

Zeitschrift: Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft
Herausgeber: St. Gallische Naturwissenschaftliche Gesellschaft
Band: 89 (2000)

Artikel: Struktur der Wirbellosenfauna an der Flussohle eines voralpinen Fliessgewässers (Necker SG)
Autor: Burgherr, Peter
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-832580>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 30.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Struktur der Wirbellosenfauna an der Flusssohle eines voralpinen Fliessgewässers (Necker SG)

Peter Burgherr

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	137
1. Einleitung	138
2. Untersuchungsgebiet und Probestellen	139
3. Material und Methoden	141
3.1 Datenerfassung im Feld und Labor	141
3.2 Datenanalyse	142
4. Resultate	143
4.1 Morphologie und Hydrologie ..	143
4.2 Multivariate Analyse der physiko-chemischen Parameter (inkl. Diskussion)	145
4.3 Partikuläres organisches Material und Aufwuchsalgen	145
4.4 Zusammensetzung, Struktur und Funktion der Wirbellosenfauna .	148
5. Diskussion	151
5.1 Partikuläres organisches Material und Aufwuchsalgen auf den Steinen	151
5.2 Partikuläres organisches Material in den Hessproben	151
5.3 Wirbellosenfauna	151
5.4 Schlussbetrachtungen	152
Verdankungen	153
Literaturverzeichnis	153

Zusammenfassung

Der Necker ist ein voralpines Fliessgewässer nördlich des Säntisgebietes in der Ostschweiz. Typisch für das Abflussregime sind die kaum vorhersagbaren Abflussspitzenwerte, deren Auftreten relativ unabhängig von der Jahreszeit ist. Die durch den Menschen verursachten chemischen, morphologischen und hydraulischen Beeinträchtigungen sind als gering einzustufen, weshalb der Necker als weitgehend naturnah bezeichnet werden kann.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die strukturellen und funktionellen Veränderungen in der Wirbellosenfauna entlang der Flusssohle des Neckers zu untersuchen und in Bezug zu den geomorphologischen Gradienten im Längsverlauf zu setzen. Dazu wurde im Juni 1994 an drei repräsentativen Stellen im Ober-, Mittel- und Unterlauf die Wirbellosenfauna an der Flusssohle beprobt. Zusätzlich wurden auch ausgewählte Umweltparameter erfasst, um Unterschiede zwischen den einzelnen Probestellen in der Morphologie und Hydrologie, im Temperaturregime, dem Chemismus sowie dem Nahrungsangebot für die Wirbellosen zu quantifizieren. Schliesslich wurde auch die Anwendbarkeit des *«River Continuum Concept»* auf ein voralpines Fliessgewässer getestet.

Die drei Probestellen konnten anhand der jeweiligen Umweltbedingungen klar voneinander getrennt werden. Auch die Wirbellosenfauna zeigte ausgeprägte Unterschiede hinsichtlich der Besiedlungsdichten, der Taxa-Zusammensetzung und der Anteile verschiedener Ernährungstypen zwischen den Probestellen. Dies weist auf die Anpassungen der Lebensgemeinschaften an die sich ändernden Umweltbedingungen im Längsverlauf des Flusses hin. Die Vorhersagen des ‹River Continuum Concept› bezüglich longitudinaler Veränderungen in der Zusammensetzung des partikulären organischen Materials und der Anteile der verschiedenen Ernährungstypen an der Wirbellosenfauna konnten jedoch nur teilweise bestätigt werden.

1. Einleitung

Fliessgewässer zeichnen sich durch eine extreme räumliche und zeitliche Komplexität innerhalb eines einzelnen Flusses aus, aber auch durch eine grosse Variabilität zwischen verschiedenen Flüssen. Diese Lebensräume wurden durch eine Vielzahl menschlicher Einflüsse und Eingriffe beeinträchtigt oder sind immer noch gefährdet. Für ein effektives Management unserer Flüsse und ihrer Ressourcen ist es notwendig, die Faktoren zu verstehen, welche die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften, die Artenvielfalt (Biodiversität) und die ökologischen Prozesse in relativ unbeeinträchtigten Flüssen bestimmen.

Damit die Fliessgewässerökologie über die blosse Beschreibung von Phänomenen hinauskommt und Vorhersagen machen kann, ist die Entwicklung eines fundierten konzeptionellen Gerüsts, das grundlegende Ziel jeder wissenschaftlichen Disziplin, unabdingbar. Konzepte können anhand verschiedener Kriterien zusammengefasst werden. Veränderungen entlang eines Flusses können graduell erfolgen (klinaler Gradient), oder es können verschiedene relativ

klar abgegrenzte Bereiche unterschieden werden (zonaler Gradient). Eine andere Art der Einteilung besteht darin, zwischen Konzepten mit einer räumlichen, zeitlichen oder kombinierten räumlich-zeitlichen Perspektive zu unterscheiden. TOWNSEND (1996) gibt eine umfassende Übersicht über die Vielfalt der Konzepte in der Fliessgewässerökologie.

Die heterogene und hierarchische Natur von Fliessgewässer-Ökosystemen kann in einem vierdimensionalen Modell veranschaulicht werden (WARD 1989). Die drei räumlichen Dimensionen umfassen:

1. longitudinale Veränderungen von der Quelle zur Mündung eines Flusses,
2. laterale Austauschprozesse zwischen wasserführenden Gerinnen und Ufervegetation oder Schwemmen sowie
3. vertikal zwischen Gerinne und Grundwasserkörper.

Als vierte Dimension gilt es, den zeitlichen Aspekt zu berücksichtigen, der für die Struktur und die Funktion eines Fliessgewässers und seiner Lebensgemeinschaften eine entscheidende Rolle spielt. In der vorliegenden Arbeit erfolgte eine Beschränkung auf longitudinale Veränderungen. Diese sind charakteristisch für alle Fliessgewässer, da in den Gerinnen Wasser sowie gelöste und partikuläre Stoffe von der Quelle zur Mündung transportiert werden. In diesem Sinne sind Fliessgewässer offene Systeme, da Lebensgemeinschaften und Prozesse in den Oberläufen jene weiter flussabwärts beeinflussen.

Die Veränderungen in der Zusammensetzung der Wirbellosenfauna und die Dynamik des Ökosystems im Längsverlauf eines Flusses können auf der Basis des ‹River Continuum Concept› (RCC, VANNOOT et al. 1980) analysiert werden. Die Hypothese des RCC besagt, dass die biologische Organisation in einem Fluss an die geomorphologischen Gradienten im Längsverlauf angepasst ist und sich deshalb über längere Abschnitte Lebensgemeinschaften einstellen, die im Gleichgewicht mit den physikalischen Gegebenheiten stehen. In der vorliegenden Ar-

beit wurde erstmalig der Versuch unternommen, das RCC auf ein voralpines Fliessgewässer anzuwenden.

Untersuchungsgewässer war der Necker im Kanton St.Gallen, der über mehrere Jahre von der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) in Dübendorf erforscht wurde. Unter anderem wurden Studien zu Störungen (MATTHÄI et al. 1996), zu den Aufwuchsalgen auf den Steinen (UEHLINGER 1991), zum partikulären organischen Material (NAEGELI 1992) und zur Wirbellosenfauna (FRUTIGER 1983, IMHOF 1994) erstellt. Einzig die Arbeit von IMHOF (1994) über räuberische Steinfliegenlarven trug den Phänomenen des Längsverlaufs Rechnung. Im Gegensatz dazu erfolgte in der vorliegenden Untersuchung keine Beschränkung auf

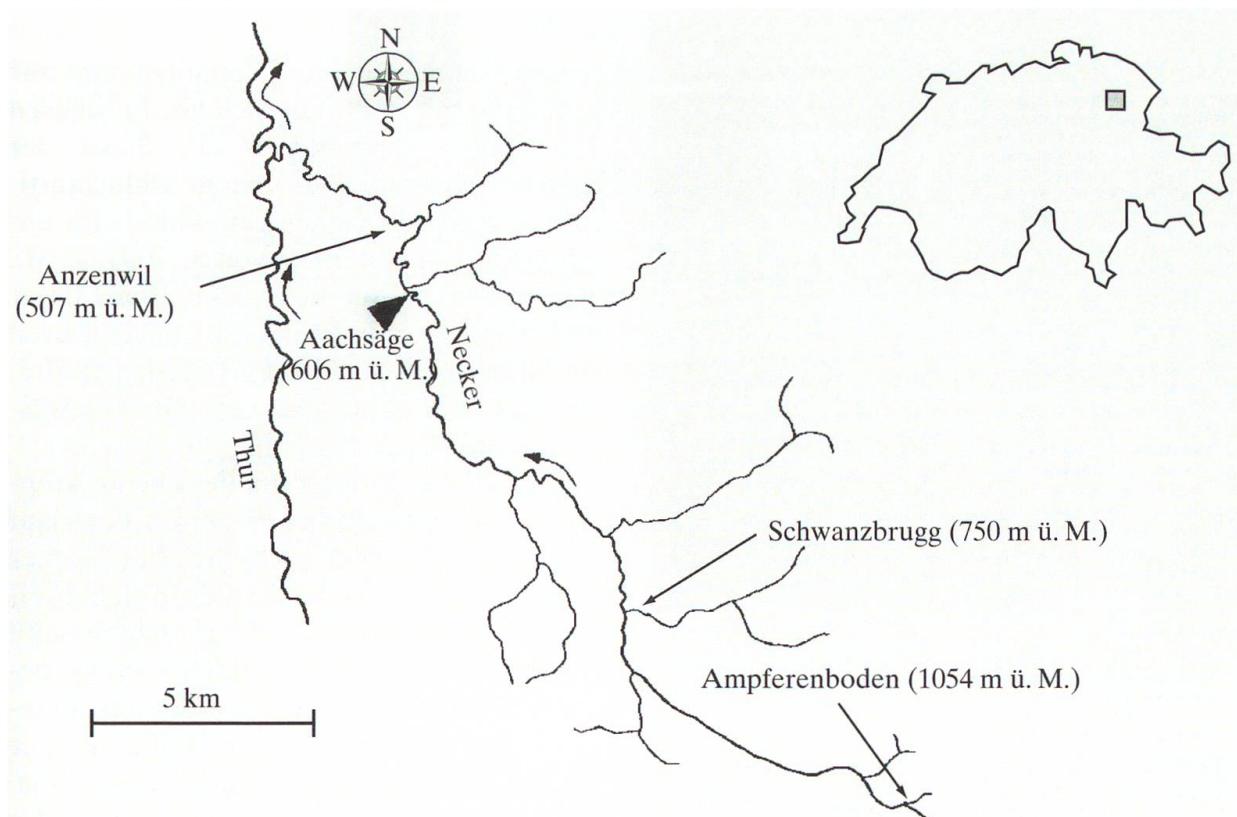
eine bestimmte Gruppe der Wirbellosenfauna.

Daraus ergaben sich die folgenden Fragestellungen: Sind Veränderungen in den Umweltbedingungen im Längsverlauf des Neckers festzustellen? Führen diese zu Unterschieden in der Zusammensetzung der Wirbellosenfauna und in deren Besiedlungsdichten? Sind longitudinale Veränderungen auch in der funktionellen Struktur, also den Anteilen der einzelnen Ernährungstypen an den Lebensgemeinschaften, zu beobachten?

2. Untersuchungsgebiet und Probestellen

Der Necker ist ein voralpines Fliessgewässer im östlichen Teil der Schweiz. Sein Quellgebiet liegt auf 1360 m ü. M. nördlich der Schwägalp nahe dem Säntisgebiet, und er mündet nach 32 km Fliessstrecke bei Lütisburg auf 550 m ü. M. in die Thur (Abbildung 1). Die Entwässerung erfolgt via Thur und Rhein zur Nordsee hin. Das 88 km²

Abbildung 1:
Der Necker. Geografische Lage,
Probestellen und Pegelstation
Aachsäge bei Mogelsberg
(verändert nach UEHLINGER 1991).



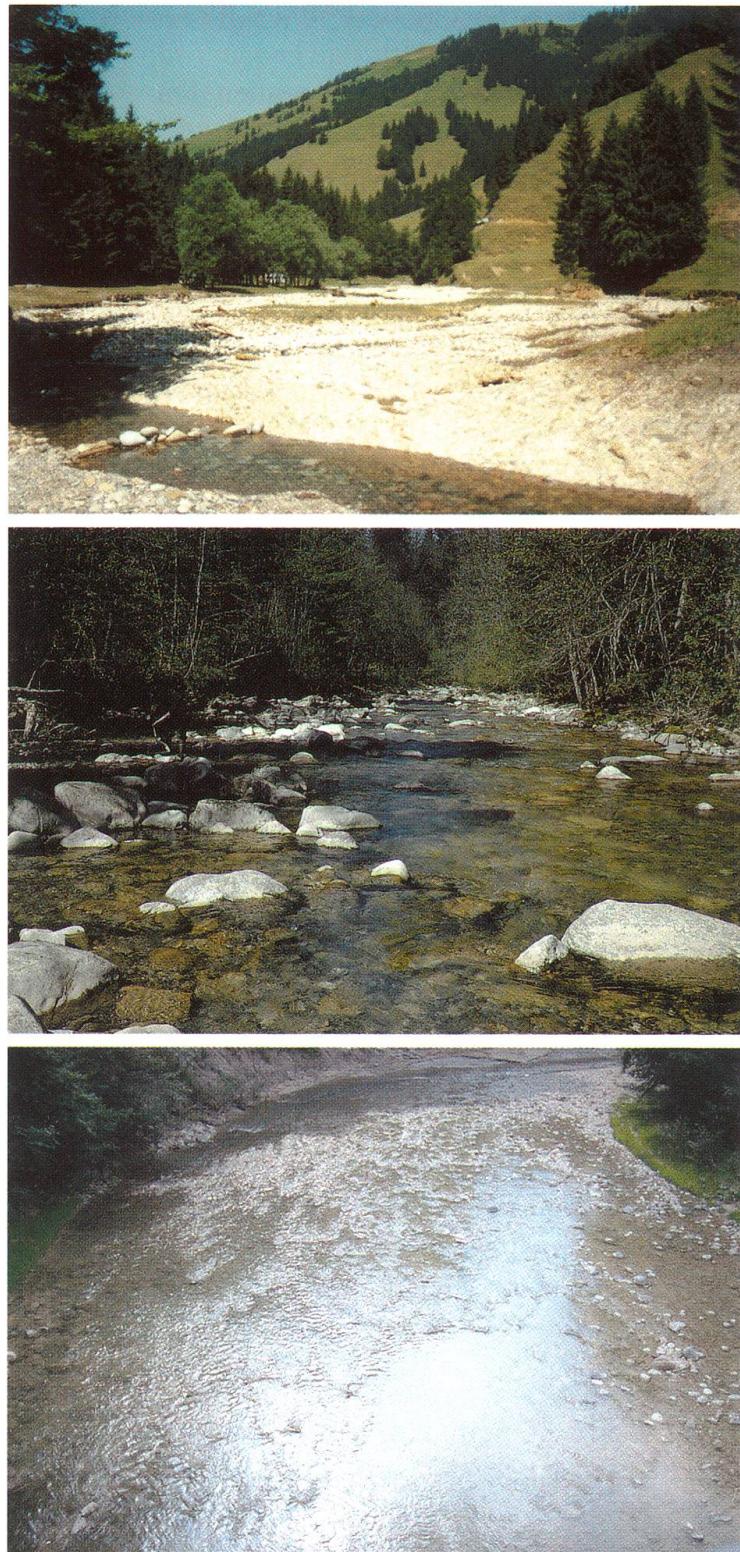


Abbildung 2:
Fotos der Probestellen.
Ampferenboden,
Schwanzbrugg und
Anzenwil.

große Einzugsgebiet des Neckers liegt in den nördlichen Kalkalpen und besteht vor allem aus tertiärer, zum Teil subalpiner Molasse mit Kalk, Nagelfluh, Sandstein und Mergel. Das Klima ist eine Übergangsform zwischen nord-europäisch und kontinental (BÄR 1983). Rund 34 % des Einzugsgebietes sind bewaldet und gut 60 % werden landwirtschaftlich, vor allem als Weideland, genutzt (ASCHWANDEN 1996). Die Belastung des Flusses wird gemäss den BUWAL-Richtlinien von 1983 als relativ gering eingeschätzt. Der Abfluss weist ein nivo-pluvial präalpines Regime auf (ASCHWANDEN & WEINGARTNER 1985). Dieser Abflusstyp ist vorwiegend durch die Schneeschmelze gesteuert. Die Abflussspitzen treten im April/Mai auf, während das Abflussminimum auf die Monate Dezember bis Februar fällt. Das langjährige Abflussmittel bei der Pegelmessstelle Aachsäge bei Mogelsberg (727110/247290) beträgt $3,25 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ (Messperiode 1972–1993). Das kleinste Abfluss-Jahresmittel in dieser Zeitspanne war $2,42 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ (1976), das grösste $4,02 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ (1988) (LANDESHYDROLOGIE und -GEOLOGIE 1993).

Das Gefälle im Längsverlauf nimmt zur Mündung hin kontinuierlich ab. Im oberen Teil, einem schmalen V-Tal, fliest der Necker grösstenteils in einem schluchtartigen, bewaldeten Geländeeinschnitt. Im unteren Teil, d. h. unterhalb von ca. 700 m ü. M., wird das Tal breiter, der Necker fliest freier und beginnt allmählich zu mäandrieren (IMHOF 1994). Nachfolgend werden die drei für die Untersuchung ausgewählten Gewässerabschnitte beschrieben.

Die oberste Probestelle liegt beim Ampferenboden auf 1054 m ü. M. im Oberlauf (Abbildung 2). Hier sucht sich der Necker seinen Weg in mehreren Läufen in einer breiten Schotterebene, die auf der rechten Seite durch einen steilen, bewaldeten Hang begrenzt ist. Das ca. 2 bis 4 m breite Hauptgerinne fliest in der linken Hälfte. In der Ebene selbst kommt nur stellenweise Grasvegetation vor, so dass eine Beschattung der

Gerinne weitgehend fehlt. Die Probestelle im Mittellauf befindet sich bei Schwanzbrugg auf 750 m ü. M., wo der Fluss in einem Gerinne mit ziemlich steilen Ufern fliesst (Abbildung 2). Die Ufervegetation ist ein locker gemischter Gehölzbestand mit Wald auf der linken Seite und Baumreihen rechts. Die Beschattung konzentriert sich vor allem auf die Uferbereiche. Bei Anzenwil (590 m ü. M.) im Unterlauf verläuft der Necker durch ein ausgeprägtes Flusserosionstal (Abbildung 2). Die Ufervegetation besteht aus dichten, gemischten Baumgruppen mit Gebüsch. Eine Beschattung ist nur teilweise, vor allem am linken Ufer, vorhanden. Detailliertere Angaben zu den Probestellen finden sich in Tabelle 1.

3. Material und Methoden

3.1 Datenerfassung im Feld und Labor

Die Abflussdaten stammen von der Pegelmessstelle Aachsäge bei Mogelsberg. Daten von der Messstation Hemberg konnten nicht verwendet werden, da der Pegel im Mai und Juni 1994 infolge Hochwasser mehrfach verschüttet wurde.

Zur Charakterisierung des Temperaturverlaufs konnte auf Logger-Daten von Dr. Urs Uehlinger zurückgegriffen werden. Für Anzenwil und Schwanzbrugg waren Daten von 1994 vorhanden. Dagegen waren für den Ampferenboden nur Werte von 1991 verfügbar.

An jeder Probestelle wurde entlang mehrerer Querprofile alle 50 cm die Entfernung vom linken Ufer sowie die zugehörigen Wassertiefen und Strömungsgeschwindigkeiten gemessen. Die Messungen der mittleren Fliessgeschwindigkeit erfolgten mit einem hydrometrischen Messflügel («Ott-Flügel»). Im Gegensatz zur sonst üblichen Messung in 40% der Wassertiefe vom Gewässergrund her, wurde ca. 2 cm über dem Grund gemessen, um möglichst nahe an die biologisch interessante Grenzschicht (<4 mm) zu kommen (SCHWOERBEL 1994). Die Grenzschicht ist für die Wirbellosenfauna an der Bachsohle von grosser Bedeutung. Sie bewirkt, dass die Tiere auch im schnell fliesenden Wasser nicht der vollen Strömung ausgesetzt sind. Zur Bestimmung des Oberflächengefälles innerhalb der Probenahmeabschnitte diente eine Schlauch-Wasserwaage. Die Zusammensetzung der obersten Schicht des Sohlenmaterials (Deckschicht)

	Ampferenboden	Schwanzbrugg	Anzenwil
Koordinaten (LK 1:50 000, Bl. 227)	737 525 / 236 300	732 200 / 240 075	727 150 / 248 750
Höhe ü. M. [m]	1054	750	590
Entfernung von der Mündung [km]	ca. 25,5	ca. 18	ca. 5
Gefälle [%]	2,45 ± 1,32 (n=16)	1,36 ± 0,38 (n=4)	0,29 ± 0,21 (n=9)
Flussordnungszahl ¹	3	5	5
Längenzonale Gliederung	Rhithral ²	Rhithral	Rhithral
Breite [m]	30,7 ± 9,6 (n=6) ³	13,7 ± 2,8 (n=3) ⁴	26,0 ± 0,5 (n=3) ⁴
Wassertiefe [cm]	5,1 ± 4,8 (n=374)	16,7 ± 9,6 (n=85)	28,7 ± 9,8 (n=159)
Strömungsgeschwindigkeit [ms ⁻¹]	0,26 ± 0,20 (n=374)	0,31 ± 0,24 (n=85)	0,33 ± 0,17 (n=159)

¹ Ein Fliessgewässer 1. Ordnung ist nicht bereits das Produkt von zwei noch kleineren Gewässern. Zwei Gewässer 1. Ordnung vereinen sich zu einem solchen 2. Ordnung. Ein Gewässer 3. Ordnung erhält man dort, wo sich zwei Bäche 2. Ordnung vereinen.

² Zone des Gebirgsbaches

³ Breite der gesamten Schotterebene

⁴ Gerinnebreite

Tabelle 1:
Beschreibung der Probestellen.

wurde mit einer Linienzahlanalyse erfasst (FEHR 1987).

Zur physiko-chemischen Analyse des Neckerwassers wurden folgende Parameter verwendet: Abfluss (Q), Wassertemperatur (T), elektrische Leitfähigkeit (LF), Ammonium (NH_4^+), Nitrit (NO_2^-), Nitrat (NO_3^-), gelöster Stickstoff (DN), partikulärer Stickstoff (PN), Phosphat (PO_4^{3-}), gelöster Phosphor (DP), partikulärer Phosphor (PP), gelöster organischer Kohlenstoff (DOC), totaler inorganischer Kohlenstoff (TIC) und partikulärer organischer Kohlenstoff (POC). Um einen Eindruck der zeitlichen Variabilität zu erhalten, wurden Daten von Mai 1992 – Mai 1994 verwendet, die von Routineprobenahmen der analytischen Gruppe der Abteilung Limnologie an der EAWAG stammten.

Für die Bestimmung des partikulären organischen Materials (POM) und des Algen-

bewuchses (Aufwuchs) auf den Steinen an der Flussohle wurden an jeder Probestelle am 23.6.1994 jeweils 10 Steine zufallsverteilt gesammelt. Zur quantitativen Erfassung der sohennahen Wirbellosenfauna wurden am gleichen Datum 5 Zufallsstichproben pro Probestelle entnommen, wozu ein zylindrischer Hess-Sampler (Grundfläche $0,07 \text{ m}^2$, Netzmaschenweite $102 \mu\text{m}$) verwendet wurde. Dabei wurde der Untergrund im durch den Zylinder definierten Areal aufgewirbelt, und die durch die Strömung verfrachteten Tiere mit einem Netz aufgefangen. Im Labor wurden die Wirbellosen unter einem Stereo-Zoom-Mikroskop (Wild/Leica M3C) aussortiert und bestimmt. Da nicht in jedem Fall eine Artbestimmung möglich war, wird im weiteren Text nicht von Arten, sondern von Taxa gesprochen. Die gefundenen Taxa wurden einem bestimmten Ernährungstyp (Tabelle 2) basierend auf der Einteilung nach MOOG (1995) zugeordnet. Schliesslich wurde der Anteil des groben partikulären organischen Materials ($>1 \text{ mm}$, CPOM) und des feinen partikulären organischen Materials ($<1 \text{ mm}$, FPOM) als aschefreie Trockensubstanz (ash-free dry mass, AFDM) bestimmt. Eine detaillierte Beschreibung sämtlicher obengenannter Methoden findet sich in BURGHERR (1994).

Ernährungstyp	Nahrung
Weider (WEI)	vor allem Aufwuchsalgen, Biofilm, teilweise Detritus
Zerkleinerer (ZKL)	Falllaub, Pflanzengewebe, CPOM
Räuber (RÄU)	Beute
Parasiten (PAR)	Wirt (oft andere Wirbellosen-Larven)
Detritus/Sedimentfresser (DET)	auf/im Sediment deponierte Partikel (FPOM – UPOM)
Filtrierer (FIL)	Nahrungspartikel aus dem Wasser filtriert (FPOM – UPOM)
Allesfresser/Sonstige (SON)	verschieden oder unbestimmt
Keine (KEI)	keine Nahrungsaufnahme (beispielsweise Dipterenpuppen)

Tabelle 2:
Die Wirbellosen können an Hand ihrer bevorzugten Nahrung in verschiedene Ernährungstypen aufgeteilt werden. CPOM = grobes partikuläres organisches Material ($>1 \text{ mm}$), FPOM = feines POM ($<1 \text{ mm}$ und $>0,05 \text{ mm}$), UPOM = ultrafeines POM ($<0,05 \text{ mm}$). Parasiten bedeuten hier nur die Larven der Hydrachnidia. Die Einteilung basiert auf MOOG (1995).

3.2 Datenanalyse

POM und Aufwuchs auf den Steinen, CPOM und FPOM in den Hessproben sowie die Gesamtindividuenzahlen der Wirbellosenfauna wurden jeweils mittels Varianzanalysen (analysis of variance, ANOVA) bezüglich Unterschieden zwischen den drei Probestellen untersucht. Vor der Analyse wurden die Daten $\log_{10}(x+1)$ transformiert um Normalverteilung und Homogenität der Varianzen zu erreichen. Multiple paarweise Vergleiche wurden mit dem Tukey-Test durchgeführt.

Die physiko-chemischen Parameter und die Gemeinschaftsstruktur der Wirbellosenfauna wurden mittels multivariater statistischer Methoden analysiert. Auf den physiko-

chemischen Datensatz wurde eine Hauptkomponentenanalyse (principal components analysis, PCA) angewandt. Das Ziel einer PCA ist die Reduktion beziehungsweise Bündelung einer Vielzahl von Variablen auf einige wenige ‹zentrale Faktoren›. Die Zahl der Achsen in der graphischen Darstellung (Ordinationsdiagramm) entspricht der Zahl der extrahierten Faktoren, wobei diese Faktoren Linearkombinationen der ursprünglichen Variablen sind und rechtwinklig aufeinander stehen, also linear unabhängig sind.

Die faunistischen Daten wurden mittels nichtmetrischer multidimensionaler Skalierung (NMDS) analysiert. Für die transformierten (4. Wurzel) Individuenzahlen der gefundenen Taxa aller Stichproben an den drei Probestellen wurde für alle möglichen paarweisen Kombinationen das Bray-Curtis Ähnlichkeitsmaß berechnet. Mit Hilfe der NMDS soll aus einer solchen Ähnlichkeitsmatrix die relative Lage aller Objekte zueinander (in unserem Fall der faunistischen Proben) möglichst adäquat abgebildet werden. Als Maß für die Güte der Abbildung der Originaldaten wird der sogenannte ‹Stress› verwendet. Die gefundene Konfiguration lässt sich in einem zweidimensionalen Ordinationsdiagramm, das unabhängig von Spiegelung oder Rotation ist, darstellen. Im Gegensatz zur PCA sind die gefundenen Achsen keine Funktionen der Originalvariablen. Dank ihrer grossen Robustheit ist die Methode auch sehr gut für kleine und vor allem faunistische Datensätze mit ‹Lücken› (nicht alle Taxa kommen in allen Proben vor) geeignet. Eine sogenannte Ähnlichkeitsanalyse (analysis of similarity, ANOSIM) wurde verwendet, um zu testen, ob signifikante Unterschiede in der Gemeinschaftsstruktur zwischen den drei Probestellen existierten. Der Einfluss einzelner Taxa auf die Separierung zwischen den Stellen wurde mittels der SIMPER-Methode (similarity percentage procedure) quantifiziert.

Sämtliche statistischen Auswertungen wurden mit den Programmen ADE-4 (CHESSEL & DOLÉDEC 1996), Statistica

5.1 (STATSOFT 1995) und Primer (CARR 1997) durchgeführt. Zur Beurteilung der Resultate der statistischen Analysen wurde die maximale Irrtumswahrscheinlichkeit in Form des Signifikanzniveaus durchgehend bei 5% ($\alpha = 0,05$) festgelegt.

4. Resultate

4.1 Morphologie und Hydrologie

Die Abflussdaten vom 1. Mai bis 16. Juli 1994 beim Pegel Aachsäge sind in Abbildung 3 dargestellt. Ein Vergleich der Monatsmittel, Maxima und Minima der Monate Mai und Juni 1994 mit den langjährigen Mittelwerten (1972–1993) der LANDESHYDROLOGIE und -GEOLOGIE (1993) zeigte, dass der Necker im Mai überdurchschnittliche Wassermengen führte, während der Juni nur eine geringe Abweichung vom Durchschnitt aufwies. Die vorliegende Abflusskurve ist typisch für einen voralpinen Fluss mit Geschiebetrieb, bei welchem das Verhältnis Hochwasser- zu Niedrigwasserabfluss (HQ:NQ) hoch ist und die HQ kurz andauern und kaum vorhersagbar sind (UEHLINGER 1991).

Abbildung 4 zeigt den verzögerten Anstieg der Temperatur in Schwanzbrugg und am Ampferenboden im Vergleich zu Anzenwil, und spiegelt die Höhe über Meer der einzelnen Probestellen wider.

Die aus den Profilmessungen erhaltenen Mittelwerte für Breite, Wassertiefe und Strömungsgeschwindigkeit sowie für das Gefälle wurden bereits in Tabelle 1 bei der Beschreibung der Probestellen diskutiert. Die Linienzahlanalysen der Deckschichten erlaubten eine Charakterisierung der Sohlenbeschaffenheit gemäss DIN-Norm 4022 (JÄGGI 1987): In Anzenwil und Schwanzbrugg dominierten Steine (Median 9,5 cm resp. 12,9 cm) mit einem geringen Anteil Grobkies (1. Quartil 5,6 cm resp. 4,3 cm). Beim Ampferenboden war Grobkies (Median 5,9 cm, 1. Quartil 3,4 cm) vorherrschend, gemischt mit Steinen (3. Quartil 8,9 cm). Eine aus-

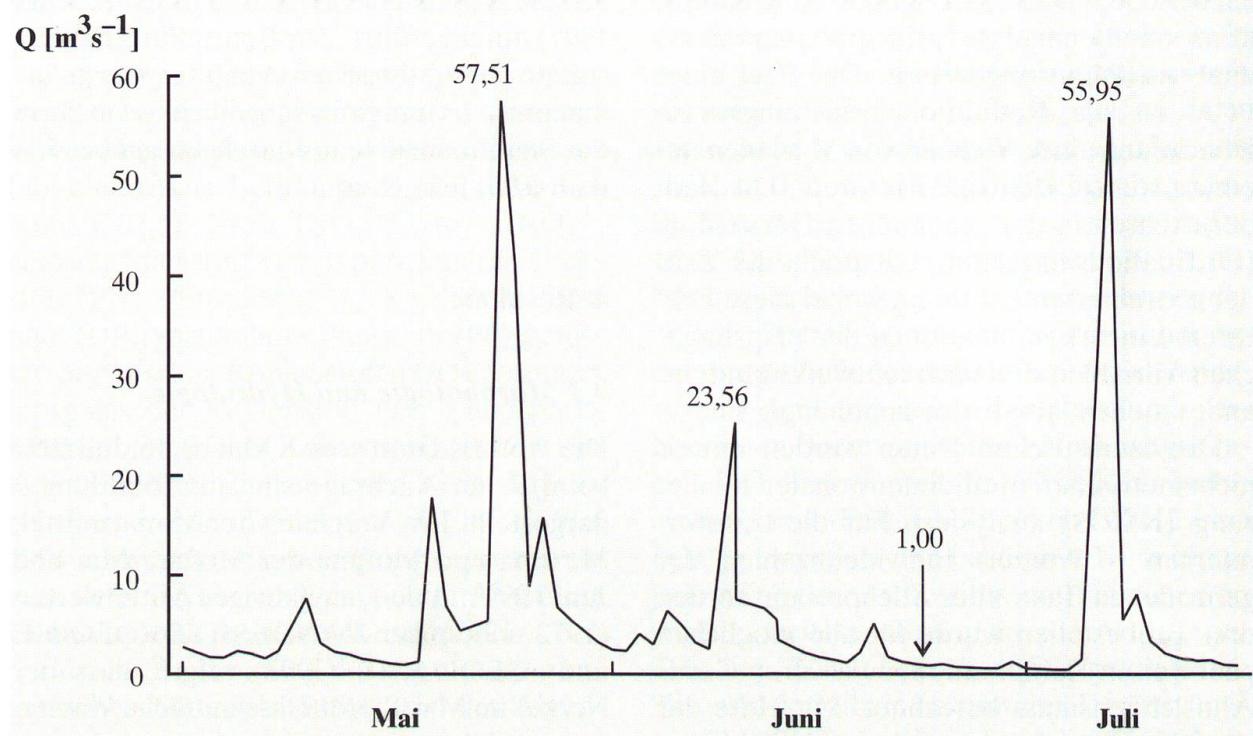


Abbildung 3:
Abfluss Q in $[\text{m}^3\text{s}^{-1}]$ beim Pegel Aachsäge vom 1. Mai bis 16. Juli 1994.
Die Abflüsse der geschiebeführenden Hochwasser
und der Probenahme vom 23. Juni 1994 (Pfeil) sind eingetragen.

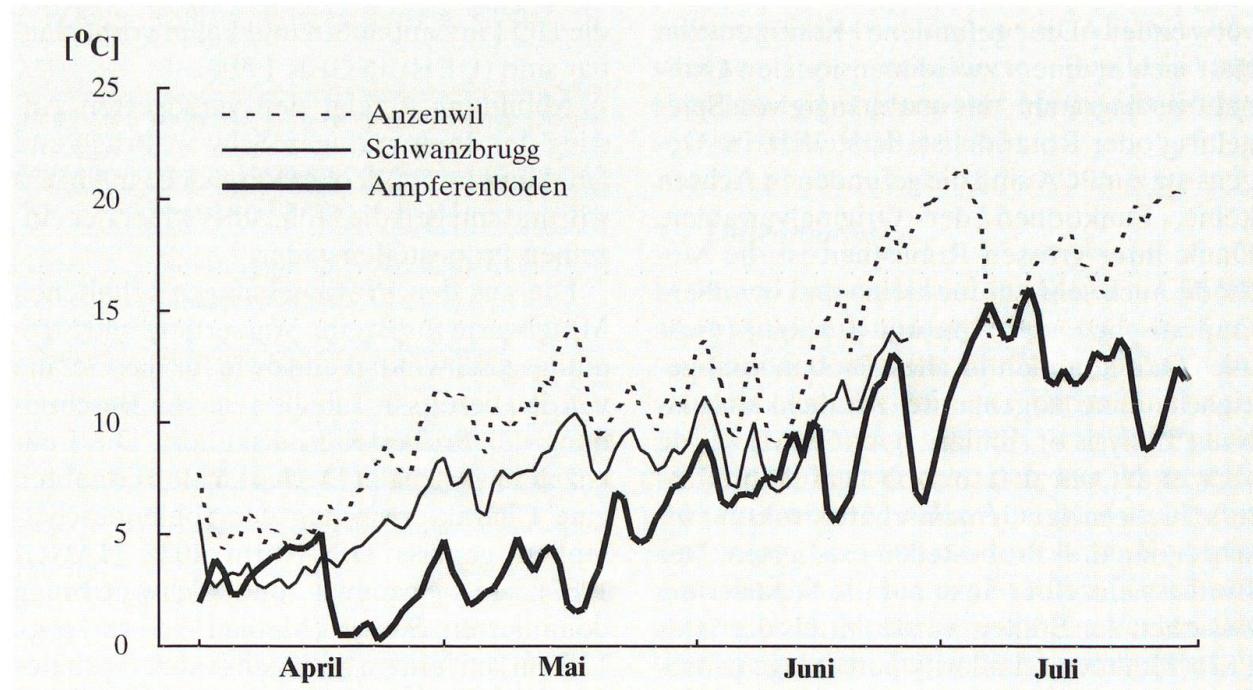


Abbildung 4:
Darstellung der verwendeten Temperaturdaten.
Anzenwil: 1.4.–31.7.1994, Schwanzbrugg: 1.4.–27.6.1994,
Ampferenboden: 1.4.–31.7.1991.

führliche Diskussion der in diesem Abschnitt präsentierten Ergebnisse findet sich in BURGHERR (1994).

4.2 Multivariate Analyse der physiko-chemischen Parameter (inkl. Diskussion)

Die ersten beiden Faktoren der Hauptkomponentenanalyse erklärten 67 % der gesamten Variabilität zwischen den Probestellen (Abbildung 5). Der 1. Faktor wurde hauptsächlich durch die Nährstoffparameter erklärt, während der 2. Faktor vor allem eine Funktion der Wassertemperatur war (Abbildung 5a). Die Projektion in die F1-F2 Faktorebene trennte die drei Probestellen gut. Dabei spiegelte der 1. Faktor deutlich die longitudinale Position der Probestellen und die zunehmende Nährstoffbelastung entlang des Flusslaufes wider (Abbildung 5b). Die Auftrennung nach zunehmendem Temperaturbereich und höherer mittlerer Temperatur vom Ober- zum Unterlauf entlang des 2. Faktors war weniger markant. Sämtliche Stellen wiesen eine mehr oder weniger ausgeprägte zeitliche Variabilität auf. Diese ist vor allem auf die saisonalen Änderungen der Nährstoffkonzentrationen und des Abflussregimes zurückzuführen. Die höhere zeitliche Variabilität bei Anzenwil, im Gegensatz zu den beiden anderen Probestellen, erklärt sich vor allem durch die wesentlich höheren Werte von Ammonium, Nitrit, Nitrat und Phosphat. Diese Parameter sind auch Indikatoren für Jauche und Dünger aus der Landwirtschaft sowie die Einleitung von Ausflüssen von Abwasserreinigungsanlagen im Unterlauf des Neckers.

4.3 Partikuläres organisches Material und Aufwuchsalgen

Die Mittelwerte und Standardabweichungen des POM auf den Steinen ($n = 10$) betrugen für Anzenwil $11,49 \pm 3,45 \text{ g AFDM m}^{-2}$, Schwanzbrugg $2,56 \pm 1,08 \text{ g AFDM m}^{-2}$ und beim Ampferenboden $3,83 \pm 2,57 \text{ g AFDM}$

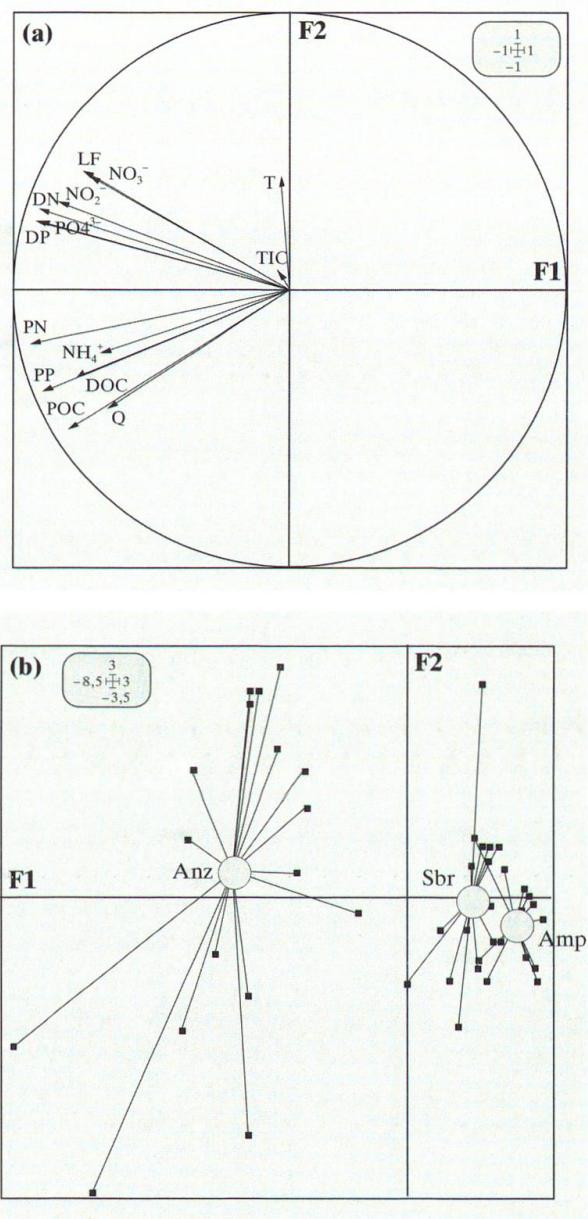


Abbildung 5:
Grafische Interpretation der Resultate der Hauptkomponentenanalyse für die physiko-chemischen Parameter.

(a): F1-F2-Korrelationskreis. Die Abkürzungen der physiko-chemischen Parameter wurden bereits unter Material und Methoden erklärt.

(b): F1-F2-Faktorebene. Die Faktoren F1 und F2 erklärten 56 % respektive 11 % der Gesamtvarianz. Die Kreise repräsentieren die Positionen der Mittelwerte an den Probestellen. Um die zeitliche Variabilität an den Probestellen zu veranschaulichen, wurden zusätzlich die jeweiligen Positionen an den einzelnen Probenahmedaten vom Mai 1992 bis Mai 1994 eingezeichnet (gefüllte Quadrate).

Anz = Anzenwil, Sbr = Schwanzbrugg, Amp = Ampferenboden.

	TAXON	ET	ANZENWIL	SCHWANZBRUGG	AMPFEREN-BODEN
KL. NEMATODA		SON	11 ± 16	8 ± 13	8 ± 13
KL. GASTROPODA	Fam. Lymnaeidae		888 ± 888		
	<i>Gyraulus</i> spp.	WEI	0 ± 0	6 ± 8	3 ± 6
KL. CLITELLATA	Ord. Oligochaeta	DET	8 ± 19	0 ± 0	3 ± 6
	Fam. Lumbricidae				
	<i>Eiseniella tetraedra</i> t.	DET	0 ± 0	3 ± 6	3 ± 6
	Fam. Haplotaxidae				
	<i>Haplotaxis</i> spp.	DET	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0
KL. ARACHNIDA	Ord. Acari				
	Gr. Hydrachnidia				
	Diverse Larven	PAR	20 ± 24	523 ± 352	68 ± 25
	Fam. Hydryphantidae				
	<i>Partnunia</i> spp.	RÄU	0 ± 0	0 ± 0	6 ± 13
	<i>Protzia</i> spp.	RÄU	0 ± 0	0 ± 0	26 ± 29
	Fam. Sperchontidae				
	<i>Sperchon</i> spp.	RÄU	93 ± 61	74 ± 25	0 ± 0
	Fam. Lebertiidae				
	<i>Lebertia</i> spp.	RÄU	37 ± 34	238 ± 76	14 ± 32
	Fam. Torrenticolidae				
	<i>Torrenticola</i> spp.	RÄU	20 ± 13	634 ± 336	99 ± 102
	Fam. Hygrobatidae				
	<i>Atractides</i> spp.	RÄU	31 ± 21	11 ± 25	0 ± 0
	Fam. Arrenuridae				
	<i>Arrenurus</i> spp.	RÄU	3 ± 6	0 ± 0	0 ± 0
	UOrd. Oribatida	RÄU	0 ± 0	40 ± 47	11 ± 16
KL. CRUSTACEA	Ord. Amphipoda				
	Fam. Gammaridae				
	<i>Gammarus fossarum</i>	ZKL	0 ± 0	8 ± 13	0 ± 0
KL. INSECTA	Ord. Ephemeroptera				
	Fam. Baetidae				
	<i>Baetis</i> spp.	WEI	804 ± 129	846 ± 509	235 ± 108
	Fam. Heptageniidae				
	<i>Epeorus sylvicola</i>	WEI	0 ± 0	3 ± 6	0 ± 0
	<i>Rhithrogena</i> spp.	WEI	294 ± 155	987 ± 407	195 ± 170
	<i>Ecdyonurus</i> spp.	WEI	0 ± 0	11 ± 16	8 ± 8
	Fam. Leptophlebiidae	DET	6 ± 13	0 ± 0	0 ± 0
	Ord. Plecoptera n.d.	SON	0 ± 0	11 ± 25	40 ± 32
	Fam. Nemouridae				
	<i>Amphinemura</i> spp.	ZKL	0 ± 0	3 ± 6	0 ± 0
	<i>Nemoura</i> spp.	ZKL	0 ± 0	20 ± 31	48 ± 56
	<i>Protonemura</i> spp.	ZKL	0 ± 0	34 ± 76	34 ± 68

Tabelle 4:

Übersicht der gefundenen Taxa, Mittelwerte ± Standardabweichungen in [Anzahl m⁻²] und Ernährungstypen (ET) aus den je 5 Hessproben pro Stelle vom 23.6.1994.

L = Larve
 A = Adulttiere
 WEI = Weider
 RÄU = Räuber

PAR = Parasiten
 ZKL = Zerkleinerer
 DET = Detritus-/
 Sedimentfresser

FIL = Filtrierer
 SON = Allesfresser/
 Sonstige
 KEI = Keine

Fortsetzung	TAXON	ET	ANZENWIL	SCHWANZBRUGG	AMPFEREN-BODEN
<i>Kl. INSECTA</i>	Fam. Leuctridae				
	<i>Leuctra</i> spp.	ZKL	789 ± 374	699 ± 651	235 ± 99
	Fam. Perlodidae				
	<i>Isoperla</i> spp.	RÄU	0 ± 0	8 ± 13	45 ± 37
	<i>Perlodes</i> spp.	RÄU	0 ± 0	3 ± 6	8 ± 13
	Fam. Perlidae				
	<i>Perla grandis</i>	RÄU	0 ± 0	6 ± 13	105 ± 56
	Fam. Chloroperlidae				
	<i>Chloroperla</i> spp.	RÄU	0 ± 0	3 ± 6	59 ± 34
	Ord. Coleoptera				
	Fam. Hydraenidae				
	<i>Hydraena</i> spp. (A)	WEI	3 ± 6	37 ± 53	6 ± 8
	Fam. Elmidae				
	<i>Elmis</i> spp. (L)	WEI	8 ± 19	11 ± 16	0 ± 0
	<i>Elmis</i> spp. (A)	WEI	0 ± 0	6 ± 13	0 ± 0
	<i>Esolus</i> spp. (L)	WEI	0 ± 0	40 ± 43	0 ± 0
	<i>Limnius</i> spp. (L)	WEI	28 ± 26	99 ± 190	0 ± 0
	<i>Limnius</i> spp. (A)	WEI	0 ± 0	3 ± 6	3 ± 6
	Fam. Staphylinidae (A)	RÄU	0 ± 0	3 ± 6	0 ± 0
	Ord. Trichoptera				
	Fam. Rhyacophilidae				
	<i>Rhyacophila</i> spp.	RÄU	3 ± 6	6 ± 13	6 ± 13
	Fam. Glossosomatidae				
	<i>Glossosoma</i> spp.	WEI	0 ± 0	6 ± 8	0 ± 0
	Fam. Hydropsychidae				
	<i>Hydropsyche</i> spp.	FIL	45 ± 32	17 ± 12	3 ± 6
	Fam. Sericostomatidae				
	<i>Sericostoma</i> spp.	ZKL	0 ± 0	11 ± 16	6 ± 13
	Fam. Odontoceridae				
	<i>Odontocerum albicorne</i>	ZKL	0 ± 0	0 ± 0	3 ± 6
	Ord. Diptera				
	Diverse Pupae Diptera	KEI	17 ± 12	34 ± 46	62 ± 52
	Fam. Limoniidae				
	<i>Dicranota</i> spp.	RÄU	45 ± 25	42 ± 39	3 ± 6
	<i>Hexatoma</i> spp.	RÄU	17 ± 18	6 ± 8	23 ± 26
	<i>Molophilus</i> spp.	RÄU	8 ± 13	0 ± 0	11 ± 25
	Fam. Psychodidae	DET	6 ± 13	0 ± 0	0 ± 0
	Fam. Simuliidae	FIL	82 ± 57	357 ± 446	3 ± 6
	Fam. Chironomidae	DET	2546 ± 1183	563 ± 289	487 ± 238
	UFam. Tanypodinae	RÄU	181 ± 138	1867 ± 132	238 ± 102
	Fam. Ceratopogonidae	RÄU	0 ± 0	20 ± 16	8 ± 19
	Fam. Athericidae				
	<i>Atherix</i> spp.	RÄU	1050 ± 933	3 ± 6	17 ± 31
Total			6157 ± 1754	5628 ± 3172	2131 ± 320

m^{-2} . Mittels ANOVA konnten signifikante Unterschiede zwischen den Probestellen gefunden werden ($F = 30,15$; $p < 0,001$). Die paarweisen Vergleiche zeigten jedoch, dass nur der Unterschied zwischen Anzenwil und den beiden anderen Probestellen signifikant war (Tukey-Test; $p < 0,05$), jener zwischen Schwanzbrugg und Ampferenboden aber nicht (Tukey-Test; $p > 0,05$). Als Mass für den Aufwuchs auf den Steinen wurde das Chlorophyll a (Chl a) bestimmt. Hier zeigte sich der gleiche Trend wie beim POM mit $23,15 \pm 15,09 \text{ mg Chl a m}^{-2}$ in Anzenwil, $2,30 \pm 2,02 \text{ mg Chl a m}^{-2}$ in Schwanzbrugg und $1,77 \pm 1,16 \text{ mg Chl a m}^{-2}$ beim Ampferenboden. Die ANOVA war ebenfalls signifikant ($F = 47,18$; $p < 0,001$), und wie schon beim POM war die Menge an Chl a in Anzenwil signifikant höher als in Schwanzbrugg oder am Ampferenboden (Tukey Test; $p < 0,05$), während sich letztere nicht voneinander unterschieden (Tukey-Test; $p > 0,05$).

Die Resultate für das CPOM und FPOM aus den 5 Hessproben pro Stelle sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Obwohl das CPOM vom Ampferenboden nach Anzenwil ab-

nahm, war dieser Trend nicht signifikant ($F = 1,32$; $p > 0,05$). Die Werte für das FPOM waren in Anzenwil und Schwanzbrugg sehr ähnlich und beim Ampferenboden ca. 30–40% höher. Doch auch hier waren die Unterschiede wegen der zum Teil grossen Streuungen nicht signifikant ($F = 0,64$; $p > 0,05$). Das Verhältnis CPOM:FPOM nahm vom Ampferenboden nach Anzenwil stetig ab.

4.4 Zusammensetzung, Struktur und Funktion der Wirbellosenfauna

Die an den drei Probestellen gefundenen Taxa sind mitsamt ihrer durchschnittlichen Individuenzahlen und Angabe des entsprechenden Ernährungstyps in Tabelle 4 aufgeführt. In Anzenwil wurden 27 Taxa aus 5 Klassen, in Schwanzbrugg 42 aus 6 und am Ampferenboden 36 aus 5 gezählt. Innerhalb der Insekten zeigten die Plecoptera (Steinfliegen) die grössten Schwankungen zwischen den Probestellen. So wurden am Ampferenboden und in Schwanzbrugg 8 resp. 9 Taxa gefunden, in Anzenwil dagegen nur *Leuctra* spp. Die Anzahl der Wirbellosen nahm zwar vom Ober- zum Unterlauf signifikant zu ($F = 13,02$; $p < 0,001$), doch waren nur die Unterschiede zwischen Ampferenboden und den beiden anderen Stellen statistisch signifikant (Tukey-Test; $p < 0,05$).

Die Nematoda (Fadenwürmer), Gastropoda (Schnecken), Oligochaeta (Wenigborster) und Oribatida (gepanzerte Hornmilben) machten an allen Probestellen weniger als 1% der Gesamtindividuenzahlen aus. Die Hydrachnidia (Wassermilben) schwankten zwischen 3% in Anzenwil und 26% in Schwanzbrugg. Während in Anzenwil die Gattung *Sperchon* spp. dominierte, war in Schwanzbrugg und am Ampferenboden *Torrenticola* spp. am häufigsten. Der Anteil der Ephemeroptera (Eintagsfliegen) lag zwischen 18 und 32%, wovon *Baetis* spp. und *Rhithrogena* spp. mehr als 95% ausmachten. In Anzenwil war *Baetis* spp. deutlich stärker vertreten als *Rhithrogena* spp., während an den anderen Probestellen die beiden Gat-

Probestelle		Mittelwert ± SD	CPOM: n FPOM
Anzenwil	CPOM	$9,28 \pm 2,20$	5
	FPOM	$13,64 \pm 2,83$	0,70 5
Schwanzbrugg	CPOM	$16,61 \pm 19,54$	5
	FPOM	$12,73 \pm 6,72$	1,31 5
Ampferenboden	CPOM	$23,43 \pm 17,99$	5
	FPOM	$17,54 \pm 8,95$	1,60 5

Tabelle 3:

Anteile des groben und feinen partikulären organischen Materials (CPOM und FPOM) ausgedrückt als aschefreie Trockensubstanz (AFDM). Aufgelistet sind die CPOM- und FPOM-Mittelwerte mit Standardabweichungen (SD) in [g AFDM m^{-2}], sowie Anzahl (n), und das Verhältnis CPOM:FPOM in den Hessproben an den drei Probestellen.

tungen etwa gleich häufig waren. Die Plecoptera waren beim Ampferenboden ca. doppelt so häufig wie an den beiden anderen Stellen. In Anzenwil wurde nur die Gattung *Leuctra* spp. gefunden, die auch sonst dominierte. Nur am Ampferenboden erreichten andere Taxa (vor allem *Perla grandis*) grössere Dichten. Die Larven der Coleoptera (Käfer) setzten sich in Anzenwil ca. im Verhältnis 3:1 aus *Limnius* spp. und *Elmis* spp., in Schwanzbrugg zu 50% aus *Limnius* spp. zusammen. Am Ampferenboden wurden keine Larven gefunden. Von den adulten Coleoptera waren nur *Hydraena* spp. und am Ampferenboden zusätzlich *Limnius* spp. von Bedeutung. Die Trichoptera (Köcherfliegen) erreichten an keiner Probestelle mehr als 1% der Gesamtfauna. Einzig *Hydropsyche* spp. und *Rhyacophila* spp. waren überall vertreten. Ausser in Schwanzbrugg, wo die Ephemeroptera die stärkste Gruppe stellten, waren die Diptera (Zweiflügler) die dominante Gruppe. Sie wurden an allen Stellen zu über 50% von den Chironomidae (Zuckmücken) beherrscht. Die Simuliidae (Kriebelmücken) waren nur in Schwanzbrugg relativ stark vertreten. In Anzenwil trat *Atherix* spp. aus der Familie Athericidae (Ibisfliegen) mit 27% markant in Erscheinung.

Der Stresswert von 0,10 der nichtmetrischen multidimensionalen Skalierung (NMDS) belegte, dass die gefundene zweidimensionale Konfiguration eine gute Repräsentation der Originaldaten darstellte. Das resultierende Ordinationsdiagramm (Abbildung 6) trennte die drei Probestellen anhand der Wirbellosenfauna deutlich voneinander. Die Ähnlichkeitsanalyse (ANOSIM) bestätigte, dass die gefundenen Unterschiede in der Struktur der Wirbellosen-Gemeinschaften zwischen den drei Probestellen signifikant waren (Globales R = 0,88; p < 0,05). Diejenigen Taxa, welche am meisten zur Trennung zwischen den Stellen beitrugen, sind in Tabelle 5 aufgelistet.

Abschliessend wurde noch die funktionelle Struktur der Wirbellosenfauna mittels

Zuordnung der einzelnen Taxa zu einem bestimmten Ernährungstyp untersucht. Abbildung 7 gibt eine Übersicht der gefundenen Ernährungstypen an den Probestellen. Die Weider waren in Schwanzbrugg und am Ampferenboden beinahe doppelt so stark vertreten wie in Anzenwil. Die Zerkleinerer nahmen vom Ober- zum Unterlauf geringfügig zu, während bei den Räubern ein gelenläufiger aber etwas stärker ausgeprägter Trend zu beobachten war. Die Detritus-/Sedimentfresser dominierten eindeutig in Anzenwil. Der Anteil der Filtrierer war durchgehend gering, und überstieg nur in Schwanzbrugg 5%. Die restlichen Ernährungstypen waren nur minimal vertreten.

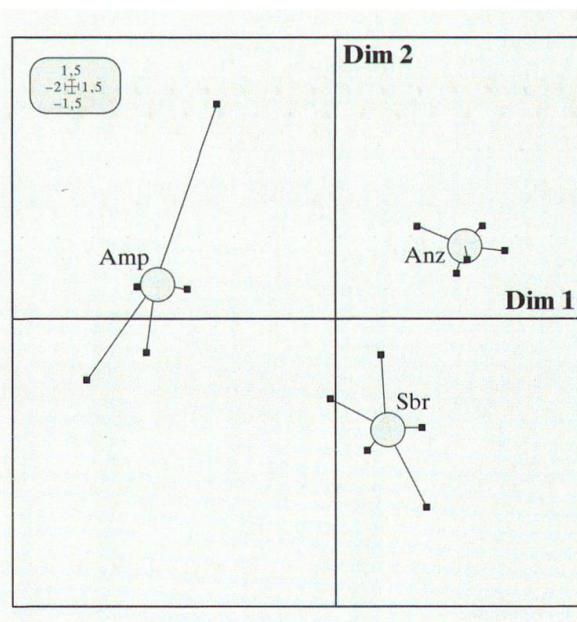


Abbildung 6:
Ordinationsdiagramm der nichtmetrischen multidimensionalen Skalierung (NMDS) für die Wirbellosenfauna. Die Kreise repräsentieren die Positionen der Mittelwerte an den Probestellen und die gefüllten Quadrate die jeweils 5 Stichproben pro Stelle. Anz = Anzenwil, Sbr = Schwanzbrugg, Amp = Ampferenboden. Dim 1 und Dim 2 bezeichnen die ersten beiden Dimensionen der NMDS.

Anz versus Sbr	[%]	Anz versus Amp	[%]	Sbr versus Amp	[%]
<i>Atherix</i> spp.	10,7	<i>Atherix</i> spp.	8,4	<i>Lebertia</i> spp.	6,2
Div. Larven Hydrachnidia	6,7	<i>Perla grandis</i>	5,9	<i>Simuliidae</i>	6,1
<i>Torrenticola</i> spp.	6,6	<i>Chloroperla</i> spp.	5,1	<i>Sperchon</i> spp.	5,4
Chironomidae	4,4	<i>Sperchon</i> spp.	4,9	<i>Perla grandis</i>	5,1
<i>Esolus</i> spp. (L)	4,3	<i>Simuliidae</i>	4,7	<i>Torrenticola</i> spp.	4,4
<i>Lebertia</i> spp.	4,1	<i>Hydropsyche</i> spp.	4,1	<i>Chloroperla</i> spp.	4,2
<i>Atractides</i> spp.	3,8	<i>Isoperla</i> spp.	4,0	<i>Esolus</i> spp. (L)	3,7
Ceratopogonidae	3,7	<i>Dicranota</i> spp.	4,0	<i>Rhithrogena</i> spp.	3,5
<i>Limnius</i> spp. (L)	3,2	<i>Nemoura</i> spp.	3,9	<i>Dicranota</i> spp.	3,2
<i>Hydraena</i> spp. (A)	3,1	<i>Atractides</i> spp.	3,7	<i>Isoperla</i> spp.	3,1
Total	50,6	Total	48,7	Total	44,9

Tabelle 5:

Resultate der SIMPER-Analyse. Die 10 Taxa, welche am meisten zur Trennung zwischen jeweils zwei Probestellen beitrugen, sind mit ihren jeweiligen prozentualen Anteilen [%] und dem kumulativen Anteil [%] zur gesamten Unähnlichkeit aufgelistet. Anz = Anzenwil, Sbr = Schwanzbrugg, Amp = Ampferenboden.

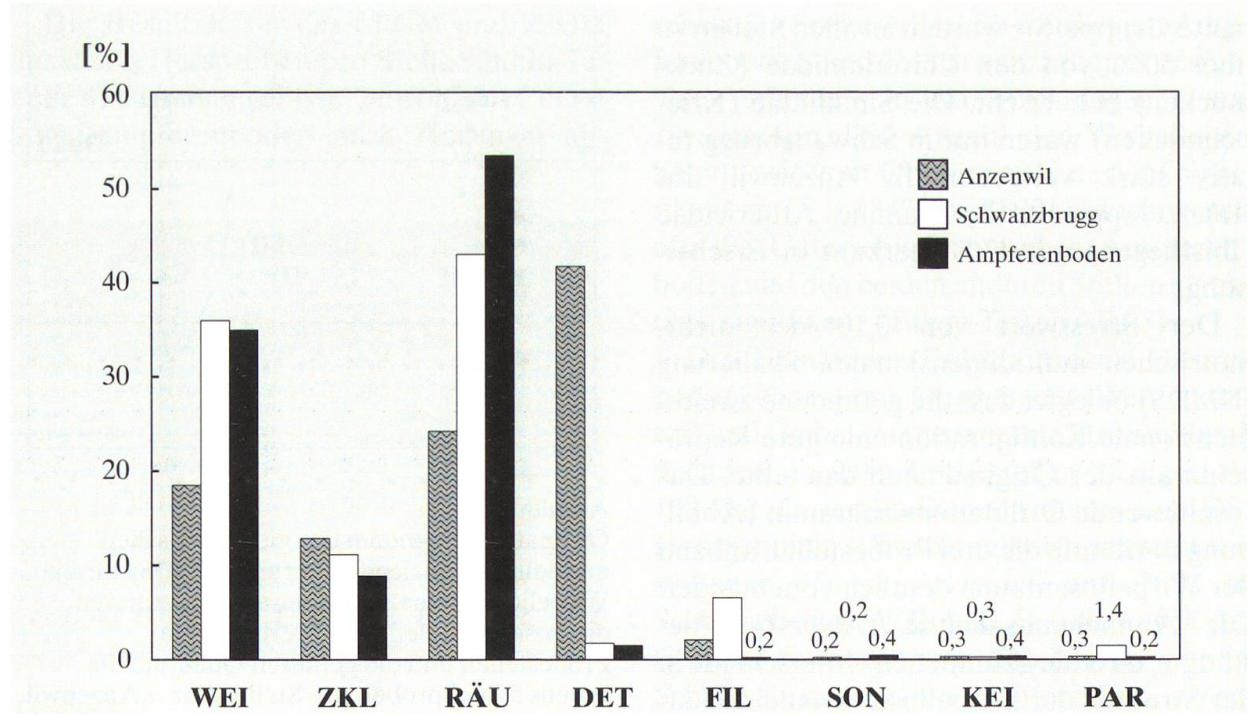


Abbildung 7:

Relative Häufigkeiten [%] der verschiedenen Ernährungstypen bezogen auf den Mittelwert aus den 5 Stichproben pro Stelle. WEI = Weider, ZKL = Zerkleinerer, RÄU = Räuber, PAR = Parasiten, DET = Detritus-/Sedimentfresser, FIL = Filtrierer, SON = Allesfresser/Sonstige, KEI = Keine.

5. Diskussion

5.1 Partikuläres organisches Material und Aufwuchsalgen auf den Steinen

Die in Anzenwil gefundenen POM-Werte lagen im Bereich derjenigen, die UEHLINGER (1991) bei Aachsäge im Juni 1991 gefunden hatte, wogegen die Chl a-Gehalte deutlich tiefer waren, was vor allem auf die beiden geschiebeführenden Hochwasser vom 25.5.1994 und 9.6.1994 zurückzuführen war, welche zu einer massiven Reduktion des Aufwuchses geführt hatten. Im Necker ist die Wiederbesiedlungsrate nach UEHLINGER (1991) klein. Die gefundenen Chl a-Mengen in Anzenwil lagen im Bereich jener, die BURGHERR et al. (1993) bei der Exposition künstlicher Substrate in Anzenwil nach 14 Tagen gefunden hatten. Für die Probestellen Ampferenboden und Schwanzbrugg waren keine Vergleichsdaten erhältlich. Die viel grösseren Chl a-Werte in Anzenwil könnten darauf beruhen, dass der Fluss dort breit und noch immer relativ flach ist, was eine genügende Lichtintensität bis an die Flussohle sicherstellen dürfte. In Schwanzbrugg ist die Beschattung vor allem von den Uferbereichen her stärker, und am Ampferenboden sind durch die sich ständig ändernden Flussläufe keine konstanten Bedingungen gegeben. Ein weiterer Faktor könnte die Nährstoffzufuhr aus Landwirtschaft und Kläranlagen-Einleitungen sein, welche in Anzenwil, im Gegensatz zu den beiden anderen Probestellen, eine raschere Akkumulation von Algen-Biomasse erlaubten.

5.2 Partikuläres organisches Material in den Hessproben

Gemäss dem ‹River Continuum Concept› (VANNOTE et al. 1980) und nach CUMMINS (1975) müsste im Oberlauf CPOM vorherrschend sein und ab dem Mittellauf FPOM an Bedeutung gewinnen. Weder die Abnahme des CPOM, noch die Zunahme des FPOM mit zunehmender Fließstrecke waren statistisch

signifikant, doch entsprach die Abnahme des Verhältnisses CPOM:FPOM den Vorhersagen. Im Gegensatz dazu stellten NAIMAN & SEDELL (1979) in ihrer Studie eine Zunahme des Verhältnisses von Gewässern 1. bis 5. Ordnung und danach wieder eine Abnahme fest. Auch MINSHALL et al. (1992) fanden kein konsistentes Muster für CPOM:FPOM entlang des von ihnen untersuchten Salmon River (Idaho). Der grosse Anteil FPOM am Ampferenboden könnte auf effizienten Retentionsstrukturen beruhen, die vor allem in kleinen Flüssen einen beachtlichen Anteil des FPOM zurückhalten können (NAIMAN & SEDELL 1979). Die Resultate dieser Untersuchung waren auch im Einklang mit den Befunden von NAIMAN & SEDELL (1979), dass die stromabwärtsgelegenen Regionen im Vergleich zu den Oberläufen weniger grobe und feine organische Substanz aufweisen.

5.3 Wirbellosenfauna

Die deutlich geringere Taxazahl in Anzenwil im Vergleich zu den beiden anderen Probestellen lag daran, dass dort die Plecoptera nur mit der Gattung *Leuctra* spp. vertreten waren. Ein möglicher Grund dafür könnte sein, dass die meisten Plecoptera wenig tolerant sind gegenüber höheren Temperaturen (kalt-stenotherm), wogegen *Leuctra* spp. diesbezüglich variabler ist (AUBERT 1959). Die Wirbellosenfauna wurde zu 70 und mehr Prozent von den Insecta dominiert. Auch innerhalb der einzelnen Ordnungen dominierten jeweils wenige Familien und Gattungen. Diese Befunde decken sich mit den Resultaten von MEYER (1991). Der hohe Anteil an *Atherix* spp. in Anzenwil war darauf zurückzuführen, dass an der Unterseite einer Brücke oberhalb der Probestelle Nester von Adulttieren hafteten. Die schwache Präsenz der Simuliidae-Larven rührte daher, dass ein bis zwei Wochen vor der Probenahme sehr viele Puppen gefunden wurden. In Schwanzbrugg bildeten die Diptera nur die drittgrösste Gruppe hinter den Ephemeroptera

und Hydrachnidia, da weit weniger Chironomidae und auch weniger *Atherix* spp. (keine Nester) vorhanden waren. Der grosse Anteil der Hydrachnidia ist auf die Präsenz von *Torrenticola* spp. und zahlreiche nichtbestimmte Larven zurückzuführen.

Die multivariaten Analysemethoden bestätigten die zu Beginn aufgestellte Hypothese, dass sich die Wirbellosenfauna im longitudinalen Verlauf als Folge der wechselnden Umweltbedingungen signifikant verändert. Die SIMPER-Analyse verdeutlichte, dass die gefundene Separierung der drei Probestellen nicht auf einigen wenigen Taxa basierte. Vielmehr handelte es sich um ein komplexes Zusammenspiel einer Vielzahl von Taxa, welche für die beobachteten Unterschiede in der Gemeinschaftsstruktur verantwortlich waren.

Gemäss dem RCC sollten im Oberlauf Zerkleinerer und Detritus-/Sedimentfresser vorherrschend sein, während Weidegänger nur schwach vertreten sein sollten. Diese sollten zusammen mit Detritus-/Sedimentfressern im Mittellauf wichtig werden, wo die Zerkleinerer zurückgehen sollten. Im Unterlauf sollten schliesslich die Detritus-/Sedimentfresser dominieren, da dort bereits alle Partikel zerkleinert sind. Der Anteil der Räuber sollte ungefähr konstant bleiben, da ihnen die meisten Primärkonsumenten als Beute zur Verfügung stehen. Diese Vorhersagen konnten nur teilweise bestätigt werden. So dürfte der durchwegs hohe CPOM-Anteil dafür verantwortlich gewesen sein, dass die Zerkleinerer kein Maximum im Oberlauf aufwiesen, sondern mit zunehmender Fließstrecke beinahe konstant blieben. Die starke Zunahme der Detritus-/Sedimentfresser in Anzenwil entsprach zwar dem RCC, doch war dieser Ernährungstyp an den beiden anderen Probestellen zu gering vertreten. Die Verteilung der Weider folgte weder dem RCC, noch korrelierte sie mit der Menge des Chl a an den einzelnen Probestellen. Die Räuber nahmen zwar im Längsverlauf ab, doch lag dies noch im Rahmen des RCC.

5.4 Schlussbetrachtungen

Die Umweltbedingungen im Längsverlauf des Neckers änderten sich, respektive die drei Probestellen konnten anhand ausgewählter physiko-chemischer Parameter klar unterschieden werden. Die ausgeprägten Unterschiede in der Zusammensetzung und den Besiedlungsdichten der Wirbellosenfauna zwischen den einzelnen Probestellen können als Hinweis für die Anpassungen der Lebensgemeinschaften an die jeweils vorherrschenden Umweltbedingungen aufgefasst werden. Veränderungen in der funktionellen Struktur (Verteilung der Ernährungstypen) der Lebensgemeinschaften entlang des longitudinalen Gradienten konnten ebenfalls festgestellt werden, doch entsprachen diese nur teilweise den Vorhersagen des RCC.

Das Hauptziel des RCC ist es, die geomorphologischen Prozesse, die physikalischen Strukturen und hydrologischen Zyklen in Beziehung zur funktionellen Struktur der Lebensgemeinschaften sowie zum organischen Material im Längsverlauf zu bringen (VANNOOTE et al. 1980). Die immer wieder angestellten Quervergleiche zu den aus dieser Forderung abgeleiteten Vorhersagen erbrachten nur teilweise Übereinstimmungen. Dabei kann es sich tatsächlich um Abweichungen vom RCC oder auch um methodische Probleme handeln. Ausserdem gilt es zu bedenken, dass das RCC für natürliche und ungestörte Fluss-Ökosysteme, deren Oberlauf stark von der Ufervegetation geprägt wird, entwickelt wurde. Die untersuchten Probestellen am Necker entsprachen aber trotz sorgfältiger Auswahl nicht vollständig diesen Anforderungen. Der Ampferenboden ist in der Schotterebene nahezu unbewaldet, so dass der Einfluss der Ufervegetation praktisch wegfällt. Bei Schwanzbrugg mündet ca. 50 m oberhalb der Probestelle ein Zufluss (Zwisler) in den Necker, der das Kontinuum lokal stören dürfte. In Anzenwil ist der Necker bereits als schwach belastet einzustufen, wofür die Landwirtschaft und die Abwasserreinigungsanlagen verantwort-

lich sind. Im weiteren sollten Vergleiche mit dem RCC auch gemäss den Vorschlägen von STATZNER & HIGLER (1985) ohne Bezug zu Energie-Gleichgewichten und Entropie («molekulare Unordnung») diskutiert werden, da diese Punkte im RCC nur ungenügend oder vereinfacht dargestellt werden.

Die grossen Streuungen der Individuenzahlen in den faunistischen Proben spiegelten die heterogene Besiedlung an der Flusssohle sowohl kleinräumig wie auch im Längsverlauf wider. Die Anwendung multivariater statistischer Methoden trug substantiell dazu bei, die Verteilungsmuster und Reaktionen der Wirbellosen-Gemeinschaften entlang des komplexen, longitudinalen Umweltgradienten herauszuarbeiten. Um diese Zusammenhänge noch genauer erfassen zu können, sind längerfristige Studien nötig, welche die Beschreibung von saisonalen Schwankungen ermöglichen. Dadurch könnten auch die Lebenszyklen der verschiedenen Taxa, ihre biologischen Wechselbeziehungen und ihre Stellungen im Nahrungsnetz miteinbezogen werden.

Verdankungen

Die vorliegende Arbeit wurde an der Abteilung Limnologie der EAWAG in Dübendorf ausgeführt. Ein besonderer Dank gebührt Prof. Dr. Elisabeth I. Meyer für die umfassende und motivierende Unterstützung. Dr. Silke Meyns, Richard Illi und Bruno Ribi stellten die Chemiedaten zur Verfügung und führten die Chl a Analysen durch. Dr. Urs Uehlinger sei für die Bereitstellung der Abfluss- und Temperaturdaten gedankt. Ein herzliches Dankeschön auch Urs Holliger, Diana Soldo und Sandra Lass, die mit ihren konstruktiven Vorschlägen viel zur Verbesserung des Manuskripts beigetragen haben.

Literaturverzeichnis

- ASCHWANDEN, H. & WEINGARTNER, R. (1985): Die Abflussregimes der Schweiz; – Geogr. Inst. d. Univ. Bern, Publ. Gewässerkunde 65, 238 S.
- ASCHWANDEN, H. (1996): Einzugsgebietskenngrössen der hydrologischen Untersuchungsgebiete der Schweiz; – Hydrologische Mitteilungen Nr. 23, Landeshydrologie und -geologie, Bern, 318 S.
- AUBERT, J. (1959): Plecoptera. Insecta Helvetica, Fauna; – Imprimerie La Concorde, Lausanne 139 S.
- BÄR, O. (1983): Geographie der Schweiz; – Lehrmittelverlag des Kantons Zürich, 247 S.
- BURGHERR, P., HOLLIGER, U., HURTER, H.-U., MOOS, T., SCHWEIZER, G. & WALKER-BIELSER, M. (1993): Kurzzeit-Besiedlung von Kalksandsteinen im Ufer- und Stromstrichbereich eines voralpinen Fliessgewässers (Necker, Kt. St.Gallen); – Vollpraktikumsbericht, Abt. Limnologie, EAWAG.
- BURGHERR, P. (1994): Struktur der Makroinvertebraten-Gesellschaft und Habitatscharakteristika im Längsverlauf eines voralpinen Fliessgewässers (Necker, SG); – Dipl. Arb. ETH/EAWAG Zürich.
- CARR, M.R. (1997): Primer User Manual; – Plymouth Marine Laboratory, Plymouth (UK), 41 S.
- CHESSEL, D. & DOLÉDEC, S. (1996): ADE Version 4: Hypercard Stacks & Quick Basic Microsoft Programme library for the analysis of environmental data. User's manual; – ESA CNRS 5023, Ecologie des Eaux Douces et des Grands Fleuves, Université Lyon 1, France.
- CUMMINS, K.W. (1975): The ecology of running waters: theory and practice; – In: BAKER, D.B., JACKSON, W.B. & PRATER, B.L. (eds.): Proceedings Sandusky River Basin Symposium. ERDA.
- FEHR, R. (1987): Einfache Bestimmung der Korngrössenverteilung von Geschiebematerial mit Hilfe der Linienzählanalyse; – Schweizer Ingenieur und Architekt, 105, 1104–1109.
- FRUTIGER, A. (1983): Untersuchungen zur Ökologie der räuberischen Steinfliege *Dinocras cephalotes* CURT. (Plecoptera: Perlidae) in einem Fliessgewässer der schweizerischen Voralpen; – Dissertation ETH Zürich Nr. 7400.
- IMHOF, A. (1994): Habitatscharakteristika und Verhalten von *Perla grandis* RAMBUR (Plecoptera: Perlidae) und anderen räuberischen Steinfliegenlarven; – Dissertation ETH Zürich Nr. 10635.
- JÄGGI, M. (1987): Flussbau; – Vorlesung ETH Zürich, 245 S.

- LANDESHYDROLOGIE und -GEOLOGIE (1993): Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz, 363 S.
- MATTHÄI, C.D., UEHLINGER, U., MEYER, E. & FRUTIGER, A. (1996): Recolonization of benthic invertebrates after experimental disturbance in a Swiss prealpine river; – *Freshwater Biol.*, 35, 233–248.
- MEYER, E. (1991): Pattern of invertebrate community structure, abundance and standing crop in a Black Forest stream: results of a 3-year study; – *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 24, 1840–1845.
- MINSHALL, G.W., PETERSEN, R.C., BOTT, T.L., CUSHING, C.E., CUMMINS, K.W., VANNOTE, R.L. & SEDELL, J.R. (1992): Stream ecosystem dynamics of the Salmon River, Idaho: an 8th-order system; – *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 11, 111–137.
- MOOG, O. (Ed.) (1995): *Fauna aquatica austriaca*; – Lieferung, Mai/95, Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- NAIMAN, R.J. & SEDELL, J.R. (1979): Benthic organic matter as a function of stream order in Oregon; – *Arch. Hydrobiol.*, 87, 404–422.
- NAEGELI, M.W. (1992): Respiration im hyporheischen Interstitial eines voralpinen Flusses; – *Dipl. Arb. ETH/EAWAG Zürich*.
- SCHWOERBEL, J. (1994): *Methoden der Hydrobiologie*; – Süsswasserbiologie; 4. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 368 S.
- STATSOFT (1995): *Statistica for Windows*, 2nd edition; – Statsoft, Tulsa, 3872 S.
- STATZNER, B. & HIGLER, B. (1985): Questions and comments on the river continuum concept; – *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42, 1038–1044.
- TOWNSEND, C. R. (1996): Concepts in river ecology: pattern and process in the catchment hierarchy; – *Arch. Hydrobiol. Suppl.*, 113, 3–21.
- UEHLINGER, U. (1991): Spatial and temporal variability of the periphyton biomass in a prealpine river (Necker, Switzerland); – *Arch. Hydrobiol.*, 123, 219–237.
- VANNOTE, R. L., MINSHALL, G.W., CUMMINS, K.W., SEDELL, J.R. & CUSHING, C.E. (1980): The river continuum concept; – *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37, 130–137.
- WARD, J.V. (1989): The four-dimensional nature of lotic ecosystems; – *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 8, 2–8.