

Wasserkraftnutzung und Mindestwasserregelung

Theodor STROBL, W. MAILE und Thomas HEILMAIR



Prof. Dr.-Ing. Theodor Strobl

Kurzbiografie:

- geb. 1941 in Reichenberg.
- Studium am Johannes Kepler-Polytechnikum in Regensburg und danach an der Technischen Hochschule in Darmstadt (Bauingenieur).
- Danach bei der Fa. Hochtief in Essen als Bauleiter und im Technischen Büro tätig und längerer beruflicher Aufenthalt in Brasilien.
- Ab 1973 längere Zeit in der bayerischen Staatsbauverwaltung tätig; 1976-1977 Referendarausbildung und Ernennung zum Regierungsbaumeister.
- Bis 1982 Hilfsreferent in der Obersten Baubehörde (Planung und Bauüberwachung von Talsperrenprojekten in Bayern) und Promotion über Dichtungsschlitzwände in Erddämmen bei Professor Breth an der Technischen Hochschule in Darmstadt.
- 1982 mit der Leitung des Talsperren-Neubauamtes einem Ingenieurbüro des Freistaats Bayern, betraut, wo er im Rahmen des Großprojektes „Überleitung von Altmühl- und Donauwasser in das Regnitz-Main-Gebiet“ mit der Planung, dem Bau und Betrieb beauftragt war.
- 1987-1989 (Sachgebietsleiter) an der Obersten Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern.
- 1989 Berufung auf den Lehrstuhl für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft der Technischen Universität München.

1. Einleitung

Die Wasserkraft ist in Bayern die einzige wirklich bedeutende regenerative und CO₂-freie Energiequelle (STROBL et al. 1994). Die Auswirkungen der Wasserkraft auf die Umwelt standen und stehen jedoch auf dem Prüffeld der Abwägung von Vor- und Nachteilen, wobei die Gewichtung bei der Betrachtung zeitlichen Wandel unterworfen ist (Abb. 1).

Die Wissenschaft kann für diesen Abwägungsprozeß nachvollziehbare Methoden liefern. Weiterhin kann die Wissenschaft die Wasserkraftausnutzung technisch und ökologisch weiter optimieren. Aufgrund der Ergebnisse neuerer Forschungsprojekte müßte sich in Zukunft unter Berücksichtigung der ökologischen Belange konsensfähige Lösungen für eine technisch und ökologisch optimierte Wasserkraftnutzung finden lassen.

Ökologische Optimierung der Wasserkraftnutzung kostet Geld. Heute kann die Energie preiswert zugekauft werden. Daher muß die ökologische Optimierung auch mit Augenmaß vorgenommen und das vielleicht Wünschenswerte vom Notwendigen getrennt werden. Auch dürfen der Wasserkraft keine Fremdlasten mehr übertragen werden, wie z.B. verbesserter Hochwasserschutz. Andererseits dürfen die Kraftwerksgesellschaften die Wasserkraftnutzung nicht alleine aus heute gültigen wirtschaftlichen Gesichtspunkten betrachten. Viele Wasserkraftanlagen in Bayern wurden vor Jahrzehnten gebaut – heute ziehen wir den Nutzen aus diesen Anlagen und haben so auch eine Verpflichtung für die Zukunft.

Technisch beinhaltet die Wasserkraft keine Risiken, da es sich hier um eine ausgereifte Technik handelt. Die möglichen ökologischen Belastungen durch die Wasserkraftnutzung hierzulande sind bekannt und können weitgehend reduziert werden. Da die Lebensgemeinschaften eines Fließgewässers vom äußerst komplexen Zusammenwirken zahlreicher Faktoren geprägt ist (Abb. 2), hat jeder Eingriff, so z.B. die Reduzierung des Abflusses in einer Ausleitungsstrecke, spürbare Auswirkungen auf die Biozönose dieses Gewässerabschnitts (MOOG et al. 1993).

Bis jetzt kann jedoch auf kein gesichertes Verfahren zur Bestimmung eines ökologisch begründeten Mindestabflusses zurückgegriffen werden. Die Verwendung von Formeln (z.B. in Abhängigkeit von MNQ) ist aufgrund der unterschiedlichen Situationen an den jeweiligen Kraftwerksstandorten nicht als zielführend anzusehen.

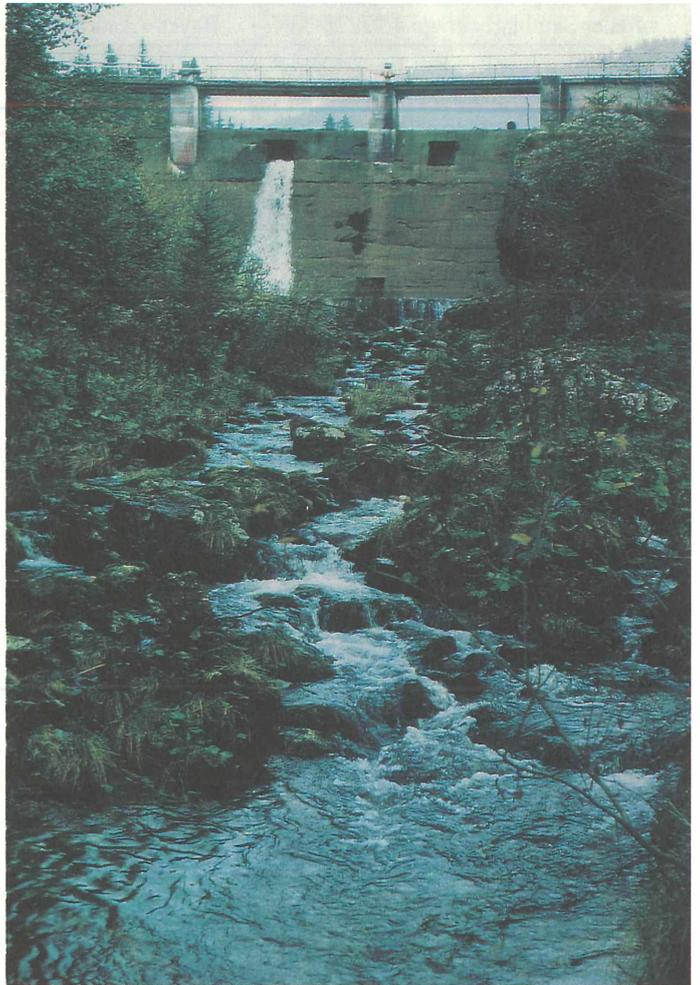


Abbildung 1

Blick auf die Staumauer und die Ausleitungsstrecke des Kraftwerks Bockstallbach (Ammergebirge).

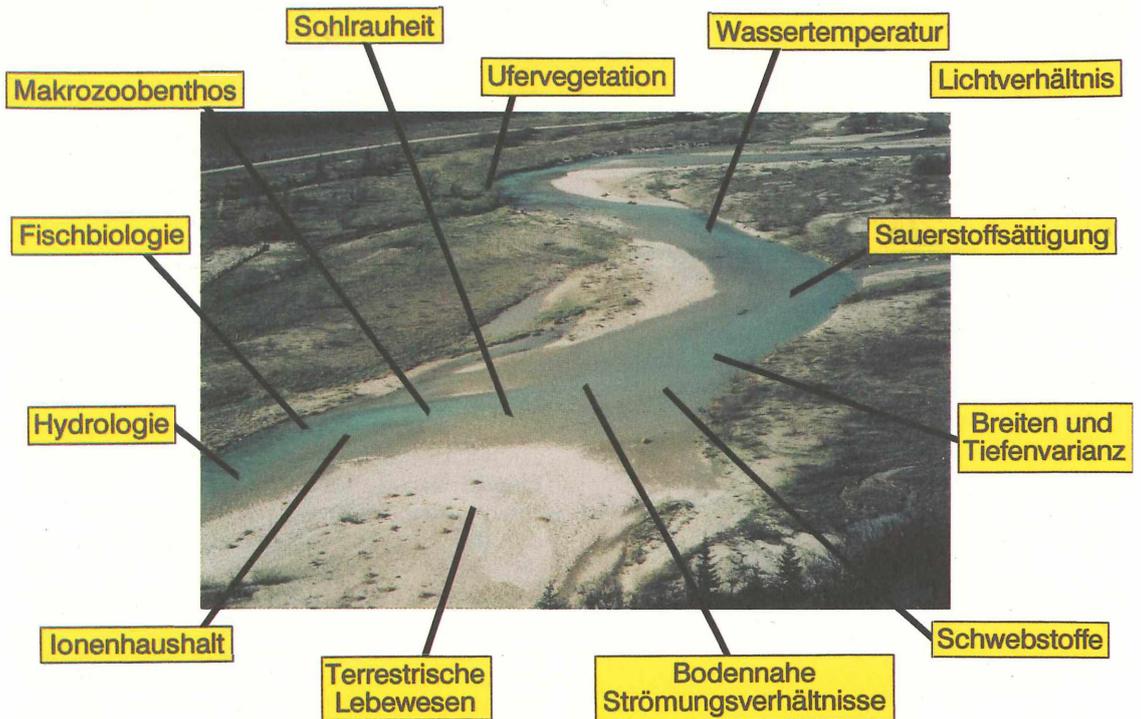


Abbildung 2

Zusammenwirken der wichtigsten biotischen und abiotischen Parameter eines Fließgewässer-Ökosystems.

2. Das Forschungsprojekt „Restwasser“

In den Forschungsprojekten des Themengebiets „Restwasser“ am Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München sollen die Folgen einer verringerten Wasserführung in Ausleitungsstrecken quantifiziert werden. Dazu wurden in den Jahren 1993-95 an 10 bayerischen Flüssen (20 Kraftwerksstandorte) umfangreiche hydraulische, flußmorphologische, biologische, chemische und physikalische Untersuchungen durchgeführt.

Um die Auswirkungen eines verringerten Abflusses herauszuarbeiten, wurden Ausleitungsstrecken jeweils mit unbeeinflussten Flußstrecken (= Referenzstrecken) verglichen. Die Untersuchungen erfolgten vor allem in den Sommermonaten bei Niedrigabfluß und sommerlichen Witterungsverhältnissen, um auch extreme Belastungen der Biozöten aufgrund des verringerten Abflusses (z.B. durch Sonneneinstrahlung oder Algenwachstum) zu ermitteln.

2.1 Hydraulische und flußmorphologische Untersuchungen

Neben der Erfassung der Linienführung und des Gefälles eines Flusses wurden charakteristische Fließquerschnitte vermessen und die Strömungsverhältnisse ermittelt. Für die Beschreibung der Strömung wurden Geschwindigkeitsprofile und Sohlrauheiten aufgenommen.

Aus diesen Messungen lassen sich eine Vielzahl weiterer hydraulischer Parameter bestimmen, wie z.B. Abfluß, Fließbreite, mittlere Fließgeschwindigkeit, mittlere Fließtiefe, mittlere Fließgeschwindigkeit, Turbulenz und Sohl Schubspannung.

Zur Ermittlung der Fließgeschwindigkeiten wurde ein Mikro-Flügel (Fa. Höntzsch, 71303 Waiblingen) mit einem Flügelraddurchmesser von 9,7 mm verwendet (Abb. 3a) (HEILMAIR & STROBL 1994 und 1995). Mit diesem Flügel kann die Fließgeschwindigkeit knapp über der Sohle gemessen werden. Die Verwendung dieser sohl nahen Fließgeschwindigkeiten bei Abflußversuchen gibt neue Impulse für die Beurteilung von Mindestabflüssen (HEILMAIR 1997) und geht in das im folgenden vorgestellte Modell ein. Dazu wurden für jeden Meßquerschnitt die mittlere sohl nahe Fließgeschwindigkeit u_{nb} ($nb = \text{near bottom}$) errechnet.

Neben der sohl nahen Fließgeschwindigkeit ist auch die Struktur der Sohle für das Strömungsverhalten mit bestimmend. Für die Aufnahme der Sohlbeschaffenheit wurde ein neues Verfahren entwickelt, um auf einfache und schnelle Weise einen strömungsrelevanten Parameter zu ermitteln, der für die Benthosorganismen (=Lebewesen am Gewässergrund) ebenfalls von Bedeutung ist. Dabei wird die aus der Sohle herausragende Steinhöhe gemessen, die aufgrund des Algenaufwuchses gut zu erkennen ist (Abb. 3b). Aus diesen Messungen wird dann die mittlere Steinhöhe h_{A50} (ökologisch relevante Rauheit) pro Fließquerschnitt errechnet, die 50 % der Anzahl der Steine erreichen oder unterschreiten.

Neben der Fließgeschwindigkeit soll auch die Flußmorphologie ausreichend Berücksichtigung finden. Die Kombination von mittlerer sohl naher Fließgeschwindigkeit u_{nb} mit der Fließtiefe y und der Sohlrauheit h_{A50} ergibt die neuen hydraulischen Parameter sohl nahe Reynoldszahl Re_{nb} und sohl nahe Froudezahl Fr_{nb} . Dabei geht die Fallbeschleunigung g und über die kinematische Viskosität ν auch die Temperatur des Wassers ein (HEILMAIR 1997).

$$\text{Sohl nahe Reynoldszahl: } Re_{nb} = \frac{u_{nb} \times h_{A50}}{\nu}$$

$$\text{Sohl nahe Froudezahl: } Fr_{nb} = \frac{u_{nb}}{\sqrt{g \times y}}$$

2.2 Ökologische Untersuchungen

Das Untersuchungsprogramm umfaßte folgende Aspekte:

- Qualitative und quantitative Aufnahme des Makrozoobenthos (= Tiere am Gewässergrund, die mit dem bloßen Auge sichtbar sind).
- Bestandsaufnahme der Fischfauna (Elektrofischfang).
- Beschreibung der jeweiligen Sohlstruktur, der Wasserpflanzen und des Steinaufwuchses.
- Chemische und physikalische Messungen (z.B. pH-Wert, Sauerstoffgehalt, Wassertemperatur).
- Ermittlung der potentiell maximalen Sonneneinstrahlung.

Zahlreiche Arten bzw. Gruppen des Makrozoobenthos dienen als Indikatororganismen für bestimmte Strömungs- bzw. Substratverhältnisse oder der Wasserqualität. Daher wurden bei der Auswertung der Organismen „rheophile Taxa“ (Taxa *pl.* von Taxon = systematische Einheit) gesondert ausgewiesen. Diese Organismen benötigen als Lebensgrundlage in der Regel eine hohe Wasserqualität, eine aus grobem Material (z.B. Kies) aufgebaute Flußsohle und eine gewisse Mindestfließgeschwindigkeit. Eine standortgerechte Lebensgemeinschaft der untersuchten Gewässer besteht zu einem hohen Prozentsatz aus rheophilen Organismen.

Mit Hilfe eines Horizontoskops (TONNE 1954) (Abb. 4) wurde ermittelt, wann und wie lange im Tagesverlauf die Sonne den jeweiligen Flußquerschnitt bestrahlt (Bezugspunkt: 21. Juni). Um die je nach Tageszeit unterschiedliche Strahlungsintensität zu berücksichtigen, wurde eine entsprechende Gewichtung vorgenommen (Abb. 5). Der neu eingeführte Parameter effektive Einstrahlung EI (engl.: effective irradiation) wurde daraus folgendermaßen berechnet:

$$\text{Effektive Einstrahlung } EI = 2 \times \Delta t_K + \Delta t_{R1} + \Delta t_{R2}$$

Die Höhe dieser effektiven Einstrahlung reicht von 0 (keine Einstrahlung) bis 12 (maximale Einstrahlung). Die durchschnittliche effektive Einstrahlung einer Ausleitungsstrecke ist das arithmetische Mittel aller in dieser Strecke ermittelten EI-Werte (Mefspunkte ca. alle 50 Meter, bei kurzen Ausleitungsstrecken in geringeren Abständen).

Mit negativen Auswirkungen (z.B. überhöhte Wassertemperatur, Algenwachstum) ist jedoch erst

Abbildung 3 a

Mikro-Flügel zur Messung der sohl-
nahen Fließgeschwindigkeit

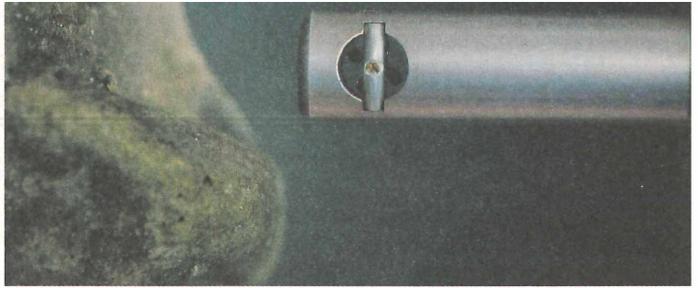


Abbildung 3 b

Erfassung der für das vorgestellte
Modell relevanten Sohlrauheit anhand
der Höhe des Algenaufwuchses h_A .



Abbildung 4

Horizontoskop zur Erfassung des
Zeitpunkts und der Dauer der täglichen
Sonneneinstrahlung.

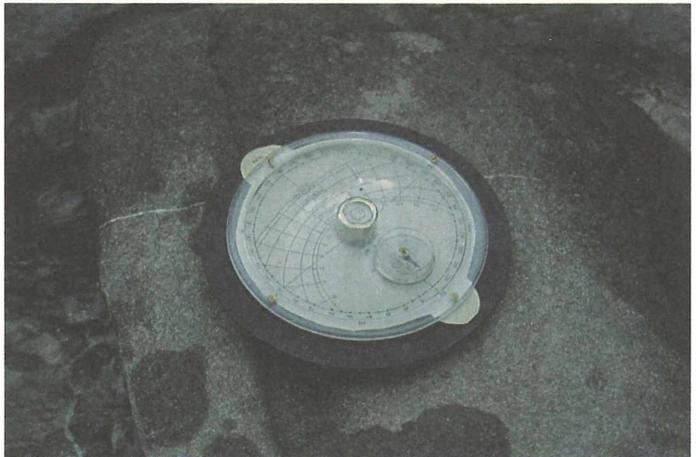
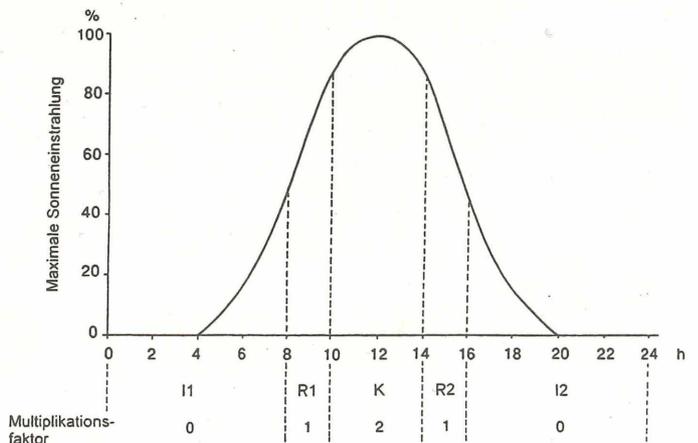


Abbildung 5

Maximale Sonneneinstrahlung in den
mittleren Breiten der nördlichen Erd-
halbkugel im Tagesverlauf (nach SCHU-
BERT 1984, verändert). Eingetragen ist
zusätzlich die Einteilung in die unter-
schiedenen Tagesbereiche mit den ent-
sprechenden Gewichtungen.

K: Kernbereich; R1, R2: Randbereiche;
I1, I2: ineffektive Bereiche.



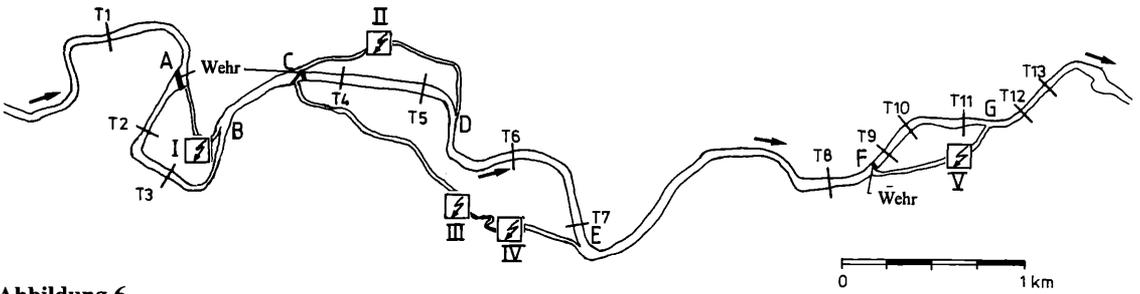


Abbildung 6

Der im Sommer 1994 untersuchte Abschnitt der Traun, an dem die Ergebnisse beispielhaft vorgestellt werden. T1 bis T13 kennzeichnen die Querschnitte, an denen Messungen durchgeführt wurden. Die Kraftwerke sind von I bis V nummeriert.

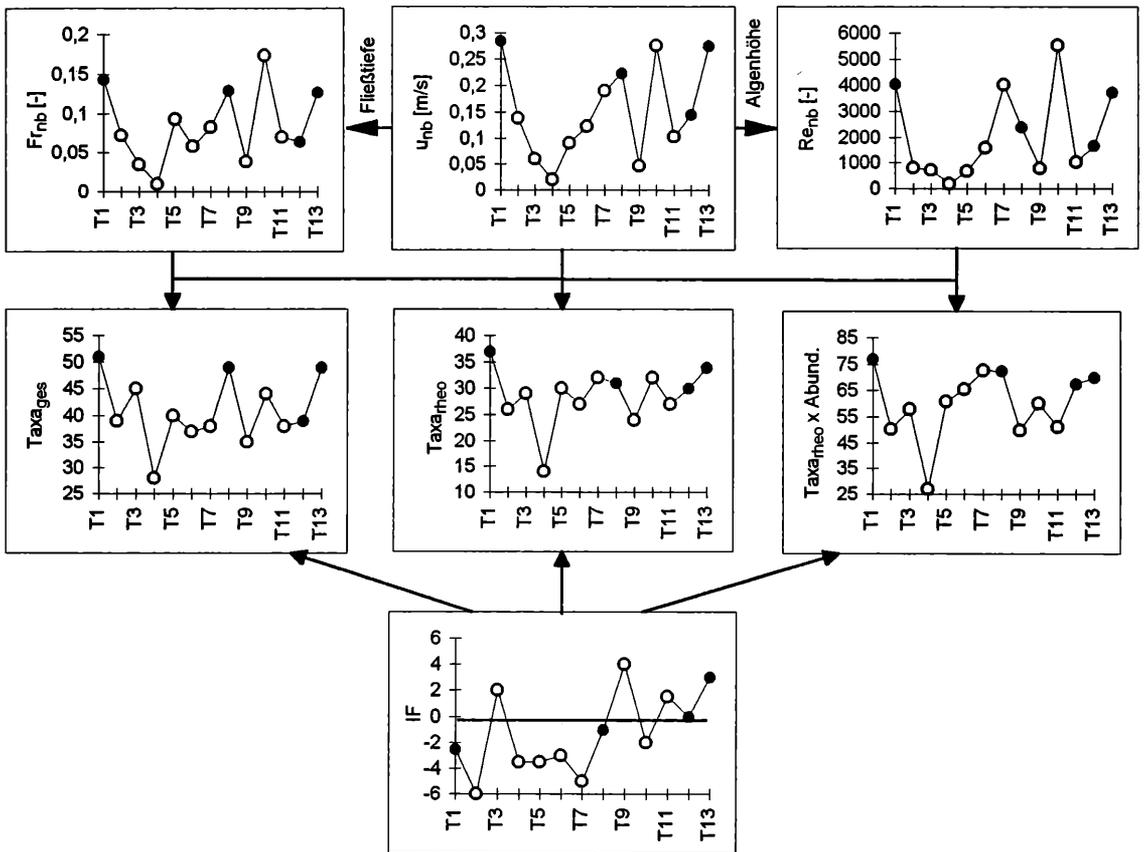


Abbildung 7

Ergebnisse der Untersuchungen an der Traun, angetragen im Flußverlauf für die 13 Transekte T1 bis T13. Die Pfeile drücken die gegenseitige Beeinflussung der Parameter aus.

- a) sohlennahe Froudezahl Fr_{nb} ; b) mittlere sohlennahe Fließgeschwindigkeit u_{nb} ; c) sohlennahe Reynoldszahl Re_{nb} mit der Algenhöhe h_{A50} ; d) Gesamt-Taxazahl; e) Zahl der rheophilen (= strömungsliebenden) Taxa; f) Produkt aus der Zahl der rheophilen Taxa und ihrer durchschnittlichen Abundanz (= relative Häufigkeit); g) effektive Einstrahlung EI.
 ●: Referenzstrecken; ○: Ausleitungsstrecken.

ab einem bestimmten Ausmaß der Sonneneinstrahlung zu rechnen. In dem in Kap. 3.2 vorgestellten MEFI-Modell wird von einer negativen Auswirkung ausgegangen, wenn die effektive Einstrahlung den Wert 6 übersteigt. Daraus leitet sich der Einstrahlungsfaktor IF (engl.: irradiation factor) folgendermaßen ab:

Einstrahlungsfaktor IF :

$$\text{für } \overline{EI} \leq 6 \text{ gilt } IF = 0$$

$$\text{für } \overline{EI} > 6 \text{ gilt } IF = \overline{EI} - 6$$

Die Spannweite von IF reicht demnach von 0 (= sehr starke bis mäßige Beschattung) bis 6 (sehr starke Sonneneinstrahlung).

3. Ergebnisse

Die Ergebnisse werden am Beispiel von 5 Kraftwerksstandorten gezeigt, die hintereinander am Mittellauf der Traun (Oberbayern) liegen (Abb. 6). Die im Sommer 1994 durchgeführten Untersuchungen schließen vier Ausleitungsstrecken (A-B, C-D, D-E, F-G) und vier Querschnitte von Referenzstrecken (T1, T8, T12, T13) ein. Insgesamt wurden

an diesem Gewässerabschnitt 13 Querschnitte (T1 - T13) bearbeitet.

3.1 Zusammenhänge zwischen der Artenvielfalt und den hydraulisch/morphologischen Parametern

In Abb. 7 werden einige Auswertungen des untersuchten Abschnitts der Traun im Flußverlauf gezeigt. Die mittlere sohlnahe Fließgeschwindigkeit u_{nb} (Abb. 7b) geht mit der Fließtiefe in die sohlnahe Froudezahl Fr_{nb} (Abb. 7a) ein, mit der Sohlrauheit in die sohlnahe Reynoldszahl Re_{nb} (Abb. 7c).

Die Zahl der ermittelten Gesamt-Taxa (nur Makrozoobenthos) der jeweiligen Meßquerschnitte ist in Abb. 7d aufgetragen. In Abb. 7e wurden nur die rheophilen (= strömungsliebenden) Organismen gezählt, Abb. 7f zeigt das Produkt der Anzahl der rheophilen Taxa mit ihrer durchschnittlichen Abundanz (= relative Häufigkeit, von 0 = fehlend bis 7 = massenhaft).

Mit wenigen Ausnahmen ist eine gute Übereinstimmung der Kurvenverläufe der hydraulisch/morphologischen Parameter mit der jeweiligen Artenvielfalt (Taxazahl) festzustellen (Die Korrelation von $Taxa_{theo}$ mit Re_{nb} wird in Abb. 9 gezeigt). Ein zu geringer Abfluß, der sich in niedrigen Fließgeschwindigkeiten, Froudezahlen und Reynoldszahlen widerspiegelt, bedeutet eine Verringerung der Artenvielfalt. Dies ist folgendermaßen zu erklären: In Bereichen von Ausleitungsstrecken mit extrem niedrigen Abflüssen kann sich aufgrund der daraus resultierenden großen Abflußschwankungen zwischen Niedrigwasser und Hochwasserereignissen keine stabile Lebensgemeinschaft einstellen. Sowohl strömungsliebende, als auch strömungsmeidende Organismen können sich in derartigen Flußabschnitten nicht dauerhaft ansiedeln.

Eine auffallend hohe sohlnahe Fließgeschwindigkeit weist T10 auf, ein Querschnitt in der Aus-

leitungsstrecke F-G, wo sich der Abfluß aufgrund eines hohen Sohlgefälles auf ein relativ schmales Bett konzentriert. Die dort gemessenen sohlnahen Strömungsverhältnisse übertreffen sogar jene der Referenzstrecke T8. Dies schlägt sich deutlich in einer relativ hohen Artenvielfalt nieder.

Mit der in Abb. 7g angetragenen effektive Einstrahlung EI lassen sich einige Diskrepanzen bezüglich der Beziehungen zwischen Taxazahlen (Abb. 7d-f) und der hydraulisch/morphologischen Parameter (Abb. 7a-c) erklären. So übt z.B. die starke Beschattung bei T3 und T9 offensichtlich einen positiven Einfluß auf die Artenvielfalt aus.

3.2 Das MEFI-Modell zur Bestimmung eines ökologisch begründeten Mindestabflusses

Um die ökologischen Auswirkungen eines verringerten Abflusses in Ausleitungsstrecken quantifizieren zu können, müssen aus der Vielzahl der einschlägigen Parameter (s. Abb. 2) jene ausgewählt werden, die bei einer Abflußminderung die Lebensgemeinschaft am stärksten beeinflussen. AMBÜHL (1959) weist als einer der ersten auf die herausragende Bedeutung der sohlnahen Strömungsverhältnisse für die Benthosorganismen hin. Als weitere wichtige Parameter erwiesen sich im Laufe der Untersuchungen die Beschaffenheit der Gewässersohle (Sohlrauheit) und die Sonneneinstrahlung. In jedem dieser drei Parameter sind indirekt zusätzliche Einflüsse enthalten (Tab. 1).

3.2.1 Ermittlung des Mindestabflusses

Aus den Gesetzmäßigkeiten zwischen hydraulischen, morphologischen und biologischen Parametern wurde das MEFI-Modell (Munic ecological flow investigation) zur Bestimmung des erforderlichen Mindestabflusses entwickelt. Für dieses Modell müssen folgende Meßdaten am Kraftwerksstandort aufgenommen werden: sohlnahe Fließgeschwindigkeiten und Sohlrauheit an cha-

Tabelle 1

Die drei wichtigsten Parameter zur Charakterisierung der ökologischen Situation in einer Ausleitungsstrecke mit verringertem Abfluß und den damit gleichzeitig miterfaßten zusätzlichen Einflußgrößen.

| Gemessener Parameter | Teilweise miterfaßte Parameter |
|---------------------------------|--|
| Sohlnahe Fließgeschwindigkeiten | <ul style="list-style-type: none"> - Abfluß - Gefälle - Morphologie des Flußbetts - Sohlsubstrat - Korngrößenverteilung (Sohlrauheit) - Nahrungsangebot - Turbulenz |
| Sohlrauheit | <ul style="list-style-type: none"> - Gefälle - Größe der sohlnahen Turbulenzen - sohlnahe Fließgeschwindigkeiten - Habitatsangebot |
| Ausmaß der Sonneneinstrahlung | <ul style="list-style-type: none"> - Ufervegetation - Nahrungsangebot - Wassertemperatur - Algenwachstum - Wasserchemie (z. B. Sauerstoffgehalt, pH-Wert) |

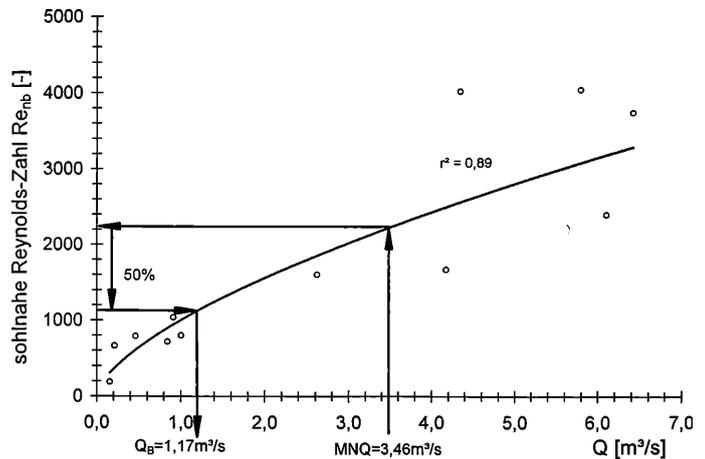
Tabelle 2

Die nach dem MEFI-Modell ermittelten Mindestabflüsse für die vier Kraftwerksstandorte I - IV mit den hydrologischen Kenndaten und der jeweiligen Erzeugungsminderung an elektrischer Energie gegenüber einer Restwasserabgabe von 0.

| Standort | MQ [m ³ /s] | MNQ [m ³ /s] | Q _{res} [m ³ /s] | Erzeugungsminderung [%] |
|----------|---------------------------|----------------------------|---|----------------------------|
| I | 11,18 | 3,46 | 1,43 | 11,5 |
| II | 11,35 | 3,50 | 1,83 | 3,2 |
| III | 11,35 | 3,50 | 1,66 | 3,3 |
| IV | 11,87 | 3,63 | 1,23 | 7,3 |

Abbildung 8

Die Ermittlung des Basisabflusses Q_B aus der Beziehung der sohnahen Reynoldszahl Re_{nb} gegen den Abfluß am Beispiel des Kraftwerkstandorts I an der Traun.



rakteristischen Flußquerschnitten bei unterschiedlichen Abflüssen sowie das Ausmaß der Sonneneinstrahlung. Der große Vorteil des Modells liegt darin, daß bereits vor der Errichtung eines Kraftwerks der erforderliche Mindestabfluß ermittelt werden kann.

Das Modell wird im folgenden anhand des Kraftwerksbereichs I der Traun (s. Abb. 6) vorgestellt.

In Abb. 8 ist für den betreffenden Flußabschnitt Re_{nb} gegen den Abfluß aufgetragen. Bei einem Abfluß von MNQ nimmt Re_{nb} den Wert 2213 an. Der Abfluß bei einem bestimmten Prozentsatz von Re_{nb} , hier empirisch auf 50 % festgelegt (ergibt $Re_{nb} = 1107$), wird als unbedingt erforderlicher Basisabfluß Q_B für die Ausleitungsstrecke angesehen (hier: 1,17 m³/s). Dieser Basisabfluß kann sich noch um einen von der Sonneneinstrahlung abhängigen Betrag erhöhen. Dies ist der Fall, wenn der Einstrahlungsfaktor IF einer Ausleitungsstrecke einen Wert > 0 annimmt.

Der gesamte Restabfluß Q_{res} errechnet sich nach den MEFI-Modell folgendermaßen:

$$Q_{res} = Q_B + \frac{Q_B \times IF}{10}$$

Wenn $IF = 0$ (bei $\overline{EI} \leq 6$), dann gilt $Q_{res} = Q_B$.

Im gezeigten Beispiel des Kraftwerks I wurde für der Wert 8,23 ermittelt, woraus für IF der Wert 2,23 resultiert. Aus der oben beschriebenen Formel ergibt sich daraus ein Q_{res} von 1,43 m³/s.

In vielen Fällen werden beim MEFI-Modell auch die Bedürfnisse der Fischfauna abgedeckt. Sollte sich in Einzelfällen herausstellen, daß essentielle Anforderungen der Fische (z.B. Fließtiefen, Habitate wie Unterstände und Laichplätze) mit dem ermittelten Abfluß nicht erfüllt werden, muß die Situation durch eine entsprechende Erhöhung des Restwasserabflusses oder durch Gestaltungsmaßnahmen (s. Kap. 3.3) verbessert werden.

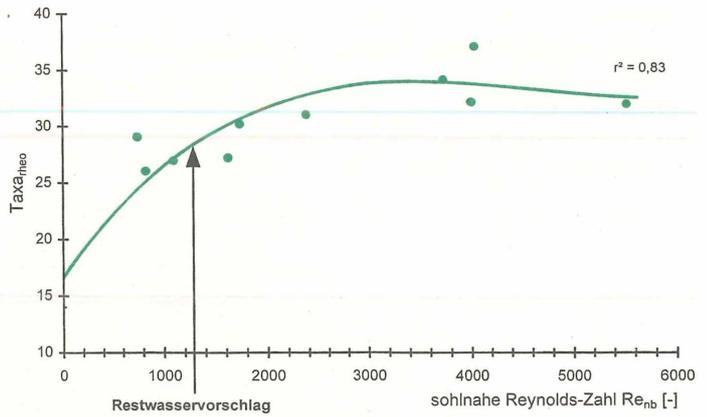
Darüber hinaus müssen Besonderheiten von Ausleitungsstrecken berücksichtigt werden, so z.B. der Zufluß von Grundwasser oder Seitengerinnen. Dies könnte den über das Wehr abzugebenden Mindestabfluß u.U. deutlich verringern.

In Tab. 2 werden die mit dem MEFI-Modell ermittelten Mindestabflüsse für die vier Kraftwerksstandorte I - IV mit den Hauptwerten der Flußabschnitte und den jeweiligen Energieverlusten gegenübergestellt. Für das Kraftwerk III sind diese Daten nur von theoretischer Bedeutung, da in dieser Ausleitungsstrecke ohnehin das rückgeleitete Triebwasser von Kraftwerk II fließt. Wie der Abb. 7c zu entnehmen ist, wird bei den derzeitigen Restwasserabflüssen nur in dieser Ausleitungsstrecke der ökologisch erforderliche Re_{nb} -Wert von mindestens 1100 an beiden untersuchten Querschnitten überschritten.

Mit dem MEFI-Modell konnten bereits für zahlreiche Kraftwerksstandorte an verschiedenen Flüssen standortgerechte und ökologisch fundierte Mindestabflüsse ermittelt werden, deren Höhe als realistisch angesehen werden kann. Für jeden zu beur-

Abbildung 9

Die Auswirkungen des für die Ausleitungsstrecke von Kraftwerk I ermittelten Mindestabflusses durch die entsprechende sohnnahe Reynoldszahl Re_{nb} . Man erkennt, daß die Artenvielfalt der strömungsliebenden Benthosorganismen ($Taxa_{rheo}$) nur gering beeinträchtigt wird. Vergleichbare Aussagen liefern die ermittelten Mindestabflüsse der Kraftwerke II - IV.



teilenden Kraftwerkstandort muß dabei eine Re_{nb} /Abfluß-Kurve erstellt werden. Der Verlauf dieser für jedes Kraftwerk individuellen Kurve prägt den ermittelten Basisabfluß Q_B weitaus mehr als der Wert MNQ, der als gewässerspezifische Maßzahl zur Anwendung kommt.

3.2.2 Biologische Relevanz des Modells

Anhand der erhobenen biologischen Daten können die im vorhergehenden Kapitel mit dem MEFI-Modell ermittelten Mindestabflüsse auf ihre ökologische Effizienz hin überprüft werden.

Aus Abb. 8 lassen sich die den errechneten Mindestabflüssen zugehörigen Werte von Re_{nb} entnehmen. Diese Werte, eingesetzt in die Kurve von Abb. 9 der rheophilen Taxa ($Taxa_{rheo}$), zeigen, daß bei keiner der vier Ausleitungsstrecken eine drastische Reduzierung der Artenvielfalt zu erwarten ist. Eine weitere Steigerung der ökologischen Wirksamkeit würde eine unverhältnismäßige Erhöhung des Mindestabflusses nach sich ziehen.

3.3 Weitere Maßnahmen in Kraftwerksbereichen zur Verbesserung der ökologischen Situation

Je nach Morphologie und Struktur einer Ausleitungsstrecke können Gestaltungsmaßnahmen dazu beitragen, bei einem relativ geringen Mindestabfluß für die Gewässerorganismen Lebensverhältnisse zu schaffen, die ansonsten erst bei höheren Abflüssen erreichbar wären. Derartige Maßnahmen, z.B. zur Erhöhung der sohnnahe Reynoldszahl, sind u.a. der Rückbau eines Absturzes in eine rauhe Rampe, der Einbau von Buhnen oder Störsteinen sowie eine aufgelockerte Gestaltung der Uferlinie (HEILMAIR 1997). Das Pflanzen von schattenspendenden Bäumen verringert eine eventuelle Belastung der Strecke durch eine übermäßige Sonneneinstrahlung. Bei einer annähernd naturnahen Gestaltung des Triebwasserkanals ist es möglich, daß dieser, besonders bei den hier untersuchten Kleinkraftwerken, ganz oder teilweise ein Ersatzbiotop für die Ausleitungsstrecke darstellen kann (HEILMAIR & MAILE 1994). Alle diese Maßnahmen sollten jedoch nur in naturnaher und standortgerechter Bauweise ausgeführt werden.

4- Schlußfolgerung

Das MEFI-Modell stellt eine Möglichkeit dar, den ökologisch begründeten Mindestabfluß bei Auslei-

tungskraftwerken auf der Basis aussagekräftiger und leicht zu erfassender hydraulisch/morphologischer Parameter zu definieren. Die Wirksamkeit des Modells ist durch die Anwendung an verschiedenen Gewässern bestätigt worden. Die Untersuchungen beschränkten sich jedoch auf Kraftwerke bis zu einer Ausbauleistung von 500 kW an Ober- und Mittelläufen von Gebirgsflüssen. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf weitere Flußtypen und größere Kraftwerke muß noch überprüft werden.

5. Literatur

- AMBÜHL, H. (1959): Bedeutung der Strömung als ökologischer Faktor. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie 21.
- HEILMAIR, T. & STROBL, T. (1994): Erfassung der sohnnahe Strömungen in Ausleitungsstrecken mit FST-Halbkugeln und Micro-Flowmeter – ein Vergleich der Methoden. Berichte der Versuchsanstalt Obernach und des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München. Heft 75.
- HEILMAIR, T. & MAILE, W. (1994): Neue Ansätze zur Festlegung der Mindestwasserführung in Ausleitungsstrecken. VDI-Berichte 1127. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.
- HEILMAIR, T. und STROBL, Th. (1995): Restwasserbemessung in Ausleitungsstrecken – FST-Halbkugeln und Mikro-Flügel. Wasserwirtschaft, Jg. 85, Heft 5, S. 240 - 243.
- HEILMAIR, T. (1997): Hydraulische und morphologische Kriterien bei der Beurteilung von Mindestabflüssen unter besonderer Berücksichtigung der sohnnahe Strömungsverhältnisse. Berichte der Versuchsanstalt Obernach und des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München. Heft 79.
- MOOG, O., JUNGWIRTH, M., MUHAR, S. & SCHONBAUER, B. (1993): Berücksichtigung ökologischer Gesichtspunkte bei der Wasserkraftnutzung durch Ausleitungskraftwerke. Oesterr. Wasserwirtschaft 45, S.197-210.
- SCHUBERT, R. (1984): Lehrbuch der Ökologie. VEB Gustav Fischer Verlag. Jena.
- STROBL, Th., MAILE, W. und HEILMAIR, Th. (1994): The problem of minimum flow in diversion-type hydropower plants. ESHA info No 14 Winter 1994-1995. S. 31 - 33. Verlag CIRSA Valentin Beato 11, Madrid.
- TONNE, F. (1954): Das Horizontoskop. Institut für Tageslichttechnik Stuttgart.

Danksagung

Die Arbeiten für das Forschungsprojekt „Restwasser“ wurden gefördert durch das Bundesministerium für Bildung, Forschung und Technologie, den Bezirk Oberbayern und durch Energieversorgungsunternehmen und Wasserkraftsverbände. Freundliche Unterstützung erhielten wir von Prof. G.A. Manley und PD. F.P. Fischer (Zoologisches Institut der TU München).

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr.-Ing. Th. Strobl und Dipl.-Biol. W. Maile,
Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische
Universität München, 80290 München

Dr.-Ing. Th. Heilmair,
Bartmuss Bau GmbH, Abteilung Wasserbau und
Wasserwirtschaft,
Einhornallee 33, 81377 München

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: [4_1997](#)

Autor(en)/Author(s): Strobl Theodor, Maile W., Heilmair Thomas

Artikel/Article: [Wasserkraftnutzung und Mindestwasserregelung 25-33](#)