



# **TRANSIENT RIVER HABITAT MODELING FOR MACROZOOBENTHOS IN HYDROLOGICALLY DYNAMIC RUNNING WATERS**

An der  
Fakultät Bauingenieurwesen  
der Technischen Universität Dresden  
zur Erlangung der Würde eines  
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) eingereichte

## **DISSERTATION**

von  
Sengdavanh Thepphachanh, M.Sc  
geboren am 14.02.1993 in Vientiane, Laos

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Stamm (Technische Universität Dresden)  
Prof. Dr.rer.nat.habil. Thomas U. Berendonk (Technische Universität Dresden)  
apl Prof. Dr. Gregory Egger (Karlsruher Institut für Technologie)

eingereicht am: 01. September 2023  
verteidigt am: 16. November 2023

## ABSTRACT

There have been growing concerns over the decline of healthy river ecosystems and the severe consequences this decline could have on biodiversity, ecosystem services, and human well-being. These concerns have led to increased efforts in river restoration around the globe, which aim to improve the ecological health and functioning of rivers. The restoration is usually done by implementing strategies such as hydromorphological adaptation and flow management. These measures, nevertheless, do not guarantee the recovery of river ecosystems. This is because there are multiple factors contributing to the success of restoration projects, which can vary depending on the specific characteristics of each river system.

Habitat modeling, one of the most widely used ecological quality assessment tools for rivers, has been applied in the evaluation of restoration projects. An aquatic ecosystem is complex, and its dynamic nature requires a comprehensive understanding of the interconnections between biotic and abiotic components. These components also have a high degree of spatial and temporal variability. Therefore, it is crucial that approaches and modeling techniques be tailored to capture this dynamic. In the assessment of river restoration, for instance, habitat modeling needs to account for the changes in flow patterns, sediment transport, water quality, and habitat availability/quality for the key indicator species that result from the restoration efforts.

This study addresses the need for developing an integrated approach to habitat modeling, particularly for macrozoobenthos, an important indicator of river health that plays a crucial role in the functioning of aquatic ecosystems. The primary research objective is to improve the existing modeling framework (TRiMM) by focusing on three key aspects: 1) expanding the prediction factors of physical habitat that influence habitat suitability for macrozoobenthos; 2) integrating fuzzy algorithms in the suitability assignment process; 3) incorporating species' (re-)colonization capacity and habitat temporal variability into habitat connectivity assessment.

The model adopts the fuzzy logic method in the habitat module to account for the interactions between various factors described in the habitat template (Poff & Ward, 1990). Moreover, the model considers both spatial and temporal changes in habitat parameters by running a transient simulation over a specific time period relevant to the life cycle requirements of the target species. This allows for a more accurate representation of the dynamic nature of river habitats and provides valuable insights into how they may change over time. Additionally, the model incorporates species' (re-)colonization potentials into habitat connectivity analysis by considering their dispersal capabilities. This helps in understanding how changes in habitat

parameters can affect the overall connectivity of river habitats, which is crucial for assessing the resilience and sustainability of the systems.

The proposed transient habitat modeling (TRiMM 2.0) is applied to two case studies of low-order rivers in Germany. The first case study focuses on a river that has been restored after a period of degradation. The habitat model was tested with sampling data, and the results reveal that the model improved when additional variables related to habitat were included. The second case study was a simulation of habitat suitability and connectivity in a hypothetical river reach. Hydraulic and morphological factors (water depth, velocity, temperature, and sediment) are simulated over a period of four years using SRH-2D. The simulation results showed that hydraulic and morphological factors had a significant impact on sediment characteristics, which in turn influenced habitat suitability and connectivity. This study also highlights the importance of considering multiple variables and their interactions when assessing river habitats. Additionally, the use of transient modeling provides information about long-term changes in habitat quality and connectivity.

## KURZFASSUNG

Die Besorgnis über den Rückgang gesunder Flussökosysteme und die schwerwiegenden Folgen, die dieser Rückgang für die biologische Vielfalt, die Ökosystemleistungen und das menschliche Wohlergehen haben könnte, hat zugenommen. Diese Bedenken haben weltweit zu verstärkten Bemühungen um die Wiederherstellung von Flüssen geführt, die darauf abzielen, die ökologische Gesundheit und Funktionsfähigkeit von Flüssen zu verbessern. Die Wiederherstellung erfolgt in der Regel durch die Umsetzung von Strategien wie eine hydromorphologische Anpassung oder dem Abflussmanagement. Diese Maßnahmen sind jedoch keine Garantie für die Erholung von Flussökosystemen, denn der Erfolg von Renaturierungsprojekten hängt von zahlreichen Faktoren ab, die je nach den spezifischen Merkmalen des jeweiligen Flusssystems variieren können.

Die Habitatmodellierung, eines der am häufigsten verwendeten Instrumente zur Bewertung der ökologischen Qualität von Flüssen, wird in der Renaturierung eingesetzt. Ein aquatisches Ökosystem ist komplex, und seine Dynamik erfordert ein umfassendes Verständnis der Zusammenhänge zwischen biotischen und abiotischen Komponenten. Diese Komponenten weisen zudem ein hohes Maß an räumlicher und zeitlicher Variabilität auf. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, dass die Ansätze und Modellierungstechniken darauf zugeschnitten sind, diese Dynamik zu erfassen. Bei der Bewertung von Flussrenaturierungsmaßnahmen muss die Modellierung die Veränderungen in den Abflussmustern, dem Sedimenttransport, der Wasserqualität, der Verfügbarkeit und Qualität der Habitate für die Indikatoren der Schlüsselspezies berücksichtigen.

Diese Arbeit befasst sich mit der notwendigen Entwicklung eines integrierten Ansatzes für die Habitatmodellierung des Makrozoobenthos, welches eine entscheidende Rolle für das Bestehen aquatischer Ökosysteme einnimmt und ein wichtiger Indikator für die Gesundheit von Flüssen ist. Das primäre Forschungsziel ist die Verbesserung des bestehenden Modellierungsansatzes (TRiMM) mit dem Fokus auf drei Schlüsselaspekte: 1) Erweiterung der Vorhersagefaktoren für die Habitateignung des Makrozoobenthos; 2) Integration von Fuzzy-Algorithmen zur Berechnung der Habitateignung; 3) Einbeziehung der (Wieder-)Besiedlungsfähigkeit der Arten und der zeitlichen Variabilität der Habitate in die Bewertung der Habitatkonnektivität.

Das Modell verwendet die Fuzzy-Logik-Methode um die Wechselwirkungen der im Habitatkonzept beschriebenen Faktoren zu berücksichtigen (Poff & Ward, 1990). Darüber hinaus berücksichtigt das Modell sowohl räumliche als auch zeitliche Veränderungen der Habitatparameter, indem es eine instationäre Simulation über einen bestimmten Zeitraum durchführt, der den Anforderungen des Lebenszyklus der Zielart entspricht. Dies ermöglicht eine genauere Darstellung des dynamischen Charakters von Flusshabitaten und liefert