

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

**Rutschmann, Peter; Bui, Minh-Duc; Abdelaziz, Shokry; Yao, Weiwei;
Rutschmann, Benjamin; Geiger, Franz**

Ökologische Modellierungen – drei Fallbeispiele

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische
Hydromechanik**

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103453>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Rutschmann, Peter; Bui, Minh-Duc; Abdelaziz, Shokry; Yao, Weiwei; Rutschmann, Benjamin; Geiger, Franz (2014): Ökologische Modellierungen – drei Fallbeispiele. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Simulationsverfahren und Modelle für Wasserbau und Wasserwirtschaft. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 50. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 323-332.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Ökologische Modellierungen – drei Fallbeispiele

Peter Rutschmann, Minh-Duc Bui, Shokry Abdelaziz,
Weiwei Yao, Benjamin Rutschmann, Franz Geiger

Der nachfolgende Beitrag stellt drei Fallbeispiele von ökologischen Modellierungen dar, wo sowohl numerische als auch physikalische Ansätze verwendet wurden. Die Möglichkeiten und Vorteile numerischer Modelle werden erläutert und die Notwendigkeit naturnaher, physikalischer Versuche mit lebenden Individuen wird aufgezeigt. Probleme von geometrisch verkleinerten, physikalischen Modellen in Zusammenhang mit nicht skalierbaren Lebewesen werden erwähnt und beispielhaft eine Skalierungs-Methodik für die Schädigung in Turbinen aufgezeigt.

Stichworte: Ethohydraulik, Habitat- und Populationsmodelle, Modellähnlichkeit

1 Einleitung

In den letzten Jahren haben in vielen Bereichen numerische Modelle die physikalischen Versuche ersetzt. Ein großer Vorteil numerischer Simulationen ist die rasche Modellerstellung, die einfache Veränderung der Randbedingungen und damit die Erörterung von Sensitivitäten. Gerade in Untersuchungen mit lebenden Organismen weist der numerische Ansatz Vorteile auf, weil systematische Parametervariationen möglich sind und oft nicht Zahlen und Werte, sondern Trends und Sensitivitäten interessieren. Allerdings können mit einer reinen Numerik alleine sehr oft keine Aussagen gemacht werden, da die Modelle mit Versuchen oder Naturbeobachtungen kalibriert werden müssen.

Nachfolgend sollen drei Untersuchungen vorgestellt und erläutert werden, welche die Methodik solcher Modellierungen und die Möglichkeiten der Versuchsanstalt in Oberrhein (VAO) für solche Untersuchungen aufzeigen.

2 Fallbeispiele

2.1 Beispiel 1: Habitatmodellierungen

Das Programm „Geschiebemanagement am Hochrhein“, das vom schweizerischen Bundesamt für Energie (BFE) und dem Regierungspräsidium Freiburg (Baden-Württemberg), gemeinsam in die Wege geleitet wurde, sollte die Möglichkeiten einer aktiven Geschiebemanagement untersuchen. Neben dem

Transport und der Zugabe von Geschiebe mittels Lastwagen, sollte auch eine Dynamisierung des Transports durch Stauabsenkungen bei Hochwasser untersucht werden. Dabei wollte man nicht nur wissen, welche Mengen durchtransportiert werden könnten, sondern auch, wie sich die Sohle in Bezug auf Lage und Zusammensetzung und damit auch auf die Eignung als Fischhabitat verändern würde. Neben ökologischen Aspekten war dem Hochwasserschutz Priorität einzuräumen.

Der Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU München wurde mit entsprechenden Untersuchungen beauftragt und entwickelte über einen Bereich von 52 km des Hochrheins, nämlich zwischen den Staustufen Ryburg-Schwörstadt und Reckingen, ein dreidimensionales Geländemodell, auf dem quasi-dreidimensionale Strömungsberechnungen gekoppelt mit fraktionierten Geschiebe- und Schwebstoffbewegungen durchgeführt wurden (Bui, 2013). Das am Lehrstuhl vorhandene Programm FAST2D wurde im Zuge dieser Untersuchung mit einem Fischhabitatmodell ergänzt, das im klassischen Sinne mit Präferenzkurven für unterschiedliche Spezies und Fischstadien arbeitet. In den Präferenzkurven der maßgebenden Parameter, werden die Lebensbedingungen einer bestimmten Spezies in einem bestimmten Lebensstadium mit einer Zahl zwischen 1 (sehr gut) bis 0 (ungeeignet) charakterisiert. Ein Index von größer 0,7 wird dabei als ein sehr gute Eignung erachtet. Meistens werden Präferenzkurven, Fließtiefe, Fließgeschwindigkeit und die Zusammensetzung des Sohlmaterials verwendet, fallweise zusätzlich auch die Wassertemperatur. Eine ganz spezielle Bedeutung fällt dabei der Kornzusammensetzung der Sohle zu, da dieser Parameter die Bedingungen in der Laichgrube und damit das Potential für die Reproduktion der Population definiert. Sehr oft wird in Habitatmodellen nur die Strömung dynamisch abgebildet, während sich die Flusssohle im Laufe der Zeit nicht verändert. Tatsächlich müsste sowohl die Dynamik der Sohle als auch der Fischpopulationen bei einer realitätsnahen Simulation abgebildet werden.

Auf die reinen Geschieberechnungen am Hochrhein sowie die Veränderungen der Sohlenlage soll hier nicht weiter eingegangen werden. Der Fokus dieses Beitrags liegt speziell auf der Habitateignung für den Äschelaich. Dazu wurde im numerischen Modell die Ganglinie von 1980 bis 2002 zweimal hintereinander durchlaufen, d.h. es wurden 44 Jahre Abflussgeschehen unter bewusst geänderten Randbedingungen und unter Verwendung von Stundenwerten in die Zukunft projiziert, um die Auswirkungen geänderter Randbedingungen abzuschätzen.

Wie Abbildung 1 zeigt kann durch eine gezielte Zugabe, sowohl in Bezug auf Menge und Körnung, eine entscheidende Habitatverbesserung erreicht werden (links) und die Eignung des Habitats ist starken, zeitlichen Schwankungen unterworfen (links).

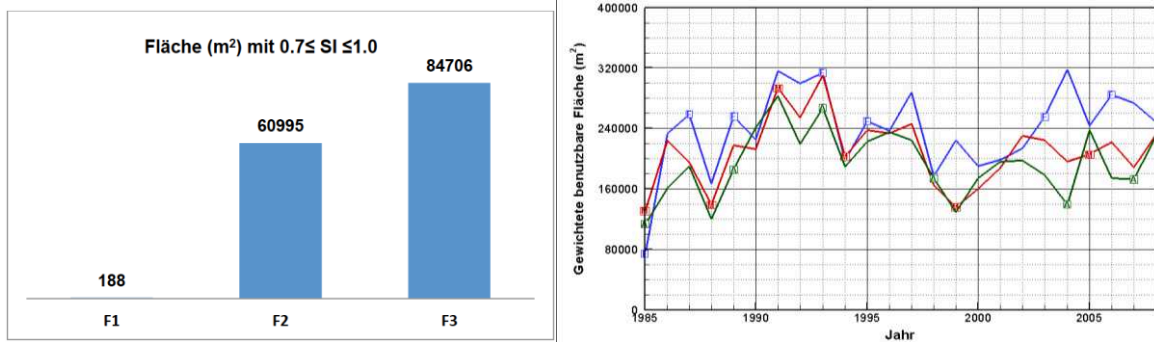


Abbildung 1: Flächenanteile an sehr guten Habitaten für unterschiedliche Geschiebezugaben (links) und Änderung der Habitatbedingungen für Äschelaich in unterschiedlichen Jahren während der Laichmonate (blau=Februar, rot=März und grün=April) nach *Bui* (2013)

Entscheidend im Sinne des Wasserhaushaltsgesetzes ist der Erhalt der Populationen, weswegen die Entwicklung von Populationen in Bezug auf Größe und Struktur interessieren. Abbildung 2 zeigt, wie die Entwicklung der Altersstruktur in ein Populationsmodell integriert werden kann. *N* stellt die Anzahl der Individuen dar, und der Index bezeichnet das Alter in Jahren. *S* sind die Sterberaten in einem Altersstadium und *F* die Fortpflanzungsraten. Die Größen *S* und *F* sind an die Habitateigenschaften gekoppelt.

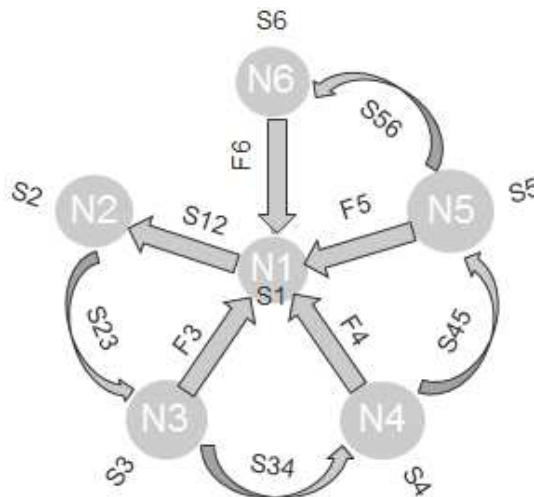


Abbildung 2: Entwicklung einer Population mit Sterberaten zwischen den Altersstadien (*S*) und Reproduktionsraten (*F*) (*Yao*, 2014).

In Abbildung 3 ist die Entwicklung der Forellenpopulation am Beispiel des Colorado Rivers dargestellt. Das Beispiel Colorado River wurde gewählt, da es besonders gut dokumentiert ist. Die Modellierungen berücksichtigen das zweidimensionale Fließfeld (Wassertiefe und Wassergeschwindigkeit), die Beschaffenheit der Sohle (mittlerer Korndurchmesser), die Temperatur des Wassers und die Sterbens- und Fortpflanzungsraten der Individuen in Abhängigkeit von deren

Alter. Diese Prozesse sind in Matrixform (Abbildung 3 oben links) implementiert. Auf der rechten Seite der Abbildung ist die Entwicklung bei guten Habitateigenschaften, d.h. ohne maßgebliche menschliche Eingriffe ins Gewässer, dargestellt. Ergebnisse mit identischen Randbedingungen aber einer Schädigung durch eine virtuelle Wasserkraftanlage sind in Abbildung 6 dargestellt und erläutert.

$$\begin{bmatrix} N_{1,t+1} \\ N_{2,t+1} \\ \dots \\ N_{i,t+1} \\ \dots \\ N_{n-1,t+1} \\ N_{n,t+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & F_1 & \dots & F_{n-1} & F_n \\ S_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{n-2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{n-1} & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} N_{1,t} \\ N_{2,t} \\ \dots \\ N_{i,t} \\ \dots \\ N_{n-1,t} \\ N_{n,t} \end{bmatrix}$$

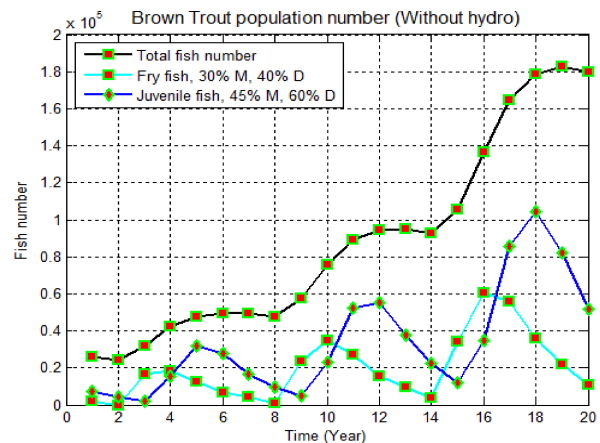


Abbildung 3: Entwicklung der Forellenpopulation am Colorado River ohne anthropogene Schädigungen der Population (Wasserkraftanlage).

2.2 Beispiel 2: Der Schwimmpfad von Fischen

Wenn man Fische von außerhalb eines Gewässers beobachtet, so könnte man annehmen, dass deren Bewegung zufällig sei. Es ist allerdings nicht anzunehmen, dass in einer Evolution über Millionen von Jahren sich nicht optimal an die Naturgegebenheiten angepasste Strategien entwickelten. Da es sehr aufwändig wäre, mit Naturbeobachtungen solche Strategien aufzudecken, haben wir uns entschieden, ein virtuelles Fischmodell zu entwickeln. Wir erwarteten zu Beginn lediglich, potentielle Einflussgrößen nach deren Signifikanz ordnen zu können.

Die Numerik hat den großen Vorteil, dass ein Fließfeld mit hoher Auflösung berechnet werden kann und somit an vielen, einzelnen Punkten dieses Fließfeldes – den Zellmittelpunkten des Rechnernetzes – alle Strömungsgrößen und deren Ableitungen vorliegen. Wir gingen davon aus, dass wir einem virtuellen Fisch Bewegungsgesetze vorgeben können und durch einen Vergleich mit dessen in der Natur beobachteten Bewegungen das Gesetz qualitativ verbessern könnten. Es gibt Untersuchungen, die Fische in der Natur beobachteten und die deren Schwimmpfade rapportieren. *Blank* (2008) führte Beobachtungen einer amerikanischen Forelle (cutthroat trout) durch und verglich deren Schwimmpfade mit dem Pfad des geringsten, bzw. des maximalen Energieverbrauchs. Nicht unerwartet kamen die Autoren zum Schluss, dass die Schwimmpfade tendenziell nahe dem Pfad eines minimalen Energieverbrauchs liegen. Die

Beobachtungen zeigten aber auch, dass es Bereiche und Strömungsmuster gab, wo das Verhalten von dieser Vorgabe abwich. Dies traf insbesondere für Bereiche hoher Geschwindigkeitsgradienten (nahe zusammenliegende Isotachen) zu. Aus diesen Beobachtungen schlossen wir, dass die Turbulenz bei der Entscheidung der Fische eine Rolle spielen würde. Ebenso konnte beobachtet werden, dass die Fische auch nach einer Vergleichmäßigung der Strömung sich noch eine Weile tendenziell von der Seite der Gefahr (hohe Turbulenz) fernhalten.

Abdelaziz (2013) baute das oben beschriebene Verhaltensmodell in das numerische Werkzeug Flow3D (FlowScience Inc., Santa Fe, USA) ein. Da Fische keine Roboter sind und deshalb nicht in Sekundenbruchteilen messerscharf und immer gleich entscheiden, und da die Strömung im natürlichen Fluss turbulenten Schwankungen unterworfen ist, wurde zur Implementierung des Bewegungsgesetzes ein Random-Walk-Ansatz verwendet. Bei diesem Ansatz gibt es ein stochastisches Element, um von einem vorgegebenen, gesetzmäßigen Verhalten mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit abzuweichen. Random-Walk-Verfahren werden beispielsweise bei der Ausbreitung von Schadstoffen eingesetzt: Die Richtung der Schadstoffausbreitung erfolgt nach Gesetz rein konvektiv und das Zufallselement erlaubt eine gewisse Abweichung von dieser strengen Vorgabe, um den physikalischen Prozess der Dispersion zu berücksichtigen. Die rein konvektive Ausbreitungsrichtung eines Schadstoffes erhielte deshalb in einem Random-Walk-Verfahren eine hohe Wahrscheinlichkeit zugeordnet, und mit geringerer Wahrscheinlichkeit würde der Stoffe von dieser rein konvektiven Vorgabe nach links, rechts, unten oder oben abweichen. Genauso wie Dispersionskoeffizienten in einer klassischen Berechnung bestimmt oder geschätzt werden müssen, so müssen auch beim Random-Walk-Verfahren die Wahrscheinlichkeiten der Abweichung kalibriert werden.

Die Analyse der Beobachtungen zeigte (siehe Abbildung 4), dass eine gute Übereinstimmung von berechneten und beobachteten Schwimmpfaden erreicht werden kann, wenn die Wahrscheinlichkeiten wie folgt verteilt werden: Gleiche Wahrscheinlichkeiten in alle Richtungen, wenn keine nennenswerten Geschwindigkeitsgradienten in Richtung der umliegenden Gitterpunkte vorliegen bzw. eine Verteilung der Wahrscheinlichkeiten von 50 % zu 30 % zu 20 % in die meist bzw. mindest präferierte Richtung beim Vorliegen von nennenswerten Geschwindigkeitsgradienten bzw. hoher Turbulenzen. Dabei ist die präferierte Richtung bei Vorliegen von Geschwindigkeitsgradienten in Richtung der kleinsten Geschwindigkeit und weg von starken Turbulenzen. Das beschriebene Modell kann, mit kleinen Änderungen, auch erfolgreich für Fischpässe eingesetzt werden und wird augenblicklich dazu optimiert, die Wahrscheinlichkeit des Auffindens einer Aufstiegsanlage abzuschätzen.

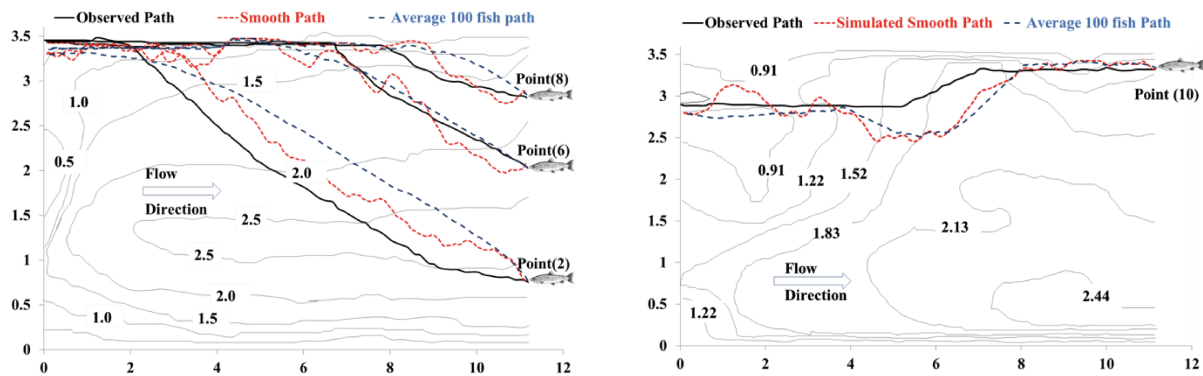


Abbildung 4: Schwimmprofile von Fischen in einem Durchlass (Abdelaziz, 2013).

2.3 Schädigung von Fischindividuen und Fischpopulationen in Turbinen

An der VAO wurde 2013 ein Prototyp des Schachtkraftwerks, eines neuen, am Lehrstuhl entwickelten und patentierten Wasserkraftkonzepts, gebaut. Die Anlage weist eine Fallhöhe von 2,5 m und einen Durchfluss von 1500 m³/s auf und ist mit einer kleinen, komplett getauchten Kaplanturbine der Firma Geppert (Hall in Tirol, Österreich) mit doppelter Regulierung, Permanentmagnetgenerator und 35 kW Leistung ausgerüstet.

Nachdem schon im Sommer 2011 Versuche mit großen Fischen, namentlich Forellen, Barben und Aitel durchgeführt wurden (Geiger, 2012), sollte diesmal das Verhalten von kleinen Fischen (kleiner als 20cm) im Bereich des Schachtkraftwerk-Einlaufs, deren Abstieg über den vorgesehenen Abstiegsweg und deren allfällige Schädigung in der Turbine untersucht werden. Dafür wurde die Prototypanlage so ergänzt, dass ein mit Netzen abgeschlossener Oberwasserbereich und zwei mit Lochblechen eingegrenzte Unterwasserbereiche eine Zählung der Fische und eindeutige Rekonstruktion der Migrationswege ermöglichten. Diese Anordnung ist in Abbildung 5 dargestellt.

Es wurden insgesamt neun Versuche durchgeführt. Der Verbleib von 609 eingesetzten Fischen sowie deren Wanderwege und allfällige Schädigungen konnten rekonstruiert werden. Von den 609 Fischen stiegen 127 ab, 81 davon über den Fischabstieg, 39 ohne jegliche Schädigungen durch die Turbine und 7 Fische kamen in der Turbine zu Tode. Außer einer Äsche, waren alle letal geschädigten Fische Bachforellen. Im Versuch starb keine einzige Koppe, obschon 18 Koppden Turbinendurchgang als Abstieg gewählt hatten Geiger (2013).

Bei diesen Versuchen stellte sich die Frage der „Modellähnlichkeit“, die sich mit lebenden Individuen im kontrollierten, zwar naturnahen aber doch verkleinerten Maßstab immer stellt.



Abbildung 5: 35 kW Prototypanlage an der Versuchsanstalt in Oberrach (VAO). Die mit Netz bzw. Lochblech eingegrenzten Bereiche im Oberwasser und Unterwasser sind ersichtlich.

Die Turbine, die wir an der VAO einsetzen, war wohl eine richtige Maschine, mit 35 kW Leistung und einem Laufraddurchmesser von 750 mm, aber immer noch ein Stück kleiner als die an typischen Standorten geplanten Turbinen und hatte eine sehr viel höhere Drehzahl. Demgegenüber waren Fallhöhe, Stababstand des Rechens und die eingesetzten Fische von der gleichen Längsdimension wie beim realen Kraftwerk. Es stellte sich also die Frage, wie sich die Mortalitäten, die an der VAO beobachtet wurden, auf die großen und langsamer drehenden Turbinen skalieren ließen. Bei solchen Fragestellungen ist es wichtig, dass nicht eine hydraulische Modellähnlichkeit zur Skalierung verwendet wird, sondern dass man versucht, die maßgebenden Prozesse korrekt abzubilden und mit möglichst physikalisch basierten Überlegungen da unterstützend einzugreifen, wo eine korrekte Abbildung nicht möglich ist. Versuchsergebnisse können dann herangezogen werden, um diese Ansätze nahe der Physik empirisch zu kalibrieren. Im vorliegenden Fall hat *Montén* (1991) eine Schädigungsformel für Salmoniden in Kaplan-turbinen entwickelt, die im Wesentlichen die Wahrscheinlichkeit einer Schädigung beim Turbinendurchgang in Abhängigkeit der Zeit darstellt, während der sich ein Fisch im Gefahrenbereich des Laufrades befindet. Diese Beziehung wurde verwendet, um die Schädigung für die Oberracher Turbine bzw. größere Turbinen in einem größeren, realen Kraftwerk zu berechnen. Die Übereinstimmung der Vorhersagen mittels der Formel von Montén auf

die Experimente in Oberrach war gut, und sie wurde deshalb für zwei Turbinen, mit Laufraddurchmessern von 1800 mm bzw. 2500 mm, und Drehzahlen von 155 U/min bzw. 104 U/min angewendet. Der entscheidende Punkt ist der, dass nicht die Vorhersagen selber für eine Prognose der Schädigung an den großen Turbinen verwendet wurden, sondern dass lediglich die Verhältnisse (prognostizierte Schädigung an der kleinen Maschine zur prognostizierten Schädigung an der großen Turbine) zur Hochskalierung der an der VAO gemessenen Resultate verwendet wurden (*Rutschmann und Rutschmann, 2014*). Die Resultate sind in der nachfolgenden Tabelle 1 in normierter Form (Anzahl geschädigte Forellen = 100 %) dargestellt. Es ist wichtig anzumerken, dass im Schachtkraftwerk wegen des sehr guten, mechanischen Schutzes alle Fische mit einer Länge größer als 200 mm vollständig geschützt sind.

Wegen der geringen Einlaufgeschwindigkeiten, kann der Stababstand beim Schachtkraftwerk sehr klein gewählt werden (bis 10 mm). Deshalb soll nachfolgend kurz dargestellt werden, welchen qualitativen Einfluss dieser Umstand auf die Entwicklung einer Fischpopulation hat. Dazu wird eine Forellenpopulation mit artentypischer Altersstruktur (Längenstruktur) und einer konstanten Schädigungsrate von 5% beim Turbinendurchgang angenommen. Der Rechen stellt für Fische mit einer Länge größer als etwa dem zehnfachen Stababstand einen vollständigen mechanischen Schutz dar. Je größer der Stababstand ist, desto größere, adultere und damit reproduktionsfähigere Individuen können geschädigt werden. In einer komplexen Simulation müsste auch die Abhängigkeit der Schädigung und die Wahrscheinlichkeit des Durchschwimmens des Rechens in Abhängigkeit der Individuengröße und des Stababstands berücksichtigt werden. Entsprechende Erkenntnisse liegen vor (*Cuchet und Rutschmann, 2014*). Bei den hier dargestellten Resultaten geht es lediglich darum, aus Sicht des Populationschutzes die Wichtigkeit der großen und starken Individuen qualitativ darzustellen (Abbildung 6). Die Resultate sind mit Abbildung 2 (rechts) zu vergleichen, wo bei identischen Randbedingungen die Populationsentwicklung ohne Schädigung durch eine Turbine dargestellt ist.

Tabelle 1 Schädigung von Fischen kleiner als 200mm, normiert (Forelle bei kleinster Turbine = 100 %) und skaliert auf größere Turbinen (*Rutschmann, 2014*)

Skalierung der Schädigung			
Prototyp mit 750 mm / 330 U/min	Forelle	Äsche	Koppe
Schädigung beim Turbinendurchgang (normiert)	100%	17%	0%
Kraftwerk mit 1800 mm / 155 U/min			
Schädigung beim Turbinendurchgang (normiert)	38%	6%	0%
Kraftwerk mit 2500 mm / 104 U/min			
Schädigung beim Turbinendurchgang (normiert)	26%	4%	0%

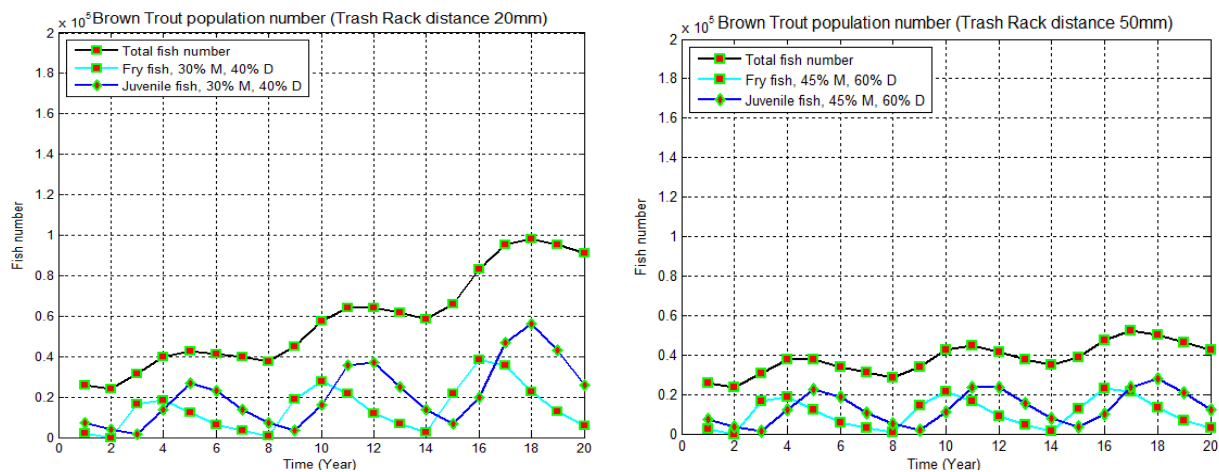


Abbildung 6: Entwicklung der Forellenpopulation am Colorado River mit fiktiver Wasserkraftanlage. Die Schädigungsrate wird mit 5%, der Stababstand mit 20 mm (links) bzw. 50 mm (rechts) angenommen. Siehe Abbildung 2 zum Vergleich.

3 Schlussfolgerungen

Die Relevanz ökologisch-hydraulischer Fragen nimmt laufend zu. Numerische Untersuchungen erlauben qualitative Aussagen, die aber durch Beobachtungen oder Versuche mit lebenden Individuen abgestützt werden müssen. Für die Übertragung von Versuchen mit lebenden Tieren gibt es keine strikten Gesetzmäßigkeiten. Es muss vielmehr darauf geachtet werden, die maßgebenden Prozesse korrekt und ohne Skalierung abzubilden und die Übertragung auf größere Längen durch empirisch abgestützte, nahe der Physik liegende Überlegungen zu ergänzen.

4 Literatur

- Blank, M. D. (2008): Advanced studies of fish passage through culverts: 1-d and 3-d hydraulic modeling of velocity, fish energy expenditure, and a new barrier assessment method, Doktorarbeit, Montana State University.
- Bui M.-D., Abdelaziz S.M.A., Rutschmann P. (2013): Hydromorphologische Berechnung und Fischhabitatmodellierung für den Hochrheinabschnitt zwischen KW Reckingen und KW Ryburg – Schwörstadt. Bericht LS für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Auftraggeber Bundesamt für Energie, Schweiz, und Regierungspräsidium Freiburg, Baden-Württemberg, 133 Seiten.
- Abdelaziz S.M.A. (2013): Numerical simulation of fish behavior and fish movement through passages. Dissertation, Ingenieurfacultät Bau Geo Umwelt, TU München, 144 Seiten.
- Cuchet M., Rutschmann P. (2014): Laboruntersuchungen zum Fischschutz und Fischabstieg an geneigten Rechen. Wasser- und Flussbau im Alpenraum, Int. Wasserbausymposium, Zürich, Schweiz, Tagungsband noch nicht erschienen.

- Geiger F., Sepp A., Rutschmann P. (2014): Prototypanlage Schachtkraftwerk – Konzept Mehrschachtanlage. Wasser- und Flussbau im Alpenraum, Int. Wasserbausymposium, Zürich, Schweiz, Tagungsband noch nicht erschienen.
- Geiger F., Cuchet M., Sepp A., Rutschmann P. (2012): Fischverhaltensuntersuchungen am Schachtkraftwerk. Wasser – Energie, Global denken – lokal handeln, Int. Wasserbausymposium, Graz, Österreich, S. 47-54.
- Montén E. (1985): „Fish and Turbines - Fish Injuries During Passage Through Power Station Turbines“, Vattenfall Report, ISBN 91-7186-247-1, 111 Seiten.
- Rutschmann P., Geiger F., Sepp A., Cuchet M. (2014): „Funktionskontrolle unter Laborbedingungen – Beispiel Schachtkraftwerk, Poster 4. Workshop des Forums Fischabstieg, 21. und 22. Januar 2014, Augsburg, Deutschland.
- Rutschmann P., Rutschmann B. (2014): Schädigung von Fischen im Schachtkraftwerk. Privatgutachten, 14 Seiten (unveröffentlicht).
- Yao W., Bui M. D. Rutschmann P. (2014): Application of habitat and population modeling in river management. Wasser- und Flussbau im Alpenraum, Int. Wasserbausymposium, Zürich, Schweiz, Tagungsband noch nicht erschienen.
- Yao W., et al (2014): Simulating dam effects on river deformation and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) population number. River Flow 2014, Lausanne, Schweiz, Tagungsband noch nicht erschienen.

Autoren:

Prof. Dr. Peter Rutschmann
Dr. Minh-Duc Bui

Lehrstuhl für Wasserbau
und Wasserwirtschaft
Technische Universität München
Arcisstraße 21
D-80333 München

Tel.: +49 089 28923161
Fax: +49 089 28923172
E-Mail: rutschmann@tum.de

M.Sc. Benjamin Rutschmann

Umweltphysikalische Beratungen
Fürstenweg 77
A-6020 Innsbruck

E-Mail: benjamin.rutschmann@gmx.at

M.Sc. Weiwei Yao
Dipl.-Phys. Franz Geiger

Lehrstuhl für Wasserbau
und Wasserwirtschaft
Technische Universität München
Arcisstraße 21
D-80333 München

Tel.: +49 089 28923161
Fax: +49 089 28923172
E-Mail: rutschmann@tum.de

Dr. Shokry Abdelaziz

Fakultät für Bauingenieurwesen
Universität Helwan
Kairo

E-Mail: shokry.abdelaziz@googlemail.com