kolmation, als auch die Substratkorngrösse haben einen direkten Einfluss auf die Qualität des Habitats der Fische und der Makroinvertebraten, während die Ökomorphologie (wie der Name schon sagt) eine allgemeine Bewertung der Strecke als Lebensraum wiedergibt.

Es konnte festgestellt werden, dass die **Kolmation** bei allen 4 Flüssen in der Schwallstrecke im Vergleich zur Referenz vermehrt auftrat.

Die **Substratkorngrösse** ausgedrückt in Median und Schwankungsbereich der Korngrössen blieb in der Moesa und im Ticino unter- und oberhalb der Kraftwerke gleich, nahm aber in der Schwallstrecke der Rhone und der Morobbia zu.

Was die **Ökomorphologie** angeht, wurde die Schwallstrecke der Moesa und der Morobbia deutlich schlechter als die Referenzstrecke eingestuft. Bei der Rhone und beim Ticino wurde der ökomorphologische Zustand der zwei untersuchten Strecken gleich bewertet: stark beeinträchtigt beim Ticino und naturfremd bei der Rhone.

5 Diskussion

5.1 Fragestellung 1

Gibt es Unterschiede bezüglich Zusammensetzung und Biomasse der aufgenommenen Fischnahrung zwischen schwallbeeinflussten und schwallfreien Strecken?

In zahlreichen Studien konnte gezeigt werden, dass sich in schwallbeeinflussten Gewässern die Biomasse der Makroinvertebraten stark verringert und sich ihre Artenzusammensetzung verändert (Moog 1993, Bretschko & Moog 1990 u. a). Dabei treten die robusteren, an Schwall angepassten Taxa, wie z.B. die Chironomidae vermehrt auf und die empfindlicheren Taxa, wie die Heptageniidae oder die Simuliidae nehmen eher ab (Cortes et al. 2002, Baumann 2004, Valentin et al. 1995, Lagarrigue et al. 2002). Auch das Verhalten der Makroinvertebraten und ihre normalerweise von der Tagesperiodik abhängende Drift unterliegt in den Schwallstrecken markanten Veränderungen (Moog 1993, De Jalon et al. 1988). Die natürliche Drift in den Dämmerungs- bzw. Nachtstunden wird durch eine sogenannte „Katastrophendrift“ in den Zeiten des Schwallbetriebs, typischerweise tagsüber, ersetzt.

In Folge dessen kommt es auch bei den Bachforellen, die auf die benthischen Makroinvertebraten als wichtigste Nahrungsquelle angewiesen sind, zu Änderungen sowohl in der Nahrungszusammensetzung, wie auch im Fressverhalten. Unter natürlichen Bedingungen sind für die Bachforellen eine an die Tagesrhythmik der Drift angepasste Nahrungsaufnahme, sowie eine gewisse Selektivität bestimmter Taxa und allgemein grösserer Tiere typisch (Elliott 1970). Wenn jedoch die Benthosdrift in den Schwallstrecken keine natürliche Periodizität mehr aufweist, passen sich die Fische dem momentanen Nahrungsangebot an und zeigen somit ebenfalls keine natürliche Tagesrhythmik mehr (Lauters et al. 1996). Auch die Zusammensetzung der aufgenommenen Nahrung deutet nicht mehr auf Selektion bei der Futteraufnahme hin, sondern entspricht der Zusammensetzung des Benthos (De Jalon et al. 1988).

Flodmark (2004) hat im Labor nahrungsökologische Experimente mit simuliertem Schwall, niedrigem Abfluss und einem den natürlichen Bedingungen entsprechenden höheren Wasserstand durchgeführt. Seine Studie hat gezeigt, dass unter Bedingungen, die hydrologisch denen eines typischen schwallbeeinflussten Gewässers entsprechen, Nahrungsaufnahme und Wachstumsrate der Bachforelle signifikant niedriger sind als bei einem höheren stabilen Abfluss.

Aufgrund all dieser Erkenntnisse kann angenommen werden, dass die Diversität und der Umfang der Fischnahrung in einer Schwallstrecke niedriger ist als in einer schwallfreien Referenz (**Hypothese 1**, S.11).

Diese Hypothese konnte aber nicht bestätigt werden. Nur in der **Anzahl Makroinvertebraten pro g Fisch** liessen sich Unterschiede zwischen der Referenz- und der Schwallstrecke statistisch nachweisen. Es konnte aber nicht gezeigt werden, dass sie in der Schwallstrecke, wie in der Hypothese 1 angenommen wurde, niedriger ist als in einer schwallfreien Referenz. Die Tendenzen waren in jedem Fluss anders, sowohl bei den kleineren, als auch bei den grösseren Fischen (siehe Anhang, Abb. 32).

Was die gefressene **Biomasse pro g Fisch** angeht, so ist sie im Ticino, in der Moesa und in der Rhone im Gegensatz zur formulierten Hypothese 1 meistens in der schwallbeeinflussten Strecke höher als in der Referenz. Bei der Morobbia ist die Situation etwas anders: die höchsten gefressenen Biomassen werden in der Referenz und im Sunk festgestellt, während die Werte im Schwall deutlich tiefer liegen. Eine Erklärung zu diesem von denen der anderen Flüsse abweichendem Ergebnis könnte die starke Diskrepanz in der Ökomorphologie der Schwall- und der Referenzstrecke sein, wobei die erste als stark beeinträchtigt und die zweite als naturnah eingestuft wurde. Damit könnte der hohe Wert in der Referenzstrecke erklärt werden. Es darf aber nicht vergessen werden, dass trotz der Unterschiede zwischen den Strecken, alle drei Werte zur Biomasse in der Morobbia wesentlich höher als in den anderen untersuchten Flüssen liegen.

Mit diesen Ergebnissen lässt sich zeigen, dass die Fische nahrungsökologisch in einem bestimmten Ausmass vom Schwall profitieren können. Anscheinend ernähren sie sich sehr aktiv von der Katastrophendrift, die in den ersten Stunden des Schwallbetriebs durch die plötzliche starke Zunahme des Abflusses künstlich ausgelöst wird. Diese Strategie wurde schon in einigen Studien beschrieben (De Jalon et al., 1988, Lagarrigue et al. 2002). Auch in der Untersuchung von Lauters (1996) liess sich das oben genannte Phänomen feststellen: die aufgenommene Biomasse war in der Schwallstrecke höher als oberhalb des Kraftwerks.

Solche Resultate bedeuten nicht unbedingt, dass die Schwallstrecke aus nahrungsökologischer Sicht a priori für die Fischen günstigere Bedingungen bietet, denn sie könnten daraus resultieren, dass die Fischpopulationsdichte in der Schwallstrecke wesentlich geringer als in der Referenzstrecke ist (Künzli 2005), und somit auch die intraspezifische Konkurrenz um die Nahrungsressourcen abnimmt. Ausserdem sind möglicherweise die energetischen Kosten der Lebensaktivitäten im Schwall so hoch, dass die Fische mehr Nahrung zu sich nehmen müssen, um so ihren Bedarf zu decken.

Der **Shannon-Index** und die **Evenness** weisen laut der statistischen Analyse keine signifikanten Unterschiede zwischen der Referenz- und der Schwallstrecke auf. Teilweise zeigt die Schwallstrecke im Gegensatz zur formulierten Hypothese sogar eine grössere Anzahl Taxa als die Referenz, was durch einige sonst für Fischnahrung eher ungewöhnliche terrestrische Tiere, wie zum Beispiel Ameisenlöwen, Schmetterlingslarven oder Zikaden zustande kam.

Auch in der Morobbia, wo in den Restwasserproben die meisten Taxa zu finden waren, blieb die Anzahl der Taxa in der Schwallstrecke trotzdem hoch.

Somit konnte die erste Hypothese, dass die Diversität und der Umfang der Fischnahrung in der Schwallstrecke niedriger als in einer schwallfreien Referenz sind, nicht bestätigt werden.

In der **zweiten Hypothese** zu Fragestellung 1 (S.11) wurde angenommen, dass die Nahrung der Fische in der Schwallstrecke im Vergleich zur Referenz mehr terrestrische Tiere und unter aquatischen vor allem die an Schwall angepassten Taxa enthält.

Es konnten zwar in der **taxonomischen Zusammensetzung** der Fischnahrung der Schwallstrecke Ereignisse festgestellt werden, die diese Hypothese bestätigen:

- Die schwallresistenten Taxa wie Chironomidae (in der Moesa) und die typischen Uferbewohner (Formicoidae und andere Hymenoptera in der Morobbia) kamen in der Schwallstrecke vermehrt vor.
- Die Anzahl der gerade geschlüpften aquatischen Insekten war in den Schwallproben sehr hoch (Ephemeroptera bei kleinen Fischen in der Moesa).
- Die schwallemphindlichen Taxa, die in der Referenz gefunden wurden, fehlten in der Schwallstrecke (Blephariceridae in der Morobbia).

Doch wurden auch der Hypothese widersprechende Tatsachen gefunden:

- Der Anteil terrestrischer Tiere war in einer Referenz höher als in der Schwallstrecke (Morobbia)
- Bestimmte schwallemphindliche Insekten, die der Literatur nach im Schwall nicht zu erwarten wären, kamen in der Schwallstrecke vermehrt vor (Heptageniidae und Perlodidae bei kleinen Fischen in der Moesa, Simuliidae in der Morobbia, Leuctridae im Ticino).

Die Daten von Ticino, Moesa und Morobbia zeigen damit eine sehr hohe Variabilität und lassen keinen Vergleich zwischen Schwall- und Referenzstrecke zu.

Dagegen konnte die Hypothese 2 für die **Rhone** bestätigt werden, deren Proben eine extrem ausgeprägte Dominanz (bis 96 % !) der schwallresistenten Köcherfliegenart *Allogamus auricollis* (Frutiger 2004) und einen erhöhten Anteil an terrestrische Insekten in der Strecke mit starkem Schwall zeigen.

Somit wird die zweite Hypothese, dass die Nahrung der Fische in der Schwallstrecke mehr terrestrische Tiere enthält und die aquatischen Makroinvertebraten vor allem durch die an Schwall angepassten Taxa vertreten sind, nur für die Rhone bestätigt.

5.2 Fragestellung 2

Unterscheidet sich die Ernährungsweise der Fische einer schwallbeeinflussten Strecke zwischen Schwall und Sunk?

Wie in der Einleitung schon erwähnt, wurden zu diesem Thema bisher noch keine speziellen Untersuchungen durchgeführt, deswegen wird die **Hypothese 3** (S.12) sehr allgemein formuliert.

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung zeigen, dass in allen verglichenen Parametern Biomasse und Anzahl Makroinvertebraten pro g Fisch, Evenness, Shannon-Index, Anteil der terrestrischen Tiere schwach bis stark signifikante Unterschiede (P-Werte zwischen 0.01, und 0.1) zwischen Schwall und Sunk bestehen.

Zum besseren Vergleich der Resultate in verschiedenen Flüssen wurde die Tabelle 13 zusammengestellt, die einen Überblick über die Gesamtsituation gibt.

Tabelle 13: Vergleich zwischen Schwall und Sunk: eine Zusammenfassung

Zu jedem Parameter steht in der den jeweiligen Fluss und Fischgrösse entsprechenden Zelle, der hydrologische Zustand (Schwall oder Sunk) bei dem der höhere Wert vorliegt. Das Zeichen „<“ in Klammern weist darauf hin, dass der Unterschied zwischen Schwall und Sunk nur gering ausgeprägt ist. Bei der Rhone wird kein Vergleich zwischen Schwall und Sunk durchgeführt, da keine Abfischung im Sunk stattgefunden hat.

Fluss	Ticino		Morobbia	Moesa	
	klein	gross	gross	klein	gross
Fischgrösse					
Biomasse pro g Fisch (Mediane)	Sunk	Sunk	Sunk	Schwall	Schwall
Anzahl MIV pro g Fisch (Mediane)	Sunk	Sunk	gleich	Schwall	Schwall
Anteil terrestrischer Tiere [%]	Schwall	gleich	Schwall (<)	gleich	Sunk
Anzahl Taxa	Schwall	Schwall	Schwall	Schwall	Sunk
Diversitätsindex nach Shannon	Schwall (<)	Schwall (<)	Schwall (<)	Schwall	Sunk
Eveness	Schwall (<)	Schwall (<)	Schwall (<)	gleich	Sunk

Aus dieser Zusammenfassung wird ersichtlich, dass die Morobbia und Ticino in ihren Ergebnissen fast übereinstimmen. In der Moesa sind die Resultate eher gegenteilig, mit deutlichen Unterschieden zwischen den kleinen und grossen Fischen.

Der **Umfang der aufgenommenen Nahrung** pro g Fisch ist bei Ticino und Morobbia im Sunk, bei Moesa dagegen im Schwall höher. Schwallproben zeigen dafür fast überall (ausser bei den grossen Fischen in der Moesa) eine höhere **Diversität der Nahrung**, ein Ergebnis, das wahrscheinlich eine Folge des erweiterten Nahrungsangebots durch die Katastrophendrift und die Abschwemmung terrestrischer Tiere aus der Uferzone bei Schwallbetrieb ist.

In der **taxonomischen Zusammensetzung der Nahrung** zeigen alle drei untersuchten Flüsse gewisse Ähnlichkeiten:

- Die Nahrung der Fische während des **Schwalls** weist meistens eine höhere Anzahl Taxa und eine ausgewogenere Dominanzstruktur auf
- Bei den **Sunkproben** dagegen macht ein grosser Teil der Taxa oft weniger als 1 % der Nahrung aus (Beispiele: Morobbia und Ticino) und es kommen zusätzliche (im

Vergleich zum Schwall und zur Referenz) dominante Taxa ins Spiel (Baetidae im Ticino, Ephemeroptera Imagines in der Morobbia und der Moesa).

Die Ergebnisse der statistischen Tests bestätigen, dass tatsächlich Unterschiede in der Fischnahrung zwischen Schwall und Sunk festzustellen sind, wobei diese aber je nach Fluss und Fischgrössenklasse unterschiedlich ausgeprägt sein können. Höchst wahrscheinlich spielen auch die Bedingungen der Probenahme, wie die Dauer des Schwalls bzw. des Sunks vor der Probenahme, eine grosse Rolle. Um genauere Aussagen machen zu können, müssen weitere Untersuchungen vorgenommen werden.

Somit wird die Hypothese 3, dass die Zusammensetzung und die aufgenommenen Mengen der Fischnahrung sich zwischen Schwall und Sunk unterscheiden, mit Hilfe der statistischen Methoden bestätigt.

5.3 Fragestellung 3

Wird die Nahrungsökologie der jüngeren Fische in einem anderen Ausmass als die der Älteren durch Schwallbetrieb beeinflusst?

Es ist in mehreren Studien darauf hingewiesen worden, dass die Fressgewohnheiten der Forellen sich mit dem Alter ändern (Tippetts und Moyle 1978, Elliott 1970).

In den beschriebenen Studien wurde folgendes festgestellt:

- Die 0+ Fische sind vor allem auf die Drift-Nahrung spezialisiert.
- Die 1+ Fische sind zwar immer noch auf das driftende Benthos angewiesen, nehmen jedoch auch die schlüpfenden aquatischen und die ins Wasser gefallen terrestrischen Insekten auf.
- Die Nahrung der älteren Fische schliesst auch die nicht driftenden benthischen Makroinvertebraten (wie die Köcherfliegen), die von den Fischen direkt vom Substrat aufgenommen werden mit ein.
- Es besteht eine allgemeine Tendenz zunehmender Nahrungsdiversität und Grösse der gefressenen Makroinvertebraten mit dem zunehmenden Alter der Fische. Gleichzeitig ist die gefressene Biomasse ausgedrückt als Proportion zum Fischgewicht bei kleinen Fischen höher (Elliott 1970).

Diese Ergebnisse haben sich auch in der vorliegenden Arbeit bestätigt. Die Nahrung der älteren Fische zeigte ein wesentlich breiteres Spektrum der Taxa und wies insgesamt grössere Nahrungstiere als die der jüngeren Fische auf (siehe Anhang, Abb. 35-38 zu Moesa und Ticino). Sowohl die Biomasse als auch die Anzahl Makroinvertebraten pro g Fisch waren bei den kleinen Fischen in beiden durchgeführten statistischen Vergleichen (der Proben) signifikant höher als bei den Grossen. Somit ist die durchgeführte Aufteilung der Fische in zwei Grössenklassen, nicht nur erfolgreich sondern auch nötig gewesen, da bei einer gemeinsamen Bearbeitung der beiden Grössengruppen vorhandene Informationen nicht entdeckt worden wären.

Diese Unterschiede in der Ernährung der Fische beider Altersgruppen, könnten zur grösseren Empfindlichkeit der jüngeren Fische auf den Schwallbetrieb führen (**Hypothese 4**, S.12). Diese Annahme hat sich aber statistisch nicht bestätigen lassen. Der durchgeführte mehrfaktorielle

ANOVA-Test weist keine Wechselwirkungen zwischen Fischgrösse und Strecke nach, die bestätigen würden, dass die Nahrungsökologie der kleineren Fischen in einem anderen Ausmass als die der Grösseren vom Schwall beeinflusst wird.

Ein weiteres Ergebnis ist, dass die Anzahl der gefangenen kleineren Fische in den meisten Schwallstrecken sehr gering war. In der Schwallstrecke der Morobbia und in der schwallbeeinflussten Referenz der Rhone wurden gar keine kleinen Fische gefangen. Auch die in derselben Zeit wie diese Diplomarbeit, von April bis Oktober 2005 teilweise an denselben Schwallstrecken vom Ticino und der Morobbia durchgeführten Abfischungen (Künzli 2005), zeigten eine erniedrigte Dichte der jüngeren Fische unterhalb der Kraftwerke.

Solche Resultate sind ein deutlicher Hinweis darauf, dass jüngere Fische stark unter Schwall leiden und in den schwallbeeinflussten Gewässern schlecht überleben. Zu den Ursachen könnte, ausser dem bereits bekannten Stranden und Abschwemmen der kleinen Fische (Salveit et al. 2001, Moog 1993) durchaus auch die Schwierigkeit gehören sich mit ausreichender Nahrung zu versorgen. Die Daten der vorliegenden Untersuchung reichen aber nicht aus, um die letzte Annahme mit Sicherheit bestätigen oder verwerfen zu können. Es lassen sich nur gewisse Tendenzen feststellen.

Somit wird die Hypothese 4, dass die jüngeren Fische dem Schwallbetrieb gegenüber hinsichtlich ihrer Nahrungsökologie empfindlicher sind als die Älteren nicht bestätigt.

6 Schlussfolgerungen

Diese Studie ermöglicht einen Einblick in wenig untersuchte Aspekte der Schwallproblematik und in die für derartige Untersuchungen geeignete Methodik. Allgemein gültige Schlussfolgerungen lassen sich aber nicht ziehen. Für die Dokumentation des Schwall/Sunk Effektes bezüglich der Nahrungsökologie braucht es weitergehende Studien.

6.1 Analyse der Ernährung der Bachforelle in schwallbeeinflussten Bedingungen

Die Studie führte zu folgenden Ergebnissen:

- Es konnten statistisch nachweisbare Unterschiede in der Fischernährung zwischen Schwallstrecken und den entsprechenden Referenzen festgestellt werden.
- In zwei der untersuchten Flüsse (Morobbia und Ticino) war die Biomasse und die Diversität der Fischernahrung in den Schwallstrecken höher als in der Referenz. Dieses Ergebnis kann mit der Nutzung der benthischen Katastrophendrift, die den Fischen eine zusätzliche Nahrungsquelle bietet erklärt werden.
- In der Rhone hat sich die von Baumann (2004) gezeigte starke Reduktion der benthischen Lebensgemeinschaft auch in der Fischernahrung bestätigt.
- Mit Hilfe der Varianzanalyse konnten Unterschiede zwischen Schwall- und Sunk-Zuständen der Schwallstrecken in der Nahrungsökologie der Bachforellen nachgewiesen werden. Die Tendenzen in den einzelnen Flüssen waren aber sehr unterschiedlich und gaben keine Basis für Verallgemeinerungen.
- Die Aufteilung der untersuchten Fische in zwei Grössenklassen hat sich als sehr erfolgreich erwiesen. Es konnten deutliche Unterschiede in der Ernährung der jüngeren und älteren Fische festgestellt werden aber keine offensichtlichen Unterschiede in der Empfindlichkeit der Fische unterschiedlichen Alters auf Schwallbedingungen.

6.2 Mögliche Fehlerquellen

Um die benötigte Freilandarbeit in der für diese Diplomarbeit vorgesehenen Zeit durchführen zu können mussten einige Kompromisse getroffen werden, die möglicherweise einige Fehlerquellen zur Folge hatten.

6.2.1 Der Zeitpunkt der Abfischungen im Bezug auf Schwallbedingungen

Bei der Morobbia und der Moesa wurde im Sunk nur 2-3 Stunden nachdem der Schwallbetrieb abgestellt wurde gefischt. Das könnte zu nicht ganz sauber getrennten Schwall- und Sunkproben führen, denn in den Mägen der im Sunk gefangenen Fische halten sich unter Umständen immer noch Reste der im Schwall aufgenommenen Nahrung auf.

6.2.2 Die Tageszeit

Die Abfischungen in der Referenz wurden meist nicht zur gleichen Tageszeit wie diejenigen in der Schwallstrecke (im Schwall und im Sunk) durchgeführt (Ticino, Morobbia, Rhone). Der Grund dafür war, dass oft zwei Probenahmen am selben Tag realisiert werden mussten.

Da Fische in natürlichen Bedingungen eine gewisse Tagesperiodik in ihrer Fressaktivität zeigen (Elliott 1970), könnte die Probenahme zu verschiedenen Zeiten den Vergleich zwischen Referenz und Schwallstrecke erschweren. Der Einfluss dieses Faktors ist aber schwer abschätzbar, da im Schwall die erwähnte Tagesperiodik der Fressverhaltens oft gar nicht mehr existiert (Cortes et al. 2002).

6.2.3 Begrenzte Anzahl Proben

Die 180 analysierten Proben haben schlussendlich nur 19 der Varianzanalyse zu Verfügung stehende Mittelwerte ergeben – eine für statistische Analysen sehr geringe Anzahl. Folglich ist ein starker Einfluss auf die erhaltenen Ergebnisse durch die hohe Variabilität der Proben zu erwarten.

6.3 Empfehlungen für weitere Studien

Diese Studie hat gezeigt, dass ein Bedarf an weiteren, vertiefenden Untersuchungen des nahrungsökologischen Aspekts der Schwallproblematik besteht.

Es wäre empfehlenswert **24-Stunden-Probenahmen** durchzuführen. Damit liessen sich die in den Abschnitten 6.2.1 und 6.2.2 besprochenen, mit der Wahl des Zeitpunkts der Probenahme verbundenen Fehlerquellen umgehen und zusätzliche wertvolle Informationen erhalten. Die den Bachforellen typische Tagesrhythmik des Fressverhaltens ist oft in den Schwallstrecken stark gestört. Um einen korrekten Vergleich zwischen verschiedenen Flüssen, Strecken oder Zuständen machen zu können, sollte man deswegen diesen Parameter mit einbeziehen.

Sinnvoll wäre auch eine klare **Abtrennung der Schwall- und Sunkzustände**. Die Sunkabfischungen sollten zum Beispiel an Tagen durchgeführt werden, an denen gar nicht turbiniert wird (z.B. an Wochenenden) und nicht an Tagen, an denen bereits im Schwall abgefischt wurde.

Eine weitere Empfehlung für zukünftige Untersuchungen in diesem Gebiet wäre es, parallel zu Magenproben auch **Benthosproben** zu nehmen. Eine solche Vorgehensweise würde ermöglichen, das im Fluss vorliegende Nahrungsangebot mit der von den Fischen aufgenommenen Nahrung zu vergleichen. Diese zusätzliche Probenahme würde einen beträchtlichen Zeitaufwand (auch für die Probenbearbeitung) erfordern, dafür aber sehr interessante Informationen über Selektion der Nahrung durch die Fische in verschiedenen Bedingungen geben.

Ein anderer Aspekt, der bis jetzt noch kaum in Betracht gezogen wurde, aber auf jeden Fall von grossem Interesse wäre, ist der Zusammenhang zwischen der Ernährung der Fische und dem **Temperaturregime des Gewässers**. Letzteres wird, wie schon in mehreren Untersuchungen gezeigt sehr stark von den Schwallereignissen beeinflusst. Meistens führen die Speicherkraftwerke dem Fluss Wasser aus den hoch gelegenen Stauseen zu und setzen damit die Temperatur des Flusswassers sehr stark herab. Da die Verdauungsrate der Fische direkt von der Temperatur des Wassers, in dem sie sich befinden abhängt (Eliott 1972), sollte die gesamte Nahrungsökologie von den durch Schwallereignissen ausgelösten Temperaturschwankungen stark beeinflusst werden.

Eine allgemeine Empfehlung wäre es, sich besser nur **auf einem Fluss zu konzentrieren**, dort aber dafür mehrere und exaktere Probenahmen durchzuführen.

7 Literaturverzeichnis

7.1 Zitierte Publikationen

- Almodovar A. & G. C Nicola (1999). Effects of a small hydropower station upon brown trout *Salmo trutta* L. in the river Hoz Seca (Tagus basin, Spain) one year after regulation. *Regulated Rivers: Research & Management* **15**: 477-484.
- ARGE Trübung Alpenrhein (2001). *Trübung und Schwall im Alpenrhein*. Kurzfassung des Syntheseberichts im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie.
- Baumann P. & I. Klaus (2003). *Gewässerökologische Auswirkungen des Schwallbetriebes: Ergebnisse einer Literaturstudie. Mitteilungen zur Fischerei* **75**. Herausgegeben vom BUWAL, Bern.
- Baumann P. (2004). *Subprojekt I-6 : Revitalisierung und Benthos der Rhone*. Schlussbericht Rhone Ist-Zustand. Limnex AG, Zürich.
- Boller L. & D. Würmli (2004). *Sukzession der Fischfauna in einem neuen Seitengerinne der Aare am Beispiel des Wildibachs*. Diplomarbeit, ETH Zürich.
- Bretschko G. & O. Moog (1990). Downstream effects of intermittent power generation. *Water Science and Technology* **22**(5): 127-135.
- Céréghino R, T. Boutet & P. Lavandier (1997). Abundance, biomass, life history and growth of six Trichoptera species under natural and hydropeaking conditions with hypolimnetic releases in a Pyrenean stream. *Arch. Hydrobiol.* **138**(3): 307-328.
- Céréghino R & P. Lavandier (1998). Influence of hydropeaking on the distribution and larval development of the Plecoptera from a mountain stream. *Regulated Rivers: Research & Management* **14**: 297-309.
- Céréghino R., P. Cugny & P. Lavandier (2002). Influence of intermittent hydropeaking on the longitudinal zonation patterns of benthic macroinvertebrates in a mountain stream. *Internat. Rev. Hydrobiol.* **87**: 47-60.
- Cortes R. M. V., M. T. Ferreira, S. Varandas Oliveira & D. Oliveira (2002). Macroinvertebrate community in a regulated river segment with different flow conditions. *River Research and Applications* **18**: 367-382.
- De Jalon D. G., C. Montes, E. Barcelo, C. Casado & F. Menes (1988). Effects of hydroelectric scheme on fluvial ecosystems within the Spanish Pyrenees. *River Research and Applications* **2**: 479-491.
- Elliott J. M. (1966). The food of the trout (*Salmo trutta*) in a Dartmoor stream. *Journal of Applied Ecology* **4**: 59-71.

- Elliott J. M. (1970). Diel changes in invertebrate drift and the food of trout, *Salmo trutta* L. *Journal of Fish Biology* **2**: 161-165.
- Elliott J. M. (1972). Rates of gastric evacuation in brown trout, *Salmo trutta* L. *Freshwater Biology* **2**: 1-18
- Fehr R. (1987). Einfache Bestimmung der Korngrößenverteilung von Geschiebematerial mit Hilfe der Linienzahlanalyse. *Schweizer Ingenieur und Architekt* **38**: 1104-1109.
- Flodmark L. E. W., L. A. Vøllestad & T. Forseth (2004). Performance of juvenile brown trout exposed to fluctuating water level and temperature. *Journal of Fish Biology* **65**: 460-470.
- Frutiger A. (2004) Ecological impacts of hydroelectric power production on the River Ticino. Part 1: Thermal effects. *Archiv für Hydrobiologie* **159**(1): 43-56.
- Huet M. (1949). Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie* **11**: 333-351.
- Künzli F. (2005) *Fischökologische Untersuchung in vier schwallbeeinflussten Schweizer Fließgewässern*. Diplomarbeit, ETH Zürich.
- Lagarrigue T., R. Céréghino, P. Lim, P. Reyes-Marchant, R. Chappaz, P. Lavandier & A. Belaud (2002). Diel and seasonal variations in brown trout (*Salmo trutta*) feeding patterns and relationship with invertebrate drift under natural and hydropowering conditions in a mountain stream. *Aquat. Living Resources* **15**: 129-137
- Landeshydrologie (BWG) (2001). Hydrologischer Atlas der Schweiz. Bern
- Lauters F., P. Lavandier, P. Lim, S. Sabaton & A. Belaud (1996). Influence of hydropowering on invertebrates and their relationship with fish feeding habits in a Pyrenean river. *Regulated Rivers: Research & Management* **12**: 563-573.
- Limnex (2001). *Schwall/Sunk-Betrieb in schweizerischen Fließgewässern*. Grundlagenstudie im Auftrag des BUWAL. Bern. Abteilung Gewässerschutz und Fischerei.
- Limnex (2004). *Auswirkungen des Schwallbetriebes auf das Ökosystem der Fließgewässer: Grundlagen zur Beurteilung*. Grundlagenstudie im Auftrag von WWF. Zürich. Abteilung Wasser.
- Moog O. (1993). Quantification of daily peak hydropower effects on aquatic fauna and management to minimize environmental impacts. *Regulated Rivers: Research & Management* **8**: 5-14.
- Mühleberg M., A. Bogenrieder & G. F. Behre (1993). *Freilandökologie*. Heidelberg.

- Neveu A. (1999). Feeding strategy of the brown trout (*Salmo trutta L.*) in running waters. In: Bagliniere J. L. & G. Maisse (ed.) *Biology and ecology of the brown trout*. Springer Verlag, Berlin, S. 91-113.
- Romer A. (2004). L'importanza dell'energia idroelettrica a livello mondiale. *Bulletin SEV/VSE* **2**: 29-34
- Salveit S. J., J. H. Halleraker, J. V. Arnekleiv & A. Harby (2001). Field experiments on stranding in juvenile atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) during rapid flow decreases caused by hydropeaking. *Regulated Rivers: Research & Management* **17**: 609-622.
- Schager E. & A. Peter (2004). Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Fische Stufe F (flächendeckend). *Mitteilungen zum Gewässerschutz* **44**. Herausgegeben vom BUWAL, Bern.
- Schälchli U. (2002). *Kolmation, Methoden zur Erkennung und Bewertung*. Fischnetz Publikation. EAWAG, Dübendorf.
- Strahler A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Trans. Am. Geophys. Union* **38**(6): 913-920
- Tippets W. E. & P. B. Moyle (1978). Epibenthic feeding by rainbow trout (*Salmo gairdneri*) in the McCloud river, California. *Journal of Animal Ecology* **47**: 549-559.
- Valentin S., J. G. Wasson & M. Philippe (1995). Effects of hydropower peaking on epilithon and invertebrate community trophic structure. *Regulated Rivers: Research & Management* **10**: 105-119.
- Wüest A. (2002). Alpine hydroelectric power plants and their «long-range effects» on downstream waters. *EAWAG news* **55e**: 18-20

7.2 Verwendete Literatur zur statistischen Bearbeitung der Daten

- Köhler W. (2003). *Biostatistik: eine Einführung für Biologen und Agrarwissenschaftler* (3. Aufl.). Springer, Berlin.
- Lozan J. L. & H. Kausch (2004). *Angewandte Statistik für Naturwissenschaftler* (3. Aufl.). Büro: Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg.

7.3 Bestimmungsliteratur

- Engelhardt W. (1989). *Was lebt im Tümpel, Bach und Weiher?* (13. Aufl.) Kosmos Gesellschaft der Naturfreunde, Frankh'sche Verlagshandlung, Stuttgart.

- Merrith, R.W. and Cummins, K.W. (1996) *An Introduction to the Aquatic Insects of North America* (3.Aufl.). Kendall-Hunt Publishing company.
- Waringer, J.& W. Graf (1997). *Atlas der österreichischen Köcherfliegenlarven: unter Einfluss der angrenzenden Gebiete*. Fachatlas-Univ.-Verl., Wien.
- Tockner, K.(2003). *Systematik aquatischer Makroinvertebraten*. Unterlagen zum Bestimmungskurs, Teil des Praktikums Systematische und ökologische Biologie I, 551-0017-00. ETH Zürich.

8 Verzeichnisse

8.1 Abbildungen

Abbildung 1: Moesa bei Sunk.....	8
Abbildung 2: Die untersuchten Flüsse.....	11
Abbildung 3: Probenahmestellen Ticino	13
Abbildung 4: Probenahmestellen Moesa	15
Abbildung 5: Probenahmestellen Morobbia	17
Abbildung 6: Probenahmestellen Rhone	20
Abbildung 7: Magenspülung.....	23
Abbildung 8: Ticino, Box-Plots zur Menge der aufgenommenen Nahrung.....	28
Abbildung 9: Ticino, Gesamtanzahl der Taxa in der Nahrung.....	29
Abbildung 10: Ticino, taxonomische Zusammensetzung der Nahrung, Fische <140 mm.....	30
Abbildung 11: Ticino, taxonomische Zusammensetzung der Nahrung, Fische >140 mm.....	31
Abbildung 12: Ticino, Evenness der Nahrungszusammensetzung	32
Abbildung 13: Ticino, Shannon-Wiener-Diversitätsindex der Nahrungszusammensetzung.....	32
Abbildung 14: Moesa, Box-Plots zur Menge der aufgenommenen Nahrung.....	34
Abbildung 15: Moesa, Gesamtanzahl der Taxa in der Nahrung.....	35
Abbildung 16: Moesa, taxonomische Zusammensetzung der Nahrung, Fische <140 mm.....	36
Abbildung 17: Moesa, taxonomische Zusammensetzung der Nahrung, Fische >140 mm.....	36
Abbildung 18: Moesa, Evenness der Nahrungszusammensetzung.....	37
Abbildung 19: Moesa, Shannon-Diversitätsindex der Nahrungszusammensetzung.....	38
Abbildung 20: Morobbia, Box-Plots zur Menge der aufgenommenen Nahrung.....	40
Abbildung 21: Morobbia, Gesamtanzahl der Taxa in der Nahrung.....	41
Abbildung 22: Morobbia, taxonomische Zusammensetzung der Nahrung, Fische >140 mm.....	42
Abbildung 23: Morobbia, Evenness der Nahrungszusammensetzung.....	43
Abbildung 24: Morobbia, Shannon-Diversitätsindex der Nahrungszusammensetzung.....	43
Abbildung 25: Rhone, Box-Plots zur Menge der aufgenommenen Nahrung.....	45
Abbildung 26: Rhone, Gesamtanzahl der Taxa in der Nahrung.....	46
Abbildung 27: Rhone, taxonomische Zusammensetzung der Nahrung.....	47
Abbildung 28: Rhone, Evenness der Nahrungszusammensetzung.....	48
Abbildung 29: Rhone, Shannon-Diversitätsindex der Nahrungszusammensetzung.....	48
Abbildung 30: Längenfrequenzhistogramm.....	66
Abbildung 31: Gefressene Biomasse pro g Fisch.....	67
Abbildung 32: Anzahl gefressener Makroinvertebraten pro g Fisch.....	67
Abbildung 33: Evenness der Nahrungszusammensetzung der Fische.....	68
Abbildung 34: Diversität der Nahrungszusammensetzung der Fische.....	68
Abbildung 35: Ticino, kleine Fische	69
Abbildung 36: Ticino, grosse Fische.....	69
Abbildung 37: Moesa, kleine Fische.....	70
Abbildung 38: Moesa, grosse Fische.....	70
Abbildung 39: Morobbia, kleine Fische.....	71
Abbildung 40: Morobbia, grosse Fische.....	71
Abbildung 41: Rhone, kleine Fische.....	72
Abbildung 42: Rhone, grosse Fische.....	72

8.2 Tabellen

Tabelle 1: Charakterisierung der Probenahmestellen, Ticino.....	14
Tabelle 2: Charakterisierung der Probenahmestellen, Moesa.....	16
Tabelle 3: Charakterisierung der Probenahmestellen, Morobbia.....	19
Tabelle 4: Charakterisierung der Probenahmestellen, Rhone.....	21
Tabelle 5: Einteilung der Taxa in Dominanzklassen.....	23
Tabelle 6: Einteilung von Benthos in Grössenklassen.....	24
Tabelle 7: Zusammenfassung der Resultate, Ticino.....	27
Tabelle 8: Zusammenfassung der Resultate, Moesa.....	33
Tabelle 9: Zusammenfassung der Resultate, Morobbia.....	39
Tabelle 10: Zusammenfassung der Resultate, Rhone.....	44
Tabelle 11: Vergleich der Referenz- und der Schwallstrecke, mehrfaktorielle ANOVA.....	49
Tabelle 12: Vergleich von Schwall und Sunk, nested ANOVA.....	49
Tabelle 13: Vergleich zwischen Schwall und Sunk: eine Zusammenfassung.....	54
Tabelle 14: Ticino Referenz, Taxaliste.....	73
Tabelle 15: Ticino Schwall, Taxaliste.....	74
Tabelle 16: Ticino Sunk, Taxaliste.....	74
Tabelle 17: Moesa Referenz, Taxaliste.....	75
Tabelle 18: Moesa Schwall, Taxaliste.....	76
Tabelle 19: Moesa Sunk, Taxaliste.....	77
Tabelle 20: Morobbia Referenz, Taxaliste.....	78
Tabelle 21: Morobbia Schwall, Taxaliste.....	79
Tabelle 22: Morobbia Sunk, Taxaliste.....	79
Tabelle 23: Rhone Referenz, Taxaliste.....	80
Tabelle 24: Rhone Strecke mit starkem Schwall, Taxaliste.....	80

9 Anhang

9.1 Frequenzhistogramm

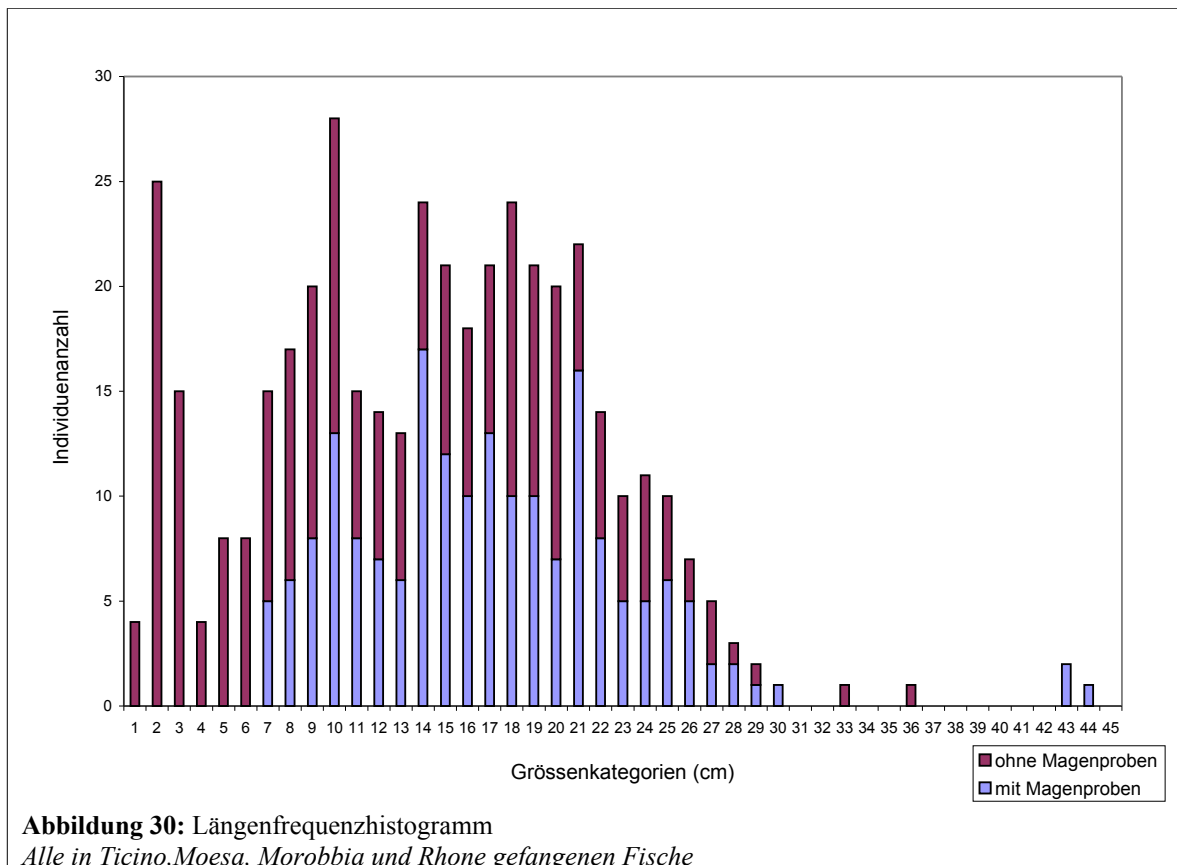


Abbildung 30: Längenfrequenzhistogramm
Alle in Ticino, Moesa, Morobbia und Rhone gefangenen Fische

9.2 Zusammenfassende Graphen zu allen Flüssen

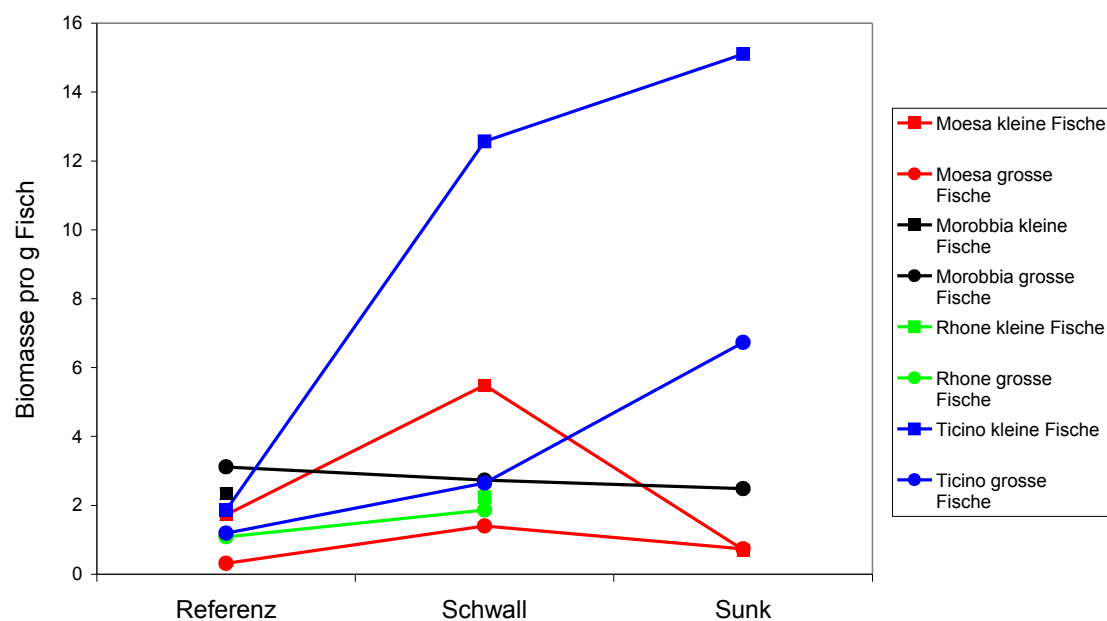


Abbildung 31: Gefressene Biomasse pro g Fisch¹

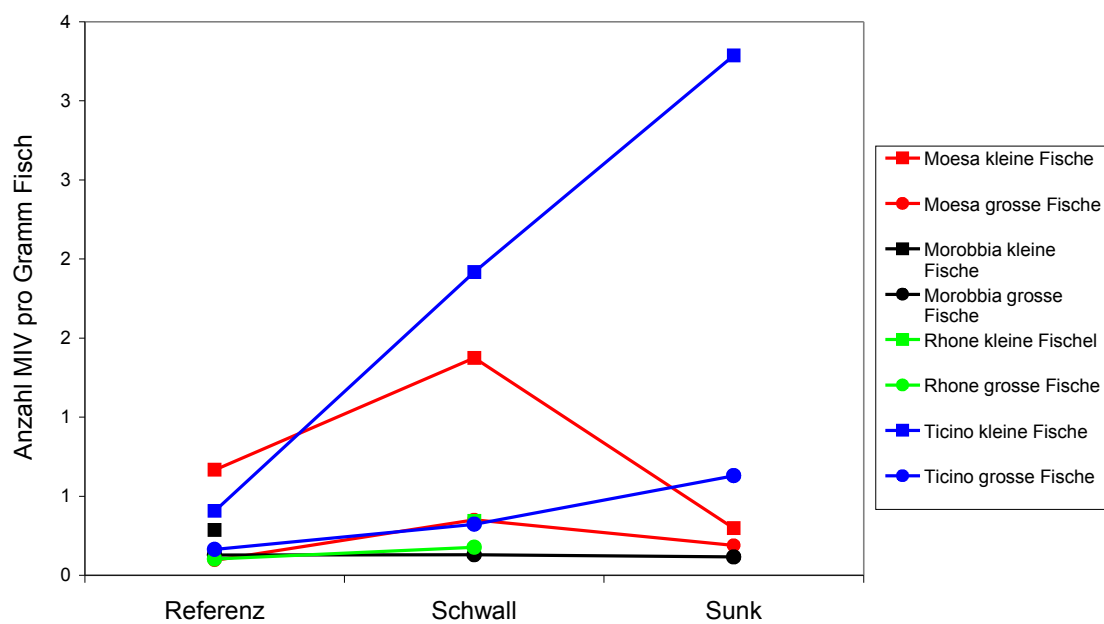


Abbildung 32: Anzahl gefressener Makroinvertebraten pro g Fisch¹

¹ Die Linien in dieser Darstellung dienen lediglich der besseren Anschaulichkeit und sollten nicht als Darstellung einer Tendenz interpretiert werden.

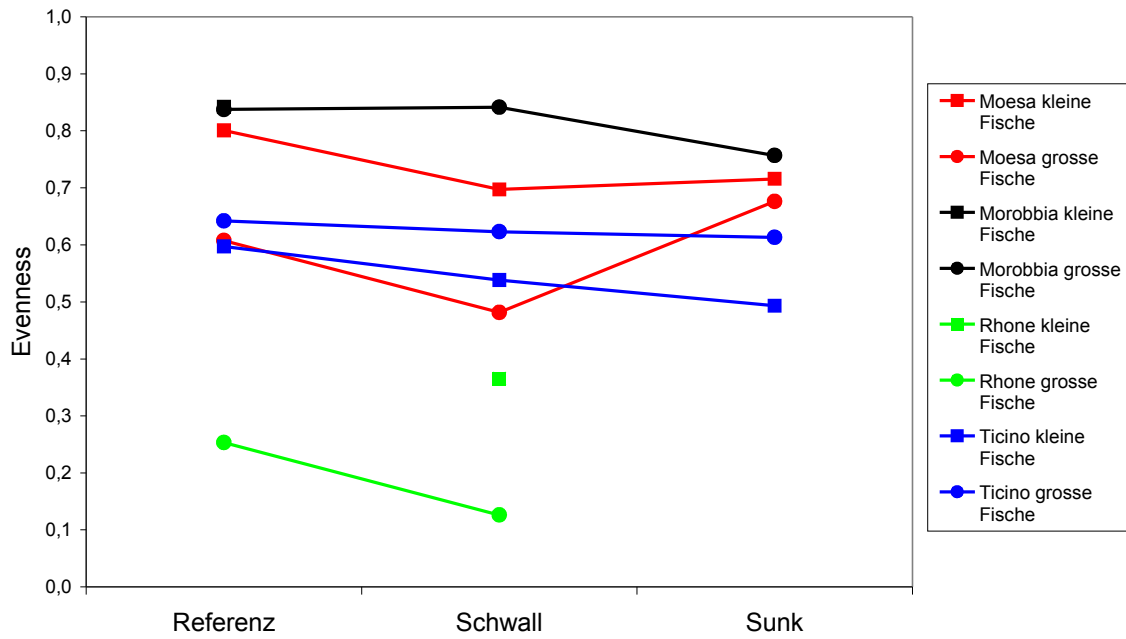


Abbildung 33: Evenness der Nahrungszusammensetzung der Fische¹

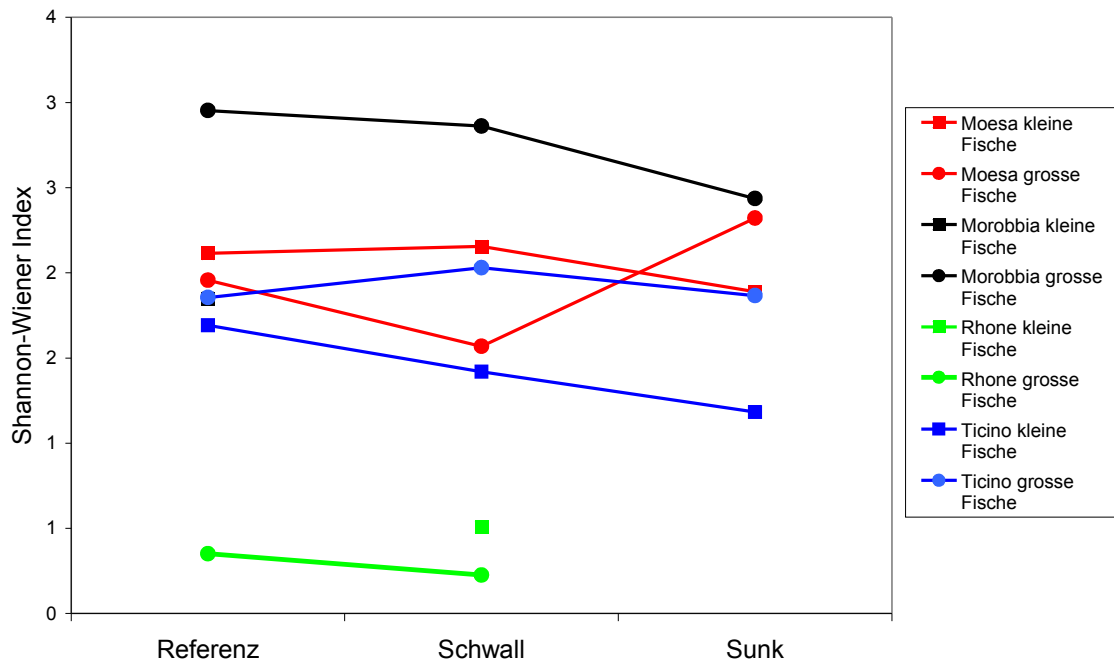


Abbildung 34: Diversität der Nahrungszusammensetzung der Fische¹

¹ Die Linien in diesen Darstellungen dienen lediglich der besseren Anschaulichkeit und sollten nicht als Darstellung einer Tendenz interpretiert werden.

9.3 Grösseneinteilung der gefressenen Insekten in den Proben

9.3.1 Ticino

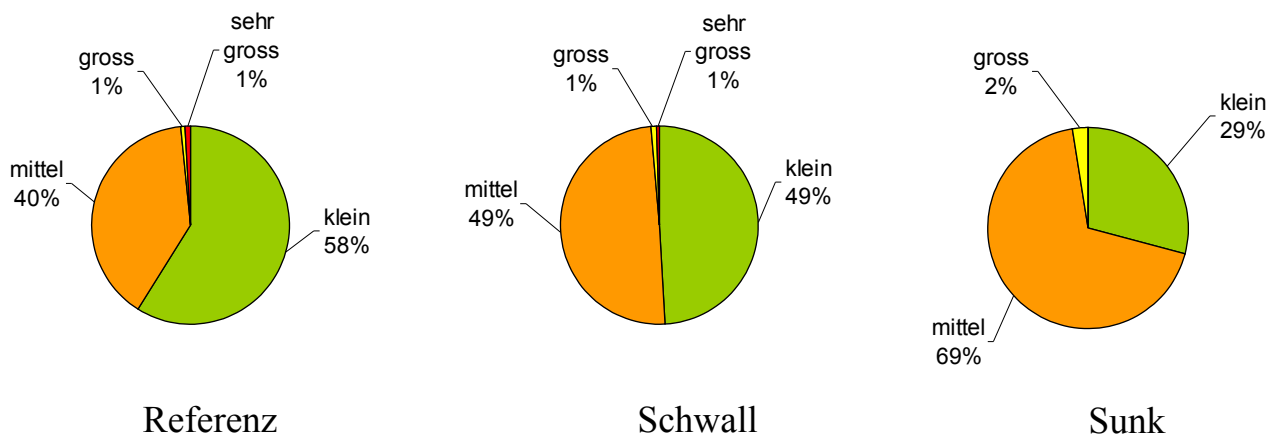


Abbildung 35: Ticino, kleine Fische

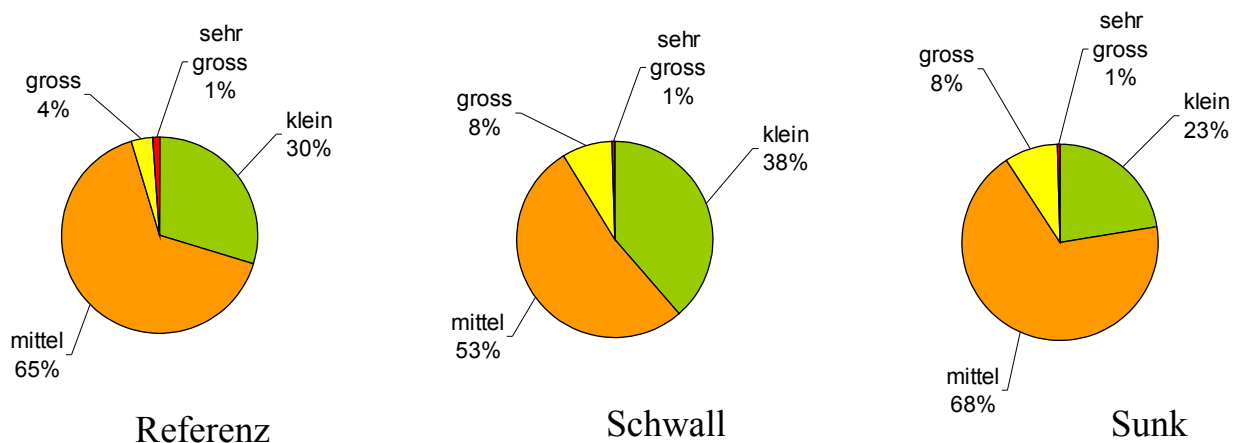


Abbildung 36: Ticino, grosse Fische

9.3.2 Moesa

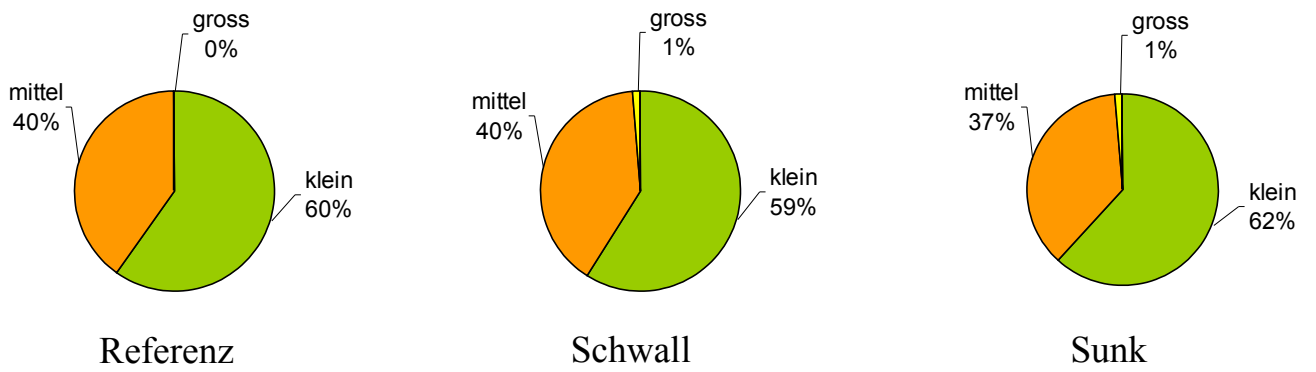


Abbildung 37: Moesa, kleine Fische

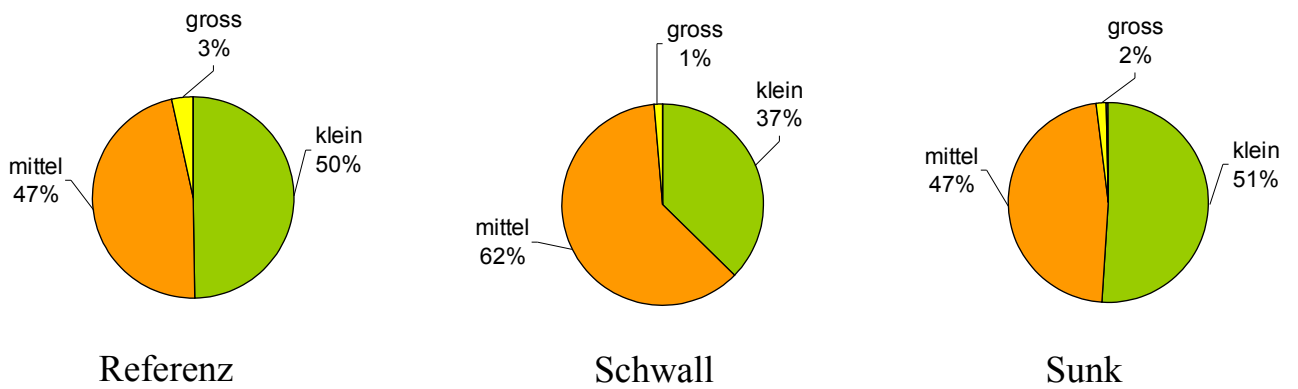


Abbildung 38: Moesa, grosse Fische

9.3.3 Morobbia

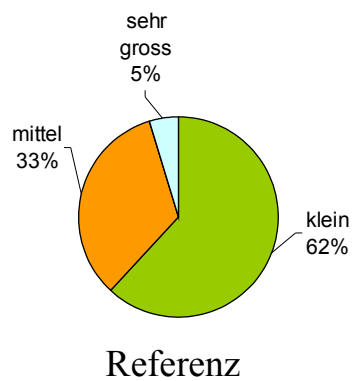


Abbildung 39: Morobbia, kleine Fische

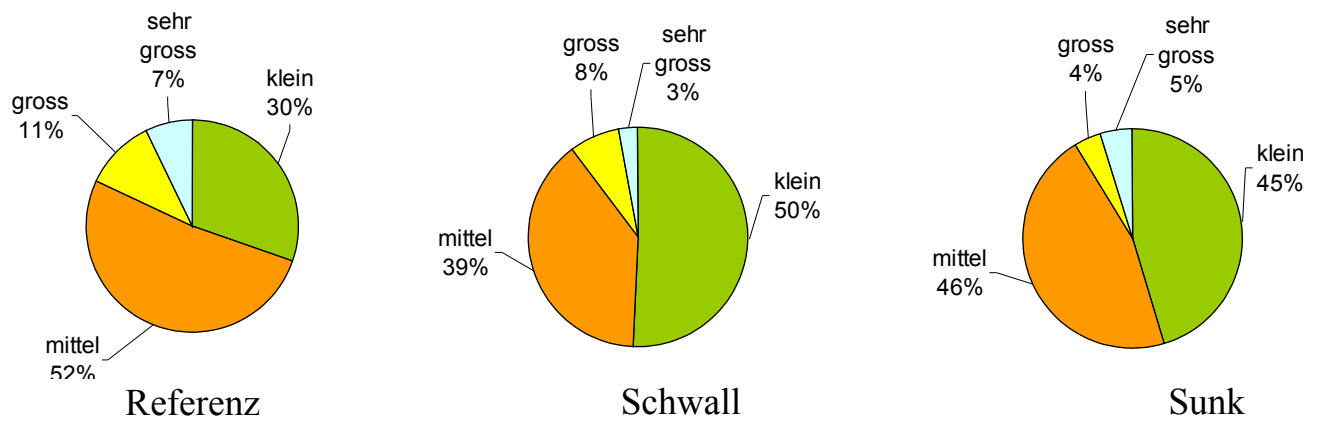
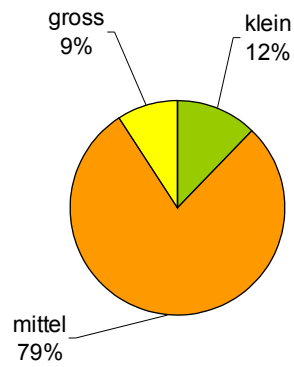


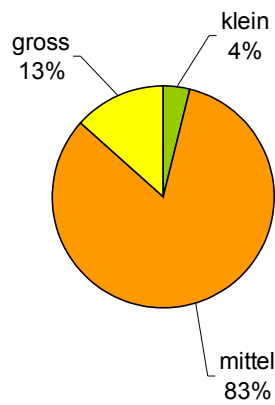
Abbildung 40: Morobbia, grosse Fische

9.3.4 Rhone

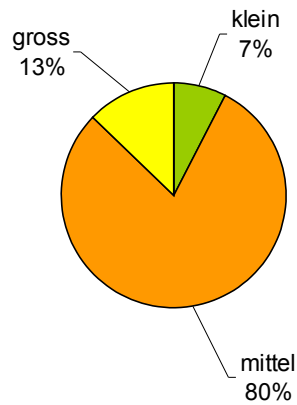


starker Schwall

Abbildung 41: Rhone, kleine Fische



Referenz



starker Schwall

Abbildung 42: Rhone, grosse Fische

9.4 Taxalisten

Hier werden nur die Tiere aufgelistet, die bestimmt werden konnten. Die nicht bestimmbareren Tiere, deren terrestrische oder aquatische Herkunft aber zu erkennen war wurden für die Berechnung der Biomasse, sowie des Anteils der terrestrischen Tiere in der Nahrung verwendet.

9.4.1 Ticino

Tabelle 14: Ticino Referenz, Taxaliste (20 Proben)

Taxa	Anzahl bei allen Fischen aufsummiert	in %	Anzahl bei kleinen Fischen	in %	Anzahl bei grossen Fischen	in %
Leuctridae	120	37.97	29	23.39	91	47.40
Chironomidae Larve	76	24.05	59	47.58	17	8.85
Chironomidae Puppe	37	11.71	13	10.48	24	12.50
Limnephilidae	26	8.23	6	4.84	20	10.42
Baetidae	13	4.11	1	0.81	12	6.25
Diptera Imago	9	2.85	2	1.61	7	3.65
Rhyacophila	6	1.90	2	1.61	4	2.08
Simuliidae Larve	4	1.27	2	1.61	2	1.04
Formicoidea	4	1.27	1	0.81	3	1.56
Lepidoptera Larve	3	0.95	2	1.61	1	0.52
Auchenorrhyncha	3	0.95	0	0.00	3	1.56
Ephemeroptera Imago	2	0.63	1	0.81	1	0.52
Heteroptera	2	0.63	1	0.81	1	0.52
Carabidae	2	0.63	0	0.00	2	1.04
Oligochaeta	2	0.63	1	0.81	1	0.52
Trichoptera Puppe	1	0.32	0	0.00	1	0.52
Trichoptera Imago	1	0.32	1	0.81	0	0.00
Curculionidae	1	0.32	1	0.81	0	0.00
Collembola	1	0.32	0	0.00	1	0.52
Sternorrhyncha	1	0.32	1	0.81	0	0.00
Nematoda	1	0.32	0	0.00	1	0.52
Staphylinidae	1	0.32	1	0.81	0	0.00

Tabelle 15: Ticino Schwall, Taxaliste (20 Proben)

Taxa	Anzahl bei allen Fischen aufsummiert	in %	Anzahl bei kleinen Fischen	in %	Anzahl bei grossen Fischen	in %
Leuctridae	309	42.45	89	44.95	220	41.51
Chironomidae Larve	177	24.31	73	36.87	104	19.62
Limnephilidae	54	7.42	3	1.52	51	9.62
Chironomidae Puppe	35	4.81	10	5.05	25	4.72
Rhyacophila	27	3.71	3	1.52	24	4.53
Formicoidea	22	3.02	0	0.00	22	4.15
Diptera Imago	21	2.88	8	4.04	13	2.45
Baetidae	17	2.34	1	0.51	16	3.02
Perlodidae	11	1.51	1	0.51	10	1.89
Ephemeroptera Imago	7	0.96	1	0.51	6	1.13
Sternorrhyncha	6	0.82	1	0.51	5	0.94
Limoniidae Larve	5	0.69	0	0.00	5	0.94
Hymenoptera	5	0.69	0	0.00	5	0.94
Oligochaeta	5	0.69	4	2.02	1	0.19
Tipulidae Larve	4	0.55	0	0.00	4	0.75
Trichoptera Puppe	3	0.41	0	0.00	3	0.57
Simuliidae Larve	3	0.41	2	1.01	1	0.19
Lepidoptera Larve	3	0.41	0	0.00	3	0.57
Acari	3	0.41	0	0.00	3	0.57
Collembola	2	0.27	0	0.00	2	0.38
Nematoda	2	0.27	0	0.00	2	0.38
ASD Larve ¹	1	0.14	0	0.00	1	0.19
Empididae Puppe	1	0.14	0	0.00	1	0.19
Heteroptera	1	0.14	1	0.51	0	0.00
Carabidae	1	0.14	1	0.51	0	0.00
Curculionidae	1	0.14	0	0.00	1	0.19
Arachnidae	1	0.14	0	0.00	1	0.19
Isopoda	1	0.14	0	0.00	1	0.19

Tabelle 16: Ticino Sunk, Taxaliste (21 Proben)

Taxa	Anzahl bei allen Fischen aufsummiert	in %	Anzahl bei kleinen Fischen	in %	Anzahl bei grossen Fischen	in %
Leuctridae	510	38.58	205	61.56	304	30.93
Baetidae	326	24.66	12	3.60	309	31.43
Chironomidae Larve	146	11.04	76	22.82	70	7.12
Rhyacophila	102	7.72	13	3.90	88	8.95
Diptera Imago	89	6.73	4	1.20	85	8.65
Chironomidae Puppe	54	4.08	16	4.80	38	3.87
Limnephilidae	42	3.18	1	0.30	41	4.17
Perlodidae	8	0.61	1	0.30	7	0.71
Hymenoptera	7	0.53	0	0.00	7	0.71
Heteroptera	6	0.45	0	0.00	6	0.61
Trichoptera Puppe	5	0.38	0	0.00	5	0.51
Simuliidae Puppe	5	0.38	0	0.00	5	0.51
Formicoidea	5	0.38	0	0.00	5	0.51
Tipulidae Larve	4	0.30	2	0.60	2	0.20
Simuliidae Larve	3	0.23	0	0.00	3	0.31
Heptageniidae	2	0.15	1	0.30	1	0.10
Nemouridae	2	0.15	0	0.00	2	0.20
Lepidoptera Larve	2	0.15	0	0.00	2	0.20
Carabidae	1	0.08	0	0.00	1	0.10
Fischegel	1	0.08	1	0.30	0	0.00
Acari	1	0.08	1	0.30	0	0.00
Arachnidae	1	0.08	0	0.00	1	0.10

¹ Unter der Abkürzung „ASD“ werden Tiere aufgelistet, die zu einer der folgenden Dipterenfamilien gehören und aus Zeitgründen nicht weiter bestimmbar waren: Anthomyiidae, Sciomyzidae, Dolichopodidae.

9.4.2 Moesa

Tabelle 17: Moesa Referenz, Taxaliste (22 Proben)

Taxa	Anzahl bei allen Fischen aufsummiert	in %	Anzahl bei kleinen Fischen	in %	Anzahl bei grossen Fischen	in %
Baetidae	190	47.03	20	26.32	170	51.83
Leuctridae	52	12.87	14	18.42	38	11.59
Stenomorphyncha	38	9.41	13	17.11	25	7.62
Diptera Imago	20	4.95	10	13.16	10	3.05
Chironomidae Larve	13	3.22	1	1.32	12	3.66
Ephemeroptera Imago	12	2.97	2	2.63	10	3.05
Heptageniidae	10	2.48	4	5.26	6	1.83
Hymenoptera	10	2.48	1	1.32	9	2.74
Plecoptera Imago	9	2.23	4	5.26	5	1.52
Trichoptera Imago	8	1.98	0	0	8	2.44
Chironomidae Puppe	7	1.73	2	2.63	5	1.52
Rhyacophila	6	1.49	0	0	6	1.83
Auchenorrhyncha	5	1.24	2	2.63	3	0.91
Nemouridae	3	0.74	0	0	3	0.91
Simuliidae Larve	3	0.74	1	1.32	2	0.61
Heteroptera	3	0.74	1	1.32	2	0.61
Collembola	3	0.74	0	0	3	0.91
Vertebrata	2	0.5	0	0	2	0.61
Staphylinidae	2	0.5	0	0	2	0.61
Isopoda	2	0.5	0	0	2	0.61
Hydropsychidae	1	0.25	0	0	1	0.3
Limoniidae Larve	1	0.25	0	0	1	0.3
Formicoidea	1	0.25	0	0	1	0.3
Lepidoptera Larve	1	0.25	0	0	1	0.3
Acari	1	0.25	1	1.32	0	0
"Myriapoda"	1	0.25	0	0	1	0.3

Tabelle 18: Moesa Schwall, Taxaliste (23 Proben)

Taxa	Anzahl bei allen Fischen aufsummiert	in %	Anzahl bei kleinen Fischen	in %	Anzahl bei grossen Fischen	in %
Baetidae	572	42.59	65	18.62	429	43.55
Leuctridae	489	36.41	71	20.34	352	35.74
Ephemeroptera Imago	110	8.19	64	18.34	43	4.37
Heptageniidae	100	7.45	35	10.03	45	4.57
Chironomidae Larve	78	5.81	56	16.05	19	1.93
Chironomidae Puppe	31	2.31	15	4.30	12	1.22
Diptera Imago	30	2.23	11	3.15	18	1.83
Nemouridae	23	1.71	5	1.43	16	1.62
Sternorrhyncha	16	1.19	5	1.43	10	1.02
Perlodidae	9	0.67	7	2.01	2	0.20
"Myriapoda"	8	0.60	3	0.86	4	0.41
Isopoda	8	0.60	2	0.57	6	0.61
Simuliidae Larve	6	0.45	1	0.29	3	0.30
Limoniidae Larve	4	0.30	1	0.29	2	0.20
Hymenoptera	4	0.30	1	0.29	3	0.30
Arachnidae	4	0.30	0	0.00	4	0.41
Rhyacophila	3	0.22	1	0.29	2	0.20
PTLC Puppe ¹	3	0.22	1	0.29	2	0.20
Simuliidae Puppe	3	0.22	1	0.29	2	0.20
Oligochaeta	3	0.22	0	0.00	3	0.30
Tipulidae Larve	2	0.15	1	0.29	1	0.10
Formicoidea	2	0.15	0	0.00	2	0.20
Plecoptera Imago	2	0.15	1	0.29	1	0.10
Auchenorrhyncha	2	0.15	0	0.00	2	0.20
Perlidae	1	0.07	0	0.00	0	0.00
Dytiscidae Larve	1	0.07	0	0.00	0	0.00
Blephariceridae	1	0.07	1	0.29	0	0.00
Hydropsychidae	1	0.07	1	0.29	0	0.00
Fisch	1	0.07	0	0.00	0	0.00
Mecoptera	1	0.07	0	0.00	1	0.10
Lepidoptera	1	0.07	0	0.00	1	0.10
Collembola	1	0.07	0	0.00	0	0.00

¹ Unter der Abkürzung „PTCL“ werden Tiere aufgelistet, die zu einer der folgenden Dipterenfamilien gehören und aus Zeitgründen nicht weiter bestimmbar waren: Ptycopteridae, Tipulidae, Cylindrotomidae, Limoniidae.

Tabelle 19: Moesa Sunk, Taxaliste (22 Proben)

Taxa	Anzahl bei allen Fischen aufsummiert	in %	Anzahl bei kleinen Fischen	in %	Anzahl bei grossen Fischen	in %
Baetidae	207	22.07	19	21.35	173	21.44
Leuctridae	193	20.58	37	41.57	148	18.34
Ephemeroptera Imago	160	17.06	3	3.37	152	18.84
Sternorrhyncha	88	9.38	4	4.49	83	10.29
Heptageniidae	67	7.14	5	5.62	56	6.94
Diptera Imago	65	6.93	8	8.99	53	6.57
Plecoptera Imago	31	3.30	1	1.12	30	3.72
Hymenoptera	29	3.09	2	2.25	26	3.22
Chironomidae Puppe	16	1.71	4	4.49	12	1.49
Chironomidae Larve	16	1.71	2	2.25	14	1.73
Nemouridae	12	1.28	1	1.12	10	1.24
Limoniidae Larve	6	0.64	0	0.00	6	0.74
Staphylinidae	6	0.64	0	0.00	6	0.74
Rhyacophila	4	0.43	0	0.00	4	0.50
Hydropsychidae	4	0.43	0	0.00	3	0.37
Auchenorrhyncha	4	0.43	0	0.00	4	0.50
Arachnidae	3	0.32	0	0.00	3	0.37
"Myriapoda"	3	0.32	0	0.00	3	0.37
Isopoda	3	0.32	0	0.00	3	0.37
Perlodidae	2	0.21	0	0.00	2	0.25
PTCL Puppe ¹	2	0.21	0	0.00	2	0.25
Tipulidae Larve	2	0.21	0	0.00	2	0.25
Heteroptera	2	0.21	0	0.00	2	0.25
Coleoptera Larve (terr.)	2	0.21	1	1.12	1	0.12
Curculionidae	2	0.21	0	0.00	2	0.25
Oligochaeta	2	0.21	0	0.00	2	0.25
Formicoidea	1	0.11	1	1.12	0	0.00
Acari	1	0.11	0	0.00	1	0.12
Empididae Puppe	1	0.11	1	1.12	0	0.00
Cantharidae	1	0.11	0	0.00	1	0.12
Mollusca	1	0.11	0	0.00	1	0.12
Archaeognatha	1	0.11	0	0.00	1	0.12
Neuroptera	1	0.11	0	0.00	1	0.12

¹ Unter der Abkürzung „PTCL“ werden Tiere aufgelistet, die zu einer der folgenden Dipterenfamilien gehören und aus Zeitgründen nicht weiter bestimmbar waren: Ptycopteridae, Tipulidae, Cylindrotomidae, Limoniidae.

9.4.3 Morobbia

Tabelle 20: Morobbia Referenz, Taxaliste (21 Proben)

Taxa	Anzahl bei allen Fischen aufsummiert	in %	Anzahl bei kleinen Fischen	in %	Anzahl bei grossen Fischen	in %
Baetidae	35	16.36	8	42.11	27	13.85
ASD ¹	26	12.15	0	0.00	26	13.33
Limnephilidae	22	10.28	0	0.00	22	11.28
Diptera Imago	15	7.01	0	0.00	15	7.69
Blephariceridae	12	5.61	2	10.53	10	5.13
Oligochaeta	11	5.14	0	0.00	11	5.64
Lepidoptera Larve	10	4.67	0	0.00	10	5.13
Rhyacophila	9	4.21	0	0.00	9	4.62
Heptageniidae	9	4.21	2	10.53	7	3.59
Sternorrhyncha	8	3.74	0	0.00	8	4.10
Ephemeroptera Imago	6	2.80	0	0.00	6	3.08
Carabidae	5	2.34	0	0.00	5	2.56
Hydropsychidae	5	2.34	1	5.26	4	2.05
Hymenoptera	4	1.87	0	0.00	4	2.05
Formicoidea	4	1.87	0	0.00	4	2.05
Chironomidae Larve	4	1.87	1	5.26	3	1.54
Nematoda	3	1.40	0	0.00	3	1.54
Chironomidae Puppe	3	1.40	1	5.26	2	1.03
Leuctridae	3	1.40	2	10.53	1	0.51
Limoniidae Larve	2	0.93	0	0.00	2	1.03
Arachnidae	2	0.93	0	0.00	2	1.03
Isopoda	2	0.93	0	0.00	2	1.03
Nemouridae	2	0.93	1	5.26	1	0.51
Fisch	2	0.93	1	5.26	1	0.51
Brachycentridae	1	0.47	0	0.00	1	0.51
Statiomyidae	1	0.47	0	0.00	1	0.51
Odontoceridae	1	0.47	0	0.00	1	0.51
Trichoptera Puppe	1	0.47	0	0.00	1	0.51
Simuliidae Larve	1	0.47	0	0.00	1	0.51
Tipulidae Larve	1	0.47	0	0.00	1	0.51
Molch	1	0.47	0	0.00	1	0.51
Auchenorrhyncha	1	0.47	0	0.00	1	0.51
Collembola	1	0.47	0	0.00	1	0.51
Cermabycidae	1	0.47	0	0.00	1	0.51

¹ Unter der Abkürzung „ASD“ werden Tiere aufgelistet, die zu einer der folgenden Dipterenfamilien gehören und aus Zeitgründen nicht weiter bestimmbar waren: Anthomyidae, Sciomyzidae, Dolichopodidae.

Tabelle 21: Morobbia Schwall, Taxaliste (10 Proben)

Taxa	Anzahl bei grossen Fischen	in %
Diptera Imago	30	21.28
Baetidae	16	11.35
Formicoidea	11	7.80
Hymenoptera	10	7.09
Simuliidae Larve	9	6.38
Heptageniidae	7	4.96
Mollusca	6	4.26
Chironomidae Larve	6	4.26
Sternorrhyncha	6	4.26
Isopoda	5	3.55
Hydropsychidae	4	2.84
Limnephilidae	3	2.13
Limoniidae Larve	3	2.13
Ephemeroptera Imago	3	2.13
Carabidae	3	2.13
Auchenorrhyncha	3	2.13
Oligochaeta	2	1.42
Nematoda	2	1.42
ASD ¹	1	0.71
Blephariceridae Puppe	1	0.71
Statiomyidae	1	0.71
Dytiscidae Larve	1	0.71
Chironomidae Puppe	1	0.71
Blephariceridae Larve	1	0.71
Ceratopogonidae	1	0.71
Fisch	1	0.71
Cantharidae	1	0.71
Mecoptera	1	0.71
Myriapoda	1	0.71
Arachnidae	1	0.71

Tabelle 22: Morobbia Sunk, Taxaliste (10 Proben)

Taxa	Anzahl bei grossen Fischen	in %
Diptera Imago	31	29.52
Simuliidae Larve	19	18.10
Baetidae	11	10.48
Hymenoptera	9	8.57
Limoniidae Larve	5	4.76
Chironomidae Larve	4	3.81
Heptageniidae	3	2.86
Mollusca	3	2.86
Leptophlebiidae	2	1.90
Formicoidea	2	1.90
Myriapoda	2	1.90
Leuctridae	1	0.95
Perlodidae	1	0.95
Dytiscidae Larve	1	0.95
Rhyacophila	1	0.95
Blephariceridae Puppe	1	0.95
Simuliidae Puppe	1	0.95
Chironomidae Puppe	1	0.95
Tipulidae Larve	1	0.95
Hydropsychidae	1	0.95
Fisch	1	0.95
Carabidae	1	0.95
Staphylinidae	1	0.95
Sternorrhyncha	1	0.95
Isopoda	1	0.95

¹ Unter der Abkürzung „ASD“ werden Tiere aufgelistet, die zu einer der folgenden Dipterenfamilien gehören und aus Zeitgründen nicht weiter bestimmbar waren: Anthomyiidae, Sciomyzidae, Dolichopodidae.

9.4.4 Rhone

Tabelle 23: Rhone Referenz, Taxaliste (6 Proben)

Taxa	Anzahl bei grossen Fischen	in %
Limnephilidae	48	92.31
Baetidae	1	1.92
Formicoidea	2	3.85
Sternorrhyncha	1	1.92

Tabelle 24: Rhone Strecke mit starkem Schwall, Taxaliste (16 Proben)

Taxa	Anzahl bei allen Fischen summiert	in %	Anzahl bei kleinen Fischen	in %	Anzahl bei grossen Fischen	in %
Limnephilidae	222	94.87	28	87.50	194	96.04
Baetidae	4	1.71	1	3.13	3	1.49
Formicoidea	4	1.71	2	6.25	2	0.99
Heptageniidae	1	0.43	0	0.00	1	0.50
Sternorrhyncha	2	0.85	1	3.13	1	0.50
Carabidae	1	0.43	0	0.00	1	0.50

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Maria Alp

Mai 2006