

Aktuelle Fragen der Fließwasserforschung

von

JÜRGEN SCHWOERBEL

1.

Die Jubiläumsfeier dieses Instituts gibt mir die Gelegenheit zu einigen Überlegungen über die künftige Richtung der Fließwasserforschung. Ich beziehe mich dabei vorwiegend auf jene Gewässer, die Forschungsobjekte der Limnologischen Flußstation sind: kleine Fließgewässer, in denen der fließende Wasserstrom selbst nicht Lebensraum und die gesamte lebende Biomasse an die Bachsohle und das hyporheische Interstitial gebunden ist. Daraus ergeben sich Probleme und Fragestellungen, die einer intensiven Forschung bedürfen.

Über große Fließgewässer, in denen der fließende Wasserkörper selbst besiedelt ist, werde ich nur einige wenige Bemerkungen machen.

Ausdrücklich **n i c h t** reden will ich über die Belastung der Fließgewässer, die Probleme ihrer Renaturierung u.a., so wichtig diese Themen auch sind. Aber in einer wissenschaftlichen Institution, die sich der Grundlagenforschung widmet, müssen wir die Freiheit haben, unabhängig von den Tagesfragen der limnologischen Praxis die Fließgewässer in ihren prinzipiellen Systemeigenschaften zu betrachten und daraus unsere Forschungsziele abzuleiten.

2.

Die fundamentale Systemeigenschaft eines Fließgewässers ist sein kontinuierlicher Transport von festländischem Abfluß und den darin gelösten und suspendierten Stoffen. Da in kleinen Fließgewässern nur die überströmten Bachsedimente dauerhaft besiedelt sind, ergeben sich zwei Probleme:

(2.1) Wie erhalten die Organismen Nahrung und Energie aus dem Fließband des strömenden Wassers, und sind sie - wann, wo - darin limitiert? Das heißt: wie und wie gut werden die Ressourcen des Gewässers biologisch genutzt?

(2.2) Wie groß ist die biogene Transformation von Energie und Stoffen durch die Organismen - bezogen auf die pro Zeiteinheit transportierte Gesamtmenge im Gerinne?

Also eine fundamentale Problematik: Ist ein kleines Fließgewässer nur ein Transportsystem? Ist der biogene Stoffumsatz, gemessen an dem, was als Fracht ständig transportiert wird, überhaupt von Bedeutung? Spielen Struktureigenschaften des Gewässers für das Ausmaß des biogenen Stoffumsatzes eine Rolle? Ich brauche nicht zu betonen, daß es sich hier um eine spezifische Fließwasserproblematik handelt, die für Seen so kaum relevant ist.

Diesen Fragen möchte ich im folgenden etwas genauer nachgehen, und ich bin der Meinung, daß sie in den nächsten Jahren unsere Forschung an kleinen Fließgewässern wesentlich bestimmen sollten.

Die Aufgabe hat viele Aspekte. Zur Erläuterung darf ich wohl einige Ergebnisse des Konstanzer Steina-Projektes ¹⁾ heranziehen.

2.1

Der biogene Stoffumsatz beginnt mit Transformation von Strahlung in der besiedelten Sohlenschicht durch epilithische Algen. In der Steina werden 0.04 bis 6.1% des Flusses photosynthetisch aktiver Strahlung (P.A.R.) von 0.02 bis 63 mol Quanten $m^{-2}d^{-1}$ biochemisch fixiert. Die Lichtsättigung für die Photosynthese liegt zwischen 28 und 600 $\mu mol m^{-2}s^{-1}$ P.A.R. Fixiert wird in der Hauptvegetationsperiode von Mitte Mai bis Ende Oktober (= 183 Tage) 67 bzw. 83 g C m^{-2} in Algenbiomasse, und der durchschnittliche *standing crop* beträgt 10 g C m^{-2} , d.h. 9 bis 23% der Produktion. Wieviel von dieser Algenbiomasse wird konsumiert?

1) Stoffhaushalt und Stoffumsetzungen in einem kleinen Mittelgebirgsbach des südlichen Schwarzwaldes. Gefördert von der DFG 1985-1990, Az. Schw. 63/27-1,2,3

Die Biomasse der Weidegänger betrug in der Steina 0.26 - 2.17 g m⁻² Trockenmasse [TM]. Für die Ausnutzung der epilithischen Algen ergab sich rechnerisch:

Algenproduktion	65.6 - 5.09%
Algen standing crop	4.2 - 0.21%

Zeitweilig lagen die Ausnutzungswerte, bezogen auf die Produktion über 100%, d.h. es trat (rechnerisch) gelegentlich eine Nahrungslimitierung ein. Dabei ist nicht berücksichtigt, daß durch die Weidetätigkeit der Konsumenten die Algenproduktion begünstigt wird. Die Shredder nutzten zu 8 bis 56%, die Filtrierer zu 1.2 bis 0.03% das potentielle Nahrungsangebot aus. Für die Sedimentfresser erwies sich das Nahrungsangebot 127 mal größer als ihre flächenspezifische Biomasse, so daß hier ebenfalls mit einer nur geringen Nutzung der sich ständig erneuernden Ressourcen zu rechnen ist. Die beiden Hauptfischarten als Prädatoren, Groppe (*Cottus gobio*) und Bachforelle (*Salmo trutta fario*) konsumieren je etwa 24% der Evertebratenbiomasse.

Die Daten und Überlegungen zur Ausnutzung der potentiellen Ressourcen ergeben, daß allenfalls die epilithischen Algen zu einer zeitweise begrenzten Nahrungsquelle für die Grazer werden. Für die anderen Nahrungsquellen und Ernährungstypen ist das nicht der Fall. Ob es in kleinen Fließgewässern je zu ernährungsbedingten Limitierungen kommt, also ein "bottom up" - Effekt auftritt, möchte ich bezweifeln. Aber das muß in viel größerem Umfang untersucht werden. Und wir müssen wohl auch der Frage nachgehen, warum die Besiedlungsdichte in den Bächen nicht sehr viel höher ist, wenn doch die Nahrung im Überfluß zur Verfügung steht. In der Steina erwies sich die flächenspezifische Biomasse [g m⁻² TM] der Makrovertebraten in drei aufeinanderfolgenden Jahren als erstaunlich konstant und niedrig:

1986	1987	1988
3.7 (1.1 - 7.0)	3.6 (2.2 - 5.0)	3.7 (2.6 - 4.7)

Vielleicht ist es doch die Greifbarkeit der Nahrung und nicht ihre absolute Menge, die die Population begrenzt und zu Konkurrenz führt? Dann müssen wir uns genauer mit der Technik des Nahrungserwerbs der Bachtiere befassen und experimentelle Forschung betreiben.

In diesem Zusammenhang wird es auch wichtig sein, die Beziehungen zwischen den hydraulischen Bedingungen und der Verteilung der Organismen auf der Gewässersohle zu klären. Welche Bedeutung hat hierbei die natürliche Abflußdynamik, die zu einem raschen Wechsel der Fließgeschwindigkeiten und des Geröllmusters auf der Gewässersohle führt? Gibt es in kleinen Fließgewässern überhaupt ein signifikantes Verteilungsmuster der Organismen oder wechselt die Verteilung ständig durch Drift und Umlagerung? Ich bin der Überzeugung, daß dies der Fall ist und daß es unnütz ist, mit großen Probenmengen eine angeblich statistisch signifikante Verteilung der Organismen auf der Gewässersohle nachzuweisen. Wir können diese Zeit für wichtigere Untersuchungen verwenden.

2.2

Die Ausnutzung der Gesamtnahrung im Gewässer durch die konventionellen Konsumenten ist sehr gering, das meiste wird ungenutzt transportiert. Viel wichtiger für den Metabolismus in Bächen ist offenbar der mikrobielle Umsatz, über den wir noch fast nichts wissen. Hier liegt eine wichtige Herausforderung für die Fließwasserforschung. Die Untersuchungen von MARXSEN sowie FIEBIG in diesem Institut sind wichtige Grundlagen, die uns den Weg weisen. Die Mikroorganismen leben in Gebirgsbächen vorwiegend auf festen Flächen und bilden, zusammen mit Algen, Pilzen und Protozoen auf dem Sohlenmaterial den äußeren, im hyporheischen Interstitial den inneren Biofilm.

Ich sehe in der Analyse des Biofilms eine wichtige Aufgabe der Forschung an kleinen Fließgewässern. Analyse muß hier heißen:

- Strukturforschung: wer bildet die Biolayer, wie sind ihre Strukturen vernetzt, wie groß ist die flächenspezifische Sorptionsfläche? Wie regeneriert sich der Biofilm nach einer Störung, z.B. durch Hochwasser? Hier sind endlich auch die Pilze zu beachten, deren Biomasse jetzt relativ einfach durch eine von M. GESSNER ausgearbeitete quantitative Ergosterol-Bestimmung zu ermitteln ist.

- Funktionsforschung: Respirationsmessungen in der Steina haben ergeben, daß die Evertebraten (ohne Mikrozoen) nur etwa 13% der flächenspezifischen Gesamtrespiration ausmachen. 87% des aeroben Metabolismus müssen somit mit der Biomasse des äußeren und vielleicht auch des inneren Biofilms verknüpft sein. Und weiter: wieviel gelöste organische Substanz (DOM) und

gegebenenfalls auch partikuläres organisches Material (POM) wird über den Biofilm in Biomasse transformiert? Wer konsumiert die Biomasse der Bakterien und gegebenenfalls der Pilze, wie sieht hier der "*microbial loop*" aus? Gibt es auch in kleinen Fließgewässern eine mikrobielle Nahrungskette? Mit Bakteriophagen wie im Meer und See können wir ja wohl nicht rechnen ("Femtobenthon")? Es wird in verstärktem Ausmaß notwendig sein, die Mikrozoen im Aufwuchs auf der Bachsohle und im hyporheischen Interstitial zu studieren, also die Flagellaten, Ciliaten, Gastrotrichen, Nematoden, Rotiferen und Harpacticiden sowie die vielen Erstarven der Insekten, die ja das Interstitial zunächst besiedeln und wahrscheinlich den Biofilm abweiden. Wie groß ist deren Biomasse, Assimilation und Umsatz und wie ist hier der Anschluß an die konventionelle Nahrungskette der Makrozoen im Bach?

Die Bedeutung des hyporheischen Interstitials für den Stoffumsatz ist noch umstritten und sollte vordringlich untersucht werden. Meines Erachtens ist sie nicht so groß wie vielfach angenommen wird, und zwar aus folgenden Erwägungen:

Das Porenvolumen des hyporheischen Interstitials ist mit etwa 35 Volumen-Prozent konstant und begrenzt. Seine innere Oberfläche nimmt dagegen mit abnehmender Korngröße und Gangweite zu. Die Wasserbewegung im Interstitial ist ebenfalls von der Gangweite der Interstitialräume abhängig, und sie ist umso geringer, je kleiner diese ist. Eine große und damit potentielle effiziente innere Oberfläche ist somit mit einem geringen Wasserdurchsatz korreliert. Im Interstitial der Steina beträgt die Wasserbewegung etwa 50 cm h^{-1} und ist somit rund 3600 mal geringer als die Strömung im Bach selbst. Da auch der Porenraum mit 35 Volumen-Prozent begrenzt ist, kann der Durchfluß durch das Interstitial doch nur einen winzigen Bruchteil der Abflußmenge des Baches betragen. Der Anteil des hyporheischen Interstitials am Gesamtmetabolismus des Baches kann dementsprechend auch nur minimal sein. Aber es gibt verschiedene Bachtypen mit unterschiedlichem Sohlenmaterial und unterschiedlicher hyporheischer Durchflußkapazität und Verweilzeit des Wassers. Hier müssen wir also genaue quantitative Untersuchungen an verschiedenen Gewässertypen durchführen.

3.

Wie sollen wir limnologisch "kleine" und "große" Fließgewässer definieren? Sicher nicht allein durch die Abflußmenge, das wäre trivial. Was heißt überhaupt "klein" und "groß"? Der Übergang von einem kleinen zu einem großen Fließgewässer ist mit einer Verlagerung des Stoffumsatzes von der Gewässer-sole in das fließende Pelagial verbunden. Die Definition klein/groß muß sich somit danach richten, wo der Stoffumsatz im Schwerpunkt abläuft. In großen Fließgewässern ist der Stoffumsatz ganz überwiegend an das bewegte Pelagial gebunden, die Akteure sind die biologischen Komponenten des Planktons. Es wäre dringend erforderlich, in einer typologischen Übergangsreihe die Verlagerung des Metabolismus von der Sohle in das Pelagial qualitativ und quantitativ zu erfassen.

Bewegtes Pelagial bedeutet aber auch, daß der Metabolismus als Prozess selbst zu einer transportablen Größe wird und alle Teilprozesse des Umsatzes räumlich stromab auseinandergezogen sind. Das führt zu der theoretischen Vorstellung der Turnover-Spiralen statt -Kreisläufen, wie im See. Für die Forschung an großen Fließgewässern ergibt sich daraus die Forderung, endlich konsequent die Fließzeiten zwischen den Untersuchungsschwerpunkten zu berücksichtigen und driftende Enclosures einzusetzen, um zu sehen, was während des Transportes wirklich abläuft. Es ist m.E. ein grundsätzliches Manko, die Situation an einem Punkt oder in einem Querschnitt des Gewässers zu beschreiben, ohne die zugehörige fließzeitliche Vorgeschichte des bewegten Abflußkörpers zu berücksichtigen. Prozesse lassen sich in Flüssen so niemals verstehen! Da die Fließzeiten mit abnehmender Wasserführung zunehmen, werden sich auch interessante Zusammenhänge zwischen Abfluß und Metabolismus ergeben, die nicht nur eine Folge von Konzentration und Verdünnung sind. Eine Institution wie die Internationale Arbeitsgemeinschaft Donauforschung (IAD) könnte hier Hervorragendes leisten, wenn sie sich dieser Aufgabe bewußt wäre.

4.

Ich möchte noch einmal zu den kleinen Fließgewässern zurückkehren und auf einen anderen Aspekt hinweisen, der m.E. stärker in der künftigen Fließwasserforschung zu berücksichtigen ist. Wir richten unsere Forschungen zu einseitig auf das eigentliche Gewässer und vernachlässigen seinen Uferbereich, die Übergangszone von Wasser und Land. Uferentwicklung und Umgebungs-

faktor haben für Fließgewässer eine quantitativ andere Bedeutung als für Seen. Falllaubeträger und Falllaubabbau in Fließgewässern sind weitgehend bekannt, allenfalls für mediterrane Fließgewässer besteht hier noch ein Defizit. Aber der Uferbereich ist eine ständige Quelle für den diffusen Eintrag von feinstpartikulärem Material und gelöster organischer Substanz aus Boden und Vegetation. Darüber müssen wir uns genauere Informationen verschaffen.

Auch die Bedeutung der Ufervegetation für die Fließwasserinsekten ist zu wenig bekannt und für die Populationsdynamik der Insektenarten doch so bedeutsam, oftmals in einem sehr spezifischen Zusammenhang. Als Beispiel führe ich die Trichoptere *Glyptotaelius pellucidus* an, die auch in periodischen Fließgewässern lebt. Während der Trockenzeit leben die Weibchen in einer imaginalen Diapause. Erst im Spätsommer werden die Gelege an der Spitze von Blättern der Ufervegetation abgelegt. Das Weibchen prüft sorgfältig ein solches Blatt, offenbar, um sicher zu sein, daß es nicht abfällt, ehe sich die Larven entwickelt haben. Blätter mit braunen Stellen werden nicht belegt. Die Embryonalentwicklung der Larven verläuft zeitlich so, daß in aller Regel der Bach wieder Wasser führt, wenn die Larven sich vom Blatt fallen lassen oder mit dem Regenwasser abtropfen. Retardiertes Schlüpfen verschafft Spielraum für den Fall, daß die Wasserführung des Baches verspätet einsetzt. Dieses Beispiel zeigt, wie notwendig es künftig sein wird, sich auch genauer mit der terrestrischen Lebensphase der Fließwasserinsekten auseinanderzusetzen, und ich bin sicher, daß Sie mir den zoologischen Reiz solcher Untersuchungen nachempfinden können. Schließlich ist das terrestrische Schicksal der Insekten ja entscheidend dafür, wie hoch die "Wiederbesiedlung" des Baches ist. Diese Frage steht auch in Zusammenhang mit den Driftverlusten und deren Kompensation durch Aufwärtswanderung der Larven und Flug der Weibchen.

5.

So steht die Fließwasserforschung vor vielfältigen Aufgaben, die uns in Zukunft ein einheitlicheres Bild liefern und den Vergleich mit den Prozessen in Seen besser ermöglichen sollen. Das ist vorläufig ganz und gar nicht der Fall.

Bei allen modernen Forschungen ist aber eines nicht zu vernachlässigen: Wir brauchen eine genaue Artenkenntnis der Organismen, die in den Fließgewässern leben, wo immer wir sie auf der Erde untersuchen. Museen können uns das nicht abnehmen, da gerade der unmittelbare Bezug zum Gewässer so

wichtig ist. Mit was sonst als mit Organismen als den Repräsentanten einer Species sollen wir denn experimentieren oder die Populationsdynamik studieren? Ich möchte das an einem Beispiel erläutern: In einem Seeausfluß konnten die Larven der Trichopteren *Hydropsyche angustipennis* und *H. siltalai* koexistieren, weil sie räumlich unterschiedlich verteilt waren, eine unterschiedliche Populationsdynamik aufwiesen und aufgrund signifikanter Unterschiede in den Maschenweiten ihrer Fangnetze unterschiedliche Nahrung konsumierten. Wenn wir hier die Arten nicht unterscheiden, verstehen wir die Vielfalt der Lebensräume nicht, und es wird uns bald gleichgültig sein, ob eine Tier- oder Pflanzenart noch existiert oder nicht. Das Schlitzer Institut ist auch in der Pflege der Taxonomie Vorbild, und wir alle holen uns hier Rat in Fragen der Artbestimmung. Die Art-Problematik ist heute ohnehin schwierig geworden wegen der überall wirksamen genetischen Drift durch partielle Separation. Das erfordert neue biochemische und genetische Kriterien und Methoden, denen sich die Taxonomie nicht entziehen darf. In der Mikrobiologie ist der Artstatus der Organismen ohnehin kaum festzulegen. Hier hat HÖFLE (1990) andere Kriterien ausgearbeitet, sofern wir nicht die autökologischen Gilden von PE-DRÓG-ALIÓ akzeptieren wollen und können.

So wünsche ich diesem Institut auch für die nächsten Jahrzehnte eine erfolgreiche Arbeit in der Fließwasserforschung. Es ist immerhin die einzige Institution in Deutschland, die sich dieser Aufgabe ausschließlich widmen kann, und das ist eine große Verantwortung für die Max-Planck-Gesellschaft und für die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen, die hier tätig sein dürfen.