

Forschung im Fluss

Von Einweg zurück zum Mehrweg



01

Naturnahes Fließgewässer mit verzweigtem Gerinne. (Foto: Jörg Franke)

Natürliche Fließgewässer, wie sie vor einigen hundert Jahren auch in Europa noch zu finden waren, stehen in einem ständigen Austausch mit ihrer Umgebung. Aktiv formen sie das Relief und die Gestalt des Umlandes und werden gleichzeitig durch das Umland entscheidend in ihrer Erscheinungsform geprägt. Sie sind hochdynamische Systeme die nach jeder größeren Änderung im Abflussverhalten (Hochwasser,

längere Niedrigwasserperioden) ein völlig neues Erscheinungsbild aufweisen können (01). Dieser stetige Wechsel an morphologischen Strukturen und hydrologischem Geschehen ist dafür verantwortlich, dass im Laufe der Zeit Lebensräume verschiedener Organismen verschwinden und dafür andere wieder neu entstehen. Nur durch diese Dynamik zwischen „Zerstörung“ und „Wiederaufbau“ kann ein ökologisches Gleichgewicht erhalten bleiben und verhindert werden, dass sich fluviale Monokulturen ausbilden, die anderen Arten keinen Lebensraum lassen und diese auf Dauer verdrängen.

1. Von der Historie zur Gegenwart oder: Die Renaissance der Vielfalt

1.1 Forscher damals – Forscher heute

Das Verstehen und die Erforschung solcher komplexer Systeme hat in früherer Zeit Forscher hervorgebracht, die den Gesamtblick aus den verschiedenen Fachsparten mitbrachten. So hat sich der Rheinforcher Robert Lauterborn (1869 bis 1952) mit der Hydrobiologie, Zoologie, Botanik, Geographie sowie mit der Wissenschaftshistorie und philosophischen Fragestellungen beschäftigt, um dem Gesamtsystem Fluss als „Mehrwegsystem“ näherzukommen.

Je tiefer man jedoch in die Einzeldisziplinen wissenschaftlich eintaucht, umso mehr sind Spezialisten gefragt. Das rasant wachsende Wissen in den einzelnen Fachsparten der letzten Jahrzehnte bedingte das Experimentum, wie wir es heute kennen, und bei welchem durch die geforderte Intensität der Beschäftigung mit einem Thema manches Mal der Überblick für das Gesamtsystem verloren geht. Erst in den letzten Jahren wird der Ruf nach der Notwendigkeit von interdisziplinärem Arbeiten in der Wasserforschung wieder lauter: weg von Einweg-Forschung wieder hin zu vernetzten Ansätzen. Am Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung in Stuttgart forschen und arbeiten daher heute Ingenieure, Geoökologen, Mathematiker, Umweltschutztechniker und Biologen an gemeinsamen Fragestellungen.

1.2 Fließgewässer damals – Fließgewässer heute

Am Ende des 19. Jahrhunderts und zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden viele unserer Flüsse begradigt und eingeeignet. Der Fluss wurde zur Wasserstraße oder zum Abwasserkanal degradiert und die Auen als nutzlose Brutstätten von Krankheitserregern trockengelegt. Noch Ende des 19. Jahrhunderts war beispielsweise am Oberrhein die Malaria durchaus verbreitet. Der Fluss, der natürlicherweise seinen Lauf oft änderte, wurde fixiert und den anthropogenen Nutzungen untergeordnet. Entlang der neu entstandenen Uferlinien wurden dann Dämme errichtet und damit das neu gewonnene Land vor Überflutung geschützt. Viele damit vom Gewäs-

SUMMARY

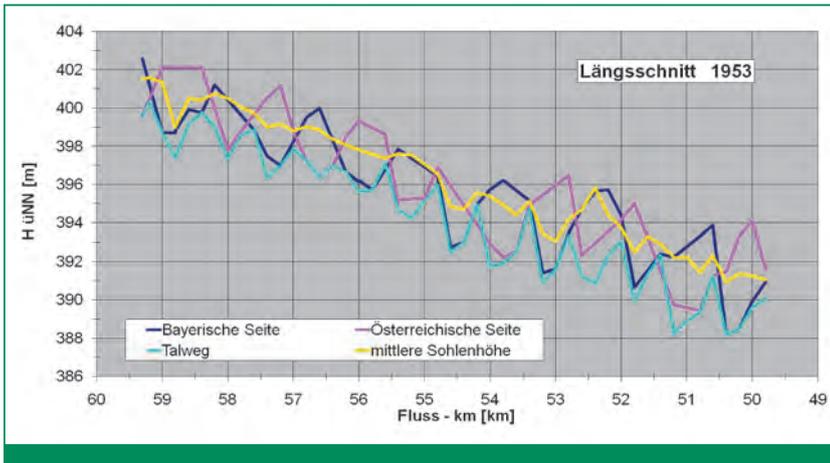
The dynamic features and varieties of river systems are vital for the aquatic life and beyond; still, the rivers and their adjacent areas have been tamed for the sake of shipping, floodwater protection, wastewater disposal, and energy generation. Parallel to the hydro-engineering measures and the pauperization of the aquatic habitats in the last decades, the overall view of early scientists on the important interactions between the environment and life has been lost to make place for specialists. There is now a consensus that we need to reverse and regain diversity in both, the river ecosystem and our scientific understanding of natural processes, for cultural, economical, ecological, and finally human health reasons. Within the department of Hydraulic Engineering and Water Resources Management, researchers from different disciplines (engineers, biologists, geologists) work closely together to better understand essential interactions of hydraulic forces, river morphology, sedimentology, and biology. With the help of this multidisciplinary view, we want to elucidate the important parameters to be implemented in state-of-the-art models, which we apply to predict reliable habitat suitability for fish and sediment dynamics in riverine systems.



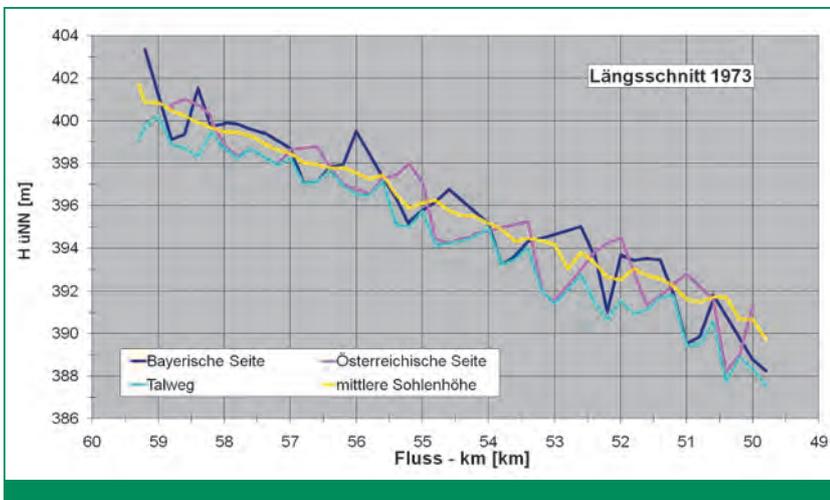
02

Eingeeignetes, begradigtes Fließgewässer mit Uferverbau.

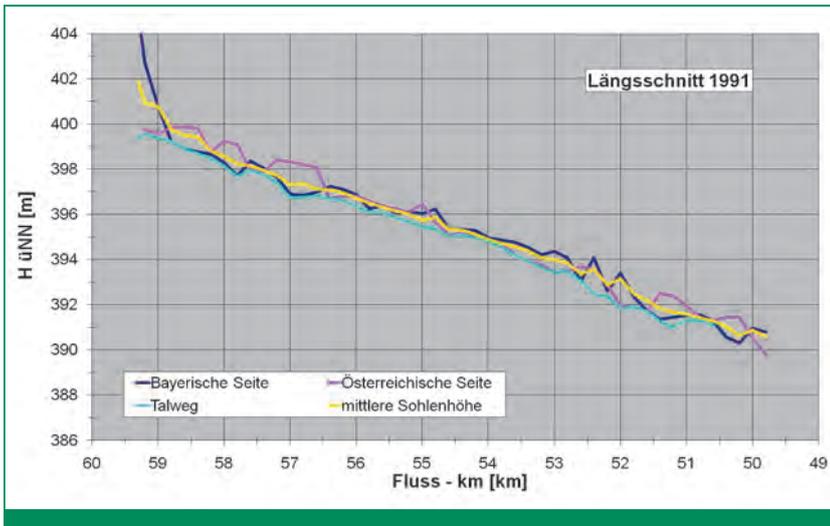
ser abgeschnittene Auen wurden mit Drainagen versehen und so die Bedingungen für die landwirtschaftliche Nutzung verbessert. Die Vorländer werden seitdem oft nur noch bei extremen Ereignissen überflutet und stehen deshalb zur hydraulischen Entlastung des Hauptgerinnes bei erhöhten Abflüssen nicht mehr zur Verfügung. Aus breiten, verzweigten Flüssen wurden schmale, gerade Kanäle mit hohen Dämmen, die heute unsere Landschaft prägen (02). Diese Flussläufe entsprachen dem damaligen Zeitgeist und Wertvorstel-



03



04



05

Entwicklung der Gewässersohle der Salzach von 1951 bis 1991.

lungen, nach denen ein geordneter, geometrischer Fluss als „schön“ und ein verzweigter Fluss als „verwildert“ bezeichnet wurde.

Mit zunehmender Industrialisierung stieg auch der Bedarf an Energie und Trans-

portmöglichkeiten, und die Fließgewässer wurden aufgestaut, um eine Nutzung durch Wasserkraft oder Schifffahrt zu ermöglichen, wie z.B. an Rhein, Neckar oder Donau. Die dadurch entstandene meist monotone Gewässerstruktur und die Vereinheitlichung der Strömungsbedingungen haben dazu geführt, dass das morphologische Regime und der Geschiebehaushalt aus dem Gleichgewicht geraten sind.

Mit der Einengung verändert sich auch die Morphologie. Die Sohle ebnet sich ein und der Strukturreichtum der Sohle verschwindet. Manchmal entstehen alternierende Bänke, die noch ein Minimum an morphologischer Diversität gewährleisten. Durch Erosion geht jedoch auch dieser letzte Rest an Strukturvielfalt verloren, wie das Beispiel der Salzach zeigt. Ehemals vorhandene Kiesbänke werden aufgrund des Geschiebemangels und der damit verbundenen Erosion abgetragen. Diese Strukturen sind jedoch insbesondere für kieslaichende Fischarten oder Bewohner des Interstitials ein wichtiger Lebensraum. In (03) bis (05) sind Längsschnitte der linken (bayerischen) und der rechten (österreichischen) Flussseite der Salzach dargestellt, auf denen der Verlust der morphologischen Strukturen im Verlauf von ca. vierzig Jahren deutlich zu erkennen ist. Waren 1953 noch alternierende Bänke mit einer durchschnittlichen Höhe von ca. vier Metern vorhanden, so haben sich die mittleren Höhen bis zum Jahr 1973 schon auf ca. 2,5 Meter reduziert. Im Jahre 1991 ist von den Strukturen fast nichts mehr zu erkennen.

Die reduzierte Strukturvielfalt in einem begradigten und eingengten Fließgewässerabschnitt führt zum Verlust typischer Gewässermerkmale, die die Habitate für verschiedene wassergebundene Arten darstellen. Durch Einengungen gehen Hinterwasser, Naturufer, Schotterbänke, Riffle und Totwasser, die sich durch unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten, Wassertiefen und Substratverhältnisse unterscheiden, verloren. Diese Vielfalt an Habitaten ist jedoch erforderlich, um die Reproduktion sowohl von strömungsliebenden (z.B. Bachforelle, Äsche), strömungsindifferenten (z.B. Wels, Karpfen, Rotaugen, Hecht) als auch strömungsmeidenden Fischarten (z.B. Rotfeder, Schleie, Bitterling) zu ermöglichen. Zum anderen

brauchen die einzelnen Fischarten sehr unterschiedliche Nahrungs- und Rückzugshabitate in ihren jeweiligen Lebensstadien. Hier setzen u.a. die Arbeiten am Lehrstuhl für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft an: in Habitatmodellen werden die Ansprüche einzelner Fischarten beschrieben und zur Gewässergütebewertung den tatsächlichen Gegebenheiten am Standort gegenübergestellt (Wieprecht et al. 2006).

Durch die wasserbaulichen Maßnahmen veränderte sich auch die Dynamik der Feinsedimente stark. Schnellere Fließgeschwindigkeiten führen zu einem höheren „Durchsatz“ und die Sedimente lagern sich nun nicht mehr in Seitenarmen ab, sondern auch in den Wasserstraßen und Hafenbecken, wo ihre Ausbaggerung jährlich Millionen Euro verschlingt. Zudem sind gerade an die feinen hochreaktiven Sedimente wie Ton und Schluff ($< 63 \mu\text{m}$) Schadstoffe gebunden, was die Sedimentverklappung zusätzlich erschwert. Kommt es zur (starken) Erosion der Flusssohle, können vormals im Sediment immobilisierte Schadstoffe freigesetzt und bioverfügbar werden. So hatte man beispielsweise beim Hochwasser 2002 nicht nur mit großen Sedimentfrachten zu kämpfen sondern auch mit hohen toxischen Belastungen, die weit über den aquatischen Lebensraum hinaus auch direkte Konsequenzen für den Menschen hatten (z.B. dioxinverseuchte Milch der in den Auen grasenden Kühe, polyzyklische Kohlenwasserstoffe auf den Außenflächen von Kindergärten).

Inzwischen jedoch setzt sich eine neue Denkweise durch, welche Sedimente nicht nur als unerwünschte Fracht ansieht, sondern auch als einen wichtigen benthischen Lebensraum, der eine Vielzahl Kleinstlebewesen beherbergt, die für höhere trophische Ebenen bis hin zu den Fischen wichtig sind. Die Erhaltung der Sedimente vor Ort ist das neue Ziel, aber die Risiken ihrer Dynamik und der assoziierten Schadstoffe müssen kalkulierbar sein. Doch genau das ist es bislang nicht, denn feine Sedimente werden auch bevorzugt von Mikroorganismen besiedelt und diese verkleben mit ihren langkettigen Ausscheidungen das Sediment und erhöhen so deren Widerstand gegen erodierende Kräfte. Der Einfluss der Biologie auf die Sedimentstabilität ist aber in Modellen schwer vorhersagbar, da die zugrundeliegenden Prozesse hoch-

dynamisch sind und dabei täglichen bis saisonalen Schwankungen unterliegen. Am Lehrstuhl für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft beschäftigen wir uns daher auch mit grundlegenden Fragen zur Biostabilisierung von Feinsedimenten durch mikrobielle Biofilme mit dem langfristigen Ziel der Implementierung dieser Prozesse und Interaktionen zwischen Biologie und Sedimentologie in Sediment-Transportmodellen (Gerbersdorf et al. 2008, 2009, 2011).

Die Bedeutung der Feinsedimente als wichtiges Habitat sowie Schadstoffsенke und -quelle im aquatischen Lebensraum wird zunehmend in der Wissenschaft anerkannt und auch in der Öffentlichkeit wahrgenommen. Das zeigt sich auch in der, wenn auch etwas späten, Verankerung der Sedimente in der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL). Mit der Einführung der WRRL im Jahr 2000 wurde die Erkenntnis, dass funktionierende Ökosysteme wie z.B. Fließgewässer eine wesentliche Lebensgrundlage für viele Organismen darstellen, auch auf Ebene der Politik erkannt und schließlich in der Gesetzgebung verankert. In der WRRL ist das Ziel definiert, dass bis zum Jahr 2015 alle Gewässer in Europa in einen guten ökologischen Zustand überführt sein sollen. Dabei stand zunächst die Wassersäule alleine im Fokus bis man erkannt hat, dass auch die Sedimente entscheidend die Ökologie prägen. Als Gradmesser werden zum einen physikalische und chemische Größen definiert, deren Grenzwerte einzuhalten sind, um eine entsprechende Wasserqualität zu gewährleisten. Zusätzlich geben biologische Parameter wie z.B. die Artenzusammensetzung und -vielfalt Auskunft über die Qualität des Lebensraumes. Dabei werden morphologische Parameter wie die Beschreibung von Strukturen als Zustandsgrößen für die Charakterisierung der Gewässerqualität angewendet. Die Wasserrahmenrichtlinie bringt nach dem langen Weg der eindimensionalen Betrachtungsweise des Gewässers aus dem jeweils schmalen Blickwinkel der Einzeldisziplinen wieder einen ganzheitlichen Ansatz ins Spiel, welcher nötig ist um komplexe Naturprozesse zu verstehen. Aufgrund des hohen Detailwissens und der Spezialisierung in den Einzeldisziplinen kann aber nicht mehr nur ein Fachmann/-frau alle Fragen beantworten.

Der Weg zurück zu einer ganzheitlichen Betrachtung wird nur durch einen multi-disziplinären Ansatz erreicht werden können.

2. Ein Blick in das System: Was bedingt Gewässergüte und wie weist man sie nach?

Die mit Abstand wichtigste treibende Kraft zur Initiierung fluvialer dynamischer Prozesse ist der Abfluss, welcher natürlicherweise je nach Flussregion unterschiedliche saisonale Charakteristiken aufweist. Insgesamt werden fünf Kernfak-

torien von Flüssen zu gewährleisten. Die Morphologie des Flussbettes (Uferbefestigung sowie Tiefen- und Breitenvariabilität) bedingt in Wechselwirkung mit den zeitlich und räumlich variierenden Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten strukturelle Gewässereigenschaften (wie Pflanzenbewuchs und Sedimenteigenschaften), welche von großer Bedeutung für das Ökosystem sind.

Weiterhin spielt die laterale Gewässerdurchgängigkeit eine große Rolle hinsichtlich der Bewertung des Lebensraums für aquatische Organismen. Durch anthropogene Maßnahmen, insbesondere Querbauwerke und Stauhaltungen, wurde diese Durchgängigkeit in der Vergangenheit völlig unterbunden, mit gravierenden Folgen (Beispiel Lachsrückgang und Aussterben des Lachses im Rhein). Zudem halten die Querbauwerke natürliche Hochwasserwellen zurück bzw. geben sie gedämpft weiter, um die Überflutung zu regeln und die Sicherheit urbaner Gebiete zu gewährleisten. Dadurch wird auch der Geschiebetransport sowie Sedimenthaushalt massiv gestört und die fehlende regelmäßige Umlagerung und Neustrukturierung der Gewässersohle begünstigt die „Verschlammung“ am Flussgrund vor z.B. Stauhaltungen. Direkt hinter Wasserkraftwerken lassen extreme Schwall- und Sunk-Ereignisse keinen Raum für eine nachhaltige Besiedlung durch Organismen. (06) gibt einen Überblick über wichtige abiotische Umweltfaktoren zur Beschreibung von aquatischen Lebensräumen in Flüssen.

Die Güte eines Lebensraumes für den einzelnen Organismus bestimmt sich gerade über jene vielfältigen Strukturen, welche unter den wasserbaulichen Maßnahmen stark beeinträchtigt wurden. Je nach Lebensstadium braucht es die unterschiedlichsten Habitate, selbst für dieselbe Art, um erfolgreiches Laichen zu ermöglichen, Verstecke für Juvenile (Heranwachsende) oder Jagd/Weidemöglichkeiten für Adulte (Ausgewachsene) zu bieten sowie die für das Wanderverhalten erforderliche Durchgängigkeit. Die sich daraus ergebende Gewässergüte lässt sich in ihrer vielfältigen Gesamtheit am besten an der Artenvielfalt und Artenzusammensetzung der jeweiligen Lebensgemeinschaft ablesen.

Im Gegensatz dazu sind andere Untersuchungen zwar wichtig, spiegeln aber dennoch nur einen kleinen Ausschnitt aus



Abiotische Faktoren zur Beschreibung von Lebensräumen in Flüssen.

toren zur Beschreibung dieser hydrologischen Variabilität verwendet: Maximalabfluss, Häufigkeit, Dauer und Zeitpunkt von Extremereignissen sowie die maximale Veränderungsrate des Abflusses. Werden diese Komponenten aufgrund von anthropogenen Maßnahmen verändert, wirkt sich dies unmittelbar auf weitere abiotische Größen wie Sediment- und Temperaturhaushalt, Wasserqualität oder Gewässerstrukturgüte aus, die sowohl die Habitatvielfalt als auch die Lebensraumqualität erheblich beeinflussen.

Die physikalisch-chemische Wasserqualität von Flüssen hat sich in den letzten Jahrzehnten aufgrund des Fortschritts in der Abwasserbehandlung und dem Bau neuer Kläranlagen erheblich verbessert. Aber die Wasserqualität alleine reicht nicht aus um die ökologische Funktionsfähig-

dem Gesamtsystem wieder. Beispielsweise bestimmen chemische Wasseruntersuchungen reine „Jetzt“-Konzentrationen an Nährstoffen und Schadstoffen im Wasserkörper, aber über die Konzentrationen von gestern und vorgestern lassen sich keine Aussagen treffen, noch sind diese Werte geeignet, die Gesamtqualität des Lebensraumes zu bewerten.

Ganz anders dagegen die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft: sie ist das „Gedächtnis“ der Ereignisse der letzten Wochen, Monate oder Jahre in einem Flussabschnitt und versammelt die Interaktionen mit der Umgebung (Struktur, Abflussregime, Temperatur, Nährstoffe, Licht, Schadstoffe) sowie biotische und trophische Interaktionen (Konkurrenz, Abweidung). Doch gibt es auch hier Opportunisten, die unter einer weiten Bandbreite an Gegebenheiten existieren können. Daher gilt es, geeignete „Bioindikatoren“ zu finden, die sowohl einen sehr engen Toleranzbereich haben, als auch eine hohe Eignung für die jeweils zu bewertende Gewässerklasse.

Beispielsweise sind Protozoen (Einzeller), hier besonders die Ciliaten (Wimpertierchen), ideal, um in nährstoffbelastenden Gewässern Aussagen über den „Verschmutzungsgrad“ von polysaprob (stark belastet) bis zu mesosaprob (mittelmäßig belastet) (jeweils mit den Sub-Leveln α und β) zu treffen. Jeder exakt definierten Belastungsstufe kann eine typische Lebensgemeinschaft zugeordnet werden, die den Namen der jeweilig bedeutendsten Art trägt: z.B. das *Carchesietosum polypinae* in der alpha-mesosaprob Selbstreinigungsstufe oder das *Pleuronematum coronatae* in der beta-mesosaprob Selbstreinigungsstufe. Bislang konnten aber keine Ciliaten-Gesellschaften bestimmt werden, welche eindeutig oligosaprobe (nicht belastete) Gewässer anzeigen können.

Zudem erfordert die Bestimmung dieser Lebensgemeinschaften Expertenwissen, das nicht überall verfügbar ist. Ähnliches gilt für Kieselalgen (Diatomeen)-Gesellschaften, einzellige Algen welche ganzjährig in Fließgewässern vorkommen, und welche mittlerweile obligatorisch zum Monitoring gemäß der Europäischen Wasser-Rahmenrichtlinie (WRRL) gehören. Der Vorteil des Kieselalgen-Monitoring liegt darin, dass eine ein- bis zweimalige Probe pro Jahr ausreichende Informationen gibt.

ZUSAMMENFASSUNG

Die dynamischen Eigenschaften und das vielseitige Erscheinungsbild von Flusssystemen sind für die aquatische Flora and Fauna eine essentielle Lebensgrundlage. Die ökologische Funktionsfähigkeit der Gewässer konkurriert jedoch mit weiteren Nutzungszielen wie Schifffahrt, Hochwasserschutz, Abwassermanagement oder Erzeugung regenerativer Energie wodurch das heutige Erscheinungsbild aufgrund flussbaulicher Maßnahmen die ursprüngliche Vielfalt verloren hat. Parallel zur dieser Homogenisierung der Flüsse ist auch das multidisziplinäre Mehrwegverständnis früherer Forscher durch die „Einwegbetrachtung“ einzelner Fachspezialisten ersetzt worden. Heutzutage herrscht wieder ein Konsens, hin zu mehr Diversität zu kommen, sowohl die Welt der aquatischen Ökosysteme betreffend als auch das wissenschaftliche Verständnis der natürlichen Prozesse. Das gebieten in beiden Fällen sowohl kulturelle als auch wirtschaftliche, ökologische und nicht zuletzt auch human-gesundheitliche Aspekte.

Am Lehrstuhl für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft arbeiten Wissenschaftler aus verschiedenen Fachbereichen (Ingenieurwesen, Biologie, Geologie) interdisziplinär zusammen, um das Wissen bedeutender Interaktionen zwischen Hydraulik, Flussmorphologie, Sedimentologie und Biologie zu erweitern. Basierend auf dieser Mehrweg-Betrachtung werden aktuelle Modelle verwendet und weiterentwickelt, um Prognosen über die hydromorphologische Entwicklung der Fließgewässer, deren Sedimentdynamik und die Auswirkungen auf die Qualität aquatischer Lebensräume zu treffen.

Weitaus wichtiger ist jedoch ihr ubiquitäres (= universelles) Vorkommen weltweit, was die Etablierung global vergleichbarer Methoden möglich macht. Die Bestimmung des Makrozoobenthos (Larven von Insekten, Egel, Strudelwürmer, Schnecken, Muscheln, Krebse, Schwämme) ist bis zu einem gewissen Niveau relativ leicht erlernbar und kommt ebenfalls mit einer niedrigen Probenrate (zweimal im Jahr) aus. Diese Bioindikatoren eignen sich bestens um oligotrophe bis mesotrophe Gewässertypen abzugrenzen, die feinen Unterschiede im stark belasteten Bereich können sie hingegen nicht abbilden.

Am Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung sind u.a. Biofilme Gegenstand der aktuellen Forschung. Biofilme sind Gemeinschaften aus Bakterien, Mikroalgen und Pilzen, welche eingehüllt in einer selbstproduzierten Schleimmatrix leben, mit der sie gleichzeitig die Sedimentkörner verkitten und so den Widerstand des Sedimentes gegen erosive Kräfte erhöhen. Biofilme stehen am Beginn der Nahrungskette, und die Effekte schlechter Gewässerqualität auf diese Gemeinschaften wirken sich um ein Vielfaches potenziert auf höhere Nahrungslevels aus. Zudem erfüllen Biofilme wichtige Funktionen für den aquatischen Lebensraum und auch darüber hinaus (Aue, Meer), indem sie der Motor zur Selbstreinigung sind, biogeochemische Stoffflüsse bedeut-

sam beeinflussen, und in die Dynamik von Feinsedimenten nebst assoziierten Schadstoffen eingreifen. Biofilme mit ihrem großen Verhältnis zwischen Oberfläche und Volumen, ihrem schnellen Stoffwechsel und hohen Anpassungsgrad sind unmittelbare und sehr sensitive Indikatoren für die Gewässergüte.

Mittels neuerer molekulargenetischer Techniken ist es mittlerweile auch bei Bakterien möglich, Veränderungen im Artenspektrum bis hin zur Artenverarmung und Ausprägung hochspezialisierter Arten unter Extrembedingungen zu dokumentieren. Doch es wird kontrovers diskutiert, ob diese Artenveränderungen wirklich eine Veränderung der so wichtigen Funktionen der Biofilme für das Ökosystem nach sich ziehen oder ob diese von einem Wechsel in Diversität und Artenzusammensetzung unberührt bleiben (Gerbersdorf et al. 2011). Wir befassen uns daher mit einer wichtigen „Ecosystem Function“ der Biofilme, der Biostabilisierung, und untersuchen wie sich diese beispielsweise unter der Exposition der im Fließgewässer zunehmend relevanten „Personal Care Products“ verändert (Lubarsky et al. 2011). Gegenüber Biofilmen, welche unmittelbare Effekte zeigen können, stehen Fische am Ende der aquatischen Nahrungskette, dafür aber zeigen sie uns kumulative Effekte, das heißt, sie geben Information darüber wie sich langjährige, vielfältige Belastungen auswirken, noch dazu auf Wirbeltiere, von deren Beeinflussung wir auch auf mögliche Effekte für den Menschen und seine Gesundheit schließen können.

Durch die bereits oben beschriebenen anthropogenen Habitatveränderungen im Fließgewässer, gibt es kaum mehr die ehemals beschriebenen typischen Fischgebiete mit ihren Leitarten (z.B. Forellenregion, Äschenregion, Brachsenregion, Bleiregion) die uns etwas über die Gewässergüte vermitteln könnten. Daher fokussieren aus ökotoxikologischer Sicht die Untersuchungen auf Zell- und Organschädigungen sowie Mutationspotential. Da Fische ein sehr sichtbares Zeichen einer intakten Umwelt sind und auch aus wirtschaftlichen und kulturellen Überlegungen die Ansiedelung bzw. Wiederansiedelung erwünscht ist, ist die Habitatmodellierung von Fischen geeignet, den ökologischen Zustand darzustellen.

3. Die Reproduktion kieslaichender Fischarten – ein integrativer Indikator für die Gewässerdynamik

Habitatmodelle können nur in dem Maße gut sein, wie grundlegende ökologische Prinzipien und Theorien verstanden und entsprechend darin implementiert werden. Um die langfristig erfolgreiche Etablierung einer Population anhand eines geeigneten Lebensraumes vorherzusagen, kann man sich nicht nur auf Abundanz beziehen, da laut ökologischen Gesetzen die Individuenanzahl nicht per se entscheidend ist für die Population, wohl aber ihre „vital rates“ d. h. Zuwachs, Tod und Abwanderung. Dafür ist es unerlässlich, die verschiedenen Lebensstadien einzubeziehen und sich nicht auf eine zu beschränken. Gerade die Reproduktion ist eines der wichtigsten Stadien, welches, weit über den gegenwärtigen Ist-Zustand, Aussagen zum langfristigen Bestand einer Population zuläßt (Noack & Wieprecht 2010).

In Flüssen mit kiesiger Gewässersohle gelten kieslaichende Fischarten, wie die Bachforelle, der Lachs oder die Äsche als Zeigerfischarten für die Qualität des Sedimentkörpers eines Gewässers. Die Reproduktion der Kieslaicher unterteilt sich hierbei in unterschiedliche Entwicklungsphasen, die vereinfacht als Laichphase, Inkubationsphase und Emergenzphase bezeichnet werden können. In der Laichphase schlägt der Fisch in das Gewässerbett eine Grube, in die befruchtete Fischeier gelegt und anschließend wieder mit Sediment bedeckt werden. Die Entwicklung während der Inkubationsphase (Zeitraum in der Gewässersohle) dauert mehrere Monate und beinhaltet die embryonale Phase, den Schlupf aus dem Ei sowie die larvale Phase. Die hierbei stattfindenden Stoffwechselprozesse werden hauptsächlich durch die Temperatur im Sedimentkörper gesteuert. Die letzte Phase – die Emergenz – beschreibt den Aufstieg aus dem Sedimentkörper in das Oberflächen-gewässer, womit die Reproduktion abgeschlossen ist.

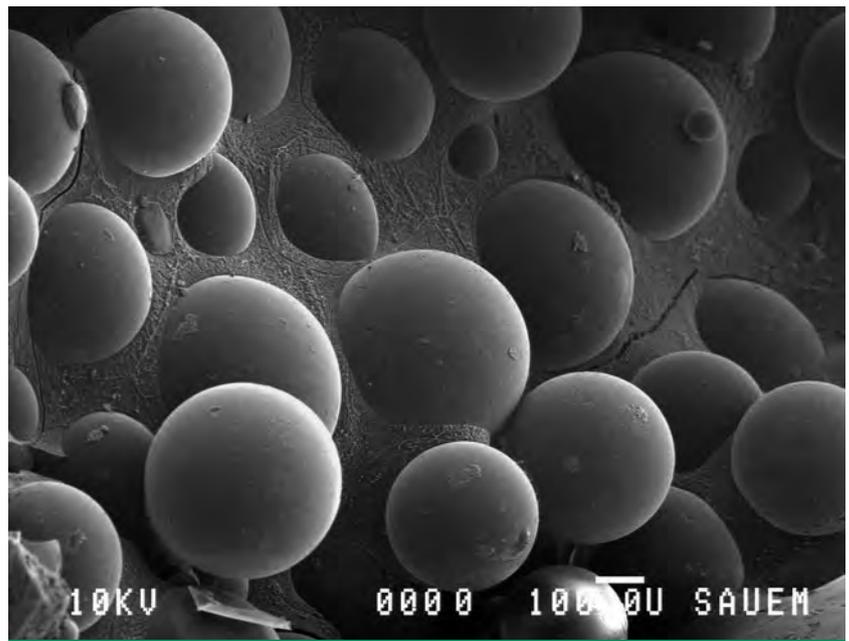
Der integrative Indikatorwert der Reproduktion ergibt sich aus den unterschiedlichen Ansprüchen während der Entwicklungsphasen. So benötigen die Fische während der Laichphase bestimmte Wassertiefen

und Fließgeschwindigkeiten sowie eine lockere Gewässersohle mit geeignetem Laichsubstrat in einem bestimmten Korngrößenbereich. Dies kann nur bei ausreichender Sedimentdynamik gewährleistet werden, d. h. der Sedimentkörper muss regelmäßig umgelagert werden damit eine mögliche „Verstopfung“ durch Feinsedimente gelöst wird und diese ausgewaschen werden (Noack et al. 2008).

Die Entwicklung in der Inkubationsphase ist hauptsächlich von dem Gehalt an gelösten Sauerstoff sowie der Temperatur im Sedimentkörper abhängig. Das natürliche Kiesbett wird idealerweise stets mit Oberflächenwasser durchströmt, um Eier und Larven mit ausreichend Sauerstoff zu versorgen sowie ihre Stoffwechselprodukte abzutransportieren. Dies ist nur möglich, wenn der Sedimentkörper in der Inkubationsphase stabil ist und die Eier und Larven nicht ausgespült werden, der Sedimentkörper über eine ausreichende Permeabilität verfügt und die sauerstoffzehrenden Prozesse in der hyporheischen Zone den Sauerstoffgehalt nicht limitieren.

Schließlich wird während der Emergenz eine ausreichende Lückigkeit zwischen den Sedimenten benötigt, um aus dem Sedimentkörper in die freie Wasseroberfläche aufzusteigen. Infiltrieren während der Inkubation zu viele Feinsedimente können die Poren verstopft sein und die Jungfische bleiben im Sedimentkörper gefangen.

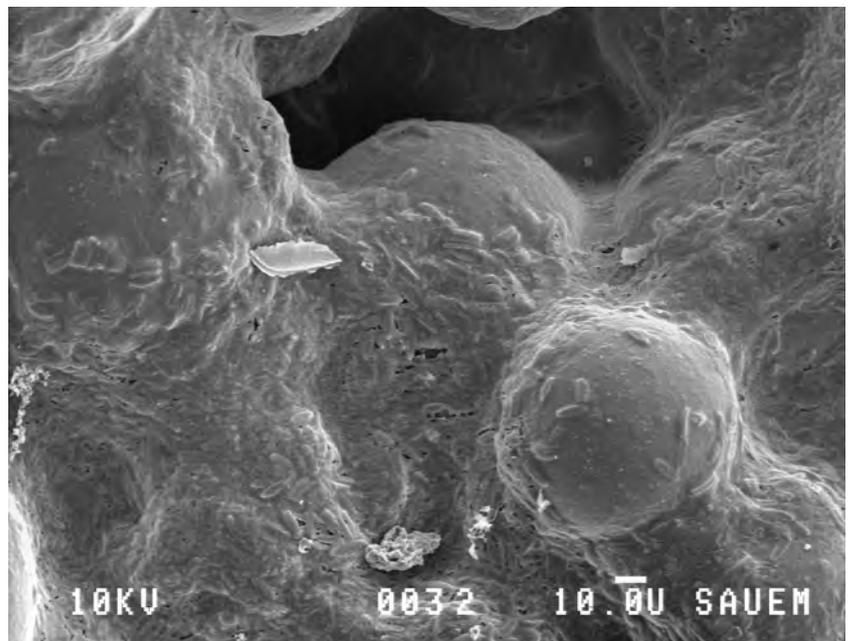
Durch die veränderte Morphologie und Struktur im Fließgewässer haben wir heute an vielen Stellen deutlich höhere Schwebstofffrachten als früher, wodurch es zusammen mit der fehlenden Umschichtung grober Sedimente zu einer zunehmenden Sedimentation feiner organischer Bestandteile über größerem Sediment kommen kann. Wenn Feinsedimente die grobe Sedimentmatrix vollständig bedecken, bzw. sogar in diese infiltrieren, spricht man von äußerer bzw. innerer Kolmation. Die Entwicklung von Kolmationsschichten kann nicht nur vorübergehend die Porenräume verstopfen, sondern auch längerfristig zu einer unnatürlichen Verfestigung des Gewässerbetts führen. An Feinsedimenten siedeln bevorzugt Mikroorganismen und diese bilden Biofilme mittels extrazellulärer Substanzen, mit welchen sie zusätzlich die Porenräume verkitten und die Stabilität erhöhen können (07).



07a

Kontrolle – Glasperlen frei von Bewuchs eingebettet in einer Schicht Wasser.

Letztlich wird der Austausch zwischen Grundwasserkörper und Oberflächenwasser massiv behindert. Des Weiteren können die organischen Bestandteile von Bakterien verstoffwechselt werden, wobei Sauerstoff verbraucht wird und es lokal zu stark reduzierten Milieubedingungen im Übergangsbereich zwischen Grund- und

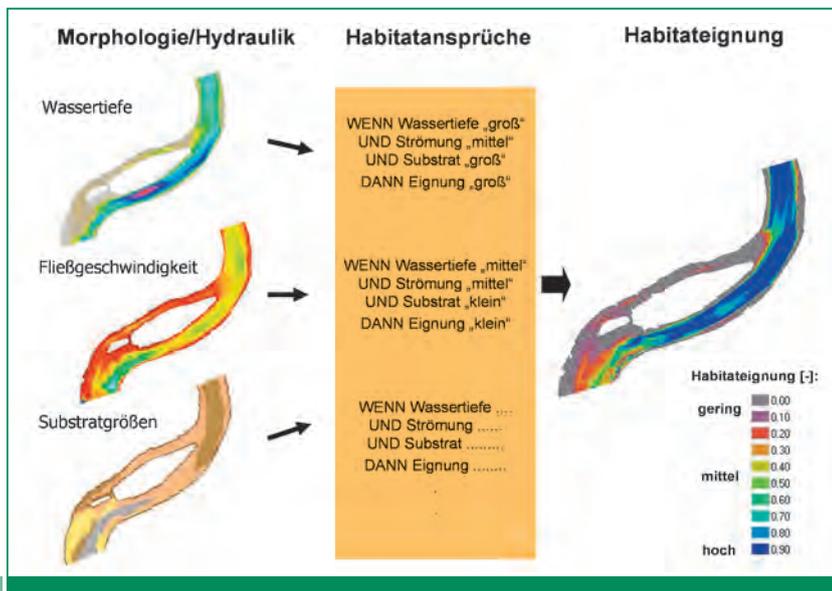


07b

Biofilm – Glasperlen überwachsen und verbunden durch Biofilm: Bakterien und Kieselalgen, einzelne zu sehen, bilden die sog. EPS Matrix (Lubarsky et al. 2010).

Oberflächenwasser kommen kann. Dieser Übergangsbereich – auch hyporheisches Interstitial genannt – findet in den letzten Jahren zunehmende Beachtung in der

Bewertung des ökologischen Zustandes, da er eine Verknüpfung zwischen aquatischen und terrestrischen Ökosystemen darstellt und als ein wichtiger Bioreaktor in Sachen Stoffumsatzprozesse fungiert.



08

Funktionsweise des Habitatmodells CASiMiR am Beispiel des Laichhabitats der Bachforelle.

Dennoch ist die Kolmation bislang kaum untersucht und stellt daher ein wichtiges Forschungsinteresse am Lehrstuhl für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft dar, das durch die enge, interdisziplinäre Arbeit von Ingenieuren und Biologen hier einzigartig angegangen werden kann. Für Revitalisierungsmaßnahmen und Schaffung von Reproduktionsarealen sind Simulationswerkzeuge als Planungsinstrumente zur Prognose von Lebensräumen und deren Quantität und Qualität notwendig, die sowohl die Ansprüche der Indikatorarten als auch die abiotischen Umweltfaktoren berücksichtigen. Dabei werden mit Hilfe mehrdimensionaler hydro- und morphodynamischer Modelle die Veränderung der abiotischen Kenngrößen wie Wassertiefen- und Fließgeschwindigkeitsverteilungen, Sohlhöhenänderungen oder Verteilung und Sortierung von Korngrößen in höher räumlicher und zeitlicher Auflösung simuliert, um Input-Daten für das am Lehrstuhl entwickelte Habitatmodell CASiMiR (Computer Aided Simulation Model for Instream Flow Requirements) zu generieren. CASiMiR verknüpft die abiotischen Daten mit Ansprüchen von Zeigerarten mittels eines multivariaten fuzzy-logischen Ansatzes, der die kombinierte Wirkung mehrere Eingangsdaten auf den Lebensraum einer Zei-

gerart berücksichtigt. Die Eingangsdaten beschreiben hierbei die abiotische Charakteristik eines Lebensraums. (08) zeigt die prinzipielle Funktionsweise von CASiMiR am Beispiel der Simulation von Laichhabitaten der Bachforelle unter Berücksichtigung der zeitlich variablen Eingangsdaten Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit und Substratgröße.

Das Ergebnis der Modellierung ist eine Prognose über die Eignung des Habitats mit einem Wert zwischen 0 (ungeeignet) und 1 (optimal geeignet), entsprechend dem Zusammenspiel der abiotischen Eingangsgrößen und deren Wirkungen auf die Lebensraumqualität, die in Form von WENN-DANN-Regeln formuliert werden. In (08) zeigt der Seitenarm ungeeignete Habitats an, da hier sowohl die hydraulischen Kenngrößen, als auch der Korngrößenbereich außerhalb der Werte liegen, welche die Bachforelle zum Laichen benötigt.

4. Fazit und Ausblick

Die Berücksichtigung dieser Parameter in CASiMiR kann nur ein Anfang sein, um bestmöglich die idealen Habitats zum Laichen zu identifizieren. Wie oben beschrieben, müssen weitere so genannte Schlüsselfaktoren für die Qualität eines Reproduktionshabitats erfasst werden, welche sich auch gerade unter der fortschreitenden Kolmation deutlich ändern können, wie z.B. Permeabilität, Wassertemperatur, Bioaktivität, hyporheischer Austausch oder Sauerstoffverfügbarkeit. Die aktuelle Forschung beschäftigt sich daher mit der Quantifizierung dieser zeitlich und räumlich stark heterogenen Prozesse, um möglichst alle relevanten Umweltfaktoren zu berücksichtigen und in der Habitatmodellierung zu implementieren. Von signifikanter Bedeutung in Habitatmodellen ist die Definition der abiotisch-biotischen Kopplungen, die nur durch Verknüpfung mehrerer Kompetenzbereiche aus verschiedenen Disziplinen (Beispiel Reproduktion: Hydromorphologie, Biologie, Hydrogeologie) adäquat formuliert werden kann und dieses Grundverständnis ist eine Voraussetzung für revitalisierende Maßnahmen. Ähnliches gilt für Sedimenttransportmodelle, denn auch hier ist bislang die Vorhersagekraft für kohäsives Material eingeschränkt, da weder die Biologie als

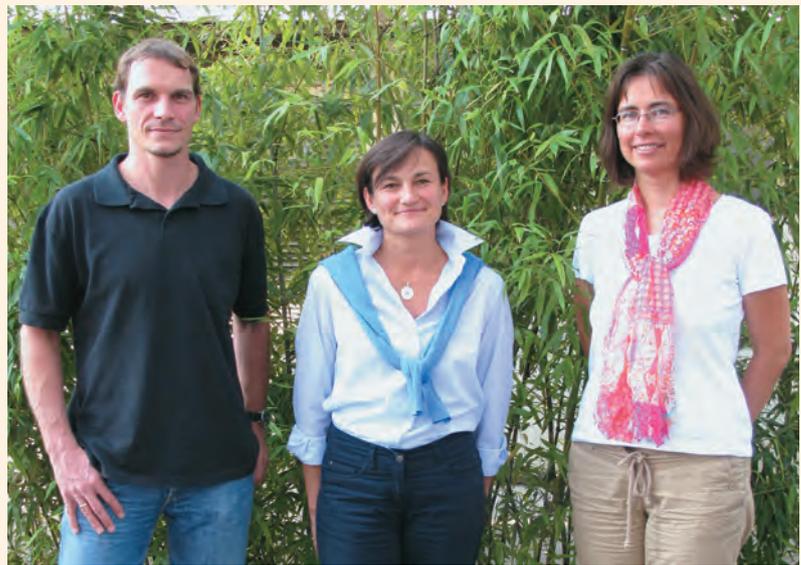
solche noch deren Interaktionen zu den physikalisch-chemischen Randbedingungen implementiert ist. Dabei beeinflusst das mikrobielle Wachstum und die Ausscheidung klebriger polymerer Substanzen entscheidend die Stabilität der Feinsedimente gegenüber erosiven Kräften sowie die Flockencharakteristik (Form, Größe, Dichte, Verbundstärke) des aufgewirbelten Sedimentes mit Konsequenzen für dessen weiteres Transport- und Depositionsverhalten. Nur mittels einer „Mehrweg“-Betrachtung durch die Vernetzung interdisziplinärer Kompetenzen ist ein Verständnis der komplexen Zusammenhänge zwischen Ökologie, Chemie, Sedimentologie und Hydromorphologie in Sedimenten möglich, welches eine wichtige Bedingung für entsprechende Bewirtschaftungsmaßnahmen ist. •

Silke Wieprecht,
Markus Noack, Sabine U. Gerbersdorf

Literatur

- Gerbersdorf, S.U., Hollert, H., Brinkmann, M., Wieprecht, S., Schuettrumpf, H. and W. Manz (2011): Anthropogenic pollutants affect ecosystem services of freshwater sediments: the need for a „triad plus x“ approach. *Journal of Soils & Sediments* (2011). DOI 10.1007/s11368-011-0373-0 Online FirstTM, 11 May 2011
- Lubarsky, H.V./Gerbersdorf, S.U., Hubas, C., Behrens, S., Ricciardi, F., Paterson, D.M. (2011): Impairment of the bacterial biofilm stability by triclosan. *PLoS ONE*, under review
- Lubarsky, H., Hubas, C., Chocholek, M., Larson, F., Manz, W., Paterson, D.M., and Gerbersdorf, S.U. (2010): The stabilisation potential of individual and mixed assemblages of natural bacteria and microalgae. *PLoS ONE*. <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0013794>
- Gerbersdorf, S.U., Westrich, B., and Paterson, D.M. (2009): Microbial Extracellular Polymeric Substances (EPS) in fresh water sediments. *Microbial Ecology* 58, 334–349.
- Gerbersdorf, S.U., Manz, W., and Paterson, D.M. (2008): The engineering potential of natural benthic bacterial assemblages in terms of the erosion resistance of sediments. *FEMS Microbiology Ecology* 66, 282–294.
- Noack, M. und S. Wieprecht (2010): An approach to simulate interstitial processes in river beds to meet biological requirements, *River Flow 2010, Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, Volume 2*, 1495–1502.
- Noack, M., Eisner, A., Wieprecht, S. und M. Schneider (2008): Auswirkungen von Stauraumspü-

DIE AUTOREN



Die interdisziplinäre Betrachtung von Fließgewässern ist ein Forschungsschwerpunkt des Lehrstuhls Wasserbau und Wassermengenwirtschaft am Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung. Dabei

werden unter anderen hauptsächlich zwei Ziele verfolgt: die Einbindung fluvialer dynamischer Prozesse basierend auf numerischen Simulationsmodellen in Habitatsimulationsmodellen sowie der biologische Einfluss auf die Sedimentstabilität. Unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Silke Wieprecht entwickelte sich der Lehrstuhl zu einem interdisziplinären Mitarbeiterfeld zu dem sowohl Ingenieure als auch Biologen gehören, um den komplexen Anforderungen der Fließgewässerökologie gerecht zu werden.

Prof. Dr.-Ing. Silke Wieprecht
(Mitte), Dr. rer. nat. Sabine
Gerbersdorf (rechts), Dipl.-Ing.
Markus Noack (links).

PROF. DR.-ING. SILKE WIEPRECHT

studierte an der TU München Bauingenieurwesen mit den Vertiefungen konstruktiver Wasserbau und Statik und promovierte an der Universität der Bundeswehr München im Bereich des Sediment-Transport. Vor ihrer Berufung war sie mehrere Jahre an der Bundesanstalt für Gewässerkunde tätig.

Kontakt

Universität Stuttgart
Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung
Lehrstuhl für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft
Pfaffenwaldring 61
70569 Stuttgart (-Vaihingen)
Tel. 0711/685-64752
Fax 0711/685-64746
E-Mail: lww@iws.uni-stuttgart.de
Internet: www.iws.uni-stuttgart.de/

lungen auf die Fließgewässerökologie, *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft* 2008, Nr. 6, 320–325.

- Wieprecht, S., Eisner, A. and M. Noack (2006): Modelling Approach to Simulate Habitat Dynamics, *River Flow 2006, Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, Volume 2*, 2055–2063.