

Vernetzung bei Klein- wasserkraftwerken

Biologisches Kontinuum der Gewässer erhalten

*Untersuchungen über das Gewässerkontinuum
für Fische und Kleinlebewesen*

Vernetzung bei Klein- wasserkraftwerken

Biologisches Kontinuum der Gewässer erhalten

*Untersuchungen über das Gewässerkontinuum
für Fische und Kleinlebewesen*

Autorin: Claudia Zaugg, AQUARIUS, Schnottwil

1997 / Bestellnr. / N° de commande: 805.637 d

Projektleitung DIANE Klein-Wasserkraftwerke
Hanspeter Leutwiler
c/o ITECO, Postfach 160
8910 Affoltern am Albis
Tel. 01 / 761 17 45

IMPRESSUM

- Herausgeber: Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern unter Mitarbeit des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Biel und des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern
- Autorin: Claudia Zaugg, c/o AQUARIUS, Fischerei- und Umweltbiologie, Oberdorf 1, 3253 Schnottwil/SO, Tel. 032 / 351 36 46
- Projektbegleitung: Arbeitsgruppe Oekologie und Kleinwasserkraftwerke
Dr. Peter Huggenberger, c/o geologisches/paläontologisches Institut der Universität Basel
Dr. Jean-Carlo Pedroli, c/o AQUARIUS, Neuchâtel
- Projektleitung: HP. Leutwiler, Projektleiter DIANE 10 Klein-Wasserkraftwerke, c/o ITECO, Affoltern am Albis
- Produzent: F. Brühlmann, Presse- und PR-Beratung, Zürich
- Titelblatt: F. Hartmann, St. Gallen
- Copyright: © Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW), 3003 Bern
- Bezugsquelle: Eidg. Drucksachen und Materialzentrale, 3000 Bern
Bestellnr.: 805.637 d

Dank

Dieser Bericht hat zum Ziel, den heutigen Wissensstand bezüglich der Vernetzung bei Kleinwasserkraftwerken aufzuzeigen, die noch vorhandenen Defizite und den daraus abzuleitenden Handlungsbedarf darzustellen und gleichzeitig gewisse Experimente auf diesem Gebiet durchzuführen. Dies konnte nur unter Mithilfe verschiedenster Personen und Behörden erarbeitet werden:

Kantonale Fischereifachstellen, Kleinwasserkraftwerksbesitzer, interessierte Fischer und verschiedene Helfer haben uns diverse Auskünfte gegeben, uns ihre Anlagen für Untersuchungen zur Verfügung gestellt und tatkräftig bei den Feldarbeiten mitgeholfen.

Die Mitglieder der Begleitgruppe des DIANE Projektes Klein-Wasserkraftwerke, die Arbeitsgruppe "Oekologie und Kleinwasserkraftwerke" sowie Herr PD Dr. D. Senn, Universität Basel, haben sich mit Ideen, Beiträgen und Gegenlesen an diesem Projekt beteiligt.

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen Mitwirkenden herzlich für ihr Engagement bedanken; die Zusammenarbeit und der Gedankenaustausch mit Fachleuten verschiedenster Gebiete waren stets sehr bereichernd.

Inhaltsverzeichnis

VORWORT

| | | |
|-------------|---|-----------|
| I. | AUSGANGSLAGE | 1 |
| 1. | Einleitung | 1 |
| 2. | Kurzbeschreibung des Projektes "Untersuchungen zum biologischen Kontinuum der Gewässer" | 1 |
| II. | FISCHAUFSTIEGSHILFEN | 3 |
| 1. | Fliessgewässerkontinuum - Gewässervernetzung | 3 |
| 1.1 | Bedeutung des Fliessgewässerkontinuums für die Fischfauna | 4 |
| 1.2 | Bedeutung des Fliessgewässerkontinuums für die Wirbellosenfauna | 5 |
| 1.3 | Schlussfolgerungen | 6 |
| 2. | Was ist eine Fischaufstiegshilfe? | 8 |
| 3. | Die Entwicklung von Fischaufstiegshilfen | 11 |
| 3.1 | Die Situation in der Schweiz zu Beginn des Jahrhunderts | 11 |
| 3.2 | Aktuelle Situation der Schweiz | 14 |
| 3.2.1 | Einleitung | 14 |
| 3.2.2 | Aktuelle Situation | 14 |
| 3.3 | Situation in verschiedenen Ländern | 17 |
| 3.4 | Schlussfolgerungen | 18 |
| III. | LITERATURSTUDIE ÜBER DIE ORTSVERÄNDERUNGEN VON MAKROINVERTEBRATEN IN FLIESSGEWÄSSERN | 20 |
| 1. | Einleitung | 20 |
| 2. | Ortveränderungen von aquatischen Wirbellosen | 21 |
| 2.1 | Drift von Makroinvertebraten | 21 |
| 2.1.1 | Typen der Drift | 22 |
| 2.1.2 | Zusammensetzung der Drift | 22 |
| 2.1.3 | Saisonalität/Diurnales Verhalten | 23 |
| 2.1.4 | Quantitative Aspekte | 23 |
| 2.1.5 | Distanzen | 24 |
| 2.1.6 | Bedeutung der Drift | 24 |
| 2.2 | Der Kolonisationszyklus nach MUELLER | 24 |
| 2.3 | Aufwärtswanderung von Makroinvertebraten | 26 |
| 2.3.1 | Einleitung | 26 |
| 2.3.2 | Auslöser der Aufwärtswanderung | 26 |
| 2.3.3 | Saisonalität/Diurnales Verhalten | 27 |
| 2.3.4 | Distanzen/Geschwindigkeit | 29 |

| | | |
|------------------|---|-----------|
| 2.3.5 | Aufwärtswanderung als Kompensation der Drift? | 31 |
| 2.4 | Schlussfolgerungen | 32 |
| 3. | Das Beispiel Gammarus als holoaquatische Gattung | 34 |
| IV. | EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN BEZÜGLICH DES FLIESSGEWÄSSERKONTINUUMS | 37 |
| 1. | Einleitung | 37 |
| 2. | Markierungsversuche | 37 |
| 2.1 | Ausgangslage | 37 |
| 2.2 | Methode | 38 |
| 2.3 | Resultate | 39 |
| 2.3.1 | Mikroskopierfarben | 39 |
| 2.3.2 | Lebensmittelfarben | 40 |
| 2.4 | Schlussfolgerungen | 41 |
| 3. | Aufstiegsversuche mit Gammariden | 42 |
| 3.1 | Ausgangslage | 42 |
| 3.2 | Methode | 42 |
| 3.3 | Versuchsanlagen und Resultate | 43 |
| 3.3.1 | Pilotversuch an der Urtenen | 43 |
| 3.3.2 | Versuchsanlage am Grundbach | 45 |
| 3.4 | Schlussfolgerungen | 52 |
| 4. | Aufstiegskontrollen für Fische | 53 |
| 4.1 | Ausgangslage | 53 |
| 4.2 | Methode | 53 |
| 4.3 | Resultate | 53 |
| 4.3.1 | KW Roggwil | 53 |
| 4.3.2 | Mühle Beck | 54 |
| 4.4 | Schlussfolgerungen | 54 |
| 5. | Makroinvertebraten in verschiedenen Fischeaufstiegshilfen | 56 |
| 5.1 | Einleitung | 56 |
| 5.2 | Methoden | 56 |
| 5.3 | Resultate | 56 |
| 5.4 | Schlussfolgerungen | 59 |
| V. | PRAXISORIENTIERTE EMPFEHLUNGEN | 60 |
| IV. | ZUSAMMENFASSUNG/SCHLUSSFOLGERUNGEN | 62 |
| ANHANG 1: | Literaturverzeichnis | 65 |
| ANHANG 2: | DIANE Projekt KWK 1992-1997: Portrait/Zwischenbilanz DIANE Publikationen | 79 |

VORWORT

"Kleinvieh macht auch Mist". Dieser Spruch wurde in der öffentlichen Auseinandersetzung um Kleinwasserkraftwerke öfters ausgesprochen, und auf beide Aspekte gemünzt: Kleinwasserkraftwerke bringen einen ansehnlichen Beitrag an die Energieversorgung, sie können jedoch auch die Gewässer stark verändern und deren Ökologie beeinträchtigen. Kleinwasserkraftwerke sind deshalb den gleichen gesetzlichen Umweltauflagen unterworfen wie grosse Werke. Wenn die Werke langfristig überleben sollen, so müssen einerseits die Umweltauflagen kostengünstig erfüllt werden, und andererseits muss die Akzeptanz solcher Anlagen in der Öffentlichkeit gut sein.

Eine Situationsanalyse von DIANE hat ergeben, dass im Bereich der Durchgängigkeit der Wasserbauten für Fische und Kleinlebewesen noch bei vielen Anlagen Mängel bestehen, was bei Konzessionserneuerung oder Umbau zu wesentlichen behördlichen Auflagen und erheblichen Kosten führen kann, aber auch dass Wissenslücken über die Funktionstüchtigkeit kleiner Fischtreppe und Umgehungsgewässer bestehen. Insbesondere ist wenig über die Auslegungskriterien für die Durchgängigkeit für Kleinlebewesen bekannt.

Deshalb startete das DIANE Projekt Klein-Wasserkraftwerke eine Teilprojekt "Kontinuum der Gewässer", welches eine Grundlagenuntersuchung über kleine Aufstiegshilfen und eine ausführliche und ansprechend gestaltete Dokumentation über falltypisch ausgewählte Aufstiegshilfen umfasst.

Die Resultate der Literaturstudie und der Feldversuche der Grundlagenuntersuchung liegen in diesem Bericht vor. Der Bericht zeigt unter anderem auf, dass Fischtreppe mit einfachen Massnahmen für Kleinlebewesen durchgängig gemacht werden können. Der Bericht ergänzt die Publikationsreihe DIANE Klein-Wasserkraftwerke mit einem wichtigen Thema.

Das Teilprojekt "Kontinuum" wurde von der Arbeitsgruppe "Ökologie & Kleinwasserkraftwerke" und einer Expertengruppe begleitet. Die Arbeitsgruppe "Ökologie & Kleinwasserkraftwerke" startete im weiteren ein Teilprojekt "Schwemmgut" und verfasst eine Situationsanalyse über Kleinwasserkraftwerke und Gewässerökologie. Mit diesen Arbeiten konnten wertvolle Brücken zwischen den Gegensätzen von Nutzen und Schützen geschlagen werden. Die Bauherren wurden auf ökologische Fragen sensibilisiert, und Gewässerbiologen lernten die gewässerökologisch positiven Seiten und weitere ökologische Pluspunkte der Kleinwasserkraftwerke kennen.

Ein Portrait mit Zwischenbilanz und eine Publikationsliste des DIANE Projekts Klein-Wasserkraftwerke sind am Schluss dieser Broschüre angeführt.

Hanspeter Leutwiler
Projektleiter DIANE Klein-Wasserkraftwerke

I. AUSGANGSLAGE

1. EINLEITUNG

Das BEW-Programm DIANE ist Teil des Aktionsprogrammes "Energie 2000" des Bundes, wobei DIANE die Kurzform für "Durchbruch innovativer Anwendungen neuer Energietechniken" ist. Dieses Programm hat zum Ziel, bisher ungenutzte oder nicht optimal genutzte Reserven bei der Energieerzeugung und beim Energiesparen zu mobilisieren.

Die vorliegende Broschüre wurde im Rahmen des DIANE Projekts 10 "Klein-Wasserkraftwerke" erarbeitet. Sie bezweckt die verbesserte Nutzung der entsprechenden Potentiale unter Berücksichtigung der heutigen Erfordernisse bezüglich Energie und Umwelt. Im Rahmen der Teilprojekte "Oekologie und Kleinwasserkraftwerke" soll das vorliegende Projekt bezüglich des Fliessgewässerkontinuums durch Aufarbeiten und Verbreiten der Kenntnisse über relevante gewässerökologische Vorgänge die Akzeptanz der Kleinwasserkraftwerke (KWK) verbessern und dazu beitragen, dass Umweltauflagen bei KWK effizienter und wirtschaftlicher erfüllt werden können.

2. KURZBESCHREIBUNG DES PROJEKTES "UNTERSUCHUNGEN ZUM BIOLOGISCHEN KONTINUUM DER GEWÄSSER"

Die Wehre und Staustrecken der KWK unterbrechen das Kontinuum der Gewässer, was für Fische sowie ihre Nährtiere (aquatische Wirbellose, Makroinvertebraten) nachteilig ist und das Ueberleben von Arten gefährden kann. Die Wiedervernetzung der Lebensräume in den Gewässern stellt eines der wichtigsten Ziele des Gewässerschutzes dar; die freie Fischwanderung ist zudem gesetzlich vorgeschrieben. Dies steht auf der anderen Seite in Konflikt mit der Energiegewinnung durch KWK. Gemäss einer Situationsanalyse des DIANE Projektes Klein-Wasserkraftwerke sind bei vielen KWK noch keine Fischaufstiegshilfen vorhanden resp. funktionieren diese schlecht. Gelingt es, funktionierende, ästhetisch gut eingepasste und wirtschaftlich tragbare derartige Anlagen zu bauen, so gewinnen die KWK an Wirtschaftlichkeit, Akzeptanz und Chancen im Bewilligungsverfahren.

Das revidierte Gewässerschutzgesetz vom 24. Januar 1991 sowie das neue Fischereigesetz vom 21. Juni 1991 haben aber nicht nur zum Ziel, die Fische, sondern auch die Wirbellosenfauna der Fliessgewässer bzw. deren Lebensräume zu schützen. Wirbellose lassen sich mit der Strömung verdriften, was in unverbauten Gewässern teilweise durch eine sogenannte Kompensationswanderung (flussaufwärtige Wanderung) wieder ausgeglichen wird. Es bestehen jedoch grosse Wissenslücken darüber, wie gross die Barrierewirkung von Wehren von KWK für die Aufwärtswanderung dieser Fischnährtiere und oft auch für Fische ist.

Eines der Ziele dieses Projektes über die Kontinuität der Fliessgewässer ist es deshalb, den heutigen Wissensstand bzw. die heutige diesbezügliche Situation aufzuzeigen. Es wurden verschiedene Umfragen, Begehungen und eine ausführliche Literaturrecherche durchgeführt.

Daraus ging hervor, dass auf dem Gebiet des biologischen Kontinuums unserer Fliessgewässer noch ein grosser Handlungsbedarf besteht. Die vorliegende Broschüre stellt deshalb heute vorhandene Erkenntnisse dar und fasst einige durchgeführte Untersuchungen bezüglich des Fliessgewässerkontinuums zusammen. Sie ist in folgende Abschnitte gegliedert:

1. In Kapitel II wird auf die Bedeutung des Fliessgewässerkontinuums für die Fisch- und Wirbellosenfauna eingegangen. Es werden einige der in unserem Land gängigsten Fischaufstiegsanlagen dargestellt, und die Entwicklung solcher Anlagen in der Schweiz sowie in verschiedenen anderen Ländern wird beschrieben.
2. In Kapitel III werden die Resultate einer Literaturstudie über die Ortsveränderungen von aquatischen Wirbellosen (Makroinvertebraten) in Fliessgewässern dargestellt.
3. In Kapitel IV werden die Resultate konkreter Untersuchungen bezüglich des Gewässerkontinuums zusammengefasst. Folgende Experimente wurden dabei durchgeführt:
 - Markierungsversuche an Flohkrebse
 - Aufstiegsversuche mit Flohkrebse in einem Fischpassmodell unter verschiedenen Bedingungen
 - Aufstiegskontrollen an zwei Beckenpässen mittels Reusen
 - Erhebung der Wirbellosenbiomasse in unterschiedlichen Typen von bestehenden Fischaufstiegsanlagen von Kleinwasserkraftwerken der Schweiz.

Mit diesem Bericht wird v.a. die Tragweite des bestehenden Handlungsbedarfes auf dem Gebiet des Fliessgewässerkontinuums aufgezeigt. Die dargestellten Untersuchungen können die bestehenden Wissenslücken nicht schliessen, sollen jedoch einige konkrete Vorgehenshilfen für weitere derartige Abklärungen sowie praxisnahe Tips für die Umsetzung solcher Experimente und Erhebungen in die wasserbauliche Praxis geben.

Der Uebersichtlichkeit willen werden nachfolgend die jeweiligen Autoren nur im Falle von konkreten Beispielen bzw. bei gewissen Definitionen und Untersuchungen oder am Schluss ganzer Abschnitte aufgeführt. Ansonsten wird auf das Literaturverzeichnis im Anhang 1 verwiesen.

II. FISCHAUFSTIEGSHILFEN

1. FLIESSGEWÄSSERKONTINUUM - GEWÄSSERVERNETZUNG

Gemäss PECHLANER (1986) ist das räumliche Kontinuum von Fließgewässern die durchgehende Verbindung des durch die Wasserströmung geprägten Lebensraumes entlang seiner Längserstreckung bzw. innerhalb des Fließgewässernetzes, wobei sich die einzelnen Komponenten der räumlichen Struktur dieses Lebensraumes und die darin ablaufenden Funktionen teils wiederholen, teils unregelmässig oder gerichtet verändern.

Damit das Fließgewässerkontinuum gewährleistet ist, müssen verschiedene Bedingungen eingehalten werden. So muss sich beispielsweise der Geschiebetrieb unbehindert abspielen können, und das Gewässer muss von seinen Lebewesen sowohl flussaufwärts wie auch flussabwärts durchwanderbar sein. Aus diesen Ausführungen geht hervor, dass das Fließgewässerkontinuum auch in einem vom Menschen nicht beeinflussten Gewässer unterbrochen sein kann, beispielsweise durch einen See oder einen Abfall, der nicht überwunden werden kann. In solchen unbeeinflussten Ökosystemen haben sich über einen längeren Zeitraum an diese Verhältnisse angepasste Lebensräume bzw. -formen ausgebildet.

Durch die Aktivitäten des Menschen wurden die Gewässer bereits vor dem Zeitalter der Technologie genutzt (Fischerei, Flösserei und Schifffahrt, Entwässerung der Böden für Siedlung und Landschaft, Wasserentnahmen etc.), wobei dadurch das Ökosystem der Gewässer meist nicht grundsätzlich verändert wurde.

Mit zunehmender Intensität dieser Eingriffe wurde jedoch das Fließgewässerkontinuum immer stärker unterbrochen. Dies geschah einerseits durch rein mechanische und offensichtliche Barrieren wie Staumauern und Eindolungen, andererseits aber auch durch chemische und thermische Barrieren, durch die allgemeinen Veränderungen der Flussmorphologie (Flussausbau), durch zu geringe Restwassermengen etc..

In Anbetracht der durch den Menschen durchgeführten Eingriffe wird deutlich, dass das eingangs definierte Fließgewässerkontinuum heute vielerorts auf sehr verschiedene Arten unterbrochen wird. Aufgrund eines zunehmenden Umweltbewusstseins sowie der daraus hervorgegangenen rechtlichen Situation wird heute versucht, dieses "River Continuum" möglichst wiederherzustellen. Chemische Barrieren entfallen beispielsweise aufgrund restriktiverer Einleitungsbedingungen von Abwässern sowie durch den Bau von Kläranlagen; eingedolte Gewässerabschnitte werden wieder an die Oberfläche geholt, hohe Schwellen werden abgebrochen oder in mehrere kleinere umgewandelt, die Gewässer werden revitalisiert etc..

In diesem Zusammenhang ist man momentan auch im Bereich von KWK bestrebt, die Fließgewässer einerseits für die in ihnen vorkommenden Lebewesen durchgängig zu machen und andererseits die Wasserentnahme bzw. den Staubereich derart zu gestalten, dass auch die übrigen Parameter des Fließgewässerkontinuums gewährleistet werden.

1.1 Bedeutung des Fließgewässerkontinuums für die Fischfauna

Der Begriff des "Standfisches", der früher dem des "Wanderfisches", des klassischen Wanderfisches also, gegenüberstand, hat inzwischen eine wesentlich andere Bewertung erfahren. Wir müssen heute davon ausgehen, dass alle Fische mehr oder weniger ausgedehnte Ortsveränderungen bzw. Wanderungen durchführen. Dies gilt selbst für Fischarten, die man auch heute noch als standorttreu anspricht. Auch viele unserer heimischen Fisch- und Rundmäulerarten legen Wanderungen zurück, so beispielsweise die Barbe, Nase, Bachforelle, Elritze, das Bachneunauge etc. Wichtig ist, dass es keine Fischart gibt, für die eine wenigstens **zeitweilige Wanderung** nicht eine Frage der **Bestandeseerhaltung** ist.

Den Wanderungen der Fische liegen im wesentlichen zwei Momente zugrunde, deren eines im Fisch selbst, deren anderes aus dem Lebensraum heraus wirksam ist: Der Fisch muss fressen und der Fisch will sich fortpflanzen. Der Lebensraum, in dem er sich aufhält, ist nicht einheitlich, er muss in ihm hin- und herziehen, wenn er die beiden **Urtriebe Fressen und Sichfortpflanzen** befriedigen will.

Es sind mehrere Arten von Wanderungen bekannt, die je nach Ziel oder dem Sinn dieser Bewegungen ganze Bestände bestimmen:

1. Verlassen der Weidegründe und Aufsuchen der Laichplätze (**Laichwanderung**)
2. Wechsel von einem Weideplatz zum anderen oder vom Laichplatz zum Weideplatz (**Nahrungswanderungen**)
3. Aufsuchen von Hochwasserschutzplätzen, Stromaufwärtswanderung bei oder vor Hochwässern und Abwärtswandern bei niedrigen Wasserständen, Aufwärtswanderungen nach Abtreiben durch Hochwasser und aus Schutzstellen bei Eisbildung, schliesslich auch Aufsuchen von Winterlagern (**Bestandesdichte - Ausgleichswanderungen**).

Alle drei Wanderungen sind instinktgesteuert, die genauen Auslöser und Vorgänge teilweise noch ungeklärt. Ohne sie besteht die Gefahr der Isolierung von Populationen, der genetischen Verarmung, das Verhindern der Wiederausbreitung seltener und zurückgedrängter Arten (z.B. Bachschmerlen, Groppen) und der Wiederbesiedlung nach Katastrophen.

Bei einer Stauerrichtung mit einem nicht passierbaren Wehr muss man davon ausgehen, dass die Unterbindung der Wanderung mit nachteiligen Folgen für die Erhaltung und Neubildung der Fischbestände verbunden ist. Denn diese Unterbindung entwickelt unter anderem eine Ventilwirkung in Mündungsrichtung: Unterbunden wird bei der Errichtung von Stauanlagen meist nur die quellwärts gerichtete Wanderung. Dem zeitweise auftretenden Wandertrieb in Mündungsrichtung können die Fischbestände folgen. **Die Gewässer leeren sich folglich bei vollständiger Unterbindung der Aufwärtswanderung langsam in Fließrichtung (Ventilwirkung).**

1.2 Bedeutung des Fließgewässerkontinuums für die Wirbellosenfauna

Das Ausbreitungsverhalten der Bodenfauna der Gewässer und deren Bedeutung für die Gewässerbiozönose ist gegenüber der Erforschung der Fischfauna ein stark vernachlässigtes Thema und wird bei der wasserwirtschaftlichen Planung kaum berücksichtigt.

Im Gegensatz zu Insekten, die im geflügelten Stadium das Gewässer verlassen und auf dem Luftwege neue Lebensräume erschliessen können, sind die rein wassergebundenen Arten zur Ausbreitung und Wiederbesiedlung ausschliesslich auf Drift (Verbreitung durch die Strömung) und aktive Wanderung im Gewässer angewiesen. Die Verbreitung durch den Luftweg (z.B. Wasservogel) spielt nur eine untergeordnete Rolle.

Wie in Kap. III ausführlich geschildert wird, führen auch sehr viele Benthosorganismen (im Bereich der Gewässersohle lebende Wirbellose) wie die Fische aktive Wanderungen im Gewässer durch. Die Beweggründe der Ortsveränderung entsprechen denen der Fische; es sind dies u.a.:

- Suche nach Nahrung und Raum
- Komponente im biologischen Zyklus einer Art
- Suche nach Schutzzonen
- Ausweichen vor ungünstigen abiotischen Bedingungen
- Kompensation der Abdrift

Diese Wanderungen sind meist kleinräumiger, können jedoch auch weite Strecken umfassen. So wurde beispielsweise ein massenhafter Wanderzug von Gammariden (Flohkrebse) mit maximalen Fortbewegungsgeschwindigkeiten von mehr als 40 m/h konstatiert; verschiedentlich wurden derartige Wanderungen auch bei Ephemeropteren (Eintagsfliegen) beobachtet, welche durch das Aufwärtswandern von mehreren Kilometern temporäre Gewässer wiederbesiedeln konnten.

Diese Wanderungen stellen somit neben der Besiedlung aus tieferen Schichten einen wichtigen Bestandteil der Rekolonisation verödeten Gewässerabschnitte dar. Dies ist v.a. auch dann wichtig, wenn die Drift von oben her unterbunden wird (z.B. wegen Stauhaltung).

Wirbellose können selbst reissende Gebirgsbäche besiedeln, was durch die starke Reduktion der Strömung in Substratnähe ermöglicht wird. Deshalb ist nicht so sehr eine **bestimmte Fließgeschwindigkeit** notwendig, sondern ein **struktureiches Sohls substrat**, damit sich Makroinvertebraten gegen die Strömung bewegen können und nicht abgeschwemmt werden. In natürlichen Gewässern können sie gar **Stromschnellen** überwinden, während sie in künstlichen, glatten Gerinnen selbst bei geringen Fließgeschwindigkeiten abgeschwemmt werden. Grundsätzlich ist somit jede **Unterbrechung des Lückensystems** der Gewässersohle und der Uferbereiche als Grenze für eine aufwärts gerichtete Dynamik der wasserbewohnenden Wirbellosen anzusehen. Ausbreitungshindernisse sind somit Absturzbauwerke, Schwellen, Schussrinnen, grosse Stillwasserbezirke, ausgekleidete Gewässerstrecken und Fischtreppe, Verdolungen etc..

So beobachtete LEHMANN (1967) Massenansammlungen des Flohkrebse *Gammarus pulex* unterhalb von Brückenrohren, was durch deren Barrierewirkung zustandekam.

Die **Auswirkungen dieser Gewässerzerstückelung** sind weitgehend **unerforscht**. Es ist keine grundlegende Untersuchung bekannt, die sich mit den Auswirkungen von Wanderhindernissen auf die qualitative und quantitative Zusammensetzung der Bodenfauna beschäftigt. Wie jedoch eine Untersuchung von DENNERT (1969) über saisonale Wanderungen von *Gammarus zaddachi* (eine im Uebergangsbereich Süßwasser - Meer lebende Flohkrebsart) gezeigt hat, können Regionen, aus denen Tiere abdriften, fast vollständig entvölkert werden, wenn zu dieser Jahreszeit keine Aufwärtswanderungen stattfinden.

Es kann angenommen werden, dass die Unterbrechung des Fließgewässerkontinuums für Makroinvertebraten **geringere Auswirkungen** hat als für die Fischfauna, da sie meist kleinere Ortsveränderungen durchführen, es bei manchen Arten noch andere Ausbreitungsarten gibt und ihre Reproduktionsraten wesentlich höher und kurzzeitiger sind. Trotzdem muss davon ausgegangen werden, dass für manche Arten der aquatischen Wirbellosen wie für die Fische ebenfalls die **Gefahr einer Ventilwirkung** besteht, wenn ihre Aufwärtswanderung künstlich unterbunden wird.

Zudem ist **nicht bekannt**, ob die sogenannten "**Fisch**"-**Aufstiegshilfen** auch von diesen aquatischen Wirbellosen benutzt werden können.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Bedeutung des Fließgewässerkontinuums nicht nur für die verschiedenen Fischarten, sondern auch für das Benthos sehr gross ist .

1.3 Schlussfolgerungen

Wir haben unseren Umgang mit Fließgewässern darauf auszurichten, dass die von der Natur eingeregelteten Funktionsweisen möglichst wenig gestört werden. Bedenkt man die vielen Vorteile, die ökologisch intakte Fließgewässer dem Menschen bieten können, so liegt eine konsequente Rücksichtnahme auf ökologische Erfordernisse (**ökologische Sachzwänge**) - neben ethischer Motivation - im Interesse einer langzeitigen Oekonomie.

Jeder Eingriff in ein Fließgewässer sollte derart gestaltet werden, dass er das Kontinuum dieses Gewässers möglichst wenig beeinträchtigt. Dies bedingt bestimmte **Wasserbaumethoden**, welche heute bereits angewandt werden bzw. teilweise noch in Entwicklung sind.

Wasserkraftwerke, welche ein Fließgewässer über lange Strecken aufstauen und dadurch seenartige Bereiche schaffen, können das river continuum nicht gewährleisten, da beispielsweise von unten her aufsteigende Organismen, deren Leben an Strömung angepasst ist, in den Stillbereichen nicht leben bzw. diese nicht bergwärts überwinden können. Solche Bereiche können zudem als Driftfallen wirken.

Anders sieht dies im Falle von kleinen Wasserkraftwerken aus: Diese stauen ein Fließgewässer meist nur über kurze Distanzen auf, wobei in diesem Staubebereich eine

gewisse Strömung bestehen bleibt. Die Umstrukturierung ist bei KWK weniger stark, die Habitats und das Kontinuum für die Fische sind - wenigstens teilweise - an und für sich noch gegeben. Es ist jedoch **nicht bekannt**, ob und in welchem Masse der Bereich solcher Anlagen von Makroinvertebraten besiedelt bzw. bergwärts überwunden werden kann. Gerade weil die lebensnotwendigen Voraussetzungen bei diesen Anlagen noch gegeben sind, ist es wichtig, dass dort neben Fischen auch Wirbellose aufsteigen können.

Auf der anderen Seite besteht bei KWK meist ein kleines Gefälle zwischen Unter- und Oberwasser, was den Einbau einer Aufstiegsanlage vereinfacht bzw. verschiedenen Organismen den Aufstieg erleichtern dürfte. Gerade bei Aufstieghilfen von KWK ist jedoch nur in den wenigsten Fällen bekannt, ob sie funktionieren, und ob sie auch von aquatischen Wirbellosen besiedelt bzw. für den Aufstieg benutzt werden.

In diesem Bereich besteht somit u.a. folgender Handlungs- bzw. Forschungsbedarf:

- Bei der Nutzung von Süßwasser müssen die **Benthosorganismen mitberücksichtigt** werden. Sie kommen nicht nur überall vor, sondern machen einen Grossteil der im Wasser vorhandenen Biomasse aus. Als hauptsächliche Energieumwandler spielen sie eine wichtige Rolle im Stoffkreislauf der Gewässer.
- Es sollte abgeklärt werden, ob die gestauten Bereiche von KWK auch von aquatischen Wirbellosen überwunden werden können bzw. ob und in welchem Masse sie für Benthosorganismen **Wanderungsbarrieren** darstellen.
- Es sollte erforscht werden, ob bestehende **Fischaufstiegshilfen** auch von **Makroinvertebraten** besiedelt bzw. für den Aufstieg benutzt werden.

2. WAS IST EINE FISCHAUFSTIEGSHILFE?

In der deutschen Literatur werden für solche Anlagen v.a. die Bezeichnungen "Fischpass", "Fischweg", "Fischtreppe" und "Fischaufstiegshilfe" verwendet. In englischsprachigen Arbeiten sind "fishway" oder "fishladder" (Nordamerika) und "fish pass" (Europa) gebräuchlich. Trotz unterschiedlicher Namensgebung ist das Verständnis ihrer Funktion heute überall dasselbe: Den Fischen soll die Passage flussaufwärts um oder durch ein Hindernis ermöglicht werden. Die Energie des strömenden Wassers wird dabei in kleine Portionen aufgeteilt, so dass die Höhendifferenz ohne übermässige Anstrengung überwunden werden kann.

Früher verstand man unter Fischpässen noch Anlagen, in denen das Wasser ohne stufenförmige Ueberfälle aus dem Oberwasser des Hauptstroms in das Unterwasser gelangt. Sie dienten vorzugsweise der Förderung des Abstiegs der Fische. Für den Aufstieg wurden dagegen "Fischtreppen" konstruiert, bei denen Fische springenderweise über eine vom Wasser durchströmte, treppenförmige Anlage vom Unter- ins Oberwasser aufwandern konnten.

Kommen in grossen Fliessgewässern verschiedener Länder (z.B. USA, Frankreich) auch andere Systeme wie Fischlifte und Fischschleusen zum Einsatz, wird in der Schweiz und allgemein bei kleineren Gewässern eher auf klassische Anlagen zurückgegriffen, um einen Höhenunterschied für Fische passierbar zu gestalten.

Als klassische Aufstiegshilfe gilt der **Beckenpass**, welcher aus einer Reihe von Becken besteht, welche durch Querwände voneinander getrennt sind. Fische können durch Oeffnungen dieser Querwände (Schlupfloch im Sohlbereich; Kronenausschnitt in der Oberkante) von Becken zu Becken gelangen (s. Abb. 1). Bezüglich derartiger Anlagen, deren Planung, Dimensionierung und Funktionieren besteht eine reichhaltige Literatur.

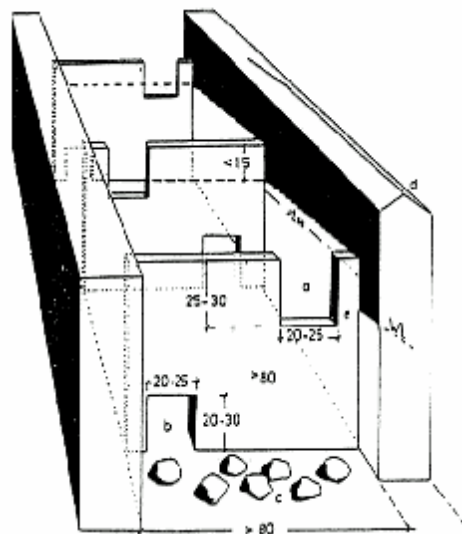


Abb. 1: Fischtreppe in konventioneller Form mit Angabe der zweckmässigen Masse in cm (JENS, 1971).

In Anlehnung an solche Fischtrepfen wurden verschiedene ähnliche Anlagen entwickelt und gebaut, so beispielsweise der Denil-Fischpass, der Rhomboidfischpass, der Vertical-Slot-Pass (Schlitzpass) etc. (s. Abb. 2).

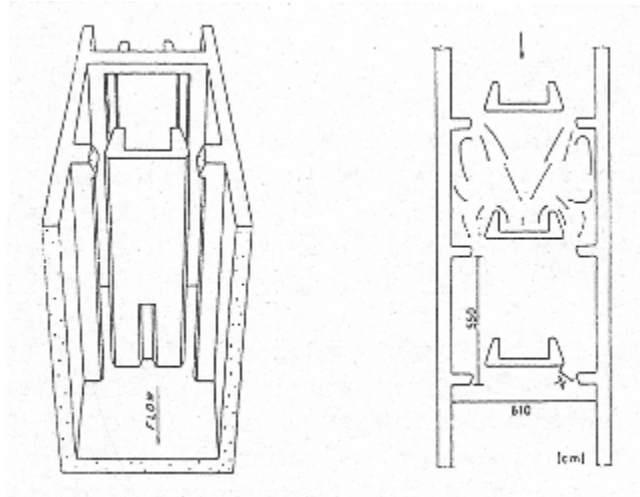


Abb. 2: Vertical-Slot-Fischpass (GEBLER, 1991).

In neuerer Zeit ist man jedoch der Ansicht, dass solchen eher technischen Lösungen naturnahere Bauten (Rauhgerinne, Blockrampen etc.) bevorzugt werden sollten. Als klassisches Beispiel naturnaher Aufstiegshilfen gelten Umgehungsgewässer (s. Abb. 3). Diese werden zwar von weniger Wasser durchflossen als das Hauptgerinne, können jedoch ähnlich wie dieses gestaltet werden. Der Vorteil eines solchen Gewässers besteht darin, dass es sehr naturnah angelegt (natürliche Sohle mit Interstitial) und so auch von Kleinfischen und aquatischen Wirbellosen besiedelt bzw. durchwandert werden kann. Derartige Anlagen sind jedoch in der Schweiz bisher eher Einzelfälle (s. Kap. II.3).

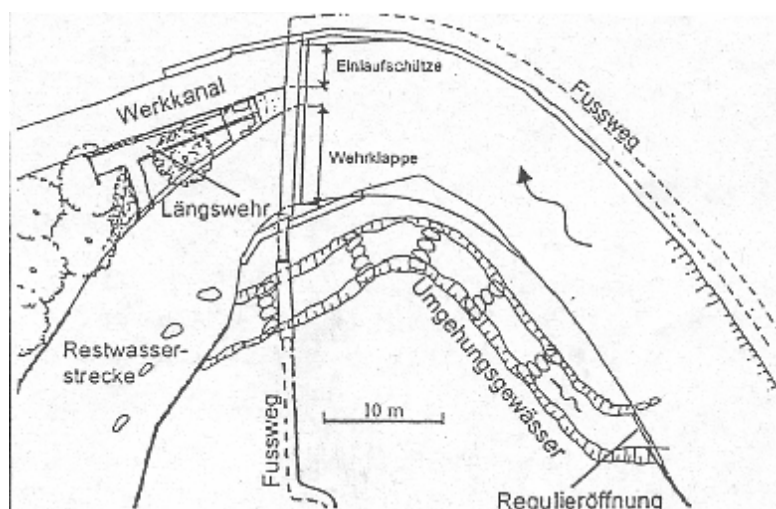


Abb. 3: Beispiel eines Umgehungsgerinnes beim Wehr der KIW Wildegg am Aabach, Kanton Aargau (Plan nach KIW Wildegg).

Eine Uebersicht von in letzter Zeit gebauten Fischaufstiegshilfen bei KWK in der Schweiz sowie deren Kenndaten werden in der DIANE Broschüre "Fische und Kleinwasserkraftwerke, kostengünstige Aufstiegshilfe für Fische und Kleinlebewesen" ausführlich beschrieben (s. DIANE Publikationsliste).

Bei der Auswertung der Literatur bezüglich Fischaufstiegshilfen fällt auf, dass sich die Forschung über den Aufstieg sowie die erforderlichen Anlagen hauptsächlich auf Wanderfische wie den Lachs konzentriert. Für viele Süsswasserarten oder gar Makroinvertebraten sind ähnliche Fortschritte in der Planung von Anlagen nie erzielt worden, u.a. weil das ökonomische Interesse geringer ist und die physiologischen Charakteristiken sowie das Verhalten der verschiedenen Arten variieren. In diesem Bereich bestehen daher noch grosse Forschungslücken.

Die Verbesserung der Wasserqualität sowie die immer mehr zur Anwendung kommenden naturnahen Methoden des Wasserbaus schaffen zunehmend günstigere Voraussetzungen für eine natürliche Wasserfauna. Damit wird nun für die Neubesiedlung verarmter Gewässerregionen und die Wiederkehr verdrängter Arten eine möglichst ungehinderte Bewegungsfreiheit in den Fliessgewässern vermehrt ausschlaggebend.

Oft werden in fischarmen Gewässern Besatzmethoden angewandt. Diese Methode wird vielfach auch benutzt um zu versuchen, den verhinderten Fischaufstieg (sowie auch andere Defizite wie naturferne Gewässermorphologie) zu kompensieren. Einer Ueberwindung der Hindernisse ist jedoch Vorzug zu geben, da solche Besätze oft auch negative Auswirkungen wie unnatürliche Konkurrenz, Vermischung von Rassen etc. mit sich bringen. Die durch einen Aufstieg ermöglichte Neu- und Wiederbesiedlung aus angrenzenden Gewässerregionen ist zwar überwiegend aus **ökologischen**, langfristig aber auch aus **wirtschaftlichen Gesichtspunkten** anzustreben.

3. DIE ENTWICKLUNG VON FISCHAUFSTIEGSHILFEN

Generell ist über die Fischpassanlagen in der Schweiz nur sehr wenig Literatur vorhanden. Fischpasszählungen werden einerseits meist an grossen Anlagen durchgeführt (z.B. Hochrhein, Aare) und werden zudem oft nicht veröffentlicht. Ein **Inventar** über den momentanen Stand der Fischpassanlagen unseres Landes sowie über deren Funktionieren ist **nicht vorhanden**.

Ein wichtiges diesbezügliches Dokument ist jedoch die Veröffentlichung von HAERRY (1917), welche die Ansichten bzw. die Situation anfangs dieses Jahrhunderts sehr gut wiedergibt. Diese Publikation ist auch deshalb von grossem Interesse, da sie den Zeitgeist dieser Epoche aufzeigt, der zu der weiteren Entwicklung bzw. zum weiteren Bau (und auch zu Schliessungen) von Fischaufstiegshilfen geführt hat. An dieser Stelle sollen deshalb einige der von diesem Autor erwähnten Aspekte wiedergegeben werden.

3.1 Die Situation in der Schweiz zu Beginn des Jahrhunderts

Die in HAERRY (1917) dargestellten Informationen wurden mittels Umfragen an die Wasserkraftanlagen mit Fischpässen sowie an die Kantonsregierungen zusammengestellt.

Während man heute davon ausgeht, dass verschiedenste Fischarten Wanderungen unternehmen oder doch gewisse Ortsveränderungen durchführen und gerade auch ökonomisch weniger wichtige, häufig bedrohte Fischarten stärker gewichtet werden, setzte man zu Beginn dieses Jahrhunderts teilweise noch andere Schwerpunkte: Es wurde betont, dass wirtschaftlich wichtige Wanderfische wie Lachs und Maifisch unbedingt auf Fischtreppen angewiesen seien. Auf der anderen Seite konsumiere beispielsweise der Aal mehr Nahrung als er der Schweiz bringe, weshalb sein Aufstieg nicht gewährleistet werden müsse. Für Wanderfische, welche im Süsswasser verbleiben (Forelle, Nase, Aesche, Alet und Barbe), seien drei Alternativen möglich:

1. Der Bau einer guten Fischleiter.
2. Fang der laichreifen Fische unterhalb des Wehres, welche im Oberwasser wieder ausgesetzt werden.
3. Fang laichreifer Fische, Befruchtung und Aufzucht in einer Fischzucht, danach Einsetzen der Jungfische oberhalb des Wehres.

Zudem wurde betont, dass durch Wehre zerstückelte Gewässer jeweils die verschiedenen, für die jeweiligen Fischarten notwendigen Habitate (z.B. Kies für Kieslaicher, tiefe Rückzugsstellen) aufweisen müssen, da sonst die Fischfauna durch künstliche Fischzucht unterstützt werden müsse.

Während in der Schweiz und an Grenzgewässern 1882 erst 13 Fischwege vorhanden waren, gab es **1917** bereits **72 Aufstiegshilfen**. Diese sind in der Publikation beschrieben (z.T. mit Plänen und Photos) und verteilen sich auf die verschiedenen Flusssysteme wie folgt:

- Rhein: 13 + 5 auf ausländischem Gebiet
- Aare: 29
- Reuss: 5
- Limmat: 7
- Rhone: 13

Es wurde festgestellt, dass bei der Verteilung der Fischwege auf die verschiedenen Flussgebiete der Schweiz auffallend war, dass bestimmte Gewässersysteme keinerlei derartige Anlagen aufwiesen (in der Hälfte aller Kantone bestanden keine künstlichen Fischwege), während sie an anderen gehäuft vorkamen. Daraus wurde geschlossen, dass in dieser Fragen bei Behörden und Fischereiinteressenten eine grosse Unsicherheit bestand, eine einheitliche und systematische Politik fehlte.

Wichtig ist jedoch nicht nur die Zahl solcher Anlagen, sondern v.a. auch deren Wirksamkeit. Da es schon damals wie auch heute (s. Kap. II.3.2) an sicheren diesbezüglichen Beobachtungen meist fehlte, widersprachen sich die gemachten Angaben vielerorts. Zusammenfassend wurde jedoch die Wirksamkeit dieser Anlagen wie folgt wiedergegeben:

| Wirksamkeit | Anzahl | % |
|---------------------------------------|--------|----|
| gänzlich unwirksam | 32 | 45 |
| Wirksamkeit nicht sicher festgestellt | 14 | 19 |
| Benützung vereinzelt festgestellt | 3 | 4 |
| Benützung sicher festgestellt | 20 | 28 |
| noch keine Erfahrung | 3 | 4 |

Der Autor fand es bezeichnend für die Unsicherheiten in dieser Problematik, dass die Wasserwerke zwar auf Weisung der Behörden Fischtreppen errichten mussten, die Behörden für deren Wirksamkeit jedoch keine Verantwortung übernahmen.

Einzelne Kantone, so der Kanton Graubünden, waren von der Erstellung solcher Anlagen ganz abgekommen und schrieben vielmehr Pflichtbesätze vor.

Interessant ist zudem, weshalb manche Kantone auf den Bau von Fischtreppen verzichteten, was an einem Beispiel des Kantons Neuchâtel dargestellt wird. Das neuenburgische Fischereiinspektorat sah damals davon ab, in der Areuse bei Grandchamp eine Fischtreppe zu erstellen, und zwar u.a. aus folgenden Gründen:

- Es sei nicht wünschenswert, dass Weissfische und der Aal bis zur nächsten Sperre gelangen, da sie eher schaden denn nützen, indem sie den Forellen die Nahrung wegnehmen.
- Trütschen und Aale schaden dem Laich der Forellen und anderer Fische.

- Wegen der Verschleppung von Fischkrankheiten sei es besser, wenn Sperrn beständen.
- Gewässer mit Krebsen, Forellen und Aeschen geben den besten Ertrag. Es sei deshalb zwecklos, mit grossen Kosten Fischtreppe zu erstellen, die auch den wertlosen Fischen das Aufsteigen in die Gewässer gestatten.
- Durch Abflussschwankungen könne es zum Austrocknen von Laichplätzen kommen, weswegen es von Vorteil sei, dass die Forellen nicht zu weit hinaufsteigen. Zudem sei es besser, die Wasserwerksbesitzer Pflichteinsätze durchführen zu lassen, als Fischtreppe zu erstellen (Spezialfälle ausgenommen).

Bereits damals wurde betont, dass es neben den Wasserwerken natürliche Wanderungshindernisse gibt sowie solche, welche durch Flusskorrekturen entstanden sind. Zudem wurde auf den Verlust von wichtigen Habitaten beispielsweise durch Uferverbauungen hingewiesen, ohne dass die Öffentlichkeit die Fischerei entschädigen müsste.

Aus den obigen Ausführungen schloss der Autor u.a. folgendes:

- In der Schweiz ist **kein planmässiges Vorgehen** bezüglich des Baus von Fischwegen zu erkennen.
- Gemäss Erfahrungen aus der Schweiz und dem Ausland **funktionieren** Fischtreppe meist **schlecht**.
- Einen befriedigenden Ersatz für künstliche Fischwege bietet die **Bewirtschaftung** abgeschlossener Gewässerstrecken mittels künstlicher Fischzucht. Geschlossene Gewässerstrecken bieten für einen rationalen Fischereibetrieb wesentliche Vorteile.
- Die **Ausgaben** für die erstellten und noch zu erstellenden Fischwege sind bei aller Anerkennung der wirtschaftlichen Bedeutung der Fischerei in **keinem Verhältnis** zu dem geringen, teilweise problematischen Nutzen, die sie für die Fischerei haben. Auf die Erstellung solcher Anlagen sollte verzichtet werden; die Wasserkraftwerke sollten vielmehr verpflichtet werden, Beiträge an die Kosten der Fischereibewirtschaftung der einzelnen Gewässerstrecken zu entrichten.

In den folgenden Jahren wurde keine derart umfassende Publikation über die Fischaufstiegshilfen der Schweiz mehr herausgegeben, so dass schwer nachvollziehbar ist, wie die Entwicklung weiter fortgeschritten ist bzw. welche Auswirkungen der zitierte Bericht auf den weiteren Verlauf des Baus von Fischaufstiegshilfen gehabt hat. Es ist jedoch anzunehmen, dass einige der daraus gezogenen Schlussfolgerungen tatsächlich angewandt wurden, so beispielsweise die Pflicht des Fischbesetzes für Wasserkraftwerke anstelle des Baus einer Fischtreppe. Mit dieser Auflage wurden gar schon erstellte Fischwege wieder zugemauert.

Es fällt auf, dass in dieser frühen Literatur stets von "wertvollen" und "wertlosen" Fischarten die Rede ist, eine Terminologie, welche heute und nach neuem Fischereigesetz vom 21. Juni 1991 nicht mehr verwendet wird. Ausserdem beziehen sich die Ausführungen einzig auf Fische; Makroinvertebraten wurden bei früheren Untersuchungen bzw. Ueberlegungen überhaupt nie erwähnt.

3.2 Aktuelle Situation der Schweiz

3.2.1 Einleitung

Spätere Untersuchungen über Fischpässe bzw. Fischpasskontrollen wurden fast immer nur an grossen Wasserkraftwerken durchgeführt (STEINMANN, 1935, 1937; LAMPERT & LINK, 1971; STAUB, 1988; ENZMANN, 1992; ZEH, 1993).

STEINMANN stellte dabei jedoch schon 1935 Berechnungen über die eine Fischtreppe aufsteigenden Fische auf und kam zum Schluss, dass Fische eine grosse "Kapitalanlage" darstellen, die geschützt werden sollte. 1937 stellte er zudem aufgrund von Markierungen fest, dass die Mehrheit der bis anhin als "Standfische" bezeichneten Arten als mehr oder weniger "wanderlustig" bezeichnet werden müsse.

Gemäss VISCHER (1991) gibt es in der Schweiz einige hundert Fischtreppen, wobei jedoch eine **Gesamtübersicht mit Angaben über ihre Wirksamkeit fehlt**. Ihre Erforschung zwecks Verbesserung ist immer nur auf einige wenige Objekte beschränkt (z.B. im Laufe einer UVP). Der Autor kommt zum Schluss, dass die Entwicklung von Fischtreppen noch keineswegs abgeschlossen ist.

3.2.2 Aktuelle Situation

Um eine Uebersicht über die Fischaufstiegsanlagen der Schweiz zu erhalten, wurde 1993 eine Umfrage bei einigen kantonalen Fischereiverwaltungen durchgeführt. Die Resultate fielen sehr unterschiedlich aus: Während teilweise nichts über Fischaufstiegshilfen bekannt war, waren bei anderen Kantonen detaillierte Informationen über einzelne derartige Anlagen sowie vereinzelt Inventare vorhanden. Die in Tab. 1 wiedergegebenen Zahlen geben somit nur einen unvollständigen Ueberblick über bestehende Fischaufstiegshilfen wider.

Die Umfrage hat ergeben, dass die meisten der bestehenden Fischaufstiegsanlagen aus klassischen Beckenpässen bestehen. Obwohl in der neusten Literatur (z.B. GEBLER, 1991; DVKW, 1996) auf die Vorteile von Umgehungsgerinnen hingewiesen wird, werden solche in der Schweiz noch sehr selten gebaut (z.B. bei Kleindietwil an der Langete sowie bei Wildeggen am Aabach). Da diese natürlicheren Aufstiegsanlagen mehr Raum als klassische Fischtreppen benötigen, ist damit zu rechnen, dass auch in nächster Zeit eher Beckenpässe errichtet werden.

Abb. 4 zeigt, dass der Anteil der Kraftwerke, welche über eine Fischaufstiegshilfe verfügen, 1993 noch sehr gering war.

Tab. 1: Vergleich der Anzahl bestehender und geplanter Fischaufstiegshilfen 1917 (HAERRY, 1917) und 1993 (Umfrage bei den kantonalen Fischereiverwaltungen).

| Kanton | Anzahl Aufstiegshilfen 1917 | Anzahl Aufstiegshilfen 1993 in Klammern: bei grossen KW |
|------------------|-----------------------------|--|
| Aargau | 9 | ca. 20 (18) |
| Appenzell A. Rh. | 0 | 0 |
| Basel-Stadt | 0 | 1(1) |
| Bern | 7 | 45 (ca. 14) |
| Glarus | 0 | 4 |
| Graubünden | 0 | 17 |
| Luzern | 2 | 2 |
| Nidwalden | 0 | 0 |
| Obwalden | 0 | 1 |
| Schaffhausen | 0 | 3(1) |
| Solothurn | 2 | 2 |
| Thurgau | 0 | 2 |
| Uri | 0 | 1 |
| Neuchâtel | 7 | 1 |
| Jura | 0 | 0 |
| Waadt | 14 | 4 |
| Wallis | 2 | 1 |

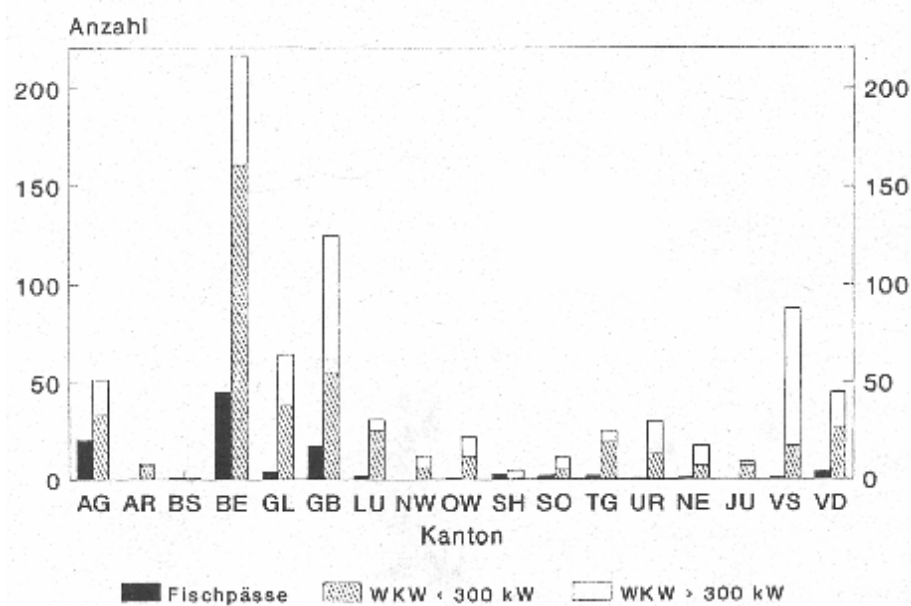


Abb. 4: Anzahl Fischaufstiegshilfen im Vergleich zur Anzahl der Inbetrieb stehenden Wasserkraftwerke (Umfrage bei den kantonalen Fischereifachstellen; BWW, 1987).

Diese Situation ist heute stark im Wandel begriffen: Mit den neuen gesetzlichen Vorgaben sowie aufgrund derzeit häufig vorgenommener Konzessionserneuerungen werden heute verschiedenste neue Fischaufstiegsanlagen gebaut resp. bestehende saniert. Einzelne Kantone sind zudem daran, ihre Kleinwasserkraftwerke inkl. deren Fischaufstiegsmöglichkeiten zu inventarisieren, wodurch sich der diesbezügliche Wissensstand in nächster Zeit stark verbessern wird bzw. viele Fischaufstiege gebaut werden dürften.

In Tab. 2 ist ein Vergleich der Beurteilungen (1917 und 1993) der Wirksamkeit der Aufstieghilfen dargestellt. Daraus geht hervor, dass heute im Vergleich zu früher mit der Beurteilung dieses Kriteriums vorsichtiger umgegangen wird: Wurden 1917 noch 45 % der Anlagen als "gänzlich unwirksam" beschrieben, waren es 1993 nur noch deren 1 %. Eine sichere Benützung wurde 1917 in 28 %, 1993 in 12 % festgestellt. Die Wirksamkeit des weitaus grössten Teils der Anlagen war 1993 jedoch nicht sicher resp. es lagen keine Angaben vor (66 %). Dies bestätigt die Tatsache, dass Aufstiegskontrollen hauptsächlich bei Fischaufstiegshilfen grosser Kraftwerke stattfinden, während diesbezüglich bei KWK noch sehr grosse Wissenslücken bestehen.

Teilweise sind indirekte Hinweise vorhanden, dass die Fischtreppe zumindest von einigen Arten bzw. gewissen Stadien überwunden werden (in der Langeten wurden beispielsweise Aeschensömmerlinge eingesetzt und später oberhalb von drei solcher Anlagen wiedergefunden).

Tab. 2: Beurteilung der Wirksamkeit der Fischaufstiegsanlagen 1917 (HAERRY, 1917) und 1993 (Umfrage).

| Wirksamkeit | 1917 [%] | 1993 [%] |
|--|-------------|-------------|
| gänzlich unwirksam | 45 | 1 |
| Benützung vereinzelt festgestellt | 4 | 4 |
| Benützung sicher festgestellt | 28 | 12 |
| Wirksamkeit nicht sicher/keine Angaben | 19 | 66 |
| noch keine Erfahrung | 4 | 18 |

Zusammenfassend muss jedoch geschlossen werden, dass der **Wissensstand** über Fischaufstiegshilfen bei KWK sowie deren Funktionieren in der Schweiz **sehr schlecht** ist.

Auch der Kenntnisstand über die Fischfauna variiert je nach Gewässersystem stark. Es muss davon ausgegangen werden, dass die Fischpopulationen in einer Vielzahl unserer Gewässer sehr stark vom Besatz geprägt werden. Je nach Besatzpolitik kann dies u.a. dazu führen, dass zu viele Fische eingebracht werden (Konkurrenz mit der "natürlich" vorhandenen Population), ortsfremde Rassen eingesetzt werden, welche nicht optimal an die jeweiligen Standorte angepasst sind, fremde Arten ins Gewässer gelangen (kann der

heimischen Fauna schaden; gemäss neuem Fischereigesetz verboten). Die Fischfauna wird zudem stark von Verbauungen, der Wasserqualität und anderen Faktoren beeinflusst. Wie aus der Roten Liste der Fische und Rundmäuler der Schweiz (KIRCHHOFER et al., 1990) hervorgeht, umfasst die Fischfauna unseres Landes insgesamt 65 Arten, wovon heute 7 ausgestorben, 4 vom Aussterben bedroht, 6 stark gefährdet und 9 gefährdet sind. Dabei fällt auf, dass besonders viele Kleinfischarten sowie Arten, die aufgrund ihres Lebenszyklusses Wanderungen durchführen, ausgestorben bzw. besonders bedroht sind. Gemäss dem Fischatlas der Schweiz wird dies in vielen Fällen zumindest teilweise der Barrierewirkung von Wasserwerken zugeschrieben (PEDROLI et al., 1991).

Als Beispiel mag der Lachs gelten: Während er früher vom Meer her den Rhein emporkommend bis über den Brienersee hinaus aufsteigen konnte, gelangt er heute trotz vieler Bemühungen und einer Verbesserung der Wasserqualität nicht mehr bis in unser Land. Seitens der Fischereibiologen wird deshalb u.a. gefordert, dass **künstlich errichtete Wanderungsbarrieren** sowohl für Langdistanzwanderer wie auch für unsere einheimischen Fische inkl. Kleinfischarten wieder **durchgängig** gestaltet werden sollten, um die Artenvielfalt unseres Landes zu bewahren bzw. damit die Fische sich möglichst auf natürliche Art erhalten können.

3.3 Situation in verschiedenen Ländern

Aus der Literatur geht hervor, dass der Entwicklung bzw. Ueberprüfung von Aufstiegs-hilfen in verschiedenen Ländern grosse Bedeutung beigemessen wird, wovon im folgenden einige Beispiele angeführt werden. Auch im Ausland wurden dabei die meisten Untersuchungen an grossen Anlagen und nicht bei Kleinwasserkraftwerken durchgeführt.

Ausführliche Untersuchungen wurden beispielsweise in Deutschland an der Mosel getätigt (PELZ, 1985). Dabei sind folgende Resultate auch für Anlagen bei KWK von Bedeutung:

- Es wurden grosse Unterschiede im tageszeitlichen Verhalten des Aufstiegs der Fische festgestellt: Die maximale Aufstiegsdichte wurde am frühen Nachmittag konstatiert; Forellen stiegen zu etwa 86 % tagsüber auf. (ZEH, 1993, beobachtete beispielsweise beim KW Reckingen signifikant höhere Aufstiegsraten in der Nacht, wobei es sich dort hauptsächlich um Barben handelte). Es kommt somit stark darauf an, wie die aufsteigende Fischfauna zusammengesetzt ist.
- Jede Anlage wies spezifische Probleme auf, so z.B. die Verlandung einzelner Becken oder sehr viel Geschwemmseintrag.
- Es konnte festgestellt werden, dass die Veränderungen der Fischfauna oft vielmehr mit dem Verschwinden geeigneter Habitate für verschiedene Arten bzw. mit der Umstrukturierung der Flussstruktur in Zusammenhang standen als mit den eigentlichen Migrationsbarrieren. Dies gilt jedoch hauptsächlich für grosse Kraftwerke, während wie bereits erwähnt diese Veränderungen bei KWK weniger ins Gewicht fallen.

GEBLER (1989) führte ein Inventar der bestehenden Anlagen in Baden-Württemberg durch. Er kam zum Resultat, dass die meisten Aufstiegshilfen als herkömmliche Fischpässe gestaltet sind. Er stellte fest, dass die meisten Anlagen **nicht funktionsfähig** waren. Dies wurde nicht nur bei alten, sondern teilweise auch bei in neuerer Zeit erstellten Anlagen konstatiert. Die Schwierigkeit, funktionierende Anlagen zu bauen, liegt hauptsächlich darin, dass **ein einziger nicht beachteter Teilaspekt zur vollständigen Funktionsuntüchtigkeit der Anlage** führen kann. Die am häufigsten festgestellten Mängel an den bestehenden Anlagen Baden-Württembergs waren:

- falsche Anordnung am Aufstiegshindernis
- zu steile Gestaltung des Fischaufstieges
- zu kleine Becken
- fehlerhafte Dimensionierung der Schlupflöcher und Kronenausschnitte
- zu geringe Wassertiefe am Einstieg
- zu geringe oder zu hohe Wasserführung
- Manipulation an den Anlagen (durch Kraftwerkbetreiber, aber auch durch Fischwasserpächter aus Furcht vor Abwanderung der Fische)
- mangelhafte Wartung (Verstopfung durch Geschwemmsel, Verschlammungen)

In Frankreich wird im Bereich von Fischpassanlagen ausgiebig geforscht und entwickelt, wobei auch hier meist grössere Fließgewässer und eher Langdistanzwanderer untersucht werden. Viele Anlagen werden dort vor Baubeginn anhand von Modellversuchen getestet.

In den USA, wo noch viele Flüsse Langdistanzwanderer beherbergen und zudem oft Kraftwerke mit sehr grossem Gefälle vorhanden sind, wurde u.a. viel Gewicht auf die Entwicklung anderer Methoden des Aufstiegs gelegt, so auf Fischschleusen, Fischlifte oder das Einsammeln von Fischen und deren Aussetzen im Oberwasser mittels Zisternenwagen.

3.4 Schlussfolgerungen

Aufgrund der vorangehenden Kapitel lässt sich folgendes festhalten:

- Wie verschiedene Begehungen bzw. Gespräche mit Besitzern von KWK und Fischereiinteressenten ergeben haben, ist die Situation bezüglich Aufstiegshilfen sowohl für die Kraftwerkbesitzer wie auch die Fischer oft nicht befriedigend. Es wäre deshalb von grossem Nutzen, das **Funktionieren bestehender Anlagen zu überprüfen** bzw. bei Neuanlagen zu fordern, dass diese überprüft und gegebenenfalls noch **abgeändert** werden.
- Die Einteilung der Fischfauna in "wertlose" und "wertvolle" Arten ist überholt; ökonomisch wenig genutzte Arten sind heute oft stark gefährdet. Fischwege sollten deshalb **allen** Fischarten, welche aufsteigen oder wandern müssen, den Aufstieg gewährleisten.
- Aquatische Wirbellose spielen eine sehr wichtige Rolle im Ökosystem Fließgewässer. Wie in Kap. III aufgezeigt wird, führen auch sie eine Vielzahl von

Ortsveränderungen bzw. Wanderungen durch. Diesen Benthosorganismen sollte deshalb künftig sowohl im **Wasserbau** wie auch in der Planung und Ausführung von **Aufstiegsanlagen** ebenfalls **Beachtung geschenkt** werden. Die Anforderungen für Kleinfische und Benthosorganismen im Wasserbau sind beinahe deckungsgleich, so dass sich geringe Änderungen positiv auf verschiedenste Organismen auswirken können. Auf diesem Gebiet bestehen sehr grosse **Wissenslücken** bzw. ein grosser **Handlungsbedarf**.

- Wie in Kap. II.3 beschrieben wurde, ist davon auszugehen, dass auch in nächster Zukunft in der Schweiz **eher technische als naturnahe Fischaufstiegsanlagen** gebaut werden. Es ist deshalb sinnvoll und praxisnah, auch die technischen Anlagen zu überprüfen bzw. zu verbessern und nicht nur Anlagen weiterzuentwickeln, welche in der Praxis bisher erst in sehr seltenen Fällen zum Einsatz kommen.
- Viele, **für den Betrieb** von Fischwegen **wichtige Gesichtspunkte** sind **noch ungenügend bekannt**. Es wäre beispielweise wichtig, mehr über das saisonale und tageszeitliche Verhalten der verschiedenen Organismen zu wissen, um z.B. entscheiden zu können, ob der Betrieb der Aufstiegshilfe zu bestimmten Jahres- bzw. Tageszeiten eingestellt werden könnte (Optimierung des Einsatzes von Lockwasser). Aufgrund der heute vorhandenen Kenntnis kann die Frage über die **Notwendigkeit eines Dauerbetriebes** von Fischaufstiegsanlagen **nicht schlüssig beantwortet** werden (ENZMANN, 1996).

Zusammenfassend kann ausgesagt werden, dass über Fischwege im Bereich von KWK grosse Wissenslücken bestehen, dass diese weiter entwickelt werden sollten und insbesondere bezüglich Kleinfischarten sowie Makroinvertebraten noch viel Grundlagenarbeit zu leisten ist.

Im folgenden Kapitel wird deshalb anhand von Literaturangaben auf die Besonderheiten der aquatischen Wirbellosen bezüglich ihres Fortbewegungs- bzw. Wanderverhaltens näher eingegangen.

III. LITERATURSTUDIE ÜBER DIE ORTSVERÄNDERUNGEN VON MAKROINVERTEBRATEN IN FLIESSGEWÄSSERN

1. EINLEITUNG

Makroinvertebraten, auch Benthosorganismen oder "Fischnährtiere" genannt, sind aquatische Wirbellose. Ein Grossteil von ihnen sind im Wasser lebende Insektenlarven, wie z.B. Steinfliegen, Köcherfliegen oder Zweiflügler. Daneben gibt es aber auch viele Vertreter anderer Taxa, u.a. der Krebse, der Würmer und der Weichtiere. Im Zusammenhang mit den in diesem Projekt behandelten Aufstiegshilfen lassen sich zwei wichtige Gruppen voneinander unterscheiden:

- Wirbellose, die ihr ganzes Leben im Wasser verbringen (**holoaquatische** Taxa). Dazu gehören beispielsweise manche Schnecken, Egel und Flohkrebse.
- Organismen, die sich nur während einer gewissen Zeitspanne ihres Lebens im Wasser aufhalten und daneben eine terrestrische Phase aufweisen (**amphibiotische** Taxa). Dazu gehören die Larven vieler Insekten, so beispielsweise von Libellen, Zuckmücken und Eintagsfliegen.

Im Gegensatz zur oben erwähnten Gruppe haben diese Tiere die Möglichkeit, sich im geflügelten Stadium an Land fortzubewegen, also beispielsweise gegen die Strömungsrichtung flussaufwärts zu fliegen.

Makroinvertebraten fanden in der Gewässerbiologie schon früh grosse Beachtung, wobei sie jedoch hauptsächlich zur Beurteilung der Gewässergüte herangezogen wurden. Als Beispiel sei das Saprobien-system angeführt, als dessen Autoren KOLKWITZ & MARSSON (1909) gelten. Obwohl sie seither als Gewässergüteindikatoren verschiedener Methoden verwendet werden und ihre Wichtigkeit im aquatischen Oekosystem gut bekannt ist, fanden sie bisher im Wasserbau kaum oder gar keine Beachtung.

Sie stellen oft ähnliche Ansprüche wie Kleinfischarten bzw. Jungfische, sind ökonomisch auf den ersten Blick aber weniger interessant als die Fischfauna, was zu gewissen Forschungsdefiziten beigetragen haben dürfte. Während beispielsweise weitem geläufig ist, dass viele Fische Wanderungen durchführen, ist den meisten nicht bekannt, dass auch Wirbellose oft beträchtliche Strecken zurücklegen. Zudem ist das Arbeiten mit Makroinvertebraten im Feld aufgrund ihrer kleinen Körpergrösse sehr schwierig und bedingt meist einen grossen Arbeitsaufwand bzw. spezielle Untersuchungsmethoden.

Wie aus der Literaturliste im Anhang hervorgeht, sind seit den 50-er Jahren sehr viele Arbeiten über das Verhalten - und insbesondere auch über das Migrations- und Fortbewegungsverhalten - dieser Tiere durchgeführt und verschiedene Thesen darüber aufgestellt worden. Trotz dieses teilweise grossen Wissensstandes wurde jedoch dessen **Umsetzung in die Praxis** vielfach **nicht** vollzogen. Viele Arbeiten wurden zudem unter Laborbedingungen durchgeführt, so dass deren Resultate nicht immer auf die dynamischen Verhältnisse der Fliessgewässer übertragen werden können.

Im folgenden werden verschiedene Arbeiten vorgestellt, welche wichtige Grundlagen für die Entwicklung von für Wirbellose passierbaren Aufstiegshilfen enthalten. Dabei werden

die unterschiedlichen Bewegungen dieser Tiere (Drift, Aufwärtsbewegungen etc.) sowie ihre Bedeutung und Besonderheiten ausführlich dargestellt.

2. ORTVERÄNDERUNGEN VON AQUATISCHEN WIRBELLOSEN

Wie das Beispiel in Abb. 5 zeigt, führen auch aquatische Wirbellose mannigfaltige Ortsveränderungen durch. Diese können wichtige populationsdynamische Faktoren darstellen und sollen deshalb nachfolgend dargestellt werden.

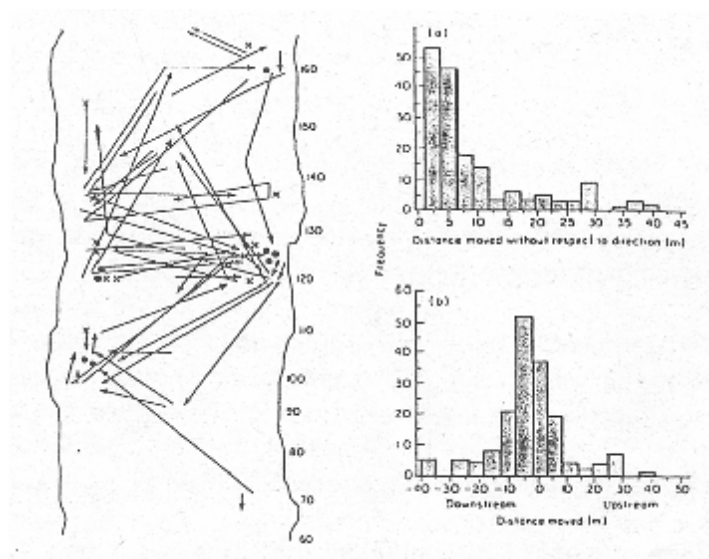


Abb. 5: a) Ortsveränderungen markierter Individuen der Steinfliegenlarve *Pteronarcys* (Anzahl Tage zwischen Markierung und Wiederaufstieg zwischen 7 und 18,5; Zahlen stellen die Distanz zur Mündung in Metern dar).
 b) Bei diesen Ortsveränderungen zurückgelegte Distanzen derselben Art (FREILICH, 1991).

2.1 Drift von Makroinvertebraten

Zu Beginn dieses Jahrhunderts wurde erforscht, welches Schicksal ins Wasser gefallene Insekten erleiden. Als Nebenprodukt dazu wurde entdeckt, dass auch aquatische Wirbellose mit der Strömung verdriftet werden ("**Drift**"). In den 50-er Jahren brachten hauptsächlich die Arbeiten von MUELLER bessere Kenntnisse über dieses Verhalten. Später wurde zudem entdeckt, dass die Drift oft tageszeitliche Periodizitäten (Aktivitätsmaxima zu bestimmten Tages- bzw. Nachtzeiten) aufweist. Viele Arbeiten wurden dann in den 70-er Jahren sowie in neuerer Zeit durchgeführt. Daraus ging hervor, dass die Drift in den wenigsten Fällen ein passives, zufälliges Verhalten ist, sondern dass sie von verschiedensten Faktoren beeinflusst wird (s. Abb. 6).

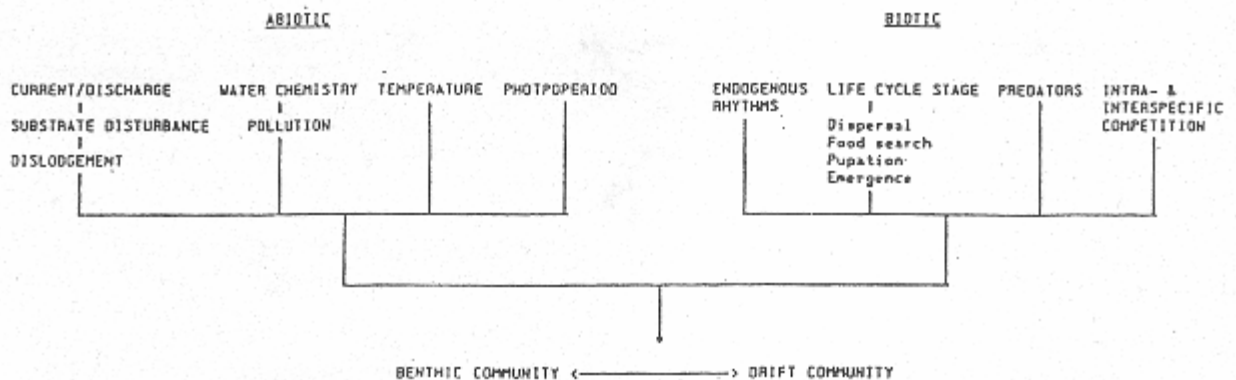


Abb. 6: Modell der biotischen und abiotischen Faktoren, welche sich auf die Drift auswirken (BRITAIN & EIKELAND, 1988).

2.1.1 Typen der Drift

Drift kann in folgende Kategorien eingeteilt werden:

- **Katastrophendrift** tritt v.a. bei Hochwasser auf, wenn das Sohlsubstrat in Bewegung gerät und die Tiere damit verdriftet werden.
- Die **Verhaltensdrift ("behavioural drift")** umfasst verschiedene Bereiche, welche in den letzten Jahren ausführlich untersucht wurden. Dabei wird oft zwischen **aktiver Drift** (die Tiere treten aktiv in die Wassersäule ein) und **passiver Drift** (Tiere driften aufgrund ihres Verhaltens, werden beispielsweise während der Nahrungssuche vom Substrat weggespült) unterschieden.
- Die **Verteilungsdrift ("distributional drift")** wird als Methode angesehen, durch welche die Tiere im Gewässerverlauf geeignete Habitate finden können. Sie betrifft v.a. sehr junge Stadien kurz nach dem Schlüpfen.
- Die **konstante oder Hintergrunddrift ("constant oder background drift")** umfasst nur wenige Tiere, welche zufälligerweise und unabhängig von der Tageszeit vom Untergrund weggespült werden.

2.1.2 Zusammensetzung der Drift

Die meisten Versuche werden in Fließgewässern gemäßigter Regionen durchgeführt. Dort sind gewöhnlich die Insektentaxa Ephemeroptera (Eintagsfliegen), Simuliiden (Kriebelmücken), Plecoptera (Steinfliegen) und Trichoptera (Köcherfliegen) in grossem Umfang in der Drift vertreten. Dies ist nicht erstaunlich, wenn man bedenkt, dass diese meist auch das Benthos dieser Gebiete dominieren. Daneben können aber auch Chironomiden (Zuckmücken) und Amphipoden, insbesondere Gammariden (Flohkrebse) grosse Fraktionen der Drift ausmachen. Andere Taxa sind zwar im allgemeinen nur selten in der Drift vertreten, können aber gelegentlich in grosser Anzahl darin vorkommen, so beispielsweise Mollusken (Weichtiere) und Hirudinea (Egel).

Die meisten Stadien dieser Tiere sowie ihre Exuvien (leere Larvenhaut nach Häutung) kommen in der Drift vor. Bei den Insekten dominieren aber meist grössere Larven bzw. Nymphen.

2.1.3 Saisonalität/Diurnales Verhalten

Die Abwärtsverfrachtung bzw. -wanderung dieser Tiere bleibt nicht das ganze Jahr über gleich, sondern variiert je nach Jahreszeit. In unseren Breiten ist normalerweise im **Winter** ein **Minimum** zu beobachten.

Sehr viele Untersuchungen haben gezeigt, dass die Drift **nachts** zunimmt, insbesondere gleich nach Sonnenuntergang sowie - in jedoch geringerem Masse - vor der Dämmerung ("Bigeminus"). Dies ist eine generelle Aussage. Betrachtet man jedoch einzelne Taxa, verhalten sich diese teilweise umgekehrt bzw. zeigen keinen Unterschied zwischen Tag und Nacht. Dieses tageszeitliche Verhalten kann auch je nach Lebensstadium klar variieren.

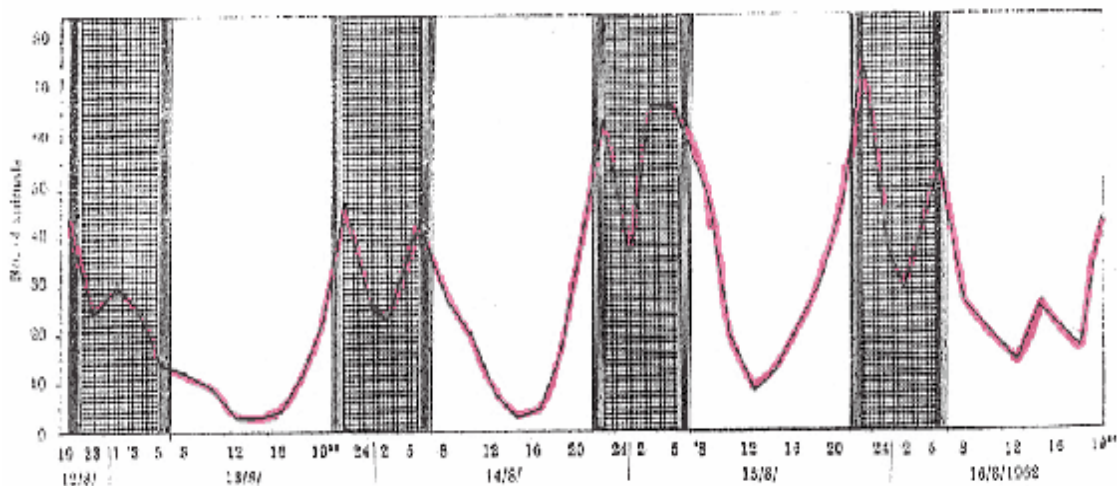


Abb. 7: Diurnalität der Drift von *Gammarus pulex* (MUELLER, 1963).

2.1.4 Quantitative Aspekte

Die Anzahl Tiere, welche sich in Drift befinden, variiert erheblich je nach Fließgewässer, aber auch innerhalb eines Fließgewässers. Einige Autoren haben auszurechnen versucht, wieviele Prozente des Benthos sich zu einem gegebenen Zeitpunkt gerade in Drift befinden. Die dadurch ermittelten Zahlen bewegten sich meist im Rahmen von 0.004 - 13 %. Die Raten schwankten dabei zwischen 0 % (*Psidium*, [Erbsenmuschel]) und 14 % (*Plectrocnemia conspersa*, eine netzspinnende Köcherfliege).

Die Driftdichten variieren erheblich. Bei Insekten kann ausgesagt werden, dass ihre Dichte für eine bestimmte Art 100 Individuen/m³ selten überschreitet. Dabei weisen bestimmte Taxa, beispielsweise die Eintagsfliege *Baetis*, besonders hohe Dichten auf. Auch die Dichten für Flohkrebse (Gammariden) variieren erheblich; verschiedene Untersuchungen zeigten Dichten von bis zu 5 Tieren pro m³.

2.1.5 Distanzen

Es hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie weit ein Tier driftet (Tierart, Lebensstadium, Lichtintensität, Strömungsgeschwindigkeit, Substrat etc.). Die Driftstrecken variieren somit je nach Bedingungen beträchtlich: Sie betragen oft nur einige **Zentimeter bis Meter**, aber auch Strecken von **mehreren hundert Metern** wurden ermittelt. Solch grosse Strecken treten oft nach Hochwasser auf.

Obwohl die täglichen Distanzen der Drift meist relativ kurz sind, wurde beispielsweise bei Wirbellosen im Fluss Wye (Wales) beobachtet, dass dort einige Taxa im Laufe einer Generation bis zu 10 km flussabwärts verdriftet worden waren.

Ueber das individuelle Driftverhalten ist dagegen nur wenig bekannt. Beim Flohkrebs *Gammarus* wurde festgestellt, dass Individuen, die in einer Nacht drifteten, dieses Verhalten auch in der nächsten wieder aufwiesen. Dagegen gab es Tiere, die in diesen Nächten im Gegenteil dazu stets flussaufwärts wanderten.

2.1.6 Bedeutung der Drift

Es wurden verschiedene Versuche durchgeführt, anhand welcher gezeigt werden konnte, welche Bedeutung die Drift für neue, unbesiedelte bzw. entleerte Lebensräume hat. Je nach Untersuchung lag der Prozentsatz der Neubesiedler, welche durch Drift in diese Bereiche einwanderten, bei 42 % (WILLIAMS & HYNES, 1976) und 82 % (TOWNSEND & HILDREW, 1976). Diese Zahlen zeigen, dass die Drift einen **wichtigen populationsdynamischen Faktor** darstellt.

Die Drift spielt auch eine wichtige Rolle für den Nahrungserwerb verschiedener Tierarten. So ernähren sich verschiedene Fische, aber auch Wirbellose (z.B. netzspinnende Köcherfliegenlarven) hauptsächlich aus Organismen der Drift. Es wird postuliert, dass das oft festgestellte nächtliche Maximum der Drift eine evolutionäre Anpassung der Wirbellosen ist, um dadurch visuell jagenden Prädatoren (Raubtieren), so beispielsweise der Forelle, ausweichen zu können.

Die Drift erlaubt es Organismen, ungünstigen physikalischen, chemischen oder biologischen Bedingungen auszuweichen sowie neue Lebensräume zu besiedeln. Es ist jedoch immer noch sehr schwierig, die genaue Bedeutung der Drift einzuschätzen, da viele diesbezügliche Untersuchungen eher beschreibender Art sind, und einige Aspekte der Drift noch immer unbekannt sind.

2.2 Der Kolonisationszyklus nach MÜLLER

Obwohl der Begriff "Drift" bereits in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts bekannt war, wurde der Prozess der Makroinvertebratendrift erst in den 50-er Jahren näher erforscht, wobei MUELLERS Arbeit über die "Drift in fliessenden Gewässern" (1954) ein Meilenstein in diesem Bereich darstellt. Die Untersuchungen dieses Autors wurden in späteren Arbeiten stets wieder erweitert und überprüft, wobei sein Begriff "**Kolonisationszyklus**" ("Besiedlungskreislauf", "colonization cycle") trotz viel Kritik und gegenteiligen Beobachtungen heute allgemein bekannt ist.

Dieser Autor stellte fest, dass ein künstlich ausgeräumtes Bachbett durch eine stromabwärts erfolgte Wanderbewegung, die Drift, erstaunlich rasch wiederbesiedelt wurde. MUELLER war der Ansicht, dass viele Tiere sich nicht gegen die Wasserströmung fortbewegen können, auf der anderen Seite jedoch eine in ihrer Dichte und Zusammensetzung schwankende, aber stetige Drift vorhanden ist. Würde diese nicht ausgeglichen, würde es zu einer **stetigen Verarmung der oberhalb liegenden Fließgewässerbereiche** kommen. Wie jedoch Untersuchungen ergeben haben, tritt eine derartige Verminderung nicht ein.

Der Autor folgerte daraus, dass ein natürliches Regulativ besteht, indem (wie von verschiedenen Zoologen beobachtet worden war) die **Adulttiere** während ihrer terrestrischen Phase **gegen die Strömungsrichtung** des Fließgewässers fliegen. Die Eiablage erfolge so immer an der oberen Grenze des natürlichen Standortes, worauf mit Hilfe der Strömung eine Verteilung der Organismen stattfindet.

Der Autor musste dagegen zugestehen, dass die Problematik der Kompensation der Abdrift für Crustaceen, speziell für *Gammarus*, durch diese Erklärung nicht gelöst wurde, da gerade diese Gattung oft in der Drift anzutreffen ist, jedoch zeit ihres Lebens im Wasser lebt (holoaquatische Form).

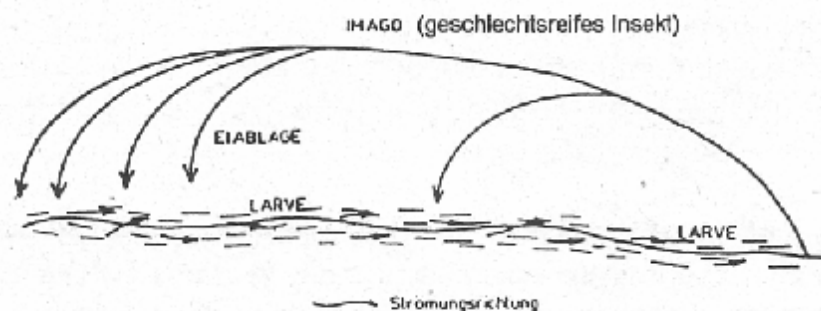


Abb. 8: Schematische Darstellung des Besiedlungskreislaufes in Fließgewässern (MUELLER, 1966).

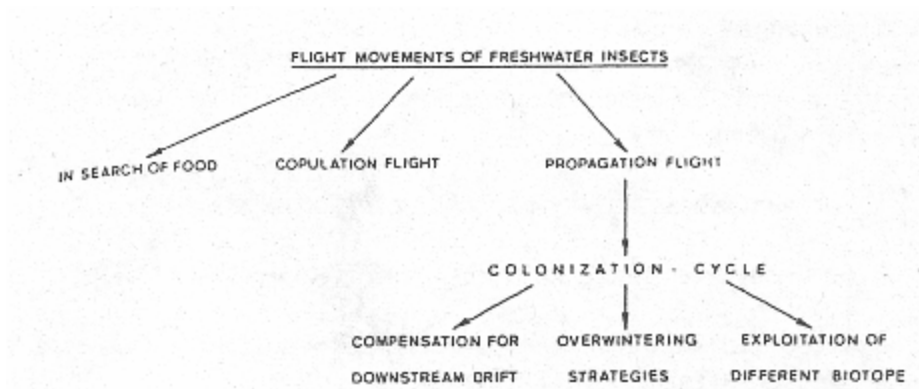


Abb. 9: Interpretation der Flugbewegungen von Insekten, deren Larven in Fließgewässern leben (MUELLER, 1982).

Die These des Besiedlungskreislaufes wurde später von verschiedenen Autoren kritisch untersucht. Sie konnte teilweise bestätigt werden, teilweise wurde jedoch auch festgestellt, dass die adulten Insekten keineswegs gegen die Strömungsrichtung fliegen. Der Verlust durch die Drift muss deshalb auch bei Tieren mit einem terrestrischen Stadium noch anders ausgeglichen werden können. MUELLERS Ansicht, wonach ein Grossteil der Tiere sich nicht gegen die Strömung fortzubewegen vermag, wurde zudem widerlegt (s. Kap. III.2.3).

2.3 Aufwärtswanderung von Makroinvertebraten

2.3.1 Einleitung

Es sind weitaus mehr Arbeiten über die Drift als über die Aufwärtswanderungen der aquatischen Wirbellosen durchgeführt worden. Obwohl erwiesen ist, dass eine Vielzahl dieser Organismen auch flussaufwärtige Bewegungen durchführt, ausgelöst durch **rheotaktisches Verhalten** (Fortbewegung gegen die Strömung). Für manche Arten wurden gar Massenaufwanderungen beobachtet. Die stromaufwärtige Fortbewegung erfolgt im Lückensystem der Gewässersohle oder an der Oberfläche des Sohlsubstrates; einige Arten bewegen sich gar frei schwimmend im sohlnahen, strömungsarmen Wasserbereich, so beispielsweise Flohkrebse.

Für folgende holoaquatische Taxa (Tiere, die alle ihre Lebensstadien im Wasser durchführen) ist eine Aufwärtswanderung nachgewiesen worden: Tricladida (Plattwürmer), Gastropoda (Schnecken), Hydracarina (Wassermilben), Amphipoda (Flohkrebse), Isopoda (Wasserasseln) und Decapoda (Krebse).

Ein gleiches Verhalten wurde aber auch bei Insekten beobachtet, welche sich während eines Teils ihres Lebenszyklusses ausserhalb des Wassers aufhalten, so bei Trichopteren (Köcherfliegen), Plecopteren (Steinfliegen), Ephemeropteren (Eintagsfliegen), Coleopteren (Käfer), Dipteren (Zweiflügler) und Neuropteren (Netzflügler).

2.3.2 Auslöser der Aufwärtswanderung

Im Gegensatz zur Drift ist diese Bewegung gegen die Strömung gerichtet und somit **niemals zufällig bzw. passiv**.

Einige der Gründe für diese Aufwärtsbewegungen werden von verschiedenen Autoren wie folgt geschildert:

- Suche nach besseren Nahrungsplätzen und/oder Habitaten
- Vermeidung von intra- oder interspezifischer Konkurrenz
- Suche nach Bereichen, welche sich für das Verpuppen, das Ausschlüpfen oder die Paarung eignen
- Ausweichen vor ungünstigen Umweltbedingungen

- Kompensation der Drift, damit das einzelne Individuum innerhalb eines bestimmten Habitates bleibt.

2.3.3 Saisonalität/Diurnales Verhalten

Wie aus Tab. 3 und Abb. 10 hervorgeht, wurden Aufwärtsbewegungen bestimmter Arten während verschiedener Monate beobachtet. Je nach Gewässer, untersuchten Stadien und Arten kann die Aufwärtswanderung im Jahresverlauf stark variieren.

Aufwärtswanderungen finden hauptsächlich **nachts** statt, was als negatives phototaktisches Verhalten gewertet werden kann (s. Abb. 11, 12 und 15). Zudem wird die nächtliche Aktivität vieler MI als Adaption gegen Raubtiere gewertet.

Tab. 3: Angaben über die Saisonalität verschiedener Taxa, welche Aufwärtswanderungen durchführen (nach SÖDERSTRÖM, 1987 gemäss verschiedenen Autoren).

| Species | Monate |
|---------------------------------|--------|
| Crustacea (Krebse) | |
| <i>Gammarus pulex pulex</i> | 6-7 |
| <i>Gammarus pulex pulex</i> | 5-6 |
| <i>Gammarus pulex pulex</i> | 6-7 |
| <i>Gammarus fossarum</i> | 6-7 |
| <i>Echinogammarus berilloni</i> | 6-7 |
| Ephemeroptera (Eintagsfliegen) | |
| <i>Baetis rhodani</i> | 7-9 |
| <i>Leptophlebia cupida</i> | 4 |
| <i>Leptophlebia cupida</i> | 4-5 |
| <i>Parametetus chelifera</i> | 5 |
| Baetinae | 7-8 |
| Plecoptera (Steinfliegen) | |
| <i>Nemoura flexuosa</i> | 10-1 |
| <i>Allocapnia pygmaea</i> | 11-5 |
| Hemiptera (Schnabelkerfen) | |
| <i>Velia caprai</i> | 5-7 |
| <i>Velia caprai</i> | 9-11 |
| Coleoptera (Käfer) | |
| <i>Elodes minuta</i> | 3-6 |
| <i>Platambus maculatus</i> | 5-8 |
| Elmidae | 7-8 |
| Trichoptera (Köcherfliegen) | |
| <i>Potamophylax cingulatus</i> | 5-7 |
| <i>Potamophylax cingulatus</i> | 6-7 |
| <i>Rhyacophila fasciata</i> | 8 |
| <i>Wormaldia caprosa</i> | 11-2 |
| <i>Philoptamus ludificatus</i> | 11-2 |
| Hydroptilidae | 7-8 |
| Gastropoda (Schnecken) | |
| <i>Australorbis glabratus</i> | 10-1 |

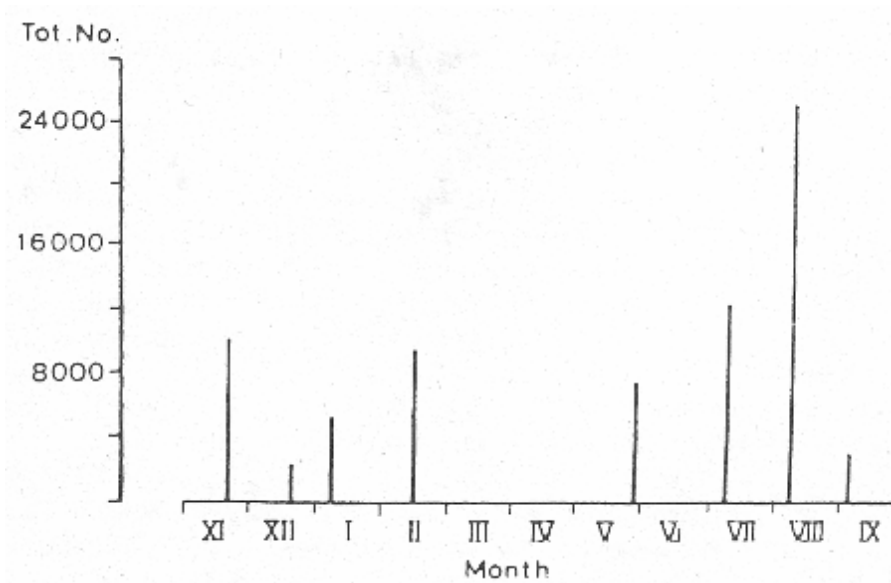


Abb. 10: Die saisonalen Veränderungen der Aufwärtswanderungen des Benthos im Speed River, Ontario (SÖDERSTRÖM, 1987).

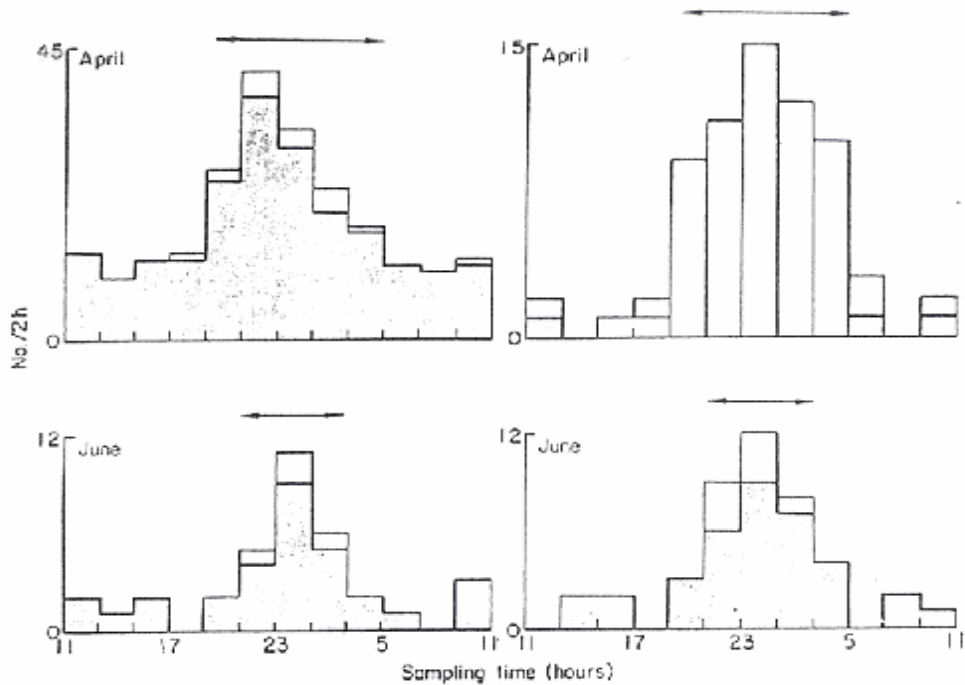


Abb. 11: Diurnales Aufstiegsverhalten der Eintagsfliege *Beatis rhodani* (links) und des Flohkrebsses *Gammarus pulex* (rechts), (ELLIOTT, 1971).

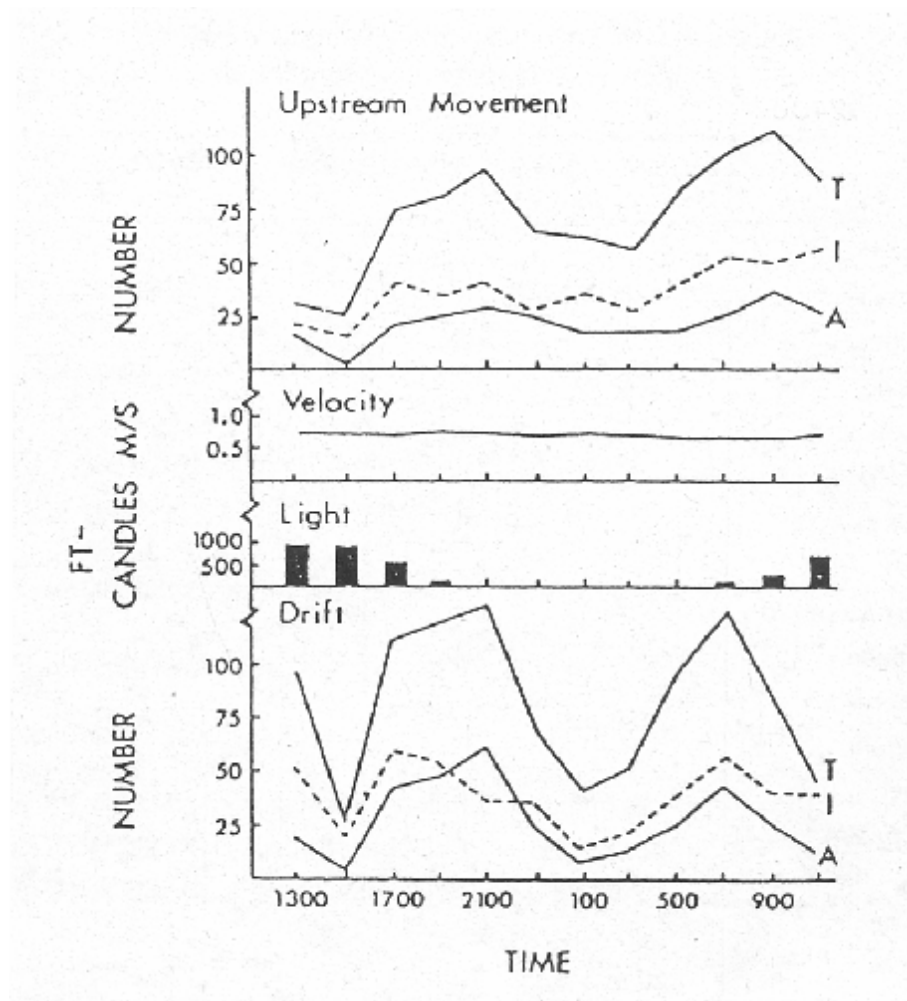


Abb.12: Aufwärtswanderungen und Drift des Benthos im OZ Stream, Greene County, Ohio, in Bezug zur Lichtintensität und der Strömungsgeschwindigkeit (BUTLER & HOBBS, 1982).

2.3.4 Distanzen/Geschwindigkeit

Wie aus Tab. 4 hervorgeht, sind die Distanzen, welche Wirbellose gegen die Strömung flussaufwärts zurücklegen, je nach Untersuchung, Fluss, Strömungsgeschwindigkeit, Saison, Taxon etc. sehr unterschiedlich. Sie können im Bereich von einigen Metern, aber auch von über einem Kilometer liegen. Langzeitbeobachtungen über die zurückgelegten Distanzen einzelner Individuen fehlen jedoch (methodische Probleme wie Markierungsschwierigkeiten etc.). Die Bewegungen einiger Arten mit bzw. gegen die Strömung innerhalb von 24 Stunden sind in Tab. 5 wiedergegeben.

Genauer kann man über die Wanderungsgeschwindigkeit aussagen, da diese kurzfristiger erhoben werden kann. Wie aus Tab. 4 hervorgeht, kann diese im Bereich von mehreren Metern pro Stunde liegen.

Tab. 4: Beispiele von Distanzen bzw. Geschwindigkeiten der Aufwärtsbewegungen von Makroinvertebraten (teilweise mittlere, teilweise maximale Werte).

| Taxon | Distanz bzw. Geschwindigkeit | Bemerkungen | Autor |
|---|------------------------------|--------------------|-----------------------------|
| Flohkrebse: <i>Gammarus zaddachi</i> | bis > 60 m/Nacht | | DENNERT, 1969 |
| Köcherfliegen: <i>Hydropsyche</i> | bis 120 m/ 6 Mon. | | SCHUHMACHER, 1969 |
| Flohkrebse: <i>Gammarus pulex</i> | 22 m/h | 0.093 m/s Strömung | HUGHES, 1970 |
| <i>Gammarus pulex</i> | 4.7 m/h | 0.226 m/s Strömung | HUGHES, 1970 |
| Flohkrebse: <i>Gammarus fossarum</i> | 9.6 - 37.6 m/h | Labor | MEIJERING, 1972 |
| Eintagsfliegen: <i>Blasturus cupidus</i> | 1.6 km (200 m/d) | Feldbeobachtung | KELLER, 1975 (versch. Aut.) |
| versch. Arten | 0-6 m/d | | KELLER, 1975 (versch. Aut.) |
| Steinfliegen: <i>Diura bidaudata</i> | 30 m/5 d | Feldbeobachtung | KELLER, 1975 (versch. Aut.) |
| Isoperlinae | 370 m/36 d | Feldbeobachtung | KELLER, 1975 (versch. Aut.) |
| versch. Arten | 2-8 m/d | Feldbeobachtung | KELLER, 1975 (versch. Aut.) |
| Köcherfliegen: <i>Hydropsyche instabilis</i> | 120 m/6 Mon. | | KELLER, 1975 (versch. Aut.) |
| versch. Arten | 0-10 m/d | | KELLER, 1975 (versch. Aut.) |
| Flohkrebse: <i>Gammarus</i> | 22 m/h | 0.1 m/s Strömung | KELLER, 1975 (versch. Aut.) |
| <i>Gammarus pulex</i> | 3 km/4 Jahren | Feldbeobachtung | KELLER, 1975 (versch. Aut.) |
| <i>Gammarus fossarum</i> | 45 m/3 d | Feldbeobachtung | KELLER, 1975 (versch. Aut.) |
| <i>Gammarus fossarum</i> | max. 37.6 m/h | Feldbeobachtung | KELLER, 1975 (versch. Aut.) |
| <i>Gammarus bousfieldi</i> | 5 m/30 min | Feldbeobachtung | KELLER, 1975 (versch. Aut.) |
| <i>Gammarus pulex</i> | max. 14 m/d | Feldbeobachtung | KELLER, 1975 (versch. Aut.) |
| Strudelwürmer: <i>Planaria alpina</i> | 175 m/2-3 Mon. | Feldbeobachtung | KELLER, 1975 (versch. Aut.) |
| Weichtiere: <i>Physa</i> | 180 m/28 d | Feldbeobachtung | KELLER, 1975 (versch. Aut.) |
| <i>Lymnaea</i> | 2.4 km/Jahr | | KELLER, 1975 (versch. Aut.) |
| Köcherfliegen: <i>Limnephilidae</i> | max. 3.6 m/24 h | | ERMAN, 1986 |
| Steinfliegen | 6-22 m/Tag | | FREILICH, 1991 |
| Steinfliegen | 40 m/4 Tage | grosses Weibchen | FREILICH, 1991 |

Tab. 5: Täglich (in 24 h) stromaufwärts bzw. -abwärts zurückgelegte Distanzen einiger markierter Individuen (nach ELLIOTT, 1971).

| Art | aufwärts [m] | abwärts [m] |
|---------------------------------|--------------|-------------|
| Steinfliegen | | |
| <i>Isoperla grammatica</i> | 2-8 | < 1 |
| <i>Perlodes microcephala</i> | 2-8 | < 1 |
| Eintagsfliegen | | |
| <i>Ecdyonurus torrentis</i> | 0-6 | 5-6 |
| <i>Ecdyonurus venosus</i> | 1-5 | 10 |
| <i>Heptagenia lateralis</i> | 0-6 | - |
| <i>Rhithrogena semicolorata</i> | 0-6 | 2-9 |
| Köcherfliegen | | |
| <i>Potamophylax cingulatus</i> | 0-1 | - |
| <i>Drusus annulatus</i> | 0-1 | - |
| <i>Sericostoma personatum</i> | 0-1 | - |
| <i>Odontocerum albicorne</i> | 2-10 | 1 |
| Flohkrebse | | |
| <i>Gammarus pulex</i> | 0-14 | 1-10 |

2.3.5 Aufwärtswanderung als Kompensation der Drift?

Viele Autoren haben untersucht, ob und wie weit die Drift durch Aufwärtswanderungen kompensiert werden kann. Dabei stellte sich teilweise heraus, dass zu wenige Tiere aufwärtswandern und die dabei zurückgelegten Strecken zu gering sind, um die Drift kompensieren zu können.

Es hat sich jedoch gezeigt, dass die Drift wenigstens teilweise durch diesen Mechanismus ausgeglichen werden kann. Die Kompensationsrate war je nach Untersuchung sehr unterschiedlich (s. Tab. 6).

Diese Resultate dürfen jedoch nur mit grossen Vorbehalten interpretiert werden, da sie sich meist auf einfache Untersuchungen beschränken (Passieren eines Individuums an einem bestimmten Punkt). Um Genaueres über die Kompensation der Drift auszusagen, müssten weitere Faktoren bekannt sein (Langzeitverhalten der einzelnen Tiere, jeweils zurückgelegte Distanzen etc.) Auch wenn angenommen wird, dass die Driftkompensation teilweise gering ist, spielt doch der Vorgang der Aufwanderung eine wichtige Rolle im Lebenszyklus vieler Taxa.

Tab. 6: Prozentuale Kompensation der Drift durch Aufwärtswanderungen; gemäss verschiedenen Untersuchungen.

| Taxon | Kompensation der Drift [%] | Bemerkungen | Autor |
|------------------------------|----------------------------|-----------------|------------------------|
| Flohkrebse: | | | |
| <i>Gammarus pulex</i> | 48.5 | 14.9.-7.10.1964 | LEHMANN, 1967 |
| <i>Gammarus pulex</i> | 70.0 | 26.-29.10.1964 | LEHMANN, 1967 |
| <i>Gammarus pulex</i> | 11.0 | 22.-28.6.1965 | LEHMANN, 1967 |
| Wirbellose allg. | 6.5 | anzahlmässig | BISHOP & HYNES, 1969 |
| Wirbellose allg. | 4 | Biomasse | BISHOP & HYNES, 1969 |
| Wirbellose allg. | 30 | Winter/pro 24 h | ELLIOTT, 1971 |
| Wirbellose allg. | 7-10 | Sommer/pro 24 h | ELLIOTT, 1971 |
| Wirbellose allg. | 2.1-15.2 | | BIRD & HYNES, 1981 |
| Wirbellose allg. | 27 | Trockenheit | BENSON & PEARSON, 1987 |
| | 2 | Hochwasser | BENSON & PEARSON, 1987 |
| Wirbellose allg. | 43.9 | | BERGEY & WARD, 1989 |
| Köcherfliegen: | | | |
| <i>Hydropsyche</i> | 87.9 | | BERGEY & WARD, 1989 |
| <i>Helicopsyche borealis</i> | 2'700 | köchertragend | BERGEY & WARD, 1989 |

2.4 Schlussfolgerungen

Die bisherigen Ausführungen fassen wir zusammen und ziehen folgende Schlussfolgerungen:

- Die Drift kann bei gewissen Organismen wenigstens teilweise durch einen **Flug der Adulttiere** gegen die Strömung ausgeglichen werden. Für viele Arten, so insbesondere für Tiere, die das Wasser zu keinem Zeitpunkt ihres Lebenszyklusses verlassen, muss sie auf andere Weise kompensiert werden. Dies kann teilweise durch eine **Wanderung gegen die Strömung in/auf der Sohle** geschehen.

Aus den Ausführungen geht aber auch hervor, dass dabei noch andere Mechanismen spielen müssen: Man geht heute davon aus, dass die Kompensation der Abdrift auch durch das **hohe Reproduktionspotential** dieser Organismen sowie durch eine Besiedlung aus **tieferen Substratschichten** erfolgen kann (s. Abb.13).

- Obwohl für gewisse Taxa im Vergleich zu manchen Fischarten die Bedeutung der Aufwärtswanderung gering sein kann, sollte doch angestrebt werden, diesen

Organismen eine **Durchquerung der Fließgewässer in allen Richtungen** zu gewährleisten.

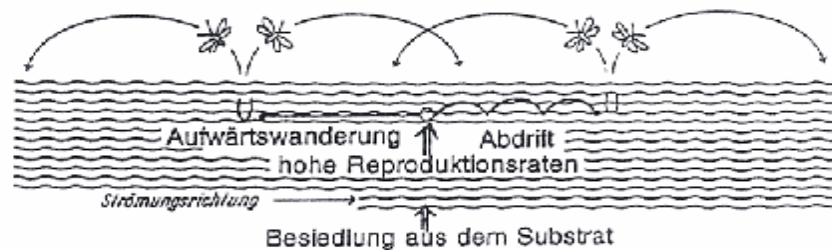


Abb. 13: Die Drift aquatischer Wirbelloser sowie deren Kompensationsmechanismen (nach SCHUHMACHER, 1970, ergänzt).

- Holoaquatische Arten, die kein terrestrisches Entwicklungsstadium aufweisen, können keine Kompensationsflüge durchführen. Sie sind teilweise, so z.B. bei der Verödung eines Oberlaufes, darauf **angewiesen**, gewisse Gebiete durch **Aufwanderung** besiedeln zu können. Auf einen ihrer typischsten Vertreter, den Flohkrebs *Gammarus*, der zudem sehr häufig in der Drift auftritt, wird deshalb in Kap. III.3 eingegangen. Mit dieser Gattung ist zudem bei den Feldarbeiten dieses Projektes gearbeitet worden.
- Nicht nur Querbauten wie Schwellen und Stauwehre stellen **Wanderhindernisse** dar, sondern auch **flussbauliche Elemente** wie Schussrinnen, Betonsohlen mit hoher Fließgeschwindigkeit, Röhren etc.
- Von den zitierten Arbeiten sind viele unter **Laborbedingungen** durchgeführt worden. Feldarbeiten werden oft dadurch erschwert, dass die einzelnen Individuen nicht markiert werden können. Handlungsbedarf besteht somit in der Entwicklung einer geeigneten **Markierungsmethode**.
- Es fanden nur sehr wenige Untersuchungen im Bereich von Kraftwerken statt. Dabei wurde meist analysiert, ob Unterschiede in der Benthoszusammensetzung des Ober- bzw. Unterwassers bestehen. Der Grossteil dieser Arbeiten wurde im Bereich von sehr grossen Anlagen durchgeführt.
- Es bestehen grosse Wissenslücken darüber, in wieweit **KWK Wanderungshindernisse bzw. Driftfallen** für die aquatischen Wirbellosen darstellen.
- Fischpässe wurden bisher bezüglich ihrer Funktionstüchtigkeit - wenn überhaupt - nur bezüglich Fischen, meist grösseren Arten, untersucht. In letzter Zeit wird zwar der Bau von Fischpässen mit einer natürlichen Sohle postuliert, es wurde jedoch bisher nicht untersucht, ob und unter welchen Bedingungen auch **klassische Anlagen von Makroinvertebraten überwunden** werden können.

3. DAS BEISPIEL GAMMARUS ALS HOLOAQUATISCHE GATTUNG

Flohkrebse besiedeln fast alle Gewässerarten; nur dürfen Sauerstoff- und Kalkgehalt nicht zu gering sein. Somit besiedeln sie - wie bei den Fischen die Bachforellen - einen Großteil der Gewässer, die von KWK genutzt werden. Flohkrebse sind selten unterhalb von 2 m Wassertiefe anzutreffen. Ihre Hauptnahrung besteht aus lebenden und verwesenden Pflanzen, Detritus und Aas. Bis zur Geschlechtsreife machen sie etwa **10 Häutungen** durch; später häuten sie sich während des ganzen Sommers alle **5 bis 7 Tage**, im Winter viel seltener. Die Fortpflanzung erfolgt das ganze Jahr hindurch. In günstigen Gewässern kommt es oft zu Massenentwicklungen: Mehr als 400 Stück/m² sind schon gezählt worden. Flohkrebse sind als sehr **wichtige Forellennahrung** bekannt.

Verschiedene Autoren ermittelten sehr hohe Driftraten für diese Gattung, wobei je nach Gammarusart (so z.B. für *G. zaddachi*) die Migration in beide Strömungsrichtungen mit dem Reproduktionszyklus verbunden sein kann. Es wurde nachgewiesen, dass Flohkrebse auf glattem Untergrund grösstenteils abdriften und zwar desto stärker, je höher die Fließgeschwindigkeit ist. Auf gröberem Bodensubstrat nahm die Strömungsresistenz der Versuchstiere zu. Bei Anwendung von Schotterkies war keine Beeinflussung der Drift durch die Strömungsstärke mehr erkennbar.

Daneben wurde aber immer wieder gezeigt, dass gerade Gammariden grosse Aufwanderungen durchführen können. LEHMANN (1967) beobachtete grosse Massenansammlungen von Flohkrebsen unterhalb von Brückenrohren (in 1 m Gewässerstrecke oberhalb eines derartigen Rohres 543 Individuen; 3 m unterhalb dagegen deren 1'918) und schloss daraus, dass die Tiere aufwandern, darin jedoch durch diese Röhren gehindert werden.

Solange Drift und Aufwanderung gleich häufig erfolgen, bleibt die Populationsdichte im Gleichgewicht. Wird jedoch die Aufwanderung durch Hindernisse im Bachbett gehemmt oder unterbunden, verursacht die Drift nach LEHMANN für die darüberliegenden Bereiche echte Verluste.

Freilandbeobachtungen haben gezeigt, dass Gammariden teilweise in lückenloser Kette an beiden Ufern entlang bachaufwärts wandern, wobei sie sich drängten und gegenseitig überholten. Je nach Jahreszeit können so eindrucksvolle Wanderzüge entstehen. Sie führen über jedes Substrat hinweg unter Ausnützung strömungsarmer Bereiche. Eine Umkehr solcher Wanderzüge ist bisher nie beobachtet worden (MEIJERING, 1972).

Durch derartige Wanderungen können die Gammarus-Dichte reguliert, die Paarung und Fortpflanzung erleichtert, die (Re-)Kolonisation ermöglicht sowie die verschiedenen Bedürfnisse innerhalb des Lebenszyklusses befriedigt werden. Dabei ist ein sehr wichtiger Aspekt jener, dass in Drift-Netzen gefangene Tiere passiv oder aktiv dorthin gelangt sein können, die Aufwärtmigration dagegen immer ein aktiver Vorgang und dadurch nicht zufällig ist.

In Zeiten geringer Aktivität wurden sowohl bei der Drift wie bei der Aufwanderung festgestellt, dass die Bewegungen gleichförmig über das Bett verteilt sind. In Zeiten

erhöhter Aktivität wurden die meisten Aufwärtswanderer **entlang der Ufer** gefangen; bei der Drift variierte dies. Dies hängt wahrscheinlich damit zusammen, dass die Strömung entlang der Ufer weniger gross ist, denn es wurde beobachtet, dass die Tiere über mehrere 10 cm **aktiv gegen die Strömung schwammen**.

Verschiedene Autoren haben gezeigt, dass die Rate der Aufwärtswanderung von Gammariden in den **Sommermonaten** am höchsten ist (s. Abb. 14). Ihre Aktivität erreicht dagegen bei Temperaturen unter 2-3° ein Minimum.

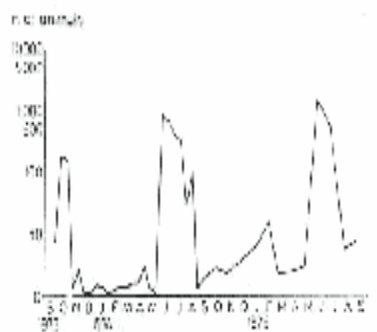


Abb. 14: Saisonale Unterschiede in der Aufwärtswanderung von drei verschiedenen Flohkrebsarten (GOEDMAKERS & PINKSTER, 1981).

Dabei erfolgt diese Aufwanderung hauptsächlich **nachts** mit einem klaren Maximum vor Sonnenaufgang (s. Abb. 15). Gammariden zeigen somit ein **klar saisonales und diurnales Wanderverhalten**, was es bei Untersuchungen zu berücksichtigen gilt.

LEHMANN (1967) schloss aus seinen Arbeiten, dass die Bewegungen von *G. pulex* mit und gegen die Strömung gleich häufig sind. Die Angaben über die Drift- und Aufwanderhäufigkeit schwanken aber je nach Autor stark (s. auch Tab. 6 und Abb. 16), wobei jedoch wichtige Faktoren wie beispielsweise die genauen Wanderstrecken der einzelnen Individuen nicht erfasst wurden, so dass nicht ausgesagt werden kann, ob und wie weit die Drift durch eine Aufwanderung kompensiert werden kann.

Es wurde festgestellt, dass *G. pulex*, eine der in unseren Gewässern verbreitetsten Flohkrebsarten, ein besonders starker Aufwanderer ist, und er derart auch im Freiland in neue Lebensräume vordringt. Gelangt er in neue Gewässer, so kann er sich nicht nur von der Abdrift schützen, sondern auch seine Fähigkeit zur Aufwanderung erhalten. Es konnte festgestellt werden, dass *G. pulex* an der Mündung eines bisher nicht besiedelten Gewässers starke Anreize zur Aufwärtswanderung erhielt, was zu einem erfolgreichen Einwandern in neue Gewässer führen kann. Es wurden maximale Wandergeschwindigkeiten von über 40 m/h konstatiert (MEIJERING, 1972).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die holoarktischen Gammariden sehr aktive Organismen sind, die sowohl in der Drift wie auch bei den aufwärts wandernden Tieren häufig vertreten sind.

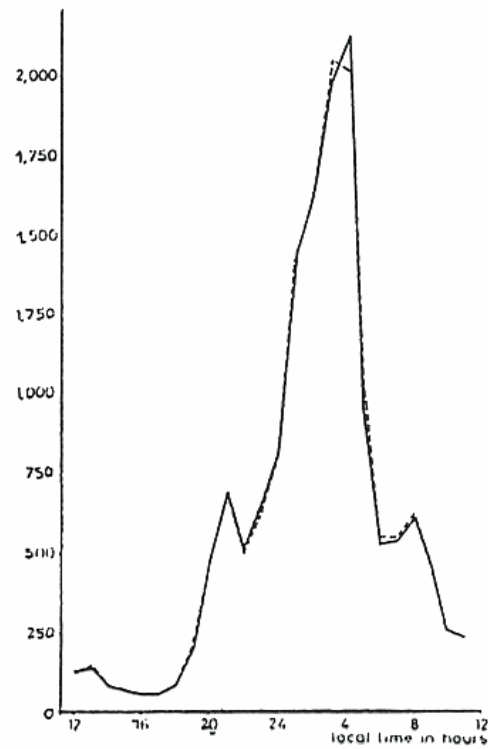


Abb. 15: Diurnales Wanderverhalten von drei Flohkrebsarten (GOEDMAKERS & PINKSTER, 1981).

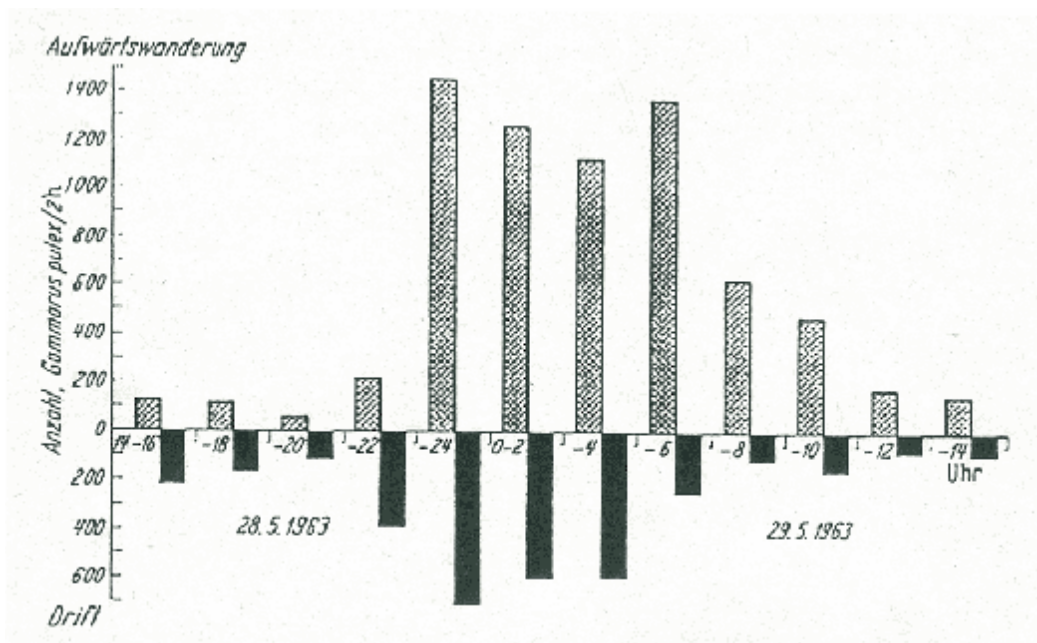


Abb. 16: Aufwanderung und Drift von *G. pulex* an einem bestimmten Punkt im Fließgewässer in der Untersuchung von MUELLER (1966).

V. EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN BEZÜGLICH DES FLIESSGEWÄSSERKONTINUUMS

1. EINLEITUNG

Wie die vorangehenden Kapitel zeigen, sind in der Problematik "KWK - Unterbrechung des Fliessgewässerkontinuums" noch viele grundsätzliche Fragen zu klären (Funktionieren der bestehenden Anlagen, Barrierewirkung für Wirbellose etc.). Um einige dieser Wissenslücken zu schliessen resp. zu verkleinern und einen Beitrag für künftige Untersuchungsmethoden zu erbringen, wurden deshalb folgende Experimente durchgeführt:

- Markierungsversuche an Wirbellosen, um deren Ortsveränderungen untersuchen zu können
- Aufstiegsversuche mit Gammariden (Flohkrebse)
- Funktionskontrollen von zwei bestehenden Beckenpässen
- Erhebung der Fischnährtiere in zehn unterschiedlichen Bereichen verschiedener Fischeaufstiegshilfen

Bei den dargestellten Experimenten konnte es aus verschiedenen Gründen nicht darum gehen, abschliessende Resultate zu erzielen bzw. alle noch offenen Fragen zu beantworten. Es wurde vielmehr angestrebt, Grundsätze und auch Schwierigkeiten aufzuzeigen sowie Grundzüge zu erarbeiten, anhand welcher bei anderen Anlagen analoge Untersuchungen durchgeführt werden können.

2. MARKIERUNGSVERSUCHE

2.1 Ausgangslage

Arbeiten über die Fortbewegung von Makroinvertebraten scheitern oft daran, dass diese Tiere nur mit grossen Schwierigkeiten markiert werden können: Einerseits bedeutet dies meist einen sehr grossen Aufwand (z.B. das Anbringen von Markierungsplättchen an einzelnen Tieren), andererseits werden die Tiere durch die Markierung oft verletzt, ihr Verhalten ändert sich, oder sie weisen geringere Lebenschancen auf. Die erhaltenen Resultate können dadurch stark verfälscht werden.

Will man jedoch Feldversuche durchführen, sollte man entweder in geschlossenen Systemen arbeiten, oder die Tiere sollten markiert werden können.

Bei den bisherigen Untersuchungen wurden insbesondere folgende Markierungsmethoden angewandt bzw. haben sich folgende Schwierigkeiten ergeben:

- Markierung durch Aufbringen eines Farbtupfers oder Besprühen mit Farbe: Die Tiere müssen dafür jedoch eine Zeit lang getrocknet werden, was eine gewisse Mortalität zur Folge hat. Je nach Methode kann es zudem zu einem Verkleben der Beine kommen, wodurch mehr Tiere abwärtsverdriftet werden.
- Anbringen von Plättchen an die Köcher von Trichopterenlarven: Hat sich gut bewährt, erfordert jedoch einen grossen Aufwand.
- Ankleben von Markierungsnummern: Grosser Aufwand.

Eine ideale Markierung sollte folgende Kriterien erfüllen:

- anhaltend, gut erkennbar
- leichte Anbringbarkeit
- effektiv für Massen- und Einzelapplikation
- keine Toxizität und Mortalität
- möglichst kein Einfluss auf das Verhalten des Tieres

2.2 Methode

Da zum Thema Fließgewässerkontinuum bei KWK nicht das Verhalten von Einzelindividuen, sondern jenes grosser Bestände des Fließgewässers von Bedeutung ist, wurde das Ziel gesetzt, eine Methode zu entwickeln, anhand derer eine grosse Anzahl Tiere auf einfache und billige Art markiert werden kann. Dies bedingt, dass nicht einzelne Individuen manipuliert, sondern die Tiere massenweise markiert werden.

Da Makroinvertebraten aufgrund ihrer Lebensweise und ihrer geringen Körpergrösse im Gewässer selbst nur schlecht sichtbar sind, werden sie bei den meisten Untersuchungen anhand standardisierter Methoden aus dem Gewässer entnommen, fixiert und später im Labor weiter bearbeitet. Ziel war es deshalb, die Markierung bei den toten, fixierten Tieren, die dabei oft eine andere Färbung annehmen, erkennen zu können.

Bei der Mikroskopie nützt man aus, dass tierisches Gewebe gut eingefärbt werden kann. Es wurde deshalb in einem ersten Schritt getestet, ob sich vier gängige Mikroskopiefarben auch für die Markierung lebender Tiere eignen. Die Lösungen folgender Farben wurden getestet:

- Alizarinrot S ($C_{14}H_7NaO_7S$)
- Eosinscharlach ($C_{20}H_6Br_2N_2Na_2O_9$)
- Wasserblau ($C_{32}H_{25}N_3Na_2O_9S_3$)
- Malachitgrün ($C_{25}H_{27}N_2O_4$), wird als "mindergiftig" eingestuft

In einem zweiten Schritt wurde versucht, die Tiere mittels Lebensmittelfarben, welche aufgrund ihrer Verwendungsweise nicht toxisch sein sollten, einzufärben. Es wurden die Farben blau, ei-/hellgelb, erdbeer, hell-/dunkelgrün, dunkelbraun, bordeaux und schwarz getestet.

Dabei wurden pro Versuch jeweils verschieden konzentrierte Lösungen auf ihre Toxizität und ihr Färbungsvermögen überprüft, indem die Tiere während unterschiedlicher Zeitdauer in die Lösungen gegeben wurden. Danach wurden sie gehältert, nach einer gewissen Zeit fixiert und auf ihre Verfärbung hin überprüft. Gleichzeitig wurden auch nicht-markierte Tiere gehältert, um sicherzustellen, dass eine allfällige Mortalität auf die Markierung und nicht auf andere Faktoren zurückzuführen war.

Diese Versuche wurden an Gammariden (Flohkrebsen) durchgeführt. Dies insbesondere deshalb, weil diese Gattung kein terrestrisches Stadium aufweist, somit zeitlebens im Wasser verbleibt und deshalb auf ein Fliessgewässerkontinuum stärker angewiesen ist als andere Taxa. Zudem kommen Gammariden in vielen Gewässern in grosser Anzahl vor und können durch Abstreifen der Wasserpflanzen und der Ufervegetation leicht gefangen werden.

2.3 Resultate

2.3.1 Mikroskopiefarben

Die vier getesteten Farben zeigten unterschiedliche Resultate:

Malachitgrün

Es zeigte sich, dass dieser Farbstoff zwar gut einfärbte, in hoher Konzentration oder langer Exposition dagegen toxisch wirkte. In einer Versuchsreihe wurden jeweils 10 Tiere während 1-120 Minuten in Lösungen von 0.025-2 g/dl gelegt, dann in frischem Wasser gehältert und auf ihre Färbung hin überprüft. Dabei erwies es sich, dass die Lösung entweder toxisch war oder dann aber so gering konzentriert angesetzt werden musste, dass die Färbung kaum oder gar nicht erkennbar war. Malachitgrün eignet sich somit nicht als geeigneter Markierungsstoff für Gammariden.

Alizarinrot S

Dieser Farbstoff ist weniger gut wasserlöslich und lagert sich bei höheren Konzentrationen klumpenartig zwischen den Beinen der Tiere ab, was wahrscheinlich deren Atmung behinderte und zu hohen Mortalitätsraten führte. Niedrigere Konzentrationen (unter 0.2 g/dl) wurden zwar gut vertragen; die Tiere waren jedoch nicht eindeutig von nicht-markierten Vergleichstieren zu unterscheiden. Alizarinrot S eignet sich somit ebenfalls nicht als Markierungsfarbe für diesen Versuch.

Wasserblau

Wasserblau färbt bei kurzer Exposition kaum ein, lang exponierte Tiere zeigten zwar blaue Färbung, aber gleichzeitig auch hohe Mortalitätsraten. Dieser Farbstoff erwies sich somit ebenfalls als ungeeignet.

Eosinscharlach

Eosin erwies sich ebenfalls als nicht geeignet, da entweder hohe Mortalitätsraten auftraten oder aber die Konzentration und/oder Exposition zu gering war, um die Tiere einzufärben.

2.3.2 Lebensmittelfarben

Die Tiere wurden zwischen 15 Minuten und 24 Stunden in Konzentrationen von 40 Tropfen - 5 ml/1 dl Wasser gehalten, daraufhin gehältert und auf Mortalität sowie Einfärbung hin überprüft.

Dabei zeigte sich, dass bei dem Versuch mit der Farbe bordeaux teilweise relativ hohe Mortalitätsraten auftraten (Abbruch dieses Versuches), während die übrigen Farben gut vertragen wurden.

Bezüglich der Erkennbarkeit von markierten Tieren gegenüber unmarkierten Individuen wiesen die getesteten Farben unterschiedliche Eignung auf:

- gelb: geringe Färbung, ungeeignet
- blau: Durch diese Farbe wurden die Tiere unterschiedlich stark eingefärbt: Einzelne Individuen waren deutlich von den Versuchstieren zu unterscheiden, während andere Versuchstiere kaum Färbung aufwiesen.
- rot/braun: Gammariden verfärben sich beim Fixieren mit Alkohol oft orange ein und können in diesem Fall nur schlecht von rot oder braun markierten Tieren unterschieden werden, obwohl deren Färbung teilweise gut sichtbar ist.
- grün: Die Färbung ist gegenüber Versuchstieren gut erkennbar, wenn die Flohkrebse in klarem Alkohol eingelegt werden. Bei Probenahmen im Feld gelangen jedoch oft auch grosse Mengen an Pflanzenbestandteilen in die Probe, welche ebenfalls fixiert werden. Dies kann jedoch eine relativ starke grüne Verfärbung der Gammariden bewirken. Grüne Markierungsfarbe ist deswegen nicht als Markierungsmittel geeignet.
- schwarz: Diese Farbe erbrachte die besten Resultate: Die Tiere waren alle stets deutlich schwarz eingefärbt und zeigten keine höhere Mortalität als die nicht-behandelten Versuchstiere.

2.4 Schlussfolgerungen

- Es ist möglich, eine **grosse Anzahl von Gammariden** mit **kleinem Aufwand** und **kostengünstig** zu markieren.
- Die getesteten Mikroskopierfarben erwiesen sich als **wenig geeignet**.
- **Lebensmittelfarben** eignen sich gut als Markierungsmittel für Gammariden. Ihr Nachteil besteht darin, dass sie sich beim Fixieren der Tiere in Alkohol teilweise wieder lösen. Es wird deshalb empfohlen, bei Markierungsarbeiten wie folgt zu verfahren:
 - * Schonendes Einsammeln der Tiere und Hälterung mit Wasser des Entnahmeortes bei möglichst tiefen Temperaturen
 - * Ueberführen der Tiere in eine Lösung von 5 ml schwarzer Lebensmittel-farbe in 1 dl reinem Wasser
 - * Aufbewahren in dieser Lösung während 24 h in der Kühlkammer
 - * kurzes Abspülen der Tieren mit klarem Wasser; Ueberprüfen allfälliger Mortalität
 - * Schonendes Einsetzen in das Fliessgewässer
 - * Nach der Probenahme Fixieren mit Ethanol (Volumenkonzentration 70 %), danach sofortiges Aussortieren. Ausscheiden der markierten Tiere, sobald die Gammariden die bei der Konservierung typisch helle Färbung annehmen.

Vorteile dieser Methode

- Massenmarkierung mit wenig Aufwand und geringen Kosten
- geringe Mortalität aufgrund minimaler Manipulation
- Färbung beim lebenden Tier nicht sichtbar: keine höheren Praedationsraten (Fressdruck)
- keine Verhaltensänderungen aufgrund einer Behinderung durch die Markierung

Nachteile dieser Methode

- Nachlassen der Einfärbung im Alkohol
- Einfluss der Häutungen wurde nicht untersucht
- nur kurzfristige Anwendung (2-3 Tage)
- Färbung erst bei Konservierung in Alkohol sichtbar

Anwendbarkeit

Massenfärbung von Gammariden zwecks Versuchen im freien Feld, Ueberprüfung von Ortsveränderungen durch Entnahme von Wirbellosenproben mittels standardisierter Probenahmemethoden (z.B. Surber-Sampling), Fixieren und anschliessendem Ausscheiden der markierten Tiere.

3. AUFSTIEGSVERSUCHE MIT GAMMARIDEN

3.1 Ausgangslage

Wie aus Kap. III.3 hervorgeht, kommt der Flohkrebs *Gammarus* in fast allen Gewässerarten vor und führt oftmals relativ grosse Ortsverschiebungen, ja gar Wanderungen durch. Aufgrund ihrer Lebensweise (keine terrestrische Stadien) sind derartige Tiere besonders stark von Wanderhindernissen betroffen.

In einem Versuch sollte deshalb abgeklärt werden, ob Flohkrebse unter verschiedenen Bedingungen auch ein künstlich geschaffenes Gerinne emporsteigen können. Ziel dieser Untersuchungen war es abzuklären, ob und unter welchen Bedingungen Gammariden bei ihrem Aufstieg auch Fischeaufstiegshilfen benützen können.

3.2 Methode

Zwecks dieser Untersuchungen der *Gammarus*-Aufwanderung wurde eine Rampe konstruiert, in welcher sich mittels Höhenveränderungen unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten erzielen liessen (s. Abb. 17). Am unteren wie oberen Ende dieser Holzrampe wurden geschlossene Kammern angebracht, deren Durchströmung durch das Anbringen von feinmaschigen Netzen gewährleistet wurde.

Ziel dieses Versuches war es, eine gewisse Anzahl Tiere in die untere Kammer zu geben und unter definierten Bedingungen zu ermitteln, ob und in welchem Ausmass die Tiere vom unteren Becken über die Rampe in das obere Becken aufsteigen. Dieser Versuch wurde im Feld durchgeführt, was zwar einerseits erschwerte Bedingungen mit sich brachte, andererseits jedoch gewährleistete, dass die äusseren Parameter wie Wassertemperatur, Lichtstärke etc. der Situation im Fließgewässer entsprachen.

Die Anlage wurde in zwei Fließgewässern getestet:

- Urtenen, Fraubrunnen
- Grundbach, Utzenstorf

Wie der Fachliteratur entnommen werden kann, sollte die Fließgeschwindigkeit in den Becken der Fischpässe unterhalb von 0.5 m/s liegen, in den Kronenausschnitten und Schlupflöchern darf sie maximal 1.5 bis 2.0 m/s betragen (JENS, 1971). Der Versuch wurde deshalb so angeordnet, dass die Situation in der Rampe mit jener innerhalb eines Fischpasses vergleichbar war.

In der Rampe selber konnte durch Einbringen verschiedener Materialien (blankes Holz, Einbringen einzelner Steine, lückenloses Stein- oder Kiessubstrat etc.) verschiedene Randbedingungen getestet werden.

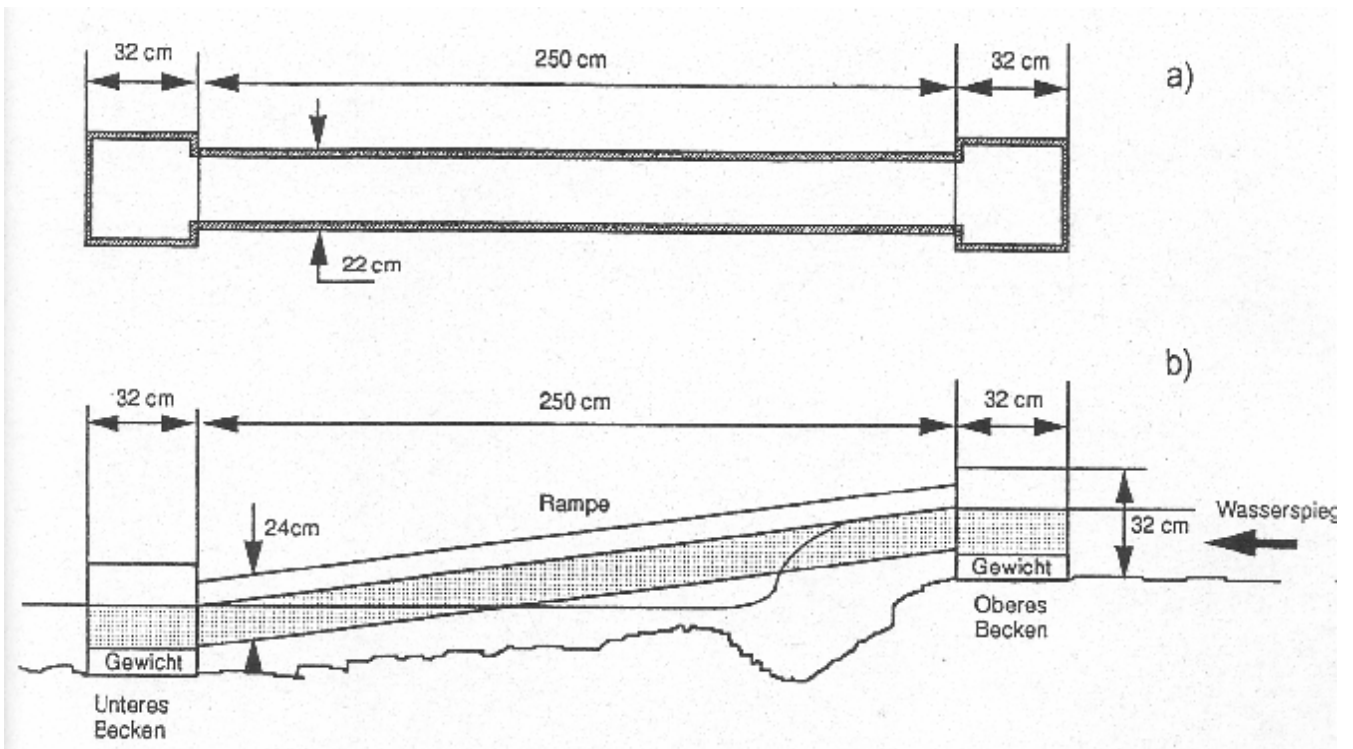


Abb. 17: Schema des verwendeten Modelles für die Aufstiegsversuche mit aquatischen Wirbellosen.
a) Grundriss b) Längsschnitt

3.3 Versuchsanlagen und Resultate

3.3.1 Pilotversuch an der Urtenen

Die Urtenen ist ein sehr nährstoffreiches Fließgewässer mit vielen Wasserpflanzen, welches für Gammariden ideale Bedingungen bietet. Dank dieser Bedingungen sowie dem Vorhandensein mehrerer Schwellen erschien dieses Fließgewässer ideal für verschiedene Anordnungen der Rampe sowie für die Durchführung dieser Versuche.

Die wesentlichen Schritte und Anordnungen dieses Versuches:

- 12.7.1994, 18 h: Einsetzen von 300 Gammariden in das untere, mit Steinen und Kies versehene Becken.
- Die Rampe wurde mit 7 Steinen mit Durchmessern zwischen 15 und 25 cm bestückt.
- Die Fließgeschwindigkeiten über der Sohle lagen in der Rampe zwischen 0.21 und 0.60 m/s.
- Kontrolle während 7 Tagen (jeweils um 8 und um 18 h).
- Ins obere Becken abgewanderte Tiere wurden entfernt.



Abb. 18: Versuchsanordnung in der Urtenen.

Resultate

- Innerhalb einer Woche stiegen 17 Tiere ins obere Becken auf (5.7 % aller Tiere).
- Der Hauptaufstieg fand nachts statt (76.5 % aller aufgestiegenen Tiere wanderten bei Dunkelheit).
- Während der zwei letzten Versuchstage traten starke Gewitter auf, welche das Wasser stark trübten und leicht ansteigen liessen. Zudem wurde eine grosse Menge an Wasserpflanzen abgeschwemmt, welche das feinmaschige Gitter verstopften, weshalb kaum noch Wasser die Rampe durchfloss. Dies führte zu einer Verfälschung der Resultate.

Die Versuchsreihe in der Urtenen wurde infolgedessen abgebrochen.

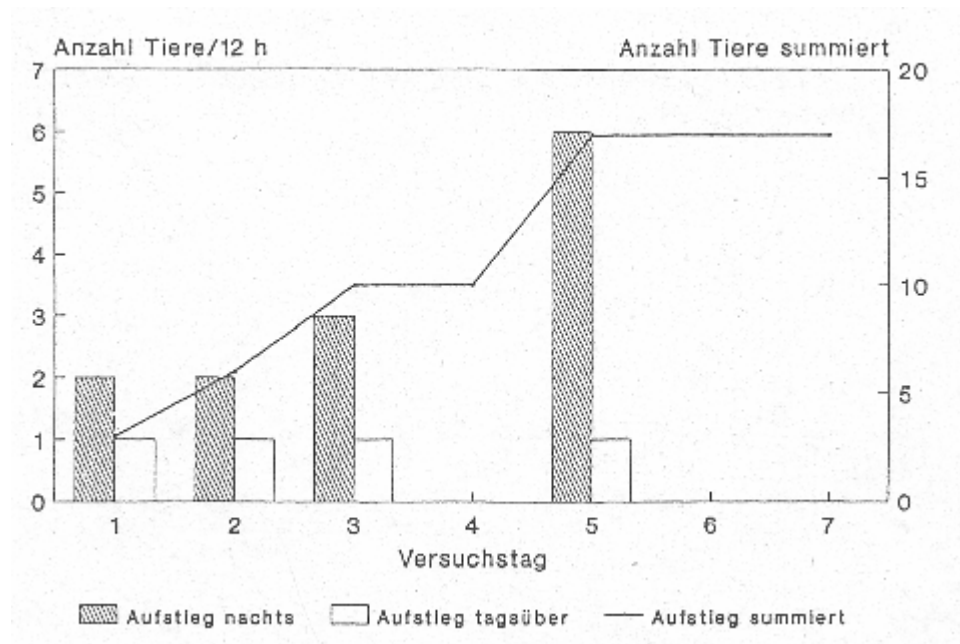


Abb. 19: Gammarusaufstieg in der Urtefen zwischen dem 13. und 19.7.1994 (Rampe mit 7 Steinen von 15-25 cm Durchmesser; Fließgeschwindigkeiten 0.21-0.60 m/s).

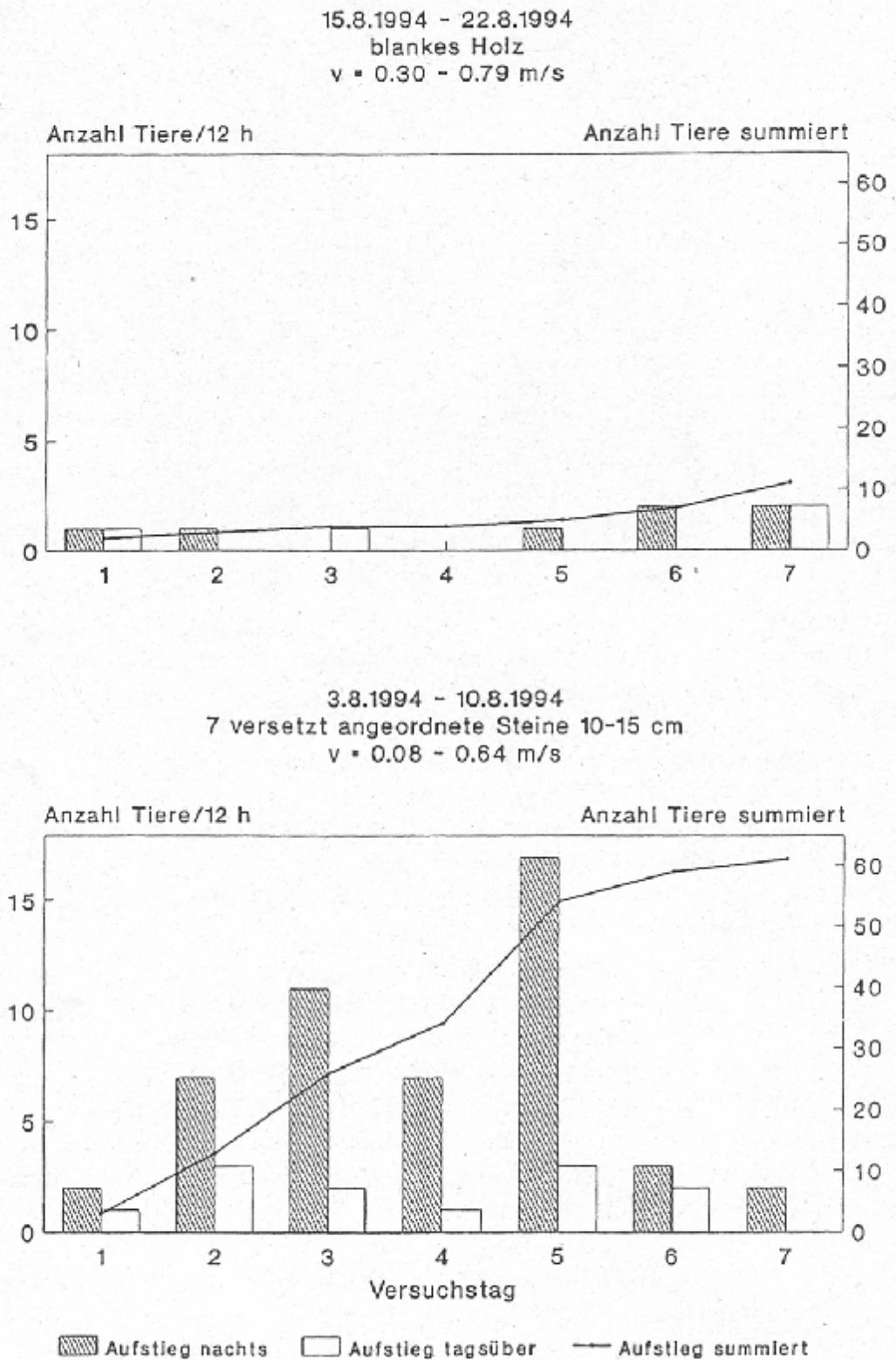
3.3.2 Versuchsanlage am Grundbach

Der Grundbach, ein vom Grundwasser beeinflusstes und somit kaltes Fließgewässer, führt nur sehr geringe Geschwemmselmengen mit sich und weist geringe Wasserstandsschwankungen auf.

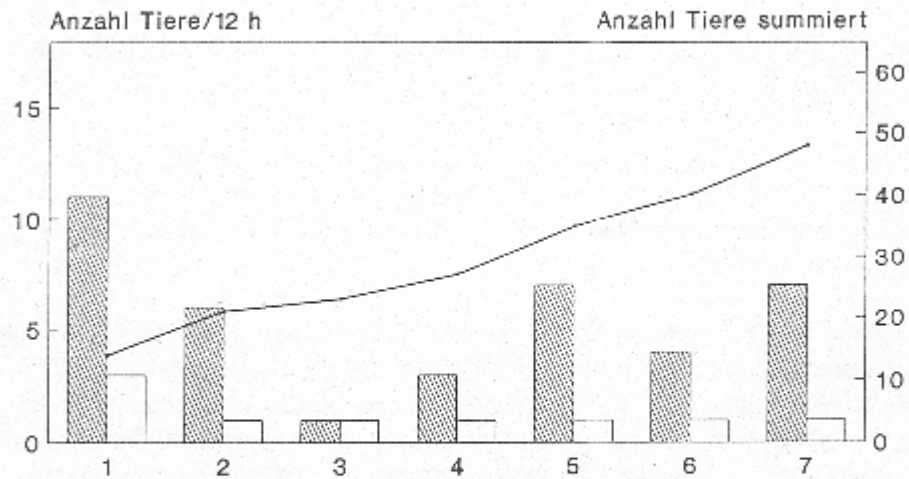
Die wesentlichen Schritte und Anordnungen in Versuchsreihe 1:

- Bei Versuchsbeginn wurden jeweils 300 Gammariden ins untere, mit Steinen und Kies versehene Becken eingebracht.
- Die Rampe wurde je nach Versuch:
 1. aus blankem Holz belassen
 2. mit 7 versetzt angeordneten Steine bestückt
 3. mit lückenlos angeordneten Steinen versehen
 4. mit lückenlos angeordnetem Kies versehen
 5. mit lückenlos angeordnetem Kies und Steinen versehen.
- An definierten Stellen in der Rampe wurde die Fließgeschwindigkeit oberhalb der jeweiligen Sohle gemessen.
- Während 7 Tagen wurde alle 12 Stunden kontrolliert, wieviele Tiere sich im oberen Becken befanden.
- Ins obere Becken eingewanderte Tiere wurden entfernt.

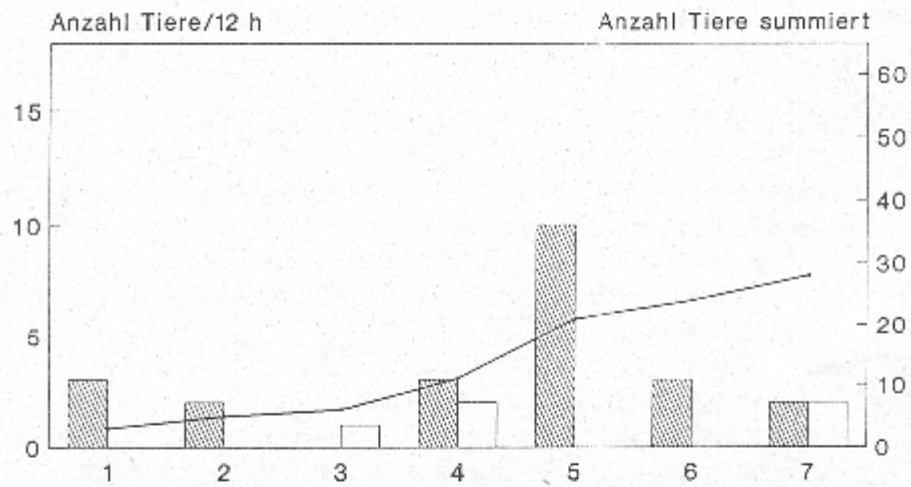
Abb. 20: Grundbach, Versuchsreihe 1: Gammarusaufstieg zwischen dem 27.7. und dem 12.9.1994.



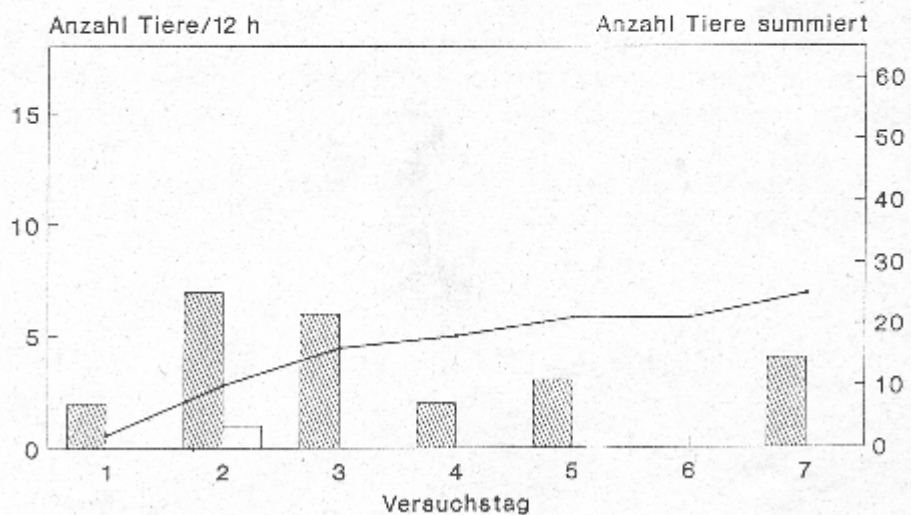
27.7.1994 - 3.8.1994
 lückenlos angeordnete Steine 12-20 cm
 $v = 0.04 - 0.37 \text{ m/s}$



22.8.1994 - 29.8.1994
 Kies, Durchmesser 1-10 cm
 $v = 0.32 - 0.58 \text{ m/s}$



5.9.1994 - 12.9.1994
 Kies - Steine (1-25 cm)
 $v = 0.10 - 0.63 \text{ m/s}$



Resultate (s. auch Abb. 20)

- Wurde die Holzrampe nicht mit Kies oder Steinen bestückt, stiegen nur sehr wenige Tiere in das obere Becken hinauf.
- Die grösste Anzahl aufgestiegener Tiere (61 resp. 48 Individuen nach 7 Tagen [entspricht 20.3 resp. 16 % der eingesetzten Tiere] wurde dann beobachtet, wenn die Rampe mit mehreren losen Steinen oder mit lückenlos angeordneten Steinen versehen wurde.
- Bei einer Sohle aus Kies bzw. aus einem Gemisch aus Kies und Steinen stiegen weniger Tiere ins obere Becken auf (28 resp. 25 Individuen [entspricht 9.3 resp. 8.3 % der eingesetzten Tiere]). Dabei wurde jedoch festgestellt, dass viele Gammariden in der Rampe selbst verblieben, welche aufgrund dieser Versuchsanordnung einen günstigen Lebensraum darzustellen scheint.
- Bei Dunkelheit stiegen deutlich mehr Tiere ins obere Becken empor als tagsüber (82 % der insgesamt 173 aufgestiegenen Tiere stiegen bei Dunkelheit auf). Dies bestätigt das auf S. 35 zitierte nächtliche Wanderverhalten von Flohkrebse.

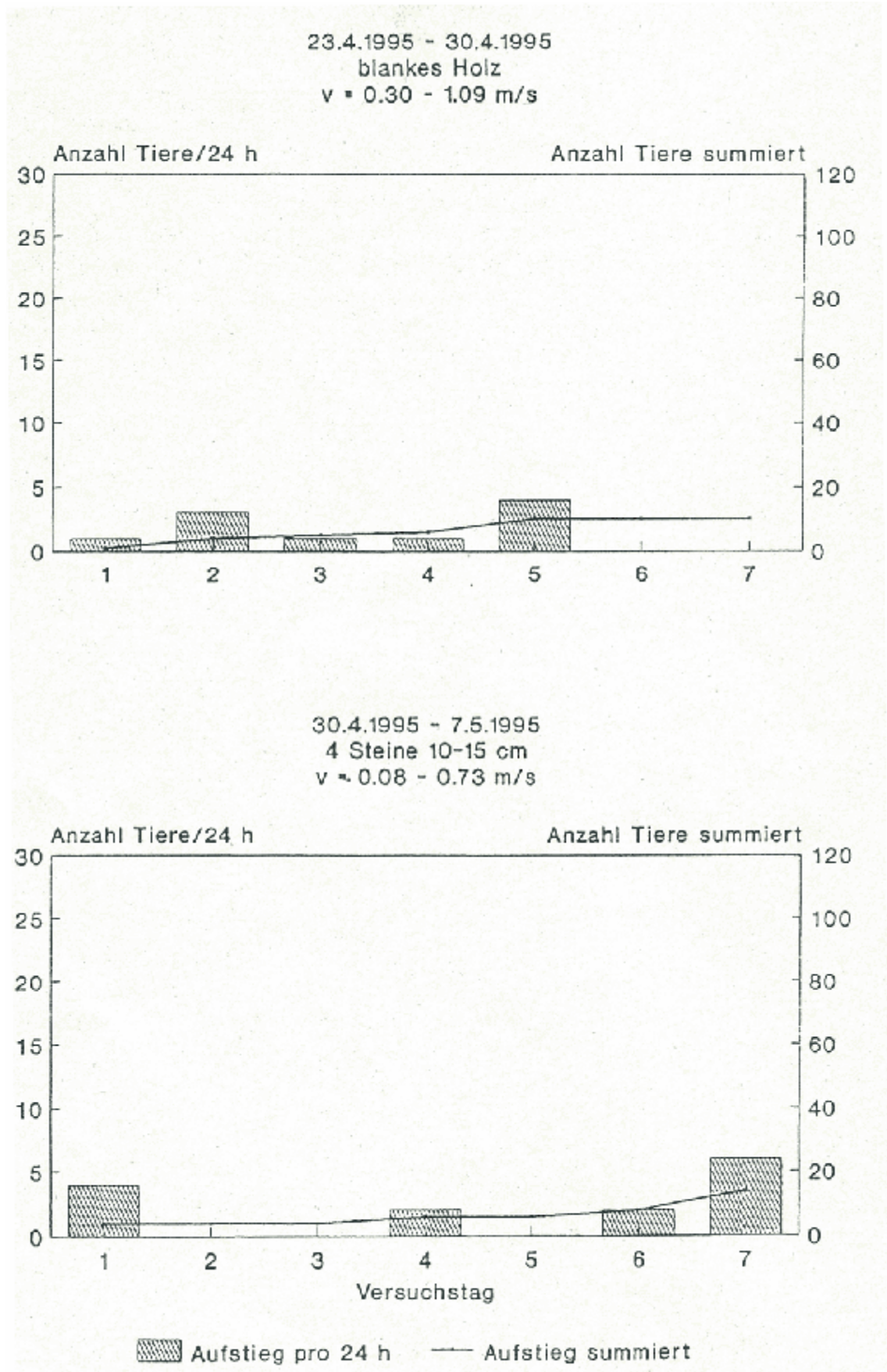
Die wesentlichen Schritte und Anordnungen in Versuchsreihe 2:

- Bei Versuchsbeginn wurden jeweils 300 Gammariden ins untere, mit Steinen und Kies versehene Becken eingebracht.
- Die Rampe wurde je nach Versuch:
 1. aus blankem Holz belassen
 2. mit 4 versetzt angeordneten Steine bestückt
 3. mit 8 versetzt angeordneten Steinen versehen
 4. mit lückenlos angeordneten Steinen versehen
 5. mit einer mehrschichtigen Lage aus Kies und Steinen versehen.
- An definierten Stellen in der Rampe wurde die Fliessgeschwindigkeit oberhalb der jeweiligen Sohle gemessen.
- Die Rampe wurde in 4 Teilbereiche eingeteilt. Während 7 Tagen wurde alle 24 Stunden kontrolliert, wieviele Tiere sich in den jeweiligen Teilbereichen der Rampe sowie im oberen Becken befanden.
- In die Rampe bzw. ins obere Becken eingewanderte Tiere wurden wieder ins untere Becken eingesetzt.

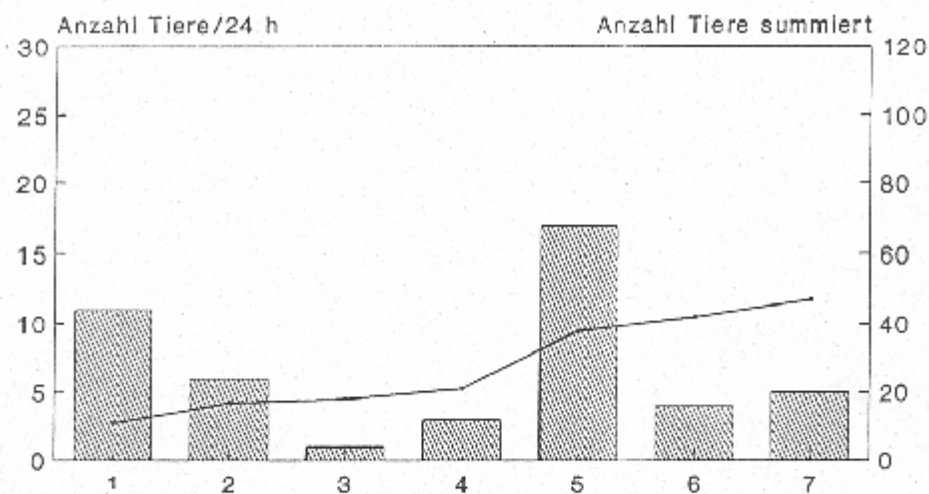
Resultate (s. auch Abb. 21):

- Wurde die Rampe aus blankem Holz belassen, stiegen nur wenige Tiere auf. In allen Bereichen der Rampe bzw. im oberen Becken wurden ähnlich viele Tiere ermittelt. Die Gammariden hielten sich dabei jeweils in den Ritzen im Bereich der Aussenwände auf (strömungsarme Zonen).
- Die Anzahl aufsteigender Tiere erhöhte sich mit dem Einbringen einzelner Steine nur unmerklich.
- Eine deutlich grössere Zahl an Flohkrebse stieg dagegen bei 8 eingebrachten Steinen auf (insgesamt wurden 47 Tiere in der Rampe oder im oberen Becken ermittelt). Auffällig dabei war, dass sich die weitaus grösste Anzahl an Tieren im untersten Bereich der Rampe sowie im oberen Becken befand. Dies deutet darauf hin, dass die Rampe in diesem Zustand keinen geeigneten Lebensraum für Flohkrebse darstellte, jedoch überwunden werden konnte.
- Bei lückenlos angeordneten Steinen stiegen nur 4 Tiere ins obere Becken auf; ein Grossteil der migrierenden Flohkrebse befand sich im untersten Bereich der Rampe.
- Die weitaus grösste Anzahl abgewanderter Tiere wurde ermittelt, als die Rampe mit einer tiefgründigen Substratschicht aus Steinen und Kies bestückt wurde. Es befanden sich viele Tiere sowohl in allen Teilen der Rampe wie auch im oberen Becken, was darauf hindeutet, dass die Rampe in diesem Zustand einerseits einen günstigen Lebensraum für Flohkrebse darstellt und andererseits gut durchwandert werden kann.

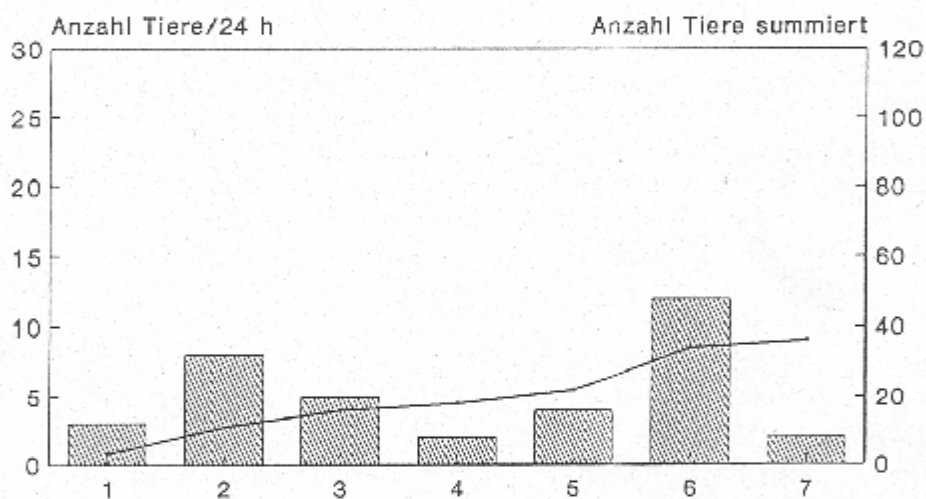
Abb. 21: Grundbach, Versuchsreihe 2: Gammarusaufstieg zwischen dem 23.4. und dem 24.6.1995.



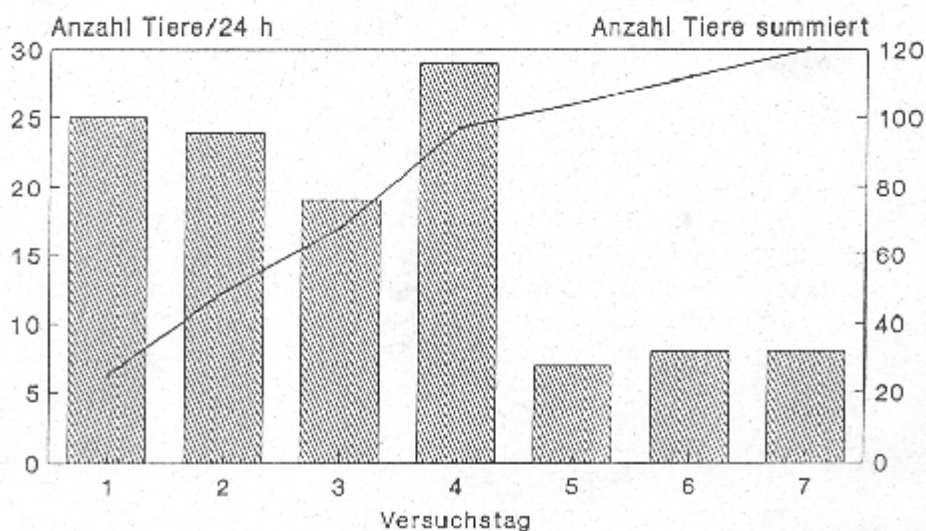
8.5.1995 - 15.5.1995
8 Steine 10-15 cm
 $v = 0.08 - 0.70$ m/s



26.5.1995 - 2.6.1995
lückenlos angeordnete Steine 12-20 cm
 $v = 0.05 - 0.52$ m/s



17.6.1995 - 24.6.1995
Steine/Kies 1-20 cm, mehrschichtig
 $v = 0.08 - 0.54$ m/s



■ Aufstieg pro 24 h — Aufstieg summiert

3.4 Schlussfolgerungen

- Nicht nur Fische, sondern auch deren **Nährtiere** können bei guter Konzeption einer **Fischaufstiegshilfe** dieselbe **benutzen**. Die Wanderung wird erschwert, wenn die Sohle nicht strukturiert ist (blankes Holz, Beton). Die Aufstiegsmöglichkeiten werden kaum verbessert, wenn nur einzelne Steine aufgelegt werden, da dadurch immer noch weite Strecken in starker Strömung/ohne Schutz zurückgelegt werden müssen.

Optimale Verhältnisse für Kleinorganismen entstehen dann, wenn die gesamte Sohle aus **tiefgründigem Substrat** besteht, welches einerseits den Aufstieg zulässt und gleichzeitig auch als Lebensraum dient.

Fischaufstiegshilfen sollten deshalb wenn möglich mit einer möglichst tiefgründigen Substratschicht versehen werden; einzelne einbetonierte Steine fördern den Wirbellosenaufstieg nur in geringem Masse.

- Wie aus der Literatur und aus den Versuchen hervorgeht, zeigen viele wasserbewohnende Wirbellosenarten ein **tageszeitlich unterschiedliches Verhalten**. Wird deshalb der Betrieb von Fischaufstiegshilfen tagsüber oder nachts eingestellt, kann ihre Aufwärtswanderung unterbrochen werden. Da sich solche Kleinorganismen im Vergleich zu Fischen mit sehr viel geringerer Geschwindigkeit fortbewegen, wird durch vollständiges Entleeren der Anlage deren Aufwanderung praktisch verunmöglicht, da die Distanz in einer Aufstiegsanlage kaum innerhalb von nur einigen Stunden zurückgelegt werden kann.

Wird deshalb eine Fischaufstiegsanlage nur nachts oder nur tagsüber betrieben, sollte darauf geachtet werden, dass beim Entleeren **genügend Wasser** in der Anlage belassen wird, damit sich in der Anlage befindliche Makroinvertebraten sowie Kleinfische dort verbleiben und überleben können.

4. AUFSTIEGSKONTROLLEN FÜR FISCHE

4.1 Ausgangslage

Der Aufstiegskontrolle für Fische in Fischaufstiegshilfen wurde relativ wenig Zeit gewidmet, da die dafür geeigneten Methoden gut entwickelt und oft erprobt worden sind (jedoch hauptsächlich bei grossen Kraftwerken). Neben dem Einsetzen von Reusen, welche regelmässig kontrolliert werden müssen, kommen heute v.a. auch Sichtscheiben, die relativ einfach in einen Fischpass eingebaut werden können und teilweise auch Videoüberwachung zur Anwendung.

Dieser Versuch hatte zum Ziel aufzuzeigen, wie die Wirksamkeit einer Fischaufstiegsanlage mit möglichst geringen Mitteln und kleinem Arbeitsaufwand überprüft werden kann.

4.2 Methode

Zur Erfolgskontrolle wurden folgende zwei klassischen Fischpässe (s. S. 8) ausgewählt:

- KW Roggwil, Roggwil, Langete: Fischpass mit Kronenausschnitten und Schlupflöchern
 - Mühle Beck, Utzenstorf, Mühlebach: Fischpass mit Kronenausschnitten
- Für den Fischpass des KW Roggwil wurden zwei verschiedene Reusen konstruiert, um sowohl den Aufstieg wie auch den Abstieg der Fische zu kontrollieren. Die Reuse zur Aufstiegskontrolle wurde zudem zweigeteilt um zu ermitteln, ob das Schlupfloch oder der Kronenausschnitt für den Aufstieg bevorzugt wird. Ein ortansässiger Fischer führte die Kontrollen gemäss Kontrollblatt der örtlichen Fischereiaufsicht durch (tägliche Kontrollen während je einer Woche pro Monat vom 16.1. bis am 21.12.1995).
- Für den Fischpass der Mühle Beck wurde eine einfache Konstruktion verwendet (Reuse mit der Breite eines Beckens der Anlage mit Oeffnung im Bereich des Kronenausschnittes), die von Hand gehoben werden konnte. Diese Reuse wurde mit einfachen Mitteln selber hergestellt (mit plastifiziertem Drahtgitter bespannte Aluminiumkonstruktion).

4.3 Resultate

4.3.1 KW Roggwil

Die Maschenweite der Reuse wurde mit 1 cm möglichst klein gehalten, um auch Kleinfische erfassen zu können. Es zeigte sich bald, dass dies bei der Langete, welche oft grosse Geschwemmelmengen mit sich führt, problematisch ist: Die Reuse verstopfte bei grosser Geschwemmselführung innert kürzester Zeit, legte dabei den gesamten Beckenpass trocken und musste jeweils gründlich gereinigt werden. Kontrollen konnten an insgesamt 56 Tagen durchgeführt werden.

Die Resultate fielen ernüchternd aus:

- Nur gerade 3 Forellen (eine Regenbogenforelle von 28 cm/250 g sowie zwei Bachforellen von 25 bzw. 28 cm/180 bzw. 250 g) stiegen auf. Diese drei Tiere stiegen alle im Juli (19. - 21.) auf und zwar über das Schlupfloch, während der Kronenausschnitt nicht benutzt wurde.
- 4 Fische stiegen während der Kontrolltage über die Fischtreppe ab: Eine adulte Groppe (10 cm, 18.3.1995), 2 Bachforellen (27 cm, 200 g resp. 19 cm, 100 g, beide am 24.8.1995) sowie eine Aesche (12 cm, 21.11.1995).

4.3.2 Mühle Beck

Die Aufstiegszählungen bei der Mühle Beck wurden vom 14.8.1995 bis am 28.12.1995 durchgeführt. Der Mühlebach führt geringe Geschwemmelmengen mit sich, weshalb die Reuse kaum verstopfte. Kontrolliert wurde alle 2-3 Tage. Dabei ergaben sich folgende Resultate:

- Während den ersten beiden Monaten (Mitte August bis Mitte Oktober) wurden keine Fische festgestellt.
- Zwischen dem 14.10. und dem 28.12. 1995 wurden insgesamt 8 Forellen (7 Bachforellen und eine Regenbogenforelle) ermittelt. Mit Ausnahme der Regenbogenforelle (12 cm) handelte es sich dabei ausschliesslich um adulte Tiere (22-33 cm).

4.4 Schlussfolgerungen

- Die Resultate beim KW Roggwil bedeuten **nicht**, dass diese Fischtreppe schlecht funktioniert. Wie nämlich 1995 kurz oberhalb des Kraftwerks von der kantonalen Fischereiaufsicht durchgeführte Elektroabfischungen ergaben, wird dieser früher sehr forellenreiche Abschnitt der Langete im Moment kaum besiedelt (Wasserqualität; Restlasten im Sediment). Pro 100 m Flusslauf konnten folgende Fische erhoben werden:

- Februar: 9 Bachforellen, 21 Groppen
- Mai: 3 Bachforellen, 17 Groppen
- Juli: 6 Bachforellen, 1 Aesche, 40 Groppen
- Oktober: 4 Bachforellen, 1 Regenbogenforelle, 3 Aeschen, 29 Groppen

Dieses Beispiel zeigt auf, dass Fischpasskontrollen immer im **Bezug auf die Fischfauna im Gewässer selber** ausgewertet werden müssen. Eine Zusammenarbeit mit der lokalen Fischereiaufsicht ist somit unerlässlich.

- Die Zeitdauer der Aufstiegszählungen bei der Mühle Beck war zu kurz, um abschliessende Resultate über das Funktionieren der Anlage angeben zu können. Wie zudem das Personal der Mühle beobachtet hat, konnten einzelne Tiere sich selber springenderweise aus der Reuse befreien, weshalb nicht alle aufsteigenden

Tiere erfasst worden sind. Es scheint, dass die Anlage hauptsächlich für Tiere grosser Körperlänge gut funktioniert, während sie von Kleinfischen wahrscheinlich weniger gut benutzt werden kann (kein Schlupfloch vorhanden). Wie zudem andere Versuche gezeigt haben (GEBLER, 1991) benutzt auch die angeblich so springfreudige Forelle eher das Schlupfloch als den Kronenausschnitt (90 % der erfassten Tiere). Beckenpässe sollten deshalb **nicht nur Kronenausschnitte**, sondern auch **Schlupflöcher** aufweisen.

- Die Kosten der beiden Spezialreusen für die Fischtreppe des KW Roggwil beliefen sich auf total Fr. 600.--. Die Materialkosten der Reuse für die Mühle Beck auf ca. Fr. 180.--. Dies zeigt, dass das Anfertigen derartiger Kontrollgeräte **nicht teuer** sein muss; sie können zudem in vielen Fällen (gerade bei kleinen Anlagen) **selber hergestellt** werden. Dabei sollte möglichst früh Kontakt mit den kantonalen Fischereibehörden gesucht werden, welche Erfahrungen in diesem Bereich haben und wertvolle Ratschläge geben können. Allenfalls verfügen diese Fachstellen über finanzielle Mittel, welche für den Bau von Fischreusen eingesetzt werden können.
- Fischereikreise haben grosses Interesse daran, dass die in ihren Gewässern gelegenen Aufstiegshilfen gut funktionieren. Es empfiehlt sich, möglichst **frühzeitig Kontakt** mit den örtlichen Fischereivereinen aufzunehmen, welche sich evtl. auch für Kontrollarbeiten engagieren lassen.
- Bei Gewässern mit grosser Geschwemmselführung muss die **Maschenweite entsprechend gewählt** werden, um der Gefahr des Verstopfens Rechnung zu tragen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass bei der Funktionsüberprüfung einer Aufstiegsanlage möglichst frühzeitig Kontakt mit der kantonalen Fischereifachstelle sowie mit den lokalen Fischereivereinen gesucht werden sollte. Dadurch können Probleme betreffend Reusenbau, Art und Zeitdauer der Kontrolle, Arbeitsverteilung, Auswertung der Resultate etc. am effizientesten gelöst werden.

5. MAKROINVERTEBRATEN IN VERSCHIEDENEN FISCHAUFSTIEGSHILFEN

5.1 Einleitung

Es ist schwierig, in bereits bestehenden Fischaufstiegshilfen zu testen, ob sie auch von Wirbellosen flussaufwärts überwunden werden können. Es wurde deshalb erhoben, ob verschiedene solcher Anlagen überhaupt von Makroinvertebraten besiedelt sind. Dies gibt Hinweise darüber, ob sich die verschiedenen Fischaufstiegstypen als Habitat für solche Kleinorganismen eignen und somit allenfalls auch als "Wanderkorridore" dienen können.

5.2 Methoden

Folgende Fischaufstiegshilfen bzw. Bereiche wurden auf ihre Besiedlung mit Makroinvertebraten hin untersucht (nähere Beschreibung der einzelnen Anlagen in der DIANE Publikation "Fische und Kleinwasserkraftwerke", 1997):

| Ortschaft, Gewässer | Fischaufstiegshilfe, Bereich |
|----------------------------|--|
| Wildegg, Aabach (AG): | â Umgebungsgewässer |
| Heimenhausen, Oenz (BE): | â Blockschwellen: Zwischenräume â Blockschwellen: Oberfläche Blöcke |
| Heimenhausen, Oenz (BE): | â Blockrampe |
| Möhlin, Möhlinbach (AG): | â aufgelöstes Rauhgerinne aus Blöcken mit Kiesohle â Blockrampe |
| Suberg, Lyssbach (BE): | â Blockrampe â Vertical Slot Fischpass (Schlitzpass) |
| Roggwil, Langete (BE): | â klassischer Beckenpass - flacher Bereich â klassischer Beckenpass - steiler Bereich |

In den oben aufgeführten Fischaufstiegshilfen sowie im freifliessenden Bereich des Oberwassers direkt oberhalb des Staauraums wurden mit Hilfe einer standardisierten Methode ("Surber Sampling") jeweils 8 repräsentativ über den gesamten Standort verteilte Proben à 0,05 m² entnommen. Diese wurden im Feld fixiert und im Labor auf Makroinvertebraten hin untersucht. Ein Vergleich der Wirbellosenbiomasse in den Aufstiegshilfen mit jenen im freifliessenden Oberwasser (Referenzstandort) gibt Auskunft über die Wirbellosenbesiedlung der verschiedenen Untersuchungsstandorte.

5.3 Resultate

Die Resultate dieses Versuches sind in den Abb. 22 und 23 dargestellt. Daraus geht folgendes hervor:

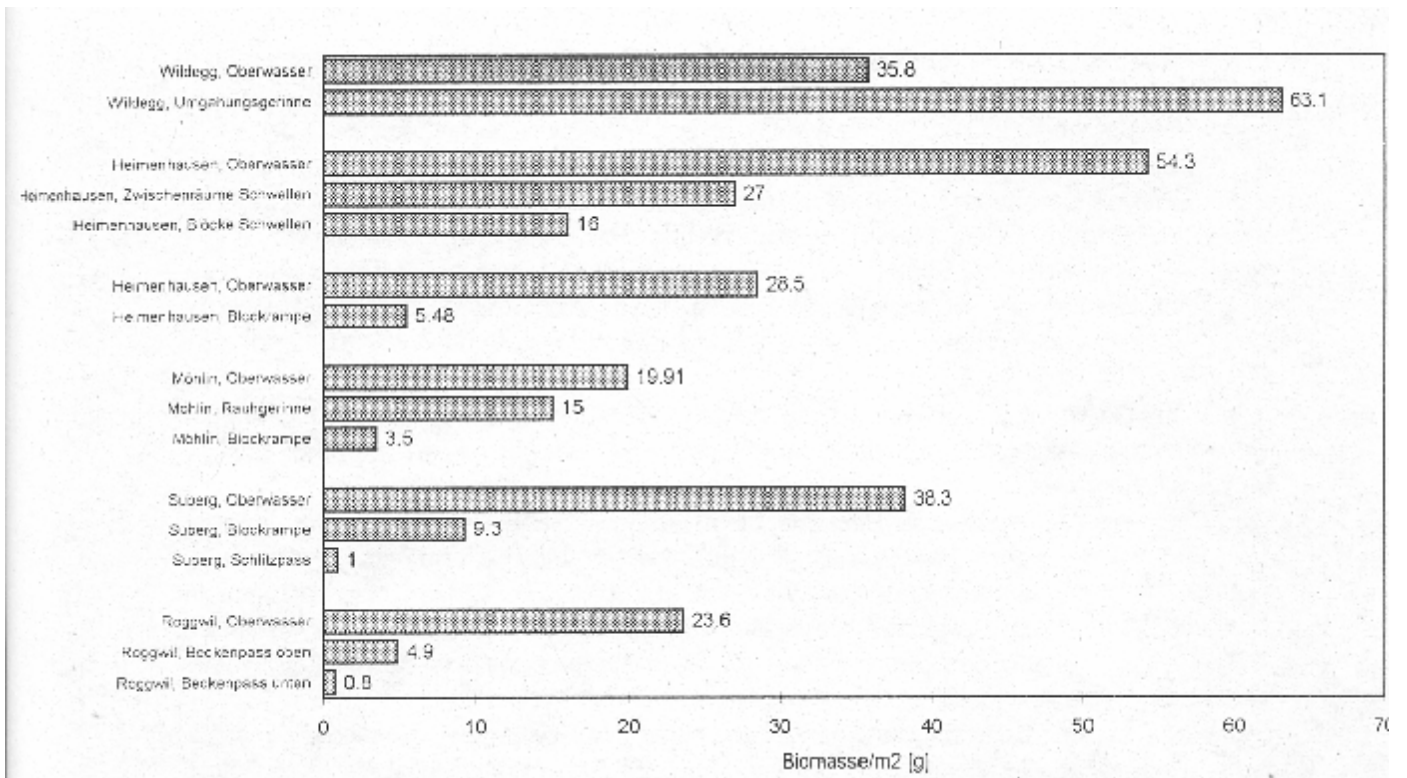


Abb. 22: Wirbellosenbiomasse [g/m²] der untersuchten Standorte.

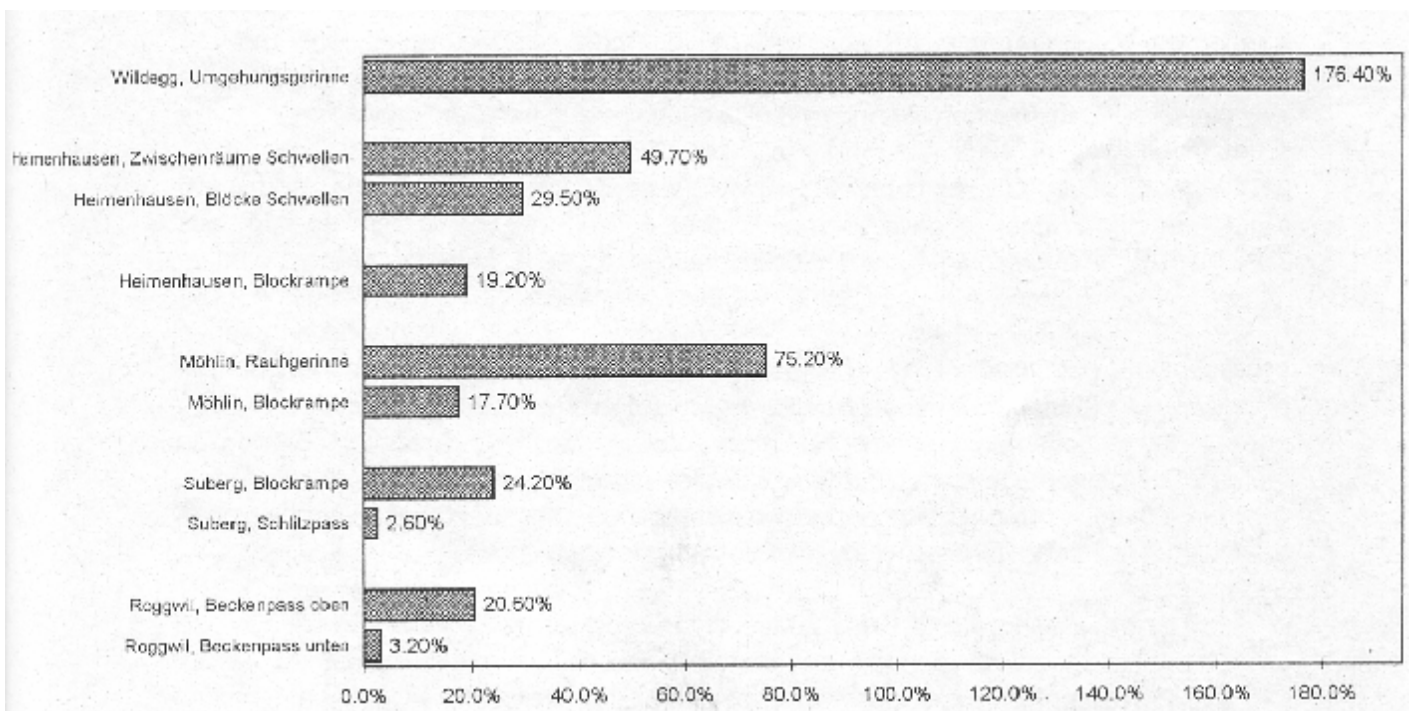


Abb. 23: Wirbellosenbiomasse der verschiedenen Bereiche der untersuchten Fischeufstiegshilfen im Vergleich zur Biomasse am im jeweiligen Oberwasser liegenden Vergleichsstandort [%].

- Alle untersuchten Kraftwerksstandorte befinden sich in Gewässern mit mittlerer bis reicher Nährtierbiomasse (19.1 bis 54.3 g/m² im Oberwasser).
- Das Umgehungsgewässer am Aabach weist bei weitem die grösste Wirbellosenbiomasse auf (1.8 mal mehr als der darüberliegende Vergleichsstandort im Oberwasser). Dieses Aufstiegs-gewässer ist gut strukturiert, ist mit einer vielfältigen Sohle (v.a. Blöcke und Steine) ausgestattet und ist reich bewachsen. Es ist anzunehmen, dass dieses dicht besiedelte Umgehungsgewässer von den Kleinorganismen auch für den Aufstieg benutzt werden kann.
- Im Gegensatz dazu weisen die beiden untersuchten Fischpässe die geringste Wirbellosenbesiedlung auf:
 - * Der klassische Beckenpass in Roggwil hat in den obersten, langgezogenen Becken nur ein sehr kleines Gefälle, was zu Sedimentablagerungen führt. Die Wände sind zudem mit Moosen überwachsen. In diesem Bereich wurde eine relativ grosse Wirbellosenbiomasse gefunden (20.6 % des Oberwassers), da diese Ablagerungen ein Habitat für gewisse Arten bieten.
 Im daruntergelegenen Teil herrschen dagegen grössere Fließgeschwindigkeiten vor; die Sohle und die Seitenwände bestehen aus Beton, was nur eine sehr geringe Besiedlung erlaubt (3.2 % der Biomasse des Oberwassers).
 In die Sohle dieses Beckenpasses sind einzelne Steine eingepflastert. Diese bewirken zwar aufgrund der erhöhten Rauigkeit eine gewisse Strömungsvielfalt, schaffen jedoch keine und nur wenig geeignete Bedingungen für eine Wirbellosenbesiedlung bzw. -aufwanderung.
 - * Der Schlitzpass bei Suberg weist eine Wirbellosenbesiedlung von nur 2.6 % des Oberwassers auf. Dieser Vertical Slot Pass besteht aus Fertigelementen aus Beton, welche in eine Magerbetonsohle verlegt wurden. Auf die Sohle wurde Material mit 10-20 cm Durchmesser eingebracht; im Bereich der Schlitze wurden zudem einzelne Schroppen von 20-30 cm Durchmesser fixiert. Wie jedoch ein Augenschein bei der Entnahme der Wirbellosenproben ergeben hat, wurde das lose eingebrachte Material grösstenteils wieder ausgespült. Einzig an strömungsarmen Stellen sind noch einzelne Kiesablagerungen zu finden. Dies hat scheinbar bewirkt, dass auch diese Anlage kein geeignetes Habitat für eine reiche Wirbellosenbesiedlung darstellt.
- Die Besiedlungsdichte der 3 untersuchten Blockrampen (Oenz, Möhlinbach und Lyssbach) erwies sich als sehr ähnlich: Sie lag jeweils bei rund 20 % der Wirbellosenbiomasse des Oberwassers. Gleichzeitig muss jedoch erwähnt werden, dass die Probenahme in Blockrampen aufgrund der relativ engen Anordnung der einzelnen Blöcke erschwert ist (Tiere in den Zwischenräumen werden nicht erfasst), weshalb die Wirbellosenbiomassen evtl. etwas unterschätzt wurden.

- Das Rauherinne in Möhlin besteht aus Becken, welche aus Natursteinblöcken gestaltet sind und eine tiefgründige Kiessohle aufweisen. In dieser Anlage wurde eine dichte Wirbellosenbesiedlung nachgewiesen (75 % des Oberwassers).
- Bei den Querswellen in der Oenz wurden zwei unterschiedliche Habitate untersucht, wobei die Blöcke, welche die einzelnen Schwellen bilden, eine geringere Wirbellosenbesiedlung aufweisen als die Gebiete zwischen den einzelnen Schwellen (29.5 resp. 49.7 % der Biomasse des Oberwassers).

3.4 Schlussfolgerungen

- Die Resultate zeigen deutlich, dass Anlagen, welche eine vielfältige und lockere Sohle aufweisen, am dichtesten von Wirbellosen besiedelt werden: Das Umgehungsgewässer weist gar eine höhere Wirbellosenbiomasse als das Oberwasser auf. Bei derartigen Anlagen kann davon ausgegangen werden, dass sie auch von **Kleinorganismen flussaufwärts durchwandert** werden können, während dies bei Anlagen, die kaum von derartigen Tieren besiedelt sind, wahrscheinlich nicht der Fall ist.
- Die Beispiele der Zwischenräume der Querswellen in der Oenz sowie des Rauherinnes im Möhlinbach zeigen auf, dass Blocksteinbauwerke stärker besiedelt werden können, wenn sie **strömungsarme Ruhezonen** (z.B. einzelne Becken) mit Steinen und Kies aufweisen.
- Die Resultate der untersuchten Fischtreppe machen deutlich, dass Fischpässe aus glattem Material nur dann von Kleinorganismen besiedelt und somit auch durchwandert werden können, sofern diese eine tiefgründige Substratschicht im Sohlbereich aufweisen. Eingepflasterte Steine erhöhen zwar die Rauigkeit und bewirken ein vielfältigeres Strömungsmuster, schaffen jedoch noch keine geeigneten Lebensbedingungen für solche Tiere. Becken- und Schlitzfischpässe sollten daher mit einer mindestens **20 cm mächtigen, losen Substratschicht** versehen werden, welche regelmässig überprüft werden muss (Gefahr des Abspülens).
- Glatte Betonmauern bieten keine günstigen Lebensbedingungen für aquatische Wirbellose. Wie jedoch das Beispiel des obersten Bereichs des Beckenpasses in Roggwil aufzeigt, können derartige Standorte besiedelt werden, wenn Sedimentablagerungen vorhanden sind bzw. Betonflächen überwachsen werden. Es wird deshalb empfohlen, derartige **Ablagerungen bzw. Bewuchsflächen nur dann zu entfernen**, wenn sie den Betrieb der Fischaufstiegsanlage behindern bzw. unterbinden.

V. PRAXISORIENTIERTE EMPFEHLUNGEN

Aus den in diesem Bericht dargestellten Literaturangaben, Umfragen und Erhebungen lassen sich folgende Empfehlungen bezüglich des biologischen Kontinuums bei Kleinwasserkraftwerken ableiten:

Planung KWK / neue Konzessionserteilung

Das Bundesgesetz über die Fischerei schreibt vor, dass die Fischwanderung bei einer Wassernutzung anhand geeigneter Massnahmen sichergestellt werden muss. Die Errichtung einer Aufstiegshilfe ist somit bei Neuanlagen obligatorisch (wobei Neukonzessionen ebenfalls als Neuanlagen gelten). Bei bestehenden Anlagen, die nicht verändert werden, kann ein derartiger Fischweg angeordnet werden, sofern diese Massnahme wirtschaftlich tragbar ist.

Es wird deshalb empfohlen, bereits bei der Projektierung einer Neuanlage resp. bei Eingabe einer Konzessionserneuerung eine Fischaufstiegshilfe vorzusehen und diesbezüglich möglichst frühzeitig den Kontakt mit den zuständigen Fischereibehörden zu suchen. Dadurch können Fehlplanungen vermieden und Informationen über das weitere Vorgehen sowie die genauen Auflagen eingeholt werden (Empfehlungen zu diesem Thema in der DIANE Broschüre "Fische und KWK, kostengünstige Aufstiegshilfen für Fische und Kleinlebewesen", s. Publikationsliste DIANE).

Planung / Bau von Fischaufstiegsanlagen

Bei der Planung solcher Anlagen müssen verschiedene Parameter wie Fischfauna des Gewässers, Platzierung, Raumangebot etc. berücksichtigt werden.

Wenn immer möglich sollten naturnahe Bauwerke mit vielfältiger, tiefgründiger Sohle errichtet werden (Umgebungsgewässer, naturnahe Rauhgerinne etc.). Ist dies z.B. aus Platzgründen nicht möglich, kann eine Kombination von technischen mit naturnahen Bautypen angestrebt werden.

Becken- oder Schlitzpässe mit glatter Sohle oder einbetonierten Steinen werden kaum von Wirbellosen besiedelt (und können somit von diesen Kleinorganismen auch nicht überwunden werden). Im Gegensatz zu Fischen mit grosser Schwimm- und Sprungkapazität sind für in Bodennähe lebende Fische sowie für Makroinvertebraten weniger die Fliessgeschwindigkeiten über der Sohle und in der Wassersäule, sondern vielmehr die Substratverhältnisse ausschlaggebend. Für Makroinvertebraten - wie auch für Jungfische und viele Kleinfischarten - ist es deshalb unabdingbar, derartige Bauwerke mit einer mindestens 20 cm mächtigen, lockeren Substratschicht zu versehen. Dabei sollte mittels geeigneter baulicher Massnahmen das Abspülen dieser Schicht verhindert resp. minimiert werden (in die Sohle einbetonierte Schoppen, hinter denen sich solches Material ablagern kann, Zwischenwände mit durchgehendem Rand unterhalb des Schlupfloches etc.).

Gleichzeitig sollte das Vorhandensein dieser Substratschicht regelmässig kontrolliert und allenfalls neues Substrat zugegeben werden.

Betrieb von Aufstiegshilfen

Glatte Bereiche von Fischpässen werden kaum von Wirbellosen besiedelt. Sind die Wände bzw. die Sohle dieser Anlagen jedoch bewachsen resp. weisen sie Sedimentablagerungen auf, können diese von Makroinvertebraten als Lebensraum genutzt werden. Es wird deshalb empfohlen, derartigen Bewuchs bzw. Ablagerungen nur dann zu entfernen, wenn dadurch der Betrieb und somit gleichzeitig die Wirksamkeit der Anlage eingeschränkt wird (Verstopfung der Schlupflöcher, verringerte Wassermenge in der Aufstiegshilfe etc.).

Es sind noch zu wenige Grundlagendaten darüber vorhanden, ob mittels eines saisonal oder tagsüber/nachts unterschiedlichen Betriebs die Wirksamkeit einer Aufstiegsanlage verbessert werden könnte (optimaler Einsatz einer gegebenen Lockwassermenge). Würde jedoch eine Anlage tagsüber oder nachts jeweils abgestellt, bedeutet dies das Austrocknen bzw. Abdriften der Wirbellosen in der Anlage. Da solche Kleinorganismen zudem verhältnismässig langsam wandern, kann eine Aufstiegshilfe bei täglichem Austrocknen von den Kleinorganismen nicht überwunden werden. Bei diurnalem Betrieb sollte deshalb eine vollständige Trockenlegung vermieden werden.

Funktionskontrollen

Die Wirksamkeit von Aufstiegsanlagen sollte überprüft werden. Dies kann mit Reusenkontrollen, Direktbeobachtungen, Videoaufnahmen, Markierung von Fischen etc. geschehen.

Kontrollreusen können bei Aufstiegshilfen von Kleinwasserkraftwerken meist in Eigenbau und auf kostengünstige Weise hergestellt werden. Fischereiaufseher können über das zu verwendende Material, Maschenweite, die Art der Konstruktion, die Plazierung in der Anlage, die Durchführung der Kontrollen etc. beraten.

Es sollte möglichst frühzeitig Kontakt mit dem örtlichen Fischereiverein gesucht werden. Fischer sind am guten Funktionieren solcher Aufstiegsanlagen interessiert und sind deshalb evtl. bereit, bei Unterhalt und Funktionskontrolle mitzuarbeiten.

Die Resultate der Funktionskontrollen sollten in Zusammenarbeit mit einer Fachperson ausgewertet werden. Wie das Beispiel KW Roggwil gezeigt hat, müssen die Aufstiegszahlen stets in Zusammenhang mit der Fischfauna im Gewässer ausgewertet werden.

VI. ZUSAMMENFASSUNG/SCHLUSSFOLGERUNGEN

- Das Kontinuum der Fliessgewässer wird heute vielenorts unterbrochen. Dies geschieht einerseits durch mechanische Hindernisse wie Wehre und Eindolungen, andererseits aber auch durch chemische und thermische Barrieren, durch Eingriffe in die natürliche Gewässermorphologie, durch zu geringe Restwassermengen etc..
- Ein Unterbruch dieses Kontinuums hat einerseits allseits bekannte Auswirkungen auf die Fischfauna, deren Wanderung verzögert bzw. unterbrochen werden kann, andererseits aber auch auf die wasserbewohnenden Kleinorganismen. Diese Wirbellosen werden bis heute in der wasserbaulichen Praxis stark vernachlässigt.
- Aufgrund von Literaturangaben sowie Umfragen an die kantonalen Fischereibehörden wurden verschiedene Fischaufstiegstypen wie auch die Entwicklung des Baus solcher Anlagen in der Schweiz dargestellt. Daraus geht hervor, dass der Nutzen dieser Bauten im Gegensatz zu früher allgemein anerkannt wird, genaue Zahlen über das Vorhandensein von Fischwegen bei KWK und insbesondere über deren Wirksamkeit jedoch meist nicht vorhanden sind.
- Mittels einer ausführlichen Literaturrecherche wurde auf die Ortsveränderungen von aquatischen Wirbellosen eingegangen. Es wurde dargestellt, dass diese Tiere einerseits mit der Strömung verdriftet werden ("Drift"), dass sie andererseits jedoch in der Lage sind, weite Strecken flussaufwärts gegen die Strömung zurückzulegen. Dabei wird angenommen, dass dadurch wenigstens teilweise die Verluste durch die Drift ausgeglichen werden können. Dies ist insbesondere für solche Arten wichtig, die kein geflügeltes Adultstadium aufweisen und zeitlebens im Gewässer verbleiben (z.B. Flohkrebse). Dabei bestehen grosse Wissenslücken darüber, wie weit KWK Wanderhindernisse bzw. Driftfallen (Staubereich) für solche Makroinvertebraten darstellen, und ob auch diese Tiere die sogenannten "Fisch"aufstiegshilfen für ihre Aufwärtswanderung benützen können.
- Es wird aufgezeigt, dass Flohkrebse mit Hilfe von Lebensmittelfarbe innert kurzer Zeit in grosser Anzahl kostengünstig markiert werden können. Dies wird erlauben, die Ortsveränderungen solcher Tiere mittels Feldversuchen zu testen (z.B. auch für die Ueberprüfung der Passierbarkeit von Fischaufstiegshilfen verwendbar).
- Mit Hilfe eines geschlossenen Modelles einer Fischaufstiegsanlage wurde anhand von Feldversuchen überprüft, bei welchen Bedingungen solche Bauwerke auch von aquatischen Wirbellosen (in diesem Fall von Flohkrebsen) überwunden werden können. Es erwies sich, dass die Tiere kaum aufstiegen, wenn die Sohle aus einer glatten Fläche besteht (obwohl die dabei festgestellten Fliessgeschwindigkeiten für eine Fischaufstiegshilfe sehr günstig waren). Wurde die zu überwindende Rampe mit einzelnen Steinen bestückt, nahm die Anzahl der aufgestiegenen Tiere deutlich zu. Bei lückenlos angeordneten Steinen/Kies sowie bei einer tiefgründigen Sohle konnten die Tiere ins obere Becken emporsteigen, verblieben jedoch deutlich häufiger auch in der Rampe selber, die durch ihre Ausgestaltung so auch einen geeigneten Lebensraum für die Wirbellosen-

besiedlung darstellt. Diese Resultate bestätigen die heute meist vertretene Theorie, wonach Beckenpässe sowie Schlitzpässe mit einer mindestens 20 cm mächtigen, losen Substratschicht versehen werden sollten. Dies fördert nicht nur den Aufstieg von diversen Kleinfischen, sondern erlaubt auch die Aufwanderung von aquatischen Wirbellosen bzw. stellt ein geeignetes Habitat für derartige Organismen dar.

Wie der Versuch zudem gezeigt hat, stiegen bei Dunkelheit deutlich mehr Tiere in das obere Becken empor als tagsüber. Dies bestätigt Literaturangaben, wonach viele dieser Arten ein je nach Tageszeit unterschiedliches Verhalten zeigen. Bei einer allfälligen tageszeitlich unterschiedlichen Betriebsweise von Fischaufstiegs-hilfen sollte dieser Tatsache Rechnung getragen werden.

- Anhand zweier Fallbeispiele wurden Fischaufstiegskontrollen mittels Reusenfängen durchgeführt. Solche Kontrollgeräte müssen nicht teuer sein und können häufig selber hergestellt werden. Während die eine der beprobten Anlagen hauptsächlich von Fischen mit grosser Körperlänge benutzt wurde (Mühle Beck; nur Kronenausschnitt, kein Schlupfloch), wurden in der anderen (Beckenpass beim KW Roggwil) kaum Fische festgestellt. Gleichzeitig durchgeführte Elektroabfischungen haben jedoch aufgezeigt, dass dies nicht auf ein schlechtes Funktionieren des Fischpasses zurückgeführt werden darf, sondern dass der untersuchte Flussabschnitt heute kaum Fische aufweist. Dieser Versuch zeigte die Wichtigkeit auf, bei all diesen Fragen (Reusenbau, Art und Dauer der Kontrollen, Arbeitsverteilung, Interpretation der Resultate etc.) möglichst früh den Kontakt mit dem ansässigen Fischereiverein sowie der zuständigen Fischereibehörde zu suchen.
- Verschiedene Fischaufstiegstypen wurden auf ihre Besiedlung mit aquatischen Wirbellosen hin untersucht und die Ergebnisse mit der Wirbellosenbesiedlung im jeweiligen Oberwasser verglichen. Diese Resultate fielen deutlich aus:
 - * Das getestete naturnahe Umgehungsgewässer ist sehr dicht mit Wirbellosen besiedelt (gar 75 % mehr als der Vergleichsstandort im Oberwasser).
 - * Die zwei untersuchten klassischen Fischpässe (ein Beckenpass mit eingepflasterten Steinen und ein Schlitzpass mit einzelnen Schroppen, dessen Kiessohle weitgehend abgespült wurde) wiesen kaum Wirbellose auf.
 - * Naturnähere Varianten liegen zwischen diesen beiden Extrembeispielen. Je vielfältiger und tiefgründiger dabei das Substrat ist, desto dichter können die verschiedenen Anlagen von Wirbellosen besiedelt werden.

Es ist anzunehmen, dass dicht besiedelte Fischaufstiegsanlagen auch für den Aufstieg ins Oberwasser benutzt werden, während Anlagen mit glatter Sohle von aquatischen Wirbellosen kaum überwunden werden können.
- Sowohl die Literaturrecherchen wie auch die durchgeführten Untersuchungen zeigen ein Wissensdefizit bezüglich der Bedeutung von Drift und Aufstieg von Wirbellosen (auch im Zusammenhang mit Kleinwasserkraftwerken) und weisen dadurch auf einen Handlungsbedarf in der Grundlagenforschung auf diesem Gebiet hin.

ANHANG 1

LITERATURVERZEICHNIS

LITERATURVERZEICHNIS

- ALLAN, J.-D. & RUSSEK, E. (1985):** The quantification of stream drift.- Can. J. Fish. Aquat. Sci., 42: 210-215.
- ANDERSON, N.H. & LEHMKUHL, D.M. (1968):** Catastrophic drift of insects in a woodland stream.- Ecology 49: 198-206.
- BARBER, W.E. & KEVERN, N.R., 1973:** Ecological factors influencing macroinvertebrate standing crop distribution.- Hydrobiologia 43: 53-76.
- BARMUTA, L.A. & LAKE, P.S. (1982):** On the value of the river continuum concept.- N. Z. J. Mar. Freshwater Res. 16: 227-229.
- BAXTER, R.M. (1977):** Environmental effects of dams and impoundments.- Annu. Rev. Ecol. Syst., 8: 255-283.
- BENSON, L.J. & PEARSON, R.-G. (1987):** Drift and upstream movement of Yuccabine Creek Kirrama State Forest Queensland, Australia, an Australian tropical stream.- Hydrobiologia, 153(3): 225-240.
- BERGEY, E. & WARD, J.-V. (1989):** Upstream-downstream movement of aquatic invertebrates in a rocky mountain stream.-Hydrobiologia, 185(1): 71-82.
- BIRD, G.A. & HYNES, H.B.N. (1981):** Movement of immature aquatic insects in a lotic habitat.- Hydrobiologia, 77: 103-112.
- BISHOP, J.E. (1969):** Light control of aquatic insect activity and drift.- Ecology, 50: 371-380.
- BISHOP, J.E. & HYNES, H.B.N. (1969):** Downstream drift of the invertebrate fauna in a stream ecosystem.- Arch. Hydrobiol. 66: 56-90.
- BISHOP, J.E. & HYNES, H.B.N. (1969):** Upstream movements of the benthic invertebrates in the Speed river, Ontario.- J. Fish. Res. Bd. Can., 26: 279-298.
- BOGATOV, V.V. (1980):** Methods of determination of distance travelled by benthic invertebrates.- Sov. J. Ecol., 10: 337-342.
- BOHLE, H.W. (1978):** Beziehungen zwischen dem Nahrungsangebot, der Drift und der räumlichen Verteilung bei Larven von *Baetis rhodani*.- Arch. Hydrobiol., 84: 500-525.
- BOURNAUD, M. (1972):** Influence de la vitesse du courant sur l'activité de locomotion des larves de *Micropterna testacea* (Trichoptera, Limnephilidae).- Ann. Limnol., 8: 141-216.
- BOURNAUD, M., KECK, G. & RICHOUX, P. (1980):** Les prélèvements de macroinvertébrés benthiques en tant que révélateurs de la physiognomie d'une rivière.- Ann. Limnol., 16: 55-75.

- BRITTAIN, J.E. & EIKELAND, T.J. (1988):** Invertebrate Drift - A review.- *Hydrobiologia* 166: 77-93.
- BROOKER, M.P. & HEMSWORTH, R.J. (1978):** The effects of release of an artificial discharge of water on invertebrate drift in the R. Wye, Wales.- *Hydrobiologia*, 59: 155-163.
- BRUSVEN, M.A. (1970):** Drift periodicity and upstream dispersion of stream insects.- *J. Entomol. Soc. Brit. Columbia*, 67: 48-58.
- BRUSVEN, M.A. (1970):** Fluorescent pigments as marking agents for aquatic insects.- *Northwest Sci.*, 44: 202-237.
- BUTLER, M. & HOBBS, H.H. (1982):** Drift and upstream movement of invertebrates in a springbrook community ecosystem.- *Hydrobiologia*, 89: 153-159.
- CASEY, R.J. (1987):** Diel periodicity in density of Ephemeroptera nymphs on stream substrata and the relationship with drift and selected abiotic factors.- *Can. J. Zool.*, 65: 2945-2952.
- CASPERS, N. (1982):** Steinfliegen, Eintagsfliegen und Zweiflügler als Indikatoren der Gewässergüte.- *Decheniana-Beihefte* 26: 114-119.
- CHASTON, J. (1968):** Endogenous activity as a factor in invertebrate Drift.- *Arch. Hydrobiol.* 64: 324-334.
- CHASTON, J. (1969):** The light threshold controlling the periodicity of invertebrate drift.- *J. Anim. Ecol.* 38: 171-180.
- CIBOROWSKI, J.J.H. & CORKUM, L.D. (1980):** Importance of behaviour to the re-establishment of drifting Ephemeroptera.- In: FLANNAGAN, J.F. & MARSHALL, K.E. (eds.): *Advances in Ephemeroptera biology*. Plenum, New York: 321-330.
- CLIFFORD, H.F. (1972):** A year's study of the drifting organisms in a brown water stream of Alberta, Canada.- *Can. J. Zool.* 50: 975-983.
- CLIFFORD, H.F. (1972):** Drift of invertebrates in an intermittent stream draining marshy terrain of west-central Alberta.- *Can. J. Zool.*, 50: 985-991.
- COBB, D.G., GALLOWAY, T.D. & FLANNAGAN, J.F. (1992):** Effects of discharge and substrate stability on density and species composition of stream insects.- *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, Vol 49: 1788-1795.
- COLEMAN, M.J. & HYNES, H.B.N., 1970:** The vertical distribution of the fauna in the bed of a stream.- *Limnol. Oceanogr.* 15: 31-40.
- CORKUM, L.D. (1978):** The influence of density and behavioural type on the activity entry of two mayfly species into the water column.- *Can. J. Zool.*, 56: 1201-1206.

CORKUM, L.D. & CLIFFORD, H.F. (1980): The importance of species associations and substrate types to behavioural drift, pp. 331-342. In: FLANNAGAN, J.F. & MARSHALL (eds.): Advances in ephemeroptera biology. Plenum Press, New York, NY, 434 pp.

CULP, J.M. & DAVIES, R.W. (1982): Analysis of longitudinal zonation and the river continuum concept in the Oldman-South Saskatchewan River system.- Can. J. Fish. Aquat. Sci. 39: 1258-1266.

CUSHING, C.E., McINTIRE, C.D., CUMMINS, K.W., MINSHALL, R.C., PETERSEN, R.C., SEDELL, J.R. & VANNOTE, R.R. (1983): Relationships among chemical, physical and biological indices along river continua based on multivariate analysis.- Arch. Hydrobiol., 98: 317-326.

DENDY, J. (1944): The fate of animals in stream drift when carried into lakes.- Ecol. Monographs 14: 333-357.

DENNERT, H.G. et al. (1969): Upstream and downstream migrations in relation to the reproduction cycle and to environmental factors in the amphipod *Gammarus zaddachi*.- Bijdragen tot de Dierkunde, 39: 11-43.

DIMOND, J.B. (1967): Evidence that drift of stream benthos is density related.- Ecology, 48: 855-857.

DOEG, T.J., DAVEY, G.W. & BLYTH, J.D. (1987): Response of the aquatic macroinvertebrate communities to dam construction on the Thomson river southeastern Australia.- Regul. Rivers Res. Manage., 1(3): 195-210.

DONALD, D.B. & MUTCH, R.A. (1980): The effects of hydroelectric dams and sewage on the distribution of stoneflies (Plecoptera) along the Bow river.- Quaest. Ent. 16: 655-670.

DVWK (1996): Fischaufstiegsanlagen - Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle.- Merkblätter zur Wasserwirtschaft Nr. 232.

EIDGENÖSSISCHES VERKEHRS- UND ENERGIEWIRTSCHAFTSDEPARTEMENT, BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1987): Kleinwasserkraftwerke in der Schweiz, Teil III.- Mitteilungen Nr. 2, Bern.

ELLIOTT, J.M. (1967): Invertebrate drift in a Dartmoor stream.- Arch. Hydrobiol. 68: 202-237.

ELLIOTT, J.M. (1968): The life histories and drifting of Trichoptera in a Dartmoor stream.- J. Anim. Ecol. 37: 615-625.

ELLIOTT, J.M. (1971): Upstream movements of benthic invertebrates in a Lake district Stream.- J. Anim. Ecol., 40: 235-252.

ELLIOTT, J.M. (1971): The distances travelled by drifting invertebrates in a Lake District stream.- Oecologia, 6: 191-220.

- ENGELHARDT, W. (1989):** Was lebt in Tümpel, Bach und Weiher?- Stuttgart, 270 pp.
- ENZMANN, P. (1992):** Bericht über die Aufstiegskontrollen 1990 an den Fischpassanlagen der Aarekraftwerke Klingnau, Beznau, Villnachern, Auenstein, Rüchlig, EWA, Winznau, Ruppoldingen.- i.A. Jagd- und Fischereiverwaltung, Kanton Aargau (nicht publ.).
- ENZMANN, P. (1996):** Bericht über die winterliche Aufstiegsaktivität von Fischen in Fischwegen.- Gutachten im Auftrag des Fischereiinspektorates des Kantons Bern, nicht publ.
- ERMAN, N.-A. (1986):** Movements of self marked caddisfly larvae *Chyranda centralis* (Trichoptera) in a Sierran spring stream, California, USA.- Freshwat. Biol., 16(4): 455-464.
- FLANNAGAN, J.F. & MARSHALL, K.E. (eds.) (1980):** Advances in Ephemeroptera Biology. Proceedings of the third international conference of Ephemeroptera, held in Winnipeg, Manitoba, Canada.- Plenum, New York and London, 550 pp.
- FRANKE, U. (1979):** Eintagsfliegenlarven im Dettelbach auf dem Bodanrück.- Jh. Ges. Naturk. Württ. 134: 177-195.
- FRANKE, C. (1987):** Detection of transversal migration of larvae of *Chaoborus flavicans* (Diptera) by the use of a sonar system.- Arch. Hydrobiol. 109: 355-366.
- FREILICH, J.-E. (1991):** Movement patterns and ecology of *Pteronarcys* nymphs Plecoptera. Observations of marked individuals in a rocky mountain stream.- Freshwater Biol. 25(2): 379-394.
- GEBLER, R.-J. (1989):** Fischaufstiege, derzeitige Situation und zukünftige Konzeption.- Wasserwirtschaft, 79/2.
- GEBLER, R.-J. (1990):** Diskussionsbeitrag zum Thema Fischaufstiege.- Wasser und Boden, Heft 12.
- GEBLER, R.-J. (1991):** Sohlrampen und Fischaufstiege.- Walzbachtal, 1991.
- GEITNER, V. & DREWES, U. (1990):** Entwicklung eines neuartigen Pfahlfischpasses.- Wasser und Boden, Nr. 9, Hamburg.
- GERSTER, ST. (1991):** Hochrhein-Fischfauna im Wandel der Zeit.- Internationale Fischereikommission für den Hochrhein (Hrsg.), 28 pp.
- GOEDMAKERS, A. (1980):** Population dynamics of three Gammarid species in a French chalk stream. Part I: General aspects and environmental factors.- Bijdr. Dierk., 50(1): 1-34.
- GOEDMAKERS, A. (1980):** Population dynamics of three Gammarid species in a French chalk stream. Part II: Standing crop.- Bijdr. Dierk., 51(1): 31-69.

- GOEDMAKERS, A. & PINKSTER, S. (1981):** Population dynamics of three gammarid species in a French chalk stream. 3. Migration.- *Bijdr. Dierk.*, 51: 145-180.
- GORE, J.A. (1980):** Ordination analysis of benthic communities upstream and downstream of a prairie storage reservoir.- *Hydrobiologia*, 69: 33-44.
- GYSELMAN, E.C. (1980):** The mechanisms that maintain population stability of selected species of Ephemeroptera in a temperate stream.- In: FLANNAGAN, J.F. & MARSHALL, K.E. (eds.): *Advances in Ephemeroptera Biology*, Plenum, New York: 309-319.
- HAERRY, A. (1917):** Die Fischwege an Wehren und Wasserwerken in der Schweiz.- *Publikationen der Schweizerischen Wasserwirtschafts-Verbandes*, Nr. 5.
- HALL, R.J., WATERS, T.F. & COOK, E.F. (1980):** The role of drift dispersal in production ecology of a stream mayfly.- *Ecology*, 61: 37-43.
- HANEY, J.F. et al. (1983):** Light intensity and relative light change as factors regulating stream drift.- *Arch. Hydrobiol.*, 97: 73-88.
- HARDING, J.S. (1992):** Discontinuities in the distribution of invertebrates in impounded island rivers, New Zealand.- *Regulated Rivers Research & Management*, 7(4): 327-335.
- HART, D.D. & RESH, V.H. (1980):** Movement patterns and foraging ecology of a stream caddisfly larvae.- *Can. J. Zool.*, 58: 1174-1185.
- HEFTI, D. & TOMKA, I., 1991:** Mayfly communities in a prealpine stream system of Switzerland.- *Aquatic sciences* 53: 20-38.
- HOBBS, H.H. & BUTLER, M.J. (1981):** A sampler for simultaneously measuring drift and upstream movement of aquatic macroinvertebrates.- *J. Crust. Biol.*, 1: 63-69.
- HUGHES, D.A. (1970):** Some factors affecting drift and upstream movements of *Gammarus pulex*.- *Ecology*, 51(2): 301-305.
- HULTIN, L., SVENSSON, B. & ULFSTRAND, S. (1969):** Upstream movements of insects in a south Swedish small stream.- *Oikos*, 20: 553-557.
- HULTIN, L. (1971):** Upstream movements of *Gammarus pulex pulex* in a south Swedish stream.- *Oikos*, 22: 329-347.
- HYNES, H.B.N. (1984):** Aquatic insects and mankind.- in RESH & ROSENBERG: *The ecology of aquatic insects*, New York.
- HYNES, H.B.N. & YADAV, U.R. (1985):** Three decades of post-impoundment data on the littoral fauna of Llyn Tegid, North Wales.- *Arch. Hydrobiol.*, 104: 39-48.
- JENS, G. (1971):** Funktion, Bau und Betrieb von Fischpässen. Richtlinien für die Anlegung von Fischtreppe an Stauanlagen.- *Arch. Fisch Wiss.*, 22, Beih. 1: 1-30.

- JENS, G. (1982):** Der Bau von Fischwegen. Fischtreppe, Aalleitern und Fischschleusen.- P. Parey, Hamburg, Berlin, 93 pp.
- JUNGWIRTH, M. (1986):** Lauf- und Ausleitungskraftwerke aus hydrobiologischer Sicht.- in: KEMMERLING, W., Wien: 71-96.
- JUNGWIRTH, M. & PELIKAN, B. (1989):** Zur Problematik von Fischaufstiegshilfen.- Oesterr. Wasserwirtschaft.- Jahrgang, 41, Heft 3/4.
- KATOPODIS, C. (1981):** Consideration in the design of fishways for freshwater species.- Proceedings 5th Canadian Hydrotechnical Conference, Fredericton, N.B.
- KATOPODIS, CH. (1990):** Advancing the art of engineering fishways for upstream migrants.- Proceedings of the International Symposium on Fishways 1990 in Gifu, Japan, 8.-10. Oktober.
- KELLER, A. (1975):** Die Drift und ihre ökologische Bedeutung. Experimentelle Untersuchung an *Ecdyonurus venosus* an einem Fließwassermodell.- ETH Zürich, EAWAG. aus: Schweiz. Z. Hydrol., Bd. 37, Heft 2, s. 294-331.
- KEMMERLING, W. (1986):** Naturnahe Gestaltung von Stauhaltungen. 5. Seminar Landschaftswasserbau a. Techn. Universität Wien.- Wien, Inst. für Wassergüte und Landschaftswasserbau, 1986, 4105, Landschaftswasserbau Band 7.
- KIRCHHOFER, A., ZAUGG, B. & PEDROLI, J.-C. (1990):** Rote Liste der Fische und Rundmäuler der Schweiz.- CSCF, Neuchâtel, 23 pp.
- KOHLER, S.L. (1985):** Identification of stream drift mechanisms: An experimental and observational approach.- Ecology, 66: 1749-1761.
- KOHMANN, F. (1982):** Struktur, Dynamik und Diversität der benthischen Invertebratengesellschaften des Unteren Inn.- Dissertation der Fakultät für Biologie Ludwig-Maximilians-Universität München.
- KOLKWITZ, R. & MARSSON, M. (1909):** Oekologie der tierischen Saprobien.- Internat. Rev. d. ges. Hydrologie und Hydrographie, 2: 126-152.
- KOVALAK, W.P. (1979):** Day-night changes in stream benthos density in relation to current velocity.- Arch. Hydrobiol. 87: 1-18.
- LADLE, M., WELTON, J.S. & BASS, J.A.B., 1980:** Invertebrate colonization of the gravel substratum of a experimental recirculating channel.- Holarct. Ecol. 3: 116-123.
- LAMPERT, W. & LINK, W. (1971):** Markierungsversuche und Fischaufstiegskontrollen an Staustufen des Hochrheins in den Jahren 1947 und 1952.- Arch. Hydrobiol./Suppl. 38, 3: 315-335.

- LARINIER, M. (1983):** Guide pour la conception des dispositifs de franchissement des barrages pour les poissons migrateurs.- Bull. fr. Piscic., Numéro spécial.
- LARINIER, M. (1992):** Généralités sur les dispositifs de franchissement.- Bull. fr. Pêche Piscic., 326-327: 15-19.
- LARINIER, M. (1992):** Facteurs biologiques à prendre en compte dans la conception des ouvrages de franchissement, notions d'obstacles à la migration.- Bul. fr. Pêche Piscic., 326-327: 20-29.
- LARINIER, M. (1992):** Implantation des passes à poissons.- Bull. fr. Pêche Piscic., 326-327: 30-44.
- LARINIER, M. (1992):** Passes à poissons successifs, prébarrages et rivières artificielles.- Bull. fr. Pêche Piscic., 326-327: 45-72.
- LARINIER, M. (1992):** Les passes à ralentisseurs.- Bull. fr. Pêche Piscic., 326-327: 73-94.
- LARINIER, M. (1992):** Le franchissement des buses, des seuils en enrochement et des ouvrages estuariens.- Bull. fr. Pêche Piscic., 326-327: 111-124.
- LAVANDIER, P. (1982):** Evidence of upstream migration by female adults of *Baetis alpinus* (Ephemeroptera) at high altitude in the Pyrenees.- Annl. Limnol., 18: 55-59.
- LEHMANN, U. (1967):** Drift und Populationsdynamik von *Gammarus pulex fossarum*.- Z. Morph. Oekol. Tiere 60: 227-274.
- LEHMANN, U. (1970):** Stromaufwärts gerichteter Flug von *Philopotamus montanus* (Trichoptera).- Oecologia, 4(2): 163-175.
- LEHMKUHL, D.M. & ANDERSON (1972):** Microdistribution and density as factors affecting the downstream drift of mayflies.- Ecology, 53: 661-667.
- LILLEHAMMER, A. & SALTVEIT, S.J. (eds.) (1984):** Regulated rivers.- Oslo, Bergen, Stavanger, Tromso.
- LUGMAYR, F. (1983):** Fischereiliche Vorstellungen bei der Errichtung von Wasserkraftanlagen (besonders bei Ausleitungskraftwerken) aus der Sicht des Fischereisachverständigen.- Oesterreichs Fischerei, 11/12: 265-268.
- MACKAY, R.J. (1977):** Behaviour of *Pycnopsyche* (Trichoptera: Limnephilidae) on mineral substrates in laboratory streams.- Ecology, 58: 191-195.
- MACKAY, R.J. (1979):** Life history patterns of some species of *Hydropsyche* in southern Ontario.- Can. J. Zool., 57: 963-975.
- MADSEN, B.L., BENGTON, J. & BUTZ, I. (1973):** Observation on upstream migration by imagines of some Plecoptera and Ephemeroptera.- Limnol. Oceanogr. 18(4): 678-681.

- MALICKY, H. (1980):** Evidence for seasonal migrations of larvae of two species of Philopotamid caddisflies (Trichoptera) in a mountain stream in lower Austria.- Aquatic Insects, 2(3): 153-160.
- MARSHALL, K.E. (1980):** Online computer retrieval of information on Ephemeroptera: a comparison of different sources.- In: FLANNAGAN, J.F. & MARSHALL, K.E. (eds.): Advances in Ephemeroptera Biology, Plenum, New York: 467-489.
- MASLIN, J.L. & PATTEE, E. (1981):** La production du peuplement benthique d'une petite rivière: Son évaluation par la méthode de Hynes, Coleman et Hamilton.- Arch. Hydrobiol. 92, 321-345.
- McKILLOP, W.B. & HARRISON, A.D. (1982):** Hydrobiological studies of Eastern Lesser Antillean Islands. 7. St. Lucia: Behavioural drift and other movements of freshwater marsh molluscs.- Arch. Hydrobiol., 94: 53-69.
- MEIJERING, M.P.D. (1972):** Experimentelle Untersuchungen zur Drift und Aufwanderung von Gammariden in Fließgewässern.- Arch. Hydrobiol. 70(2): 133-205.
- MEIJERING, M.P.D. & PIEPER, H.G. (1982):** Die Indikatorbedeutung der Gattung Gammarus in Fließgewässern.- Decheniana - Beihefte (Bonn) 26: 111-113.
- MINCKLEY, W.L. (1964):** Upstream movements of Gammarus (Amphipoda) in Due Run meade County, Kentucky.- Ecology, 45(1): 195-197.
- MINSHALL, G.W. & WINGER, P.V. (1968):** The effect of reduction in stream flow on invertebrate drift.- Ecology, 49: 580-582.
- MINSHALL, G.W. & PETERSEN, R.C. (1985):** Towards a theory of macroinvertebrate community structure in stream ecosystems.- Arch. Hydrobiol., 104: 49-76.
- MOMOT, W.T. (1966):** Upstream movement of Crayfish in an intermittent Oklahoma stream.- Am. Midl. Nat., 75: 150-159.
- MOORE, J.W. (1980):** Factors influencing the composition, structure and density of a population of benthic invertebrates.- Arch. Hydrobiol., 88: 202-218.
- MÜLLER, K. (1954):** Die Drift in fließenden Gewässern.- Arch. Hydrobiol., 49: 539-545.
- MÜLLER, K. (1963):** Temperatur und Tagesperiodik der "organischen Drift" von *Gammarus pulex*.- Naturwissenschaften, 50: 410-411.
- MÜLLER, K. (1963):** Tag-Nachtrhythmus von Baetidenlarven in der "Organischen Drift".- Naturwissenschaften, 50: 161.
- MÜLLER, K. (1963):** Diurnal rhythm in "organic drift" of *Gammarus pulex*.- Nature, London, 198: 806-807.

- MÜLLER, K. (1966):** Die Tagesperiodik von Fließgewässerorganismen. Zeitschr. Morphol. Oekol., 56: 93-142. Berlin, Heidelberg, New York.
- MÜLLER, K. (1974):** Stream drift as a chronobiological phenomenon in running water ecosystems. Ann. Rev. Ecol. Syst. 5: 309-323.
- MÜLLER, K. (1982):** The colonization cycle of freshwater insects.- Oecologia, 52: 202-207.
- NAIMAN, R.J., MELILLO, J.M., LOCK, M.A., FORD, T.E. & REICE, S.R. (1987):** Longitudinal patterns of ecosystem processes and community structure in a subarctic river continuum.- Ecology, 68: 1139-1156.
- OSWALD, R. (1990):** Anthropogene Einflüsse auf die Benthos-Invertebraten alpiner Fließgewässer und deren Selektionseffizienz auf das Nahrungsspektrum von Bachforellen im Rhein (Kt. Graubünden, Schweiz).- Inaugural-Dissertation der philosophischen Fakultät II der Universität Zürich.
- PALMER, R.W. & KEEFFE, J.H. (1990):** Downstream effects of a small impoundment on a turbid river.- Arch. Hydrobiol., 119(4): 457-474.
- PAULINI, E. (1963):** Field observations on the upstream migration of *Australorbis glabratus*.- Bull. World Health Org., 29(6): 838-841.
- PECHLANER, R. (1986):** "Driftfallen" und Hindernisse für die Aufwärtswanderung von wirbellosen Tieren in rhithralen Fließgewässern.- Wasser und Abwasser (Wien) 30, 431-463.
- PECHLANER, R. (1989):** Oekologische Auswirkungen von Wasserableitungen auf Gebirgsbäche.- Bayer. Landesamt für WW, München, Inf.-Ber. 1/89.
- PEDROLI, J.-C., ZAUGG, B. & KIRCHHOFER, A. (1991):** Verbreitungsatlas der Fische und Rundmäuler der Schweiz.- CSCF, Neuchâtel, 207 pp.
- PELZ, G.R. (1985):** Fischbewegungen über verschiedenartige Fischpässe am Beispiel der Mosel.- CFS, Frankfurt a. Main, 190 pp.
- POFF, N.L. & WARD, J.V. (1991):** Drift responses of benthic invertebrates to experimental streamflow variation in a hydrologically stable stream.- Can. J. Fish. Aquat. Sci., Vol 48: 1926-1936.
- PORCHER, J.P. & LARINIER, M. (1992):** Conception des projets de passes, suivi des chantiers, coûts, études sur modèles réduits.- Bull. fr. Pêche Piscic., 326-327: 143-150.
- PORCHER, J.P. & TRAVADE, F. (1992):** Les dispositions de franchissement: bases biologiques, limites et rappels réglementaires.- Bull. fr. Pêche Piscic., 326-27: 5-14.
- RESH, V.H. & ROSENBERG, D.M. (Edts) (1984):** The ecology of aquatic insects.- New York.

- ROOS, T. (1957):** Studies on upstream migration in adult stream-dwelling insects.- Rep. Inst. Freshwater Res. Drottingholm 38: 167-193.
- RUSSEV, B. (1972):** Ueber die Migration der Rheobionten in Fliessgewässern.- Verh. int. Ver. Limnol., 18: 730-734.
- RÜTTIMANN, M. (1980):** Autökologische Untersuchungen der Eintagsfliegen-larve *Ecdyonurus venosus* unter besonderer Berücksichtigung der Aufwanderung.- Diss. ETH Zürich, Nr. 6510.
- SCHUHMACHER, H. (1969):** Kompensation der Abdrift von Köcherfliegen-Larven.- Naturwissenschaften 56: 378.
- SCHUHMACHER, H. (1970):** Untersuchungen zur Taxonomie, Biologie und Oekologie einiger Köcherfliegenarten der Gattung Hydropsyche Pict. (Insecta, Trichoptera).- Int. Rev. ges. Hydrobiol. 55(4): 511-557.
- SCHUHMACHER, H. et. al. (1987):** Störung des natürlichen Längsgradienten eines Bergbaches durch Forellenteichanlagen.- Arch. Hydrobiol., 110(3): 409-439.
- SCHWOERBEL, J. (1964):** Die Bedeutung des Hyporheals für die benthische Lebensgemeinschaft der Fliessgewässer.- Verh. Internat. Verein. Limnol. 15: 215-226.
- SCOTT, D. (1958):** Ecological studies on the Trichoptera of the river Dean, Cheshire.- Arch. Hydrobiol., 54: 340-392.
- SHELDON, A.L. (1984):** Colonization dynamics of aquatic insects.- in RESH & ROSENBERG: The ecology of aquatic insects, New York: 401-429.
- SOEDERSTROEM, O. (1987):** Upstream movements of invertebrates in running waters - a review.- Arch. Hydrobiol. 111: 197-208.
- SPENCE, J.A. & HYNES, H.B.N. (1971):** Differences in benthos upstream and downstream of an impoundment.- J. Fish. Res. Bd. Can., 28: 35-43.
- STAHLBERG, S. & PECKMANN, P. (1986):** Bestimmung der kritischen Strömungsgeschwindigkeit für einheimische Kleinfischarten.- Wasserwirtschaft, 76/718.
- STATZNER, B. (1981):** A method to estimate the population size of benthic macroinvertebrates in streams.- Oecologia, 51: 157-161.
- STATZNER, B. (1981):** The relation between hydraulic stress and microdistribution of benthic macroinvertebrates in a lowland running water system, the Schierensee brooks (North Germany). Arch. Hydrobiol. 91: 192-218.
- STATZNER, B. & HIGLER, B. (1985):** Questions and comments on the river continuum concept.- Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 1038-1044.

- STAUB, E. (1988):** Passes à poissons des centrales électriques du Haut-Rhin. La Migration, facteur de compensation?.- Bulletin de OEPE, 4: 25-30.
- STEINER, H.A. (1989):** Neue Erkenntnisse rasch verarbeitet! Die Fischtreppe der Draukraftwerke Kellerberg und Paternion.- Oesterreichs Fischerei, Vol. 42, Heft 7.
- STEINMANN, P. (1935):** Ueber den Fischaufstieg im Rhein und in der Aare auf Grund von Fischpasskontrollen im Jahre 1934.- Schweiz. Fischerei-Zeit., 43(3): 63-72.
- STEINMANN, P. (1937):** Die Wanderungen unserer sogenannten Standfische in Fluss und Strom.- Rev. Suisse Zool., 44(28): 405-409.
- STUEDEMANN, D., LANDOLT, P., SARTORI, M., HEFTI, D. & TOMKA, I. (1992):** Ephemeroptera.- Insecta helvetica, Hrsg. Schw. Entomolog. Ges., 174 pp.
- TANAKA, H. (1960):** On the daily change of the drifting of benthic animals in stream, especially on the types of daily change observed in taxonomic groups of insects.- Bull. Freshwater Fisheries Res. Laboratory Tokio 9: 13-26.
- THOMAS, A., 1975:** Ephéméroptères du Sud-Ouest de la France. I: Migrations d'imagos à haute altitude. Anns Limnol. 11(1): 47-66.
- TOWNSEND, C.R. & HILDREW, A.G. (1976):** Field experiments on the drifting, colonization and continuous redistribution of stream benthos.- J. Animal Ecol. 45: 759-772.
- TRAVADE, F. & LARINIER, M. (1992):** Les techniques de contrôle des passes à poissons.- Bull. fr. Pêche Piscic., 326-327: 151-164.
- TRAVADE, F. & LARINIER, M. (1992):** La migration de dévalaison: problèmes et dispositifs.- Bull. fr. Pêche Piscic., 326-327: 165-176.
- VISCHER, D. (1991):** Sind Fischtreppe noch aktuell? Ist ihre Entwicklung abgeschlossen?.- Wasser, Energie, Luft, 5/6: 168-172.
- WALTON, O.E. (1980):** Invertebrate drift from predator-prey associations.- Ecology, 61: 1486-1497.
- WARD, J.V. (1984):** Ecological perspectives in the management of aquatic insect habitat.- in: RESH & ROSENBERG: The ecology of aquatic insects, New York: 558-577.
- WARD, J.V. (1992):** Aquatic Insect Ecology. 1. Biology and Habitat.- New York.
- WASSER- UND ENERGIEWIRTSCHAFTSAMT DES KANTONS BERN [WEA], (1993):** Leitfaden für den Bau von Fischwegen.- Bern, 41 pp.
- WATERS, T.F. (1961):** Standing crop and drift of stream invertebrates.- Ecology, 42: 532-537.

- WATERS, T.F. (1962):** Diurnal periodicity in the drift of stream invertebrates.- Ecology 43: 316-320.
- WATERS, T.F. (1965):** Interpretation of invertebrate drift in streams.- Ecology, 46: 327-334.
- WATERS, T.F. (1968):** Diurnal periodicity in the drift of a day-activ stream invertebrate.- Ecology, 49: 152-153.
- WATERS, T.F., (1969):** The turnover ratio in production ecology of freshwater invertebrates.- Am. Nat. 103: 173-185.
- WATERS, T.F., (1972):** The drift of stream insects.- Ann. Rev. Ent. 17: 253-272.
- WATERS, T.F. (1981):** Seasonal patterns in production and drift of *Gammarus pseudolimnaeus* in Valley Creek, Minnesota.- Ecology, 62(6): 1458-1466.
- WENINGER, G. (1968):** Vergleichende Drift-Untersuchungen an niederösterreichischen Fließgewässern (Flysch-, Gneis-, Kalkformation).- Schweiz. Z. Hydrol., 30: 138-185.
- WILEY, M. & KOHLER, S.L. (1984):** Behavioral adaptations of aquatic insects.- in: RESH & ROSENBERG: The ecology of aquatic insects, New York: 101-133.
- WILKE, H. (1970):** Absturzbauwerke und Fischaufstieg.- Wasser und Boden, 22(12): 352-354.
- WILLIAMS, D.D. (1980):** Temporal patterns in recolonization of stream benthos.- Arch. Hydrobiol., 90: 56-74.
- WILLIAMS, D.D. & HYNES, H.B.N. (1976):** The recolonization mechanisms of stream benthos.- Oikos, 27: 265-272.
- WILLIAMS, D.-D. & MOORE, K.A. (1989):** Environmental complexity and the drifting behaviour of a running water Amphipod.- Can. J. Fish. Aquat. Sci., 46(9): 1520-1530.
- WILLIAMS, D.D. & FELTMATE, B.W. (1992):** Aquatic insects.- Melksham, 358 pp.
- WILZBACH, M.A. & CUMMINS, K.W. (1989):** An assessment of short-term depletion of stream macroinvertebrate benthos by drift.- Hydrobiologia, 185: 29-39.
- WILZBACH, M.A., (1990):** Nonconcordance of drift and benthic activity in *Baetis*. Limnol. Oceanogr. 35: 945-952.
- ZEH, M. (1993):** Reproduktion und Bewegungen einiger ausgewählter Fischarten in einer Staustufe des Hochrheins.- Diss ETH Nr. 10288, Zürich, 131 pp.

ANHANG 2

DIANE Projekt Klein-Wasserkraftwerke 1992-1997: Portrait und Zwischenbilanz

DIANE Publikationen

DIANE Projekt Klein-Wasserkraftwerke 1992 - 1997 Portrait und Zwischenbilanz

Überblick:

Das DIANE 10 Klein-Wasserkraftwerke reiht sich in eine Palette von Fördermassnahmen ein, mit welchen seit über einem Jahrzehnt verschiedene Bundesämter und kantonale Behörden die Aufgabe angehen, das Kleinkraftwerksterben zu stoppen und in einen Wachstumsprozess umzukehren. Diese Aufgabe ist umso schwieriger, als die Kosten für Bau und Betrieb seither weiterhin gestiegen sind, und die Umweltauflagen und institutionellen Hindernisse ebenfalls gewachsen sind. Zudem entsprechen die äusserst kapitalintensiven, sehr langlebigen Anlagen wenig den heutigen Investitionsgepflogenheiten. Es gibt verschiedenartige individuelle Hemmnisse für Projektrealisierungen.

Als Ausgleich haben sich zwei wirtschaftliche Rahmenbedingungen zum Vorteil der Kleinwasserkraftwerke entwickelt: Der Wasserzins für Kleinwasserkraftwerke ist bundesweit erlassen worden, und unabhängige Produzenten erhalten aufgrund des Energienutzungsbeschlusses höhere Vergütungen für den ins öffentliche Elektrizitätsnetz eingespeisten Strom.

Das DIANE fördert Kleinwasserkraftwerke vor allem auf der Nachfrageseite. Zu diesem Zwecke untersuchte das Projekt Potentiale und Hemmnisse zu deren Erschliessung. Es wurden Instrumente für die Reaktivierung und die Ertüchtigung bestehender Anlagen geschaffen. Für die wichtigsten ökologischen, administrativen und rechtlichen Probleme wurden Lösungswege aufgezeigt. Ein Schwerpunkt der Arbeiten ruht auf gewässerökologischen Optimierungsmassnahmen, ein anderer auf der Herstellung von Markttransparenz. Bei sorgfältiger Planung und umsichtigem Betrieb erweist sich die gesamtökologische Bilanz der Kleinwasserkraftwerke als sehr gut. Das DIANE stellt entsprechende Arbeitshilfen zur Verfügung. Mit einer systematischen Medienarbeit wird die Akzeptanz der Anlagen in der Öffentlichkeit verbessert.

Die Information der Fachbranche, der möglichen Bauherren und Investoren sowie involvierter Behörden geschieht mit Fachtagungen und mit einer umfassenden Publikationsreihe. Die gemeinsamen Aktionen haben Einzelakteure zu einem Branchenbewusstsein zusammengeführt. Für die individuelle Hilfe hat DIANE einen Dienst für Information & Beratung ins Leben gerufen, welcher die Nahtstelle zur direkten Projektunterstützung durch den Bund und die Kantone bildet.

Parallel zur indirekten Förderung mit dem Projekt DIANE richtet das BEW finanzielle Beiträge an Vorstudien und an die Ausführung von Projekten aus, wobei sich die letzteren seit 1996 auf Pilot- und Demonstrationsanlagen beschränken. Damit sollen einerseits breitgefächert Projekte initialisiert werden, und andererseits gezielt gute Lösungen für identifizierte Hemmnisse gefördert und bekanntgemacht werden.

Erste Erfolge lassen sich bereits sehen. So konnte in den letzten Jahren eine Trendumkehr vom Kleinkraftwerksterben zu einem bescheidenen Wachstum festgestellt werden. Die Energie aus Kleinwasserkraftwerken erweist sich als wirtschaftlich tragbar. Wirtschaft und Investoren beginnen sich wiederum für Kleinwasserkraftwerke zu interessieren.

Grössere Potentiale harren jedoch weiter der Erschliessung, insbesondere bei der Nutzung von überschüssigem Druck in bestehenden Leitungssystemen von Trink- Abwasser, Bewässerungs- und Drainagewasser, aber auch in der Modernisation und Erweiterung bestehender Anlagen. Soll die von verschiedenen Studien aufgezeigte Möglichkeit der Verdoppelung der Energieproduktion aus Kleinwasserkraftwerken realisiert werden, so sind stabile Rahmenbedingungen unerlässlich, insbesondere bezüglich der Wasserrechte und Rücklieferatarife.

Nach dem Ende von DIANE wird deshalb das Bundesamt für Energiewirtschaft ausgewählte Fördermassnahmen im Programm Kleinwasserkraftwerke weiterführen. Unter anderem wird ein neues Kleinturbinenlabor unterstützt, welche Know-how für Turbinenhersteller entwickelt.

Allgemeine Ziele und Methoden

Im Rahmen von Energie 2000 sind vom Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) sieben Projekte zum **D**urchbruch **I**nnovativer **A**nwendungen **N**euer **E**nergietechniken mit dem Kürzel DIANE gestartet worden. Das DIANE Projekt Klein-Wasserkraftwerke hat zum Ziel, die Energieproduktion aus Kleinwasserkraftwerken zu erhalten resp. zu erhöhen, indem stillgelegte und veraltete KWK erneuert und neue Potentiale genutzt werden.

Projektziele sind die Verbesserung der Rentabilität, die Zunahme der Investitionsbereitschaft für KWK, die bessere Akzeptanz im Bewilligungsverfahren und die Anerkennung der Kleinwasserkraftwerke als Leistungsträger im nationalen Energiekonzept. Lücken im vorhandenen Know-how werden geschlossen und vorhandenes Wissen wird zugänglich gemacht.

DIANE baut auf Vorarbeiten des Bundesamtes für Wasserwirtschaft (BWW) und auf der Bildungs- und Informationsarbeit des Projektes PACER Kleinwasserkraftwerke des Bundesamtes für Konjunkturfragen sowie auf Aktivitäten der Wirtschaft und Verbände auf. Der öffentliche Auftritt geschieht in der Regel gemeinsam mit den wichtigsten Akteuren der Kleinwasserkraftwerk-Szene in der Schweiz. Die Zusammenarbeit ermöglicht die Durchführung einer gesamtschweizerischen Förderstrategie, bringt optimale Koenergien und hat ein Branchenbewusstsein geschaffen.

In Bereichen mit gutem Verhältnis von Studienaufwand zum energetischen Nutzen wurden Potentiale untersucht und deren Erschliessung gefördert. Ausgewählte Hemmnisse wurden bearbeitet und Arbeitshilfen geschaffen. Eine Arbeitsgruppe aus Fachleuten der Biologie und Limnologie widmete sich gewässerökologischen Fragen. Die Ergebnisse des Projektes werden mit einer systematischen Öffentlichkeitsarbeit umgesetzt, wozu auch die Schaffung eines Erscheinungsbildes gehört. Die wichtigsten Medien sind Fachtagungen, Pressearbeit, Information & Beratung sowie eine Publikationsreihe.

Damit wird das Ziel des Programmes Energie 2000, nämlich 5% Erhöhung der Energieproduktion aus Wasserkraft, im Bereich der Kleinwasserkraftwerke effizient angegangen. Das Projekt verstärkt die Wirkungen der Projektbeiträge des Bundes und den sich aus den verbesserten politisch-wirtschaftlichen Rahmenbedingungen durch Wasserzinserrlass (revidiertes Wasserrechtgesetz) und höheren Vergütungen für den von unabhängigen Produzenten in das öffentliche Elektrizitätsnetz eingespeisenen Strom (Energienutzungsbeschluss) Entwicklungsprozess.

Trinkwasser- Kraftwerke

Eine Befragung der Gemeinden ergab gesamtschweizerisch zusätzlich zu rund 60 bestehenden Anlagen ein Potential von über 300 realisierbaren Trinkwasserkraftwerken mit einer Jahresenergieproduktion von über 120 Gigawattstunden. Mit einer detaillierten Dokumentation falltypisch ausgewählter bestehender Anlagen einschliesslich einer Liste weiterer Demonstrationsanlagen werden die möglichen Bauherren zur Erschliessung dieses namhaftesten aller Potentiale für Kleinwasserkraftwerke ermutigt. Diese Arbeiten werden durch ein Forschungsprojekt des BEW für drehzahlgeregelte Pumpen im Turbinenbetrieb anstelle von teureren öffnungsregulierten Turbinen verstärkt, welche Druckreduzierventile ersetzen.

Abwasser-Kraftwerke - Potentiale in allen Leitungssystemen nutzen

Als weltweites Novum wurde das Turbinieren von überschüssigem Druck in Abwasserleitungen systematisch gefördert. Analog zum Vorgehen bei den Trinkwasserkraftwerken wurde das

Potential untersucht und bestehende Anlagen dokumentiert. Es konnten 130 Standorte mit einem Potential von 51 Jahresgigawattstunden identifiziert werden, wovon erst vier erschlossen sind. Zusammen mit den Arbeiten für Trinkwasserkraftwerke und mit Demonstrationsprojekten für das Turbinieren von Drainagewasser wird die Nutzung überschüssigen Druckes in Leitungssystemen aller Arten angeregt. Alleine schon mit diesen gewässerneutral erschliessbaren Potentialen lässt sich die Energieproduktion aus Kleinwasserkraftwerken im Bereiche unter 300 kW verdoppeln.

Pico-Kraftwerke

Der Bau von Kleinwasserkraftwerken unter rund 50 Kilowatt - als Inselstromversorgung für Liegenschaften oder für Parallelbetrieb zum Elektrizitätsnetz - erweist sich in den meisten Fällen nur bei namhaften Eigenleistungen der Bauherren als wirtschaftlich. Dementsprechend wurde das Bauen in Eigenregie mit gezieltem Beizug von Spezialisten gefördert. Eine reich illustrierte Beispielsammlung, mit nützlichen allgemeinen Informationen und mit Bezeichnung von mehr als 70 über die ganze Schweiz verteilten falltypisch ausgewählten Demonstrationsanlagen, animiert interessierte Bauherren und bietet ihnen Vorgehenshilfe.

Stillgelegte und veraltete Kraftwerke

Mit einer von DIANE Projekt Klein-Wasserkraftwerke ausgearbeiteten Methode kann ein interessierter Bauherr ohne Beizug eines teuren Fachmannes grob abschätzen, wie hoch die Realisierungschancen einer Reaktivierung und Erneuerung sind. Diese Arbeit geht Hand in Hand mit Aktivitäten des BWW und einiger Kantone zur Inventarisierung und Triage stillgelegter Kleinwasserkraftwerke hinsichtlich Reaktivierungsmöglichkeiten. Die grösseren Potentiale liegen im Nieder- und Ultra-Niederdruckbereich, wo ein Handlungsbedarf für kostengünstige Lösungen besteht, welcher vom Pilot- und Demonstrationsprogramm des BEW angegangen wird.

Situationsanalyse Kleinwasserkraftwerke und Gewässerökologie

Die Arbeitsgruppe Ökologie & Kleinwasserkraftwerke hat die positiven und negativen Wirkungen von Kleinwasserkraftwerken auf die Gewässer untersucht. Der Bericht zeigt Lösungswege für Probleme auf und gibt umfassende Literaturangabe mit Kommentaren über die wichtigsten Werke. Für die Umsetzung wurde ein Falblatt erstellt, welches gratis bezogen werden kann und eine Zusammenfassung der Aufgabenstellung und der Vorgehenshinweise enthält.

Schwemmgut

Bei Anlagen im Mittelland bringt das Schwemmgut betriebliche Probleme, Abrasion und Risiken für die Turbine sowie höhere Baukosten und Aufwendungen für die Rechengutentsorgung. Betriebsausfälle und Wirkungsgradverluste können zu wesentlichen Energieeinbussen führen. Mit einer Analyse typischer Fälle und einer Messkampagne wurde die Wasserfassung einer Pilotanlage optimiert, wo bei bestimmten Abfluss- und Laubtriebverhältnissen der Schwemmguteintrieb bis zur Hälfte vermindert werden konnte. Der Bericht enthält Hinweise für die Planung, den Bau und den Betrieb von Seitenfassungen, einschliesslich Hilfen für die Abschätzung der Entsorgungsmengen von Schwemmgut.

Kontinuum der Gewässer

Verbesserungen an Aufstiegshilfen für Fische und Kleinlebewesen entschärfen das häufigste Gegenargument gegen Kleinwasserkraftwerke, sie würden Wasserlebensräume zerstückeln. DIANE untersucht die Bedingungen für den Aufstieg von Kleinwasserlebewesen und erstellt eine Broschüre zum kostengünstigen Erstellen effizienter Aufstiegshilfen bei Kleinwasserkraftwerken.

Energiebilanzen von Kleinwasserkraftwerken

In Ergänzung zur Studie des BWW über die Energiebilanzen bei Grosskraftwerken verschiedener Energieträger ist eine Kurzstudie über die Energiebilanzen von vier Kleinwasserkraftwerken erstellt worden. Es ergeben sich ausgezeichnete Energie-Erntefaktoren von 48 bis 364.

Information & Beratung

Interessierte erhalten bei der Projektleitung und bei den Beratungszentren von InfoEnergie kostenlos Auskünfte, Kurzberatung, Dokumentation. Mit einer Kostenbeteiligung können sie Vorträge und Grobanalysen von Standorten oder bestehenden Anlagen anfordern. Dabei werden Informationen über finanzielle Unterstützung von Projekten durch die öffentliche Hand und Marktinformationen gegeben. Diese Dienstleistungen werden **nach Ende von DIANE weitergeführt**.

Öffentlichkeitsarbeit

Kleinwasserkraftwerke geniessen nicht wie andere erneuerbare Energien den Bonus der Innovation und Zukunftsenergie und damit das Interesse der breiten Öffentlichkeit. Sie sind vielen Vorurteilen ausgesetzt, welche von "Goldgrube für Betreiber zulasten der Umwelt" bis zu "unrentablen Museums- und Liebhaberobjekten" reichen. Es steht keine grosse Lobby hinter ihnen. Dennoch konnte ein beachtliches Interesse der Fachpresse und Regionalpresse geweckt werden. Der eigentliche Motor zeigte sich jedoch in der wachsenden Spezialbranche. Die vergleichsmässig guten Abdruckquoten der Presse, die rege Benutzung der Information & Beratung und die hohen Teilnehmerzahlen der halbjährlich durchgeführten Fachtagungen und des Ausstellungskongresses, sowie die Umsetzung der Publikationen zeigen ein grosses Interesse an der Förderung von Kleinwasserkraftwerken auf.

Für Projektpromotoren und Entscheidungsträger werden in einem reich illustrierten Argumentarium "Gesamtschau Kleinwasserkraftwerke" alle positiven und negativen Aspekte der KWK im Spannungsfeld von Umwelt, Energie und Wirtschaft aufgezeigt und Lösungswege für Probleme angegeben. Die ansprechende Broschüre wird an Gemeinden und kantonale Ämter und andere Entscheidungsträger für Kleinwasserkraftwerke versandt:

- **Gesamtschau Kleinwasserkraftwerke.** Ökonomische und ökologische Aspekte.
Bestellnummer EDMZ : 805.634 d Preis: ca. Fr. 20.00

Die reich verfügbare Information wird in einem Handbuch zusammengetragen. Dieses ist als Erstinformation, zur Vermittlung von Aktualitäten und als Nachschlagewerk für den Praktiker konzipiert. Es enthält allgemeine Informationen, Hinweise auf Projektförderungen, einen Gesetzesführer, Arbeitshilfen sowie umfassende Adress- und Literaturlisten zur Thematik der Kleinwasserkraftwerke:

- **Handbuch 1997, Kleinwasserkraftwerke.** Informationen für Planung, Bau und Betrieb.
(s. Literaturverzeichnis)

Diese und alle weiteren Projektpublikationen des Projektes DIANE Klein-Wasserkraftwerke, Adressen für die Information & Beratung, sowie weitere Angaben sind in einem kostenlosen Schlussprospekt zusammengestellt, welcher sich für Streuaktionen eignet (die Publikationen liegen grossenteils in Deutsch und Französisch vor):

- **"Schriftenreihe DIANE Projekt Klein-Wasserkraftwerke , Information & Beratung DIANE"**
(s. Literaturverzeichnis)

Grossveranstaltung

Für die Verbesserung der Markttransparenz, für die allgemeine Informationsarbeit, sowie als politisch wirksames Medienereignis, hat DIANE den **Ausstellungskongress kleine und**

mittelgrosse Wasserkraftanlagen von Juni 1997 in Bern initiiert und das notwendige Sponsoring seitens der Industrie beschafft. Die Durchführung dieser Grossveranstaltung mit internationaler Einladung geschieht ausserhalb des Projektes durch eine in Wirtschaft, Verbänden und verschiedenen Bundesämtern abgestützte Trägerschaft. Kern dieser Veranstaltung ist eine Fachausstellung, welche in ihrer Grösse und Ausstattung in der Schweiz und in Europa einmalig ist. Das Programm Kleinwasserkraftwerke betreibt zusammen mit dem Projekt PACER-Kleinwasserkraftwerke eine Informationsinsel, an welcher alle zusammengetragene Informationen aufgelegt werden. Damit ist es dem Projekt DIANE gelungen, das Interesse der Industrie für die Förderung der Kleinwasserkraftwerke zu wecken. auch in Richtung von Exportmöglichkeiten für die Schweizerische Industrie

Erste Ergebnisse

Das Kleinkraftwerksterben konnte weitgehend gestoppt und gemäss Medienbeobachtung bereits in ein jährliches Wachstum von rund einem Prozent Energieproduktion umgekehrt werden. Es findet allerdings immer noch ein Strukturwandel in Richtung grösserer Leistungen, grösserer Gefälle, Durchlaufanlagen und Nutzung überschüssigen Druckes in Rohrsystemen statt. Je kleiner die Jahresproduktion und das Gefälle der Anlage, umso kleiner sind ihre Überlebenschancen. Ausleitanlagen an kleinen Bächen werden wegen den Restwasserbedingungen stillgelegt oder in Durchlaufanlagen mit kleinerem Gefälle und in günstigen Fällen mit grösserer Wassermenge umgewandelt. Anlagen für die Nutzung überschüssigen Druckes in bereits bestehenden Rohrsystemen werden wegen ihrer Gewässerneutralität favorisiert, wohingegen neue Anlagen an Gewässern nur in Ausnahmefällen das Bewilligungsverfahren bestehen. Pico-Kraftwerke für die Stromversorgung entlegener Liegenschaften weisen ebenfalls eine gute Akzeptanz und wachsende Verbreitung auf.

Es verbleibt ein namhaftes nutzbares Potential

Die Potentialabschätzungen von DIANE bestätigen im Bereich der Kleinstwasserkraftwerke bis 300 kW den Bericht der Expertengruppe Energieszenarien (EGES), dass die Energieproduktion aus Kleinwasserkraftwerken verdoppelt werden kann, wenn Energiegestehungskosten etwa in der Höhe des mittleren Endverkaufspreises in der Schweiz getragen werden. Die Kosten sind somit volkswirtschaftlich tragbar. In der Mehrheit der Fälle können die Potentiale unter den heutigen gesetzlichen Rahmenbedingungen betriebswirtschaftlich rentabel oder zumindestens kostendeckend erschlossen werden.

Ausblick: Kleinwasserkraftwerke sind sehr langfristigen Zyklen unterworfen

Der Realisierungszeitraum der Kleinwasserkraftwerke von der ersten Idee bis zur Inbetriebsetzung kann jedoch viele Jahre beanspruchen. Überschüssiger Druck in Leitungssystemen kann in den meisten Fällen nur bei ohnehin durchzuführenden Bauarbeiten wirtschaftlich durchgeführt werden - die Erschliessung der Potentiale erfolgt deshalb fast nur bei Neubau, Sanierung oder Erweiterung der Trink- Abwasser oder Drainagewassersysteme. Auch bei veralterten und stillgelegten Anlagen sind die Verhältnisse in vielen Fällen jahrelange blockiert, bis eine Modernisierung, Erweiterung resp. Reaktivierung angegangen werden kann. Die Investitionen sind sehr kapitalintensiv und in der Regel nur über Jahrzehnte zu amortisieren, was die Bauherren lange zögern und nach wirtschaftlicheren Lösungen suchen lässt. Im Gegenzug ist die Lebensdauer der Kleinwasserkraftwerke generationenlang. Eine Förderung der Kleinwasserkraftwerke kann deshalb nur bei langfristiger Kontinuität und bei stabilen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen Erfolge bringen.

Fortsetzung von Förderaktivitäten für Kleinwasserkraftwerke nach DIANE

Das BEW setzt deshalb im Programm Kleinwasserkraftwerke gezielte Förderaktivitäten fort. Es gewährt finanzielle Beiträge an Vorstudien und an P+D-Anlagen. Der Schwerpunkt liegt auf

Demonstrationsanlagen mit guten Lösungen für Probleme, welche zum Teil interdisziplinär verhängt sind und die optimale Nutzung verhindern. Im weiteren unterstützt das Programm Kleinwasserkraftwerke das neue Kleinturbinenlabor der Stiftung MHyLab in Montcherand, welches Know-how für Kleinturbine erarbeitet. Fachtagungen, Medienarbeit und weitere Förderaktivitäten werden unterstützt. Die Information & Beratung wird weitergeführt. Das umfassende Informationsmaterial von DIANE steht für andere Veranstaltungen weiterhin zur Verfügung.

War das DIANE Projekt Klein-Wasserkraftwerke eindeutig auf die Nachfrageförderung orientiert, so bleiben für das Programm Kleinwasserkraftwerke offene Aufgaben auf der Angebotsseite der technischen Ausrüstung: Es gilt, namhafte Produkteverbilligungen zu beschleunigen, insbesondere im Bereich der Pico-Kraftwerke und der Niederdruck-Kraftwerke. Möglichkeiten ergeben sich mit der in Entwicklung stehenden Umrichtertechnologie für drehzahlgeregelte Turbinen, mit Standardisierung und mit kostengünstigeren Gesamtkonzepten. Es sollen jedoch auch neue Modelle für die Trägerschaft, die Finanzierung und den Energieabsatz gefördert werden. Auskunft erteilen die Programmleitung Kleinwasserkraftwerke (gleiche Adresse wie DIANE Klein-Wasserkraftwerke) und die Beratungszentren von Infoenergie.

Hanspeter Leutwiler
Projektleiter DIANE Klein-Wasserkraftwerke

DIANE Klein-Wasserkraftwerke / DIANE Petites centrales hydrauliques Publikationen / Publications

- **Elektrizität aus Trinkwasser-Systemen / L'eau potable génératrice d'électricité**
Inventar und Potentialerhebung / Inventaire et étude du potentiel.
Bestellnummer EDMZ / Numéro de commande OCFIM : 805.752 d+f Preis / Prix: Fr. 10.20
- **Nutzen statt Aufgeben**
Modernisieren und reaktivieren von Klein-Wasserkraftwerken, Beurteilungskriterien.
Bestellnummer EDMZ : 805.173 d Preis: Fr. 17.35
- **Rénover au lieu d'abandonner**
Modernisation et remise en service des petites centrales hydrauliques.
Numéro de commande OCFIM : 805.173 f Prix: Fr. 17.35
- **Pico-Kraftwerke / Pico-centrales**
Kleinste Wasserkraftwerke mit Eigenleistungen bauen. / Les toutes petites centrales à installer soi-même. 8 Beispiele im Detail / 8 exemples en détail.
Bestellnummer EDMZ / Numéro de commande OCFIM : 805.196 d+f Preis / Prix: Fr. 31.60
- **Elektrizität aus Abwasser-Systemen / L'eau usée génératrice d'électricité**
Konzept, Realisation, Potential / Concept, réalisation, potentiel.
Bestellnummer EDMZ / Numéro de commande OCFIM : 805.209 d+f Preis / Prix: Fr. 16.20
- **L'eau usée génératrice d'électricité**
Dossier technique et étude du potentiel.
Numéro de commande OCFIM : 805.211 f Prix: Fr. 22.00
- **Energiebilanzen von Kleinwasserkraftwerken**
Energierückzahldauer und Energieerntefaktor.
Bestellnummer EDMZ : 805.630 d (alte Nummer: 805.760) Preis: Fr. 6.75
- **Kleinwasserkraftwerke und Gewässerökologie**
Situationsanalyse; Bestellnummer EDMZ : 805.631 d (alte Nummer: 805.761 d) Preis: Fr. 10.90
- **Petites centrales hydrauliques et écologie des eaux**
Analyse de la situation.
Numéro de commande OCFIM : 805.631 f Prix: Fr. 10.90
- **Trinkwasser-Kraftwerke / Petites centrales hydroélectriques sur l'eau potable**
Technische Anlagendokumentation / Documentation technique.
8 Beispiele im Detail / 8 exemples en détail.
Bestellnummer EDMZ / Numéro de commande OCFIM : 805.632 d+f Preis / Prix Fr. 19.80
- **Handbuch 1997, Kleinwasserkraftwerke**
Informationen für Planung, Bau und Betrieb.
Bestellnummer EDMZ : 805.633 d Preis: Fr. 4.50
- **Manuel 1997, Petites centrales hydrauliques**
Informations sur la planification, la construction et l'exploitation.
No. de commande OCFIM : 805.633 f Prix: Fr. 10.00
- **Gesamtschau Kleinwasserkraftwerke**
Ökonomische und ökologische Aspekte.
Bestellnummer EDMZ : 805.634 d Preis: Fr. 9.50
- **Aperçu général sur les petites centrales hydrauliques**
Aspects économiques et écologiques.
Numéro de commande OCFIM : 805.634 f Prix: Fr. 9.50
- **Fische und Kleinwasserkraftwerke / Poissons et petites centrales hydrauliques**
Kostengünstige Aufstiegshilfen für Fische und Kleinlebewesen / Solutions avantageuses de franchissement pour les poissons et la microfaune aquatique.
Bestellnummer EDMZ / Numéro de commande OCFIM : 805.635 d+f Preis / Prix: Fr. 25.20

DIANE Klein-Wasserkraftwerke / DIANE Petites centrales hydrauliques Grundlagenberichte / Rapports

- **Geschwemmsel bei Kleinwasserkraftwerken**
Optimierung der Wasserfassung
Wasserbauliche Massnahmen zur Verminderung des Schwemmguteintrages und Informationen für die Planung, Optimierung und den Betrieb.
Bestellnummer EDMZ : 805.636 d

ab September 1997

Preis: ca. Fr. 15.00
- **Vernetzung bei Kleinwasserkraftwerken**
Biologisches Kontinuum der Gewässer erhalten
Untersuchungen über das Gewässerkontinuum für Fische und Kleinlebewesen.
Bestellnummer EDMZ : 805.637 d

ab September 1997

Preis: ca. Fr. 15.00

PROSPEKTE / PLAQUETTES

- **Faltblatt "Ökonomie und Ökologie bei der Erneuerung":** (gratis)
- **"Schriftenreihe DIANE Projekt Klein-Wasserkraftwerke , Information & Beratung DIANE" / "Série de publications du projet DIANE Petites centrales hydrauliques , information & conseils DIANE"**
EDMZ Nr. / Numéro de commande OCFIM : 805.638 d+f **ab Oktober 1997 / dès octobre 1997**
€ (*) *provisor. Vorabzug bei der Projektleitung erhältlich / Version provisoire disponible auprès de la direction du projet.* (gratis/gratuit)

ANFERTIGUNG AUF BESTELLUNG / PRODUCTION SUR DEMANDE

- **Folienset für Hellraumprojektor "Ökologie und Kleinwasserkraftwerke"** (Preis: Fr. 130.00)
- **Portrait DIANE Klein-Wasserkraftwerke / Portrait projet DIANE Petites centrales hydrauliques / Ritratto progetto DIANE Piccole centrali idrauliche / Portrait DIANE Project Small Hydro** (gratis / gratuit / gratuitement / free)
- **Gesamtkonzept DIANE Klein-Wasserkraftwerke (*)** (Preis: Fr. 50.00)
- **Diverse Informationsunterlagen betreffend Kleinwasserkraftwerke / Information concernant les petites centrales hydroélectriques:**
(Schweiz: Bezug bei Infoenergie. Ausland: Auskunft bei SKAT
Suisse: Commande auprès de Infoénergie. Etranger: Information auprès de SKAT)

Bezug / Commande:

Infoenergie Nordwestschweiz,
c/o Nova Energie GmbH, Schachenallee 29, 5000 Aarau

Tel. 062 / 834 03 03
Fax 062 / 834 03 23

SKAT; Fachstelle der Schweizerischen Entwicklungszusammenarbeit
für Technologie-Management, Vadianstrasse 42, CH - 9000 St. Gallen

Tel. 071 / 228 54 54
Fax 071 / 228 54 55

(Preise inkl. MWSt, exkl. Versandkosten / Prix incl. TVA, excl. emballage et port)

Bezug der mit (*) markierten Publikation / Commande de la publication marquée avec (*) :

DIANE Klein-Wasserkraftwerke / DIANE petites centrales hydrauliques
c/o ITECO Ingenieurunternehmung AG, Postfach / boîte postale
CH - 8910 Affoltern am Albis

Tel. 01 / 762 18 18
Fax 01 / 762 18 15

(Selbstkostenpreise inkl. MWSt und Versandkosten / Prix de production incl. TVA, emballage et port.)