

Lauterbornia 36: 81-92, Dinkelscherben, August 1999

Ausleitungskraftwerke: Quantifizierung der Auswirkungen von Restwasserabflüssen auf das Makrozoobenthos

Quantification of effects of reduced discharges in residual flow reaches of diversion-type hydropower plants on benthic macroinvertebrates

Willi Maile und Franz Peter Fischer

Mit 6 Abbildungen und 1 Tabelle

Schlagwörter: Makrozoobenthos, Donau, Bayern, Deutschland, Fließgewässer, Wasserkraft, Restwasser, Abfluß, Fließgeschwindigkeit, Rheophilie, Biozönotik

Die Entnahme von Wasser aus einem Fließgewässer zur Stromerzeugung bedeutet einen erheblichen Eingriff in den Naturhaushalt. In der vorliegenden Arbeit werden die Auswirkungen unterschiedlicher Restwasserabflüsse auf das Makrozoobenthos quantifiziert. Die Arbeiten erfolgten 1993-95 an 20 Kraftwerksstandorten in Oberbayern. Die gefundenen Taxa wurden entsprechend ihrer Strömungspräferenz in rheotypisch, limnotypisch und unbekannt bzw. ubiquistisch eingeteilt. Bei allen untersuchten Gewässern ergab sich eine hoch signifikante Korrelation zwischen der rheotypischen Artenvielfalt und der mittleren sohnahen Fließgeschwindigkeit. Die Taxazahl erhöhte sich mit steigender Fließgeschwindigkeit bis zu einem gewässerspezifischen Sättigungswert. Dies dient als Basis für ein Modell zur Ermittlung ökologisch begründeter Mindestabflüsse.

The reduction of the natural discharge in a watercourse due to power generation always causes a significant impact on the biotic community. In the present paper the effects of different discharge levels on the community of benthic macroinvertebrates are quantitatively evaluated. The investigations were carried out at 20 hydropower plant sites in Upper Bavaria (1993-1995). The total taxa count was split according to their flow preference into the classes rheotypical, limnotypical, and unknown preference resp. ubiquitous. In all rivers studied, we found a correlation of high significance between the rheotypic species diversity and the near-bed flow velocity. The taxa number increased with rising velocity up to a saturation value of 0.1 to 0.3 m/s. These correlations were the basis for a model for determining the ecologically required minimum discharge level.

1 Einleitung

Von den regenerativen und CO₂-freien Methoden der Energieerzeugung hat die Wasserkraft die größte wirtschaftliche Bedeutung. In Deutschland trägt sie vor allem in Bayern und Baden-Württemberg aufgrund der dort günstigen topographischen Verhältnisse erheblich zur Stromerzeugung bei (z.B. Bayern 1995: 18 %; HOFFMANN 1997). Die meisten in Deutschland betriebenen Wasserkraftanlagen sind Ausleitungskraftwerke, bei denen dem Mutterbett streckenweise der Großteil des Wassers entzogen wird (Abb. 1). In den Ausleitungsstrecken liegen oft (außer bei Hochwasser) weite Bereiche des Gewässerbetts trocken. Der Gesetzgeber fordert die zuständigen Behörden auf, bei einer Verlängerung oder

Neuzuteilung des Wasserrechts einen "Restwasserabfluß" für das Mutterbett festzulegen, falls dies nicht bereits der Fall ist. Bisher existiert jedoch kein allgemein anerkannter Ansatz zur Bestimmung eines ökologisch begründeten Mindestabflusses, der die Kernfrage bei Ausleitungskraftwerken lösen könnte: "Wieviel Wasser braucht der Fluß?"

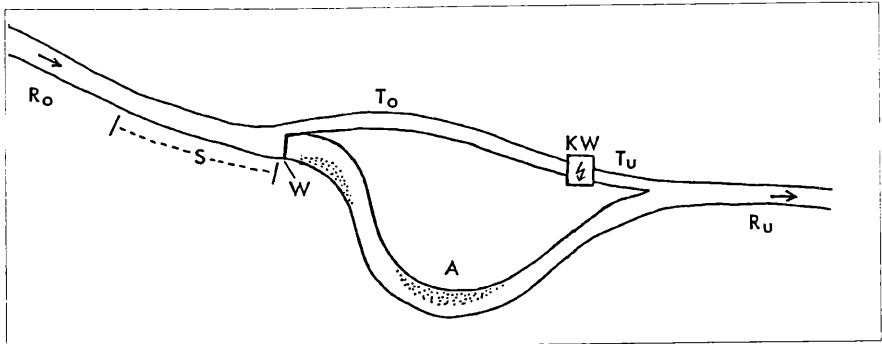


Abb. 1: Schema eines Ausleitungskraftwerks mit den angrenzenden Gewässerabschnitten. R_o bzw. R_u : obere bzw. untere Referenzstrecke; A: Ausleitungsstrecke (mit Kiesbänken); KW: Kraftwerk; T_o bzw. T_u : oberer bzw. unterer Triebwasserkanal; W: Wehranlage; S: Staubeich

Aufgrund der Bedeutung der Wasserkraft in Bayern wurde von 1992-1995 am Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München unter der Leitung von Prof. Th. Strobl das Forschungsprojekt "Restwasser" durchgeführt (STROBL & al. 1996). Das Ziel war, eine wissenschaftlich fundierte Methode zur Restwasserermittlung zu entwickeln. Die technische Seite dieses Projekts bearbeitete der Wasserbauingenieur Dr. Th. Heilmair.

Eine der Hauptaufgaben des Projekts war, die biologischen Auswirkungen unterschiedlich hoher Abflüsse in Ausleitungsstrecken zu quantifizieren, d.h. aussagekräftige Korrelationen zwischen hydraulischen und biologischen Parametern zu finden.

2 Untersuchungsgewässer und Methoden

Die Untersuchungen wurden an 10 Flüssen bzw. 20 Kraftwerken (Ausbaugrad: 26 bis 1300 kW) in Oberbayern durchgeführt. Es handelte sich vor allem um Ober- und Mittelläufe von Gebirgsflüssen (obere Isar, Leitzach, Mangfall, Weiße Traun, Traun, Alz, Tiroler Achen, Bäche des Halblechgebiets) sowie um die Glonn im Dachauer Hinterland, die aufgrund starker anthropogener Veränderungen einen nahezu potamalen Charakter aufweist.

Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag beim Makrozoobenthos, das von zahlreichen Autoren als geeignetes Indikatorsystem zur Beurteilung der ökologischen Funktionstüchtigkeit einer Gewässerstrecke angesehen wird (z.B. ROSENBERG & RESH 1992, MOOG 1993). Neben der qualitativen und quantitativen Auf-

nahme des Makrozoobenthos mit Hilfe eines Surber-Samplers wurden folgende physikalische und chemische Parameter erfaßt: Temperatur, pH-Wert, O₂-Gehalt und -Sättigung, Leitfähigkeit, Nährstoffe. Als abflußrelevante hydraulische Größen wurden die sohnahen Strömungsverhältnisse gemessen. Dies erfolgte sowohl mit der Halbkugel-Methode von STATZNER & MÜLLER (1989) als auch mit einem Mikro-Meßflügel mit einem Flügelraddurchmesser von 9,7 mm (Fa. Höntzsch, 71303 Waiblingen), mit dem Messungen knapp über der Gewässer-sole möglich sind (HEILMAIR 1997). Als gewässermorphologische Größen dienen Fließtiefe, Querschnitt und benetzte Breite. Neu an den Untersuchungen war:

Es wurde nicht eine Ausleitungsstrecke bei unterschiedlichen Abflüssen untersucht, sondern viele Ausleitungsstrecken beim jeweiligen Mindestabfluß, die z.T. bereits seit Jahrzehnten die Ausleitungsstrecken prägen. Diese Abflüsse waren entweder behördlich vorgeschrieben oder ergaben sich aus Undichtigkeiten der Wehranlage.

Es wurden Kraftwerksstandorte mit sehr unterschiedlichem Restwasserabfluß untersucht, um ein möglichst breites Spektrum an ökologischen Verhältnissen zu erfassen.

Der Zeitpunkt der Untersuchungen lag stets im Sommer bei konstantem Niedrigabfluß, um die Auswirkungen des jeweiligen Restwasserabflusses bei maximaler Belastung zu ermitteln. Vorher herrschte mindestens eine Woche lang hochsommerliche Witterung, wo sich die Biozönose auf die entsprechenden Verhältnisse (verringertes Abfluß, erhöhte Wassertemperatur) einstellte.

Die Aufnahme der Daten erfolgte an repräsentativen Gewässerabschnitten, wobei alle charakteristischen Bereiche von Referenz- und Ausleitungsstrecken erfaßt wurden (2-10 Probenahmen je Querschnitt, abhängig jeweils von der Struktur und der benetzten Breite). Es wurden alle Typen der Flußbettmorphologie, der Sediment- und der Strömungsverhältnisse erfaßt. Die Benthosorganismen wurden entsprechend ihrer Strömungspräferenz in die drei Gruppen des neu geschaffenen RLU-Systems (MAILE & al. 1995, MAILE 1997) eingeteilt (Tab. 1). Die Einstufung eines Taxons erfolgte vor allem nach seinem Habitat. Die Strömungspräferenz war dabei das wichtigste Kriterium, während andere Aspekte, wie z.B. Temperaturtoleranz oder Höhenzonen, eine geringere Rolle spielten. Die Einordnung wurde zum größten Teil aufgrund von Literaturhinweisen vorgenommen, die sich in den meisten Fällen mit den eigenen Ergebnissen deckten; eine umfangreiche Dokumentation zur ökologischen Typisierung der aquatischen Makrofauna erschien am BAYERISCHEN LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1996). Bei Taxa, für die in der Literatur keine bzw. widersprüchliche Angaben gefunden wurden, erfolgte die Zuordnung aufgrund der eigenen Befunde.

Tab. 1: Einteilung der gefundenen Taxa in das dreiteilige RLU-System (MAILE 1997)

Kriterium	Bezeichnung	Symbol
Benötigt mittlere bis hohe Fließgeschwindigkeit	rheotypisch	R
Lebt in schwächerer Strömung und/oder in stehenden Gewässern, kann aber strömungstolerant sein	limnotypisch oder stagnophil	L
Zuordnung unbestimmt oder Ubiquist	indifferent	U

Die erhobenen Daten der Taxazahl und sohnahen Fließgeschwindigkeit wurden jeweils einzeln nach Probestellen wie auch zusammengefaßt nach Gewässerquerschnitten ausgewertet. Bei der querschnittswisen Auswertung bildete das arithmetische Mittel der sohnahen Fließgeschwindigkeit (v_{sohl}) der einzelnen Stellen den Parameter "mittlere v_{sohl} ". Der Wert $Taxa_{rheo}$ eines Querschnitts bezeichnet die Gesamtheit aller an diesem Querschnitt gefundenen rheotypischen Taxa.

3 Ergebnisse und Diskussion

Zahlreiche biozönotische Kenngrößen wie Individuendichte, Diversität, Evenness, Turnover-Rate, Rhithron-Ernährungstypen-Index RETI nach SCHWEDER (1992) zeigten keine signifikante Abhängigkeit vom Abfluß. Offensichtlich werden diese von weiteren Faktoren beeinflusst, z.B. vom Nahrungsangebot oder vom Geschiebetrieb. Die Aussagekraft des RETI konnte durch einen modifizierten $RETI_m$ (Maile 1997) gesteigert werden (Abb. 2), wobei die Gruppe der Filtrierer in aktive (F_a) und passive Filtrierer (F_p) aufgespalten wurde; der Wert von F_p kommt dabei zusätzlich in den Zähler. In der Regel ist der Wert von $RETI_m$ deutlich höher als der entsprechende RETI (Abb. 2a). Bei einer hohen Abundanz passiver Filtrierer (z.B. Simuliidae-Larven) verlaufen RETI und $RETI_m$ sogar gegensinnig (Abb. 2b). Für die Bewertung der Auswirkungen unterschiedlich hoher Restwasserabflüsse eignen sich jedoch weder RETI noch $RETI_m$.

Der Saprobienindex bzw. die Güteklasse erwiesen sich ebenfalls als ungeeignete Bewertungskriterien. In der Regel ändert sich die organische Belastung des Wassers in einer Ausleitungsstrecke nicht in dem Maße, daß sich dies in einer deutlichen Änderung des Saprobienindex niederschlagen würde. Eine Ausnahme bilden belastende Einleitungen, z.B. aus Kläranlagen, doch müssen derartige Fälle gesondert betrachtet werden.

Zwischen der Artenzahl bzw. der Individuenzahl der Benthosorganismen und dem Abfluß ließen sich nur in seltenen Fällen Beziehungen herstellen. Als bester gewässerübergreifender Parameter zur Bewertung von Restwasserabflüssen erwies sich die jeweilige Anzahl rheotypischer Taxa ($Taxa_{rheo}$; hier auch "rheotypische Artenvielfalt" genannt). In den untersuchten Gewässern gehören sie zu den standorttypischen Bewohnern.

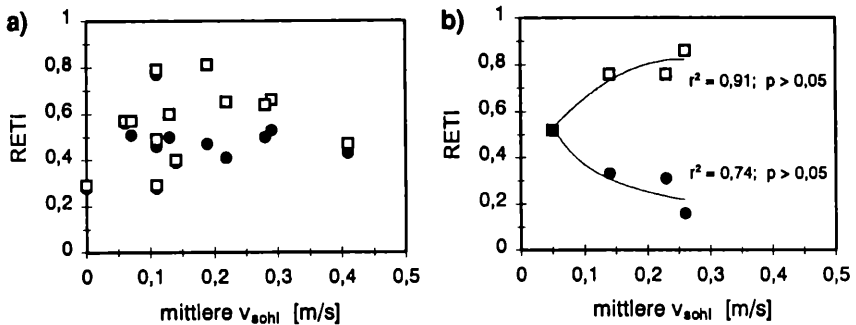


Abb. 2: Beziehungen zwischen RETI nach SCHWEDER (●) bzw. dem modifizierten $RETI_m$ (□) und der mittleren sohnahen Fließgeschwindigkeit (mittlere v_{sohl}) an den untersuchten Flußquerschnitten von a) Traun und b) Würm

Es zeigte sich, daß bei der querschnittswisen Auswertung die Folgen verringerter Fließgeschwindigkeit weitaus deutlicher hervortreten als bei der Betrachtung der einzelnen Probestellen. In Abb. 3 ist dies am Beispiel der Untersuchungen an der Weißen Traun dargestellt: Während die Beziehung $Taxa_{rheo}$ zu v_{sohl} der einzelnen Probestellen sehr große Streuungen aufweist (Abb. 3a), ist die Korrelation bei der querschnittswisen Auswertung der Daten hochsignifikant (Abb. 3b). Schließlich ist die ökologische Präferenz einer Art im allgemeinen nicht auf ein einziges, eng begrenztes Habitat festgelegt. In einem Flußabschnitt, in dem eine relativ hohe sohnahen Fließgeschwindigkeit gemessen wird, ist ein hoher Prozentsatz an rheotypischen Organismen zu finden, auch wenn an einer zufällig ausgewählten Probestelle ein strömungsberuhigter Bereich liegt. Erst die Zusammenfassung der Meßdaten eines Querschnitts zeigt die Anpassungsbreite der Arten bezüglich der Fließgeschwindigkeit.

Weiterhin zeigten die mit dem Meßflügel aufgenommenen hydraulischen Daten in den meisten Fällen eine bessere Korrelation mit der Struktur der Biozönose als die Halbkugel-Werte (STROBL & al. 1996, MAILE 1997). Als aussagekräftigster abiotischer Parameter im Hinblick auf den jeweiligen Abfluß erwiesen sich die sohnahen Strömungsverhältnisse (STROBL & al. 1996).

Bei allen untersuchten Gewässern wurde eine signifikante Beziehung zwischen den Werten der rheotypischen Artenvielfalt und der mittleren sohnahen Fließgeschwindigkeit eines Querschnitts gefunden. Abbildung 4 zeigt beispielhaft die Ergebnisse an den Bächen des Halblech-Gebiets. Dort war die Spanne der Fließgeschwindigkeiten von allen untersuchten Gewässern am größten. Die Korrelationen der anderen Gewässer zeigten eine ähnliche Tendenz (vgl. Abb. 3b).

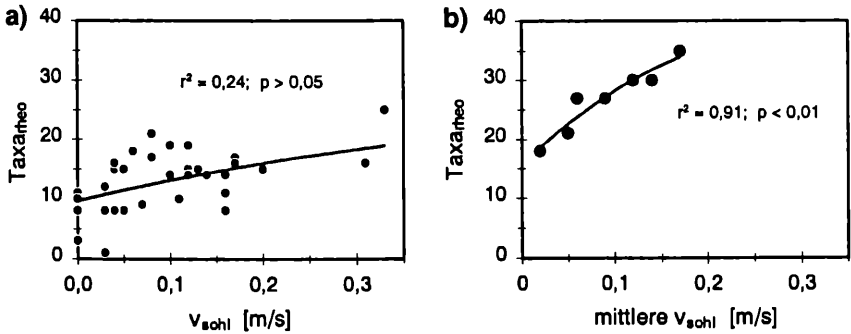


Abb. 3: Korrelation von Taxa_{rheo} mit der sohnahen Fließgeschwindigkeit am Beispiel der Weißen Traun bei Siegsdorf. a) Auswertung nach Probestellen: Es sind alle 35 Probestellen der 7 untersuchten Flußquerschnitte angetragen. b) Auswertung nach Querschnitten: Die Daten eines Querschnitts wurden jeweils zusammengefaßt; mittlere v_{sohl} = arithmetisches Mittel der Probestellen; Taxa_{rheo} = Anzahl der rheotypischen Taxa des Querschnitts. Der gezeigte Geschwindigkeitsbereich entspricht der Phase 1 von Abb. 4

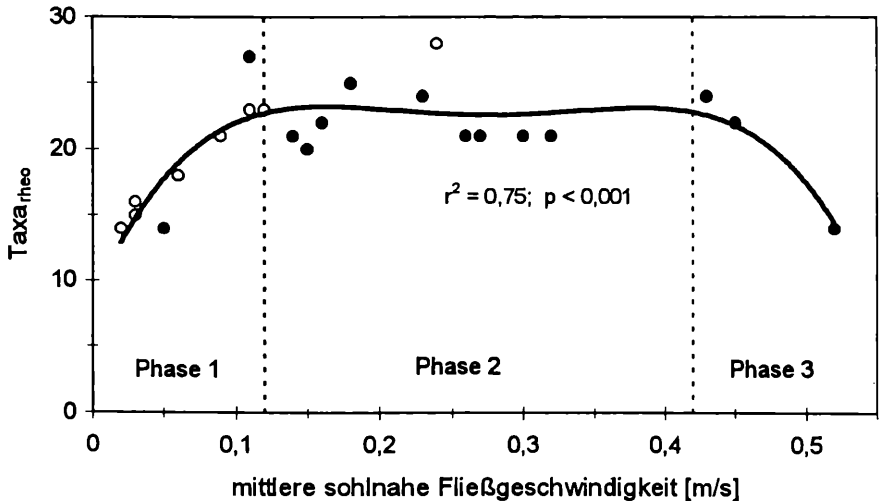


Abb. 4: Korrelation der rheotypischen Artenvielfalt (Taxa_{rheo}) mit der mittleren sohnahen Fließgeschwindigkeit der Meßquerschnitte, gezeigt an den Halblech-Bächen. ● = Referenzstrecken ohne Abflußreduzierung; ○ = Ausleitungsstrecken

In Abb. 4 bedeutet jeder Punkt einen Meßquerschnitt des Baches. Die statistischen Parameter r^2 (Bestimmtheitsgrad) und p (Irrtumswahrscheinlichkeit) zeigen eine sehr hohe Signifikanz. Beim Verlauf der gezeigten Beziehung Taxa_{rheo} zur mittleren v_{sohl} sind drei Phasen zu unterscheiden:

Phase 1: Anstieg der rheotypischen Taxazahl bei Ansteigen der sohnahen Fließgeschwindigkeit, d.h. bei Abflüßerhöhung, bis zu einem Sättigungswert. Die Datenpunkte dieser Phase stammen fast ausschließlich von Ausleitungsstrecken, da eine derart niedrige Fließgeschwindigkeit vor allem dort auftrat.

Phase 2: Stagnieren der Taxazahlen bei mittlerer Fließgeschwindigkeit auf dem erreichten Niveau; u. U. geringe Fluktuationen.

Phase 3: Abnahme der Artenzahl bei sehr starker sohnaher Strömung.

Hinsichtlich der Phase 1 wurden z.T. deutliche Unterschiede bei den untersuchten Gewässern gefunden, und zwar bezüglich der Steigung der Kurve sowie des Wertes der mittleren sohnahen Fließgeschwindigkeit, bei dem die maximale rheotypische Artenvielfalt erreicht wurde. Der steilste Anstieg der Taxakurven lag zwischen 0 und 0,10 m/s. In diesem Bereich liegt für viele rheotypischen Organismen offensichtlich die untere Toleranzgrenze. Die Fließgeschwindigkeit für das Erreichen der Sättigungswerte von $Taxa_{theo}$ lag bei 0,10-0,30 m/s. Dabei gab es z.T. erhebliche Unterschiede zwischen Flüssen, die sich hinsichtlich der Gewässermorphologie und der Höhenzone sehr ähnlich sind (z.B. Mangfall und Traun). Diese Uneinheitlichkeit unterstreicht die Individualität der einzelnen Gewässerabschnitte und zeigt, daß bei der Festlegung von Restwasserabflüssen nicht verallgemeinert werden kann. Spezielle Untersuchungen sind daher für jeden Kraftwerksstandort unerlässlich. Hinsichtlich eines ökologisch begründeten Mindestabflusses sollten in einer Restwasserstrecke möglichst jene Abflußverhältnisse erreicht werden, die eine maximale rheotypische Artenvielfalt gewährleisten.

Die hier ermittelten Werte für die sohnahen Fließgeschwindigkeit zum Erreichen der maximalen rheotypischen Artenvielfalt decken sich mit den Ergebnissen von MAUCH (1987), der auf Restwasserstrecken eine minimale mittlere Fließgeschwindigkeit von 0,2-0,3 m/s fordert, was einer sohnahen Geschwindigkeit von etwa 0,1 m/s entspricht. Bei Unterschreitung dieser Grenzgeschwindigkeit setzt die Schlamm sedimentation ein, die die Lebensbedingungen der meisten Benthosorganismen zusätzlich verschlechtert (MAUCH 1982).

Die Phase 2 lag beim Halblech-Bachsystem bei 0,12-0,42 m/s (Abb. 4). Diese Spannweite umfaßt offensichtlich die Präferenzbereiche der meisten dort vorkommenden Makrozoobenthos-Arten. Es wird angenommen, daß sich innerhalb dieses Bereichs die Artenverteilung dahingehend ändert, daß am unteren Schwellenwert vor allem rheophile Organismen vorkommen, neben einigen limnotypischen und ubiquistischen Taxa, während am oberen Schwellenwert hauptsächlich rheobionte Taxa vertreten sind. So wurden bei einer mittleren sohnahen Fließgeschwindigkeit $>0,30$ m/s zunehmend *Baetis alpinus*, *Rhithrogena lobata*, *R. semicolorata*, *Drusus* spp., *Protonemura* spp. und einige Simuliidae gefunden.

Die Phase 3 konnte nur im Gebiet des Halblechs erfaßt werden, da die anderen untersuchten Flüsse, außer bei Hochwasser, keine derartig hohe Fließgeschwindigkeit aufweisen. Der Beginn dieser Phase, d.h. der Rückgang der Artenvielfalt bei sehr hoher sohnaher Fließgeschwindigkeit, lag im Halblechgebiet etwas über 0,40 m/s. Die relative Artenarmut derartiger Gewässerabschnitte ist leicht nachvollziehbar: Nur eine geringe Zahl an Spezialisten mit entsprechender morphologischer, physiologischer und verhaltensmäßiger Anpassung ist den permanent hohen mechanischen Belastungen, der hohen Schubkraft des Wassers und dem vermehrten Geschiebetrieb, auf Dauer gewachsen (z.B. *Baetis alpinus*, *Liponeura*, einige Simuliidae), wie schon STEINMANN (1907-1908) feststellte.

Die limnotypische Artenvielfalt Tax_{lim} war in allen untersuchten Gewässerabschnitten sehr niedrig und zeigte keine signifikante Abhängigkeit von den sohnahen Strömungsverhältnissen (Abb. 5). In Gewässern der untersuchten Ober- und Mittelläufe montaner Flüsse ist keine artenreiche limnotypische bzw. stagnophile Benthosfauna zu erwarten. In Ausleitungsstrecken mit geringem Restabfluß sind die Abflußunterschiede zwischen dem Normalzustand (= Restabfluß) und dem Hochwasserabfluß so groß, daß sich keine artenreiche limnotypische Fauna etablieren kann. Limnotypische Organismen, die sich in einer Ausleitungsstrecke in einer längeren Niedrigwasserphase (z.B. in den Sommermonaten) ansiedeln, werden meist von den periodisch auftretenden Hochwasserereignissen weggepült. Dies konnte an zwei Kraftwerksbereichen der Weißen Traun gezeigt werden, die im Sommer während einer längeren Niedrigwasserphase und nach einem Hochwasser infolge eines Sommergewitters beprobt wurden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Unsere Ergebnisse zeigen, daß es für eine standortgerechte Zusammensetzung des Makrozoobenthos in Gewässern des untersuchten Typs Schwellenwerte hinsichtlich der sohnahen Strömungsverhältnisse und damit der Abflußhöhe gibt. Den limitierenden Faktor für die rheotypische Artenvielfalt in Ausleitungsstrecken stellt der Niedrigabfluß (= Restwasserabfluß) dar, für die limnotypischen Organismen sind es dagegen die Hochwasserereignisse (Abb. 6). Bei einem zu großen Mißverhältnis zwischen dem Restwasser- und dem Hochwasserabfluß können sich weder limnotypische noch rheotypische Organismen dauerhaft etablieren. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt MAUCH (1982) bei der Bewertung der Auswirkungen von Staubebereichen infolge von Sohlstützungen: Auch hier verarmt das Artenspektrum des Benthos unter Zunahme von Ubiquisten aufgrund der großen Strömungsunterschiede.

Rheotypische Invertebraten und Fische der Forellen- und Äschenregion weisen ähnliche Ansprüche hinsichtlich zahlreicher Parameter auf. Dazu zählen: Strömungsverhältnisse, Wassertemperatur, Sauerstoffhaushalt, Nährstoffgehalt, Sohlsubstrat, Beschattungsgrad und Geschiebedynamik. Die hier erhobenen Zusammenhänge zwischen den Benthosorganismen und dem jeweiligen Abfluß

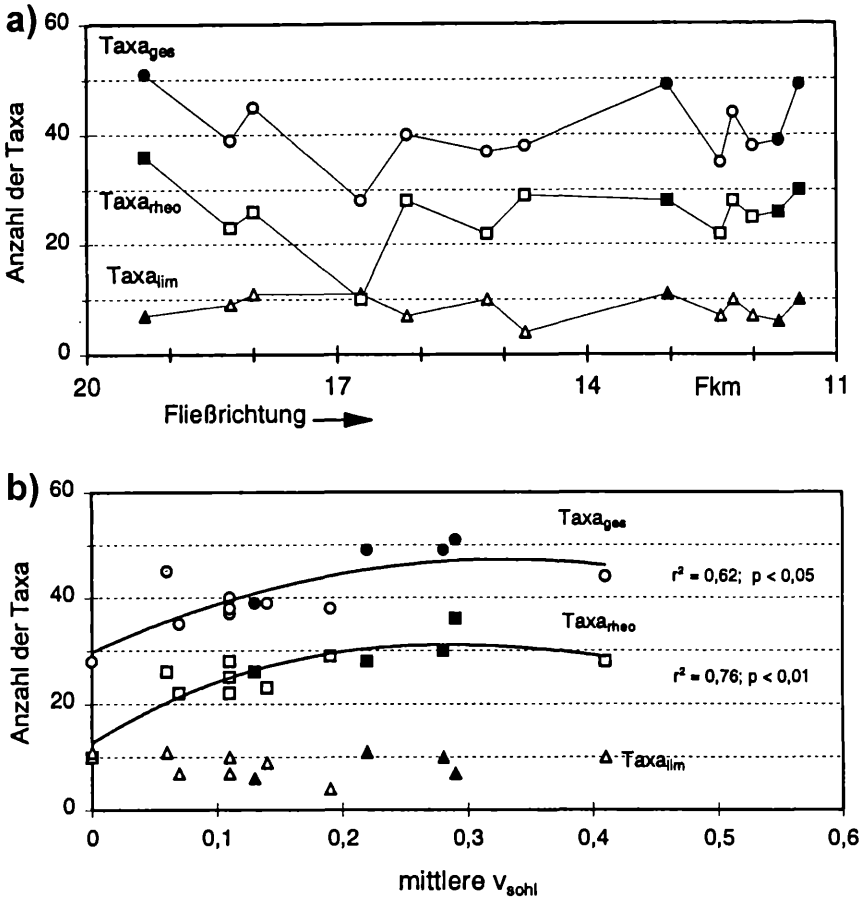


Abb. 5: Vergleichende Gegenüberstellung von Gesamttaxazahl ($Taxa_{ges}$), rheotypischer ($Taxa_{rheo}$) und limnotypischer Taxazahl ($Taxa_{lim}$) am Beispiel der Traun von Mühlital bis Traunwalchen. a) Darstellung im Flußverlauf; b) Korrelation der Taxazahl mit der mittleren sohnlahen Fließgeschwindigkeit. Ausgefüllte Symbole = Referenzstrecken ohne Abflußreduzierung; leere Symbole = Ausleitungsstrecken

können daher weitgehend auch auf die standorttypischen Fische dieser Gewässer übertragen werden. Als zusätzliche ausschlaggebende Parameter kommen jedoch bei den Fischen eine ausreichende Fließtiefe und die Gewässerbreite hinzu. Beide Parameter bestimmen die Größe des Wasserkörpers und sind daher vor allem für die Größe der Biomasse entscheidend.

Die mittlere sohnlahen Fließgeschwindigkeit und damit die Höhe der rheotypischen Artenvielfalt wird vor allem von der Größe des Abflusses bestimmt. Die hier gezeigten Korrelationen wurden als Basis für ein Modell zur Ermittlung

von ökologisch begründeten Mindestabflüssen verwendet. Bei diesem MEFI-Modell (Munich ecological flow investigations; MAILE & al. 1995, STROBL & al. 1996) wird die unterschiedliche Situation der Kraftwerksstandorte berücksichtigt. Es müssen dabei folgende Daten aufgenommen werden: die sohlnahe Fließgeschwindigkeit bei unterschiedlichen Abflüssen und die Sohlrauheiten (beide Parameter an den gleichen Querschnitten) sowie die Sonneneinstrahlung. Als gewässerspezifische Größe geht MNQ in die Berechnung mit ein. Das Modell gilt vor allem für Ober- und Mittelläufe von Gebirgs- und Mittelgebirgsflüssen. Die Übertragbarkeit auf andere Gewässertypen muß noch untersucht werden.

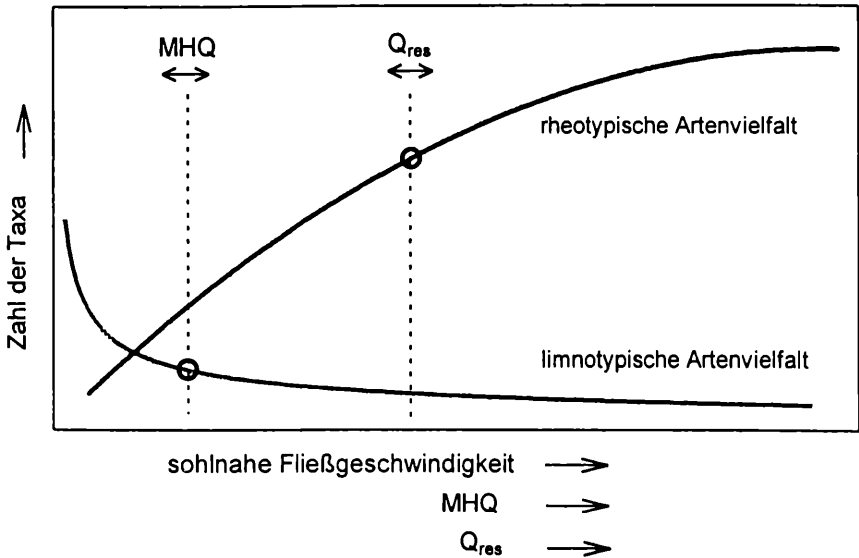


Abb. 6: Stark schematisierte Darstellung der Zusammenhänge zwischen der Artenzahl in einer Ausleitungsstrecke des untersuchten Gewässertyps und dem Abflußregime (entspricht der Phase 1 von Abb. 4)

Nach dem MEFI-Modell sind für die Biozönose (einschließlich der Fische) in einer Ausleitungsstrecke jene Abflußbedingungen erforderlich, die den maximalen Wert (= Sättigungswert) der standorttypischen (= rheotypischen) Artenvielfalt garantieren. In Abb. 4 entspricht dies dem Übergang von Phase 1 nach Phase 2. In der Praxis wird jedoch dahingehend entschieden, daß jener Abfluß festgelegt wird, bei dem statistisch etwa 90 % der Artenvielfalt erreicht wird. Dies hat folgenden Grund: Die relativ geringe ökologische Verbesserung zwischen 90 und 100 % der Artenvielfalt hätte, je nach Standort, z.T. eine Vervielfachung des erforderlichen Restwasserabflusses zur Folge, was die Energiegewinnung drastisch verringern würde.

Damit stellt sich erneut die Frage nach dem Wert der ökologischen Vielfalt. Man bedenke: Inzwischen sind nahezu alle Arten der Fließwasserfische in ihrem Bestand gefährdet. Rund 2/3 von ihnen stehen in Bayern auf der Roten Liste, vier sind bereits verschwunden (KUSSMAUL & al. 1991). Bei den Invertebraten ist die Situation ähnlich. Von vielen Biologen wurden bereits allgemeine Bewertungsmaßstäbe für die Artenvielfalt diskutiert (z.B. EHRENFELD 1992, HANEMANN 1992, RANDALL 1992) und in Einzelfällen wurde versucht, für bestimmte Arten eine Nutzen-Analyse aufzustellen (z.B. VESTER 1984, NORTON 1992). Letztendlich wird jedoch klar, daß unser Wissen über die biologischen Zusammenhänge sehr lückenhaft und außerdem anthropozentrisch geprägt ist, so daß es derzeit kaum möglich ist, die ökologischen Auswirkungen von menschlichen Verhaltensweisen oder technischen Anlagen wie den Wasserkraftwerken zu beurteilen. Als Argumentationshilfe kann jedoch gelten, daß nicht nur monetäre, sondern auch immaterielle Werte, wie z.B. eine intakte Umwelt, als volkswirtschaftlicher Nutzen zu betrachten sind.

Die ausführlichen Forschungsberichte des Projekts "Restwasser" können beim Lehrstuhl für Wasserbau, Technische Universität München, Arcisstraße 21, 80290 München (Tel. 089/289-23174) angefordert werden: Hydraulischer Teil (HEILMAIR 1997): Berichte des Lehrstuhls Nr. 79. Biologischer Teil (MAILE 1997) und MEFI-Modell (MAILE & al. 1997): Berichte des Lehrstuhls Nr. 80.

Dank

Die Arbeiten wurden gefördert durch das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (Förderkennzeichen: 0329361A), den Bezirk Oberbayern und von Elektroversorgungsunternehmen. Außerdem danken wir Prof. Dr.-Ing. Th. Strobl (Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TUM), Prof. Dr. G. A. Manley (Institut für Zoologie der TUM) und Prof. Dr. H. Stein (Lehrstuhl für Angewandte Zoologie der TUM, Abteilung Fischbiologie) für ihre großzügige Unterstützung. Herr Dr.-Ing. Th. Heilmair nahm die meisten der hier verwendeten hydraulischen Daten auf.

Literatur

- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (ed.) (1996): Ökologische Typisierung der aquatischen Makrofauna.- Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft 4/96, 543 pp., München
- EHRENFELD, D. (1992): Warum soll man der biologischen Vielfalt einen Wert beimessen?- In: WILSON, E. O (ed.): Ende der biologischen Vielfalt?: 235-239, (Spektrum) Heidelberg
- HANEMANN, W. M. (1992): Die Wirtschaftswissenschaften und die Erhaltung der biologischen Vielfalt.- In: WILSON, E. O. (ed.): Ende der biologischen Vielfalt?: 215-221, (Spektrum) Heidelberg
- HEILMAIR, T. (1997): Hydraulische und morphologische Kriterien bei der Beurteilung von Mindestabflüssen unter besonderer Berücksichtigung der sohnlahen Strömungsverhältnisse.- Berichte der Versuchsanstalt Oberrach und des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München 79, 122 pp., München

- HOFFMANN, T. (1997): Einsatz, Potentiale und Förderung von Regenerativ-Kraftwerken.- Elektrizitätswirtschaft, Zeitschrift der Vereinigung deutscher Elektrizitätswerke VDEW 96: 396-399, Frankfurt
- KUSSMAUL, R., R. HOFFMANN & M. GESSLER (1991): Bedrohte Fischarten in Bayern.- Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wasserforschung, 19, 159 pp., München
- MAILE, W. (1997): Bewertung von Fließgewässer-Biozöosen im Bereich von Ausleitungskraftwerken.- Berichte der Versuchsanstalt Obernach und des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU München 80: 1-245, München
- MAILE, W., T. HEILMAIR & T. STROBL (1995): Relationship between hydraulic and biological parameters in residual flow reaches as a basis for stipulating residual discharge levels.- The International Journal on Hydropower & Dams, Proceedings of the conference in Barcelona: 137-147, Surrey (UK)
- MAILE, W., T. HEILMAIR & T. STROBL (1997): Das MEFI-Modell - Ein Verfahren zur Ermittlung ökologisch begründeter Mindestabflüsse in Ausleitungsstrecken von Wasserkraftwerken.- Berichte der Versuchsanstalt Obernach und des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU München 80: 247-267, München
- MAUCH, E. (1982): Flüsse, Sohlstützung, Gewässerökologie.- Anlage zur Ergebnisniederschrift über die Dienstbesprechung "Wasserwirtschaft 1982" in München: 109-124, unveröffentlicht
- MAUCH, E. (1987): Restwasserdotierung auf Ausleitungsstrecken aus gewässerbiologischer Sicht am Beispiel der Iller.- In: MINISTERIUM FÜR UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG, WASSERWIRTSCHAFTSVERWALTUNG (ed.): Weiterbildung Wasser- und Kulturbau, Wassermengenwirtschaft, 21. Lehrgang: 66-85
- MOOG, O. (1993): Makrozoobenthos als Indikator bei ökologischen Fragestellungen.- In: INSTITUT FÜR WASSERGÜTE UND ABFALLWIRTSCHAFT, ABT. FÜR LANDSCHAFTSWASSERBAU, TU WIEN (ed.): Landschaftswasserbau, Band 15: 103-143, Wien
- NORTON, B. (1992): Waren, Annehmlichkeiten und Moral. Die Grenzen der Quantifizierung bei der Bewertung biologischer Vielfalt.- In: WILSON, E. O (ed.): Ende der biologischen Vielfalt?: 222-228, (Spektrum) Heidelberg
- RANDALL, A. (1992): Was sagen die Wirtschaftswissenschaftler über den Wert der biologischen Vielfalt?- In: WILSON, E. O (ed.): Ende der biologischen Vielfalt?: 240-247, (Spektrum) Heidelberg
- ROSENBERG, D. M. & V. H. RESH (eds.) (1992): Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates.- 488 pp., (Chapman & Hall), New York
- Schweder, H. (1992): Neue Indizes für die Bewertung des ökologischen Zustands von Fließgewässern, abgeleitet aus der Makroinvertebraten-Ernährungstypologie.- In: FRIEDRICH, G. & J. LACOMBE (eds.): Limnologie aktuell 3: 353-377, Stuttgart
- STATZNER, B. & R. MÜLLER (1989): Standard hemispheres as indication of flow characteristics in lotic benthos research.- Freshwater Biology 21: 445-459, Oxford
- STEINMANN, P. (1907-1908): Die Tierwelt der Gebirgsbäche. In: ROUSSEAU, E. (ed.): Annales de Biologie Lacustre II: 30-163, (Vanbuggenhoudt) Brüssel
- STROBL, T., W. MAILE & T. HEILMAIR (1996): Forschungsvorhaben "Restwasser".- Forschungsbericht für das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, 320 pp., Bonn.
- VESTER, F. (1984): Der Wert eines Vogels.- 20 pp., (Kösel) München

Anschriften der Verfasser: Dr. Willi Maile, Attachinger Weg 43, D-85356 Freising und PD Dr. Franz Peter Fischer, Institut für Zoologie der Technischen Universität München, Lichtenbergstraße 4, D-85747 Garching.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Lauterbornia](#)

Jahr/Year: 1999

Band/Volume: [1999_36](#)

Autor(en)/Author(s): Maile Willi, Fischer Franz Peter

Artikel/Article: [Ausleitungskraftwerke: Quantifizierung der Auswirkungen von Restwasserabflüssen auf das Makrozoobenthos. 81-92](#)