

# Zur Geschichte der Fließgewässerforschung

Jürgen SCHWOERBEL

Die Geschichte der Fließgewässerforschung gleicht dem Lauf eines Fließgewässers: Aus unterschiedlichen, voneinander isolierten Quellen entstehen Motivationen und Aktivitäten zur Untersuchung der Gewässer; Gedanken, Methoden und Ergebnisse fließen zusammen und bilden den Strom der weiteren wissenschaftlichen Forschung und Erkenntnis. Und nirgendwo wird deutlicher, dass die Gegenwart immer die Vergangenheit der Zukunft ist. Wann beginnen die Ergebnisse von Denken und Forschen Geschichte zu werden? Wie auch immer: die einzelnen Schritte, die zu dem gegenwärtigen Stand des Wissens geführt haben, waren fast immer notwendig, um das Jetztige zu erreichen. So werde ich hier auch gelegentlich einen Blick auf die Gegenwart und in die Zukunft werfen - wir sind hier ja zusammengekommen, um Probleme der Gegenwart zu diskutieren.

## 1. Ursprung der Fließgewässerforschung aus der Geographie/Hydrologie

Die Fließgewässerforschung hat ihren Ursprung – ebenso wie die Erforschung der Seen - in der Hydrologie, die noch bis in das 20. Jahrhundert hinein ein Fachgebiet der Geographie war. Aber Fließgewässer hatten für die Wasserversorgung, die Abwasserentsorgung, die Gefahr von Überflutungen und die Nutzung der Energie des fließenden Wassers eine stets aktuelle praktische Bedeutung (SCHWOERBEL 1994). Wasserstände, Abflussmengen und Strömungsgeschwindigkeiten konnten schon im Altertum hinreichend genau ermittelt werden. Wissenschaftlich exakt wurde der Zusammenhang von Abfluss, Gerinnequerschnitt und Fließgeschwindigkeit von LEONARDO DA VINCI (1452-1519) beschrieben und er kannte auch das Kontinuitätsprinzip: dass bei gleicher Abflussmenge die Geschwindigkeit des fließenden Wassers mit jeder Veränderung des Querschnitts zu- oder abnimmt. Das ist ein für jedes Fließgewässer fundamental wichtiger Zusammenhang: die riffle/pool-Sequenz eines morphologisch natürlichen Gewässers ist dadurch geprägt und das ökologisch so wichtige Strömungsmuster auf der Gewässersohle ist zum großen Teil bedingt durch die sich ständig ändernden Durchflussquerschnitte zwischen den Geröllen. Die Fließgeschwindigkeit wurde mit Schwimmern, Wasser-rädern und hydrometrischen Pendeln, ab Beginn des 19. Jahrhunderts auch mit Petit-Rohren und hydrometrischen Flügeln ermittelt. Kleine Fließgewässer waren nur insofern interessant, als sie zur gemein-

schaftlichen Wiesen- und Feldbewässerung genutzt wurden und die Verteilung des Wassers in den "Wuhren" (Südschwarzwald), "Runzen" (Oberrhein) oder "Waaen" (Südtirol) somit strengen Regeln unterworfen war. Die spätere Fließgewässerforschung hat sich vorwiegend mit kleinen Gewässern befaßt.

Ich kann hier nicht die Geschichte der Hydrologie darstellen, das ist von berufener Seite geschehen (GARBRECHT 1985, 1990). Die "Flusskunde" (PENK) war als "Potamologie" oder "Rheologie", wie F. A. FOREL sie nannte, neben der "Oceanologie" und der von FOREL 1895 auf dem Geographentag in London so bezeichneten "Limnologie" "ein Zweig der physischen Geographie" (PENK 1898, ULE 1902).

Albrecht PENK hatte sich 1898 für die "Potamologie" als einer selbständigen Wissenschaft eingesetzt und ihr die folgenden 5 spezifischen Forschungsgebiete zugeordnet:

1. Physik des rinnenden Wassers
2. Die Wassermenge und ihre Schwankungen
3. Wirkungen des Wassers auf das Flussbett
4. Verbreitung des rinnenden Wassers auf der Erdoberfläche
5. Das rinnende Wasser als Schauplatz organischen Lebens

Für Willi ULE, der 1902 eine etwas andere Zuordnung der Aufgaben gab, hatte die Erforschung der Flüsse als "Schauplatz organischen Lebens" (PENK) innerhalb der Geographie nur insofern Berechtigung, als es sich "um die Ermittlung rein thier- und pflanzengeographischer Tatsachen" handelte.

Es ist sofort klar, dass heute das 1. Thema von der Hydraulik, das 2. von den Hydrologen und Hydrogeologen, das 3. von den Geologen ("exogene Geologie") und das 4. von den Geographen behandelt wird. Und es ist uns heute auch bewusst, dass der "Schauplatz organischen Lebens" in den Fließgewässern von allen genannten Aspekten gleichermaßen geprägt wird, wie in der weiteren Entwicklung der Fließgewässerforschung deutlich geworden ist und in der Gegenwart zu einer immer stärkeren, erfolgreichen Zusammenarbeit von Wasserbauingenieuren, Hydrologen und Limnologen führt.

## 2. Frühe biologisch-organismische Fließgewässerforschung

Aus dieser Situation um die Jahrhundertwende wird es verständlich, dass Zoologen und Botaniker zu nächst eine Inventur der Organismen in den gut zugänglichen kleineren Fließgewässern durchführten, damals noch ganz der Geographie verpflichtet. Friedrich ZSCHOKKE (1900, 1901, 1902) war der erste, der dies in den Fließgewässern der Alpen und in Bächen des Südschwarzwalds konsequent tat, auf der Suche nach Eiszeitrelikten in den sommerkalten Bachläufen. Aber schon bald wurde klar, dass nicht die Glazialfauna, sondern die Besiedlung an sich und die Anpassungen der Organismen an das Milieu des fließenden Wassers und die Struktur der Gewässersohle, ihres eigentlichen Lebensraums, von unmittelbarem Interesse sein musste und tatsächlich auch viel interessanter war. Paul STEINMANN bezeichnete, wohl zu recht, seinen Lehrer ZSCHOKKE als den "Begründer der Biologie des fließenden Wassers" (STEINMANN 1915).

Obwohl sich STEINMANN in seiner Dissertation über die Tierwelt der Gebirgsbäche" (1907) bereits mit den hydraulischen Verhältnissen und den Anpassungen der Bachtiere an dieses Milieu befasste und sogar ein Programm für die künftige Erforschung der Fließgewässer aufstellte, fühlte er sich immer noch - ich möchte wohl sagen wider besseren Wissens - der Geographie verpflichtet. Er schrieb: "Die gesamte Bachtierwelt bildet eine Lebensgemeinschaft, einen Haushalt für sich. Um nun die Rolle der einzelnen Glieder bewerten zu können, muß zuerst festgestellt werden, mit welchen faunistischen Elementen man es zu tun hat. Erst wenn der faunistische Bestand genau bekannt ist, kann man daran denken, auch tiergeographische Probleme an die Hand zu nehmen." (STEINMANN 1907).

Hier wird zwar schon auf "die Rolle der einzelnen Glieder" der zoologischen "Lebensgemeinschaft" hingewiesen, aber unter dem sehr eingeeengten Blickwinkel, daß diese einen "Haushalt für sich" bilden (was sie natürlich nicht tun können). Sogar August THIENEMANN, auch ein Schüler von ZSCHOKKE, ist in seiner klassischen Arbeit über den Bergbach des Sauerlandes (1912) noch ganz der Zoologie und Tiergeographie verpflichtet, wenn er auch die Vergesellschaftung der Organismen in spezifischen Habitaten und Zonen des Baches sowie biologische Aspekte in die Untersuchung einbezieht. Diese für die Erforschung der Fließgewässer so wichtige zoologische Arbeitsrichtung wurde später beispielsweise von ETIENNE HUBAULT unter Berücksichtigung der wesentlichen Milieufaktoren weitergeführt (1927) und ist natürlich auch in der Gegenwart lebendig. Die Algen hatten besonders BUDE (1928) und BUTCHER (1932) studiert. Und wenn ich hier einen großen Sprung machen darf: Auch die von JOACHIM ILLIES in Anlehnung an die alte Fischzonierung in die Fließgewässerforschung eingeführte allgemeine Gliederung der Fließgewässer in Rhithral und Potamal (ILLIES

1955, 1958, 1961) ist zoologisch, nicht limnologisch begründet, wie ELSTER schon 1955 (Diskussionsbemerkung zu ILLIES 1955) mit recht hervorhob, auch wenn Wolfgang SCHMITZ sie damals physiographisch begründete (SCHMITZ 1955). Rhithral und Potamal müssen heute neu, limnologisch, charakterisiert werden.

## 3. Der Stoffhaushalt als tragendes Konzept der Fließgewässerforschung

### 3.1 Frühe Abwasserbelastung der Flüsse: Begriff der Selbstreinigung

Der frühen Fließgewässerforschung fehlte noch gänzlich die Perspektive des biologischen Stoffumsatzes im Gewässer. Das ist insofern bemerkenswert, als dieser Impuls schon um die Mitte des vorigen Jahrhunderts aus einer ganz anderen Richtung kam. Er ergab sich zwangsläufig aus dem Problem der Belastung der Flüsse mit den Abwässern aus Kommunen und Industrie und der dadurch gefährdeten Wasserversorgung der Städte. Diese Situation forderte Gegner und Befürworter heraus, die Wirkung und den Verbleib der Fremdstoffe in den Gewässern zu untersuchen. Schon 1869 kam der bis heute aktuelle Begriff der "Selbstreinigung" auf, der zu intensiven chemischen, bakteriologischen und biologischen Untersuchungen Anlass gab, jetzt besonders an großen Fließgewässern, Themse, Rhein, Main, Seine, die für die Wasserversorgung großer Gemeinden bedeutsam waren. Die Motive für diese Forschungen gehörten, mit wenigen Ausnahmen, allerdings nicht der vorurteilslosen Wissenschaft an, sondern sollten Schädlichkeit oder Harmlosigkeit der Abwässer in den Flüssen "beweisen" LETHEBY hatte 1869 behauptet, in der Themse sei die Verschmutzung nach 10-12 Fließmeilen nicht mehr nachweisbar. M. FRANKLAND, ebenfalls in London tätig, untersuchte 1870 erstmals experimentell den Sauerstoffbedarf für den Abbau von verdünntem kommunalen Abwasser. Er kam zu dem Schluss, dass in England kein Fluss lang genug ist, um während seiner Fließzeit eine für die Trinkwasserversorgung ausreichende Selbstreinigung zu erreichen. Die "Selbstreinigung" wurde zum Politikum, verlor dadurch aber nicht ihre Bedeutung für die Fließgewässerforschung. Um 1870 wurden erstmals der Sauerstoffgehalt und der biologische Sauerstoffbedarf entlang einer Fließstrecke ermittelt und man erkannte die Bedeutung der Fließzeit des Wassers zwischen zwei entfernten Messpunkten für den Stoffumsatz des Flusses, ein Aspekt, der auf die Raum/Zeit-Verschränkung von Prozessen im fließenden Wasser hinweist und der in dem modernen "nutrient spiralling concept" (NEWBOLD 1992) von höchster Aktualität ist. Alexander MÜLLER charakterisierte 1873 die Selbstreinigung als biologischen Vorgang, Ferdinand COHN (1828-1886), der noch bei Christian Gottfried EHRENBERG (1795-1876) in Berlin zu Mikroskopieren gelernt hatte, studierte die "mikroskopische Lebenswelt"

der verunreinigten Gewässer und Robert LAUTERBORN (1869-1952) folgerte aus seinen wissenschaftlichen Untersuchungen 1911:

"Die Selbstreinigungskraft eines Gewässers ist direkt proportional der Absorptionsfläche seiner Pflanzen- und Tierwelt", eine durchaus "moderne" Formulierung zu dieser Zeit - heute würden wir die Tierwelt weglassen und neben den Pflanzen die Bakterien und Biofilme hervorheben.

Wenn auch diese Untersuchungen nur noch Geschichte sind, so ist aus ihnen als Ergebnis der Zusammenhang zwischen organischer Belastung und Organismenbestand eines Fließgewässers deutlich geworden und hat wenige Jahre später (1902) zur ersten Aufstellung eines organismischen Saprobien-systems geführt, das in den folgenden Jahren immer weiter ausgearbeitet wurde und das bis heute seine Bedeutung behalten hat. Das Saprobien-system war ursprünglich kein Indikationssystem für organische Belastung (was es heute ist), sondern ein Indikator für den Stand und Fortschritt der Selbstreinigung der Fließgewässer.

### 3.2 Potamoplankton

Ganz unabhängig von allen Abwasserfragen hatten einige Wissenschaftler, angeregt besonders durch die Planktonuntersuchungen von Otto ZACHARIAS in Seen, große Flüsse untersucht in der Erwartung, hier ein spezifisches Flussplankton zu finden. Der Amerikaner KOFOID stellte um die Jahrhundertwende erstmals im Illinois River fest, dass die Menge an Phytoplankton im unteren Teil des Flusses stark zunimmt, das Plankton insgesamt aber aus den Seen im Einzugsgebiet des Flusses stammt (KOFOID 1903). LAUTERBORN konnte bereits 1895 anhand charakteristischer Veränderungen im Phytoplankton des Oberrheins nachweisen, dass diese auf entsprechende Veränderungen im Zürichsee zurückgehen. Das ist für die Geschichte der Limnologie insofern interessant, als es darauf hinwies, dass diese Veränderungen im Phytoplankton des Zürichsees eine Folge zunehmender Nährstoffkonzentrationen im Wasser sind (LAUTERBORN 1910, 1939) und dies ist der erste Hinweis auf die anthropogene Eutrophierung eines Sees - den Begriff der "Eutrophierung" gab es damals aber noch nicht.

### 3.3 Stoffhaushalt der Fließgewässer: Holistischer Aspekt und moderne Konzepte

Obwohl also in großen Fließgewässern, im Gegensatz zu den Bächen, schon Stoffumsätze gemessen und theoretisch diskutiert wurden, somit schon limnologisch gearbeitet und gedacht wurde, entwickelte sich die Fließgewässerforschung zunächst vorwiegend an kleinen Gewässern weiter, wahrscheinlich aus 2 Gründen: 1. weil sie methodisch leichter zugänglich sind (dennoch hatte LAUTERBORN 1900 ein schwimmendes Fließwasserlabor auf dem

Rhein gefordert); und 2., weil der Fließgewässercharakter in den Bächen deutlicher ist: hier sind die Sohle und das Interstitial besiedelt, der bewegte Wasserkörper (Pelagial) aber ist, mit Ausnahme für die Fische, nicht Lebensraum, sondern ausschließlich Transportmedium für gelöste und partikuläre Nährstoffe. PERCIVAL & WHITEFORD erhoben 1929 - wohl erstmals - den Anspruch, eine quantitative Studie aller Organismen eines Baches zu liefern und - was wichtiger war - eine Hierarchie der trophischen Beziehungen, einschließlich der einzelligen und filamentösen Algen, der Moose, Phanerogamen und des Pflanzendetritus auf der Bachsohle. Dabei werteten sie die bis dahin publizierten Daten aus und untersuchten die Darminhalte der verschiedenen Bachtiere.

Jetzt also war der Organismenbestand der Bäche auch funktionell hinreichend bekannt und damit stand die Frage nach dem Stoffhaushalt als Herausforderung auch an die Fließgewässerforschung im Raum. Nun begann eine neue, ich möchte sagen die moderne Periode der Forschung an Fließgewässern. ELSTER hatte ja in seiner Diskussionsbemerkung zu dem Vortrag von ILLIES zur Zonierung von Fließgewässern auf der Limnologen-Tagung 1954 in Falkau hervorgehoben, dass das Ziel, alle Binnengewässer nach einheitlichen (gedruckt steht fälschlich "einzelnen") Prinzipien zu beurteilen, nicht aus den Augen verloren werden darf. Der Stoffkreislauf musste diese gemeinsame Grundlage sein.

Ich kann hier nur in groben Zügen die weitere Entwicklung andeuten. Schon bald wurde klar, dass die kleinen Fließgewässer erster bis maximal vierter Ordnung überwiegend von einem allochthonen Eintrag von Abfall aus der Ufervegetation (Falllaub u.a.) leben und ihr Stoffumsatz überwiegend heterotroph ist. KAUSHIK & HYNES (1971) waren mit die ersten, die systematische Experimente über die Konsumption des Falllaubs im Gewässer durch Bachtiere durchführten; d.h. Konsumenten, die CUMMINS (1973) "shredder" nannte. Er hob ihre Bedeutung im Stoffumsatz der Gewässer hervor, weil sie allein das grobe Falllaub in feine Partikel zerkleinern, die dann auch von anderen Konsumenten, Filterern und Sedimentfressern verwertet werden können. Damit war eine umfangreiche Forschungsrichtung eröffnet, die bis heute nicht abgeschlossen ist. Sie hatte zwei wichtige Ergebnisse:

1. Es wurde klar (1973), dass Mikroorganismen, Bakterien und Pilze, an dem heterotrophen Umsatz des Falllaubs beteiligt sind und dass sich ihre trophische Bedeutung durch die Besiedlung der Blattreste (Pilze, Bakterien) und Feinpartikel (Bakterien) ergibt. Damit wurden erstmals andere Mikroorganismen als *Sphaerotilus natans*, *Escherichia coli* und pathogene "Keime" in die Untersuchung der Fließgewässer einbezogen und eine Mikrobiologie der fließenden Gewässer begründet.

2. Es ergab sich, dass die terrestrische Vegetation im Einzugsgebiet eines Baches ein integrativer Teil des Fließgewässers ist. Die forschungsgeschichtliche

Bedeutung dieser Erkenntnis liegt darin, dass jetzt das Fließgewässer holistisch als gesamtes Ökosystem gesehen wurde: "the stream and its valley", wie HYNES es 1975 formulierte.

Nachdem LINDEMAN schon 1942 die Energie in das Tropisch-Dynamische Konzept der Gewässer einbezogen hatte und die pflanzliche Primärproduktion auch in Fließgewässern mit der Radiokarbon-Methode von Steemann NIELSEN (1952) messbar wurde, konnte auch der Energiefluss in den Stoffhaushalt der Fließgewässer einbezogen werden. Howard T. ODUM (1957) war wohl der erste mit seiner exemplarischen Arbeit über die Silver Springs in Florida; ihm folgten K. H. MANN (1964) an der Themse, CUMMINS und Mitarbeiter (1966) an einem kleinen Waldbach in Pennsylvania, FISCHER & LIKENS (1972) am Bear Brook, einem Bach 2. Ordnung im Nordwesten der USA und in der Folge erschienen viele weitere Studien dieser Art.

Es musste jetzt der Versuch unternommen werden, diese an Fließgewässern verschiedener Größenordnungen gewonnenen Einsichten zu einem einheitlichen Konzept zusammenzufügen. Dies gelang zunächst VANNOTE, MINSHALL, CUMMINS, SEDELL und CUSHING (1980) im "River Continuum Concept" (RCC), das den Wechsel des trophischen Charakters flussabwärts von heterotroph (Gesamtrespiration größer als die Gesamtprimärproduktion, RP) über autotroph (R) und wieder, wegen starker Trübung, zu heterotroph (RP) im Unterlauf zum Ausdruck bringt. Dieses lineare Konzept konnte den tatsächlichen Verhältnissen so aber nicht gerecht werden, da es nur die longitudinalen Bedingungen im Flusslauf bewertet, nicht aber die seitliche Verknüpfung des Flusses mit seinem angrenzenden terrestrischen Areal. Je nach Abflusshöhe wird dieses mehr oder weniger oft und flächenhaft überflutet und nimmt dadurch nachhaltigen Einfluss auf das Gewässer, nicht nur, wie das im River Continuum Concept zum Ausdruck gebracht wird, im rhithralen Oberlauf durch Eintrag von Vegetationsabfällen, sondern periodisch auch im Potamal durch Überflutung mehr oder weniger weiter Gebiete. Wolfgang JUNK hat daher 1989 dem RCC das "Flood Pulse Concept" an die Seite gestellt (JUNK et al. 1989), das vor allem in den Mittel- und Unterläufen der Flüsse große Bedeutung hat.

Weiterhin war zu berücksichtigen, daß die Stoffumsätze in Fließgewässern keine Kreisläufe sind, wie in Seen, sondern Stoffspiralen, in denen jeder zeitliche Schritt mit einer räumlichen Verschiebung verknüpft ist, was schon WEBSTER 1975 in seiner Dissertation über die Calcium- und Kalium-Dynamik in Fließgewässern als "spiralling" bezeichnete (NEWBOLD 1992). Dabei ist die vertikale Verknüpfung vom bewegten Wasserkörper (Pelagial) und ortsfester Sohle (Benthal) besonders wichtig, das eigentliche Problem aber noch viel zu wenig bekannt. Die kritischen Kommentare zu diesen und weiteren verallgemeinernden Konzepten gehören ganz der Gegenwart an und werden auf unserem

Symposium heute und morgen möglicherweise noch aufgegriffen werden.

#### 4. Die vertikale Gliederung der Fließgewässer: das hyporheische Interstitial

Dem holistischen Aspekt der Fließgewässerforschung, der sich in den erwähnten Konzepten äußert, wurde eine neue Dimension hinzugefügt durch die Entdeckung von Trajan ORGHIDAN (1955), dass die Lückenräume auch der tieferen Sedimente unter der Gewässersohle dicht besiedelt sind. ORGHIDAN nannte diesen Lebensraum "biotopul hiporeic". Wie immer in der Geschichte der Wissenschaft hatte auch diese Entdeckung ihre Vorläufer und war nicht vollkommen neu. Pierre Alfred CHAPPUIS hatte 1944 eine Arbeit über die Grundwasserfauna eines Baches in Ungarn publiziert und über Organismen berichtet, die er in gegrabenen Löchern am Ufer des Fließgewässers (CHAPPUIS 1942) gefunden hatte.

Eugene ANGELIER berichtete 1953 in seiner umfangreichen Dissertation über die Fauna der "sables submerges", der interstitiellen Sandfauna in Fließgewässern und Siegfried HUSMANN hatte in seiner Dissertation die "Grundwasserfauna zwischen Harz und Weser" untersucht und sich dabei auch der Methode von CHAPPUIS bedient; seine Arbeit erschien 1956. Die von ORGHIDAN 1955 in einer rumänischen Zeitschrift auf rumänisch veröffentlichte Arbeit war unbekannt geblieben, bis auf Anregung von August THIENEMANN eine deutsche Übersetzung 1959 im Archiv für Hydrobiologie erschien (und nur diese wird heute zitiert). Ich hatte gerade promoviert und also nichts zu tun und konnte mich sofort mit diesem neuen, für mich aufregenden Gebiet befassen. Mir wurde bald klar, dass nicht die Grundwasserfauna das Besondere war, sondern die Bachfauna, die hier einen besonderen Lebensraum besiedelte, das "hyporheische Interstitial", wie ich ihn nannte, oder "Hyporheal" in vertikaler Fortsetzung der beiden Bereiche Pelagial und Benthal. Es ist "funktionell ein Teil des Fließgewässers" und "ein Lebensraum zwischen Oberfläche und Grundwasser" (SCHWOERBEL 1961, 1967). Meine erste Arbeit dazu war 1960 abgeschlossen und erschien 1961 und kurz darauf schrieb mir Sandro RUFFO aus Verona, er habe eine ganz ähnliche Untersuchung durchgeführt und sei zu den gleichen Ergebnissen gekommen. Seine Arbeit erschien nur wenige Monate später (RUFFO 1961). So dürfen sich wohl ORGHIDAN, RUFFO und SCHWOERBEL die Entdeckung dieses wichtigen Lebensraums und seiner Bedeutung für die Fließgewässer teilen. Ich konnte meine Ergebnisse auf dem 15. Internationalen Limnologenkongress in Madison vortragen (SCHWOERBEL 1964) und erinnere mich an die Aufregung von HYNES, der im Auditorium saß. Seither ist das hyporheische Interstitial der weltweit vielleicht am intensivsten untersuchte Bereich der Fließgewässer. James WARD sprach 1988 von dem vierdimensionalen Charakter der Fließgewässer:

longitudinal, transversal, vertikal und als 4. Dimension natürlich die Zeit.

Wir wissen heute, dass ein Teil des Bachwassers das Interstitial durchströmt (BRUNKE & GONSER 1997), aber wir wissen noch nicht, wieviel das ist und mit welcher Geschwindigkeit sich das Wasser auf welchen Wegen hier bewegt - auch darüber werden wir auf diesem Symposium etwas erfahren. Jedenfalls ist das hyporheische Interstitial ein Raum mit einem intensiven heterotrophen Umsatz im Fließgewässer. Partikuläre und gelöste organische Stoffe werden sowohl aus dem Oberflächengewässer wie aus dem Grundwasser und Interflow eingetragen und überwiegend mikrobiell umgesetzt. Damit sind wir an der Front der gegenwärtigen Forschung, und ich möchte jetzt und hier ein weiteres allgemeines Konzept den schon genannten an die Seite stellen: das "Vertical Hyporheic Exchange Concept", denn dieser vertikale Austausch ist sicher einer der wichtigsten Vorgänge, die den Stoffumsatz in rhithralen Fließgewässern bestimmen.

Jetzt spätestens wurde deutlich, dass jedes Fließgewässer auch unterirdisch, nicht sichtbar, in sein gesamtes Einzugsgebiet hydrologisch eingebunden ist. STANFORD & WARD (1993) sprechen von einem "hyporheic corridor", der Fließgewässer sogar miteinander verbindet.

Mit der Zugänglichkeit dieses tiefsten Stockwerks ist uns ein Fließgewässer in seiner morphologischen und funktionellen Struktur wenigstens soweit deutlich geworden, daß wir bei den Renaturierungsmaßnahmen an Fließgewässern wissen (sollten), was zu tun ist. Ich halte die heutige enge Zusammenarbeit von Hydrologen, Hydraulikern und Ingenieuren des Wasserbaus mit den Fließgewässerlimnologen für einen ganz entscheidenden Fortschritt in der Entwicklung der Fließgewässerforschung.

Die Fließgewässerforschung hat noch große Aufgaben vor sich (SCHWOERBEL 1993). Wir wissen nicht, wie die Kompartimente des Gewässers, das Pelagial als frei fließender Wasserkörper, das Benthal als quasi ortsfeste besiedelte Sohle und das Hyporheal als weitgehend stabiler Grenzraum zwischen Benthal und Grundwasser stofflich miteinander verknüpft sind. Wo liegen die Schwerpunkte des Metabolismus und ist das hyporheische Interstitial nicht nur ein Lebens- und Schutzraum, sondern wirklich auch ein "Festbettreaktor" mit den höchsten Umsätzen im Gewässer? Ist die Spiralvorstellung des Stoffumsatzes richtig und in welchem Umfang werden die im Gewässer transportierten Stoffe überhaupt prozessiert? Dass dabei die Organismen als eindeutig bestimmte Species mit ihrer spezifischen Funktion zu berücksichtigen sind, möchte ich hier - nicht ohne Grund - ausdrücklich betonen.

### 5. Ein altes "modernes" Konzept einer Fließgewässerforschung

Mit diesem Ausblick in Gegenwart und Zukunft möchte ich meinen kurzen Gang auf einigen Wegen durch die Geschichte der Fließgewässerforschung

abschließen. Gerne aber möchte ich jetzt noch einen Mann vorstellen, der folgendes Programm einer Fließgewässerforschung vorgeschlagen hat:

Ermittlung der Produktivität eines Bachabschnitts durch Zählen und Bestimmung der Biomasse aller Organismen, daraus die "Stoffwechselbilanz" eines Baches als Makrokosmos ermitteln. Aufnahme des faunistischen und floristischen Inventars und dessen systematisch richtige Bestimmung. Statistisch genaue Angabe der Verbreitung und Menge der Organismen in Abhängigkeit von Temperatur, Lichtqualität und -quantität, chemische bzw. geologische Zusammensetzung des Wassers, Neigung des Ufers, Gefälle und Strömungsgeschwindigkeit. Jahreszeitliche Entwicklung und Verteilung der Spezies im Bach. Experimente über den Einfluss des Lichtes auf die Verteilung und Entwicklung der Algen. Anpassung der Organismen an das fließende Wasser, Anheftungsmechanismen. Einfluss der Pflanzen auf Sauerstoff und CO<sub>2</sub> im Wasser. Wer konsumiert was? Pflanzendetritus, von dem alle leben. Bedeutung für Fische, speziell Bachforellen und Schaffung einer wissenschaftlichen Grundlage für die Fischerei.

Ein ganz modernes Konzept, vorgetragen von dem österreichischen Mediziner und Botaniker Siegfried STOCKMAYER (1869-1933) auf der Jahrestagung der Deutschen Botanischen Gesellschaft 1893 und publiziert 1894. Er schlägt gleichzeitig die Gründung einer 3. Süßwasserbiologischen Station neben Plön (1892) und Berlin-Müggelsee (1893) in Österreich (Kärnten) vor, in der diese Bachforschungen durchgeführt werden können. Sein Aufruf zur Fließgewässerforschung ist unbeachtet geblieben, offenbar, weil er nicht aus dem Nährboden der Geographie hervorgegangen und für die Zeit zu "modern" war. (Ich danke Frau Prof. Dr. E. Kusel-Fetzmann für Informationen über S. Stockmayer).

### 6. Zusammenfassung

Die biologische Fließgewässerforschung begann Mitte des 19. Jahrhunderts mit der Untersuchung der "Selbstreinigung" in den großen, für die Wasserversorgung der Städte wichtigen Flüssen. Man erkannte, dass die Selbstreinigung ein biologischer Vorgang und abhängig von der Fließstrecke ist.

Unabhängig von dieser frühesten Einsicht in den Stoffumsatz der Fließgewässer setzte um 1900 eine intensive Erforschung der sommerkalten Gebirgsbäche in Mitteleuropa ein auf der Suche nach Glazialrelikten (F. ZSCHOKKE 1900, 1901, 1903). In den größeren Flüssen begann das Studium des "Potamoplanktons" durch KOFOID (1903, Illinois). Mit der Untersuchung des Stoffumsatzes und des organismischen Energieflusses begann 1929 mit PERCIVAL & WHITEFORD die moderne Periode der Fließgewässerforschung, die zur Formulierung des River Continuum Concepts führte. Mit T. ORGHIDAN setzte 1955 die Erforschung des hyporheischen Interstitials ein, die zu der Erkenntnis führte, dass dieser interstitiale Lebensraum funk-

tionell ein Teil des Fließgewässers mit einem intensiven Stoffumsatz ist.

### On the history of running water research - Summary -

The biological research of running waters began in the middle of the 19th century with the study of river pollution and the self-purification of the large rivers, which were important for the municipal water supply of the big cities. Scientists came to the realization that self-purification is a biological process dependent on flow distance and time.

Independent of this early insight into the nutrient turnover of streams, zoological investigations began to find so called glacial relicts in the summer-cold biotopes of small streams in the Alps at the turn of the century. The first was F. ZSCHOKKE (1900, 1901, 1903) in Switzerland. At the same time biologists began to study the "potamoplankton" in the large rivers (KOFOID 1903, Illinois River, USA). The period of modern running water research started with studies on the nutrient turnover and energy flow through organismic food chains (PERCIVAL & WHITEFORD 1929). The ensuing studies resulted in the River Continuum concept and other modern concepts.

The study of the hyporheic part of running waters, first conducted by T. ORGHIDAN (1955), was the beginning of a new period in the study and understanding of stream ecosystems: the hyporheic habitat is functionally a part of the stream with perhaps its highest metabolic activity.

### Literatur

ANGELIER, E. (1953):  
Recherches écologiques et biogéographiques sur la faune des sables submergés. Arch.zool.exper.gen., XC, 37-161.

BRUNKE, M. & T. GONSER (1997):  
The ecological significance of exchange processes between river and groundwater.- Freshwater Biology 37, 1-33.

BUDDE, H. (1928):  
Die Algen der Bäche des Sauerlandes.- Verh.Naturhist. Ver.Preuß.Rheinlande Westf. 84, 181-212.

BUTCHER, R. W. (1932):  
Studies on the ecology of rivers I. The microflora of rivers with special reference to the algae on the river bed.- Ann.Bot. 46, 813-861.

CHAPPUIS, P. A. (1942):  
Eine neue Methode zur Untersuchung der Grundwasserfauna.- Acta Sci.Math.Nat.6, Kolosvár, 1-7.

— (1944):  
Die Grundwasserfauna der Körös und des Samos.- Mathem. Termesztudományi Közlem, Budapest, 40, 6-42.

CUMMINS, K. W.; W. P. COFFMAN & P. A. ROFF (1966):  
Trophic relationships in a small woodland stream.- Verh.Internat.Verein.Limnol. 16, 627-638.

CUMMINS, K. W. (1973):  
The utilization of leaf litter by stream detritivores.- Ecology 54, 336-345.

FISHER, S. G. & G. E. LIKENS (1977):  
Stream Ecosystem: Organic energy budget.- BioScience 22, 33-35.

GARBRECHT, G. (1985):  
Wasservorrat, Bedarf und Nutzung in Geschichte und Gegenwart.- Deutsches Museum, Kulturgeschichte der Naturwissenschaften und Technik. Reinbek (Rowohlt), 278 S.

— (1990):  
Geschichte der Hydrologie.- In: BAUMGARTNER, A. & H.-J. LIEBSCHER, Allgemeine Hydrologie - Quantitative Hydrologie. Verlag Borntraeger Berlin, Stuttgart, 11-42.

HUBAULT, E. (1927):  
Contribution a l'étude des invertébrés torrenticoles.Bull. Biol. France Belgique Suppl. IX, 1-388.

HUSMANN, S. (1956):  
Untersuchungen über die Grundwasserfauna zwischen Harz und Weser.- Arch.Hydrobiol. 52, 1-184.

HYNES, H. B. N. (1975):  
The stream and its valley.- Verh.Internat.Verein.Limnol. 19, 1-15.

ILLIES, J. (1955):  
Der biologische Aspekt der limnologischen Fließwassertypisierung.- Arch.Hydrobiol. Suppl. 22, 337-346.

— (1958):  
Die Barbenregion mitteleuropäischer Fließgewässer.- Verh.Internat.Verein.Limnol. 13, 834-844.

— (1961):  
Versuch einer allgemeinen biozönotischen Gliederung der Fließgewässer.- Int. Rev.ges.Hydrobiol. 46, 205-213.

JUNK, W. J.; P. B. BAYLEY & R. E. SPARKS (1989):  
The flood pulse concept in river-floodplain systems.- Can.J.Fish.Aquat.Sci.Spec.Publ. 106, 110-127.

KAUSHIK, N. K. & H. B. N. HYNES (1971):  
The fate of the dead leaves that falls into streams.- Arch.Hydrobiol. 68, 465-515.

KOFOID, C. A. (1903):  
The plankton of the Illinois River, 1894-1899, with introductory notes upon the hydrography of the Illinois Rivers and its basin. Part I. Quantitative investigations and general results.- Bull.Ill.Stat.Lab. nat. Hist. 6, 95-629.

LAUTERBORN, R. (1900):  
Über den Werth und die Aufgaben einer schwimmenden Biologischen Station auf dem Oberrhein.- Allg. Fischerei Zeitung 25, 365-367 (zusätzliche gedruckte, unveröff. Erläuterungen dazu im Nachlass von R.L.).

- (1910):  
Die Vegetation des Oberrheins.- Verh.Naturhist.-med. Verein Heidelberg N.F. 10, 450-502.
- (1911):  
Die biologische Selbstreinigung unserer Gewässer.- Verh. Naturhist. Ver.Preuß.Rheinlande Westf. 68, 473-487.
- (1939):  
Die Eutrophierung des Zürichsees. (Eine historische Ergänzung zu L.Minder's "Summarische Ergebnisse von fünfzig Jahren Zürichseeforschung").- Geol. Meere u. Binnengew. 3, 93-95.
- LINDEMAN, R. L. (1942):  
The trophic-dynamic aspect of ecology.- Ecology 23, 399-412 .
- MANN, K. H. (1964):  
The pattern of energy flow in the fish and invertebrate fauna of the River Thames.- Verh.Internat. Verein.Limnol. 15, 485-495.
- NEWBOLD, J. D. (1992):  
Cycles and spirals of nutrients.- The River Handbook (ed. P. CALOW & G. E. PETTS) vol. 1, 379-408.
- ODUM, H. T. (1957):  
Trophic structure and productivity of Silver Springs, Florida.- Ecol. Monogr. 27, 55-112.
- ORGHIDAN, T. (1955):  
Un nou domeniu de viata acvatica subterrana: "Biotopol Hiporeic".- Bul.Stiint.Sect.Biol.,Agr.,Geol., Geogr., 7, 657-676.
- (1959):  
Ein neuer Lebensraum des unterirdischen Wassers: der hyporheische Biotop.- Arch.Hydrobiol. 55, 392-414.
- PENK, A. (1898):  
Die Flusskunde als ein Zweig der physikalischen Geographie.- Z.f.Gewässerlk. 1, 1-9.
- PERCIVAL, E. & H. WHITEFORD (1929):  
A quantitative study of the fauna of some types of stream-bed.- J.Ecol. 17, 282-314.
- SCHMITZ, W. (1955):  
Physiographische Aspekte der limnologischen Fließgewässertypen.- Arch.Hydrobiol. Suppl. 22, 510-523.
- SCHWOERBEL, J. (1961):  
Die Lebensbedingungen und die Besiedlung des hyporheischen Lebensraums.- Arch.Hydrobiol.Suppl. 25, 182-214.
- (1964):  
Die Bedeutung des Hyporheals für die benthische Lebensgemeinschaft der Fließgewässer.- Verh.Internat. Ver-ein.Limnol. 15, 215-226.
- (1967):  
Das hyporheische Interstitial als Grenzbiotop zwischen oberirdischem- und subterranem ökosystem und seine Bedeutung für die Primär-Evolution von Kleinsthöhlenbewohnern.- Arch.Hydrobiol.Suppl.33, 1-62.
- (1992):  
Aktuelle Fragen der Fließwasserforschung.- Festvortrag zum 40jährigen Jubiläum der Limnol.Flusstation Schlitz am 4. Juni 1991, 18-25.
- (1994):  
Technik und Wasser.- In: HERMANN, A.; W. DETTMERING (Hg.) Technik und Kultur, Bd. VI Technik und Natur (Hg. W. NACHTIGALL, C. SCHÖNBECK), 370-410.
- STANFORD, J. A. & J. V. WARD (1993):  
An ecosystem perspective of alluvial rivers: connectivity and the hyporheic corridor.- J.N.Am.Benthol. Soc. 12, 48-60.
- STEINMANN, P. (1907):  
Die Tierwelt der Gebirgsbäche. Eine faunistisch-biologische Studie (Diss.), 1-139.
- (1915):  
Praktikum der Süßwasserbiologie, I.Teil: Die Organismen des fließenden Wassers.- Berlin, Borntraeger, 1-184.
- STOCKMAYER, S. (1894):  
Das Leben des Baches (des Wassers überhaupt).- Ber. Dt.Bot.Ges. 1894, 133-141.
- THIENEMANN, A. (1912):  
Der Bergbach des Sauerlandes. Faunistisch-biologische Untersuchungen.- Int.Rev.ges.Hydrobiol.Hydrogr.suppl. biol., IV.Ser., 1-125.
- ULE, W. (1902):  
Die Aufgabe geographischer Forschung an Flüssen. Abh.geogr.Ges. Wien IV, 1-22.
- VANNOTE, R. L.; G. W. MINSHALL, K. W. CUMMINS, J. R. SEDELL & C. E. CUSHING (1980):  
The River Continuum Concept.- Can.J.Fish.Aquat.Sci. 37, 130-137.
- WARD, J. V. (1989):  
The four-dimensional nature of lotic ecosystems. J.N.Am.Benthol.Soc. 8, 2-8.
- ZSCHOKKE, F. (1900):  
Die Tierwelt der Gebirgsbäche.- Verh.Schweiz.Naturforsch.Ges.Thusis.
- (1901):  
Die Tierwelt der Schweiz in ihren Beziehungen zur Eiszeit.- B.Schwabe, Basel, 1-71.
- (1902):  
Die Tierwelt eines Baches bei Säckingen im südlichen Schwarzwald.- Mitt.Bad.Zool.Ver. 11/12, 27-41.

**Anschrift des Verfassers:**

Prof. Dr. Jürgen Schwoerbel  
Limnologisches Institut  
Universität Konstanz  
D-78457 Konstanz

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge \(LSB\)](#)

Jahr/Year: 1999

Band/Volume: [4\\_1999](#)

Autor(en)/Author(s): Schwoerbel Jürgen

Artikel/Article: [Zur Geschichte der Fließgewässerforschung 27-33](#)