

- DLABOLA, J. 1958. Records of leafhoppers from CSSR and South European Countries. *Acta. Faun. Entomol. Mus. Nat. Pragae* 3: 7–15.
- GILLHAM, M.C. 1990a. Polymorphism taxonomy and host plant associations in Alebra leafhoppers (Homoptera, Typhlocybinidae). Cardiff, University of Wales.
- GILLHAM, M.C. 1990b. Variations in acoustic signals within and among leafhoppers species of the genus Alebra (Homoptera, Cicadellidae). Cardiff, University of Wales.
- GUNTERT, H. 1974. Beitrag zur Kenntnis der Kleinzikaden (Typhlocybinidae, Hom. Auch.) der Schweiz. 1. Ergänzung. *Mitt. Schweiz. Entomol. Ges.* 47: 15–27.
- GUNTERT, H. 1977. Einfluss des Alters auf Bestimmungsmerkmale. Biotaxonomische und rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen bei Kleinzikaden. *Mitt. Schweiz. Entomol. Ges.* 50: 189–201.
- GUNTERT, H. 1979. Biotaxonomic experiments proving *Zygina pruni* EDWARDS is a synonym of *Flammigeroidia flammigera* (FOURCROY). *Mitt. Schweiz. Entomol. Ges.* 52: 13–17.
- GUNTERT, H. 1984. Zikaden aus der alpinen Höhenstufe der Schweizer Zentralalpen. *Mitt. Schweiz. Entomol. Ges.* 57: 129–130.
- GUNTERT, H. 1987a. Ökologische Untersuchungen im Unterengadin. *Ergebn. wiss. Untersuch. Schweiz. Nationalpark*, Bd. XII, 12. Lieferung, pp. 203–299.
- GUNTERT, H. 1987b. Für die Schweiz neue und wenig gesammelte Zikaden-Arten (Hom. Auchenorrhyncha), 2. Ergänzung. *Mitt. Schweiz. Entomol. Ges.* 60: 83–105.
- GUNTERT, H. 1997. Die Zikaden der Schweiz. Nationalparks und seiner Umgebung (Insecta: Auchen.). Nationalparkforschung in der Schweiz, Nr. 88, Zerne.
- NAST, J. 1972. Palearctic Auchenorrhyncha (Homoptera), an annotated check list. Polish Academy of Sciences, Institute of Zoology, Warszawa, 550 pp.
- NAST, J. 1979. Palearctic Auchenorrhyncha. Part 2: Bibliography. Addenda and Corrigenda. *Ann. Zool. Polska Akad.* 34: 481–499.
- NAST, J. 1982. Palearctic Auchenorrhyncha. Part 3: New taxa and replacement names introduced till 1980. *Ann. Zool. Polska Akad.* 36: 289–362.
- REMANE, R. 1994. Anmerkungen zum Bestand an Morphospezies der *Zygina flammigeroidia*-Gruppe in Mitteleuropa (Hom., Auch., Cicadellidae). *Märburger Entomol. Publik.* 2(8): 109–130.
- REY, C. 1894. Remarques en passant. L'Echange. *Revue Linnéenne, Lyon* 10: 45–46.
- SCHUHMACHER, F. 1919. Verzeichnis der bei Schandau in der Sächsischen Schweiz beobachteten Hemipteren. *Entomol. Mitt. Dtsch. Entomol. Mus. Berlin-Dahlem* 8: 150–156.
- STRUBING, H. & ROLLENIHAGEN, T. 1982. Ein neues Aufnahmesystem für Vibrationssignale und seine Anwendung auf Beispiele aus der Familie Delphacidae (Hom. Cicadina). *Zool. Jb. Physiol.* 92: 245–268.

(erhalten am 29. Februar 2000; angenommen am 20. März 2000)

Benthische Wirbellosenfauna des Sensesystems (Kt. Freiburg)

ANDREAS ZURWERRA¹, MARKUS BUR¹, BELA TURCSANYI¹,
KLAUS JÜRGEN MAIER¹ & IVAN TOMKA¹

Benthic invertebrates of the Sense river system (Freiburg/Switzerland). – The benthic invertebrates were studied in the catchment area of the Sense river (Freiburg/Switzerland) from the year 1990 until 1992. 248 species were found at 14 sites which were evenly distributed between the confluence of the Sense and the Saane and its sources in an altitude ranging from 530 m to 1420 m. The most important taxa are Crustacea (43 species), Ephemeroptera (38), Plecoptera (52), Trichoptera (70) und Diptera (11), whereby only a small fraction could be identified to species. Due to the consistent approach which was decided upon using sampling methods covering the benthos from the surface down to a depth of 70 cm, the drift and the emergers applied on several occasions during the season at the sites of diversified character the number of the identified taxa is three times greater than in studies reported on comparable sites. Statistical and ecological methods were used to evaluate the distribution and composition of the fauna regarding the different ecological types of the investigated sites.

Keywords: Switzerland, prealpine stream, macroinvertebrates, community analysis, distribution, microcrustacea, meiofauna.

EINLEITUNG

Vom Oktober 1990 bis September 1992 wurde die Wirbellosenfauna der Sense und ihrer Zuflüsse untersucht. Das über mehrere biozönotische Regionen erstellte Arteninventar ermöglicht Direktvergleiche mit anderen Gewässersystemen (BREITENMOSER-WÜRSTEN, 1994; LUBINI, 1994), dient bei späteren Kontrolluntersuchungen als Referenz und stellt einen Beitrag zur Kenntnis der Benthosfauna im Voralpenraum dar.

Die vorliegenden Ergebnisse stützen sich auf das vom Schweizerischen Nationalfond verlangte Arteninventar, welches im Rahmen des Forschungsprojektes der Universität Freiburg «Einfluss von technischen Eingriffen an natürlichen Fließgewässern auf die Fauna und Flora» erarbeitet wurde. Erste Teilergebnisse zur Fauna wurden bereits früher publiziert (MAIER & TURCSANYI, 1993).

UNTERSUCHUNGSGEBIET

Das Untersuchungsgebiet «Sensesystem» liegt in den Westschweizer Voralpen, südöstlich der Stadt Freiburg. Das Flusssystem gliedert sich in Kalte Sense, Warme Sense, Schwarzwasser und Sense (Abb. 1). Das gesamte Einzugsgebiet der Sense umfasst 387 km² und liegt zwischen 2'188 m ü.M. (Ochsen) und 577 m ü.M. (Mündung in die Saane bei Laupen).

Das Schwarzwasser (Einzugsgebiet 87 km²), die Kalte Sense (67 km²) und die Warme Sense (45 km²) sind die wichtigsten Nebenflüsse. Das Schwarzwasser wurde nur in seinem Mündungsbereich in die Untersuchung miteinbezogen.

¹ Fließwasserprojekt "Sense", c/o Pronat Conseils SA, Kreuzmattstr. 56, CH-3185 Schmitten.

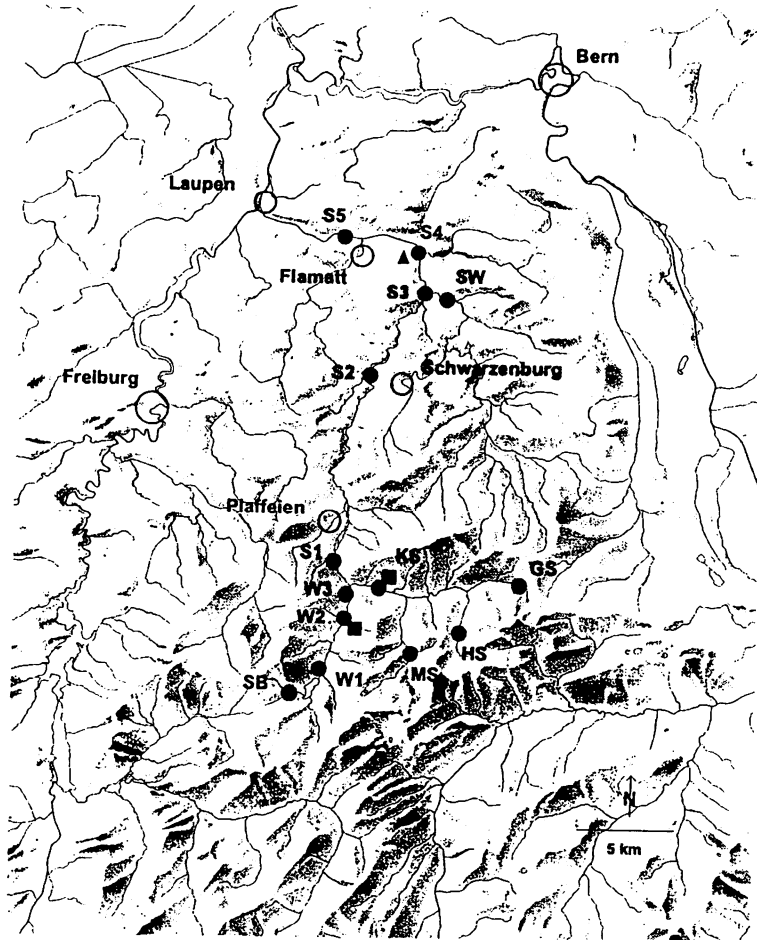


Abb. 1. Sensesystem. Untersuchungsstellen: ● Benthosfauna und Wasserqualität (S3, S5 nur Benthos), ▲ Messstation Landeshydrologie, ■ Pegelstandsmessungen.

Das Sensegebiet zeichnet sich durch feucht-kühles Klima aus. Die mittlere Jahrestemperatur liegt im Sense-Oberland bei 4,7 °C (9,8 °C Sommer, -0,4 °C Winter).

Die durchschnittliche Jahresniederschlagsmenge beträgt 2'000 mm, wovon 56 % der Niederschläge im Sommer, bevorzugt während Gewittern fallen.

Geologie: Die Quellwasser der Sensezuflüsse durchfliessen älteres Gestein, das als Kalkklippen bezeichnet wird. Nach dem Austritt durchqueren die Gewässer alttertiäres Flyschgebiet, das dem Niesenflysch zugeordnet wird (KÖNIG, 1973). Nach der feineren Unterteilung von JUNGO (1977) handelt es sich um Gurnigelschichten, die sich durch abwechselnde Lagen von Mergel-, Sandstein-, Schiefer- und Breccienlagen auszeichnen. Die Schiefer und Mergelschichten verwittern leicht und bilden bei Wasserzutritt schmierige Gleitflächen. Diese Tatsache und die äusserst unregelmässige Tektonik bringen es mit sich, dass das ganze Gebiet stark zu

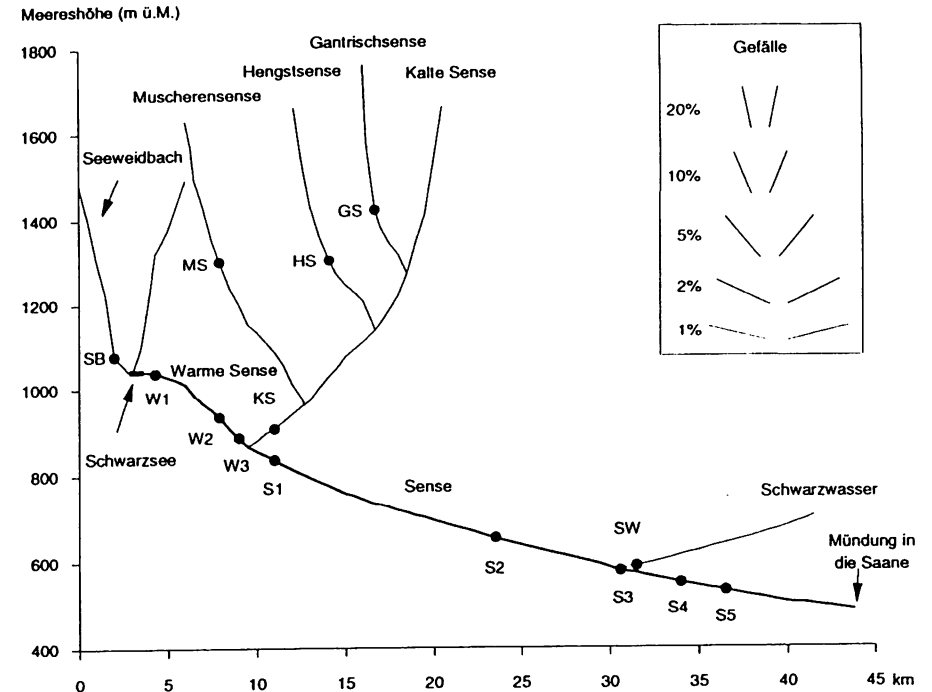


Abb. 2. Längenprofile der Sense und ihrer Zuflüsse.

Erdschlipfen, Rutschungen und Wildbacherosionen neigt (PFISTER *et al.*, 1988). Der Unterlauf der Sense liegt im Mittelland, das geologisch aus jungtertiärem und tertiärem Oberflächenschutt mit vorwiegend Molasse und Nagelfluh besteht.

Morphologie: Die Warme Sense entspringt auf 1'040 m ü. M. dem Schwarzsee und weist ein durchschnittliches Gefälle von 3% auf. Das Flussbett ist unterhalb des Sees flach und hat eine kiesige bis sandige Sohle. Vor dem Zusammenfluss mit der Kalten Sense nimmt das Gefälle zu (Abb. 2). Die Sohle ist rau. Sande sind nur mehr spärlich vorhanden. Der Geschiebetrieb ist beträchtlich. Zum Schutze der Kantonsstrasse nach Schwarzsee wurden zahlreiche Querschwellen und Uferverbauungen erstellt.

Die Kalte Sense, ein natürliches, rauhes und kaltes Gewässer mit hohem Geschiebetrieb, entspringt mit drei Quellflüssen im Gantrischgebiet auf 1'400 bis 1'600 m ü.M.. Das Gefälle ist mit durchschnittlich 7% wesentlich steiler als jenes der Warmen Sense. Typisch sind rasch auftretende Hochwasser nach heftigen Regenfällen. Da das Tal eng und wenig bewohnt ist, wurden kaum Verbauungen eingebracht.

Warme und Kalte Sense vereinigen sich bei Zollhaus zur Sense (870 m ü. M.). Der ca. 100 m breite, natürliche Oberlauf der Sense verzweigt sich in zahlreiche, häufig wechselnde, ca. 5–10 m breite Arme. Bei Normalwasserstand wird nur etwa $\frac{1}{10}$, bei extremen Hochwassern das gesamte Flussbett überflutet. Auf stabilen Schotterbänken bilden sich Vegetationsinseln mit vorwiegend Weiden- und Erlengebüsch. Die hier anthropogen wenig beeinflusste Aue wurde teilweise ins Landesinventar der schützenswerten Auenlandschaften aufgenommen (KUHN & AMIET, 1988).

Tab. 1. Charakteristik der Untersuchungsstellen.

Nr.	Name	Koordinaten	Bettbreite	Substrat	Umland	Bemerkungen
SB	Seeweidbach	587.080 167.970	4 m	grober Kies bis kopfgrosse Steine	L: Fichtenwald R: Ufergehölz, Feldweg, Weide	Niedrige Querswellen aus Holz
W1	Warme Sense, Seesausfluss	588.430 168.850	10 m	Kies, teilweise verschlammte, einheitliches Substrat	intensiv bewirtschaftete Weiden und Wiesen	Begradigt und eingetieft. Bestockung fehlt fast ganz
W2	Warme Sense, unbaut	589.860 172.290	30 m	Steinblöcke bis grober Kies	Ufergehölz und Wald	Breite Schotterbänke, mäandrierend
W3	Warme Sense, verbaut	590.100 173.240	15 m	Kies bis kopfgrosse Steine	L: Fichtenwald R: Weidensaum, Strasse	Hohe Betonschwellen (1-2 m), Blockwurf und Betonmauern. Unterhalb der Schwellen mit tiefen Pools
S1	Sense bei Plaffeien	589.140 175.430	120 m	Steinblöcke, Grob- und Feinkies, Sand	L: Weiden, Wohngebiet R: Erlenwald	Linkes Ufer mit Blockwurf und Buhnen. Furkationstyp. Kiesentnahme unterhalb des Standortes
S2	Sense oberhalb Sodbachbrücke	590.950 185.800	100 m	Grob- und Feinkies	Wald	Mit Weiden bewachsene Schotterinseln. Furkationstyp
S3	Sense unterhalb Schwarzwassermündung	593.950 190.290	50 m	Grob- und Feinkies	Nagelfluhs und Fichtenwald	
S4	Sense bei Thörishaus	593.500 192.880	35 m	Grob- und Feinkies	Landwirtschaftlich genutzte Flächen	L: Kiesbank R: Blockwurf
S5	Sense bei Neuenegg	589.630 193.460	35 m	Grob- und Feinkies, vereinzelt Blockschüttung	Landwirtschaftsland, Wohngebiet	Sohle fast auf der gesamten Breite benetzt Blockwurf
SW	Schwarzwasser	594.580 190.380	8 m	Sandsteinfels, Kies	Nagelfluh- und Sandsteinfels, Wald und Weiden	
GS	Gantrischsense	599.680 174.130	10 m	Grober Kies	Fichtenwald	2 m breites Gerinne, niedrige Holzschwellen, Ufersicherungen
HS	Hengstsense	596.250 171.330	3 m	Steinblöcke, Kies, Holz	Fichtenwald	
MS	Muscherensense	593.490 170.450	2 m	Steinblöcke bis grober Kies, natürlich versintert	Fichtenwald	Grosse Steine mit Moosen, natürliche Blockstufen
KS	Kalte Sense	591.350 173.950	50 m	Steinblöcke bis grober Kies; viel Schwemmholz	Fichtenmischwald	1/5 benetzt, hoher Geschiebetrieb

Der Mittellauf zwischen Zumholz und der Schwarzwassermündung wird durch die tiefe Senseschlucht geprägt. Der korrigierte Unterlauf zwischen Thörishaus und Mündung wird über weite Strecken mit Blockwurf gesichert.

MATERIAL UND METHODEN

An der Sense und an den wichtigsten Zuflüssen wurden insgesamt 14 Probenahmestellen ausgewählt (Abb. 1, 2; Tab. 1). Anzahl und Standort der Probestellen wurden so gewählt, dass mit wenig Aufwand eine möglichst umfassende Kenntnis der Wirbellosenfauna des Sensesystems erarbeitet und der Einfluss von Verbauungen (Standorte W2, W3) auf die Fauna untersucht werden konnte.

Abfluss: Bei W3 und KS (Abb. 1) wurden die Pegelstände mit Limnigraphen der Landeshydrologie aufgezeichnet (Oktober 1991 bis Juli 1993). Der Abfluss

wurde an beiden Stellen je dreimal mit der Salzmethode (LUDER *et al.*, 1988) ermittelt. Bei S4 (Thörishaus) stellte uns die Landeshydrologie die Daten ihrer Abflussmessstelle zur Verfügung.

Wassertemperatur: Die Wassertemperaturen wurden bei W3 und KS (Oktober 1991 bis Mai 1993) sowie bei S1 (Juli 1992 bis Juli 1993) mit exponierten Thermographen (Elmes) der EAWAG gemessen.

Limnochemie: Im Frühjahr 1991 wurden an allen 14 Stellen Wasserproben entnommen und vom Kantonalen Umweltschutzamt Freiburg analysiert. Zusätzliche Daten standen uns aus der Literatur zur Verfügung (HEFTI & TOMKA, 1991; NOEL & FASEL, 1985).

Erfassen der Fauna: Eingesetzt wurden Boxsampler (BRETSCHKO & KLEMENS, 1986, $\phi = 34$ cm, Maschenweite 100 μ m, 2 Probenahmen mit je 3 Proben pro Standort), Freezingcore (BRETSCHKO, 1985; BRETSCHKO & KLEMENS, 1986, bei Standort W2, W3, KS und S1, 5 Sedimentschichten), Kicksampling (Maschenweite 300 μ m), Luftkescher sowie Emergenzfallen (STUMMER, 1980, bei Standort W2 und W3).

Determination: Turbellaria und Hirudinea wurden lebend im Feld bestimmt. Hydracarina und Oligochaeta wurden vor der Bestimmung in Glycerinlösung bzw. 4 %-igem Formalin, alle anderen Organismen in 70 %-igem Isopropanol fixiert.

Die Proben wurden in gut erkennbare Grossgruppen eingeteilt und ausgezählt (Boxsampler, Freezingcore) und unter dem Stereomikroskop bzw. Mikroskop bis zur Art bestimmt. Für die Determination der Taxa zeichnen verantwortlich: Turbellaria (V. A. KOWARC; R. BEUTLER; P. RASCH); Oligochaeta (V. A. KOWARC, Beratung J. ARAYA-SCHMID, Lunz); Hirudinea (V. A. KOWARC; R. BEUTLER; P. RASCH); Hydracarina (J. SCHWOERBEL, Konstanz); Crustacea (V. A. KOWARC); Ephemeroptera (P. RASCH); Plecoptera (B. TURCSANYI); Diptera (R. BEUTLER; V. A. KOWARC); Trichoptera (K.-J. MAIER, Beratung H. MALICKY, Lunz); Coleoptera (V. A. KOWARC; P. RASCH).

Für die Bestimmung stand vorwiegend folgende Literatur zur Verfügung: ILLIES, 1955; AUBERT, 1959; FREUDE *et al.*, 1964–1983; DUSSART, 1967/1969; HENNIG, 1968; KIS, 1974; REYNOLDSON, 1978; ELLIOTT & MANN, 1979; ROZKOSNY, 1980; TOBIAS & TOBIAS, 1981; MALICKY, 1983; AMOROS, 1984; JENSEN, 1984; KLAUSNITZER, 1984; PITSCH, 1993; RIVISECCHI, 1984; SEDLAK, 1987; STUEDEMANN *et al.*, 1992; WARINGER & GRAF, 1997.

Die Nomenklatur der Faunaliste folgt mit Ausnahme der Steinfliegen (ZWICK, 1973) der Bestimmungsliteratur.

Ökologische Typisierung (SCHMIEDTJE & COLLING, 1996): Alle Probestellen wurden typisiert. Dabei wird jedes Taxon mit einer Zehnerskala bezüglich der ökologisch relevanten Kenngrößen (Abb. 6) mittels Erfahrungswerten beurteilt. Die Werte aller Taxa eines Standortes werden unter Einbezug der Abundanz für jede Kenngrösse aufsummiert und der Anteil der verschiedenen Kriterien berechnet. Bei der Strömungspräferenz wird jedem Taxon nur ein einzelnes Kriterium zugeordnet.

Berechnung der β -Diversität: Die einzelnen Untersuchungsstellen wurden zooönotisch mittels der β -Diversität resp. dem Sørensen-Koeffizienten (SC) miteinander verglichen, welcher definiert ist mit $SC = 2J/(A+B)$. Dabei gilt: J = Anzahl der Taxa, die an beiden zu vergleichenden Stellen vorkommen; A = Anzahl der Taxa, die an der Stelle A vorkommen; B = Anzahl der Taxa, die an der Stelle B vorkommen. Der Sørensen-Koeffizient variiert zwischen 0 und 1. Null bedeutet keine faunistische Ähnlichkeit, Eins absolute faunistische Übereinstimmung. Für die Berechnung des Koeffizienten wurden die Taxa Ephemeroptera, Plecoptera und Trichoptera einbezogen.

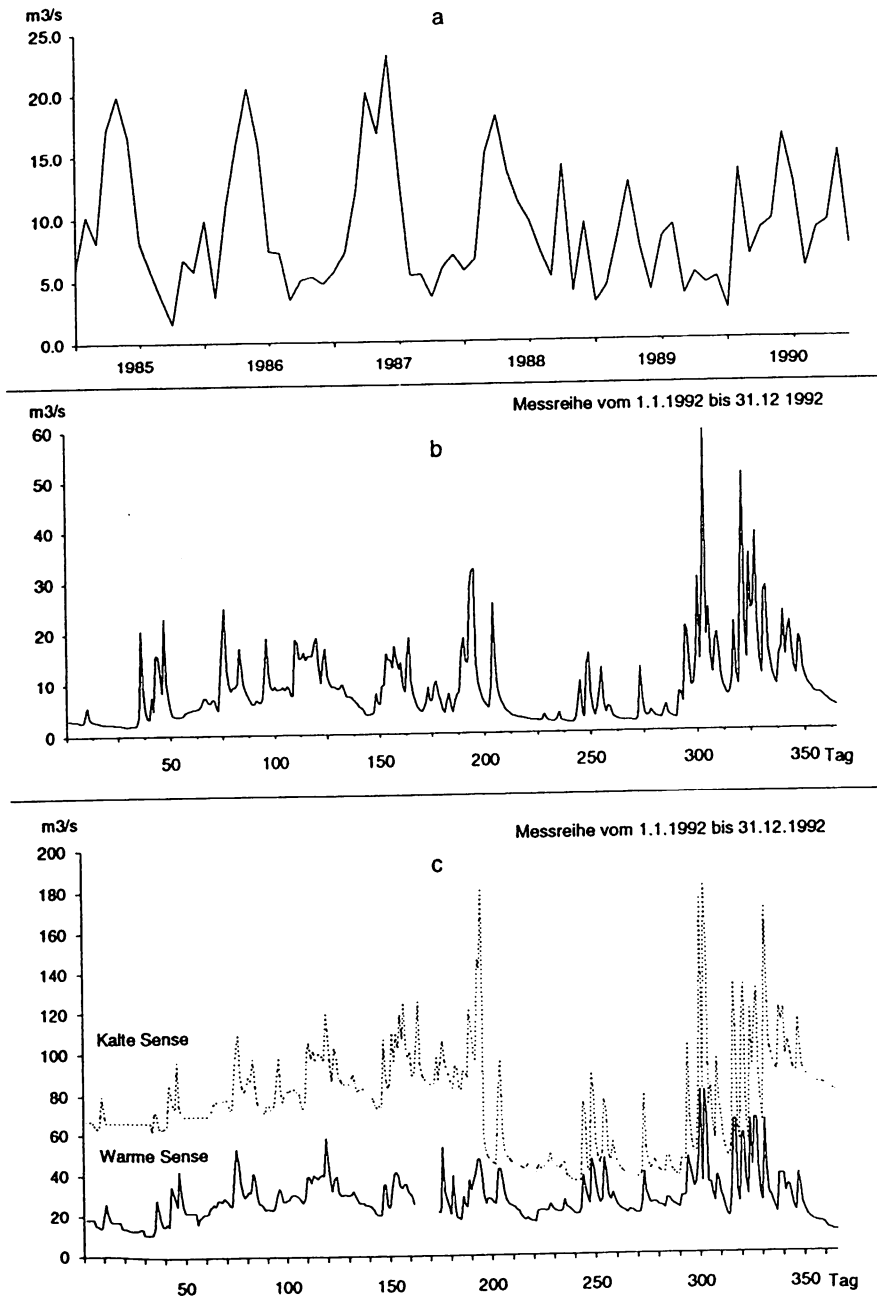


Abb. 3. Abfluss. a: Durchschnittlicher Monatsabfluss in der Sense bei Thörishaus (S4) der Jahre 1985–1990. b: Tagesabflüsse bei Thörishaus (Daten der Landeshydrologie). c: Pegelstand in der Warmen und Kalten Sense.

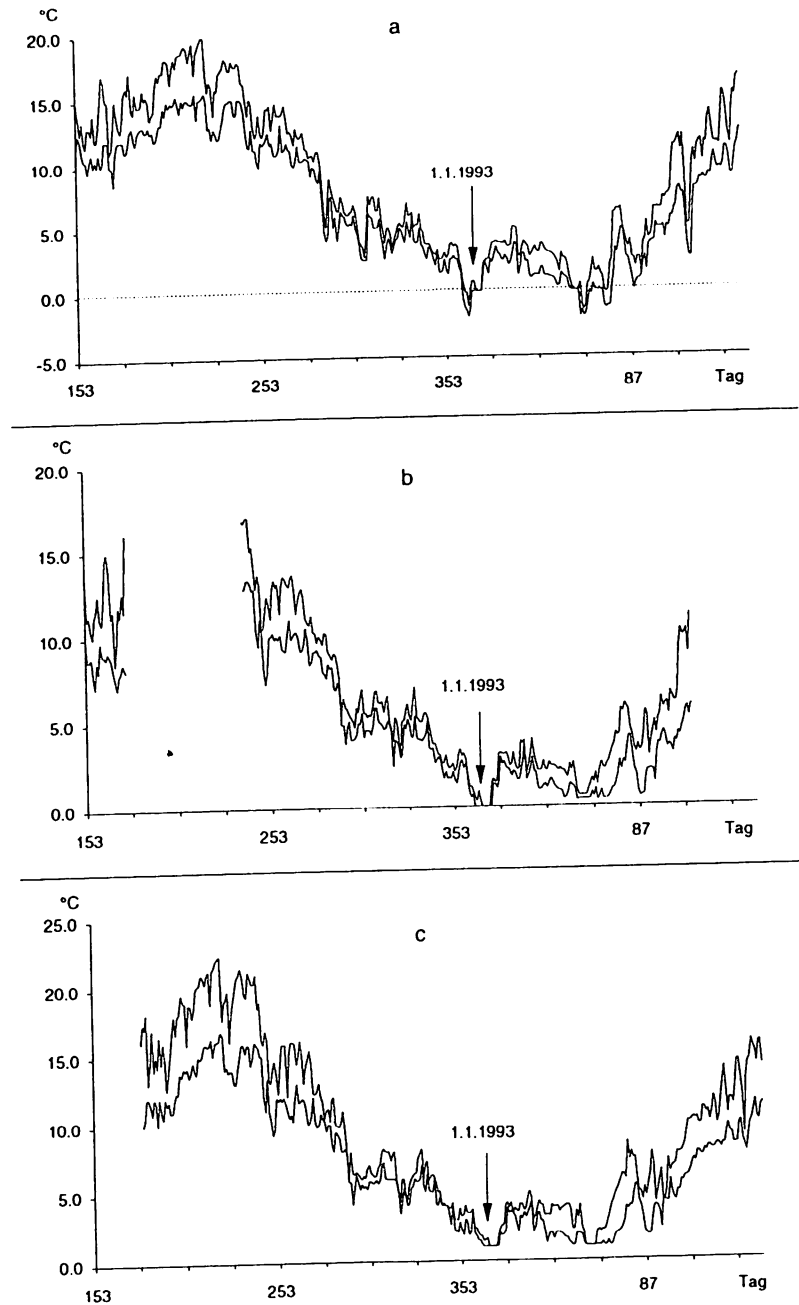


Abb. 4. Minimale und maximale Tagestemperaturen. Messreihe vom 1.6.1992 bis 31.5.1993. a: Warme Sense (W2); b: Kalte Sense (KS); c: Sense bei Plaffeien (S1). An der Kalten Sense (KS) fehlen einige Daten vom Sommer 1992, da der Thermograph gestohlen wurde.

Statistische Analysen: Mit Hilfe der Logistischen Regression (logistic regression, LR) und der Kanonischen Korrespondenzanalyse (canonical correspondence analysis, CCA) wurden Stationen, Taxa und Umweltparameter ausgewertet (TER BRAAK, 1988). Zur Bestimmung der Systemparameter wurde die «Forward selection» benutzt.

RESULTATE

Abiotische Parameter

Abfluss: Der mittlere Abfluss der Sense bei Thörishaus schwankt zwischen 5 und 16 m³/s (Abb. 3). Hohe Werte werden im Frühsommer und Sommer erreicht. Sie sind hauptsächlich auf die in dieser Jahreszeit häufig auftretenden Gewitter zurückzuführen. Maximale Abflussmengen von über 100 m³/s wurden in den Jahren 1965, 1966, 1973, 1976 und 1978 gemessen (Messreihe 1962–1990). Die minimalen Abflüsse schwanken zwischen 3 und 8 m³/s.

Für die Kalte Sense wurden mittlere Abflusswerte von 3–4 m³/s, für die Warme Sense von 2–3 m³/s ermittelt.

Die an der Warmen und Kalten Sense erhobenen Pegeldaten geben Anhaltspunkte über die Hochwasserfrequenz. Hochwasser treten an den beiden Stellen in der Regel gemeinsam auf. Die Pegelschwankungen sind jedoch an der Kalten Sense bedeutend ausgeprägter als an der Warmen Sense, was auf die Pufferwirkung des Schwarzeses zurückzuführen ist (Abb. 3).

Wassertemperatur: Die verschiedenen Zonen des Sensesystems weisen sehr unterschiedliche Temperaturregimes auf. In den Quellregionen Gantrichsense (GS), Hengstsense (HS), Muscherensense (MS) und im Seeweidbach (SB) sind die Temperaturen sehr ähnlich und erreichen im Sommer etwa 13 °C. In der Warmen Sense (W1–W3), in der Sense (S1–S5) und im Unterlauf des Schwarzwassers (SW) liegen die Sommertemperaturen höher, was in der Warmen Sense auf den Einfluss des Sees zurückzuführen ist. Die Wassertemperaturen der Kalten Sense (KS) liegen im Sommer zwischen jenen der Quellregionen und der Warmen Sense. Die sommerlichen Tagesschwankungen sind im Senseoberlauf (S1, S2) mit bis zu 10 °C (Juli 1991) am grössten (Tab. 2), was auf die starke Besonnung des Gerinnes zurückzuführen ist. Die Temperaturen im Winter liegen um die 0 °C (Abb. 4).

Limnochemie: Das Sensesystem mit pH-Werten zwischen 7,7 und 8,5 gehört zu den carbonatreichen Gewässern. Die mittlere Leitfähigkeit liegt zwischen 239 und 852 µS/cm und korreliert eng mit der Gesamthärte, welche nach HEFTI & TOMKA (1991) Werte zwischen 80,8 und 94,9 mg/l aufweist. Muscheren-, Hengst- und Kalte Sense weisen folgende Besonderheiten auf (Tab. 3):

- Die Leitfähigkeit variiert stark. Eine hohe Leitfähigkeit von 800–1'400 µS/cm wurde an der Muscherensense gemessen.
- Sie weisen hohe natürliche SO₄-Konzentrationen auf (109–137 mg/l).
- In der Muscherensense wurde ein sehr hoher Borgehalt von 10,4 mg/l natürlicher Herkunft gemessen.

Die absetzbaren Stoffe, O₂, NH₄, NO₃, PO₄, P_{tot} sind, insbesondere in der Warmen Sense und der Sense, anthropogen beeinflusst (Tab. 3). Die Schadstoffbelastung ist aber im allgemeinen gering. Nach NOEL & FASEL (1985) können die Gewässer zwischen unbelastet bis schwach belastet klassiert werden. Entlang der Warmen Sense und Sense bestehen mehrere Siedlungen, deren Abwässer, im Gegensatz zu heute, zum Zeitpunkt der Untersuchung noch keiner Abwasser-

Tab. 3. Chemisch-physikalische Parameter der Untersuchungsstellen. Messung vom 15./16.7.1991.

Standort	T °C	pH	Leitf. µS/cm	Abs. Stoffe mg/l	O ₂ mg/l	O ₂ sat. %	BSB 5 mg/l	N-NH ₄ mg/l	N-NO ₂ mg/l	N-NO ₃ mg/l	P-PO ₄ mg/l	P Tot mg/l	SO ₄ mg/l	Cl mg/l	Bor Tot mg/l	Ca mg/l	SiO ₂ mg/l
SB	15.5	8.3	308	1	9.5	115	0.6	0.010	0.040	0.3	0.03	0.04	21.3	1.4	3.3	2.6	4.3
W1	21.0	8.3	396	1	7.4	100	0.8	0.020	0.008	0.6	0.03	0.03	91.8	1.6	4.5	3.7	1.5
W2	16.0	8.4	454	3	8.7	98	1.1	0.045	0.024	0.4	0.02	0.04	98.0	1.2	5.1	3.9	3.2
W3	16.0	8.4	450	0	8.5	95	0.8	0.030	0.015	0.4	0.03	0.03	98.7	1.5	5.1	3.7	3.2
S1	16.0	8.2	446	21	8.4	96	0.5	0.080	0.008	0.4	0.02	0.03	98.5	1.8	5.0	3.7	3.9
S2	17.0	7.8	587	32	9.6	101	0.6	0.020	0.011	5.1	3.00	0.04	18.8	11.0	5.6	3.5	9.0
S4	21.0	8.3	423	5	8.3	101	0.6	0.030	0.015	1.7	0.03	0.04	9.3	4.7	4.5	3.8	6.2
SW	21.5	8.3	395	0	8.3	100	0.9	0.021	0.016	2.3	0.03	0.05	22.3	6.1	4.2	3.3	7.4
GS	13.0	8.0	239	11	8.3	96	0.5	0.020	0.010	0.6	0.03	0.05	33.3	2.5	2.4	2.0	2.6
HS	11.0	8.1	408	1	9.5	100	0.6	0.020	0.009	0.4	0.02	0.03	109.0	1.2	4.7	3.2	4.5
MS	8.0	8.0	852	1	11.5	115	0.5	0.020	0.001	0.5	0.02	0.03	137.0	1.7	10.4	8.7	3.5
KS	12.5	8.2	474	0	10.0	103	0.5	0.020	0.001	0.4	0.02	0.03	114.0	10.0	5.3	3.9	4.2

reinigungsanlage zugeführt wurden (Anlage seit Juni 1998 in Betrieb). Die Nitratkonzentration ist bei S2, S3 und SW gegenüber dem Oberlauf deutlich erhöht. Die grössere Belastung bei S2 ist durch eine Abwassereinleitung nahe der Probestelle bedingt. Auffallend ist, dass alle untersuchten Gewässerabschnitte bezüglich ortho-PO₄ belastet sind. Im ganzen Sensesystem liegen die ortho-PO₄ Konzentrationen mit Ausnahme von S2 (3,0 mg P-PO₄) zwischen 0,02 und 0,03 mg/l. Nach NOEL & FASEL (1985) zeigen diese Werte eine geringe Belastung auf. Nach BRAUKMANN (1987) liegen sie im Bereich für unbelastete Bergbäche.

Tab. 4. Artenvielfalt der Probestellen. x = Taxon nachgewiesen, aber nicht bis zur Art bestimmt.

Standort	SB	W1	W2	W3	S1	S2	S3	S4	S5	SW	GS	HS	MS	KS	Total Arten
Porifera*		x													-
Cnidaria*	x						x		x	x					-
Nemathelminthes*			x	x											-
Plathelminthes									1		1	1	1		2
Mollusca*	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		-
Annelida*		1	4	4								1			5
Araneae			1										1		1
Acarina*	4	1	1	5	1	1	1	2	1	x	x	x	4	1	7
Ostracoda*	3	3	5	2	2	1	1		2	4	2	4	6	x	13
Copepoda	4	8	13	16	12	1	3	3	6	2	7	8	4	10	21
Cladocera		5	1	2	2					1	1			1	7
Amphipoda	1	1	1				1								1
Isopoda		1	1												1
Ephemeroptera	13	12	26	25	26	28	27	25	10	12	4	16	14	18	38
Plecoptera	32	3	30	14	26	15	7	10	19	8	21	36	27	33	52
Diptera*	4	1	7	4	5	6	2	4	2	3	5	4	3	4	11
Trichoptera**	15	24	34	22	6	8	3	5	8	7	8	16	15	12	70
Coleoptera	6	8	13	5	2		2	2	2	4	2	5	4	4	19
Total Arten	82	68	137	98	82	60	47	51	51	41	51	91	79	83	248

* Nur einzelne systematische Gruppen bzw. nur ein Teil des Materials bis zur Art bestimmt.

** Imagines. Larven nur teilweise bis zur Art bestimmt.

Fauna

Artenvielfalt: Im Einzugsgebiet der Sense wurden 248 Arten nachgewiesen (Tab. 4). Die wichtigsten Taxa sind die Crustacea (43 Arten), Ephemeroptera (38), Plecoptera (52), Trichoptera (70) und Diptera (11), wobei letztere nur zu einem kleinen Teil bis zur Art bestimmt wurden. Am artenreichsten ist der Standort W2 (137 Arten), gefolgt von W3 (98 Arten), wobei zu bemerken ist, dass diese Standorte zur Beantwortung der Projektfragestellungen am intensivsten untersucht wurden. Nur beim naturnahen Abschnitt der Warmen Sense (W2) sind alle drei Taxa Eintags-, Stein- und Köcherfliegen sehr artenreich vorhanden. Ansonsten sind die Steinfliegen in den kühleren Quellbächen (SB, HS, MS), der Kalten Sense (KS) sowie bei S1 sehr artenreich vertreten. Die Eintagsfliegen sind in der Warmen Sense (W2, W3) und im Ober- und Mittellauf der Sense sehr artenreich. Köcherfliegen sind ausser bei W2 nur in der Warmen Sense beim Seeauslauf (W1) und bei W3 artenreich. Das Artenspektrum der Copepoda ist in der Warmen Sense (W2 und W3) und bei S1 am grössten. Die Käfer haben bei W2 mit 13 Arten die grösste Artenvielfalt.

Geografische Verbreitung in der Schweiz: Verbreitungsangaben für die untersuchten Faunagruppen fehlen in der Schweiz weitgehend. Für Stein-, Eintags- und Köcherfliegen sind solche in Vorbereitung. Die folgenden Ausführungen stützen sich ausser der zitierten Literatur auf die Angaben des CSCF (Centre suisse de Cartographie de la Faune, Neuenburg). Die Verbreitungskarten des CSCF zu den Stein- und Köcherfliegen sind allerdings nur unvollständig aktualisiert.

Ephemeroptera: 19 Arten sind weit verbreitet und kommen in der ganzen Schweiz vor, fehlen allerdings teilweise in höheren Lagen der Alpen. 14 Arten treten nur in der Nordschweiz, meist in tieferen bis mittleren Lagen auf. Weitere 5 Arten besiedeln höhere Lagen des Juras, der Voralpen und der Alpen. Einige Arten sind selten und treten meist nur in geringen Abundanzen auf (STUEDEMANN *et al.*, 1992, *Acentrella sinaica*, *Ecdyonurus torrentis*, *Rhithrogena allobrogica*, *R. doriei*, *Torleya major*, *Leptophlebia marginata*, *Oligoneuriella rhenana*). Von *Acentrella sinaica* ist ausserhalb des Einzugsgebietes der Saane und der Sense nur noch ein Fundort in der Ostschweiz bekannt. Für *Oligoneuriella rhenana* gibt es nur Funde im Unterlauf der Sense und Saane, sowie an der Aare zwischen Thun und Bern.

Plecoptera: Die meisten im Einzugsgebiet der Sense nachgewiesenen Steinfliegen sind in der gesamten Schweiz verbreitet, fehlen aber teilweise in den inneralpinen Tälern oder in höheren Lagen der Alpen. 2 Arten sind für die Nordschweiz bekannt (*Brachyptera seticornis*, *Capnioneura nemuroides*). 4 Arten besiedeln nur die Voralpen und Alpen (*Taeniopteryx kuehntreiberi*, *Leuctra niveola*, *Capnia vidua*, *Siphonoperla montana*).

Trichoptera: Die meisten Köcherfliegenarten sind in der gesamten Schweiz verbreitet, fehlen aber teilweise in den inneralpinen Tälern. Neun Arten sind nur in der Nordschweiz verbreitet (*Agapetus ochripes*, *Glossosoma bifidum*, *Neureclipsis bimaculata*, *Micrasema morosum*, *Phryganea grandis*, *Potamophylax luctuosus*, *Sericostoma flavicorne*, *Goera pilosa*, *Athripsodes albifrons*). Für *Glossosoma bifidum*, *Philopotamus montanus*, *Micrasema morosum*, *Micropterna lateralis*, *Potamophylax luctuosus*, *Sericostoma flavicorne*, *Mystacides nigra* und *Ernodes vicinus* sind nur wenige Fundorte nach 1970 bekannt. *Glossosoma bifidum* wurde von SIEGENTHALER (1991) nur im Unterlauf der Versoix gefunden. Von *Sericostoma flavicorne* und *Potamophylax luctuosus* ist ausserhalb der Westschweiz (SIEGENTHALER, 1991) nur je ein Nachweis in der Nordostschweiz bekannt. Für *Annitella obscurata* fehlen Nachweise nach 1970. Angaben zu *Rhyacophila evoluta*, *Glossosoma inter-*

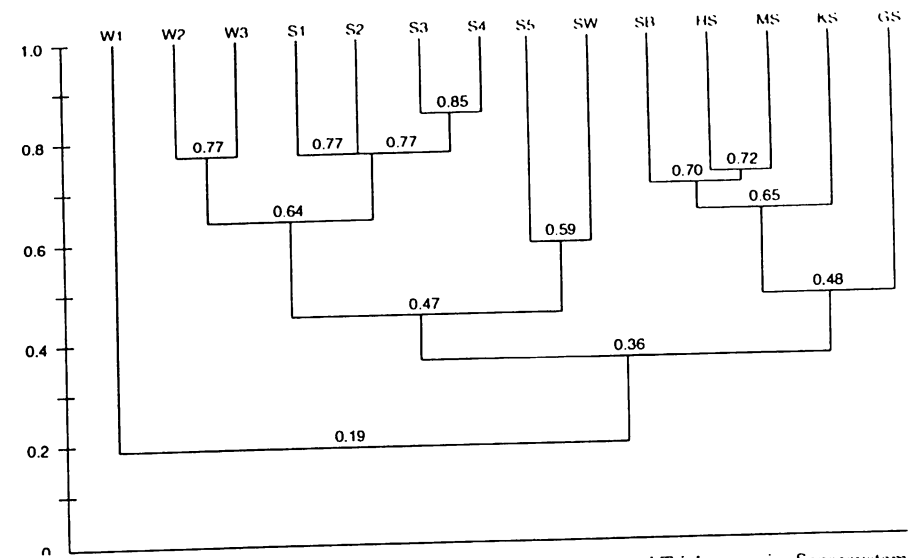


Abb. 5. β -Diversität unter Einbezug der Ephemeroptera, Plecoptera und Trichoptera im Sensesystem.

medium, *Polycentropus excisus* und *Hydropsyche incognita* fehlen (CSCF: BUHOLZER, 1978; SIEGENTHALER, 1991). Letztere wurde allerdings erst 1993 beschrieben (PITSCH, 1993).

Crustacea: Bemerkenswert sind die Funde bezüglich Ostracoda, Copepoda und Cladocera in Fliessgewässern (total 41 Arten), da Verbreitungsangaben für die Schweiz fehlen und über Vorkommen und Verteilungsmuster von Fliesswasser-Crustacea-Arten sehr wenig bekannt ist (KOWARC, 1992).

β -Diversität der Probestellen: Der paarweise Vergleich der untersuchten Standorte (Abb. 5) zeigt eine deutliche Gruppierung der verschiedenen Gewässer(abschnitte). Eine geschlossene Gruppe bilden die Kalte Sense (KS) und die Quellbäche SB, HS, MS. GS, ebenfalls ein Quellbach, ist etwas isoliert, steht aber dieser Gruppe am Nächsten. Die Sensestandorte, mit Ausnahme von S5, bilden eine geschlossene Gruppe, welche mehr Ähnlichkeiten zu W2 und W3 haben. Eine weitere Gruppe bildet der Unterlauf der Sense (S5) und das Schwarzwasser (SW). Deutlich isoliert ist W1. Am Seeauslauf der Warmen Sense herrschen spezielle Bedingungen, sodass diese Sonderstellung nicht überrascht.

Ökologische Typisierung der Probestellen nach SCHMEDTJE & COLLING (1996): Die Resultate für die 5 Typisierungskenngrössen sind in Tabelle 5 und beispielhaft in Abb. 6 für KS dargestellt. Die biozönotische Typisierung bestätigt die Gruppierung aufgrund der β -Diversität. Die Quellbäche sowie KS gehören zum Epirhithral. Im Gegensatz zur β -Diversität ergeben sich zwischen GS und den übrigen Quellbächen keine wesentlichen Unterschiede. W2, W3, S1, S2, S3, S4 und S5 können als Übergangszonen zwischen Epi- und Metarhithral betrachtet werden. Dabei nimmt mit zunehmender Distanz von der Quelle der Anteil des Epirhithrals ab und jener des Hyporhithrals zu. Eine Sonderstellung nimmt auch hier der Seeausfluss W1 ein. W1 trennt sich von den anderen Standorten dieser Höhenlage deutlich ab und ist dem Metarhithral zuzuordnen.

Der Vergleich der Strömungspräferenz aller Standorte zeigt, dass mit Ausnahme von W1, der überwiegende Teil der Arten rheophil-rheobiont ist. W1 hat

Tab. 5. Prozentuale Zuordnung der Gesamtheit der nachgewiesenen Taxa zu den Biozönotischen Regionen, den Strömungspräferenzen, den Habitatpräferenzen, den Fortbewegungstypen und den Ernährungstypen nach SCHMIEDTJE & COLLING (1996) für alle Untersuchungsstandorte. Werte < 2 % wurden nicht berücksichtigt.

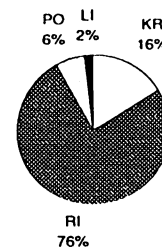
Biozönotische Regionen	SB	W1	W2	W3	S1	S2	S3	S4	S5	SW	GS	HS	MS	KS
Eukrenal	4	2	2	2	2				3		4	8	6	4
Hypokrenal	16	5	10	10	10	11	10	5	9	9	24	20	19	14
Epirhithral	43	17	32	33	35	32	32	30	30	29	45	44	44	42
Metarhithral	24	24	28	31	28	27	30	33	30	31	19	18	22	25
Hyporhithral	10	25	18	17	18	21	21	23	20	22	6	7	7	11
Epipotamal	3	17	8	7	7	9	7	9	8	9	2	3	2	4
Metapotamal		7	2											
Hypopotamal		3												
Strömungspräferenz	SB	W1	W2	W3	S1	S2	S3	S4	S5	SW	GS	HS	MS	KS
Limnobiont		4												
Limnophil	2	8	3	5	5				3	5	13	5	2	
Limno- bis rheophil	2	13	3	5	2		3		3	6		2	8	2
Rheo- bis limnophil	4	17	9	13	13	5	11	7	3		3	6	4	5
Rheophil	66	45	55	44	56	65	58	64	56	62	66	63	59	65
Rheobiont	26	9	27	31	22	30	28	29	32	27	18	19	27	28
Indifferent		4	3	2	2				3			5		
Habitatpräferenz	SB	W1	W2	W3	S1	S2	S3	S4	S5	SW	GS	HS	MS	KS
Pelal	8	9	5	6	5	6	9	8	8	6	11	11	9	5
Psammal	3	4	3	4	3	3	5	3					3	2
Akal	5	6	9	8	9	9	11	10	5	7	5	6	5	6
Lithal	59	40	55	57	56	54	52	55	61	61	55	49	60	60
Phytal	16	29	20	15	16	20	17	20	18	19	15	23	15	17
POM*	4	9	4	5	5	2	3	2	6		8	8	3	4
Sonstige	5	3	4	5	6	6	3	2	2	7	6	3	5	6
Ernährungstyp	SB	W1	W2	W3	S1	S2	S3	S4	S5	SW	GS	HS	MS	KS
Weidegänger	39	30	37	39	33	43	45	44	37	47	28	33	34	38
Zerkleinerer	19	11	17	15	15	12	8	9	12	7	19	19	17	19
Sedimentfresser	19	20	23	23	23	24	26	24	18	19	21	23	21	22
Filterer/Strudler	11	14	9	11	14	14	12	12	12	14	14	5	8	9
Räuber	12	23	14	12	15	7	9	11	19	11	16	18	18	12
Parasiten		2												
Sonstige									2		2	2	2	
Fortbewegungstyp	SB	W1	W2	W3	S1	S2	S3	S4	S5	SW	GS	HS	MS	KS
Schwebend/treibend		2		3	3					2	10			2
Schwimmend/tauchend	15	30	18	24	21	20	18	22	19	26	25	11	10	20
Grabend/bohrend	9	3	8	8	13	13	8	6	2	2	5	18	6	9
Kriechend/laufend	61	49	61	55	55	58	62	63	64	57	38	59	69	57
Sessil	9	12	9	4	4	4	5	4	9	7	11	6	8	7
Sonstige	6	4	4	6	4	5	7	5	6	6	11	6	7	5

* particuläres organisches Material

zudem, im Gegensatz zu den anderen Standorten, einen bedeutenden Anteil an Arten mit limnophilen Präferenzen (42%, z.B. Crustacea, *Leptophlebia maculata*, *Athripsodes* spp., *Mystacides* spp., *Tipula maxima*).

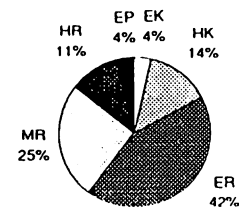
Bezüglich Habitatpräferenz sind zwischen den verschiedenen Standorten keine sehr grossen Unterschiede festzustellen. Die grösste Gruppe sind die Lithal-

Biozönotische Region



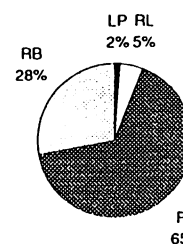
KR = Krenal, RI = Rhithral, PO = Potamal, LI = Lithal

Biozönotische Region - Fließgewässer



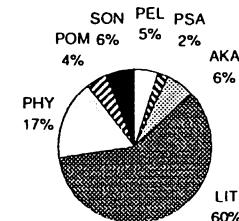
EK = Eukrenal, HK = Hypokrenal, ER = Epirhithral, MR = Metarhithral, HR = Hyporhithral, EP = Epipotamal

Strömungspräferenz



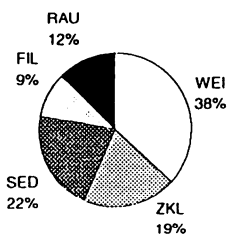
RL = rheo-limnophil, RP = rheophil, RB = rheobiont, LP = limnophil

Habitatpräferenz



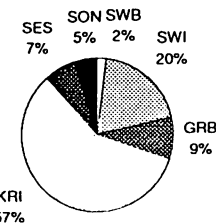
PEL = Pelal, PSA = Psammal, AKA = Akal, LIT = Lithal, PHY = Phytal, POM = partikuläres org. Material, SON = sonst. Habitate

* Ernährungstyp



WEI = Weidegänger, ZKL = Zerkleinerer, SED = Sedimentfresser, FIL = Filterer/Strudler, RAU = Räuber

Fortbewegungstyp



SWB = Schwebend/treibend, SWI = schwimmend/tauchend, GRB = grabend/bohrend, SES = sessil, SON = sonstige

Abb. 6. Kalte Sense (KS). Prozentuale Zuordnung der nachgewiesenen Taxa zu den Typisierungs-kenngrößen nach SCHMIEDTJE & COLLING (1996). Werte < 2 % wurden nicht berücksichtigt.

bewohner (z.B. *Perlodes microcephalus*, *Brachyptera seticornis*, *Epeorus alpicola*, *Habroleptoides confusa*, *Rhithrogena semicolorata*, *Prosimulium hirtipes*), gefolgt von den Bewohnern des Phytals (z.B. *Ochthebius granulatus*, *Drusus discolor*, *Phryganea grandis*, *Limnophora* spp.). Bei W1 ist im Vergleich zu den übrigen Standorten der Lithalanteil am geringsten, der Phytalanteil hingegen am grössten.

An allen Standorten sind die Weidegänger mit 28-47 % die wichtigste Fauna-gruppe (Vertreter der Gattungen *Ochthebius*, *Rhithrogena*, *Epeorus*, *Elmis* und *Bae-*

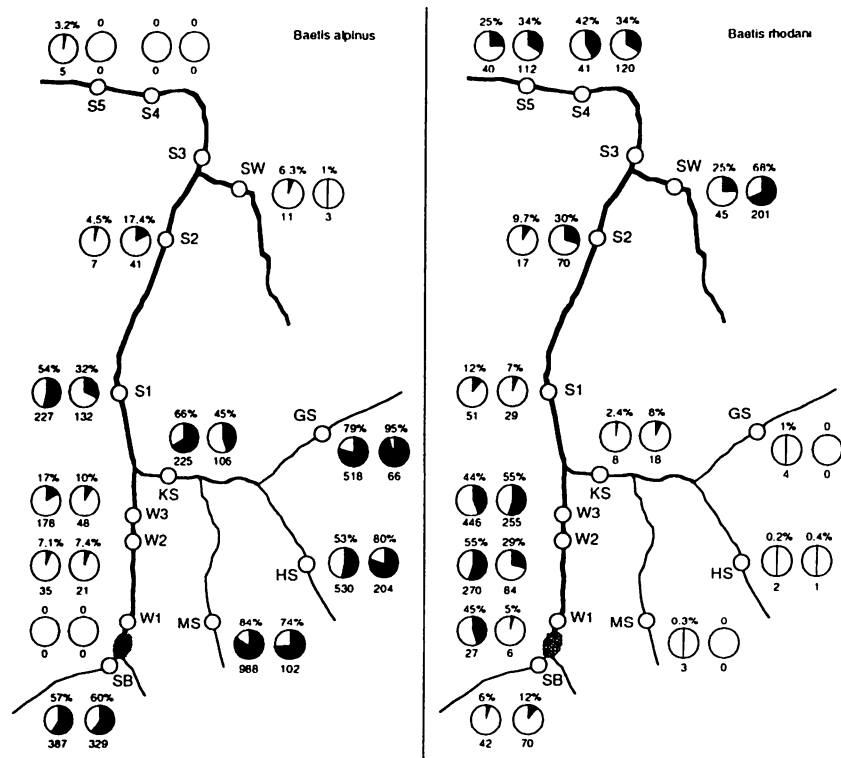


Abb. 7. Relativer Anteil von *Baetis alpinus* und *B. rhodani* an der gesamten Ephemeropterabesiedlung mit prozentuellem Anteil der gefundenen Individuen (oben) und Anzahl gefundener Individuen (unten); links = Frühjahrsaspekt, rechts = Sommeraspekt.

tis), meist gefolgt von den Sedimentfressern (17–25 %, z.B. *Stylodrilus heringianus*, *Leydigia leydigia*, *Caenis beskidensis*, sowie teilweise *Baetis*- und *Leuctra*-Arten). Der Anteil räuberischer Arten variiert stark (Tricladida, Perlidae, Perlodidae, *Rhyacophila* spp., *Polycentropus* spp., Dytiscidae). Er ist bei W1 mit 23 % am grössten, was v.a. auf räuberische Diptera und Trichoptera zurückzuführen ist und bei S2 mit 7 % am kleinsten. Nicht unbedeutend sind an einzelnen Standorten die Filtrierer (W1, S1, S2, SW, GS, alle 14 %, z.B. *Bosmina coregoni*, *Oligoneuriella rhenana*, *Philopotamus* spp., *Simulium*- und *Hydropsyche*-Arten) und die Zerkleinerer, welche in den Quellbächen (SB, GS, HS, MS) sowie bei KS die höchsten Anteile erreichen (z.B. *Candona candida*, *Rhabdiopteryx alpina* sowie Vertreter von *Nemoura*, *Protonemura*, *Leuctra* und *Limnephilus*).

Mit Ausnahme von W1 (49 %) und GS (38 %) stellen bei allen Standorten die kriechenden bzw. laufenden Arten mit über 50 % (bis 69 % bei MS) die deutlich grösste Gruppe (z.B. Tricladida, *Dicranota* spp., *Electrogena lateralis*, *Rhithrogena* spp., *Torleya major*, *Rhyacophila dorsalis*, *Elmis* spp., Harpacticoida, *Baetis*- und *Leuctra*-Arten). Eine weitere wichtige Gruppe sind die Schwimmer, welche Anteile zwischen 10 % (HS, MS) und 30 % (W1) erreichen (Crustacea, *Siphonurus lacustris* und *Baetis* spp.). Der 30 % Anteil bei W1 überrascht nicht, da bei W1 langsame Strömungen vorherrschen und der See die Biozönose deutlich beeinflusst. Auffal-

lend ist der hohe Anteil grabender Tiere bei HS (18 %, z.B. *Leuctra nigra*, *Chloroperla* spp., *Baetis muticus* und *Habroleptoides confusa*).

Longitudinalzonierung: Die Longitudinalzonierung wird im Folgenden beispielhaft an zwei Eintagsfliegenarten aufgezeigt. Die zwei häufigsten Eintagsfliegenarten im Sensesystem sind *Baetis alpinus* und *B. rhodani*. Beide Arten zeigen eine ausgeprägte Longitudinalzonierung (Abb. 7). *B. alpinus* hat seine untere Verbreitungsgrenze bei ca. 800 m und stellt in den Quellbächen, bei KS und S1 jeweils mindestens 50 % der gesamten Eintagsfliegenpopulation. Obwohl die Warme Sense oberhalb 800 m liegt, kommt *B. alpinus* dort nur selten vor. Die Warme Sense ist durch den See beeinflusst und somit kein typisch epirithraler Gewässerabschnitt, was das Fehlen von *B. alpinus* erklärt. Bei S1 ist der Einfluss der Kalten Sense deutlich sichtbar. Mit zunehmender Distanz vom Zusammenfluss der Warmen und Kalten Sense nimmt ihr Einfluss aber deutlich ab (S2). *B. rhodani* hat die obere Verbreitungsgrenze unterhalb 800 m. *B. rhodani* ist an den Stellen, wo *B. alpinus* fehlt, dominant (Abb. 7). Das Vorkommen dieser Art zeigt, dass die Warme Sense dem Senseunterlauf ähnlicher ist als dem Quellgebiet. Der Einfluss der Kalten Sense ist auch bei *B. rhodani* augenfällig (S1, S2).

Eine ähnliche, wenn auch weniger ausgeprägte Longitudinalzonierung zeigen *Rhithrogena hybrida*, *Rhithrogena semicolorata* und *Ecdyonurus venosus*. *R. hybrida* hat dasselbe Verbreitungsgebiet wie *Baetis alpinus*. Die Verbreitungsmuster von *E. venosus* und *R. semicolorata* decken sich mit jenem von *B. rhodani*.

Bei den Köcherfliegen kommen *Drusus*-Arten, *Metanota flavipennis* und *Philopotamus ludificatus* nur in höheren Lagen vor (Quellbäche, KS), während *Rhyacophila dorsalis*, *Hydropsyche instabilis* und *H. pellucidula* bevorzugt die Warme Sense und die Sense besiedelt. Bei den Steinfliegen bevorzugen *Nemoura mortoni*, *Protonemura nitida*, *Leuctra teriolensis* und *Siphonoperla montana* höhere Lagen. *Leuctra fusca*, *L. major* und *L. mortoni* treten hingegen nur in der Warmen Sense und Sense auf. Die Longitudinalverteilung der Microcrustacea ist bei KOWARC (1992) beschrieben.

Korrelation der Untersuchungsstandorte und der Arten mit chemisch-physikalischen Parametern: Die Auswertung mit der Canonical Correspondence Analysis (CCA) gruppiert die Untersuchungsstandorte auf der Basis der Jahrestemperaturamplitude (Werte siehe Tab. 2) deutlich in zwei Gruppen. HS, SB und MS, GS und KS trennen sich klar von den übrigen, eine geschlossene Gruppe bildenden Standorten ab und bestätigen damit die Klassierung aufgrund der β -Diversität.

Die Berechnungen mit der CCA (forward selection) zeigen, dass neben der Jahrestemperaturamplitude ($p = 0,001$, 999 Permutationen) auch SiO_2 ($p = 0,021$, siehe Tab. 3) auf viele Arten einen Einfluss auf deren Verteilung im Sensesystem hat. Die beiden Achsen der Ordination erklären 22 % resp. 12 % der Varianz der Faunadaten. Viele Arten der dargestellten Ordnungen (Abb. 8) bevorzugen mittlere Temperaturbereiche, bzw. ein breites Temperaturspektrum. Nur wenige, vorwiegend kälteliebende Arten wie z.B. *Habroleptoides auberti*, *Cypria ophthalmica*, *Cavernocypris subterranea*, *Rhabdiopteryx alpina*, *Dictyogenus alpinus*, *Perlodes intricata*, *Tinodes dives* und *Rhyacophila intermedia* können sich nur in den Quellbächen (GS, HS, MS, SB) und der Kalten Sense (KS) entwickeln und fehlen im Unterlauf mit höheren Temperatur- und SiO_2 -Werten. Insgesamt besiedeln die Eintagsfliegen im Sensesystem tendenziell die warmen und die Steinfliegen die kalten Gewässer, während die Köcherfliegen sich diffus verteilen und die Crustacea sich in der Mitte der Temperaturachse konzentrieren. Bezüglich SiO_2 zeigen nur die Eintagsfliegen eine deutliche Verteilung.

Die statistischen Berechnungen mit Hilfe der «Logistic regression» ergibt nur für 4 Arten eine signifikante Korrelation (< 5%). *Baetis lutheri*, *Baetis scambus* zeigen eine positive, *Rhyacophila torrentium* eine negative Korrelation zur Temperatur. *Protonemura intricata* ist zu SO_4 positiv korreliert.

DISKUSSION

Artenspektrum: Im Sensesystem sind in der vorliegenden Arbeit 248 Arten identifiziert worden. Ein Vergleich mit der Arbeit von BREITENMOSER-WÜRSTEN (1994) auf gleichem taxonomischen Niveau zeigt, dass in der Sense mit 156 doppelt so viele Taxa erhoben wurden als bei Untersuchungen in der Saane im Berner Oberland, wo in 8 Bächen zwischen 1'005 bis 1'670 m ü.M. lediglich 78 Taxa nachgewiesen wurden. Insbesondere die Eintagsfliegen (Artniveau), die Köcherfliegen (Art- oder Gattungsniveau) und weniger ausgeprägt die Steinfliegen (Art- oder Gattungsniveau) sind im Sensesystem artenreicher. Das untersuchte Höhenspektrum war allerdings im Sensesystem grösser (530–1420 m ü.M.). Auch in anderen voralpinen Fließgewässern konnten deutlich weniger Taxa nachgewiesen werden: 67 Taxa in der Gürbe (VON KÄNEL, 1994), 83 Taxa in der Thur (EGLIN, 1990). Gründe für die weit über dem Durchschnitt liegenden Artennachweise im Sensesystem sind in der systematischen Anwendung verschiedener Untersuchungsmethoden und in der Zielsetzung des Projektes zu suchen, welche Taxanachweise bis zur Art erforderte. So sind insbesondere durch den Einsatz der Freezingcore-Methode die 41 Artennachweise für die Microcrustacea zustande gekommen.

Im Einzugsgebiet der Sense konnten 48 % der in der Schweiz bekannten Plecoptera (52 von 109), 45 % der Ephemeroptera- (38 von 84) und 27 % der Trichoptera-Arten (70 von 261) nachgewiesen werden.

AUBERT (1959) hat für das Voralpengebiet 56 Steinfliegenarten aufgeführt, von denen im Sensegebiet 48 Arten nachgewiesen wurden. Zwei der hier nachgewiesenen Arten ordnete er der Ebene zu (schweizerisches Mittelland, *Protonemura risi*, *Perlodes microcephala*). *Protonemura intricata* erwähnt er mit Ausnahme der Voralpen für alle Regionen. *Chloroperla susemicheli*, eine weit verbreitete Art wurde erst später erstmals beschrieben (ZWICK, 1967).

Der Unterlauf der Thur (LUBINI, 1994) und jener der Sense (S4, S5) weisen eine ähnliche Artenvielfalt bezüglich der Steinfliegenfauna auf (19 Arten; Thur, 21 Arten), wobei 14 Arten beiden Flussabschnitten gemeinsam sind.

Im Sensesystem sind 38 Eintagsfliegenarten bekannt. In der vorliegenden Studie wurden 34 Arten nachgewiesen. HEFTI & TOMKA (1991) erwähnen für das Sensesystem 35 Arten. *Ecdyonurus picteti*, *Rhithrogena savoiensis*, *Ephemerella mucronata* und *Leptophlebia marginata*, welche HEFTI & TOMKA (1991) aufführen, konnten nicht nachgewiesen werden. Andererseits fehlen bei HEFTI & TOMKA (1991) *Baetis vernus*, *Rhithrogena beskidensis* und *R. allobroga*.

Als Vergleich sei erwähnt, dass im Kanton Genf in den Fließgewässern 37 Eintagsfliegenarten bekannt sind, von denen 6 Arten als ausgestorben gelten (SARTORI & DETHIER, 1985, SARTORI *et al.*, 1989). Der Unterlauf der Sense (25 Arten) weist weniger Arten auf als jener der Thur (33 Arten, LUBINI, 1994), bei allerdings deutlich geringerem Probenvolumen in der Sense. 18 Arten sind beiden Flussabschnitten gemeinsam.

Nach SIEGENTHALER (1991) sind in der Schweiz 261 Köcherfliegenarten bekannt. Sie hat im Voralpengebiet der Westschweiz 68 Arten nachgewiesen (SIEGENTHALER, 1985). Im Voralpengebiet des Sensesystem (oberhalb 800 m ü.M.) wurden 66 Arten nachgewiesen.

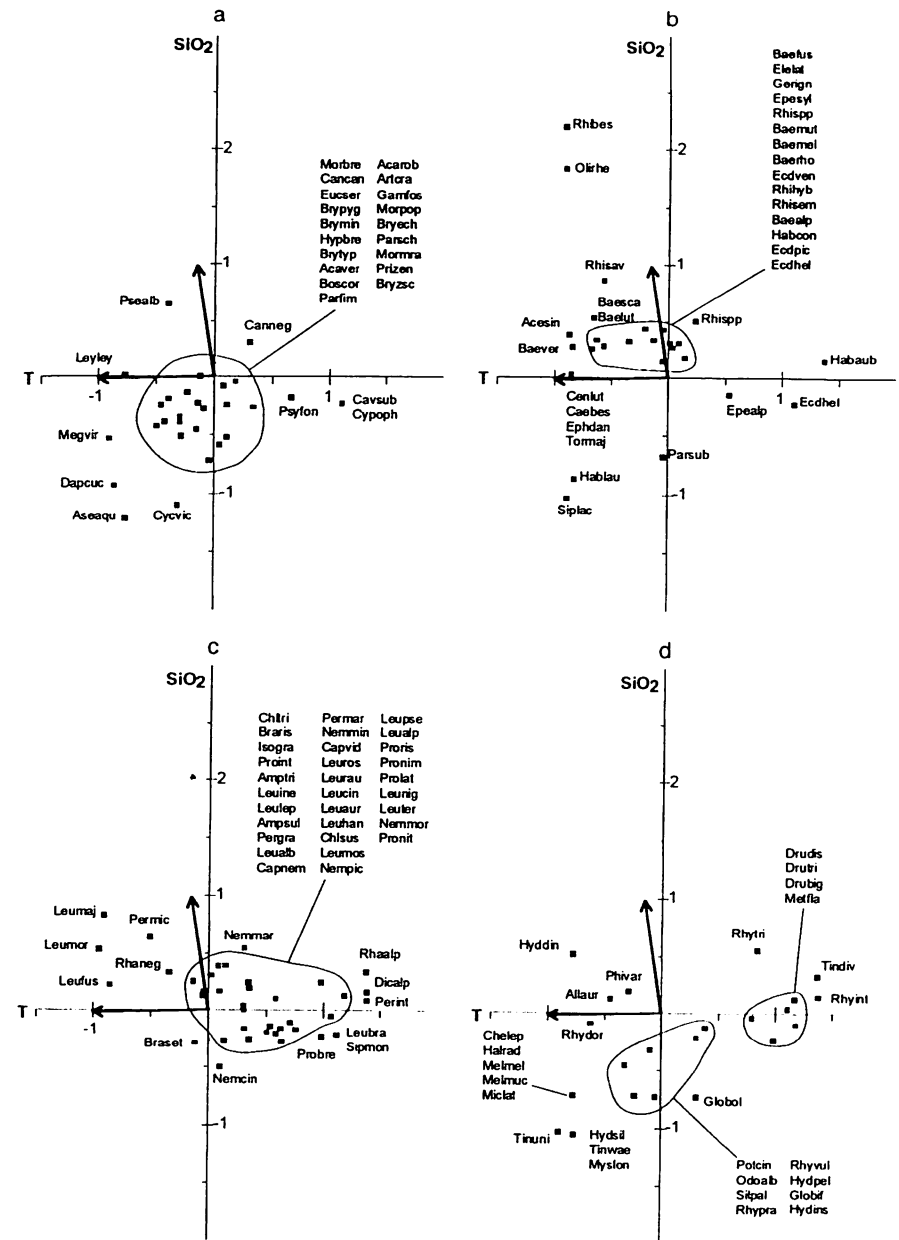


Abb. 8: Canonical Correspondence Analysis (CCA) für a) Crustacea, b) Ephemeroptera, c) Plecoptera, d) Trichoptera. Codierung mit jeweils 3 Zeichen der Gattung und des Artnamens (siehe Faunaliste).

β-Diversität: Die Aufgliederung der Gewässer des Einzugsgebietes der Sense mittels β-Diversität stimmt gut mit jener von HEFTI & TOMKA (1991), welche nur die Eintagsfliegen untersucht haben, überein. Während allerdings bei HEFTI & TOMKA

S1, S2 und W3 eine Gruppe bilden, welche sich von S3 und S4 abtrennt, trennt sich durch den Einbezug der Plecoptera und Trichoptera in der vorliegenden Studie die Warme Sense (W2, W3) klar vom Ober- und Mittellauf der Sense (S1–S4) ab.

Innerhalb der zum Epirhithral gehörenden Gewässer (HS, MS, SB, KS, GS, siehe Tab. 5) nimmt die Gantrischense (GS) eine Sonderstellung ein. Vergleicht man den Chemismus dieser Gewässer, fällt auf, dass die Gantrischense bedeutend geringere Mengen SO_4 aufweist (33 mg/l) als die Kalte Sense (114 mg/l), die Hengst- (109 mg/l) oder die Muscherensense (137 mg/l). Andererseits liegt die SO_4 -Konzentration bei GS höher als bei SB (21 mg/l). Es ist deshalb anzunehmen, dass die SO_4 -Konzentration die Ausgrenzung von GS kaum wesentlich beeinflusst. Auch die CCA ergibt für SO_4 keine Abgrenzung. Hingegen ist die Artenvielfalt bezüglich der ausgewerteten Taxa (Ephemeroptera, Plecoptera und Trichoptera) mit 33 Arten bei GS klein, wobei v.a. die Eintags- (4 Arten) und Köcherfliegen (8 Arten) nur spärlich vertreten sind. Die übrigen Gewässer dieser Gruppe (SB, HS, MS, KS) sind mit 56–68 Arten bedeutend artenreicher. Die geringere Artenvielfalt hängt hier mit grosser Wahrscheinlichkeit vom häufigeren und stärkeren Geschiebetrieb ab, der schon bei kleineren Gewittern einsetzt.

Auffallend ist das weitgehende Fehlen der Steinfliegen bei W1. Frühere Untersuchungen bestätigen diesen Sachverhalt (NOEL & FASEL, 1985). Die Wassertemperaturen beim Seeauslauf erreichen im Sommer oft über längere Zeit 20°C oder mehr (SCHMITT, 1990). Dabei ist der Sauerstoffgehalt stark vermindert, wie die Messung vom 15.7.1991 bei W1 zeigt, wo bei einer Temperatur von 21°C der kleinste Sauerstoffgehalt (7,4 mg O_2 /l) im Sensesystem gemessen wurde. Bereits AUBERT (1959) weist darauf hin, dass kälteliebende Steinfliegen kühlere Gewässer wegen des hohen Sauerstoffgehaltes bevorzugen. Die geringe Sauerstoffkonzentration, gepaart mit der geringen Strömung im flachen Seeauslauf, bilden keine günstigen Voraussetzungen für die Entwicklung der Steinfliegen, da die kritische Sauerstoffkonzentration stark von der herrschenden Strömung beeinflusst wird (AMBÜHL, 1962).

Ökologische Typisierung: Zur Beurteilung der Gewässergüte wurden verschiedene Systeme wie z.B. der Saprobien- (NAGEL, 1989), Verneaux- (VERNEAUX & TUFFERY, 1967) oder IBGN-Index entwickelt (AFNOR, 1992). Ergänzend wird häufig der Zustand eines Gewässers mit verschiedenen chemischen Parametern beschrieben (NOEL & FASEL, 1985). Alle diese Methoden vermögen aber nur den Zustand bzw. den Belastungsgrad eines Gewässers zu beschreiben, nicht aber ein Gewässer mit seiner Faunagemeinschaft zu charakterisieren. Dies erlaubt hingegen die ökologische Typisierung, wie sie SCHMIEDTJE & COLLING (1996) auf der Grundlage einer umfassenden Literaturrecherche entwickelt haben. Unseres Wissens ist es in der Schweiz die erste Anwendung dieser Methode zur Charakterisierung der Faunagemeinschaft von Gewässern. Auch wenn einzelne Kenngrössen verschiedentlich bereits angewandt wurden (Ernährungstyp, Fortbewegungstyp), so ist doch die Charakterisierung durch die Gesamtheit der hier verwendeten Kenngrössen neu. Die Auswertung zeigt deutlich, dass ein einzelner Standort sehr komplexen Ansprüchen genügen muss. Mit Hilfe der ökologischen Typisierung erhält man, bei vorhandener Artenliste, mit wenig Aufwand eine Klassierung der Gewässerfauna nach biozönotischer Region, Strömungspräferenz, Habitatpräferenz, Ernährungs- und Fortbewegungstyp (Abb. 6). Die Ergebnisse zeigen allerdings, dass im Sensesystem nur bezüglich biozönotischen Regionen eine feinere Aufgliederung der Standorte möglich ist und die Strömungspräferenzen nur W1 von den übrigen Standorten abtrennen. Da sich aber das gesamte Gewässersystem Sense dem Rhithral

zuordnen lässt, überrascht es nicht, dass die übrigen Kenngrössen keine deutlichen Unterschiede aufzeigen. Für einzelne Kenngrössen (Habitatpräferenz, Fortbewegungstyp) fehlen die Grundlagen für viele Taxa, was eine Interpretation der Resultate erschwert.

Longitudinalzonierung: Die Longitudinalzonierung ist abhängig von unterschiedlichsten Umweltfaktoren wie Höhe, Temperatur, Substrat, Fliessgeschwindigkeit, Geschiebetrieb, Wassertiefe, Flussbreite und Chemismus.

Die statistische Auswertung mit Hilfe der CCA ergibt signifikante Korrelationen für die Jahrestemperaturamplitude und SiO_2 . Überraschend ist die Korrelation einzelner Arten mit $[\text{SiO}_2]$. Aufgrund der ansteigenden Konzentration flussabwärts ist diese Übereinstimmung eher auf die Summe verschiedener komplexer Parameter wie Abfluss, Geschiebetrieb, etc. zurückzuführen (vgl. Tabelle 3). Die Resultate der LR-Analyse sind aufgrund der kleinen Stichprobe (14 Standorte) kaum interpretierbar.

Nach IMHOF (1994) sind Temperatur und Algenbewuchs mögliche Faktoren, welche die Entwicklung von *Perla grandis* im Unterlauf des Neckar verhindern und zur Zonierung dieser Art im Flusssystem führen. SIEGENTHALER (1991) hat die Korrelation zwischen verschiedenen Umweltfaktoren und dem Vorkommen der Köcherfliegen (Imagines) untersucht. Dabei zeigte sich, dass eine positive Korrelation mit der Höhe oft mit einer negativen Korrelation zum Chemismus (z.B. NO_2 , NO_3 , PO_4 , P_{tot}) gepaart war. Dies konnte sie auch für die im Einzugsgebiet der Sense vorkommenden Arten wie *Drusus biguttatus*, *D. discolor* und *Metanoa flavipennis* nachweisen. Mit Hilfe der LR konnte mit unserer Datenbasis diese Korrelation nicht bestätigt werden.

VERDANKUNG

Für die Feldarbeiten und Auswertungen wurden befristet Frau Dr. Verena Anna KOWARC, Frau Dr. Ruth BEUTLER und Herr Peter RASCH verpflichtet, denen wir für Ihren Einsatz danken möchten. Unser Dank gilt auch der Begleitgruppe des Forschungsprojektes, namentlich Herrn Dr. Jürg BLOESCH von der EAWAG sowie den Herren Dr. Erich STAUB und Dr. Daniel HEFTI vom BUWAL. Für die Benutzung der Labors und Unterstützung danken wir den Professoren Dr. G. LAMPEL und Dr. H. TOBLER vom Zoologischen Institut der Universität Freiburg. Finanziell unterstützt wurde das Projekt vom Schweizerischen Nationalfonds (31-28223.90), dem Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, dem Bundesamt für Strassenbau sowie dem Rheinfonds Projekt Sandoz AG.

ZUSAMMENFASSUNG

In den Gewässern des Einzugsgebietes der Sense (Freiburg, Schweiz) wurde zwischen 1990 bis 1992 die Wirbellosenfauna untersucht. An 14 Standorten zwischen der Einmündung in die Saane und den Quellbächen (530–1420 m ü.M.) wurden 248 Arten nachgewiesen. Die artenreichsten Taxa sind: Crustacea (43 Arten), Ephemeroptera (38), Plecoptera (52), Trichoptera (70) und Diptera (11), wobei letztere nur zu einem kleinen Teil bis zur Art bestimmt wurden. Die Anwendung angepasster Methoden – wiederholte Erfassung des Benthos von der Sohlenoberfläche bis zu einer Tiefe von 70 cm, der Drift und der Emergenz an Standorten mit unterschiedlichem ökologischen Charakter – ergab dreimal mehr identifizierte Arten gegenüber Studien, die in vergleichbaren Gewässern durchgeführt wurden. Mit statistischen (B-Diversität, logistic regression, canonical correspondence analysis) und ökologischen Methoden (Ökologische Typisierung) konnte die Verteilung und Zusammensetzung der Fauna bezüglich unterschiedlicher ökologischer Standort-Typen untersucht werden.

LITERATUR

- AFNOR. 1992. *Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN)*. Essais des eaux. NFT 90–350.
AMOROS, C. 1984. Crustacés Cladocères. *Bull. Soc. Linnéenne Lyon* 53: 1–143.

AMBIHL, H. 1962. Die Besonderheiten der Wasserströmung in physikalischer, chemischer und biologischer Hinsicht. *Schweiz. Z. Hydrol.* 24: 367–382.

AUBERT, J. 1959. *Plecoptera*. Insecta Helvetica. Vol. 1, 139 pp. Schweizerische Entomologische Gesellschaft, Zürich.

AUBERT, J. 1984. Les Léocoptères du Valais. *Bull. Murith.* 102: 167–183.

BRAUKMANN, U. 1987. Zooökologische und saprobiologische Beiträge zu einer allgemeinen regionalen Bachtypologie. *Arch. Hydrobiol. Beih.* 26: 1–355.

BREITENMOSER-WÜRSTEN, C. 1994. Die Fliessgewässerfauna im System der Saane (Berner Oberland, Schweizer Nordalpen) als Grundlage der Nahrungsökologie der Wasserramsel (*Cinclus cinclus*). *Mitt. Schweiz. Ent. Ges.* 67: 77–135.

BRETSCHKO, G. 1985. Quantitative sampling of the fauna of gravel streams (Project RITRODAT-LUNZ). *Ver. int. Ver. Limnol.* 22: 2049–2052.

BRETSCHKO, G. & KLEMENS, W.E. 1986. Quantitative methods and aspects in the study of the interstitial fauna of running waters. *Stygologia* 2: 297–316.

BUHOLZER, H. 1978. *Larvenmorphologie und Verbreitung der schweizerischen Rhyacophila-Arten (Trichoptera, Rhyacophilidae)*. Doktorarbeit, ETH, Zürich, 151 pp.

DUSSART, B. 1967/1969. *Le copépodes des eaux continentales*. Tome I et II. (ed.), Edition N. Boubée & Cie Paris.

EGLIN, S.W.T. 1990. *Die Zusammensetzung und kleinräumige Verteilung der Makroinvertebratenzoenose eines natürlichen, voralpinen Fliessgewässers (Thur) in Abhängigkeit vom Nahrungsangebot und der Sedimentstruktur*. Doktorarbeit, ETH, Zürich, 145 pp.

ELLIOTT, J.M. & MANN, K.H. 1979. A key to the british freshwater leeches with notes on their life cycles and ecology. *Freshw. Biol. Assoc. Scientif.* 40: 72 pp.

HEFTI, D. & TOMKA, I. 1991. Mayfly communities in a prealpine stream system of Switzerland. *Aquatic Sci.* 53: 20–38.

HENNIG, W. 1968. *Die Larvenformen der Dipteren*. Eine Übersicht über die bisher bekannten Jugendstadien der zweiflügeligen Insekten. Teil 1–3 (Unveränderter Nachdruck der 1. Auflage, 1948). Akademie Verlag, Berlin.

FREUDE, H., HARDE, D.W. & LOHSE, G.A. 1964–1983. *Die Käfer Mitteleuropas*. 11 Bände, Goecke & Evers, Krefeld.

IMHOFF, A. 1994. *Habitatansprüche und Verhalten von Perla grandis RAMBUR (Plecoptera: Perlidae) und anderen räuberischen Steinfliegenlarven*. Diss. Nr 10695, ETH Zürich, 151 pp.

ILLIES, J. 1955. *Steinfliegen oder Plecoptera*. Die Tierwelt Deutschlands, Vol. 43, 150 pp. Jena.

JENSEN, B. 1984. A revision of the taxonomy and distribution of the Danish black-flies (Diptera, Simuliidae), with keys to the larval and pupal stages. *Natura Jutlandica* 21: 69–116.

JUNGO, J. 1977. Der Wald im Sense-Oberland. Die Aufforstung des Staates Freiburg in den Tälern der Ägera, des Höllbaches und der Sense. *Beitr. Heimatkd.* pp. 170–186.

KIS, B. 1974. *Plecoptera*. Fauna Republicii Socialiste Romania, Insecta, 270 pp.

KLAUSNITZER, B. 1984. *Käfer im und am Wasser*. Die Neue Brehm-Bücherei. Vol. 567, 148 pp. A. Ziemsen Verlag, Wittenberg Lutherstadt.

KÖNIG, M.A. 1973. *Kleine Geologie der Schweiz*. Einführung in Bau und Werden der Schweizer Alpen. Ott, Thun, 3. Auflage.

KOWARC, V.A. 1992. Longitudinal distribution of a microcrustacea community. *Jber. Biol. Stn. Lunz* 14: 115–119.

KUHN, N. & AMIET, R. 1988. *Inventar der Auengebiete von nationaler Bedeutung*. Eidgenössisches Departement des Innern (EDI), Bundesamt für Umweltschutz (BUS), Bern.

LUBINI, V. 1994. Hydrobiologische Untersuchungen am Unterlauf der Thur (Kanton Zürich, Schweiz) - I. Libellen, Eintags-, Stein-, Köcher- und Schlammfliegen (Insecta: Odonata, Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Megaloptera). *Vierteljahresschr. Naturf. Ges. Zürich* 139: 23–31.

LUDER, B., FRITSCHI, B. & BURCH, H. 1988. *Abflussmessungen nach dem Salzlösungsverfahren*. WSL, Eidg. Anstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf, 44 pp.

MAIER, K.-J. & TURCSANYI, B. 1993. Vorläufige Untersuchungsergebnisse zur Verbreitung und Emergenz der Köcherfliegenfauna im Einzugsgebiet der Warmen Sense (CH, Kanton Freiburg). *Jber. Biol. Stn. Lunz* 14: 116–131.

MALICKY, H. 1983. *Atlas der Europäischen Köcherfliegen*. In: SPENCER, K.A. (ed.), Series Entomologica, vol. 24, 298 pp. Dr. W. Junk Publishers, The Hague-Boston-London.

NAGEL, P. 1989. *Bestimmungsschlüssel der Saprobien*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

NOEL, F. & FASEL, D. 1985. Etude de l'état sanitaire des cours d'eau du canton de Fribourg. *Bull. Soc. Frib. Sci. Nat. Vol. spec.* 1–332.

PEISTER, F., SCHMID, P. & GRESCH, P. 1988. *Gesamtprojekt zur Berglandsanierung*. Methodische Grundlagen, untersucht am Beispiel des Sense-Oberlandes (Kanton Freiburg). F. Flück-Wirth, Int. Buchhandel, Teufen (CH).

PETSCH, T. 1993. *Zur Larvaltaxonomie, Faunistik und Ökologie mitteleuropäischer Fliesswasser-Köcherfliegen (Insecta: Trichoptera)*. Landschaftsentwicklung und Umweltforschung. Schriftenreihe des Fachbereichs Landschaftsentwicklung, Sonderheft S8, 316 pp. Technische Universität Berlin.

REYNOLDS, T.B. 1978. *A Key of the british species of freshwater Triclad (Turbellaria, Paludicola)*. Freshwater Biological Association, 33 pp.

RIVOCCHI, L. 1984. *Ditteri (Diptera)*. Consiglio Nazionale Delle Ricerche, 177 pp.

ROZKOSNY, R. 1980. Klic vodnich larv lmyzu. *Ceskoslovenska Akademie Ved*, pp. 86–132.

SARTORI, M. & DETHIER, M. 1985. Faune aquatique du canton de Genève: II. Ephéméroptères (Insecta, Ephemeroptera). *Mitt. Schweiz. Ent. Ges.* 58: 493–510.

SARTORI, M., DETHIER, M. & DE SOUSA, J. 1989. Faune aquatique de la région genevoise. III. Compléments aux Ephéméroptères (Insecta; Ephemeroptera). *Mitt. Schweiz. Ent. Ges.* 62: 113–118.

SCHMEDTJE, U. & COLLING, M. 1996. *Ökologische Typisierung der aquatischen Makrofauna*. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, 4. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 543 pp.

SCHMITT, M. 1990. *Untersuchungen am Schwarzsee*. Unter besonderer Berücksichtigung fischereilicher Belange und ihrer Entwicklungsmöglichkeiten. Technische Kommission des Verbandes freiburgischer Fischereivereine, 20 pp.

SEDLAK, E. 1987. Bestimmungsschlüssel für mitteleuropäische Köcherfliegenlarven (Insecta, Trichoptera). Aus dem Tschechischen übersetzt und für Österreich bearbeitet von J. Waringer. 2. ergänzende Auflage. Wasser und Abwasser. *Beitr. Gewässerforsch.* 29: 1–163.

SIEGENTHALER, C. 1985. Un exemple de réussite chez les Trichoptères: les Limnephilidae. *Mitt. Schweiz. Ent. Ges.* 58: 461–466.

SIEGENTHALER, C. 1991. *Trichoptères de Suisse Occidentale (Insecta, Trichoptera)*. Thèse, Université de Lausanne, 200 pp.

STUEDEMANN, D., LANDOLT, P., SARTORI, M., HEFTI, D. & TOMKA, I. 1992. *Ephemeroptera*. Insecta Helvetica. Fauna, vol. 9, 175 pp. Société entomologique suisse.

STUMMER, C. 1980. Beiträge zur Methodik der Plecopterenemergenz und der Untersuchung von Bachsedimenten. *Jber. Biol. Stat. Lunz* 3: 81–85.

TER BRAAK, C.J.F. 1988. *CONACO - A FORTRAN program for canonical community ordination by correspondence analysis, principal components analysis and redundancy analysis*. GLW, Wageningen NL.

TOBIAS, W. & TOBIAS, D. 1981. *Trichoptera Germanica*. Bestimmungstabellen für die deutschen Köcherfliegen. Teil I: Imagines, 672 pp. Senckenbergische Naturforschende Gesellschaft, Frankfurt am Main.

VERNEAUX, J. & TUFFERY, G. 1967. Une méthode zoologique pratique de détermination de la qualité biologique des eaux courantes. Indices biotiques. *Annls Sci. Univ. Besançon, Sér. 3, Zool., Physiol. Biol. anim.* 3: 79–90.

VON KÄNEL, A. 1994. Beitrag zur Biologie der Gürbe. *Mitt. Naturforsch. Ges. Bern, N.F.* 51: 95–115.

WARINGER, J. & GRAF, W. 1997. *Atlas der Österreichischen Köcherfliegenlarven: unter Einschluss der angrenzenden Gebiete*. Facultas-Univ.-Verlag, Wien, 286 pp.

ZWICK, P. 1967. Revision der Gattung *Chloroperla* NEWMAN (Plecoptera). *Mitt. Schweiz. Ent. Ges.* 40: 1–26.

ZWICK, P. 1973. Insecta: Plecoptera. Phylogenetisches System und Katalog. In: WERMUTH, H., MERTENS, R. & HENNIG, W. (ed.), *Das Tierreich*. Eine Zusammenstellung und Kennzeichnung der rezenten Tierformen. Vol. 94, 465 pp. Walter de Gruyter, Berlin - New York.

(erhalten am 21. Januar 1999; nach Revision angenommen am 13. März 2000)