

Die Problematik des Restwassers

Klaus JORDE

1. Einführung

Bei der Betrachtung der Restwasserproblematik spielen eine Vielzahl von Faktoren eine Rolle. Um verstehen zu können, in welcher vielseitiger Art und Weise sich die Entnahme eines Teiles des natürlichen Abflusses auf das betroffene Fließgewässer auswirken kann, ist es hilfreich, sich einige der ökologischen Konzepte zu vergegenwärtigen, welche die Funktionsweise von Fließgewässern zu erklären versuchen. Dazu gehören beispielsweise das River Continuum Concept von VANNOTE et al. (1980), welches die kontinuierlichen ökologischen Veränderungen entlang eines Flusslaufs modellhaft beschreibt, das Patch Dynamics Concept nach TOWNSEND (1989), welches die Bedeutung der zeitlichen und räumlichen Heterogenität von Lebensräumen beinhaltet, sowie das Verständnis der Organisationsstruktur von Fließgewässern nach FRISELL et al. (1986), welches die hierarchisch gegliederte Beeinflussung übergeordneter Habitats, z.B. des Einzugsgebiets und des Hochwasserbetts, auf nachgeordnete Habitats, wie einzelne Flussabschnitte, und schließlich lokale Habitats und Mikrohabitats, hervorhebt.

Nicht nur Ausleitungen vom natürlichen Abfluss, sondern alle anthropogenen Veränderungen unserer Fließgewässer während der letzten Jahrhunderte, die Begradigungen und Verbauungen, wie auch wasserbauliche Anlagen jeglicher Art greifen in vielfältiger Weise in die Fließgewässer und ihre Ökosysteme ein, welche vereinfacht formuliert nach den oben genannten Konzepten funktionieren. Die Restwasserfrage ist daher kaum aus der Gesamtsituation herausgelöst sinnvoll zu betrachten. So unterbrechen beispielsweise Querbauwerke das Kontinuum eines Fließgewässers in Fließrichtung, Längsbauwerke wie künstliche Ufer oder Deiche unterbrechen das Kontinuum in lateraler Richtung und entkoppeln damit die Ufer- und Auebereiche. Staubereiche ändern das Geschieberegime, verändern das Strömungsmuster sowie die zeitliche Dynamik. Ausbau und Geschieberückhalt bis in kleinste Zuflüsse führen zu Sohlstabilisierung und Abpflasterung und zur Unterbrechung der vertikalen Durchgängigkeit sowie einer Reduktion der naturräumlichen Habitatvielfalt. Ausleitungen schließlich verändern hydraulische Muster, führen in vielen Fällen zur Ablagerung von Feinsedimenten und zur Kolmatierung, wodurch das Interstitial nicht mehr zugänglich ist, sowie zu einer Veränderung der zeitlichen Dynamik. Restwasserproblematik tritt daher

im allgemeinen nicht allein auf, sondern ist gekoppelt mit verschiedenen anderen Faktoren, welche die Problematik verschärfen.

2. Problemstellung Restwasser

Laufwasserkraftwerke

Die Frage nach Mindestwasserregelungen stellt sich auf vielfältige Weise. Zunächst sind hier praktisch alle Ausleitungskraftwerke zu nennen, die als Laufwasserkraftwerke betrieben werden. Hier sind die Staubereiche vergleichsweise kürzer als bei Flusskraftwerken, da sie sozusagen in den Triebwerkskanal verlegt sind. Der verkürzte Staubereich bedingt jedoch eine entsprechend längere Ausleitungsstrecke, die unter dem Wasserentzug leidet. Hier taucht die Frage nach der Restwasserregelung ganz offensichtlich auf. Flusskraftwerke dagegen, bei denen Stauanlage und Turbinenhaus im allgemeinen auf einer Achse liegen, haben längere Staubereiche. Diese sind, obwohl häufig aus Sicht des Naturschutzes durchaus wertvoll, ökologisch gesehen nicht mit dem freifließenden Fluss vergleichbar. Soll in diesen Fällen das Kontinuum in Fließrichtung erhalten bleiben, so ist ein Umgehungsgerinne für den Staubereich anzulegen. Für dieses stellt sich ebenfalls die Frage nach dem erforderlichen Abfluss.

Speicherkraftwerke

Besonders drastisch ist die Restwasserproblematik bei alpinen Speicherkraftwerken. Je nach bewirtschaftbarem Speichervolumen gibt es unterhalb der Staumauer zunächst keine natürlichen Abflüsse mehr, auch die meisten Hochwässer werden komplett gespeichert. Zusätzlich wird das Wasser dann oft in andere Täler bzw. Einzugsgebiete übergeleitet und dort zentral abgearbeitet. Das Wasser wird in diesen Fällen dem Fluss, dem es entnommen wurde, überhaupt nicht mehr zurückgegeben, sondern gelangt oft erst viele Kilometer entfernt und bis 2000 Höhenmeter tiefer wieder in einen größeren Fluss. Dort ergeben sich Probleme daraus, dass häufig sauerstoffarmes Tiefenwasser turbiniert wird und außerdem der Strombedarf zu Zeiten, an denen aufgrund winterlicher Kälte die Abflüsse eigentlich sehr gering sind, am größten ist. Daher weisen Flüsse, die von winterlicher Spitzenstromerzeugung betroffen sind, ein stark verändertes Abfluss-, Temperatur- und Sauerstoffregime auf.

Zwar findet man in hochalpinen Lagen häufig kurz unterhalb der Staumauern oder Wasserfassungen wieder Wasser in den Bachläufen aus seitlichen Zuläufen und Hangwasserzutritten, jedoch ist dann das natürliche Abflussregime in seinem zeitlichen Ablauf und seinen Amplituden verändert. Dies wirkt sich insbesondere auf alpine Auen aus, die von der Dynamik der Abflüsse und Wasserstände, sowie den periodischen Umlagerungen leben. Wie derartige Flusslandschaften einmal ausgesehen haben, läßt sich heute im Alpenraum nur noch an sehr wenigen Beispielen, wie dem oberen Lech im Tiroler Außerfern oder dem oberen Tagliamento, beobachten.

Sonderfälle

Der Vollständigkeit halber seien hier auch Restwasserfragen, wie sie sich im Tiefland ergeben, erwähnt. So stellt sich beispielsweise eine Mindestwasserfrage an der Spree, aus der die riesigen stillgelegten Braunkohletagebaugruben gefüllt werden sollen, wofür die Spree aber nicht genügend Wasser führt. An mitteldeutschen Schifffahrtskanälen gibt es Umgehungsgerinne an Schleusen, die neben der Hochwasserabfuhr auch bedeutende ökologische Funktionen haben. Das Wasser, mit dem diese Umgehungsgerinne während Niedrigwasserzeiten beschickt werden, muss in manchen Fällen in die oberen Kanalhaltungen gepumpt werden.

In anderen Klimazonen tritt anstelle der streckenweisen Wasserentnahme für die Wasserkraftnutzung eine endgültige Entnahme - manchmal des gesamten Wassers großer Flüsse - für landwirtschaftliche Bewässerung mit teilweise dramatischen ökologischen Konsequenzen.

3. Auswirkungen reduzierter Abflüsse

Von kleinsten Gebirgsbächen bis hin zu großen Flüssen wie dem Inn oder der Donau sind also Gewässer jeglicher Größe und über alle Höhenstufen von der Restwasserproblematik betroffen.

In diesem Beitrag wird die Problematik des Restwassers behandelt, wie sie sich in erster Linie an den Ausleitungskraftwerken der Mittelgebirge und Vor-alpen ergibt. Zunächst werden die Auswirkungen reduzierter Abflüsse auf die betroffenen Abschnitte kurz dargestellt.

Die Auswirkungen reduzierter Abflüsse lassen sich vereinfacht in zwei Kategorien einteilen. Primär treten Änderungen der physikalischen und physiographischen Bedingungen auf, die sekundär die gewässertypischen Biozöosen in unterschiedlicher Weise beeinflussen. In Tab. 1 sind die wichtigsten dieser Auswirkungen verkürzt zusammengefasst.

Zu den direkten, physikalischen oder physiographischen Auswirkungen gehören in erster Linie starke Veränderungen des gesamten hydraulischen Musters im Freiwasserraum und an der Gewässersohle, eine Veränderung des gesamten Geschiebe- und Schwebstoffregimes sowie Veränderungen des Tem-

peraturverhaltens und des Sauerstoffregimes, sowohl in seinen täglichen Schwankungen, als auch in seinem Jahresverlauf.

Als Folge dieser Veränderungen der Lebensräume treten Veränderungen der Artengemeinschaften, sowohl der Fische, als auch der bentischen Organismen, in ihrer Zusammensetzung, Abundanz und Altersstruktur auf. Häufig kann eine Zunahme von Ubiquisten festgestellt werden, wogegen die reophilen Arten zurückgehen.

Verallgemeinerungen sind bei der Beurteilung der Auswirkungen reduzierter Abflüsse oft nicht möglich, da sich vieles nach den fallweise unterschiedlichen lokalen Gegebenheiten richtet. Am Beispiel des Geschiebe- und Schwebstoffhaushaltes soll kurz darauf eingegangen werden, wie sich die physikalischen Auswirkungen im Einzelfall unterschiedlich einstellen können. Ist der Staubereich relativ groß, so werden dort Geschiebe und Schwebstoffe zurückgehalten, es findet eine sukzessive Ablagerung statt mit immer feiner werdenden Anteilen hin zum Stauwehr. Unterhalb des Stauwehrs besteht dann ein Defizit an Geschiebe, und wenn das Transportvermögen ausreichend groß ist, tieft sich der Fluss unterhalb der Wehranlage ein. Sind im Wasser noch Schwebstoffe enthalten, so führt dies bei geringem Transportvermögen zur Kolmatierung der Sohle. Ist das Transportvermögen des Flusses gerade so, dass feinere Anteile transportiert werden, so findet dagegen eine Abpflasterung der Sohle statt, die nur noch bei größeren Hochwässern aufgebrochen wird. Bei festen Wehren und eher kleinen Stauräumen ist dagegen häufig eine völlige Verlandung des Stauräumen zu beobachten. In diesen Fällen findet dann Geschiebetrieb über die Wehranlage statt, so dass das Geschiebegleichgewicht beibehalten werden kann. In wenig verbauten Ausleitungstrecken kann auch Seitenerosion noch möglich sein, so dass das Geschiebedefizit in Folge des Stauräumen durch Seitenerosion ausgeglichen werden kann.

Die Stärke der Beeinträchtigung infolge einer Wasserentnahme hängt von verschiedenen Faktoren ab, vgl. Tab. 2. Neben der Wasserentnahme selbst beeinflussen gewässertypische Faktoren in ihrer natürlichen Ausprägung (z.B. Gebirgsbach) sowie gewässerezustandstypische Faktoren in ihrer anthropogenen Ausprägung (Grad der Verbauung) die Stärke der Beeinträchtigung. Diese Faktoren sind demzufolge auch bei der Festlegung einer ökologisch begründeten Restwasserregelung zu berücksichtigen. Bezüglich der Wasserentnahme ist festzuhalten, dass hier die Betriebsweise der Wasserkraftanlage (Laufwasser- oder Schwellbetrieb, Spitzenstromerzeugung), das Schluckvermögen der Turbinen (Wehrüberlauf bei Überschreiten) und die Bewirtschaftungsweise von Speichern eine erhebliche Rolle spielen. Diese Überlegungen müssen in Restwasserbetrachtungen mit einbezogen werden. Schließlich geht es weniger darum, welcher Abfluss für einen bestimmten Abschnitt und Zeitraum theoretisch vorgeschrieben ist, sondern wieviel aufgrund der tatsächlichen Gegebenheiten dort fließt.

Tabelle 1

Auswirkungen reduzierter Abflüsse

Physikalische und physiographische Auswirkungen	Ökologische Auswirkungen: Reduktion des Lebensraumes und qualitative Veränderung der Habitate
Reduktion des aquatischen Volumens, der benetzten Flächen und der Wassertiefen	Verschiebung der Artenzusammensetzung und Altersstruktur der Fischfauna
Abnahme der Fließgeschwindigkeiten	Veränderung der Benthosfauna
Änderung des sohnahen Strömungsmusters	Veränderung der aquatischen und semiaquatischen Flora
Feinsedimentablagerungen und Kolmatierung der Sohle oder Erosion infolge Geschieberückhalt	Tendenziell: Abnahme rheophiler Arten Zunahme von Ubiquisten
Änderung der Abflussdynamik	Aber fallweise auch:
Absenkung des Grundwasserspiegels	Erhöhte Lebensraumvielfalt innerhalb des Flussbettes
Änderung des Temperaturverhaltens	Erhöhtes Potential des Wasser-Land-Ökoton
Änderung des Sauerstoffregimes	

Tabelle 2

Einflussfaktoren auf die Stärke der Beeinträchtigung infolge einer Abflussreduktion (nach LAWA 1997)

Größe und Art der Wasserentnahme (Dauer, Periodizität)

Zusätzliche Anlage, die Durchgängigkeit beeinträchtigen (Wehre)

Gewässertypische Faktoren

- natürliche hydrologische Verhältnisse (Hochwasser/Niedrigwasser)
- Hydrogeologie (Grundwasser, Versickerungen)
- Gefälle und Sedimenttransport
- Substratverhältnisse und Morphologie
- Empfindlichkeit und Ansprüche der Lebensgemeinschaften

Gewässerzustandstypische Faktoren

- Strukturvielfalt und Ausbauzustand
- Uferstrukturierung (Gehölze, Beschattung, Verzahnung)
- tatsächliche Gefälle-, Substrat- und Transportverhältnisse
- Nutzungen des Gewässers (Organische Belastung, Wärmeeinleitung ...)

Zuflüsse, Sickerverluste

Herkömmliche Ansätze bei der Festlegung von Mindestwasserregelungen sind dazu nicht geeignet.

4. Ansätze zur Festlegung von Restwasserregelungen

Tab. 3 zeigt eine Übersicht über die derzeit gebräuchlichen Methoden zur Festlegung von Mindestwasserregelungen.

Traditionell wurden in der Vergangenheit zumeist starre Formeln eingesetzt, deren ökologische Relevanz sehr gering und in keinem Fall auf haltbaren wissenschaftlichen Untersuchungen begründet ist. Sie haben den Vorteil, sehr einfach angewendet werden zu können, so dass Lösungen vom Schreib-

tisch aus möglich sind. Beispiele hierfür sind Ansätze, welche sich auf die Größe des Einzugsgebietes oder den mittleren Niedrigwasserabfluss MNQ beziehen (DVWK 1995). Entsprechend ihrer marginalen ökologischen Relevanz werden diese Ansätze heute immer weniger angewandt.

Erste Ansätze für Kriterien mit ökologischer Relevanz finden sich in bestimmten Grenzwerten, wie beispielsweise Mindesttiefen, zur Sicherung der Passierbarkeit, oder bestimmten mittleren Fließgeschwindigkeiten, welche den Fließgewässercharakter sicherstellen sollen. Jedoch sind auch diese Ansätze unzureichend und werden der Problemstellung nicht gerecht. Eine positive Weiterentwicklung sind mehrkriterielle Ansätze, wie sie z.B. von

Tabelle 3

Methoden und Ansätze zur Festlegung von Mindestwasserregelungen

Methoden	Eingangsgrößen	Ergebnis	Ökologische Relevanz der Mindestwasserregelung
Starre Formeln	hydrographisch-statistische Kennzahlen, z.B. MNQ, einzugsgebietsabhängige Abflüsse	Mindestabfluss zumeist starr, aber auch zeitlich gestaffelt oder abflussabhängig möglich	sehr gering
Grenzwerte	flusshydraulische Kenngrößen, z.B. Wassertiefe		mäßig
Mehrkriterienansätze	Verschiedene physikalische Kenngrößen, z.B. Wassertiefen, Fließgeschwindigkeiten, Austauschzeiten, Weißwasserzonen, Geräusentwicklung, Anspringen von Seitengerinnen	Mindestabfluss, der bestimmte Zielerreichungsgrade bezüglich der Eingangsgrößen sicherstellt	vermutlich gut, jedoch bisher nicht quantifiziert
Simulationsmodelle	morphologische und hydraulische Parameter, Habitatansprüche von Organismen	ökologisch begründete Mindestwasserregelung, starr, zeitlich gestaffelt oder abflussabhängig dynamisch	aufwandsabhängig, hoch bis sehr hoch
Entscheidungsmodelle	Mindestwasserempfehlung, energiewirtschaftliche und betriebswirtschaftliche Kriterien, landschaftsästhetische Gesichtspunkte, Bereitstellung von Ersatzenergie, Schadstoffbilanzen, politische Vorgaben	multikriterielle Entscheidung, zu der u.a. die Mindestwasserregelung gehört	abhängig von Qualität der Mindestwasserempfehlung

SCHÄLCHLI (1991) für Gebirgsbäche entwickelt wurden. Zwar ist hier der Grad der ökologischen Relevanz noch nicht quantifizierbar, jedoch ist offensichtlich, dass hier ein gewisses Spektrum an für die Gewässerbiozöosen bedeutsamen Kriterien zur Beurteilung herangezogen wird.

Im Gegensatz zu den mitteleuropäischen Ländern sind in Nordamerika und Skandinavien bereits seit vielen Jahren habitatbezogene Ansätze zur Festlegung von Mindestwasserregelungen gebräuchlich. Bekannt ist vor allem die "Instream Flow Incremental Methodology" (IFIM) (BOVEE 1986), welche als Hauptbestandteil das Simulationsmodell PHABSIM beinhaltet. Hier werden habitatbezogene Größen wie die lokale Fließgeschwindigkeit, Wassertiefen und Substrate erfasst bzw. berechnet, im hydraulischen Teil eines Simulationsmodelles nachgebildet und anschließend mit den Ansprüchen bestimmter Fischarten verglichen. Die Ansprüche bzw. Präferenzen der Fische werden dabei im allgemeinen durch gezielte lokale Elektrofischungen oder Tauchbeobachtungen bezüglich der oben genannten Parameter erfasst und statistisch zu sogenannten Präferenzfunktionen ausgewertet. Die Funktionen unterscheiden sich nach Art und Entwicklungsstadium. Die Erfahrung zeigte, dass die so gefundenen Habitatpräferenzen dabei nur beschränkt auf andere Gewässer übertragbar sind. Damit können Aussagen über Größe und Qualität des verfügbaren Habitatangebotes in einem bestimmten

Gewässerabschnitt in Abhängigkeit vom Abfluss ermittelt werden (JORDE & SCHNEIDER 1998). Die Ergebnisse solcher Simulationsrechnungen dienen als Entscheidungsgrundlage für Mindestwasserregelungen.

Mit Hilfe von PHABSIM werden in Nordamerika seit Jahren gerichtsfeste Entscheidungen bezüglich der Mindestwasserregelungen aufgrund der Lebensräume für Lachse und andere Fischarten festgelegt. Die ökologische Relevanz derartiger Simulationsmodelle ist unbestritten und im Einzelfall davon abhängig, welcher Aufwand für die Untersuchungen und für die Eingabeparameter betrieben wird und welche Qualität die Modelle selbst besitzen, d.h. welche ökologisch relevanten Größen dort verarbeitet werden können.

Zusätzlich sind noch Entscheidungsmodelle zu nennen, z.B. nutzwertanalytische Ansätze oder Mehrzielplanungsverfahren, die jedoch als Eingangsgröße wiederum die Ergebnisse von ökologischen Untersuchungen benötigen. Von der Qualität dieser und der anschließenden Gewichtung ökologischer Belange innerhalb des Entscheidungsprozesses hängt die ökologische Relevanz derartiger Modelle ab.

5. Anforderungen an ein Verfahren

Der größte Mangel der einfachen Formeln zur Festlegung von Mindestwasserregelungen besteht da-

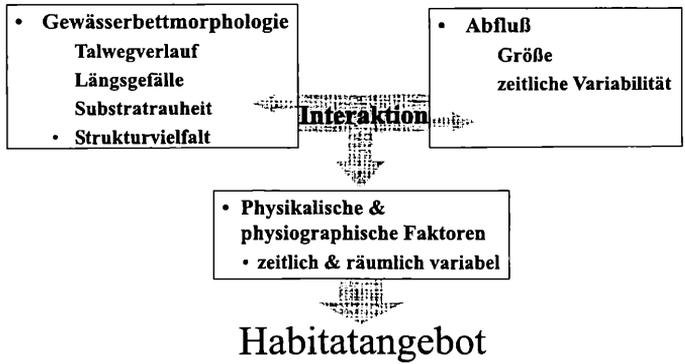


Abbildung 1
Wechselwirkung zwischen Abfluss und Morphologie

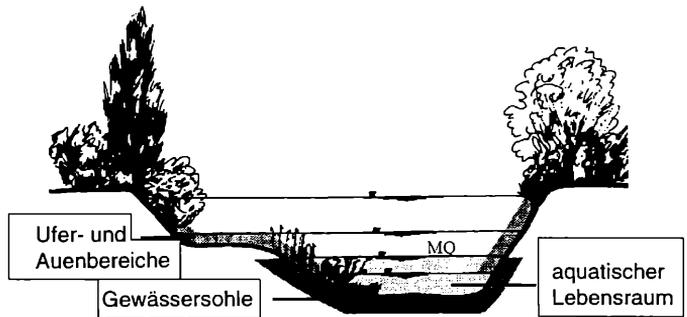


Abbildung 2
Lebensräume an Fließgewässern

rin, dass die Interaktion zwischen der Gewässermorphologie und dem Abfluss nicht berücksichtigt wird. Aus der Wechselwirkung dieser beiden Größen bzw. ihrer Einzelfaktoren ergibt sich das Habitatangebot für bestimmte Arten in seiner zeitlichen und räumlichen Verteilung (Abb. 1).

Der Lebensraum Fließgewässer gliedert sich in drei wesentliche Bereiche auf: 1. Das aquatische Volumen als Lebensraum für Fische und Wasserpflanzen. 2. Die Gewässersohle als Lebensraum für Wirbellose, z.B. Insektenlarven, Schnecken, Muscheln sowie Bodenfische. Die Uferzonen und die angrenzenden Auebereiche bilden als 3. Bereich den Übergang zwischen Wasser und Land, diese Flächen übernehmen wichtige Funktionen innerhalb der Ökosysteme von Flussstälen (Abb. 2). Alle drei Habitate sind dabei stark untereinander vernetzt und unterliegen vielfältigen Wechselwirkungen. Die Entnahme eines Teil des natürlichen Abflusses verursacht mehr oder weniger starke Veränderungen der physikalischen, chemischen und physiographischen Parameter jedes dieser drei Haupthabitate.

Wenn ökologisch begründete Mindestwasserregelungen festgelegt werden sollen, so müssen bestimmte Zielvorstellungen oder Leitbilder vorhanden sein. Diese können nach unterschiedlichen Stufen der Beeinträchtigung infolge des reduzierten Abflusses etwa entsprechend Tab. 4 definiert werden. Die jeweiligen Zielerreichungsgrade können anhand des Habitatangebots überprüft werden.

Diese Abstufungen gehen kontinuierlich ineinander über, das Ziel wird im allgemeinen zwischen Stufe 2 und 3 liegen, fallweise wird man jedoch auch die Stufen 1 fordern oder 4 akzeptieren können. Um

abschätzen zu können, welcher Bereich sich diesbezüglich einstellen wird, ist es erforderlich, zu verstehen, in welcher Weise sich eine Reduktion des Abflusses auf die Größe und Qualität der betroffenen Lebensräume auswirkt. Dabei sind die in Tab. 2 aufgelisteten Faktoren zu berücksichtigen.

Die Charakterisierung der Habitate und ihrer Wechselwirkungen ist äußerst komplex und daher nur sehr vereinfacht zu realisieren. Dabei sind hauptsächlich diejenigen Faktoren zu berücksichtigen, die für die fallspezifischen Zielarten ausschlaggebend sind. Neben den rein hydraulischen und morphologischen Faktoren spielen Gewässergütefragen, Temperatur- und Lichtverhältnisse, Geologie des Einzugsgebiets, Ufervegetation, das Nahrungsangebot, Räuber-Beute-Beziehungen, die Gesamtsituation am Gewässer (Migrationsbarrieren, Länge und Anzahl von Staubereichen, Geschiebezufuhr)

Tabelle 4
Unterschiedliche Stufen der Beeinträchtigung von Ausleitungsstrecken im Vergleich zur nicht ausgeleiteten Strecke

Stufe	Beschreibung
1	Keine Auswirkungen
2	Quantitative Veränderung der Lebensräume
3	Qualitative Veränderung der Lebensräume, Veränderung der Lebensgemeinschaften
4	Gewässer mit anderer Charakteristik, z.B. temporär trocken fallende Gewässer

und viele weitere Faktoren eine Rolle. Diese Zusammenhänge sind heute noch in weiten Bereichen nur unzureichend erfasst bzw. quantifizierbar. In einer ersten Näherung können jedoch Habitate innerhalb bestimmter Abflussschwellenwerte, um die es bei Restwasseruntersuchungen hauptsächlich geht, als Kombination physikalischer Größen aufgefasst werden. Dabei wird zunächst davon ausgegangen, dass innerhalb der untersuchten Bandbreiten die übrigen Faktoren sich durch die Abflussreduktion vergleichsweise weniger verändern, bzw. in ihrer Reaktion den physikalischen Größen folgen. Für alle drei Habitate muss neben der räumlichen Komponente die zeitliche Variabilität beachtet werden. Natürliche Fließgewässer bilden Ökosysteme in einem dynamischen Gleichgewicht, die Biozöosen sind nicht nur an das dynamische Abflussverhalten angepasst sondern aus vielerlei Gründen darauf angewiesen (TOWNSEND 1989). Ein einfaches Beispiel soll dies verdeutlichen: Die früher in vielen großen Flüssen vorkommenden Hechte benötigen zum Laichen überflutete Wiesen während der Laichperiode im Frühjahr, sie heften ihre Eier an Gräser. Die geschlüpften Jungfische folgen nach einigen Tagen dem zurückgehenden Wasser in das Flussbett. Die Voraussetzungen für die Reproduktion von Hechten sind also auf Wechselwirkungen zwischen Gewässermorphologie im erweiterten Sinn und bestimmten Wasserstands- bzw. Abflussschwankungen zurückzuführen.

Die Interaktion zwischen der Gewässerbettmorphologie mit unterschiedlichen Maßstäben und dem dynamischen Abflussgeschehen kennzeichnet also alle physikalischen Größen, welche die drei erwähnten Haupthabitate charakterisieren. Die Datenmengen, die im Rahmen einer Habitatuntersuchung oder -simulation verarbeitet werden müssen, und ihre räumlichen Beziehungen machen insbesondere bei Einbeziehung zeitlicher Komponenten den Einsatz computergestützter Simulationsmodelle erforderlich.

6. Das Simulationsmodell CASIMIR

Am Stuttgarter Institut für Wasserbau wurde vor fast zehn Jahren damit begonnen, Modelle zu entwickeln, die einerseits die Wasserkraftanlage und andererseits aber auch die ökologisch relevanten Faktoren simulieren, die sich aus der Interaktion zwischen Abfluss und Morphologie in den betroffenen Gewässerabschnitten ergeben. Aus mehreren Forschungsprojekten und einer Vielzahl angewandter Projekte ist daraus schließlich das Simulationsmodell CASIMIR entstanden, das seitdem ständig weiterentwickelt, ergänzt und verfeinert wurde. Das modular aufgebaute Simulationsmodell dient unter anderem dazu, die Auswirkungen beliebiger Mindestwasserregelungen bei Ausleitungskraftwerken auf die oben genannten Habitate zu untersuchen und optimierte Mindestwasserregelungen zu finden. CASIMIR wurde ursprünglich anhand der Daten aus der Untersuchung einer Ausleitungsstrecke am

Kocher konzipiert und entwickelt (JORDE 1997). Ziel war jedoch von Anfang an eine generelles Modell, das Eingangsdaten beliebiger Fließgewässer verarbeiten kann. Je nach Fragestellung und vorgegebenem Untersuchungsrahmen werden heute unterschiedliche Module von CASIMIR eingesetzt. Das generelle Prinzip ist in Abb. 3 dargestellt. Die Anwendung von CASIMIR ist nicht auf Mindestwasserfragestellungen beschränkt, sondern erstreckt sich über einen breiten Komplex fließgewässerökologischer Fragen, beispielsweise im Zusammenhang mit Renaturierungen, Einfluss von Verbauungen, Leitbildentwicklung, Artenschutzprojekten usw..

Durch den modularen Aufbau kann der Untersuchungsumfang an konkrete Fragestellungen angepasst werden, und die Einbeziehung unterschiedlicher Messdaten ist problemlos möglich.

Als Ergebnis liefert CASIMIR einerseits hydraulische und morphologische, ökologisch relevante Muster in Fließgewässerstrecken. Sofern Schnittstellen zur Biologie vorhanden sind, was inzwischen für viele Arten der Fall ist, können damit Prognosen des hydraulischen Habitatangebotes erstellt werden. Andererseits beinhaltet Casimir auch ein Simulationsmodell für die Wasserkraftanlage, so dass die ökologischen Ergebnisse der Leistung einer Wasserkraftanlage in Folge des natürlichen Abflussverhaltens, der technischen Ausstattung der Wasserkraftanlage und einer beliebigen Mindestwasserregelung in der Ausleitungsstrecke gegenübergestellt werden können.

Im folgenden sollen anhand einiger Fallbeispiele Anwendungsmöglichkeiten von CASIMIR aufgezeigt werden.

Sohnnaher Bereich

Für die Erfassung des Strömungsmusters der benthischen Habitate an der Gewässersohle bei einem bestimmten Abfluss eignen sich FST-Halbkugel-Messungen (STATZNER & MÜLLER 1989), die unter bestimmten Bedingungen gegen die lokalen Sohlschubspannungen geeicht werden können. Diese gemessenen Sohlschubspannungsmuster bei bestimmten Abflüssen lassen sich zu einem Modell zusammenfassen, das den von der Morphologie abhängigen Zusammenhang zwischen Abfluss und der Verteilung der Sohlschubspannungen in einem untersuchten Gewässerabschnitt beinhaltet. Diese Information mit Ganmlinien des Abflusses kombiniert führt zur räumlichen und zeitlichen Variabilität der sohnnahen Strömungskräfte (JORDE 1996).

Für benthische Organismen gehört das Muster von Strömung und Substrat an der Gewässersohle zu den Schlüsselgrößen bezüglich der Habitateignung (MUTZ 1989, SCHMEDTJE 1995). Präferenzdaten bezüglich der sohnnahen Strömung liegen für insgesamt über 200 Arten ebenfalls auf der Basis von FST-Halbkugel-Messungen vor, jedoch sind bisher nur für ca. 50 Arten Präferenzkurven gefunden, die an unterschiedliche Gewässer übertragbar

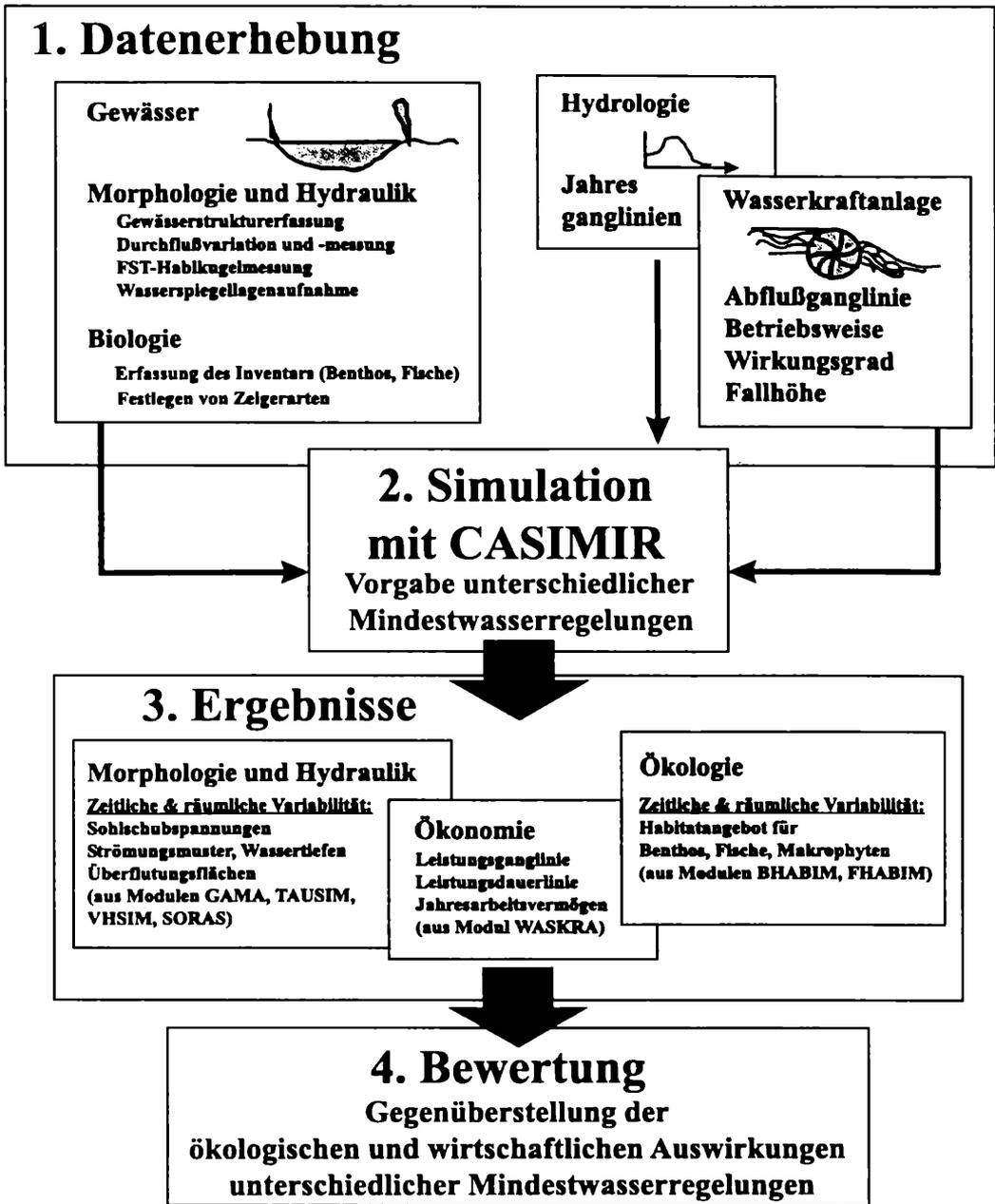


Abbildung 3

Simulationsmodell CASIMIR, prinzipieller Aufbau

zu sein scheinen (LAWA 1997). Diese Arten zeigten an verschiedenen Gewässern immer die gleichen statistisch signifikanten Strömungspräferenzen. Abb. 4 beinhaltet einige Beispiele.

Werden die zeitlichen und räumlichen Verteilungen der Sohlschubspannungen mit Präferenzen ausgewählter Organismen verknüpft, lässt sich daraus das quantitative und qualitative hydraulische Habitatangebot dieser Organismen prognostizieren (Abb. 5).

Abb. 6 zeigt ein Beispiel für das Habitatangebot einer Köcherfliegenlarve (*Psychomyia pusilla*) in 2 jeweils ca. 1000 m langen, morphologisch unterschiedlichen Versuchsstrecken innerhalb einer Ausleitungsstrecke des Kraftwerks Ohrnberg am Kocher. Für die Simulation wurde eine Mindestwasserabgabe zwischen 1,5 und 3,4 m³/s in Abhängigkeit vom

natürlichen Abfluss zugrunde gelegt. Der mittlere natürliche Abfluss beträgt dort 16 m³/s. Die Unterschiede in der Verteilung des Habitatangebots resultieren allein aus den morphologischen Unterschieden.

Als zusätzlicher Parameter wurde der HHS-Index (Hydraulic Habitat Suitability Index) eingeführt, der das Habitatangebot als Integral über Qualität und zugehörige Flächenanteile der Gewässersohle angibt. Der HHS-Index kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen, wobei 0 bedeutet, dass die gesamte Gewässersohle für die untersuchte Art nicht geeignet ist, 1 bedeutet, dass die gesamte Sohle hydraulisch optimale Bedingungen aufweist. Der Wert 1 kommt in der Natur praktisch nicht vor, er wäre theoretisch nur in einem Rechteckgerinne mit gleich-

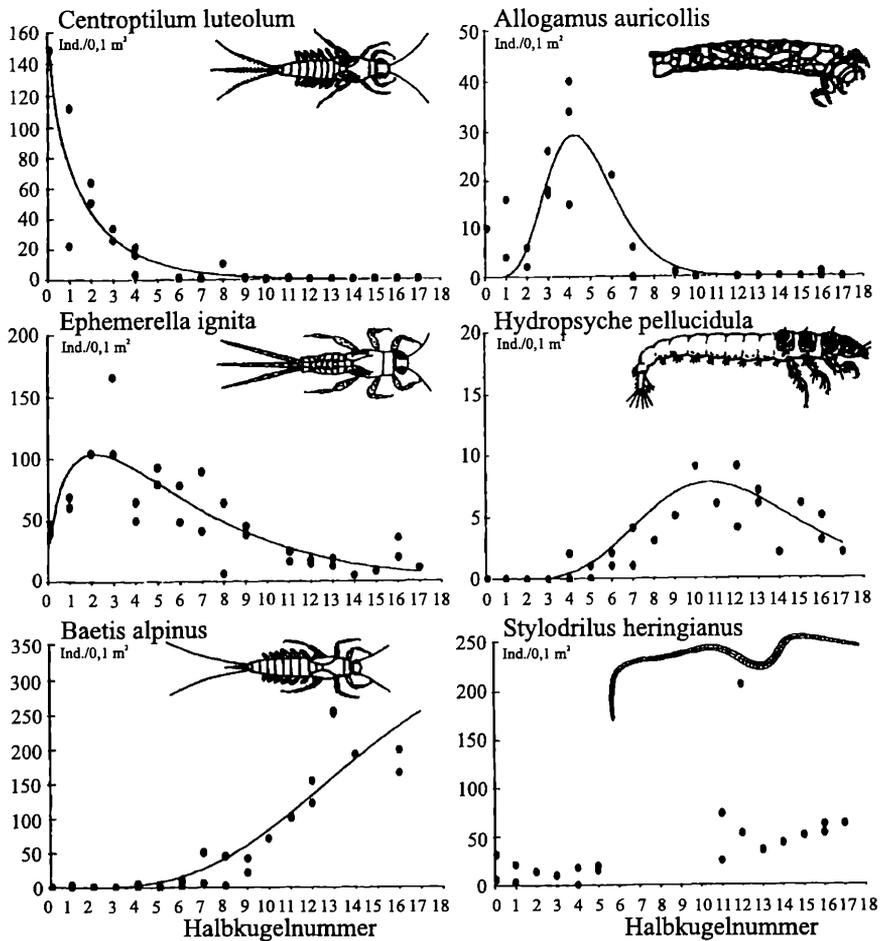


Abbildung 4

Präferenzkurven einiger benthischer Arten (verändert nach SCHMEDTJE 1996).

förmigem Abfluss erreichbar. Untersuchungen zeigten, innerhalb welcher Bereiche sich der HHS-Index bewegen kann, welchen Einfluss dabei Mindestwasserregelungen haben und welcher Spielraum bereits durch die Gewässerbettmorphologie vorgegeben ist (JORDE & BRATRICH 1998).

Abb. 7 zeigt ein Beispiel aus einer Untersuchung eines Gewässerabschnitts der Flöha im sächsischen Erzgebirge mit den Ergebnissen für insgesamt 12 benthische Arten, welche dort vorkommen. Die Abflüsse wurden für die Simulation zwischen 180 und 1700 l/s variiert, der mittlere Abfluss liegt um $6 \text{ m}^3/\text{s}$. Das Habitatangebot verändert sich bei allen Arten mit dem Abfluss, wobei die Veränderungen im Bereich kleiner Abflüsse etwas stärker sind. Ein Schwellenwert lässt sich nicht ableiten. Es müssen daher zusätzliche Kriterien für die Beurteilung herangezogen werden.

Fischhabitate

Für die Erfassung der Fischhabitate werden zunächst Gewässerquerprofile aufgenommen. Gleichzeitig werden verschiedene morphologische Parameter erfasst, die das Substrat charakterisieren, einschließlich des Kieslückengefüges bezüglich seiner Zugänglichkeit, sowie Störsteine und Uferstrukturen, welche Fischen Schutz und Unterstand bieten.

Diese Größen werden über bestimmte Indices gekennzeichnet. Anschließend werden im Computermodell die eingemessenen Querschnitte zu einem dreidimensionalen digitalen Gerinnemodell verbunden und mit Wasserspiegellagen verknüpft, die entweder aus einer eindimensionalen Berechnung stammen, oder, was in den meisten Fällen einfacher ist, anhand von Dotationsversuchen über die ganze Länge des untersuchten Gewässerabschnitts eingemessen wurden (SCHNEIDER 1997).

Als nächster Schritt erfolgt die Berechnung lokaler Fließgeschwindigkeiten aus den querschnittsgemittelten Geschwindigkeiten sowie der Gewässerbettstruktur. Damit entsteht ein Abbild der hydraulischen und morphologischen Strukturen der Gewässerstrecke bei einem bestimmten Abfluss.

Die Habitatansprüche vieler Fischarten bzw. ihrer unterschiedlichen Altersstadien, vom Dottersackbrütling bis hin zum adulten oder laichbereiten Fisch, werden in erster Linie anhand der Faktoren Wassertiefe, lokale Fließgeschwindigkeit und Substrat charakterisiert. Es hat sich gezeigt, dass das Wissen von Experten, die sich über viele Jahre mit den entsprechenden Fischarten beschäftigt haben, auch in Form von Präferenzfunktionen dargestellt werden kann. Abb. 8 zeigt die prinzipielle Vorgehensweise.

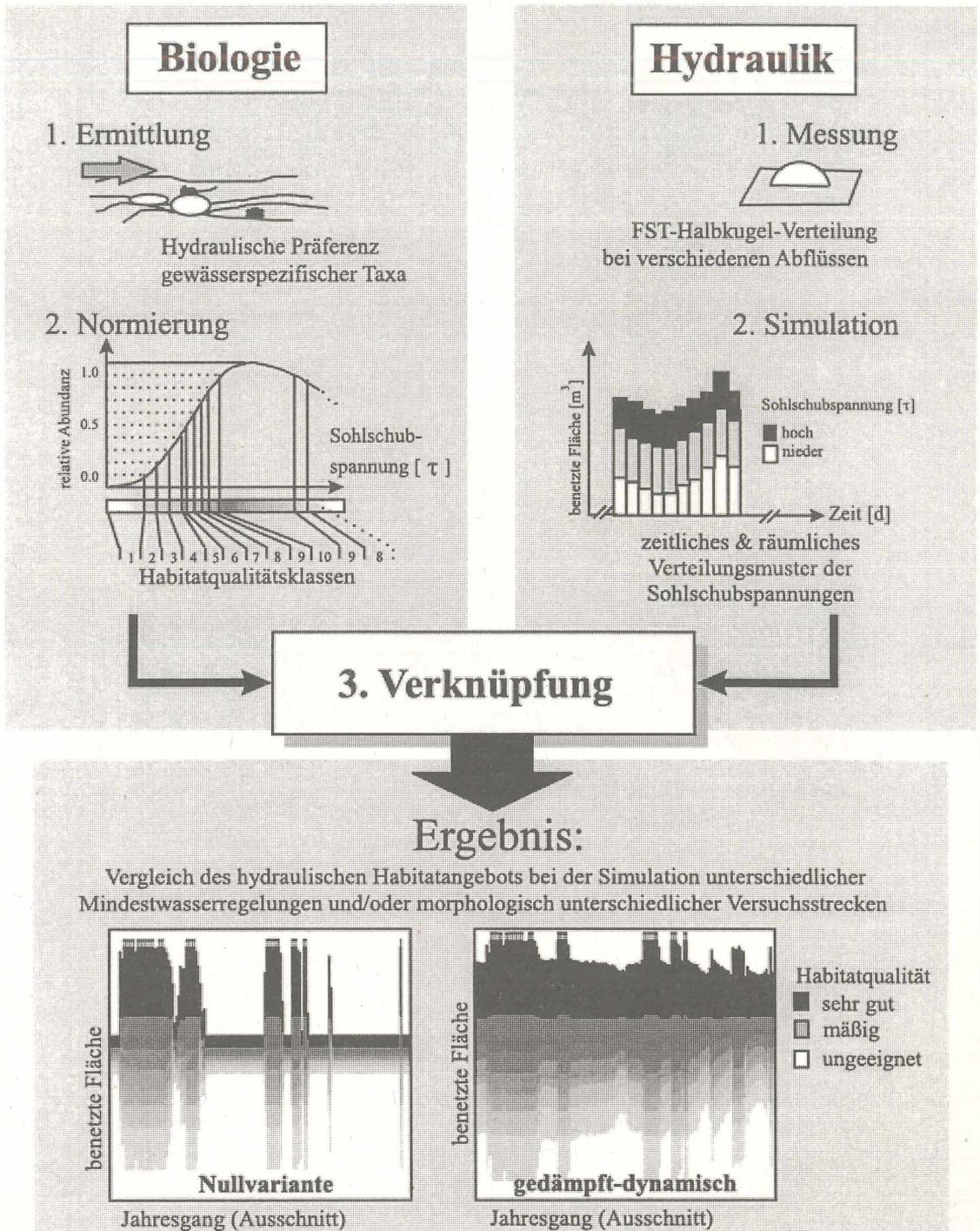


Abbildung 5

CASIMIR: Prinzipielles Vorgehen bei der Untersuchung des Habitatangebotes für benthische Organismen.

CASIMIR beinhaltet auch die Option, anstelle der unabhängigen Funktionen für die einzelnen relevanten Parameter multivariate statistische Funktionen zu benutzen, bei denen die Habitatqualität eine Funktion verschiedener Parameter ist.

Für die Beurteilung des Habitatangebotes wird jeder Rasterfläche des Gerinnemodells aufgrund ihrer hydraulisch-morphologischen Eigenschaften bei einem bestimmten Abfluss eine bestimmte Habitatqualität zwischen 0 und 1 zugewiesen. Die unter-

schiedlichen Habitatqualitäten lassen sich damit über den tatsächlich benetzten Flächen darstellen. Ein Beispiel hierfür zeigt Abb. 9.

Auch für Fischhabitate kann anstelle der räumlich zugeordneten Darstellung eine integrale Darstellung, z.B. in Form der sogenannten "Weighted Usable Area", benutzt werden. Diese bezieht sich jeweils auf einen 100 m langen Gewässerabschnitt. Die benetzten Flächen und die WUA werden dann als m^2 Fläche pro 100m Fließlänge angegeben. In

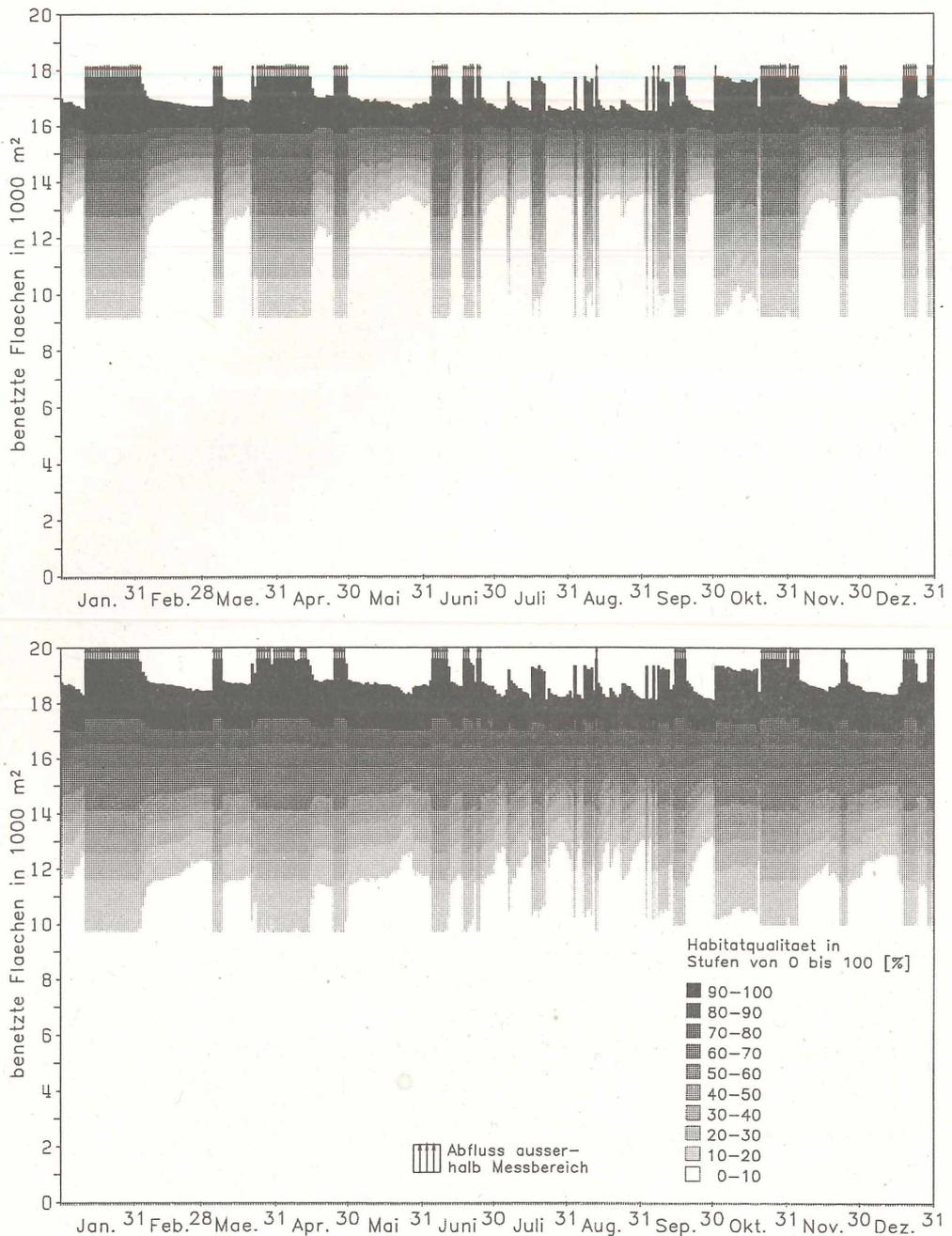


Abbildung 6

Habitatangebot für Köcherfliegenlarven *Psychomyia pusilla* in 2 Versuchsstrecken innerhalb einer Ausleitungsstrecke am Kocher.

Abb. 10 erkennt man, dass das Habitatangebot für adulte Forellen bis zum größten untersuchten Abfluss von ca. 1700l/s ansteigt, wogegen die Habitatqualität für Jungfische bei ca. 800-1000 l/s ein Maximum annimmt und anschließend wieder leicht zurückgeht.

Ufer- und Auenbereiche

Für Ufer- und Auenbereiche wird das digitale Geringmodell mit Abflussganglinien der Ausleitungsstrecke kombiniert. Daraus lassen sich Flächenanteile ableiten, die über eine bestimmte Periode hinweg überflutet sind, bzw. denen bestimmte Überflutungstiefen, eine Überflutungsdauer, Wie-

derkehrintervalle und saisonale Faktoren zugewiesen werden können. Diese Faktoren wiederum gehören zu den ökologisch relevanten Faktoren, wie sie bestimmte Vegetationsgesellschaften der Flussauen bevorzugen. Ein Beispiel hierfür zeigt Abb. 11., in der tolerierte Wasserstandsschwankungen für verschiedene Pflanzengesellschaften der Flussau dargestellt sind. In diesem Bereich sind jedoch weitere Forschungsarbeiten erforderlich, da eine Verbindung zwischen dem Wasserstand im Fluss selbst und dem Grundwasser hergestellt werden muss.

Weiterhin sind kapillare Wasserstände in der ungesättigten Bodenzone in Folge der Korngrößenver-

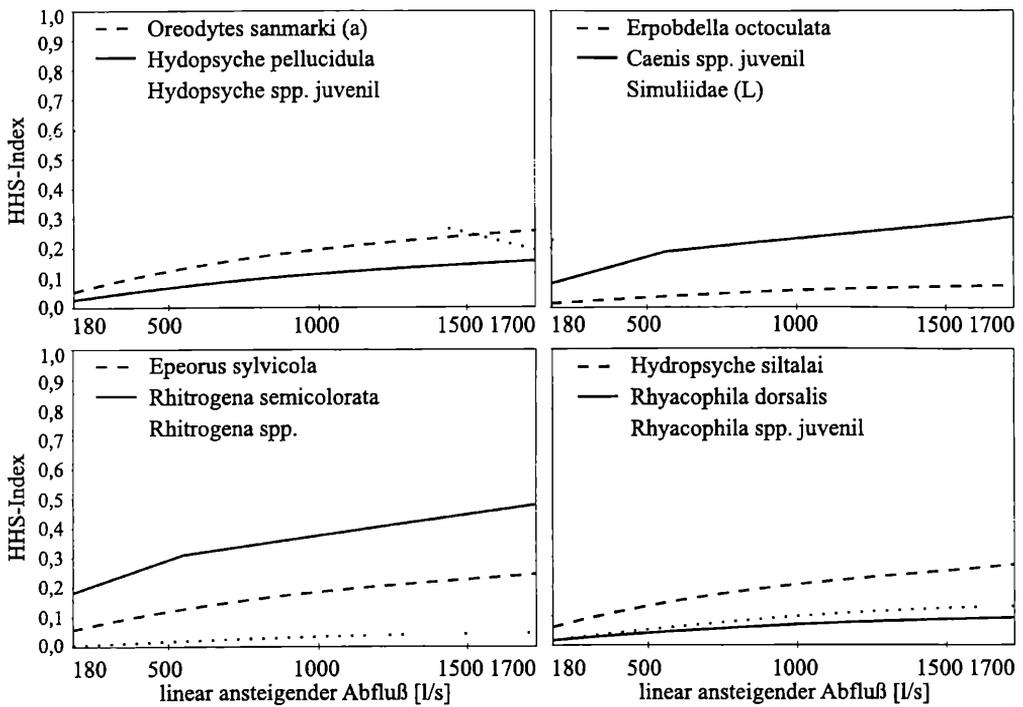


Abbildung 7

HHS-Indizes von zwölf benthischen Arten in einer Ausleitungsstrecke an der Flöha im Erzgebirge.

teilung der Böden sowie insbesondere die Dynamik von Anlandung und Abtrag auf gewässerbegleitenden Flächen bedeutsam. Untersuchungen von HAINARD et al. (1987) machten deutlich, dass der Erhalt und Schutz alpiner Flussauen, insbesondere während natürlicher Hochwasserphasen (die aber oft in den Speichern zurückgehalten werden), sehr große Abflüsse in den Ausleitungsstrecken erfordert.

7. Wertung der Simulationsergebnisse

Mit Hilfe von Casimir können somit verschiedene Simulationen durchgeführt werden, deren Ergebnisse in der Folge für eine Festlegung einer ökologisch begründeten Mindestwasserregelung herangezogen werden können. Simulationsmodelle wie CASIMIR liefern nicht ein bestimmtes Ergebnis in Form eines Mindestabflusses oder einer Mindestwasserregelung sondern sie zeigen, wie sich in einer untersuchten Gewässerstrecke die Qualität und Ausdehnung der Lebensräume für unterschiedliche Organismen verändern. Dabei ist offensichtlich, dass eine Verbesserung des Habitatangebotes für eine Art immer gleichzeitig eine Verschlechterung für eine andere Art bedeutet. Es wird also, je nach Zusammensetzung der untersuchten Arten, unterschiedliche Ergebnisse geben. Sehr deutlich wird durch die Untersuchungen zumeist klar, wo die Grenzen einer möglichen Verbesserung der ökologischen Situation durch eine Mindestwasserregelung liegen bzw. welchen limitierenden oder positiven Einfluss die Gewässerbettmorphologie ausübt. Für die Bewertung kommen unterschiedliche An-

sätze in Frage, wobei jetzt die oben genannten Zielvorstellungen z.B. in Form eines Leitbildes definiert sein müssen. Die Bewertungsansätze sind in Tab. 5 zusammengefasst.

Beim hydraulisch-morphologischen Ansatz kann auf Schnittstellen zur Biologie verzichtet werden. Dies ist insbesondere dann sinnvoll, wenn aus Kostengründen keine Präferenzfunktionen erhoben werden können, bzw. für das entsprechende Gewässer keine Präferenzfunktionen der dort lebenden Arten vorhanden sind. Die Bewertung basiert dann darauf, dass eine Mindestwasserregelung so festgelegt wird, dass eine bestimmte Strömungsvielfalt erreicht wird. Diese orientiert sich entweder an einer Referenzstrecke oder aber an einem Abfluss, ab dem sich bei weiterer Steigerung das Spektrum an sohnahen Strömungskräften oder lokalen Fließgeschwindigkeiten nicht mehr wesentlich verändert. Der gewässerspezifische Ansatz beinhaltet, dass Habitatsimulationen für verschiedene Arten durchgeführt werden, welche sich in einer unbeeinflussten Referenzstrecke gefunden haben, bzw. die potentiell in der untersuchten Gewässerstrecke vorkommen müssten, wenn dort ein genügend hoher Abfluss vorhanden wäre. Der biozönotische Ansatz basiert darauf, dass das Habitatangebot für bestimmte Zeigerarten oder beispielsweise den größten vorkommenden Räuber untersucht und durch eine entsprechende Mindestwasserregelung sichergestellt wird. Schließlich wurde noch ein artspezifischer Ansatz vorgeschlagen, der insbesondere auf dem Schutz gefährdeter Tier- oder Pflanzenarten bzw. deren Lebensräume basiert, so dass hier gezielt beispielsweise Arten, die auf der Roten Liste stehen

Tabelle 5

Bewertungskriterien zur Festlegung von Mindestwasserregelungen anhand der Ergebnisse von Habitatmodellen (nach LAWA 1997).

Hydraulisch-morphologischer Ansatz

Erhalt der Habitat- und Strömungsvielfalt entsprechend den natürlichen Gegebenheiten als Lebensraum für eine standorttypische Flora und Fauna

Gewässerspezifischer Ansatz

Ähnlichkeit der Ausleitungsstrecke mit einer unbeeinflussten Referenzstrecke bezüglich der Zusammensetzung der Strömungspräferentypen bzw. der Ernährungstypen oder der biozönotischen Region

Biozönotischer Ansatz

Erhalt von Arten, die eine Lebensgemeinschaft prägen und ihre ökologische Funktion sichern

Artspezifischer Ansatz

Schutz gefährdeter Tier- und Pflanzenarten und deren Lebensräume

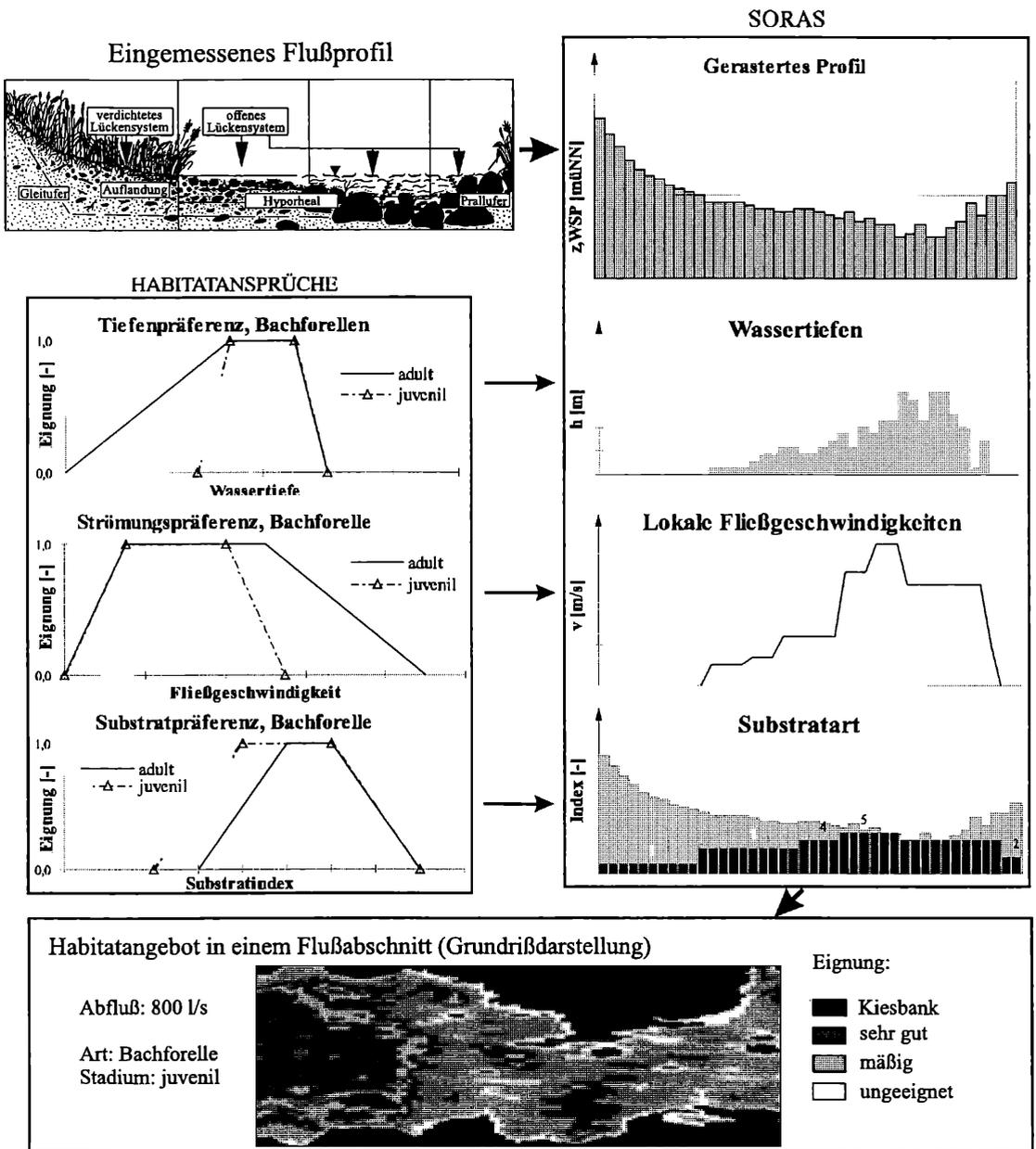


Abbildung 8

CASIMIR: Prinzipielle Vorgehensweise bei der Habitatuntersuchung für Fische.

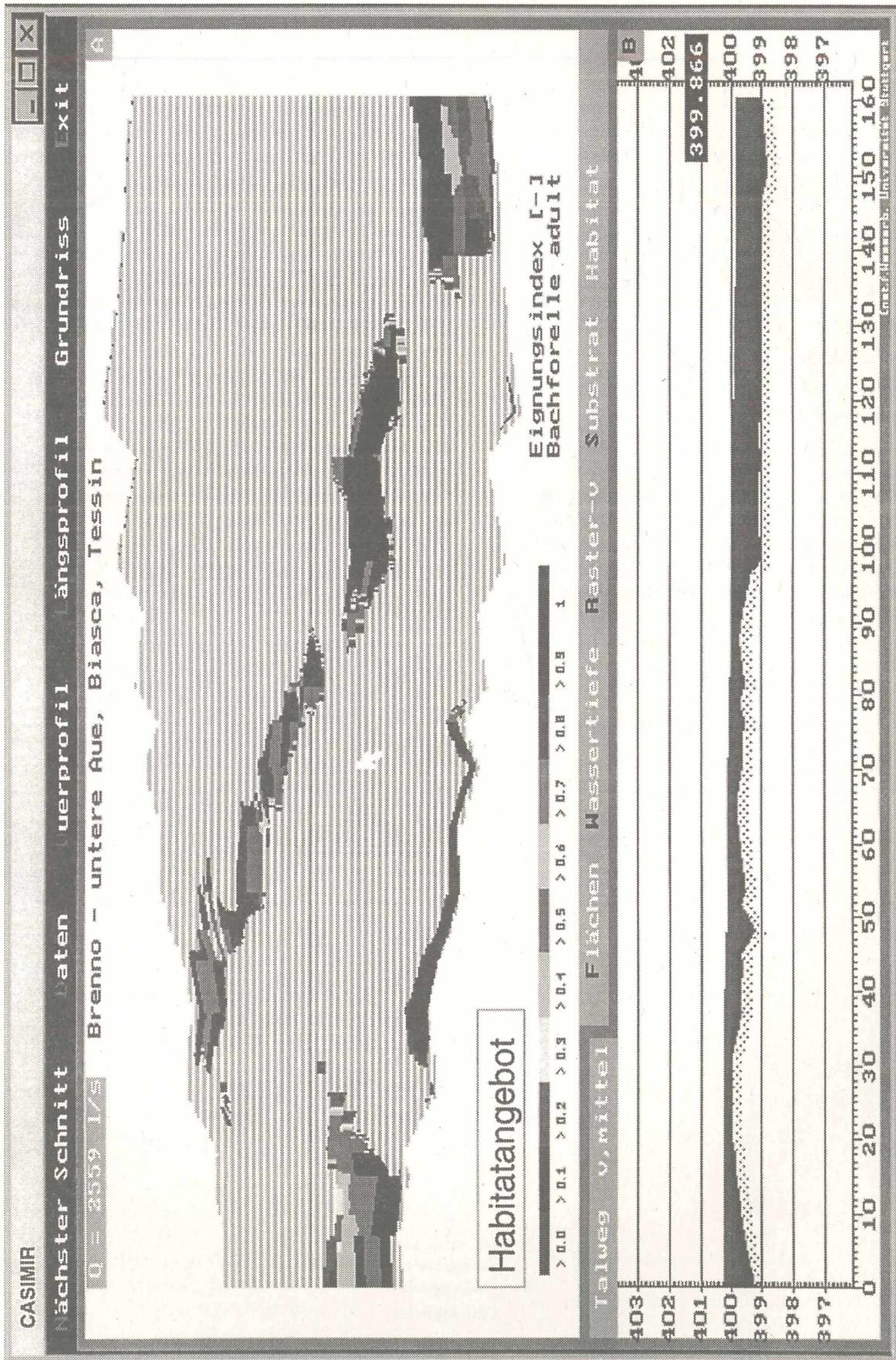


Abbildung 1

Habitatqualität für adulte Bachforellen in einem ca. 100 m langen Abschnitt des Brenno im Tessin bei einem Abfluss von ca. 2500 l/s.

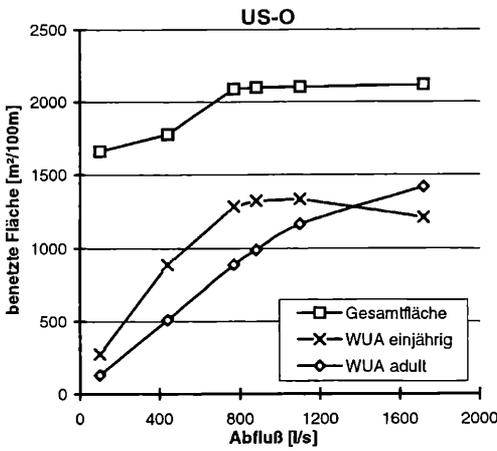


Abbildung 10

WUA für adulte und juvenile Bachforellen in einer Ausleitungsstrecke der Flöha im Erzgebirge.

oder vom Aussterben bedroht sind, hinsichtlich ihrer Lebensräume geschützt werden können.

Je nachdem, welche Zielvorstellungen im Einzelfall realisiert werden sollen und welches die limitierenden Randbedingungen sind, werden Habitatsimulationsmodelle dadurch als Werkzeuge zur Bereitstellung der erforderlichen Information für eine Entscheidungsfindung eingesetzt.

8. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die mit Hilfe von Simulationsmodellen wie CASIMIR be-

reitgestellten Informationen wertvolle Entscheidungsgrundlagen darstellen, aufgrund derer ökologisch begründete, an den jeweiligen Einzelfall angepasste und nachvollziehbare Entscheidungen bezüglich der Festlegung von Mindestwasserregelungen getroffen werden können. Dies bedeutet jedoch nicht, dass sich jeweils aus einer Untersuchung eine eindeutige Abflussregelung ableiten lässt, da, je nach Untersuchungsschwerpunkt und Zielvorstellung, durchaus unterschiedliche Ergebnisse aus den Untersuchungen abgeleitet werden können. Hier wird es weiterhin Aufgabe der Fachleute bleiben, in einer Einzelfallentscheidung aus der Fülle möglicher Aspekte diejenigen zu untersuchen, die relevant und aussagefähig sind, und dann auch zu benutzen, um eine ökologisch begründete, nachvollziehbare und gerichts-feste Entscheidung zu treffen. Erstmals ist es mit CASIMIR möglich, den ökologischen Nutzen einer Regelung den ökonomischen Einbußen an der Wasserkraftanlage gegenüberzustellen, und so eine gegenseitige Abwägung mit in eine Entscheidung einfließen zu lassen.

Im Rahmen eines derzeit laufenden, über drei Jahre angelegten Forschungsprojekts, welches von der Deutschen Stiftung Umwelt finanziert wird, wird derzeit an der weiteren Verbesserung und Validierung der Habitatansätze für benthische Organismen, Fische und Vegetationsgesellschaften gearbeitet. Dabei sollen weitere maßgebende Parameter definiert werden und unterschiedliche Ansätze für die Verknüpfung der Präferenzen mit den hydraulisch-morphologischen Strukturen im Gewässer bereitgestellt werden. Parallel dazu wird CASIMIR in eine

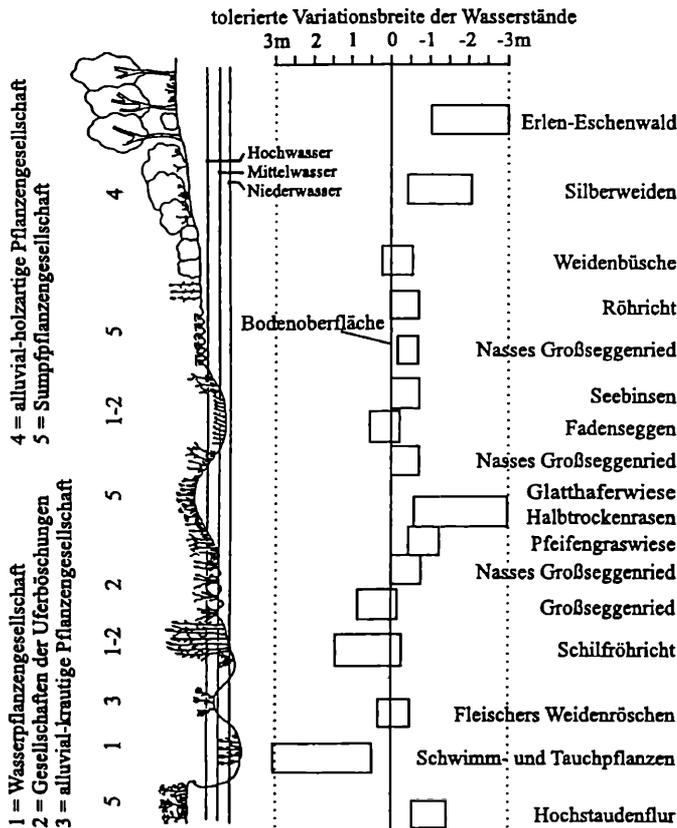


Abbildung 11

Wasserspiegeltoleranzen gewässergebundener Vegetationsgesellschaften (geändert nach HAINARD et al. 1987).

benutzerfreundliche Form gebracht, so dass in Kürze auch andere Benutzer mit diesem Simulationsmodell arbeiten können.

Simulationsmodelle wie CASIMIR bieten die Möglichkeit, generell morphologische und hydraulische Muster in Form von Verteilungsfunktionen oder Häufigkeitsklassen zu untersuchen und damit morphologisch unterschiedliche Gewässer oder Gewässerabschnitte zu vergleichen. Diesen Fragen kommt wachsende Bedeutung im Zusammenhang mit der aktuellen Leitbilddiskussion zu. Auch bleibt zu ergründen, welche einfacher zu bestimmenden morphologischen Parameter als Kriterium herangezogen werden können, nach denen ein Fluss ein hinreichend natürliches Lebensraumangebot aufweist. Der Weg dahin führt jedoch zunächst über die hoch aufgelöste Betrachtung typologisch unterschiedlicher Gewässer und eine vergleichende Analyse der gefundenen Daten. Darauf aufbauend sollen zukünftig einfacher zu bestimmende Parameter für die hydraulische und morphologische Charakterisierung eines Gewässers definiert werden. Diese sollen zukünftig in einfach gelagerten Standardfällen ausreichen, um ein Gewässer hydraulisch und morphologisch ausreichend zu charakterisieren und ohne allzu aufwendige Untersuchungen zu ökologisch begründeten Ergebnissen zu kommen.

Auf internationaler Ebene sind derzeit unterschiedliche Entwicklungen bei der Modellierung von Fließgewässerlebensräumen im Gange. Gegenüber den einfachen und grob aufgelösten eindimensionalen Ansätzen, wie sie in PHABSIM verwendet werden, wird heute auch mit Modellen gearbeitet, welche die Strömung zweidimensional tiefengemittelt berechnen. Die räumliche Auflösung der Finite-Elemente-Netze ist hierbei im wesentlichen von der erforderlichen Rechnerkapazität begrenzt. Vereinzelt wird auch bereits mit dreidimensionalen Modellen gearbeitet. Für die hydraulische Berechnung von Normalabflüssen oder Hochwasserereignissen haben sich diese Ansätze bewährt, aufgrund der hydraulisch sehr unterschiedlichen Verhältnisse bei Niedrigwasserabflüssen liefern sie hier jedoch nicht unbedingt brauchbare, d.h. dem gemessenen Zustand besser entsprechende Ergebnisse. Das Problem liegt in den Rauheiten der Sohle, welche in der gleichen Größenordnung liegen, wie die Fließtiefe und daher für die Berechnung stark abflussabhängig sind. Dadurch steigt der Kalibrierungsaufwand für diese Modelle.

Ein anderer Weg ist die statistische Beschreibung relevanter Größen durch Verteilungsfunktionen, wie sie z.B. bei CASIMIR für die sohnlahen Strömungskräfte gehandhabt wird. Ein ähnliches Vorgehen wird von anderen Forschergruppen auch für Fischhabitate angewandt, wobei die Erfassung und Auswertung der hydraulisch-morphologischen Daten dann mittels multivariater Statistik realisiert werden muss. Entsprechend werden derzeit auch multivariate Ansätze für die Präferenzfunktionen von Fischen erprobt, welche dann sowohl mit den Ergebnissen der deterministischen hydraulischen

Modelle wie auch der stochastischen kombinierbar sind.

Eine weitere Entwicklung sind sogenannte "Individual Fish Based Models", welche z.B. auf der optimierten Energiebilanz eines einzelnen Fisches basieren. Für große Salmoniden, die sich vorwiegend aus der Drift ernähren, liefern diese Ansätze bereits gute Ergebnisse. Sie basieren darauf, dass ein Fisch dort einen idealen Standort hat, wo er mit geringem Energieaufwand (niedrige Strömungsgeschwindigkeit), vor Räubern geschützt (Unterstand), ein großes Nahrungsangebot vorfindet (direkt benachbart Bereiche mit stärkerer Strömung, die viel Nahrung herantransportiert). Die Trübung des Wassers, die Sichtweite des Fisches und sein Aktionsradius innerhalb dessen er Driftnahrung noch erreichen kann, spielen hier eine weitere Rolle.

Bei den benthischen Organismen gibt es Versuche, anstelle der FST-Halbkugeln auch andere Messgeräte zu verwenden, um die sohnlahen Strömungen charakterisieren und zusätzliche Präferenzfunktionen entwickeln zu können. Für Tieflandgewässer sind die FST-Halbkugeln aufgrund der geringen sohnlahen Strömungskräfte nicht aussagekräftig, in Gewässern, die über große Flächenanteile tiefer als ca. 80 cm sind, ist die Methode praktisch nicht anwendbar.

Die Entwicklung und Validierung derartiger Methoden und Modelle sowie die interdisziplinäre Erforschung der entscheidenden Zusammenhänge ist der Arbeitsschwerpunkt der IAMG (International Aquatic Modeling Group). Die IAMG bildete sich in den Jahren 1995 und 1996 als offener Zusammenschluss europäischer, amerikanischer und australischer Wissenschaftler, die sich mit der Erforschung der Zusammenhänge zwischen biotischen und abiotischen Faktoren im Umfeld von Fließgewässern befassen. Die ebenfalls 1996 gegründete Sektion "Ecohydraulics" der IAHR (International Association for Hydraulic Research) bearbeitet den Bereich "Habitatmodellierung" gemeinsam mit der IAMG. Die Arbeitsgruppe "Ökohydraulik" am Institut für Wasserbau der Universität Stuttgart gehört zu den Gründungsmitgliedern der IAMG. Weitere Informationen finden sich auf der homepage der IAMG unter www.sintef.no/units/civil/water/iamg/iamg.htm.

Literatur

BOVEE, K. D. (1986):
Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the instream flow incremental methodology.- US Fish and Wildlife Service, Instream Flow Information Paper No. 21, US Fish and Wildlife Service Biologic Report 86(7), 235 pp.

BRATRICH, C. & K. JORDE (1997):
Hydraulische und morphologische Modellierung von Fließgewässern mit dem Simulationsmodell CASIMIR: Gewässerbiologie und Habitatmodellierung.- Wasserwirtschaft 7/8 97, S. 370-371.

- DVWK (1995):
Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, Schrift 114, "Gesichtspunkte zum Abfluss in Ausleitungsstrecken von Wasserkraftanlagen", Bonn.
- FUCHS, U. (1994):
Ökologische Grundlagen zur wasserwirtschaftlichen Planung von Abfluss und Morphologie kleinerer Fließgewässer.- Dissertation an der Fakultät für Bio- und Geowissenschaften, Universität Karlsruhe.
- GIESECKE, J. & E. MOSONYI (1998):
Wasserkraftanlagen, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin.
- FRISSELL, C. A.; W. J. LISS, C. E. WARREN & M. D. HURLEY (1986):
A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context.- *Environment Management* 10, pp. 199-214.
- HAINARD, P.; B. BRESSOUD, G. GIUGNI & J. L. MORET (1987):
Wasserentnahme aus Fließgewässern, Auswirkungen verminderter Abflussmengen auf die Pflanzenwelt.- *Bundesamt f. Umweltschutz, Schriftenr. Umweltschutz* 72, Bern.
- JORDE, K. & C. BRATRICH (1998):
Influence of River Bed Morphology and Flow Regulations in Diverted Streams on Bottom Shear Stress Pattern and Hydraulic Habitat.- In: Bretschko G. & J. Heleic (Eds.), *Advances in River Bottom Ecology IV*, Backhuys Publishers, 47-63.
- JORDE, K. & M. SCHNEIDER (1998):
Einsatz des Simulationsmodells PHABSIM zur Festlegung von Mindestwasserregelungen.- *Wasser + Boden* 50, Heft 4, S. 45- 49.
- JORDE, K. (1997):
Ökologisch begründete, dynamische Mindestwasserregelungen bei Ausleitungskraftwerken.- *Mitteilungen des Instituts für Wasserbau*, Heft 90, Universität Stuttgart.
- (1996):
Ecological Evaluation of Instream Flow Regulations based on temporal and Spatial Variability of Bottom Shear Stress and Hydraulic Habitat Quality.- *Proceedings of the 2nd International Symposium on Habitat Hydraulics, Ecohydraulics 2000*, Québec City, Juni 1996, Volume B, pp. 163-174.
- LAWA (1997):
Ermittlung einer ökologisch begründeten Mindestwasserführung hinsichtlich der aquatischen Lebensräume. Abschlussbericht des LAWA/DVWK Arbeitskreises "Ökologisch begründete Mindestwasserführung", unveröff.
- MUTZ, M. (1989):
Muster von Substrat, sohnaher Strömung und Makrozoobenthos auf der Gewässersohle eines Mittelgebirgsbaches. Universität Freiburg i.Br.:193 pp.
- SCHÄLCHLI, U. (1991):
Morphologie und Strömungsverhältnisse in Gebirgsbächen: Ein Verfahren zur Festlegung von Restwasserabflüssen.- *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich*.
- SCHMEDTJE, U. (1996):
Ökologisch begründete Festlegung von Mindestabflüssen: Die zentrale Bedeutung der sohnahen Strömungsverhältnisse.- *Wasserwirtschaft* 6/96, S. 326-330.
- (1995):
Beziehungen zwischen der sohnahen Strömung, dem Gewässerbett und dem Makrozoobenthos in Fließgewässern - Ökologische Grundlagen für die Beurteilung von Ausleitungsstrecken. Dissertation, Institut für Zoologie und Limnologie, Universität Innsbruck.
- SCHNEIDER, M. (1997):
Hydraulische und morphologische Modellierung von Fließgewässern mit dem Simulationsmodell CASIMIR: Aquatisches Volumen. *Wasserwirtschaft* 7/8 97, S. 372 - 373. Standard hemispheres as indicators of flow characteristics in lotic benthos research.- *Freshwater Biology* 21: 445-459.
- TOWNSEND, C. R. (1989):
The patch dynamics concept of stream community ecology.- *Journal of the North American Benthological Society* 8, pp. 36-50.
- VANNOTE, R. L.; G. W. MINSHALL, K. W. CUMMINS, J. R. SEDELL & C. E. CUSHING (1980):
The River Continuum Concept.- *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, Vol 37, pp. 130-137.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Ing. Klaus Jorde
Institute of Hydraulic Engineering
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 61
D-70550 Stuttgart

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1999

Band/Volume: [4_1999](#)

Autor(en)/Author(s): Jorde Klaus

Artikel/Article: [Die Problematik des Restwassers 129-144](#)