

DISS. ETH Nr. 19814

# Integrating terrestrial stages of aquatic insects into studies of dispersal and recruitment in streams

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels

DOKTORIN DER WISSENSCHAFTEN

der

ETH ZUERICH

vorgelegt von

Maria Alp

Dipl. Biologie, Humboldt-Universität zu Berlin  
geboren am 05. August 1981  
von Tallinn, Estland

Angenommen auf Antrag von

PD Dr. Christopher T. Robinson  
Prof. Dr. Jukka Jokela  
Dr. Armin Peter  
Prof. Dr. Klement Tockner

2011

# Summary

Streams have been severely degraded by human activities in the last centuries, which had dramatic effects on aquatic organisms. With the aim of recovery of healthy and diverse aquatic communities, much effort has been put lately into river restoration. However, focusing on local habitat restoration, a common approach, has often proved insufficient for achieving this goal. In fact, colonization constraints were identified as one of the principal factors limiting river restoration success. Understanding mechanisms of dispersal and recruitment of aquatic organisms has therefore become a major goal, not only for advancing ecological theory but even more importantly for improving existing watershed management approaches.

Dispersal is a major prerequisite for habitat colonization, but also for maintaining gene flow between populations and migration between different habitats. Traditionally, many dispersal studies on stream organisms have focused on processes occurring in aquatic environments. However, recently the importance of considering the entire life-cycle of aquatic organisms - including terrestrial stages of species with aquatic life-history - has been widely recognized. In the case of aquatic insects, the short-lived winged adults can play a crucial role both for completing the life-cycle and for dispersal, which for them takes place outside of aquatic environments thus being unconstrained by water flow direction or by in-stream barriers.

The presented dissertation looked at the relevance of certain life-cycle traits for dispersal and recruitment of aquatic invertebrates, with a particular focus on adult aquatic insects. We first chose an experimental approach to investigate whether reduced substrate availability in streams with degraded morphology can become a constraint for insects with specialized oviposition behavior. In the second study, we worked at the catchment scale and compared population genetic structure of two aquatic macroinvertebrates strongly differing in their life-cycle traits and ecology. We used stable isotope analysis in the third project to study the role of emerging aquatic insects for the links between aquatic and riparian compartments of headwater stream food webs.

Our results suggest that specific biological traits, such as oviposition on certain substrate types, can set local constraints for successful reproduction in the context of modified environments. For some species, these are not only defined by local morphological factors but can also be strongly influenced by large-scale factors such as

hydrological regime. However, we emphasize the importance of considering the totality of the traits relevant for population maintenance and habitat colonization. While some traits can lead to constraints in, e.g., local recruitment, others, such as strong dispersal capacity, can play a compensatory role, allowing the species to move within the landscape and access suitable habitats elsewhere. Species-specific traits also play a role for determining the magnitude of food-web links between the aquatic and riparian community. Comparing two headwater streams with strongly differing composition of benthic community, we found pronounced differences in the use of aquatic-derived subsidies by riparian spiders. Taxon-specific mode of emergence and behavior in the terrestrial environment seemed to play an important role for susceptibility to riparian predation.

Several recommendations for management can be derived from our conclusions. Simple cost-effective restoration techniques such as boulder addition can be beneficial for recruitment of many aquatic invertebrates, creating oviposition hotspots especially in channelized middle-sized streams. Furthermore, our results suggest the importance of a holistic landscape perspective when planning local river management, especially river restoration. Reach location within the stream network can play a major role, especially for species with predominantly passive dispersal: habitats downstream of nearby source populations are more likely to be colonized. Large-scale stream characteristics such as the hydrological regime can play a crucial role overriding reach-scale settings and eventually limiting local restoration success.

# Zusammenfassung

In letzten Jahrhunderten wurden Flüsse stark durch menschliche Aktivitäten beeinträchtigt, mit schwerwiegenden Effekten auf aquatische Organismen. In letzter Zeit wurde versucht mit Flussrevitalisierungsmassnahmen zu gesunden und diversen aquatischen Lebensgemeinschaften zurückzukehren. Den Schwerpunkt auf lokale Wiederherstellung der Habitate zu setzen, ein weitverbreiteter Ansatz, hat sich jedoch nicht bewährt. Gewährleistung der Wiederbesiedlung von Habitaten wurde als eine der wichtigsten Voraussetzungen für das Erfolgspotential der Revitalisierungen identifiziert. Damit ist die Erforschung von Mechanismen der Verbreitung und Reproduktion aquatischer Organismen zu einem wichtigen Ziel geworden - nicht nur für die Erweiterung des Wissens über die aquatische Fauna sondern auch für die Entwicklung effizienterer Ansätze im Flussmanagement.

Die Mobilität von Organismen spielt eine wichtige Rolle für die Besiedlung neuer Habitate aber auch für den genetischen Austausch zwischen Populationen und Migration zwischen verschiedenen Lebensräumen. Traditionell haben Studien über die Verbreitung aquatischer Organismen den Fokus auf Prozesse gelegt, die im Wasser stattfinden. In der letzten Zeit wurde jedoch immer stärker erkannt, dass der gesamte Lebenszyklus aquatischer Organismen - inklusive terrestrischer Phasen bei Arten mit amphibischer Lebensweise - berücksichtigt werden muss. Bei aquatischen Insekten, spielen die kurzlebigen, beflügelten Imagines eine entscheidende Rolle, sowohl für den erfolgreichen Abschluss des Lebenszyklus als auch für ihre Verbreitung, die ausserhalb des Wassers und somit unbeeinflusst von der Richtung des Wasserstroms und Barrieren im Wasserlauf stattfinden kann.

In dieser Doktorarbeit wurde der Einfluss spezifischer Merkmale des Lebenszyklus auf die Verbreitung und Reproduktion aquatischer Makroinvertebraten untersucht. Adulte aquatische Insekten stehen im Mittelpunkt der hier präsentierten Forschung. Im ersten Kapitel haben wir mit einem Feldexperiment untersucht, ob Substratverfügbarkeit in verbauten Flüssen die Reproduktion von Insekten mit spezialisiertem Eiablageverhalten limitieren kann. Im zweiten Kapitel haben wir die populationsgenetische Struktur zweier Makroinvertebraten mit stark unterschiedlichen Verbreitungsweisen und Ökologie in einem Flussgebiet verglichen.

Mit Hilfe von Isotopenanalysen haben wir schlussendlich auch die Rolle der

emergierenden aquatischen Insekten für die Verbindungen zwischen aquatischen und Ufer-Nahrungsnetzen in Oberläufen untersucht.

Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass taxon-spezifische Eigenschaften, wie z.B. Eiablage auf einem bestimmten Substrattyp, das Potential für eine erfolgreiche Reproduktion in verbauten Flüssen lokal limitieren können. Solche Limitierungen können für manche Arten nicht nur durch lokale flussmorphologische Faktoren, sondern auch durch grossräumige Faktoren, wie etwa Abflussregime, bedingt sein. Der Vergleich der Ergebnisse der ersten und der zweiten Studie zeigt aber, dass es wichtig ist, die Gesamtheit der Eigenschaften der Taxa, die für die Erhaltung der Populationen und das Kolonisationspotential der Arten relevant sind, zu berücksichtigen. Während bestimmte Eigenschaften der Taxa ihre Möglichkeiten für Reproduktion lokal stark limitieren können, können andere, sowie z.B. gute Verbreitungsfähigkeit, eine ausgleichende Rolle spielen, indem sie es Organismen erlauben, geeignete Habitate in der Flusslandschaft zu erreichen. Unterschiede in bestimmten Merkmalen, können auch die Stärke der Vernetzung zwischen aquatischen und terrestrischen Nahrungsketten beeinflussen. Beim Vergleich zweier Bergbäche mit sehr unterschiedlicher Zusammensetzung der benthischen Gemeinschaft konnten wir grosse Unterschiede im Anteil aquatischer Beute in der Diät von Uferspinnen finden. Wir erklären diese Unterschiede unter anderem durch unterschiedliches Emergenz- und Flugverhalten der jeweils dominanten aquatischen Insekten in den untersuchten Bächen, welches unterschiedliche Anfälligkeit gegenüber den Prädatoren verursachen könnte.

Auf Basis unserer Untersuchungen können wir einige praxisrelevante Empfehlungen herleiten. Einfache, kostengünstige Revitalisierungsmassnahmen wie etwa das Einbringen grosser Steine ins Flussbett können den Reproduktionserfolg vieler aquatischer Makroinvertebraten in kanalisierten Flussmittelläufen fördern. Unsere Ergebnisse deuten auch darauf hin, dass beim Flussmanagement und besonders der Planung lokaler Revitalisierungsmassnahmen, immer auch das Flusssystem grossräumig betrachtet werden sollte. Die Lage des konkreten Abschnittes im Flussnetzwerk kann für Arten mit überwiegend passiver Verbreitungsweise eine wichtige Rolle spielen: Habitate flussabwärts potentieller Quellpopulationen haben die besten Chancen kolonisiert zu werden. Auch grossräumige gewässerspezifische Faktoren wie das Abflussregime müssen berücksichtigt werden: ihre Effekte können potentiell die Effekte der lokalen Verhältnisse (wie Flussmorphologie) überlagern und dadurch den Revitalisierungserfolg begrenzen.