



Doctoral Thesis

## **Predicting the consequences of river rehabilitation measures on morphology, hydraulics, periphyton and on invertebrates**

**Author(s):**

Schweizer, Steffen Patrick

**Publication Date:**

2007

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005347203> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 16838

**PREDICTING THE CONSEQUENCES OF RIVER  
REHABILITATION MEASURES ON MORPHOLOGY,  
HYDRAULICS, PERIPHYTON AND ON INVERTEBRATES**

A dissertation submitted to the  
Swiss Federal Institute of Technology ZÜRICH (ETHZ)

for the degree of  
Doctor of Sciences

presented by

**STEFFEN PATRICK SCHWEIZER**  
Masters of Geoecology, Technical University of Karlsruhe (Germany)  
Bachelor of Hydrology, University of Freiburg (Germany)

born 11.01.1973  
citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Peter Reichert, examiner  
Prof. Dr. Mark Borsuk, co-examiner  
Dr. habil. Nicolas Lamouroux  
Prof. Dr. Bernhard Wehrli, co-examiner

Zürich, Switzerland 2007

## Summary

Decisions about reach-scale river rehabilitation for the purposes of flood protection and ecological enhancement require prediction of the possible consequences of management alternatives. To provide such predictions, an integrative river rehabilitation model is necessary that represents the principal cause-effect relations between rehabilitation options and morphological, hydraulic, and ecological consequences. In 2000, the interdisciplinary "Rhône/Thur River Rehabilitation Project" was initiated to improve the understanding of the ecological and socio-economic consequences of river rehabilitation projects and to supply advice for future efforts. One subproject of this research program is the development of an integrative river rehabilitation model (IRRM) to predict the hydraulic-morphological situation after river management actions and the resulting changes in the terrestrial and aquatic ecosystems. The focus is on reach-scale rehabilitation actions that primarily involve widening the stream corridor and allowing the river to take a more natural course. Therefore, the primary decision is how much space to give the river so that an optimal trade-off between benefits and costs is obtained. Although developed for Midland rivers in Switzerland, the IRRM is intended to be as generally applicable as possible by using quantities that are either readily available or easily predictable even for a changed channel morphology.

The development of an integrative model usually requires scientific knowledge in a variety of forms including literature review, experimental and field results, other models, and, in the absence of other information, expert judgment. Implementing the IRRM as a probability network makes it relatively simple to combine different sources of information to represent cause-effect relations, to simultaneously consider different spatial and temporal scales, and to explicitly include uncertainties in model inputs, structure and outcomes.

Within this thesis the hydraulic-morphological sub-model (I) and the benthic sub-model (II) of the IRRM have been developed. Other sub-models describing fish, riparian vegetation, shoreline fauna and economics are being developed and reported separately by the Eawag-SIAM research group.

Because all biotic endpoints of interest are influenced by hydraulics and river morphology, sub-model I is focused on predicting variables that are required as inputs for the economic and biotic sub-models (riparian vegetation and fauna, Benthos, Fish). This sub-model I is further subdivided into four modules predicting: (1) channel morphology, (2) flooding (dike overtopping, floodplain flooding, and bed moving floods), (3) bivariate (joint) velocity and depth distribution, and (4) riverbed siltation.

For the modules (2) and (4) the major task was to compile results provided in the literature, estimate input and model structural uncertainty, and integrate the resulting model formulations in the probability network.

The prediction of channel morphology (module 1) is based on published formulae to determine the river form with and without width constraints. To identify possible width constraints an additional data analyses on 127 unconstrained gravel-bed rivers has been conducted to estimate a river's natural (unconstrained) width. Finally the gravel budget is considered in the model. The model presented in this thesis combines all key factors controlling channel morphology.

For module (3) work on univariate velocity and depth distributions was found in the literature, as well as indication of the ecological significance of the joint distribution. A derivation of a joint distribution (for a changed channel geometry) could, however, not be found. To close this gap, velocity-depth data from 92 relatively natural stream reaches in New Zealand and from 5 channelized Swiss river reaches was analyzed and a bivariate distribution could be found that describes these observations. For each reach, the bivariate distribution of relative velocity and relative depth can be described by a mixture of two end-member distributions, one bivariate normal and the other bivariate log-normal, each with fixed parameters. The relative contribution of each shape for a particular reach at a particular discharge can then be related to the reach mean Froude number, the reach mean relative roughness, and the ratio of the survey discharge to the mean discharge which can be easily estimated (even for a changed channel morphology) by applying sub-model I.

Considering all sources of uncertainty (in model inputs and model parameters) explicitly allows us to compute probabilistic model results which support decision making under uncertainty.

An application of the hydraulic morphological sub-model to a reach of the Thur River in Switzerland is described and demonstrates its utility for predicting morphological and hydraulic consequences of a planned river widening: Widening the Thur river from 30m (straight) to 200m will alter the morphology with a probability of 84% (28% probability for a braided form and 56% for the development of alternating gravel bars) and will increase the variability of the bivariate velocity-depth distribution significantly and thus augment habitat variability (rising the proportion of pools and riffles from approximately 5% to 50% at the expense of runs). Increasing the river widths leads generally to lower water depths and thus to a lower frequency of bed moving floods. Hence, a higher mean siltation of the river bed is predicted. However, a widened river is expected to be much more variable with respect to depth (controlling the distribution of bottom shear force) and contains 20 to 30 % more riffles which remain clear of fine particles due to their hydraulic conditions compared to a constrained river. Both of these phenomena will result in a mosaic of silted and clean riverbed sections in a widened river, rather than the spatial uniformity expected for a channelized river.

The second sub-model (II) of the IRRM has been developed to predict the biomass of periphyton and functional feeding groups of invertebrates which play an important role in

lotic ecosystems due to their ability to produce organic material, to decompose detritus and to serve as a food source for higher trophic levels (e.g. fish). To derive the periphyton model, data from 8 sites (3 different rivers, total sample size 286) have been used whereas the development of the invertebrate model is based on data from one river (2 sites, sample size 86). Performing linear and non-linear regression computations revealed that periphyton is most strongly influenced by the time since the last bed-moving flood occurred and from hydraulic conditions (in particular velocity), whereas invertebrate functional groups are predominantly dependent on seasonality. For total invertebrates, collector-gatherers, and predators, regression models could be developed with  $R^2$  values between 0.52 and 0.71. The representation of scrapers was somewhat less satisfying. Shredders and filterers were significantly less abundant in our data set and were therefore not modelled.

Having the diversity of the data sets and the simplicity of the model in mind, the models lead to a remarkably good agreement even with time series of measurements of periphyton, total macrozoobenthos, collector-gatherers and predators. The small number and simple nature of considered influence factors makes the model to a useful tool for predicting the effect of rehabilitation measures on the benthic community. Despite the model was derived with as many data sets as possible (available); a better support by data from additional rivers is necessary to test and improve its universality

The full integrative model (IRRM), including ecological endpoints, shall be used together with quantitative assessments of stakeholder preferences to support rehabilitation decisions for a number of Swiss rivers.

## Zusammenfassung

Entscheide über grossräumige Flussrevitalisierungen zur Verbesserung des Hochwasserschutzes und der ökologischen Lebensraumbedingungen erfordern Vorhersagen über die möglichen Konsequenzen verschiedener Alternativen. Dafür ist ein integratives Flussrevitalisierungsmodell nötig, das die wichtigsten Ursache-Wirkungs-Beziehungen von Flussaufweitungen auf die Flussmorphologie, Hydraulik und Ökologie abbildet. Innerhalb des interdisziplinären Forschungsprojekts „Rhone-Thur“ wurde ein solches integratives Flussrevitalisierungsmodell (IFRM) zur Vorhersage der hydraulisch-morphologischen Bedingungen nach einer Aufweitung und den daraus resultierenden Änderungen in den terrestrischen und aquatischen Ökosystemen entwickelt. Das IFRM konzentriert sich dabei auf grossräumige Massnahmen wie Flussaufweitungen, die wieder Raum für einen natürlicheren Flusslauf geben. Dabei ist entscheidend, wie viel Raum (welche Breite) einem Fluss (wieder) gegeben werden soll, um einen optimalen Kompromiss zwischen ökologischen und sozio-ökonomischen Verbesserungen und Kosten zu erreichen. Das IFRM wurde für schweizerische Mittelland-Flüsse entwickelt und als Modelleingabewerte werden nur leicht zugängliche (vor einer Aufweitung) oder auch für eine veränderte Flussmorphologie vorhersagbare Grössen berücksichtigt.

Die Entwicklung eines integrativen Modells basiert in der Regel auf verschiedenen Quellen wissenschaftlicher Erkenntnisse: Publikationen, Labor- und Feldversuche, anderer Modelle und auf die Beurteilung durch Experten. Das IFRM wurde als Wahrscheinlichkeitsnetzwerk implementiert, da dieser Ansatz auf eine relativ einfache Art die Verbindung verschiedener wissenschaftlicher Quellen (i), die simultane Betrachtung verschiedener räumlicher und zeitlicher Skalen (ii) und die explizite Berücksichtigung der Unsicherheit in den Modelleingangsgrössen, der Modellstruktur und den Modellergebnissen (iii) erlaubt.

Innerhalb dieser Doktorarbeit wurden die Teilmodelle „Hydraulik & Morphologie“ (I) und „Benthos“ (II) entwickelt.

Das Teilmodell „Hydraulik & Morphologie (I)“ konzentriert sich dabei auf die Vorhersage von Variablen, die von den biologischen Teilmodellen als Eingangsgrössen benötigt werden. Es ist in vier weitere Module unterteilt, die die sich einstellende Morphologie (1), die Häufigkeiten von Extremereignissen (Aufreissen des Flussbetts, Vorland- und Dammüberflutung) (2), die bivariate (gemeinsame) Verteilung von Fliessgeschwindigkeit und Abflusstiefe (3) sowie die innere Kolmation des Flussbetts (4) prognostizieren.

Die entscheidenden Aufgaben zur Entwicklung der Module (2) und (4) waren eine umfassende Zusammenstellung und Verknüpfung bereits bestehender Ansätze, die Berücksichtigung der Unsicherheit in Modelleingangsgrössen und Modellparametern sowie die Implementierung der Module in einem Wahrscheinlichkeitsnetz.

Für das Modul (3) konnten verschiedene Ansätze, die die univariate Verteilung von Fließgeschwindigkeit oder Abflusstiefe beschreiben, gefunden werden. Allerdings wurde in verschiedenen Publikationen die gemeinsame (bivariate) Verteilung dieser beiden Größen als ökologisch relevant betrachtet. In der wissenschaftlichen Literatur fehlt bisher ein Ansatz, der die bivariate Verteilung von Tiefe und Geschwindigkeit für eine sich ändernde Flussgeometrie (z.B. nach einer Aufweitung) vorhersagt. Um diese Lücke zu schliessen, wurden Geschwindigkeits-Tiefen Daten von 92 relativ natürlichen neuseeländischen Flüssen und von fünf kanalisierten schweizerischen Flüssen analysiert und es konnte eine bivariate Verteilung, die die Messdaten gut beschreibt, hergeleitet werden. Für jeden betrachteten Flussabschnitt kann eine bivariate Verteilung der relativen Geschwindigkeit und Tiefe durch eine Kombination von zwei bivariaten Verteilungen (bivariate Normalverteilung und bivariate Log-Normalverteilung) mit fixen Verteilungsparametern beschrieben werden. Der jeweilige relative Anteil dieser beiden fixen bivariaten Verteilungen kann dann für einen bestimmten Abfluss aus der mittleren Froude Zahl, der mittleren relativen Rauigkeit und dem Verhältnis von aktuellem zu mittlerem Abfluss hergeleitet werden. Diese Größen können mit dem Teilmodell „Hydraulik & Morphologie“ (auch für eine veränderte Flussmorphologie) berechnet werden.

Die Vorhersage der Flussmorphologie (Modul 1) basiert auf veröffentlichten Ansätzen zur Bestimmung der Morphologie mit und ohne seitliche Begrenzungen. Um mögliche seitliche Begrenzungen zu erkennen, wurde eine zusätzliche Datenanalyse von 127 seitlich unbegrenzten (natürlichen) Kiesbettflüssen durchgeführt, womit die natürliche Breite eines Flusses berechnet werden kann. Schliesslich wird auch der Geschiebehaushalt (Geschiebeeintrag vs. Transportkapazität in einem Flussabschnitt) berücksichtigt. Das in dieser Dissertation präsentierte Modul berücksichtigt alle entscheidenden Einflussfaktoren, die die Flussmorphologie bestimmen.

In einer Fallstudie an der Thur (zwischen Bürglen und Weinfeldern) werden der Einsatz und die Möglichkeiten des hydraulisch-morphologischen Teilmodells demonstriert. Wenn die Thur von aktuell 30m (kanalisiert, gerade) auf 200m aufgeweitet wird, beträgt die Wahrscheinlichkeit für eine Änderung der Flussmorphologie 84% (28% für ein verzweigtes Gerinne, 56% für die Entstehung alternierender Kiesbänke). Dies würde die Variabilität der bivariaten Tiefen-Geschwindigkeits Verteilung und damit die Variabilität benthischer Habitate signifikant erhöhen (der Anteil von „Pools“ und „Riffeln“ würde von 5% (Ist-Zustand) auf 50% ansteigen - auf Kosten der „Runs“). Eine grössere Flussbreite führt allgemein zu niedrigeren Abflusstiefen und daher zu einer verringerten Häufigkeit von bettaufreissenden Hochwässern. Daher ist für eine mögliche Aufweitung eine höhere mittlere Kolmation des Flussbetts (im Vergleich zum Ist-Zustand) prognostiziert. Allerdings kann bei einem aufgeweiteten Fluss eine höhere Variabilität der Abflusstiefe und ein höherer Anteil an Riffeln (20-30%) erwartet werden. Aufgrund ihrer hydraulischen Bedingungen kolmatieren Riffel in der Regel nicht. Dies führt zu

einem Mosaik von kolmatierten und unkolmatierten Bereichen in einem aufgeweiteten Fluss - im Gegensatz zu einem gleichmässig kolmatierten Bett eines kanalisiertes Flusses.

Das Teilmodell „Benthos“ (II) wurde entwickelt, um die Entwicklung der Biomasse des Periphytons (Algen) und der funktionellen Ernährungsgruppen der Wirbellosen vorherzusagen. Diese spielen eine wichtige Rolle in Fliessgewässern, da sie Nährstoffe aus der fliessenden Welle und dem Sediment aufnehmen und daraus lebende organische Substanz bilden, abgestorbenes organisches Material wieder abbauen und als Futter für höhere trophische Stufen (z.B. Fische) dienen. Zur Entwicklung des Periphyton Modells wurden Daten von 8 unterschiedlichen Stellen (an 3 verschiedenen Flüssen, Gesamtprobenzahl = 286) verwendet, für das Invertebratenmodell zwei Stellen von einem Fluss (n=86). Lineare und nicht-lineare Regressionsrechnungen zeigen, dass die Algenbiomasse massgeblich von der Zeit seit dem letzten bettaufreissenden Hochwasser und von hydraulischen Bedingungen (v.a. Fliessgeschwindigkeit) bestimmt wird. Saisonale Effekte bestimmen massgeblich die Gesamtbioasse der Invertebraten und ihrer Ernährungsgruppen. Während für die Gesamtbioasse der Invertebraten sowie für die Bioasse der Sammler und der Räuber gute Regressionsmodelle mit  $R^2$  zwischen 0.52 und 0.71 entwickelt werden können, erzielen die besten Modelle für Weidegänger  $R^2 = 0.31$ . Die Ernährungsgruppen der Zerkleinerer und Filterer wurden aufgrund sehr geringer Biomassen in den Datensätzen nicht modelliert.

Die Modellentwicklung und -komplexität werden durch die relativ kleine Anzahl an kompletten Datensätzen limitiert. Zusätzliche Datensätze mit längeren Zeitreihen der Biomassen von Algen und Wirbellosen sowie Daten über die entscheidenden Einflussfaktoren wären für die Weiterentwicklung dieser einfachen Modelle äusserst hilfreich.

Das fertig gestellte IFRM soll gemeinsam mit einer quantitativen Abschätzung der Präferenzen aller Interessensvertreter (stakeholder) den Prozess der Entscheidungsfindung bei Flussrevitalisierungen unterstützen.