

Zeitschrift: Mitteilungen / Naturforschende Gesellschaft des Kantons Solothurn
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft des Kantons Solothurn
Band: 37 (1996)

Artikel: Regionale Quelltypologie für Jura und Mittelland in der Schweiz
Autor: Zollhöfer, Jens M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-543373>

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: 14.01.2026

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

Regionale Quelltypologie für Jura und Mittelland in der Schweiz

von Jens M. Zollhöfer

Adresse des Autors:

Jens M. Zollhöfer
Dreitannenstrasse 5
4600 Olten

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	Seite 159
Abstract	Seite 159
1. Einleitung	Seite 159
2. Material und Methodik	Seite 170
2.1 Methodik der Typisierung	Seite 171
3. Ergebnisse	Seite 172
3.1 Montane Quellen	Seite 172
3.1.1 Lineare Quellen	Seite 173
3.1.2 ± Unversinterte Rheokrenen	Seite 174
3.1.3 Kalksinter-Rheokrenen	Seite 175
3.1.4 Karstquellen	Seite 177
3.2 Kolline Quellen	Seite 177
3.2.1 Giessen / Alluvialquellen	Seite 179
4. Aktuelle Verbreitung wichtiger Gruppen der Quellefauna	Seite 180
5. Diskussion	Seite 181
Dank	Seite 183
Literatur	Seite 183

Regionale Quelltypologie für Jura und Mittelland in der Schweiz

Zusammenfassung

In einer morphologisch-faunistischen Typologisierung von perennierend schüttenden Quellen des Schweizer Juras und des Mittellands werden fünf Grundtypen unterschieden. Sie werden durch ihre Morphologie, Besiedlungsmuster und Kennarten voneinander abgegrenzt.

Montane Quellen (in Festgestein)

- 1) Lineare Quellen
- 2) ± Unversinterte Rheokrenen
- 3) Kalksinter-Rheokrenen
- 4) Karstquellen

Kolline Quellen (in pleistozänem Alluvium)

- 5) Giessen / Alluvialquellen

Naturnahe Quellen im Jura und im Mittelland können diesen fünf Grundtypen zugeordnet werden. Abgesehen von Übergängen zwischen Kalksinter-Reokrenen und ± unversinterten Rheokrenen kommen keine nennenswerte Mischformen vor.

Summary

5 basic types of springs are differentiated in a morphological-faunistical typology of springs in the Jura Mountains and the "Mittelland" of Switzerland. They can be distinguished by morphology, community structure and by characteristic species.

Montane Springs

- 1) Linear springs
- 2) Rheocrenes without lime sinter terraces
- 3) Rheocrenes with lime sinter terraces
- 4) Karstic springs

Colline Springs (in alluvium)

- 5) Alluvial Springs / Giessen

Unaltered springs can be categorized into one of the 5 types. Overlap occurs sometimes between springs with lime sinter terraces and unsintered rheocrenes.

1. Einleitung

Die Schweiz wird als Wasserschloss Europas bezeichnet und ist mit 500–1000 Quellen pro 25 000er Kartenblatt reich an Gewässern. Quellen sind in der Schweiz keine geschützten Landschaftsteile, und Quellschutzgebiete werden bisher lediglich zur Trinkwassergewinnung ausgewiesen. Diese bedeuten gewöhnlich das Ende der in diesem speziellen Biotop vorkommenden Lebensgemeinschaft. Naturnahe Quellen sind sehr selten geworden, und regionale Kenntnisse als Grundlage für einen verbesserten Schutz fehlen bisher. Quellen sind aus der Erde tretendes Wasser. Zwei Formen können differenziert werden:

1. Kleine, meist intermittierend schüttende Quellen, oder Quellmulden («endorheische Quellen» sensu Cushing & Gaines, 1989). Ihr Wasser stammt aus bodennahen Schichten und versickert nach wenigen Metern wieder.
2. Grössere, meist perennierend schüttende Quellen. Sie sind der Beginn der Fliessgewässer.

Gewöhnlich wird mit dem Begriff «Quelle» der Beginn von Fliessgewässern assoziiert. In der gedachten naturnahen Landschaft des Juras und Mittellands trifft dies

jedoch nur auf jede 5. Quelle zu. Quellkartierungen aus dem letzten Jahrhundert zeigen, dass die überwiegende Mehrheit der Grundwasseraustritte (rund 80%) kleine abflusslose Quellen sind (Mühlberg, 1884). Sie schütten gewöhnlich intermittierend oder temporär, wobei die Wasserführung stark niederschlagsabhängig ist. Die allermeisten dieser Quellen sind heute drainiert.

Die Abgrenzung des Quellebensraums zum Rhithral kann bei der Geländearbeit nur subjektiv mit gesundbiologischen Menschenverstand gezogen werden. Die besten Anhaltspunkte geben sprunghafte Übergänge in der Gewässermorphologie wie z. B. stark nachlassende Versinterungerscheinungen. Eine allgemeine im Feld erkennbare Grenze zwischen Quelle und Epirthral ist nicht bekannt und eine Definition wie «überschreiten der 5° Jahresisotherme» (Illies, 1952) kann das Wissen bei der Kartierungsarbeit nicht ersetzen.

Das Krenon als das die Quelle besiedelnde Lebensgemeinschaft, wie es von Illies & Botosaneanu (1963) definiert wurde, fasst den Bereich des Wasseraustritts und den anschliessenden Quellbach als eine Einheit auf. Somit hat das Krenon in aller Regel eine erhebliche Längsausdehnung, die mit zunehmender Höhenlage und geographischer Breite noch zunimmt (Illies, 1961). Der unmittelbare, oft als «Quelle» bezeichnete Bereich ist aufgrund der besiedlungsfeindlichen Substratbewegungen gewöhnlich nur spärlich besiedelt.

Auch im Querschnitt lassen sich die meisten Quellen in verschiedene Teillebensräume gliedern: Neben den aquatischen Formen finden sich hochspezialisierte Arten der Spritzwasserzone oder «Fauna madicole» (sensu Vaillant, 1956). Dem abnehmenden Feuchtigkeitsgradienten entlang schliesst sich die Grenzfauna oder «Fauna liminaria» an. Sie besteht in erster Linie aus fallaubzerlegenden Dipterenlarven (Fischer, 1996 a) und stellt hohe Ansprüche an eine konstante Bodendurchfeuchtung. Im Übergangsbereich zur terrestrischen Fauna befinden sich Organismen der hygrophilen Landfauna, die sich aus v.a. aus Mollusken und Arthropoden zusammensetzt.

Bis zur Erfindung der Tauchpumpe in den 40er Jahren war man auf Quellfassungen in den Bergen angewiesen, da das Trinkwasser nur mit natürlichem Gefälle in die Haushalte geleitet werden konnte. Seitdem wird in zunehmendem Masse das ergiebige Grundwasser der Täler genutzt und in Trinkwasserreservoir gepumpt. Gemeinden, in denen Grenzwerte (meist Nitrat) überschritten werden, mischen oft Quellwasser der Berge mit Tiefengrundwasser des Alluviums.

Für die Region liegen keine aktuellen biologischen Untersuchungen vor, und unser Kenntnisstand über die Quellen des Juras beruht auf einer einzigen Untersuchung zu Anfang des Jahrhunderts (Bornhauser, 1913). Quellen im Mittelland wurden bisher überhaupt noch nicht zoologisch untersucht.

Seit Beginn des Jahrhunderts wurden wiederholt Quelltypologien vorgestellt, die auf hydrogeologische Analysen aufbauen (Stiny, 1933, Keilhack, 1935; Thurner,

1967). Die Zuordnung von Typen wie z.B. Überfallquelle, Schichtquelle, Verwerfungsquelle basiert auf Form und Anordnung von wasserstauender und wasserleitender Schicht. Damit arbeiten die meisten Fachleute, die sich aus behördlicher Sicht für Quellen interessieren: Sie suchen Trinkwasser, weisen Quellschutzgebiete aus und betonen die eine oder andere Quelle. Das Problem dabei ist, dass selbst Geologen ohne Ortskenntnisse Schwierigkeiten haben, eine Quelle einem bestimmten Typus zuzuordnen.

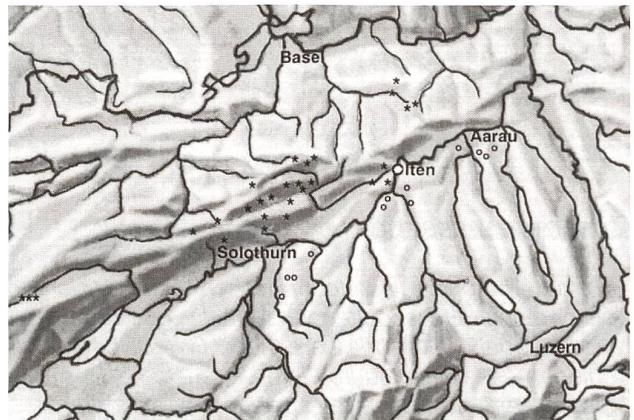


Abb 1: Lage der untersuchten Quellen im Schweizer Jura (*) und Mittelland (o).

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einen ersten Überblick über die letzten naturnahen Quellen der Region zu erhalten und Antworten auf die Fragen: «Wo sind sie?» und: «Wie sehen sie aus?» zu geben. Im Vordergrund steht dabei die Aufgabe, Grundlagen über Vorkommen und Verbreitung der Krenal-Bewohner zu erarbeiten sowie einen Überblick über die natürliche Quellmorphologie zu erlangen. Die Typisierung entstand aus der Notwendigkeit, die vielfältigen Erscheinungsformen durch eine Charakterisierung von Typen verständlicher zu machen.

Dahinter steht die These, ob trotz der Kontinuität des Besiedlungswechsels von Quellen ineinander übergehender Landschaftstypen Abgrenzungen zwischen den einzelnen Zönosen gemacht werden können und ob sich diese mit den im Feld differenzierbaren ökologisch/morphologischen Formen decken. Im weiteren sollte geprüft werden, ob Quellen regionale charakteristische Arteninventare aufweisen.

2. Material und Methodik

Mehr als 120 untersuchte Quellen dienten als Grundlage für die Typologie. Bei 39 möglichst naturnahen Quellen wurde die Morphologie kartiert und zwei substratspezifische Zoobenthosprobennahmen im Frühling und Herbst 1995 durchgeführt. An jeder Quelle wurde die Probennahme so lange fortgesetzt, bis in zwei hellen Photoschalen im Gelände keine neuen Arten mehr entdeckt wurden.

Es erwies sich als wissenschaftlich möglich und arbeitstechnisch sinnvoll, die 39 Referenzquellen aus den ersten 100 abgegangenen Quellen auszuwählen, da sich die auftretenden Formen wiederholten und alle weiteren Quellen in das gewonnene Bild einfügten, ohne neue Informationen zu liefern.

Fast alle untersuchten Referenzquellen liegen in mehr oder weniger standortgerechtem Wirtschaftswald. Eine Quelle liegt in naturnahem Wald bei Olten, in dem seit 50 Jahren keine Waldwirtschaft mehr stattfindet.

Für die faunistischen Probennahmen wurde ein modifizierter Surber-Sampler mit $22 \times 22,75$ cm Kantenlänge konstruiert. Die Masse wurden so gewählt, dass die Grösse einerseits den Quellebensräumen angepasst ist, andererseits eine praktische Anzahl von 20 substratspezifischen Stichproben 1 m^2 Probefläche ergeben. Zwei hintereinander angebrachte Netze unterschiedlicher Maschenweite ermöglichen eine differenzierte Probenahme von Makro- und Meiozoobenthos. Zudem erlaubt die Methode quantitative Angaben zur Besiedelungsdichte in Individuen/ m^2 .

In der Untersuchung nicht berücksichtigt sind kleine, bodenwassergespeiste und nur periodisch oder intermittierend schüttende Quellmulden, seltene Sonderformen wie Moorausflüsse oder thermal beeinflusste Quellen sowie Quellen an der Sohle von Gewässern (Exfiltrationsstrecken).

2.1 Methodik der Typisierung

Die Typisierung ist ein methodischer Ansatz, um die Vielfalt der Erscheinungsformen mit ihren komplexen Strukturen und Funktionen zu ordnen, transparenter und erfassbar zu machen. Sie bildet Gruppen mit ähnlichen Eigenschaften und hilft dadurch, die gemeinsamen Grundstrukturen besser zu verstehen (Braukmann, 1984, 1992). Grundsätzlich kann eine Typisierung auf zwei Arten erfolgen, deduktiv oder induktiv (Forschungsgruppe Fliessgewässer, 1994): Die *deduktive Typisierung* klassifiziert zunächst allgemeine grossräumige Merkmale und führt schrittweise zu einer zunehmend detaillierteren, kleinräumigeren Betrachtung. Demgegenüber beschreitet die in der vorliegenden Untersuchung angewandte *induktive Typisierung* den umgekehrten Weg. Ausgehend von detaillierten Einzelerhebungen zu Morphologie und Besiedelung, werden mit Hilfe vergleichender Methoden der Datenauswertung (Clusteranalyse) Gruppen ähnlicher Merkmale zusammengestellt.

Das Ziel beider Methoden ist letztlich eine kategorisierende Beschreibung der vorkommenden Quellen, um mit der verwirrenden Vielfalt der Formen besser umgehen zu können. Damit wird die Erstellung von Leitbildern für die einzelnen in der Region vorkommenden Quelltypen möglich und die Besiedelungsstruktur in einem gewissen Rahmen vorhersagbar.

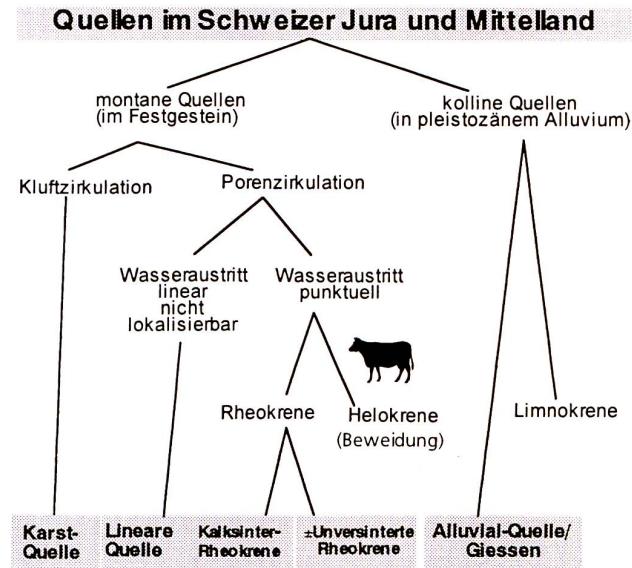


Abb. 2: Quelltypen im Schweizer Jura und Mittelland

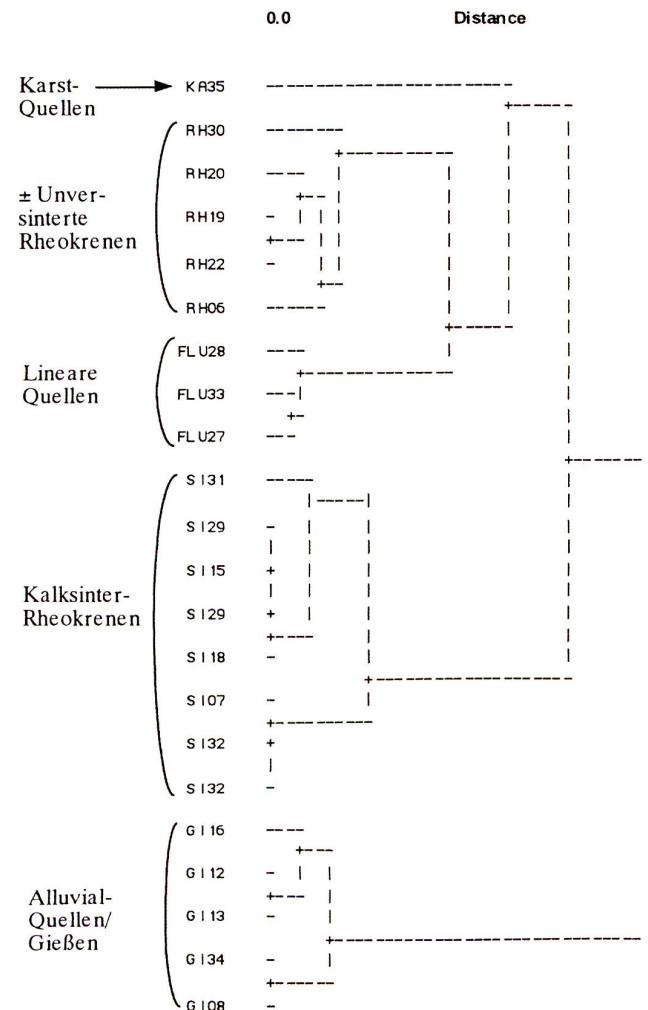


Abb. 3: Dendrogramm der Klassifikation binärer (present/absent) Benthosdaten von 20 ausgewählten Arten (euclidean distance; joined Ward's method; Ward, 1963).

3. Ergebnisse

Die naturnahen Quellen des Juras und des Mittellands können bis auf wenige Ausnahmen dem Schema der Quelltypen in Abbildung 2 zugeordnet werden. Übergänge können zwischen versinterten und unversintertem Rheokrenen vorkommen.

Rheokrenen können in Kalksinter-Rheokrenen (mit Sinter-Terrassen) und ± unversinterte Rheokrenen unterteilt werden (Abb. 2 und 3). Es wird angenommen, dass die vielen Helokrenen auf den Jurawiesen anthropogen durch Entwaldung und Weideeinflüsse entstanden sind.

und ursprünglich Rheokrenen waren. Im Jura wurden keine natürlichen Limnokrenen gefunden, limnokrene Bereiche kommen jedoch in Alluvialquellen / Giessen vor.

3.1 Montane Quellen

Hierunter fallen in erster Linie Quellen der Bergregionen im Jura, aber auch solche in höheren Lagen der Molassehügel im Mittelland. Morphologisch und faunistisch gleichen die montanen Quellen des Juras denen in den Molassehügeln des Mittellands. Unterschiede bestehen in erster Linie in der Geologie: Die Molasse ist kluftärmer,



Abb. 4: Lineare Quelle

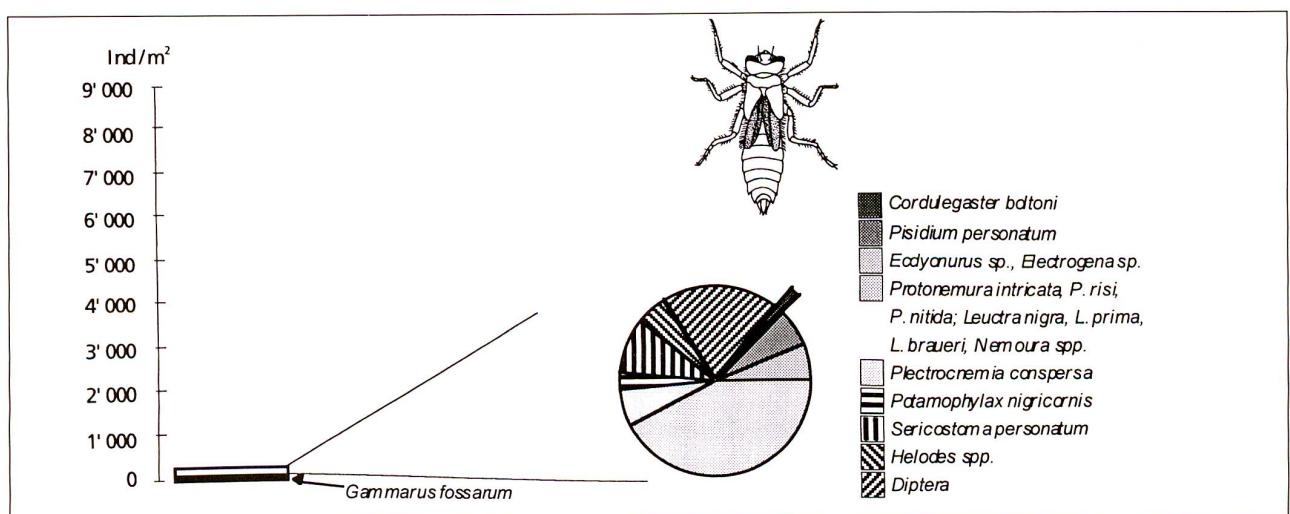


Abb. 5: Besiedelung linearer Quellen (Mittelwerte 3 naturnaher Quellen ohne Einzelfunde und rezedente Arten).

Porenzirkulation und präferentieller Bodenfluss in «Channels» dominieren gegenüber der oft klüftigen Zirkulation im Jura.

Die eingelagerten Sandsteinlinsen zeigen eine höhere hydraulische Leitfähigkeit als Jurakalke (k_f -Werte von ca. 10^{-1} m/s im Gegensatz zu 10^{-4} m/s [Herold, ETH, mündl.]). Daraus resultiert eine konstantere Schüttung, aber auch häufigere Eisenockerausfällungen und weniger gelöste Ionen wie Calcium, Magnesium und Chlorid.

3.1.1 Lineare Quellen

Die meisten der selten gewordenen naturnahen Bachanfänge der Bergregionen haben keinen markant abgegrenzten Quellbereich. Sie können weder den Heli noch den Rheokrenen zugeordnet werden. Es handelt sich um einen Mischtyp von beiden, bei dem das Wasser linienhaft über einen längeren Bereich des oberen Bachbetts austritt. Verfolgt man ein Gewässer nach oben, nimmt die Menge des Wassers sukzessive ab, bis schliesslich nur noch wenige Lachen in einem ansonsten ausgetrockneten Bett stehen. Das Wasser tritt teils deutlich sickernd, teils nur undeutlich durch Sumpfbildung aus der Gewässersole. Je nach Grundwasserstand fluktuiert der Anfang des Bachs im Jahresverlauf mehrere Dutzend Meter nach oben und unten. Der Bachanfang wird manchmal durch einen intermittierend schüttenden Quellaustritt begrenzt. Von einem regelmässigen Wasserlauf ist gewöhnlich erst etwa 100 m quellabwärts zu sprechen, meist sind bis dahin jedoch mehrere Quelläste zusammengeflossen.

Tab. 1: Morphologisch-faunistische Kurzcharakterisierung linearer Quellen.

Morphologie

Schüttungscharakteristik	oben intermittierend, weiter unten perennierend
Schüttungsmenge	geringschüttend, meist ≤ 10 l/min, je nach Messpunkt
Sohlbedeckung organisch	10% Fallaub, 20% Totholz, 30% Genist
anorganisch	50(–100)% Ton/Schluff/ Sand max. (40% Kies, 10% Steine)

Makrozoobenthos

Individuen/m ²	spärlich besiedelt: 200–1000; davon ≤ 300 <i>G. fossarum</i> und ca. 120 weitere Ind.
Summe der Taxa	15–22
Diversitätsindex (Hs)	1.8–2.2 (nach Shannon)
Leitart	<i>Cordulegaster boltoni</i>



Abb. 6: ± Unversinterte Rheokrene

Tab. 2: Morphologisch-faunistische Kurzcharakterisierung unversinterter Rheokrenen.

Morphologie

Schüttungscharakteristik	perennierend (selten periodisch)
Schüttungsmenge	gering – stark schüttend; 10–100 l/min
Sohlbedeckung organisch	5–10% Fallaub, wenig Totholz, Genist
anorganisch	≤ 50% Kies, 40% Steine, 10% Blöcke

Makrozoobenthos

Individuen/m ²	3000–6000 <i>G. fossarum</i> und 200–1000 (!) weitere Individuen
Summe der Arten	20–40
Diversitätsindex (Hs)	2.0–3.0 (nach Shannon)
Leitarten	<i>Crenobia alpina</i> , <i>Atherix marginata</i>

Im Vergleich zu anderen Typen sind lineare Quellen spärlich und artenarm besiedelt. Im Sommer sind Plecopteren die dominante Ordnung (vgl. Abb. 5). Wenn der Quellbach oberflächlich austrocknet, leben mehrere Arten der Gattung *Protoneura*, *Nemoura* und *Leuctra* zahlreich im Interstitial nebeneinander. Viele der sonst verbreiteten Ordnungen kommen nicht vor: Planarien, Mollusken und Coleopteren (mit Ausnahme von *Helodes spp.*) fehlen ganz, Trichopteren sind selten und nur durch spärliche Vorkommen von *Sericostoma personatum*, *Plectrocnemia conspersa* und *Potamophylax nigricornis* vertreten.

3.1.2 ± Unversinterte Rheokrenen

Die perennierend und stärker schüttenden Quellen der Bergregionen sind gewöhnlich Rheokrenen, die fast alle irgendwelche Formen von Versinterungen aufweisen. Bei einem nicht allzu hohen Calciumgehalt (10–30 °dH) sind sie nur schwach und in Form von Sinterplättchen ausgeprägt. Trotz der im allgemeinen nur geringen Bedeckung der Sohle mit organischem Material (0–30%) gehören ± unversinterte Rheokrenen zu den artenreichsten Quellen der Region. Verglichen mit Alluvialquellen

Tab. 3: Morphologisch-faunistische Kurzcharakterisierung von Kalksinter-Rheokrenen.

Morphologie

Schüttungscharakteristik	perennierend
Schüttungsmenge	gering – stark schüttend; 10–100 l/min
Sohlbedeckung organisch	40% Fallaub, 40% Moospolster, ≤ 10% Totholz, Genist
anorganisch	100% Kalksinter

Makrozoobenthos

Individuen/m ²	Individuen/m ² 2000–5000 <i>G. fossarum</i> ; nur 10–60 weitere Individuen
Summe der Arten	10–19
Diversitätsindex (Hs)	2.0–2.4 (nach Shannon)
Leitarten	<i>Salamandra s. terrestris</i> (auch in lenitischen Bereichen anderer montaner Quellen), <i>Pericoma calcilega</i> (selten)

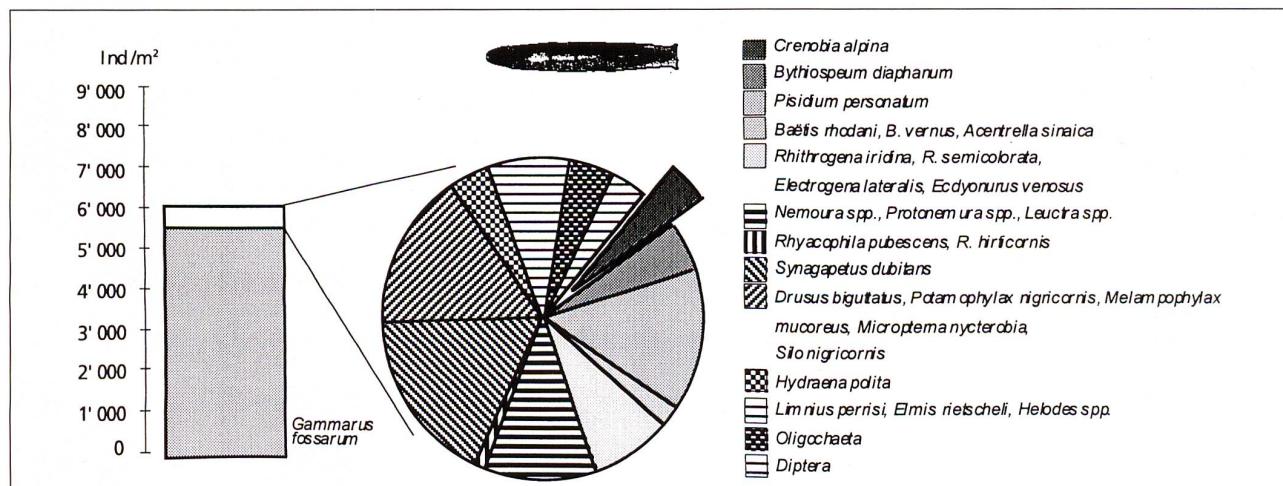


Abb. 7: Besiedelung ± unversinterter Rheokrenen (Mittelwerte 5 naturnaher Quellen ohne Einzelfunde und rezidente Arten).

enthalten sie ähnlich hohe Artenzahlen, sind jedoch in der Regel nicht ganz so dicht besiedelt.

In naturbelassenen, grösseren Rheokrenen können neben den Quellspezialisten auch viele Taxa der in Fließgewässern verbreiteten Arten auftreten (vgl. Abb. 7). So wurde in einer nur wenige m² grossen Quelle bei zwei Probennahmen die ungewöhnlich hohe Zahl von 40 Arten gefunden.

Der Verbreitungsschwerpunkt von *Crenobia alpina* befindet sich in Rheokrenen. Etwas seltener kommt die Alpenplanarie auch in den unversinterten ersten Fließmetern von Kalksinterquellen vor. Unterhalb der Versinterungen sowie im Mittelland wird die Art generell von der konkurrenzstärkeren *Polycelis felina* verdrängt.

Auffallend bei der Zusammensetzung der Zönose ist der grosse Artenreichtum von köcherlosen und köchertragenden Trichopteren wie *Plectrocnemia geniculata*, *Potamophylax nigricornis*, *Silo nigricornis* und *Micropterna nycterobia*. Massenvorkommen von *Synagapetus dubitans* sowie arten- und individuenreiche Coleopterenvorkommen (z.B. *Agabus guttatus*) wurden gefunden.

3.1.3 Kalksinter-Rheokrenen

Die ersten Meter unterhalb der Quelle sind nicht oder nur sehr schwach versintert und gleichen hinsichtlich der Besiedelung und Morphologie den ± unversinterten Rheokrenen. Nach einigen Metern Fließstrecke verändert sich die Morphologie dramatisch: Durch das Absind-

Abb. 8: Kalksinter-Rheokrene

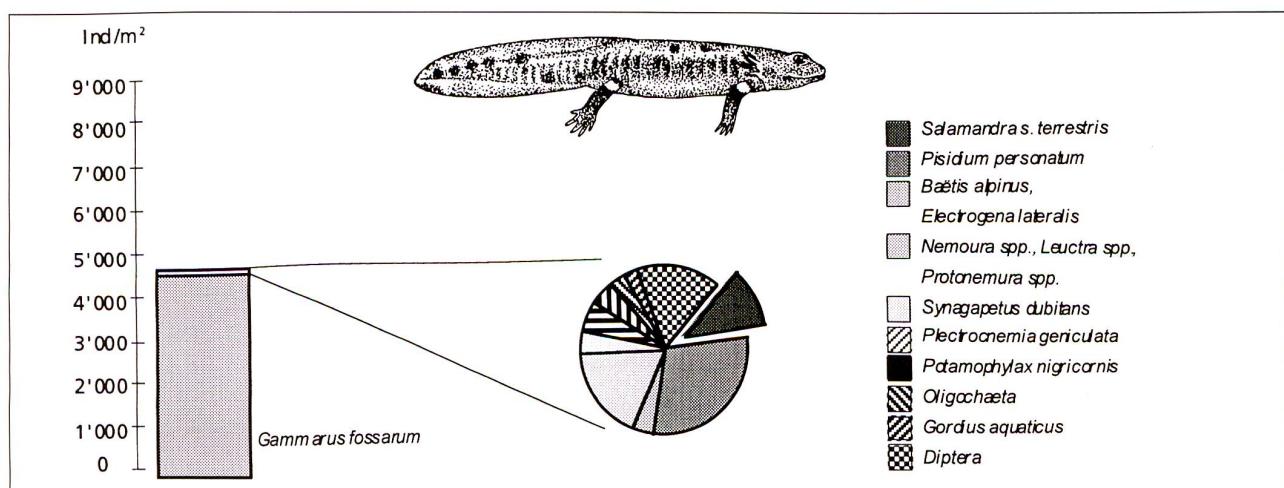
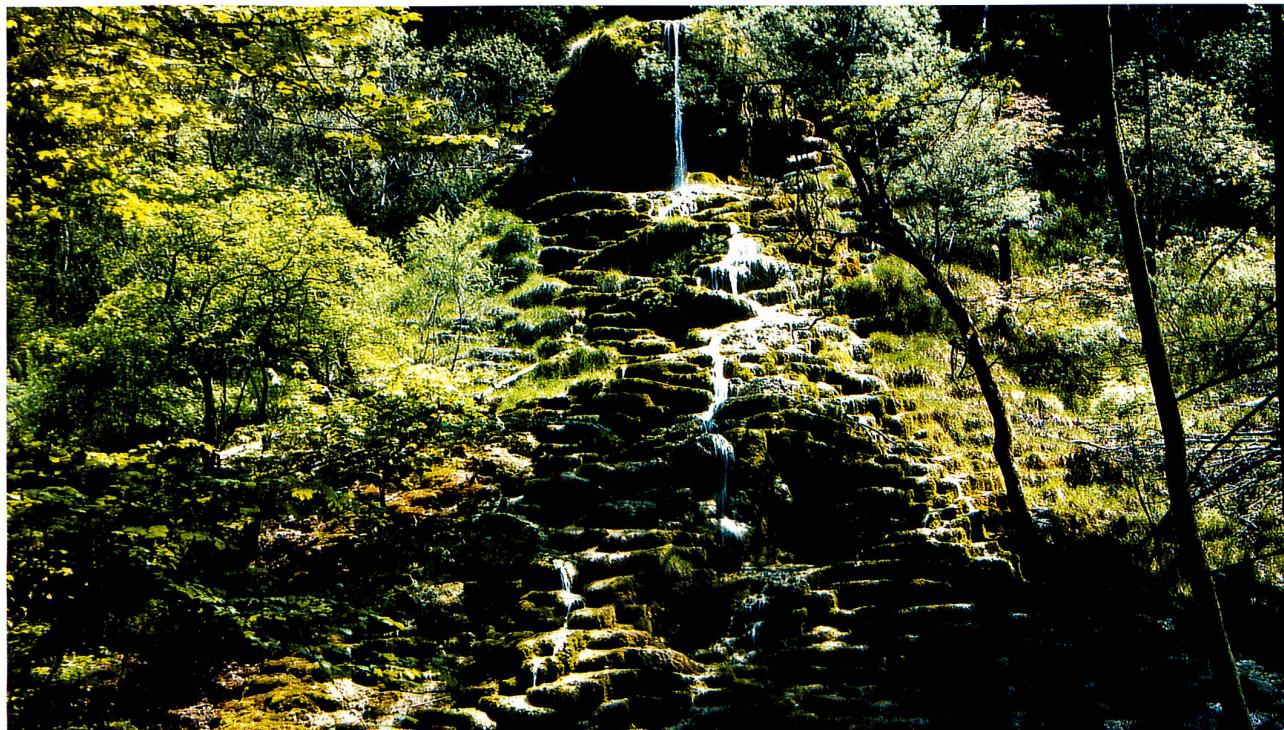


Abb. 9: Besiedelung von Kalksinter-Rheokrenen (Mittelwerte 8 naturnaher Quellen ohne Einzelfunde und rezedente Arten).

ken des CO₂-Partialdrucks, Erwärmung (im Sommer), Druckentlastung sowie durch biogene Entkalkung treten vier Formen von Calciumausfüllungen auf (s. Exkurs). Chemische Erosion des Sinters im Winter kann vorkommen (Herold, ETH, mündl.), allerdings wurden die dadurch entstehenden von Dürrenfeld (1978) beschriebenen Jahresringe nicht beobachtet. In den tieferen Schichten des Kalksinters mit ihren vielen Hohlräumen wurde keine Besiedelung mit Makrozooen gefunden.

Das Zoobenthos der Kalksinterterrassen wird in erster

Exkurs

In den Keuperschichten des Juras kommen sehr hohe Calciumwerte vor. Beispielsweise wurden in einer Quelle am Jurasüdhang 93° dH und 2630 µS/cm Leitfähigkeit gemessen (Schmassmann, 1993).

An solchen Quellen können 4 Typen der Versinterung beobachtet werden (nach Dürrenfeld, 1978; ergänzt):

- 1) *Kalksinterplättchen*: Auf den ersten Blick sehen Kalksinterplättchen aus wie gewöhnliches Kies-Substrat. Sie bestehen jedoch aus kleinen Kalkpartikeln unterschiedlicher Größe, in deren Zentrum sich ein winziger Kondensationskern befindet. Kalksinterplättchen treten im gesamten Quellbereich auf.
- 2) *Kalksinterterrassen**. Strömt das Wasser turbulent, entstehen poröse Sinterterrassen, die an den Stirnseiten mit Quellmoos (*Cratoneuron commutatum*) überwachsen sind. Die Terrassenform ist natürlich. Früher wurde Kalksinter oft mit grossen Steinsägen abgebaut, wodurch die Treppen vergrössert wurden. Bei der Ausbildung von grossen Sinterterrassen ist die biogene Entkalkung im unteren Bereich vermutlich der dominierende Faktor der Kalkausscheidung.
- 3) *Travertin*: Bei laminarer Strömung entsteht Travertin, ein festes, unbesiedelbares und an erstarrten Giessbeton erinnerndes Substrat.
- 4) *Verkrustungen*: Sämtliches auf die Terrassen fallendes Material wie Laub und Fallholz, aber auch Quellmoos und selbst Tiere werden sukzessive mit einer Kalkschicht überzogen, verbacken und konserviert. Tiere, die die entstehenden Kalkkrusten nicht schnell genug entfernen (z.B. Gammariden durch Häutung), oder weil sie die entsprechenden Körperteile nicht erreichen können (z.B. Käfer: Pronotum und Elytren) gehen an den Verkrustungen zugrunde.

*Hier soll die Verwirrung um den in der Literatur häufig unscharf verwendeten Begriff «Tuff» geklärt werden: Tuffe sind verfestigte vulkanische Auswurfprodukte. Kalktuff ist eine (nichtvulkanische!) Ausfällungserscheinung, deren Bezeichnung als Tuff unsinnig ist und zu Irritationen führt. Gemeinsam ist beiden Formen die verbackene Struktur.

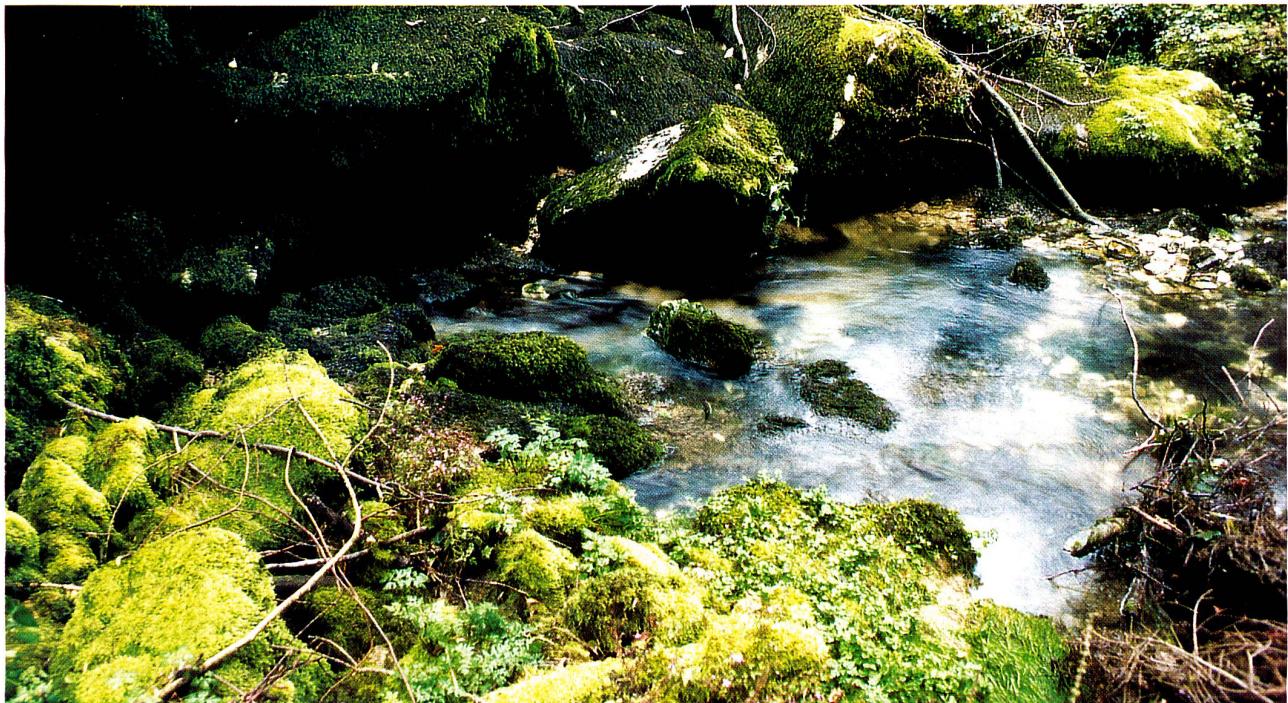


Abb. 10: Karstquelle

Linie durch das Fehlen von Arten charakterisiert und ist mit Ausnahme des überall massenhaft vorkommenden *G. fossarum* insgesamt spärlich (vgl. Abb. 9). Planarien, Ephemeropteren (ausser seltener *Baëtis alpina*-Vorkommen) und Coleopteren (ausser *Helodes*) fehlen meist ganz, Mollusken (ausser *Pisidium personatum*) und Oligochaeten sind selten.

Von allen anderen Ordnungen kommen nur Plecopteren der Gattungen *Nemoura* und *Protonemura* sowie Dipteren (viele Chironomiden) in den sonst üblichen Dichten

vor. Einerseits treten auf den Sinterterrassen sporadisch Ubiquisten auf, andererseits kommen insbesondere bei den Dipteren auch Calciumspezialisten wie *Pericoma calcilega* (Psychodidae) vor. Grabende Formen wie Oligochaeten sind ganz selten. Die Larven der im Jura noch weit verbreiteten Feuersalamander bewohnen dagegen regelmässig die lenitischen oberen Bereiche der Kalksinterquellen.

3.1.4 Karstquellen

Trotz intensiver Suche konnte nur ein Gebiet mit drei naturnahen Karstquellen gefunden werden.

Karstquellen beziehen ihr Wasser aus grobklüftigem Kalkgestein und schütten sehr unregelmässig. Das Wasser ist stärker getrübt als das aller anderen Quellen und hat selbst in grösseren Waldgebieten nicht immer Trinkwasserqualität.

Die drei untersuchten, nahe beieinander liegenden Karstquellen unterscheiden sich von allen anderen untersuchten Quellen durch den hohen Anteil von Felsblöcken im Substrat (sie können schon deshalb nicht dicht besiedelt sein), das trübe Wasser, das periodische Trockenfallen sowie den hohen Anteil der Grundwasserfauna.

Auffallend an den untersuchten Karstquellen ist, dass Feinsubstrat spärlicher als in anderen Quellen ist, jedoch zu rund 10% aus Gehäusen der sonst sehr seltenen *Bythiospeum diaphanum* besteht. In den Karstquellen wurde die geringste Abundanz von *Gammarus fossarum* (56 Ind./m²) aller untersuchten Quellen gefunden. Die übrige Besiedelung ähnelt durch die Präsenz von *Crenobia alpina*, *Perlodes jurassica*, *Plectrocnemia geniculata*, *Drusus biguttatus* und *Elmis rietscheli* als dominante Arten den ± unversinterten Rheokrenen.

3.2 Kolline Quellen

Die tieferen Lagen des Mittellands und der Basel-Land-

Tab. 4: Morphologisch-faunistische Kurzcharakterisierung von Karst-Quellen.

Morphologie

Schüttungscharakteristik	periodisch/intermittierend selten perennierend; sehr grosse Schwankungen
Schüttungsmenge	austrocknend bis extrem stark schüttend (hier 700l/min)
Sohlbedeckung organisch	5% Fallaub, 70% Moospolster
anorganisch	10% Sand, 30% Kies, 10% Steine, 50% Blöcke

Makrozoobenthos

Individuen/m ²	dünn besiedelt: 56 G. fossarum; 575 weitere Individuen
Summe der Arten	18
Diversitätsindex (Hs)	2.1 (nach Shannon)
Leitarten	zahlreiche <i>Niphargus c.f. puteanus</i> , <i>Asellus cavaticus</i> , <i>Bythiospeum diaphanum</i>

schaft zwischen 350 und 500 m ü.M. sind mit pleistozänen Flusschotter und gewässerbegleitenden Grundwasserströmen gefüllt. Kolline Quellen liegen in ebenem oder nur schwach geneigtem Gelände. Entweder drücken Riegel das Grundwasser an die Oberfläche, oder der gewässerbegleitende Grundwasserfluss ist angeschnitten. Dieser Anschnitt kann entweder natürlich durch fluviatile Erosion am Fuss von Niederterrassen (T_1) oder anthropogen, z.B. durch Kiesabbau, zustande gekommen sein.

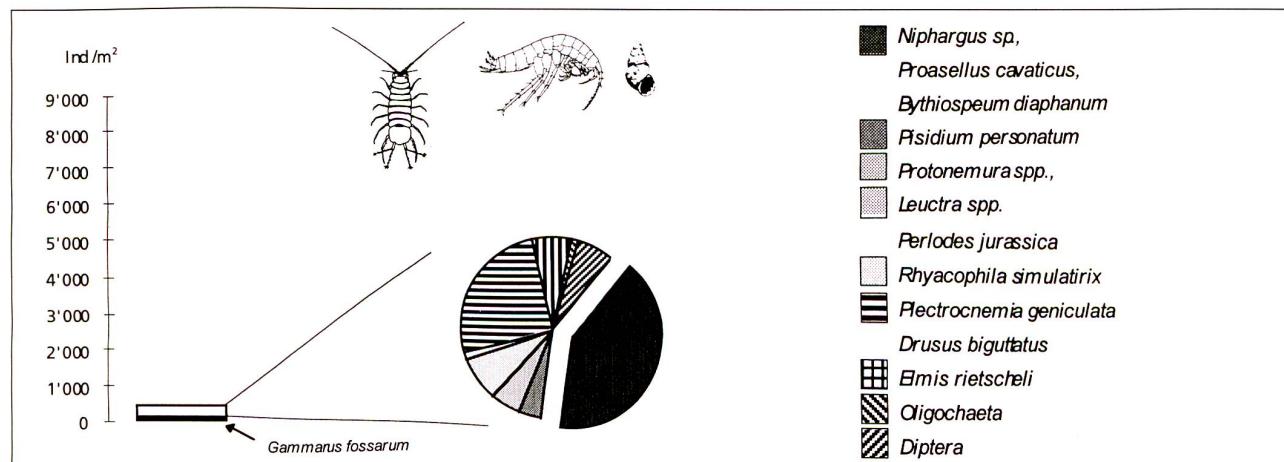


Abb. 11: Besiedelung von 3 nahe beieinanderliegenden Karstquellen (Mittelwerte ohne Einzelfunde und rezedente Arten).



Abb. 12: Alluvialquelle/Giessen

Tab. 5: Morphologisch-faunistische Kurzcharakterisierung von Alluvialquellen/Giessen.

Morphologie

Schüttungscharakteristik	perennierend; geringe Schwankungen
Schüttungsmenge	mittel bis stark schüttend (100 – 500 l/min)
Sohlbedeckung organisch	0–10% Fallaub, 10% Feindetritus; 0–80% Wasserpflanzen
anorganisch	50% Sand, 50% Kies

Makrozoobenthos

Individuen/m ²	2000–5000 <i>G. fossarum</i> ; 2000–6000 weitere Ind.
Summe der Arten	30–40
Diversitätsindex (Hs)	2.5–2.8 (nach Shannon)
Leitarten	<i>Crunoecia irrorata</i> , <i>Ephemera danica</i> , <i>Hydraena nigrita</i> , <i>Hildenbrandia rivularis</i> (Rotalge)

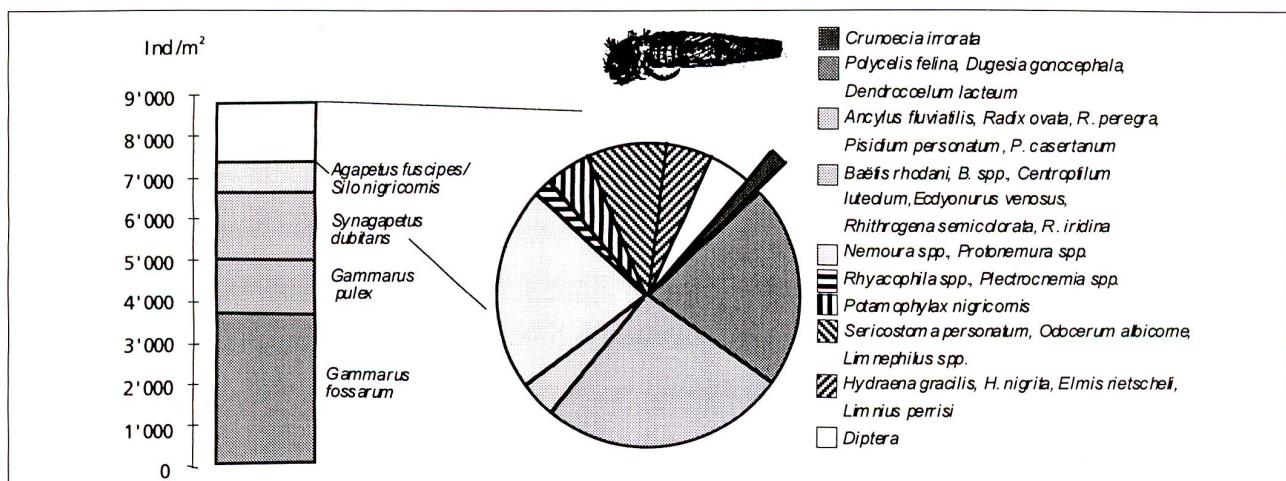


Abb. 13: Besiedelung von Giessen/Alluvialquellen (Mittelwerte 5 naturnaher Quellen ohne Einzelfunde und rezidivante Arten).

3.2.1 Giessen / Alluvialquellen

Naturnahe Alluvialquellen besitzen die größte Strukturdiversität, eine ganzjährig annähernd konstante Wassermenge und sind die einzigen Quellen der Region, in denen der Aufrechte Merk (*Sium erectum*) vorkommt. Wegen der ganzjährig niedrigen Temperaturen kommt er nie zum Blühen und pflanzt sich rein vegetativ fort. Aufgrund der rückschreitenden Erosion können sich im flachen Gelände limnokrene Bereiche ausbilden, bei denen das Wasser aus vielen kleinen Sandvulkanen strömt. Das Substrat ist dann im Bereich des Wasseraustritts ständig in Bewegung und unbesiedelt. Manchmal ist es so locker, dass man den Arm bis zum Ellenbogen in Sand und Kies eintauchen kann.

Auffallend ist die sehr hohe Besiedelungsdichte, die in naturnahen Alluvialquellen gefunden wurde. Im Gebiet «Wasseramt» südlich von Solothurn sind einige Giessen mit mehr als 10 000 Individuen/m² besiedelt. Massenvorkommen von *Gammarus pulex*, *Gammarus fossarum*, *Synagapetus dubitans*, *Silo nigricornis* (im Frühling) und *Agapetus fuscipes* (im Herbst) treten auf, wobei die beiden Glossosomatiden mit jeweils mehreren tausend Individuen/m² vorkommen können. Sie umgehen die Konkurrenz durch verschiedene Flugzeiten. Im Unterschied zu allen anderen Quellen treten Planarien artenreicher und in grösserer Stetigkeit auf. Der Anteil von Arten, von in der Längszonierung weiter unten ange-siedelten Taxa ist in Giessen höher als in allen anderen Quelltypen.

4. Aktuelle Verbreitung wichtiger Gruppen der Quellfauna

Planarien (Strudelwürmer): Die Alpenplanarie *Crenobia alpina* hat ihren Verbreitungsschwerpunkt in ± unversinterten Rheokrenen und Karstquellen, kommt aber auch in den obersten noch unversinterten Bereichen von Kalksinter-Rheokrenen vor. In Alluvialquellen wird sie generell, in den Höhenlagen seltener von der konkurrenzstärkeren *Polyclad felina* verdrängt, die in Abundanzen von bis zu 1200 Ind./m² vorkommt. Nur in seltenen Fällen kommen beide Arten in der gleichen Quelle vor. Alle anderen Planarien sind nur selten in den Quellen anzutreffen. In den Alluvialquellen sind in seltenen Fällen *Dugesia gonocephala* und *Dendrocoelum lacteum* in grösseren Beständen anzutreffen. An jeweils nur einem Fundort wurden *Phagocata vitta* und *Dendrocoelum album* gefunden.

Die immer noch viele Rätsel aufgebenden **Gordioidea** (Saitenwürmer) wie *Gordius aquaticus* sind selten in montanen Quellen zu finden und wurden immer nur als Einzelfund oder in wenigen Exemplaren angetroffen.

Bei den **Mollusken** (Weichtieren) kommt die Quellerbsenmuschel *Pisidium personatum* mit der hohen Stetigkeit von 59% in allen Quelltypen vor. Sie ist nur auf Sinterterrassen selten. Meistens ist sie mit der grösseren und weit verbreiteten *Pisidium casertanum* vergesell-

schaftet. Ein deutliches Verteilungsmuster zeigt die kleine in den Spaltengewässern des Juras vorkommende *Bythiospeum diaphanum*, die nur in unversinterten Rheokrenen und den Karstquellen gefunden wurde. Alluvialquellen können zahlreiche Individuen von *Ancylus fluviatilis*, *Radix ovata*, und seltener *Galba truncatula* beherbergen. Im weiteren sind die madicolen (Land-Wasser-Übergangs-)Bereiche vieler Quellen Lebensraum für eine grosse Anzahl von feuchteliebenden Schnecken, von denen insgesamt 34 Arten im Quellbereich gefunden wurden.

Oligochaeten (Wenigborstenwürmer) und **Hirudineen** (Egel) kommen nur selten und spärlich in Quellen vor und haben auch mit Ausnahme des selten gefundenen *Haplotaxis gordioides* keinen Vertreter der Quellspezialisten.

Von den **Crustaceen** (Krebstiere) ist *Gammarus fossarum* mit fast 95% Stetigkeit und Abundanzen bis 7000 Ind. /m² die alles dominierende Art. In den tieferen Lagen der Alluvialquellen gesellt sich häufig *Gammarus pulex* hinzu, jedoch immer in niedrigeren Abundanzen. Eine typische Verteilung besteht aus $\frac{1}{3}$ *G. pulex* und $\frac{2}{3}$ *G. fossarum*. Im weiteren kommt *Asellus aquaticus* selten in Alluvialquellen (und nur dort) vor. Die beiden Grundwasserarten *Asellus cavaticus* und *Niphargus c.f. puteanus* wurden in den Karstquellen gefunden, *A. cavaticus* besiedelt jedoch auch selten tiefere Lagen im Grobkies von Alluvialquellen und unversinterten Rheokrenen.

Aus den Familien der **Sialiden** (*Megaloptera*) und **Osmyliden** (*Planipennia*) sind *Sialis lutaria*, *Sialis fuliginosa* und *Osmylus fulvicephalus* in den Quellen zu finden. Alle drei sind so selten, dass keine Aussage über deren regionale Habitatpräferenzen gemacht werden können.

Die Gruppe der **Ephemeropteren** (Eintagsfliegen) ist nach den bisherigen Untersuchungen mit 20 Arten in den Quellen vertreten. Lineare Quellen und Kalksinterterrassen sind nur sehr spärlich mit Eintagsfliegen besiedelt, und nur selten sind einzelne Exemplare von *Baëtis alpinus*, *B. rhodani*, *Electrogena lateralis* oder *Habrophlebia lauta* anzutreffen. In den Karstquellen wurden keine Eintagsfliegen gefunden. In unversinterten Rheokrenen und Alluvialquellen sind dagegen durchschnittlich drei bis acht Arten der Ordnung anzutreffen. *Baëtis rhodani*, *Acentrella sinaica*, *Centroptilum luteolum*, *Ecdyonurus venosus* und *Rhithrogena iridina* sind die häufigsten Vertreter. Keine der Arten ist auf Quellen oder einen der Quelltypen spezialisiert. Langsamströmende Alluvialquellen mit sandigen Substratbereichen und Rheokrenen sind die einzigen Quelltypen, in denen *Ephemera danica* gefunden wurde.

Plecopteren (Steinfliegen) kommen in ähnlichen Häufigkeiten in allen Quelltypen vor. In linearen Quellen sind sie jedoch die dominierende Insektengruppe, da alle anderen Formen selten sind. Die häufigsten Vertreter der Ordnung sind die im larvalen Stadium nicht bestimmbaren Arten der Gattungen *Nemoura*, *Protonemura* und *Leuctra*. Viele Plecopteren wurden nur in montanen

Quellen gefunden: Dazu gehören die meisten Vertreter der Gattung *Leuctra*, *Isoperla rivulorum*, *Perlodes jurasica*, *P. microcephala* und *Dyctiogenus fontium*.

Fast alle Arten der **Trichopteren** (Köcherfliegen) zeigen ein klares Verteilungsmuster. Mit Ausnahme der überall vorkommenden *Plectrocnemia conspersa* sowie den Quellspezialistinnen *P. geniculata* und *Potamophylax nigricornis* kommen in linearen Quellen und auf den Kalksinterterrassen keine Köcherfliegen vor. In Giessen und unversinterten Rheokrenen können dagegen Massenvorkommen von *Synagapetus dubitans*, *Agapetus fuscipes* und *Silo nigricornis* auftreten. Daneben sind gewöhnlich mehrere Arten vorhanden, die auch im Rhithral auftreten.

Ähnlich wie Köcherfliegen sind **Coleopteren** (Käfer) fast ausschliesslich auf die ± unversinterten Rheokrenen und Alluvialquellen verteilt. Einzig die Larven der Gattung *Helodes* kommen mit hoher Stetigkeit in allen Quelltypen vor. Die höchsten Abundanzen zeigen die Arten *Limnius perrisi*, *Hydraena polita*, *H. rufipes* und *Elmis rietscheli*. Alle anderen Arten wie z. B. die Grundwasserart *Hydroporus ferrugineus* und andere auch ausserhalb der Quellregion vorkommende Käfer treten nur selten und in geringen Abundanzen auf.

Die beiden in Quellen vorkommenden **Odonaten** (Libellen) *Cordulegaster boltoni* und *C. bidentata* sind aufgrund ihrer Ansprüche und einer bis zu sieben Jahren dauernden Larvalphase sehr selten geworden. Beide wurden nur in linearen Quellen und (noch seltener) in unversinterten Rheokrenen gefunden.

Die im Quellbereich sehr zahl- und artenreich vorkommenden **Dipteren** (Zweiflügler) konnten aufgrund der schlechten Bestimmungsliteratur oftmals nicht bis auf Artniveau bestimmt werden. Insbesondere sind viele Quellspezialisten unter den Chironomiden, Psychodiden, Thaumaleiden und Stratiomyiden im Larvenstadium nur schwer oder gar nicht zu bestimmen. Deutliche Verteilungsmuster zeigen die Arten *Atherix marginata*, die nur in ± unversinterten Rheokrenen gefunden wurde, und die seltene *Pericoma calcilega*, deren Verbreitungsschwerpunkt in Kalksinter-Rheokrenen zu sein scheint.

Bei den **Amphibien** kommt einzig der Feuersalamander (*Salamandra s. terrestris*) regelmässig in Quellen vor. In grösseren lenitischen Bereichen von Kalksinterquellen und (seltener) unversinterten Rheokrenen können bis über 20 Individuen/m² vorkommen.

			- kein Nachweis	o Einzelfunde, rezidente Arten	+ zwei/drei Nachweise, spärliche Abundanzen	I häufige Nachweise, Verbreitungsschwerpunkte					
Ordnung	Familie	Art					Lineare Quellen	Kalksinterquellen	± Universinterte Rheokrenen	Karstquellen	Giesen/ Alluvialquellen
Trichoptera	Planariidae	<i>Crenobia alpina</i>	-	o	+	+	-	-	-	-	-
		<i>Polycelis felina</i>	-	-	o	-	-	-	-	-	l
		<i>Polycelis nigra</i>	-	-	-	-	-	-	-	o	-
		<i>Dugesia gonocephala</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-
		<i>Dugesia lugubralpolychroa</i>	-	-	-	-	-	-	-	o	-
	Dugesiidae	<i>Phagocata vitta</i>	-	-	o	-	-	-	-	-	-
		<i>Dendrocoelum lacteum</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	?	<i>Dendrocoelum cavaticum</i>	-	-	o	-	-	-	-	-	-
		<i>(Gordius aquaticus u.a.)</i>	o	o	o	-	-	-	-	-	-
	Gordioidea	<i>Gordioidea</i>									
Gastropoda	Lymnaeidae	<i>Galba truncatula</i>	-	-	o	-	-	-	-	o	-
	Sphaeriidae	<i>Radix peregra</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-
		<i>Radix ovata</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	Hydrobiidae	<i>Stagnicola corvus</i>	-	-	-	-	-	-	-	o	-
		<i>Sphaeria lacustris</i>	-	-	-	-	-	-	-	o	-
	Aculidae	<i>Bythiospeum diaphanum</i>	-	-	l	l	-	-	-	-	-
		<i>Ancylus fluviatilis</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	Bivalvia	<i>Sphaeriidae</i>									
	Oligochaeta	<i>Pisidium personatum</i>	l	l	l	l	l	l	l	l	l
		<i>Pisidium casertanum</i>	-	-	+	-	-	-	-	+	-
Crustacea	Lumbricidae	<i>Eiseniella tetraedra</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Lumbriculidae	<i>Stylodrilus heringianus</i>	-	-	+	-	-	-	-	+	-
		<i>Lumbriculus variegatus</i>	-	+	+	-	-	-	-	+	-
	Tubificidae	<i>Tubifex spp. u. a.</i>	-	-	o	-	-	-	-	-	-
	Hablotaxidae	<i>Haplotaxis gordoioides</i>	-	-	o	-	-	-	-	-	-
		<i>Glossiphoniidae</i>									
	Hirudinea	<i>Glossiphonia complanata</i>	-	-	-	-	-	-	-	o	-
		<i>Erpobdellidae</i>	<i>Erpobdella octoculata</i>	o	o	-	-	-	-	-	-
	Piscicolidae	<i>Piscicola geometra</i>	-	-	-	-	-	-	-	o	-
		<i>Hæmopis sanguisuga</i>	-	-	-	-	-	-	-	o	-
Megaloptera	Asellidae	<i>Proasellus cavaticus</i>	-	-	+	l	+	l	+	+	+
	Gammaridae	<i>Asellus aquaticus</i>	-	-	-	-	-	-	-	l	-
		<i>Gammarus pulex</i>	-	-	+	-	-	-	-	l	o
	Sialidae	<i>Niphargus c.f. puteanus</i>	-	-	-	-	-	-	-	l	o
		<i>Sialis lutaria</i>	-	-	-	-	-	-	-	o	-
	Osmyleidae	<i>Sialis fuliginosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	o	-
		<i>Osmyleus fulvicephalus</i>	o	-	-	-	-	-	-	-	-
	Baetidae	<i>Baëtis alpinus</i>	-	+	o	-	-	-	-	-	-
	Heptageniidae	<i>Baëtis muticus</i>	-	-	-	-	-	-	-	o	-
		<i>Baëtis rhodani</i>	o	o	l	-	o	-	-	o	-
Plecoptera	Ephemeridae	<i>Baëtis vernus</i>	-	-	o	-	-	-	-	o	-
		<i>Baëtis lutheri</i>	-	-	-	-	-	-	-	o	-
	Leptophlebiidae	<i>Acentrella sinica</i>	-	-	o	-	-	-	-	o	-
		<i>Centroptilum luteolum</i>	-	-	o	-	-	-	-	o	-
	Ephemerellidae	<i>Cloeon dipterum</i>	-	-	-	-	-	-	-	o	-
		<i>Ecdyonurus c.f. zelleri</i>	o	-	-	-	-	-	-	-	-
	Nemouridae	<i>Ecdyonurus venosus</i>	-	-	+	-	-	-	-	+	-
		<i>Ecdyonurus dispar</i>	-	-	o	-	-	-	-	-	-
	Leuctridae	<i>Ecdyonurus picteti</i>	-	-	-	-	-	-	-	o	-
		<i>Rhithrogena semicolorata</i>	-	-	o	-	-	-	-	+	-
	Leuctridae	<i>Rhithrogena iridina</i>	-	-	+	-	-	-	-	+	-
		<i>Electrogena lateralis</i>	-	o	o	-	-	-	-	-	-
	Leuctridae	<i>Electrogena uyheilyii</i>	+	-	o	-	-	-	-	-	-
		<i>Habrophlebia lauta</i>	o	-	o	-	-	-	-	-	-
	Nemouridae	<i>Paraleptophlebia submarginata</i>	-	-	o	-	-	-	-	o	-
		<i>Ephemera danica</i>	-	-	-	-	-	-	-	l	-
	Nemouridae	<i>Ephemeralia ignita</i>	-	-	-	-	-	-	-	o	-
		<i>Brachyptera risi</i>	-	-	o	-	-	-	-	-	-
	Leuctridae	<i>Nemoura cambrica</i>	-	-	o	-	-	-	-	-	-
		<i>Nemoura cinerea</i>	+	-	o	-	-	-	-	-	-
		<i>Nemoura flexuosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	o	-
		<i>Nemoura marginata</i>	-	o	+	-	-	-	-	+	-
		<i>Nemoura spp.</i>	+	l	l	-	+	-	-	-	-
		<i>Nemurella picteti</i>	-	o	-	-	-	-	-	+	-
		<i>Protonemura nitida</i>	-	-	-	-	-	-	-	o	-
		<i>Protonemura risifumosa</i>	-	o	+	-	-	-	-	-	-
		<i>Protonemura intricata</i>	-	+	+	-	-	-	-	o	-
		<i>Protonemura sp.</i>	l	l	+	l	+	l	+	+	-
	Leuctridae	<i>Leuctra braueri</i>	-	o	o	-	-	-	-	-	-
		<i>Leuctra nigra</i>	-	-	o	-	-	-	-	o	-
		<i>Leuctra prima</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-
		<i>Leuctra pseudosignifera</i>	-	-	o	-	-	-	-	o	-
		<i>Leuctra fusca</i>	-	-	o	-	-	-	-	o	-

Tab. 6: Artenliste naturnaher Quellen mit Übersicht über die Verbreitung der Taxa in 5 Quelltypen. Weiterhin wurden 34 überwiegend terrestrisch vorkommende Moluskenarten gefunden, auf deren Auflistung aus Platzgründen verzichtet wurde.

5. Diskussion

Die Typisierung beruht auf morphologischen Ähnlichkeiten, um eine Zuordnung der Quellen im Gelände zu ermöglichen und die Kartierungsarbeit zu erleichtern. Aufgrund der grossen Unterschiede der einzelnen Quellen spiegelt sich die Verbreitung einzelner Arten in der vorgestellten Typologie (vgl. Clusteranalyse in Abb. 3). Ein Vergleich der biologischen Ansprüche der gefundenen Arten führt in vielen Fällen zur Beantwortung der biogeographischen Kernfrage: «Warum kommt eine Art im Raum x vor, bzw. fehlt in Raum y?» (Müller, 1981). Zwar ist der Anteil der nichtsteten Taxa zu gross, um die gesamte 192 Taxa umfassende Artenliste durch eine Clusteranalyse zu bearbeiten. Die Anzahl der entweder unstet oder aber überall vorkommenden Arten überwiegt bei weitem die, deren Vorkommen sich auf bestimmte Regionen und deren Quellen beschränkt. Damit ist strenggenommen die Zahl der Erscheinungsformen der Quellen genauso gross wie die Zahl der Quellen selbst. Die Clusterung der Gruppen wurde erreicht, indem seltene Taxa sowie weit verbreitete Arten (z.B. *Gammarus fossarum*) nicht in die statistische Auswertung eingingen. Offenbleiben muss vorläufig, welche Faktoren diese Verbreitungsmuster bestimmen, allerdings liegt die Vermutung nahe, dass Substratbindung und Höhenzonierung die wichtigsten Faktoren sind. Deutlich wird dies z. B. an der bekannten Verbreitung der beiden *Gammarus*-Arten: In allen montanen Bereichen über ca. 500 m kommt ausschliesslich *G. fossarum* vor. In tieferen Lagen wird er vom konkurrenzstärkeren *G. pulex* verdrängt. Bei gemeinsamem Vorkommen der beiden Arten bevorzugt *G. fossarum* Bereiche mit höheren Fließgeschwindigkeiten.

Ein typisches Verbreitungsmuster zeigt die Köcherfliege *Crunoecia irrorata*, indem sie ausschliesslich in Alluvialquellen vorkommt. Eine solche regionale Stenotopie wurde auch schon in anderen Regionen beobachtet (Nierychlo, 1989). Interessant dabei ist, dass die Einnischung regional in unterschiedlichen Choriotopen statt-

findet. So besiedelt die Art im Saarland nur Quellen mit sandig-schlammigem Substrat. Im Untersuchungsgebiet ist sie dagegen auf Giessen mit Kiessubstrat beschränkt.

Insbesondere die Giessen sind mit einer Reihe von Arten besiedelt, die aufgrund der natürlichen Längszonierung in kollinen Gegenden bis in den Quellbereich vordringen, ihren Verbreitungsschwerpunkt jedoch im Epi- oder Metarhithral haben (Moog, 1995; Kürty & Zollhöfer, 1993; Kürty, 1994). Dazu gehören u.a. *Polycelis felina*, *Ancylus fluviatilis*, *Radix ovata*, *R. peregra*, *Gammarus pulex*, *Elmis rietschei*, *Limnius perrisi* und alle Eintagsfliegenlarven. Andererseits fehlen Arten wie *Crenobia alpina*, *Leuctra spp.*, *Bythiospeum diaphanum*, *Cordulegaster boltoni*, *C. bidentata*, die auf montane Regionen beschränkt sind. In Extremlebensräumen wie Kalksinterterrassen ist das Vorkommen von vielen Arten, z.B. allen grabenden Formen, eingeschränkt. Dafür bieten sie Habitate für Calciumspezialisten wie *Pericoma calcilega*.

Zusammenfassend beruhen die für die faunistische Typisierung herangezogenen Verbreitungsmuster einerseits auf unterschiedlicher Einnischung in der Längszonierung im Gewässer, andererseits auf ausgrenzenden Faktoren von Extremlebensräumen.

Die Clusteranalyse in Abbildung 3 zeigt aufgrund der Artenauswahl nicht die Ähnlichkeit der gesamten Quellaufauna zueinander: Entgegen den dargestellten Verhältnissen besteht die grösste faunistische Gemeinsamkeit zwischen Giessen und ± unversinterten Rheokrenen. Bei montanen Quellen ähnelt die Besiedelung der ersten unversinterten Meter von Kalksinterquellen derjenigen von Alluvialquellen.

Es ist naheliegend, die Verteilungsmuster zu analysieren, Kennarten auszuscheiden und eine regional angepasste Zielartenliste («RAZ») zu erstellen (Mühlenberg, 1993; Kürty, 1994; Hütte, Bundi & Peter, 1994). Im Kontext regionaler habitatbezogener Untersuchungen erfüllt eine solche Liste die wichtigsten Anforderungen des Konzepts der regionalen Zielarten.

Von Biogeografen wird auf die Notwendigkeit der Trennung der Beobachtungsskalen bei der Analyse von Populationsmustern hingewiesen (Müller, 1980; Ricklefs & Schlüter, 1993). Insbesondere wird hier betont, dass die Artendiversität auf der regionalen Ebene durch interspezifisches Verhalten wie Einnischung, Aussterben und Konkurrenz bestimmt wird. Auf überregionaler Ebene sind dagegen Faktoren wie Evolution (Artbildung), und Dispersal (Faunenaustausch) für die Dynamik von Arealsystemen verantwortlich. Eine faunistische Analyse des Krenons muss daher vor dem Hintergrund regionaler hydrobiologischer Verhältnisse gesehen werden. Dies gilt insbesondere für die Fülle der kleinen montanen Quellen, die nicht über Tiefengrundwässer durch einen «interstitial highway» als biogeografische Wanderstrecke (Ward & Palmer, 1994) miteinander verbunden sind.

Bisher hat sich keine auf Ökologie und Morphologie

basierende Quelltypologie durchgesetzt, die über die klassische «Dreifaltigkeit» der Rheo-, Helo-, und Limnokrenen von Steinmann (1915) und Thienemann (1922) hinausgeht. Die meisten der im Jura vorkommenden Quellen können dabei keinem der drei Typen zugeordnet werden. Limnokrenen kommen vermutlich im Jura natürlicherweise nicht vor und sind im Mittelland allenfalls als ruhige Bereiche in Alluvialquellen zu finden. Bei den vorhandenen Helokrenen spricht vieles dafür, dass sie anthropogen durch Rodung in Verbindung mit Weidewirtschaft entstanden sind. Die von Beyer (1932) für deutsche Mittelgebirge vorgestellten 11 Quelltypen sind eine detailliertere Weiterentwicklung der Quelltypen von Thienemann und Steinmann. Sie beziehen sich wie diese auf morphologische Merkmale und zeigen bis auf wenige Ausnahmen eine «durchaus einheitliche Besiedelung» (Illies, 1952).

Überregionale Vergleiche von Quelluntersuchungen zwischen Norddeutschland und den Alpen haben gezeigt, dass die Besiedelung von Quellen innerhalb einer Region homogener ist als die von weiter entfernt liegenden Regionen (Gathmann, 1994). Es dürfte somit schwierig, wenn nicht gar unmöglich sein, eine überregionale faunistische Quelltypologie zu entwerfen. Den Einteilungen und im besonderen der Einnischung von Kennarten kommen vermutlich nur regionale Bedeutung zu. Dieser Eindruck erhärtet sich, wenn man andere Quelltypologien aus dem Saarland (Nierychlo, 1988; faunistisch), den Appalachen (Gooch & Glacier, 1991; faunistisch), oder aus Niedersachsen (Weber-Oldekop, 1981; floristisch) heranzieht. Alle sind sowohl für den Jura als auch für das Mittelland aussagelos.

Die Leitarten wurden entweder exklusiv in den entsprechenden Quelltypen gefunden (*Crunoecia irrorata*, *Hildenbrandia rivularis*, *Niphargus c.f. puteanus*, *Atherix marginata*) oder haben ihren Verbreitungsschwerpunkt innerhalb der Quellen in den entsprechenden Typen (*Cordulegaster boltoni*, *Crenobia alpina*, *Salamandra s. terrestris*). Zwar zeigen die in der Typologie ausgeschiedenen Kennarten eine hohe Habitatbindung, allerdings treten sie (wie fast alle Quellorganismen) mit 50%–83% nur selten mit hoher Stetigkeit auf, so dass das Nichtvorkommen einer Kennart nicht überbewertet werden darf. Es muss daher die gesamte Besiedelung in die Betrachtung miteinbezogen werden.

Bornhauser (1913) fand in 25% der 680 von ihm untersuchten Quellen *Niphargus puteanus*, jedoch keinen einzigen *Gammarus fossarum*. In der vorliegenden Untersuchung wurde der Höhlenflohkrebs nur in einer einzigen naturnahen Quelle nachgewiesen (er besiedelt jedoch regelmässig verdolte Quellen). *G. fossarum* tritt dagegen in jeder Quelle zahlreich oder massenhaft auf. Dass sich die beiden Arten konkurrenzieren, ist vielfach belegt. Offenbleiben muss die Frage, was zu der Faunenverschiebung geführt hat.

Der praktische Wert der Arbeit besteht in erster Linie in Erkenntnissen über die in der Region vorhandenen Quellen und deren Besiedelung. Insbesondere Giessen und Kalksinter-Rheokrenen wurden bisher auch überre-

gional kaum untersucht. Die Differenzierung der fünf Quelltypen soll zukünftige Kartierungen anregen und erleichtern, um damit letztlich zu einem besseren Schutz der restlichen naturnahen Quellen zu gelangen.

Dank

Ich danke cand. Dr. Mathias Brunke und Dr. T. Gonser vom *Forschungszentrum für Limnologie* der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) für ihre wertvollen Hinweise zum Manuskript. Herrn Mario F. Broggi und der Bristol-Stiftung danke ich für ihr Vertrauen und die unkomplizierte finanzielle Unterstützung, die die Untersuchungen ermöglicht haben.

Literatur

- BEYER, H. (1932): Die Tierwelt der Quellen und Bäche des Baumberggebietes; Abhandlungen aus dem westfälischen Provinzialmuseum für Naturkunde; 3. Jahrgang; Hsg: Dr. Reichling.
- BORNHAUSER, K. (1913): Die Tierwelt der Quellen in der Umgebung Basels; Int. Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie. Hydr. Suppl. (5): 1–90.
- BRAUKMANN, U. (1984): Biologischer Beitrag zu einer allgemeinen regionalen Bachtypologie; Diss. Justus-Liebig-Universität Giessen; 476 S.
- BRAUKMANN, U. (1992): Typologischer Ansatz zur ökologischen Bewertung von Fließgewässern; Limnol. akt. (3): 45–65.
- CUSHING, C. E. & GAINES, W. L. (1989): Thoughts on recolonization of endorheic cold desert spring-streams; J. N. Am Benthol. Soc. 8/3: 227–287.
- DÜRRENFELD, A. (1978): Untersuchungen zur Besiedelungsbiologie von Kalktuff; Faunistische, ökologische und elektronenmikroskopische Befunde; Archiv für Hydrobiologie Suppl. 54 (Monographische Beiträge). 1–79.
- FISCHER, J. (1996 a): Bewertungsverfahren zur Quellfauna; Crunoecia: 5 (in press).
- FORSCHUNGSGRUPPE FLIESSGEWÄSSER (BOSTELMANN, BRAUKMANN, BRIEM, NADOLNY u.a. 1994): Fließgewässertypologie; Ergebnisse interdisziplinärer Studien an naturnahen Fließgewässern und Auen in Baden-Württemberg mit Schwerpunkt Buntsandstein-Odenwald und Oberrheinebene; ecomed Verlagsgesellschaft; 226 S. + Kartenanhang.
- GATHMANN, O. (1994): Faunistische und zoozönologische Untersuchungen an Quellen in der Rhön; Diplomarbeit am Fachbereich Biologie (Zoologie) der Philipps-Universität Marburg.
- GOOCH, J. L. & GLACIER, D. S. (1991): Temporal and Spatial Patterns in Mid-Appalachian Springs; Memoires of the Entomological Society of Canada (155): 29–49.
- HÜTTE, M.; BUNDI, U; PETER, A: (1994): Konzept für die Bewertung und Entwicklung von Bächen und Bachsytemen im Kanton Zürich; EAWAG und Kanton Zürich; 133 S.
- ILLIES, J. (1952): Die Mölle; Faunistisch-ökologische Untersuchungen an einem Forellenbach im Lipper Bergland; Archiv für Hydrobiologie (46): 424–612.
- ILLIES, J. (1961): Versuch einer allgemeinen biozönotischen Gliederung der Fließgewässer; Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie 46/2: 205–213.

- ILLIES, J. & BOTOSANEANU, L. (1963): Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique; Mitt. Int. Ver. theor. u. angew. Limnologie 12: 1–57; Stuttgart.
- KEILHACK, K. (1935): Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde; Borntraeger; Berlin.
- KÜRY, D., (1994): Die Wirbellosenfauna der Fliessgewässer in der Region Basel; Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft Basel (104): 19–44; Birkhäuser Vlg., Basel.
- KÜRY, D. & ZOLLMÖLLER, J. M. (1993): Gewässerbionische Erfolgskontrolle des Ausbaus ARA Ergolz I, Sissach; Gas-Wasser-Abwasser; 1993 (3): 205–211.
- MOOG, O. (ed) (1995): Fauna Aquatica Austriaca; Lieferung Mai/95; Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- MÜHLBERG (1884): Quellenkataster des Kantons Aargau; Eidgenössisches Stabsbureau 1884; Originalkarten bei der: Kantonalen Verwaltung Aarau, Sektion Grundwasser und Boden; Konradstr. 15; CH-5000 Aarau.
- MÜHLENBERG, M. (1993): Freilandökologie; UTB 595; Quelle & Meyer, Heidelberg; 3. Aufl.; 512 S.
- MÜLLER, P. (1981): Arealsysteme und Biogeographie. Ulmer Vlg., Stuttgart 1981
- MÜLLER, P. (1980): Biogeographie; UTB Ulmer Vlg; 414 S.
- NIERYCHLO, J. (1989): Biogeographische Bewertung saarländischer Quellökosysteme; Typologisierungsmöglichkeiten der Quellen (Schwerpunkt biologisch-ökologische Parameter; Diplomarbeit, Universität Saarbrücken); 140 S. + Anhang
- RICKLEFS, R. E. & SCHLUTER, D. (ed) (1993): Species Diversity: Regional and Historical Influences; Chicago Press; S. 350–363.
- SCHMASSMANN AG, GEOLOGISCHES INSTITUT (1993): Quellüberwachungs-Programm Wisenberg-tunnel; Eidgenössische Schätzungskommission, 8. Kreis; Schlussbericht und 13,2 kg Anhänge in 9 Bänden.
- STEINMANN, P. (1915): Praktikum der Süßwasserbiologie. Teil 1: Die Organismen des fliessenden Wassers; Sammlung naturw. Prakt.; Bd 7; Berlin.
- STINY, J. (1933): Die Quellen; Wien, 1933.
- THURNER, A. (1967): Hydrogeologie; Wien/New York.
- THIENEMANN, A. (1922): Hydrobiologische Untersuchungen an Quellen; Archiv für Hydrobiologie (14): 151–190.
- VAILLANT, F. (1956): Recherches sur la faune madicole de France, de Corse et d'Afrique du nord; Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle. Série A; Zoologie: (11): 1-258.
- WARD, J. H. (1963): Hierarchical grouping to optimize an objective function; Journ. Am. Stat. Assoss. 58: 236–244.
- WARD, J., & PALMER, M. A. (1994): Distribution Patterns of Interstitial Freshwater Meiofauna over a Range of Scales, with Emphasis on Alluvial River-Aquifer Systems; Hydrobiologia 287: 147–156.
- WEBER-OLDECOP, D. W. (1981): Eine Fliessgewässer-Typologie; Limnologica 13 (2): 419–426.