

# DAS EU- UND HYPOKRENAL HARZER BÄCHE: LANGZEITUNTERSUCHUNGEN DER WASSERTEMPERATUREN, UMGEBUNGSFAKTOREN UND IHRE BEDEUTUNG FÜR DIE LEBENSGEMEINSCHAFT DIESER GEWÄSSER

The eu- and hypocrenal of springbrooks in the Harz mountains: A long-term study of the water temperature, environmental parameters and their significance for the biocenosis of these biotopes

Andreas Müller

*Biologische Bundesanstalt für Land und Forstwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland,  
Messeweg 11-12, 38104 Braunschweig, Email: an.mueller@bba.de*

## Abstract

The water temperature of 14 springbrooks (Harz mountains, Northern Germany) were recorded by dataloggers over a period of 2 years. Additionally, some environmental parameters of these springs were observed. At some springbrooks, aquatic insects were caught with emergence traps. The water temperature of the eucrenal showed no variations over the time. But in the hypocrenal, we found fluctuations and a seasonal variation of the water temperature. It was possible to classify the springbrooks in groups with different annual temperature courses and biological productivities.

sq

**Key words:** Springs, water temperature, substrate, bio-typed, aquatic insects

## EINLEITUNG

Quellen gelten als Lebensräume mit besonders gleichförmigen Umgebungsparametern. Ihre Wassertemperatur ist aufgrund des direkten Austrittes des Wassers und deren langen Verweilzeiten im Gestein im Vergleich zu anderen Oberflächengewässern geringeren Schwankungen unterlegen. Diese Stenothermie prägt die Lebensgemeinschaft der Quellen maßgeblich. Frühere Untersuchungen an Quellstandorten befaßten sich u.a. mit der Wassertemperatur, verwendeten aber meist sporadischen Messungen, die das vollständige Temperaturregime dieser Biotope nicht wieder spiegeln. Malicky (1978) weist in diesem Zusammenhang auf die Unzulänglichkeiten von Einzelmessungen hin, da diese nicht in der Lage sind, die absoluten Temperaturminima und -maxima festzulegen.

Erst mit der Verwendung von Min-Max-Thermometern oder entsprechenden Datenloggern konnten die Wassertemperaturen und deren Schwankungen genauer dokumentiert werden (Johnstone 1972, Iversen 1973). Als ein Ergebnis dieser detaillierteren Untersuchungen konnte eine größere als bisher angenommene Schwankungsbreite der Wassertemperatur vieler Quellen festgestellt werden (Wright 1974, Brehm 1978, Resh 1983). Mit dieser größeren thermischen Heterogenität treten die Minimal- und Maximaltemperaturen der Quellbäche als begrenzende ökologische Faktoren besonders für die Fauna in den Mittelpunkt des Interesses (Malicky 1978).

Da die Wassertemperaturen von vielen lokalen Faktoren wie der Schüttung sowie den Substratverhältnissen beeinflusst werden (Wright 1974, Brehm 1978), ist die Übertragbarkeit zwischen unterschiedlichen Einzugsgebieten nur eingeschränkt gegeben. Für die Quellen im Harz fehlten bis dato derartige Untersuchungen gänzlich.

Die hier vorgestellten Ergebnisse sind Teile eines umfassenderen Projektes, das sich mit den ökologischen Verhältnissen (Hydrochemie, Fauna und strukturelle Faktoren) der Harzer Quellen beschäftigt (Müller, Scharf 2000, Müller, Scharf 2001). Ziel dieser weitergehenden Untersuchung ist die faunistische Klassifizierung der bearbeiteten Quellbiotope im Mittelgebirge Harz. Darüber hinaus sollen Aussagen über Wechselwirkungen der einzelnen Faktorenkomplexe (Fauna, Chemie, Struktur) untereinander getroffen werden. Die hier vorgestellte Langzeiterfassung der Wassertemperaturen mittels Datenlogger in Verbindung mit ersten faunistischen Befunden stellt dazu einen wichtigen Beitrag dar.

## UNTERSUCHUNGSGEBIET UND UNTERSUCHUNGSMETHODEN

### Quellstandorte

Die Untersuchung wurde im nördlichsten Mittelgebirge Deutschlands, dem Harz, durchgeführt. Von 145 besichtigten Quellen wurden 14 Standorte für die Exposition der

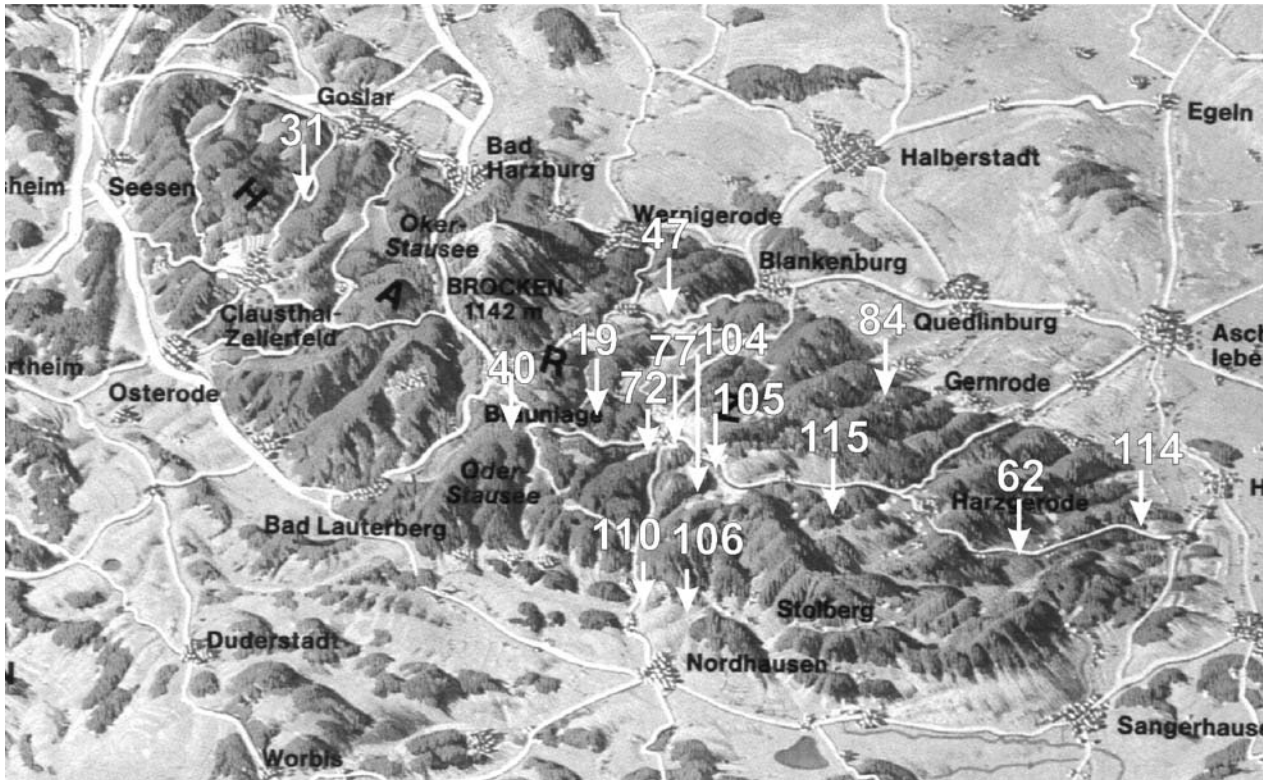


Abb. 1. Lage der untersuchten Quellen im Gebiet des Harzes.

Logger ausgewählt. Kriterien dabei waren eine gute Erreichbarkeit, unterschiedliche Biotoptypen der Umgebung und eine permanente Wasserführung der Quellbäche. Die untersuchten Standorte verteilen sich auf das gesamte Gebiet des Harzes (Abb. 1).

Die unmittelbare Umgebung der Quellen ist verschiedenen Biotoptypen zuzuordnen, wobei Wiese, Mischwald und Laubwald vorherrschten. Die Biotoptypen sind für die Beschattungs- und Substratverhältnisse der Quellbäche von großer Bedeutung. Der authochthone Eintrag von organischer Substanz z.B. über den Laubfall oder die Auswaschungen von umgebenden Bodenflächen bestimmt mit der Struktur des anstehenden Gesteines die Substratverhältnisse maßgeblich.

Die Zuordnung der einzelnen Standorte zu den Biotoptypen und eine kurze Charakteristik der dort vorgefundenen Verhältnisse führt Tab. 1 auf. Bei allen untersuchten Quellen handelt es sich im engeren Sinne um Rheokrenen. Sie entspringen punktförmig und verfügen über einen linearen Ablauf in Form eines Quellbaches.

Innerhalb der unterschiedlichen Biotoptypen können die Standorte nach Substrat und vorherrschender Schüttung weiter unterschieden werden, so dass für jede Probestelle eine individuelle Kombination aus Umgebungsfaktoren entsteht.

### Temperaturmessung

Bei dem verwendeten Tidbit™ Temperatur-Loggersystem handelt es sich um kleine (2,5 cm Durchmesser), leichte und vollkommen autarke Einkanal-Temperatur-Logger

der Firma Onset Corp. USA ([www.onsetcomp.com](http://www.onsetcomp.com)). Die Geräte sind wasserdicht in eine Kunststoffhülle eingegossen und werden über eine interne Lithiumbatterie mit Energie versorgt. Die Messintervalle der Geräte betragen 30 Minuten. In der Praxis verblieben die Logger zwischen 4 und 12 Monate im Gelände. Für die meisten der mit diesem Loggersystem untersuchten 14 Standorte liegen für den zweijährigen Untersuchungszeitraum lückenlose Temperatureaufzeichnungen vor, auch über die sonst sehr schwer zu erfassenden Wintermonate.

Die Messungen wurden zum einen im Bereich des Eukrenals (direkter Quellbereich bis ca. 2 m unterhalb der Quelle) und zum anderen im Bereich des Hypokrenals (Bereich des Quellbaches von ca. 2 bis 10 m unterhalb der Quelle) durchgeführt.

### Emergenzerfassungen

Für die Erfassung der Emergenz der aquatischen Insekten wurden an einigen Probestellen Emergenzzelte mit einer Grundfläche von 0,49 m<sup>2</sup> im Hypokrenal der Bäche installiert. Die Fallen wurden von April bis November des jeweiligen Jahres in einem zweiwöchigen Rhythmus gelehrt.

### Schüttungsmessungen

Die Schüttungen der Quellen wurde regelmäßig im Gelände mittels Gefäß und Stoppuhr bestimmt. Die so erhaltenen Werte wurden zur besseren Klassifikation in drei Schüttungsklassen eingeteilt (siehe auch Tab. 1).

Tabelle 1

Biotoptypen, Beschattungs- Schüttungs- und Substratverhältnisse der 14 untersuchten Quellbäche

Quelle	Biotoptyp	Beschattung	Schüttung s-klasse	Substrat
<b>Wiese</b>				
31	Wiese: Offene Lichtung mit Gräsern und Birken bestanden	Quellmund nicht beschattet, Quellbach mit leichter Beschattung	2	Kies und kleinere Steine
72	Wiese, offen mit Grasvegetation	Bach durch höhere Gräser beschattet, Wiese nicht beschattet	2	Lehmige Sohle, viele überhängende Grashalme
77	Wiese, offen mit Grasvegetation und einzelnen Gebüschen	Bach sehr eingetieft, deshalb keine direkte Sonneneinstrahlung, Wiese nicht beschattet	2	Sandig-kiesige Sohle, Grashalme, Moose
105	Wiese mit Grasvegetation	Bach sehr eingetieft, deshalb keine direkte Sonneneinstrahlung, Wiese nicht beschattet	3	Sandige Sohle, Mudde und Schlammablagerungen
<b>Mischwald</b>				
40	Lichter Mischwald mit einzelnen größeren Laubbäumen	Mittlere Beschattung, lichter Baumbestand, im Tagesverlauf wechselnd	2	Größere Schotter, Totholzanteile und Moose
47	Lichter Nadelwald, vereinzelt Gebüsche	Aufgrund der Hanglage hohe Beschattung	1	Mudde mit Nadeln und Tannenzapfen, vereinzelt kleine Steine
62	Lichter Nadelwald, vereinzelt einige Gebüsche	Durch Kerbtallage dauerhaft beschattet	2	Größerer Schotter und größere Steine
104	Offener Mischwald, mit einzelnen Laubbäumen	Geringe Beschattung	1	Überwiegend Moose, Mudde, und Schlamm
<b>Laubwald</b>				
19	Laubbruchwald mit einzelnen Nadelgehölzen	Mittlere Beschattung durch lichten Baumbestand	2-3	Größere Schotter, einzelne Steine, Totholz mit Laubblättern
84	Bruchwaldsenke mit Erlengehölzen	Mittlere Beschattung durch lichten Baumbestand	2	Mudde, sehr lehmig, kaum Hartsubstrate
106	Buchenwald	Durchweg beschattet durch Baumbestand	2	Laubblätter, kleinere Schotterteile, viel Moos
115	Buchenwald	Mittlere Beschattung durch lichten Baumbestand	1	Buchenlaub und einige Steine
114	Buchenwald	Mittlere Beschattung durch lichten Baumbestand	1	Buchenlaub, Mudde und Schlamm
110	Laubwald in Kerbtal	Durchweg beschattet durch Baumbestand und Kerbtallage	1	Wenig Laub, viele kleinere Schottersteinchen des Rotliegenden

Um die im Gelände gemessene Schüttung der Quellen besser klassifizieren zu können, wurden die gemessenen Werte in Schüttungsklassen (SK) unterteilt. Die einzelnen Klassen wurden wie folgt festgelegt: SK 1= geringe Schüttung (0,5–1 Liter/s) SK 2= mittlere Schüttung (1–2 Liter/s), SK 3= starke Schüttung (mehr als 2 Liter/s).

## ERGEBNISSE UND DISKUSSION

### Jahresgang der Wassertemperatur im Eukrenal

An zwei Standorten (Nr. 31b und 40 in Abb. 1) wurden die Datenlogger direkt am Quellaustritt installiert, um die von Außenfaktoren möglichst unbeeinflussten Temperaturen des Eukrenals zu dokumentieren. Die Aufzeichnungen am Standort 40 begannen am 1.1.2001 und endeten am 1.4.2002. Am Standort 31b wurde die Temperatur vom 1.5.2001 bis zum 1.4.2002 gemessen (Abb. 2). Beide Verläufe zeigen über das Jahr sehr konstante Wassertemperaturen ohne eine Beeinflussung durch die wechselnden Lufttemperaturen.

Die Temperaturverhältnisse am Standort 40 sind etwas heterogener als die am Standort 31b. Im Kurvenverlauf der Quelle 40 sind begrenzte Zeiträume auszumachen (ersten Hälfte des Septembers 2001), in denen sich die Temperatur

kurzfristig, aber für die Gleichmäßigkeit der sonstigen Verhältnisse beachtenswert ändert. Aufgrund der besonders hohen Niederschläge in diesem Monat veränderte sich das Temperaturgefüge des Quellwassers deutlich: Nach dem 10.9. stieg die Wassertemperatur rasch von 7 °C auf 8,2 °C an und fiel in den nachfolgenden Tagen bis zum 27.9. langsam auf das ursprüngliche Niveau von 6,8 °C ab. Eine vergleichbare Veränderung der Temperaturen ist für den Standort 31b nicht festzustellen.

Als mögliche Erklärung für diese Temperaturschwankungen in Quelle 40 kommt eine Verdrängung von wärmerem Grund- und Speicherwasser aus den Wasserleitern durch die hohen Niederschläge in Betracht. Eine Beeinflussung durch abfließendes Oberflächenwasser kann ausgeschlossen werden, da der Quellaustritt geschützt unter einer überhängenden kleinen Wand liegt. Cantonati (1998)



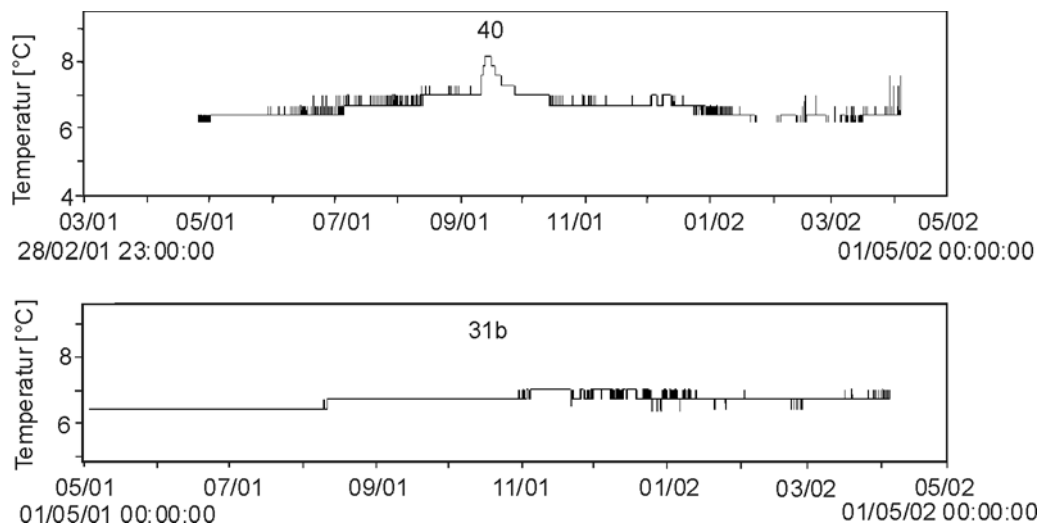


Abb. 2. Jahresgänge der Wassertemperatur im Eukrenal (bis 2 m nach Quellaustritt) der Standorte 40 und 31b.

konnte bei seinen Untersuchungen der Quellen im Adalmo-Brenta Regional Park (Italien) regelmäßige Temperaturpeaks im Herbst feststellen, die wahrscheinlich ebenfalls durch die gesteigerten Niederschläge in dieser Zeit hervorgerufen wurden.

Die Temperaturschwankungen der Ganglinien zu Beginn der Jahre sind auf den Einfluß des Schmelzwassers zurückzuführen. Dies kann mit seiner niedrigeren Temperatur durch den oberirdischen Zufluß die Quellregion stark beeinflussen. Der direkte Quellbereich der untersuchten Standorte 31b und 40 ist mit einer mittleren Temperatur von 6,7 °C als kalt-stenotherm zu bezeichnen.

### Jahresgang der Wassertemperatur im Hypokrenal

Im Hypokrenal der Quellbäche sind im Gegensatz zum Eukrenal durch die stärker wirkenden Umweltvariablen (Sonneneinstrahlung, Regen, Schneeschmelze, variierende Fließgeschwindigkeit etc.) veränderte Temperaturen zu erwarten. Um dies besser dokumentieren zu können, wurden weitere Messpunkte, besonders im Bereich der dort installierten Emergenzfallen eingerichtet (Abb. 3). Als Vergleichsmöglichkeit wurden am Standort 19 die Lufttemperatur ebenfalls mittels eines Datenloggers aufgezeichnet.

Im Vergleich zum Eukrenal zeigen die Verläufe der Temperaturen im Hypokrenal deutliche jahresperiodische Unterschiede. Sie entsprechen dem jahreszeitlichen Verlauf der Lufttemperatur, wobei die Minimum- und Maximumwerte der Wassertemperaturen etwas zeitverzögert auftreten. Insgesamt zeigten die Wassertemperaturen dabei geringere Amplituden als die Lufttemperatur. Ein ähnliches Muster der Temperaturen wurde ebenfalls von Resh (1983), Beierkuhnlein (1991) und Beierkuhnlein & Gräsele (1993) für Quellbiotope in anderen Regionen Deutschlands beschrieben.

Die sechs dargestellten Jahresgänge lassen Unterschiede der Temperaturverläufe erkennen: Die Quellbäche 19 und 47 verfügen in allen Phasen des Jahres über stark schwankende Wassertemperaturen mit hohen Maximal- und Minimalwerten. Für den Standort 47 können die großen Schwankungen mit der geringen Schüttung gut erklärt werden. Aufgrund des

geringeren Wasserkörpers passt sich die Temperatur schnell der Umgebung an und ist damit größeren Veränderungen ausgesetzt. Der Quellbach 19 verfügt hingegen über eine stärkere Schüttung. Seine hohen Temperaturschwankungen liegen wahrscheinlich in der Struktur des Bachbettes begründet: Es ist relativ breit, so dass das Wasser mit einer geringeren Tiefe auf einer größeren Fläche abfließt. Eine Erwärmung bzw. Abkühlung kann dadurch schneller stattfinden.

Die Standorte 105 und 72 verfügen über eine ausgeprägte Jahresperiodik aber geringere kurzfristige Temperaturschwankungen. Für den Quellbach 72 ist sicherlich die Beschattung der Bachsohle durch die hohen Grasvegetation für den recht gleichmäßigen Temperaturverlauf verantwortlich.

Für die Standorte 106 und 62 fallen besonders die abgeflachten Kurvenverläufe auf. Sie sind auf eine geringere Erwärmung des Wassers durch eine dauerhafte Beschattung der Quellen (62 durch Kerbtallage und 106 durch hohen Baumbestand) und eine Entwässerung der tieferen Gesteinsschichten zurückzuführen. Das Wasser ist damit nicht der Erwärmung durch die oberen Bodenschichten ausgesetzt, wie das für viele flach entwässernde Quellen der Fall ist (Brehm, 1978). Es ist auffällig, dass insbesondere im Hypokrenal der Quelle 106 während der Vegetationszeiten die täglichen Temperaturschwankungen größer sind als in der Winterzeit. Dieses widerspricht den Erwartungen, nämlich dass die Sonnenstrahlung durch das Blattwerk der Bäume abgehalten wird und damit eine geringe Schwankung der Tagestemperatur vorliegen müsste. Im Winter müsste sich die Sonnenstrahlung stärker auf die Amplitude der Tagesschwankungen auswirken. Eine mögliche Erklärung für diesen Widerspruch kann sein: Das Hypokrenal der Quelle 106 liegt bei dem tiefen Sonnenstand im Winter dauerhaft im Schatten. Vergleicht man die sommerlichen Tagestemperaturschwankungen von dem Hypokrenal der Quelle 106 mit denen z.B. der Quelle 19, so wird deutlich, dass die Amplitude der Schwankungen bei 106 deutlich geringer ist. Dieses dürfte eine Folge der Abschirmung der Sonneneinstrahlung durch das Blattwerk der Bäume sein. Das Blattwerk dämpft

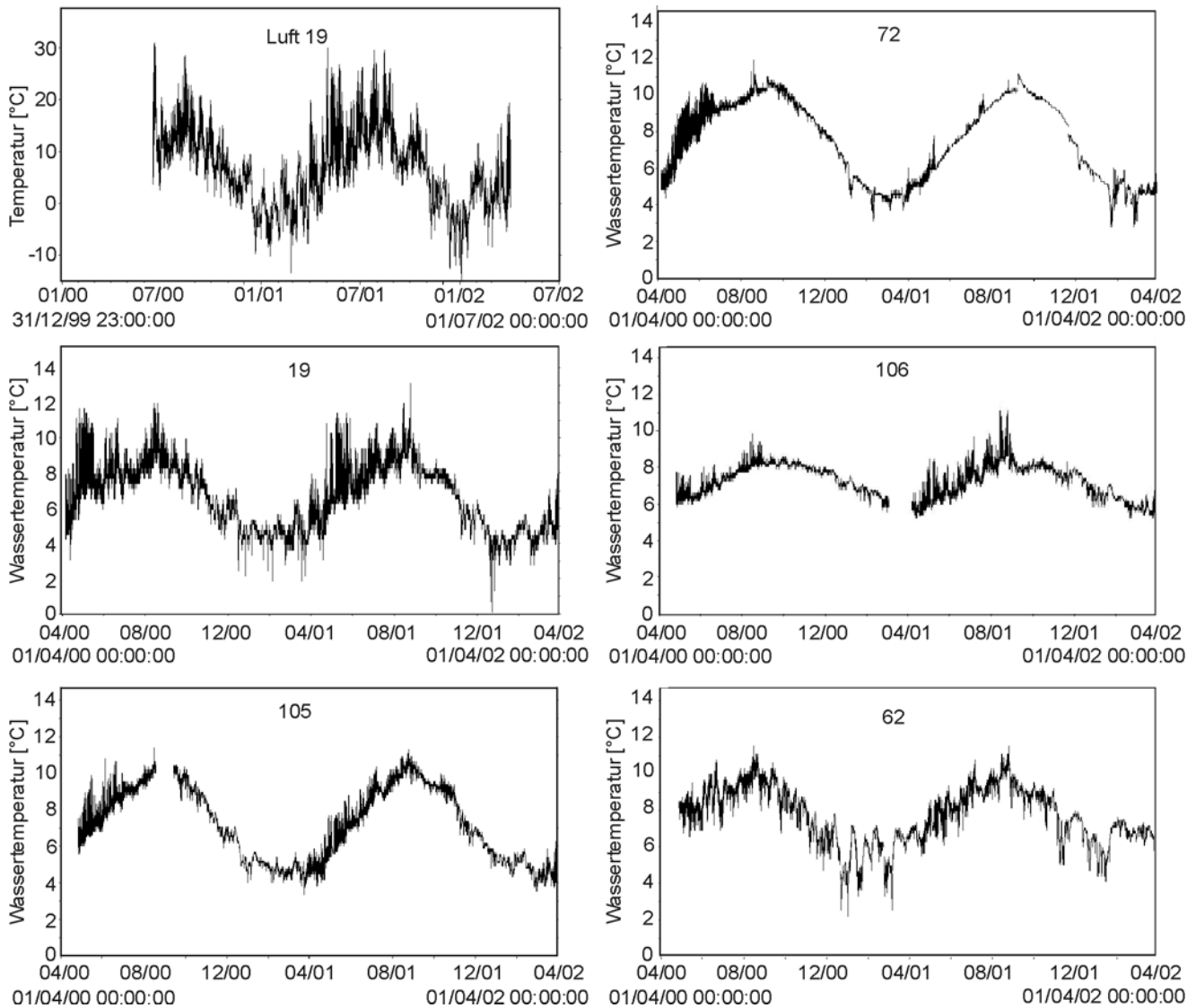


Abb. 3. Jahresgänge der Wassertemperaturen im Hypokrenal der Quellbäche 19, 47, 105, 72, 106, 62 vom April 2000 bis zum April 2002. Als Vergleich ist der Jahresgang der Lufttemperatur am Standort 19 mit aufgeführt.

zwar die Sonneneinstrahlung, kann aber eine allgemeine Erwärmung der Luft im Tagesverlauf nicht verhindern.

### *Jahreszeitliche Merkmale der Temperaturgänge im Hypokrenal*

Die niedrigsten Wassertemperaturen der Quellbäche treten in den Monaten Februar bis April auf. In dieser Zeit können die Temperaturen durchaus bis auf wenige Grad über den Gefrierpunkt fallen (siehe Tab. 2). Diese Beobachtung deckt sich mit Ergebnissen aus anderen Untersuchungen (Iversen 1973, Beierkuhnlein, Gräsele 1993, Schrankel 1998, Cantognati 1998). Dies ist aus biologischer Sicht sehr interessant, da damit die kälteste Periode der Quellbäche mit der letzten Entwicklungsphase vieler krenobionter Insekten zusammenfällt, die trotz dieser geringen Temperaturen in der Lage sind, ihre Larvalentwicklung inklusive Schlupf erfolgreich zu beenden. Womöglich sind eine physiologische Anpassung

dieser Organismen an kalte Temperaturen und vielleicht eine geringe Aktivität ihrer Räuber besonders während dieser Zeit für sie von ökologischem Vorteil.

In der sich anschließenden Phase der Erwärmung (Monate April bis September) treten in den Quellbächen höhere, kurzfristige Temperaturschwankungen auf. Dies kann auf die lang anhaltende Schneeschmelze im Mittelgebirge, auf die während dieser Zeit oft wechselnden Niederschlagsverhältnisse und auf die im Tagesverlauf stark schwankende Intensität der Sonneneinstrahlung zurückgeführt werden. Die beiden erst genannten Faktoren verändern das Schüttungsverhalten der Quellen und sorgen auf der einen Seite für einen erhöhten Abfluss des Grundwassers und auf der anderen Seite für einen erhöhten Zufluss von kälterem Schmelzwasser, der je nach Geländeform, zu einer Durchmischung von Quell- und Oberflächenwasser führt. Damit sind plötzliche Temperaturänderungen möglich und in den Kurvenverläufen auch zu erkennen. Schrankel (1998)

Tabelle 2

Minimale und maximale Wassertemperaturen des Hypokrenals der untersuchten Quellbäche

Quelle	19	47	62	72	77	84	104	105	106	110	114	115
Minimum [°C]	1,8	2,1	2,2	2,7	5,3	4,4	2,7	3,3	1,7	3,3	9,2	3,1
Maximum [°C]	13,2	12,3	11,1	11,2	11,4	14,5	14,5	11,4	11,6	17,3	13,7	20,3
Jahresmittel [°C]	6,7	8,1	7,7	7,6	7,9	7,8	7,1	7,1	6,9	10,4	11,7	10,3

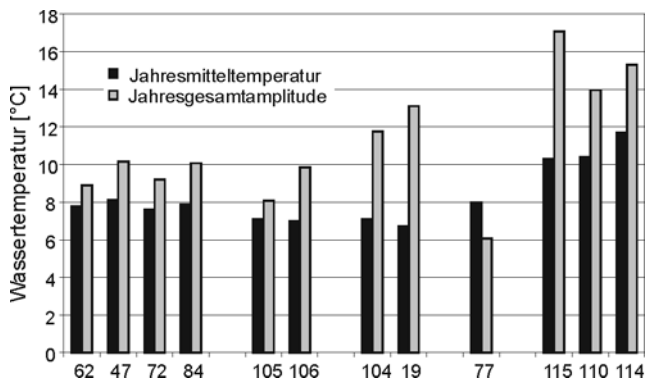


Abb. 4. Jahresmitteltemperatur und Jahresgesamtamplitude des Hypokrenals von 13 Bächen des Harzes.

fand in den Quellen des Nationalparks Berchtesgaden vergleichbare Auswirkungen der Schneeschmelze auf die Wassertemperaturen.

Der Temperaturverlauf der Quellbäche läßt sich damit in zwei Jahresabschnitte unterteilen: Der erste Abschnitt der Erwärmung beginnt im ausklingenden Winter und endet erst in den Spätsommermonaten. Er ist durch häufig wechselnde Temperaturen charakterisiert. Die sommerlichen Temperaturmaxima der Quellbäche werden in den Monaten August und September erreicht. Der zweite Abschnitt der langsamen Abkühlung beginnt im frühen Herbst und dauert bis zum Ende des Winters. Er ist durch gleichmäßigere, langsam fallende Wassertemperaturen charakterisiert und entspricht eher unseren Vorstellungen von der Konstanz dieser Biotope.

### Minimale und maximale Wassertemperaturen im Hypokrenal

Fey (1984) weist in seiner Untersuchung einiger Bäche des Mittelgebirges auf die bisher oft unterschätzte Rolle der Jahresgesamtamplitude hin. Diese Minimal- und Maximalwerte der Wassertemperaturen haben oft einen größeren Einfluß auf die Lebensgemeinschaften als die Jahresmitteltemperaturen. Aus diesem Grunde werden für die untersuchten Standorte diese Temperaturextrema genauer betrachtet (Tabelle 2, Abb. 4).

Aus den minimalen und maximalen Temperaturen lassen sich Unterschiede im Temperaturregime der Quellbäche erkennen. Berücksichtigt man zusätzlich die Jahresmitteltemperatur, so wird eine Unterteilung der Bäche in vier Gruppen möglich:

Die erste Gruppe mit den Standorten 62, 47, 72, 84 zeigten Jahresmitteltemperaturen zwischen 7 und 8 °C. Die Unterschiede zwischen den Standorten sind gering. Die jähr-

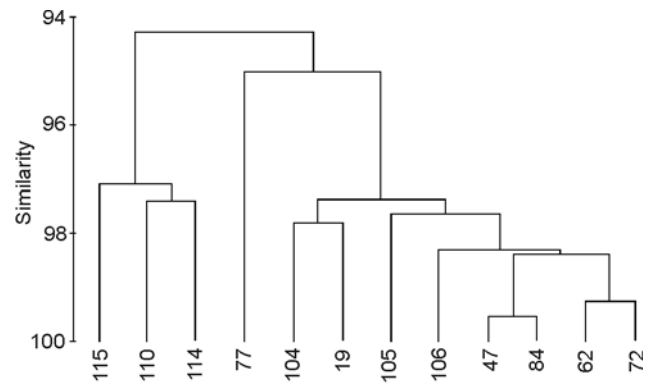


Abb. 5. Clusterdiagramm der untersuchten Quellbäche. Bray-Curtis Similarity der square-root transformierten Daten nach der Single-linkage Methode.

liche, maximale Temperaturamplitude dieser Quellbäche beträgt 9 bis 10 °C. Die Quellbäche 105, 106, 104 und 19 zeigten eine sehr einheitliche Verteilung der Jahresmitteltemperatur, die bei allen vier Standorten ca. 7 °C beträgt. Ähnliche Temperaturwerte wurden auch von Brehm (1978) und Sobotha (1978) für verschiedene Mittelgebirgsquellen ermittelt. Im Gegensatz dazu stellen sich die Jahresgesamtamplituden uneinheitlich dar. Verfügte der Quellbach 105 noch über eine Jahresgesamtamplitude von 8 °C, betrug sie für den Quellbach 19 schon 13 °C. Die Quellbäche dieser Gruppe zeigten damit im Vergleich zur ersten Gruppe höhere Gesamtamplituden der Wassertemperaturen. Iversen (1973) und Wright (1974) fanden in ihren Untersuchungen ähnliche Gesamtamplituden der Wassertemperatur.

Für den Standort 77 war die niedrige Jahresgesamtamplitude von 6 °C bezeichnend. Die mittlere Jahrestemperatur betrug für diesen Standort 8 °C.

Die letzte Gruppe der Quellbäche ist durch eine höhere Jahresmitteltemperatur charakterisiert, die im Einzelfall mehr als 11 °C (Probestelle 114) betragen kann. Diesen recht warmen Abschnitten des Hypokrenals sind außerdem hohe Jahresgesamtamplituden zuzuordnen, so dass insgesamt ein vollständig verändertes Bild des Temperaturregimes dieser Quellen entsteht. Im Vergleich zu den restlichen Probestellen sind dies die wärmsten Standorte der Untersuchung.

Ähnliche Unterschiede im Temperaturverhalten der Quellen konnten durch Untersuchungen von Hahn (2000), Gathmann (1994); Fey (1984), Brehm (1973) und Johnstone (1972) auch für andere Gebiete und Quelltypen gezeigt werden.

Die oben getroffene Einteilung der Quellbäche nach Ihren Wassertemperaturen wird in weiten Teilen durch eine statistische Auswertung in Form einer Clusteranalyse gestützt (Abb. 5).

Die Bäche teilen sich in vier voneinander separierte Cluster auf: Diese Einteilung deckt sich vollständig mit dem in Abb. 4 dargestellten Bild. Im ersten Cluster sind die wärmeren Probestellen 115, 110, und 114 zusammengefaßt. Die Probestelle 77 ist aufgrund ihrer niedrigen Jahresgesamtamplitude von den restlichen Standorten separiert. Der dritte große Cluster unterteilt sich in drei Teilgruppen, die aus den assoziierten Probestellen 104 und 19, 47 und 84 und als letztes Paar 62 und 72 gebildet werden. Der Standort 105 ist dabei eher der ersten Gruppe und der Standort 106 der letzten Gruppe zuzuordnen. Die in Abb. 4 getroffene Unterteilung der Probestellen kann damit auch statistisch nachgewiesen werden.

### Bedeutung von Strukturellen Merkmalen für die Wassertemperatur

Betrachtet man die Umgebungsparameter der Quellen (Tab. 1) so lassen sich die ermittelten Temperaturmuster mit den Biotop- Beschattungs und Substratverhältnissen in Verbindung bringen. Für die Quellbäche 115, 110 und 114 sind die Bedingungen nahezu identisch: Alle Standorte liegen in Laubwäldern, sind beschattet, besitzen eine geringe Schüttung und verfügen über einen hohen Anteil von organischer Substanz (Laub) als Substrate. Der Quellbach 77 verfügt über eine kiesige Sohle, eine mittlere Schüttung und über ein dauerhaft beschattetes, eingetieftes Bachbett. Die Probestellen 47 und 84 zeichnen sich besonders durch ihre Substratverhältnisse aus: Hier herrschen Weichsubstrate vor, die in Verbindung mit einer geringen Quellschüttung für ein vergleichbares Temperaturmuster dieser Standorte verantwortlich sind.

Für die Quellbäche 62 und 72 ist wiederum die Beschattung durch die Kerbtallage (62) oder die hohe Grasvegetation am Ufer (72) von Bedeutung. Die Faktoren der unmittelbaren Quellumgebung wirken sich damit direkt auf die Temperaturen des Wassers aus.

### DIE INSEKTENGEMEINSCHAFTEN DER QUELLBÄCHE

Parallel zur Aufzeichnung der Wassertemperaturen wurden an den Standorten 19, 62, 105, 106 und 110 Emergenzfallen installiert, um die aquatische Insektenfauna über eine Vegetationsperioden zu erfassen. Die ersten Ergebnisse in Form einer Auswertung der einzelnen Insektenordnungen deuten darauf hin, dass zwischen den Quellbächen deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung der Fauna bestehen (Abb. 6).

Für die fünf mit Emergenzfallen ausgestatteten Probestellen sind unterschiedliche Schlupfraten festzustellen. Die Quellbäche 19 und 62 verfügen mit Individuenzahlen zwischen 1300 und 1700 über die geringste Produktivität. Die Probestellen 105 und 106 erreichen Individuenzahlen von bis zu 7400 Organismen pro m<sup>2</sup>. Die höchste biologische Produktivität zeigt sich bei der Probestelle 110 mit einem Wert von mehr als 9000 geschlüpften Individuen pro m<sup>2</sup>. Betrachtet man die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften, so zeigen sich auch hier Unterschiede. Bis auf die Probestelle 105 (44% Dipteren) zeigten alle anderen Stan-

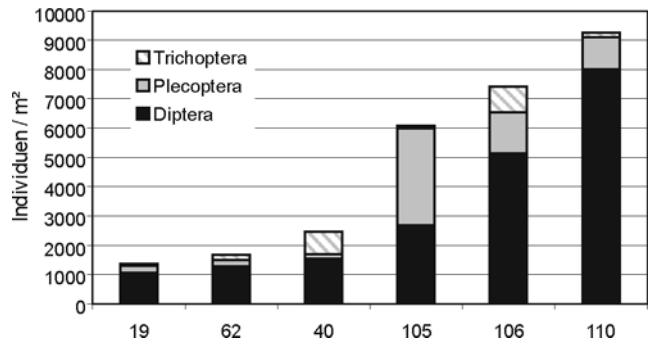


Abb. 6. Individuenzahlen pro m<sup>2</sup> der geschlüpften Insektenordnungen im Hypokrenal der Quellbäche einer Vegetationsperiode der Jahre 2000 bzw. 2001.

dorte eine klare Dominanz der Dipteren, die Anteile bis zu 86 % der erfassten Individuen (Probestelle 110) erreichen können. Als zweithäufigste Ordnung traten die Plecopteren mit Anteilen von 12% (Probestelle 110) bis 54% (Probestelle 105) auf. Die dritthäufigste Ordnung der Insekten wurde von den Trichopteren gestellt, die mit Anteilen von 2%–12% der geschlüpften Individuen vertreten waren. Die höchsten Schlupfraten wurden hier für die Probestelle 106 mit 12% der Individuen ermittelt. Ephemeropteren kamen selten vor und wenn, dann mit überaus geringen Individuenzahlen. Sie konnten lediglich für die Standorte 62, 106 und 110 mit bis zu 27 Tieren (1%) pro Probestelle nachgewiesen werden.

Es deuten sich Zusammenhänge zwischen der Schüttung, dem Substrat, dem Chemismus des Wassers und der Besiedlung der Quellen an, worauf an anderer Stelle detailliert eingegangen werden wird.

### FAZIT

Es konnte gezeigt werden, dass sich das Eukrenal und das Hypokrenal der 14 Quellen bezüglich der Wassertemperatur deutlich unterscheiden. Während im Eukrenal äußerst geringe Temperaturschwankungen festzustellen waren, treten im Hypokrenal charakteristische Jahresgänge auf, die jahreszeitliche Unterschiede erkennen lassen. Die thermischen Eigenschaften der Quellbäche erfahren damit auf einer Fließstrecke von wenigen Metern eine drastische Veränderung, die einer Zonierung gleichkommt.

Die Quellen lassen sich aufgrund ihrer Temperaturen in vier Gruppen einteilen, die mit strukturellen Bedingungen vor Ort korreliert sind. Als größte Gruppe lassen sich die Quellen der Laubwälder gegen die restlichen Probestellen abgrenzen. Diese Standorte sind durch die Kombination einer sommerlichen Beschattung, eines hohen Anteils organischen Substrats, einer geringen Schüttung und durch moderate Wassertemperaturen gekennzeichnet. Es sind weiterhin die Probestellen mit der höchsten biologischen Produktivität. Die Ordnung der Dipteren ist hier mit Anteilen von bis zu 86 % dominant. Die anderen Gruppen der Quellen lassen sich keinem eindeutigen Biotoptyp zuordnen. Ihre Temperaturen werden maßgeblich durch individuelle Beschattungs- und Substratverhältnisse beeinflusst.

Eine weiterführende Analyse der Umgebungsparameter der Quellen (Struktur, Hydrochemie, Schüttung etc.) und



ihre Auswirkungen auf die Fauna dieser Quellbäche ist geplant und wird die hier vorgestellten Teilergebnisse mit einbinden.

### Danksagung

Mein Dank gilt besonders dem UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, das diese Arbeit durch die Vergabe eines Stipendiums ermöglichte. Prof. Dr. Burkhard Scharf danke ich ganz besonders für die gute Betreuung während meiner Tätigkeit am UFZ. Immer wenn Probleme auftraten, wußte er einen Weg, sie zu meistern! Seine zahlreichen Ratschläge haben mir in vielen Fällen weitergeholfen. Herr Dr. Peter Groth von den Harzwasserwerken unterstützte die Arbeit durch viele Anregungen und insbesondere durch die großzügige Überlassung von Datenloggern. Auch ihm sei hierfür herzlich gedankt.

### LITERATUR

- Beierkuhnlein C. 1991. Räumliche Analyse der Stoffausträge aus Waldgebieten durch Untersuchung von Waldquellfluren. *Die Erde* 122, 291–315.
- Beierkuhnlein C., Gräsle, W. 1993. Zum Temperaturverhalten von Waldquellen des Frankenwaldes (Nord-Ost-Bayern). *Crunocia* 2, 5–14.
- Brehm J. 1973. Hydrologische und chemische Übersichtsuntersuchungen an den Fließgewässern des Schlitzerlandes: I. Quelltemperaturen. *Beiträge zur Naturkunde Osthessen* 5/6, 121–140.
- Brehm J. 1978. Vierjährige hydrologische und chemische Untersuchungen an zwei benachbarten Buntsandstein – Waldquellen. *Archiv für Hydrobiologie* 82, 49–65.
- Cantonati M. 1998. Hydrobiology of springs of the Adamello-Brenta Regional Park (Trentino, Italy) with special references to algae. Dissertation der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck.
- Fey M. 1984. Zur Temperatur westsauerländischer Bäche. *Decheniana* 137, 125–131.
- Gathmann O. 1994. Faunistische und zoozöologische Untersuchungen an Quellen in der Rhön. Diplomarbeit am Fachbereich Biologie der Philipps-Universität Marburg, 146s.
- Hahn H.-J. 2000. Studies on classifying of undisturbed springs in southwestern Germany by macrobenthic communities. *Limnologia* 30, 247–259.
- Iversen T.M. 1973. Decomposition of autumn-shed beech leaves in a springbrook and its significance for the fauna. *Archiv für Hydrobiologie* 72, 305–312.
- Johnstone I.M. 1972. Limnology of western springs, Auckland New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 6, 298–328.
- Malicky H. 1978. Der Temperaturgang einiger niederösterreichischer Gebirgsbäche. *Wetter und Leben* 30, 170–183.
- Müller A., Scharf B. 2000. Quellen im Harz: Faunistische, hydrochemische und strukturelle Untersuchungen an den Schnittstellen zwischen Boden und Gewässer. *Tagungsbericht der Deutschen Gesellschaft für Limnologie 2000 (Magdeburg)*, Tutzing 2001, 254–257.
- Müller A. Scharf B. 2001. Die Trichopterenzönosen des Eu- und Hypokrenals Harzer Bäche. *Tagungsbericht der Deutschen Gesellschaft für Limnologie 2001 (Kiel)*, Tutzing 2002, 665–669.
- Nadig A. 1942. Hydrobiologische Untersuchungen in Quellen des Schweizerischen Nationalparkes im Engadin. *Ergebnisse der Wissenschaftlichen Untersuchung Schweizerischer Nationalparks Neue Folge* 1, 265–432.
- Resh V.H. 1983. Spatial differences in the distribution of benthic macroinvertebrates along a springbrook. *Aquatic Insects* 5, 193–200.
- Schrankel I. 1998. Faunistisch-ökologische Charakterisierung ausgewählter Quellen im Nationalpark Berchtesgaden. Diplomarbeit der Universität des Saarlandes, Fachrichtung Biogeographie.
- Sobotha E. 1978. Lang- und kurzperiodische Änderungen der Grundwasserbeschaffenheit und der Quellschüttung während 20-jähriger Beobachtungen in der Frankenberger Bucht (Hessen). *Geologische Abhandlungen Hessen* 77, 1–39.
- Wright J.F. 1974. Some factors affecting the distribution of *Crenobia alpina* DANA, *Polycelis felina* DALYELL and *Phagocata vitta* DUGES (Platyhelminthes) in Caernarvonshire, North Wales. *Freshwater Biology* 4, 31–59.