

## 2 Öko-hydrodynamische Modellierung von Auen-Lebensräumen

Die Verfügbarkeit von Lebensräumen für auenbewohnende Pflanzen ist abhängig von Klima- und Bodeneigenschaften sowie den lokalen hydro-morphologischen Bedingungen eines Fliessgewässers. Zur Vorhersage geeigneter Lebensräume für die Deutsche Tamariske (*Myricaria germanica*), eine typische Pflanze auf Kiesbänken der Auen, wurde ein grossräumiges ökologisches Modell mit einem zweidimensionalen hydrodynamischen Modell verknüpft. Dieses Kapitel beschreibt den Modellierungs-Workflow sowie eine Anwendung entlang der Moesa (GR).

Erik van Rooijen, Davide Vanzo, David Vetsch, Annunziato Siviglia und Sabine Fink

### 2.1 Modellierung von Lebensräumen in Flusslandschaften

Flusslandschaften setzen sich aus einer Vielzahl von Landschaftsformen zusammen, die unterschiedliche Habitate für terrestrische, aquatische und amphibische Arten beherbergen. Ein Habitat ergibt sich aus bestimmten physikalischen und biotischen Faktoren und stellt einen geeigneten Standort für die Etablierung, das Überleben und die Fortpflanzung einer Art dar (Abb. 7).

Die Identifizierung und Quantifizierung von Lebensräumen ist für das Management von Flusslandschaften von grundlegender Bedeutung. Umfang und Vielfalt der Habitate sind direkt mit der Biodiversität und der ökologischen Widerstandsfähigkeit einer bestimmten Umgebung verknüpft (s. Kap. 5; Rachelly *et al.* 2023). Die Habitatanalyse bietet praktische Anwendungen für das Fliessgewässermanagement, z. B. um die Folgen von Veränderungen der Umweltbedingungen wie etwa des hydrologischen Regimes (z. B. natürliche Hochwasser) oder des Klimas (z. B. Temperaturanstieg) auf die Zielpflanzen- oder tierarten zu bewerten. Analysen von Flusshabitaten

#### Abbildung 7

Die hochdynamische Flusslandschaft entlang der Moesa bei Cabbio (GR) beherbergt adulte Deutsche Tamarisken (*Myricaria germanica*) (a) in teilweise feuchten Bereichen (Pflanze mit Blüten im Vordergrund), die auch Trockenperioden überstehen. (b) Adulte Pflanzen überleben auf Kiesbänken und (c) Keimlinge siedeln sich auf feuchtem, sandigem Boden an.



ermöglichen beispielsweise die Identifizierung und Quantifizierung geeigneter Gebiete für die Etablierung von Samen oder für das Laichen von Fischen. Solche Ergebnisse liefern quantitative Unterstützung für Entscheidungen im Fließgewässermanagement, die dem Schutz der Arten dienen, wie etwa die Auswahl der besten Standorte, in denen Samen einer gefährdeten Pflanzenart künstlich ausgesät oder ein effektiverer Fischbesatz geplant werden können.

Ökologische Modelle (s. Kap. 1; Fink und Scheidegger 2023) sind informative, vereinfachte Darstellungen von Teilen der tatsächlichen Gegebenheiten. Sie helfen uns, die Kernelemente komplexer Prozesse zu verstehen, und können auf verschiedenen räumlichen Skalen – von lokal bis global – angewendet werden. Habitatmodelle wurden in diversen Kontexten eingesetzt, z. B. zur Beurteilung der Verbreitung von Schmetterlingsarten (Maggini 2011) und der Verletzlichkeit von Vogelarten (Maggini *et al.* 2014) in der Schweiz. Im Zusammenhang mit Fließgewässern werden solche Modelle häufig zur Quantifizierung von Fischhabitaten (z. B. MesoHABSIM; Parasiewicz 2011), aber auch für die Vegetationssukzession in Flusslandschaften (CASIMiR-Vegetationsmodell; Ecohydraulic Engineering GmbH 2019) verwendet.

In diesem Kapitel präsentieren wir einen Workflow zur Habitatmodellierung für die Deutsche Tamariske (*Myricaria germanica*), einer Strauchart, die auf der Roten Liste steht (Abb. 7). Diese typische Pionierpflanze wächst auf Kiesbänken in dynamischen Auen-Lebensräumen und hat je nach Lebensstadium spezifische Anforderungen an das Habitat. Für adulte Sträucher sind Klima, Geologie, Topografie und Hydraulik wichtig. So ist beispielsweise eine häufige Sedimentumlagerung erforderlich, damit die Strauchart nicht von anderen Pionierarten wie Weiden (*Salix* spp.) verdrängt wird. Adulte Pflanzen beginnen nach zwei Jahren zu blühen, wenn die Lufttemperatur im Spätfrühling und Sommer ausreichend hoch ist. Einzelne Hochwasserereignisse können dazu führen, dass junge Deutsche Tamarisken weggeschwemmt oder begraben werden. Die Umweltbedingungen müssen also mehrere Jahre günstig bleiben, damit sich die Pflanzen voll etablieren können.

Die Samen der Deutschen Tamariske keimen innerhalb von 24 bis 48 Stunden auf feuchtem Sand, d. h. in Gebieten, die unlängst überflutet wurden. Ein günstiger Lebensraum für die Etablierung von Keimlingen muss zwei Voraussetzungen

erfüllen: (i) das Vorhandensein von adulten Pflanzen während der Samenausbreitungszeit (Mai bis September), um die Samenproduktion zu gewährleisten, und (ii) eine hohe Überflutungshäufigkeit der umliegenden Gebiete, um das Keimen der Samen zu fördern.

## 2.2 Ökologische und hydrodynamische Modelle miteinander verknüpfen

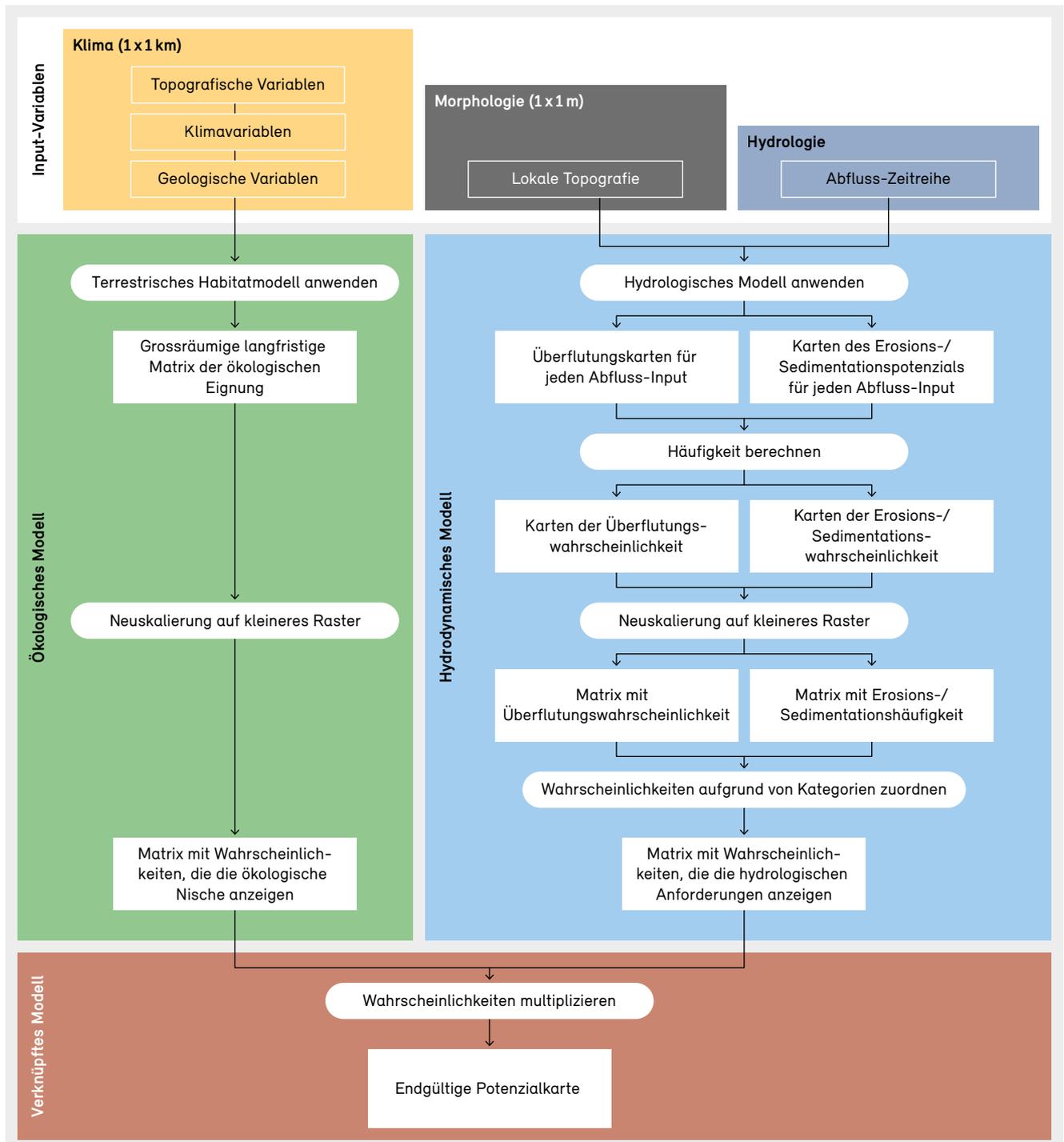
Zur Bestimmung geeigneter Lebensräume für Arten, die typischerweise im dynamischen Auen-Lebensraum entlang von Fließgewässern vorkommen, verknüpften wir zwei Modelle miteinander: (i) ein ökologisch-statistisches Modell zur Verbreitung der Deutschen Tamariske und (ii) ein deterministisches zweidimensionales hydrodynamisches Modell zur Simulation lokaler Strömungsverhältnisse in Fließgewässern (s. Box 4). Das ökologische Modell beschreibt den Lebensraum der Deutschen Tamariske auf der Grundlage grossräumiger (d. h. regionaler) klimatischer, geologischer und topografischer Indikatoren

### Box 4: Hydrodynamische Modelle

Hydrodynamische Modelle nutzen diverse Gleichungen zur Beschreibung der Fluidodynamik, um die Wasserströmung in Flüssen zu simulieren. Mit hydro-morphodynamischen Modellen können zusätzlich Erosion und Ablagerung von Sedimenten entlang eines Flusses simuliert werden. Die Ergebnisse solcher Simulationen sind die räumliche Verteilung von Fließtiefe und -geschwindigkeit und – bei morphodynamischen Modellen – der Sohlenlage. Hydrodynamische Modelle erfordern eine Reihe von Eingangsdaten. In dieser Studie haben wir ein digitales Geländemodell (DGM), eine hydrologische Datenreihe (d. h. Abflusswerte) und eine Schätzung der Sohlenrauheit verwendet. Morphodynamische Simulationen bedingen erweiterte Daten zu den Sedimenteigenschaften. In der Schweiz werden die Abflussdaten an vielen Standorten gemessen und sind verfügbar, während die übrigen Eingangsdaten oft ad hoc für jeden untersuchten Standort erhoben werden müssen. Für die hydrodynamischen Simulationen dieser Studie verwendeten wir BASEMENT (Vanzo *et al.* 2021): ein Freeware-Tool zur Simulation von vielfältigen Prozessen in Fließgewässern.

**Abbildung 8**

Workflow zur Verknüpfung der ökologischen und hydrodynamischen Modelle. Die Ergebnisse dieser beiden Modelle werden miteinander verbunden, um eine Potenzialkarte zu erhalten, die eine genauere Vorhersage des wahrscheinlichen Lebensraums der Keimlinge ermöglicht. Die grossen farbigen Blöcke stellen die Teilbereiche der Methodik dar. Die kleineren Rechtecke stehen für Datensätze und die Ovale für Aktionen.



Quelle: VAW, ETH Zürich / WSL

(s. Kap. 1; Fink und Scheidegger 2023). Das Hauptergebnis ist eine räumlich explizite Potenzialkarte, welche die Wahrscheinlichkeit aufzeigt, dass sich die Zielart in verschiedenen Gebieten etablieren und dort überleben kann. Da der Lebensraum der Deutschen Tamariske stark von den lokalen hydrodynamischen Bedingungen abhängig ist, verknüpften wir das ökologische Modell mit einem deterministischen zweidimensionalen hydrodynamischen Modell, um die Genauigkeit der Prognose für das Habitat auf der lokalen Skala (Flussabschnitt) zu erhöhen (s. Box 4). Der daraus resultierende Workflow mit den wichtigsten Schritten und den erforderlichen Input-Variablen ist in Abbildung 8 dargestellt.

### 2.2.1 Ökologische Modellierung

Das ökologisch-statistische Habitatmodell für adulte Pflanzen lieferte eine grossräumige Matrix zur Eignung des Habitats basierend auf klimatischen, geologischen und topografischen Prädiktoren. Mit dieser Matrix konnten wir potenziell geeignete Gebiete auf einer Rasterskala von  $1 \times 1$  km identifizieren. Das Modell verwendete einen Langzeitdatensatz, der die gesamte Schweiz abdeckt, und ergab eine Karte langfristig geeigneter Habitate für das vorhergesagte Vorkommen der Deutschen Tamariske (s. Kap. 1; Fink und Scheidegger 2023).

### 2.2.2 Hydrodynamische Modellierung

Mithilfe der Freeware BASEMENT ([www.basement.ethz.ch](http://www.basement.ethz.ch); Vanzo *et al.* 2021) entwickelten und kalibrierten wir ein zweidimensionales hydrodynamisches Modell des Untersuchungsgebiets (s. Kap. 2.3) und erstellten anhand der Ergebnisse der BASEMENT-Simulationen Karten zur Überflutungshäufigkeit. Danach ermittelten wir die Gebiete, die unter verschiedenen Strömungsverhältnissen zu Sedimenterosion/-ablagerung neigen. Weitere Informationen zum Thema hydrodynamische Modellierung sind in Box 4 zu finden.

### 2.2.3 Verknüpfung der Modelle

Wir verknüpften die ökologischen und hydrodynamischen Modelle miteinander, um eine kleinräumige Vorhersage geeigneter Standorte für die Etablierung von Tamarisken-Keimlingen vorzunehmen, da sie in diesem Lebensstadium am stärksten gefährdet sind und ihre erfolgreiche Etablierung das lokale Fortbestehen sichert. Zur Vorhersage der Samenausbreitung und -etablierung verwendeten

wir: (i) die Matrix der Lebensräume der adulten Pflanzen aus dem ökologischen Modell, (ii) die Überflutungskarten und (iii) die Erosions-/Ablagerungskarten aus dem hydrodynamischen Modell (Abb. 8). Durch Multiplizieren der Wahrscheinlichkeitswerte für diese drei Karten auf einer kleinräumigen Skala ( $1 \times 1$  m-Raster als Teilstichproben des grossen Rasters; Details siehe Abb. 8) erstellten wir Potenzialkarten, die anzeigen, an welchen Standorten sich die Deutsche Tamariske als Keimling etablieren könnte.

## 2.3 Fallstudie: Moesa

### 2.3.1 Standortbeschreibung und Datenerhebung

Wir haben das verknüpfte Modell in einem kleinen Auengebiet der Moesa (GR) getestet (Abb. 9). Der Abschnitt befindet sich in der Nähe des Dorfes Cabbio in einem Gebiet, in dem der Fluss nie kanalisiert wurde, aber durch Dämme für den Hochwasserschutz eingengt ist. Die Aue ist etwa 800 m lang und hat eine Gesamtbreite von 100 bis 200 m.

Wir beobachteten das Gebiet von Anfang Mai bis Ende September 2020. Zu Beginn des Untersuchungszeitraums waren nur wenige adulte Deutsche Tamarisken vorhanden. Am 7. Juni und 29. August veränderten zwei Hochwasser die Flusstopografie. Wir flogen das Gelände mit einer Drohne ab und digitalisierten die Topografie mit einem Structure-from-Motion-Verfahren (Agisoft 2020). Die überfluteten Bereiche wurden mit GPS-Handgeräten vermessen. Das Vorkommen der Deutschen Tamariske wurde alle zwei Wochen erfasst, sodass die Fortpflanzungsphase der Pflanze von der frühen Blüte bis zur späten Samenausbreitung berücksichtigt wurde. Zur Vermessung der genauen Standorte der Pflanzen wurden wiederum GPS-Handgeräte eingesetzt.

Das ökologische Modell basiert auf geologischen und klimatologischen Daten für den Zeitraum 1960–2016, wobei die Habitatverfügbarkeit ausgehend von Nachweisen aus dem Nationalen Daten- und Informationszentrum der Schweizer Flora, Infoflora, modelliert wurde (Fink *et al.* 2017; s. Kap. 1; Fink und Scheidegger 2023). Die hydrologischen Daten wurden vom Amt für Natur und Umwelt des Kantons Graubünden zur Verfügung gestellt.

**Abbildung 9**

Luftbild des Untersuchungsgebiets entlang der Moesa in der Nähe von Cabbio (GR). Die Aue wird durch zwei seitliche Dämme begrenzt. Der weisse Pfeil zeigt die Fliessrichtung (von Norden nach Süden), und das weisse Rechteck bezeichnet den Abschnitt des Gebietes, der den in Abbildung 10 dargestellten modellierten Ergebnissen entspricht.

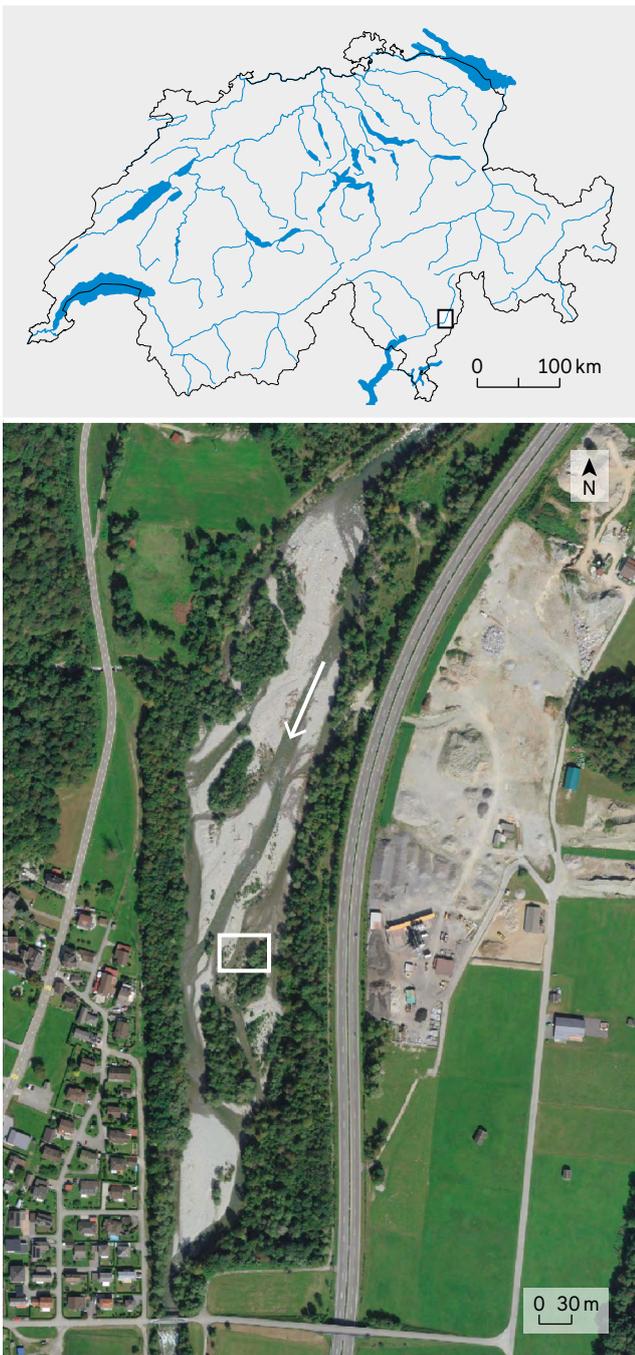


Foto: Swisstopo

**2.3.2 Evaluation der Modellierungsergebnisse**

Für adulte Individuen war der Detaillierungsgrad des grossräumigen ökologischen Modells alleine unzureichend, weil es keinen Aufschluss darüber gab, warum einige Pflanzen während des Untersuchungszeitraums im Jahr 2020 nicht überlebten. Die Verteilung der Sträucher innerhalb des Gebietes deutet darauf hin, dass Erosionsprozesse einen wichtigen Einfluss auf den Fortbestand von adulten Pflanzen haben, aber diese Faktoren waren nicht im ökologischen Modell integriert. Wir prüften daher, ob die zusätzlichen Informationen aus dem hydrodynamischen Modell eine Vorhersage der Überlebenschancen der Deutschen Tamariske erlaubten.

Das hydrodynamische Modell verwendete Abflussdaten aus dem Untersuchungszeitraum und hochauflösende Daten zur Flusstopografie, um die potenzielle Kieserosion auf einer kleineren räumlichen Skala zu bewerten. Die kontinuierliche Erosion von Kies Anfang Mai führte zum Verlust von adulten Pflanzen in Gebieten, für die das hydrodynamische Modell tatsächlich eine Kieserosion/-ablagerung vorhergesagte. Durch die Verknüpfung des ökologischen mit dem hydrodynamischen Modell konnten somit Veränderungen des Lebensraums vorhergesagt werden, die das Schicksal der adulten Individuen genau abbildeten.

Das verknüpfte Modell wurde vor allem zur Vorhersage der Standorte verwendet, an denen eine erfolgreiche Etablierung von Keimlingen der Deutschen Tamariske möglich ist. Während das ökologische Modell für die Vorhersage des Habitats von adulten Individuen wichtig war, wurden die Informationen zu Überflutungs-, Erosions- und Ablagerungsgebieten während den zweiwöchigen Blütephasen aus dem hydrologischen Modell verwendet, um vorherzusagen, wo die Samen wahrscheinlich keimen werden. Die verknüpften Daten aus den beiden Modellen ermöglichten es, das allgemeine Muster geeigneter Lebensräume für Keimlinge auf einer kleinräumigen Skala zu erkennen: In einigen der bezeichneten Regionen wurden tatsächlich etablierte Keimlinge beobachtet (Abb. 10).

**2.3.3 Vorteile des verknüpften Modells**

Der Hauptvorteil des verknüpften Modells liegt darin, dass potenziell geeignete Gebiete für die Keimung von Samen auf einer kleinräumigen Skala identifiziert werden können. Solche Gebiete sind für die Wiederbesiedlung

und den Fortbestand der Deutschen Tamariske sehr wichtig. Die erhöhte Präzision des verknüpften Modells ermöglicht eine Priorisierung der Standorte entlang der Flussaue zur Förderung lokaler Arten oder für gezielte Bewirtschaftungsmassnahmen wie etwa die Beseitigung konkurrierender (oder invasiver) Pflanzen.

In Wissenschaft und Praxis werden schon länger Tools eingesetzt, die einen hohen Detaillierungsgrad unterstützen (z. B. Instrumente zur 2D-Flussmodellierung), und zunehmend auch hochauflösende Datensätze aus der Fernerkundung. Das vorgestellte verknüpfte Modell

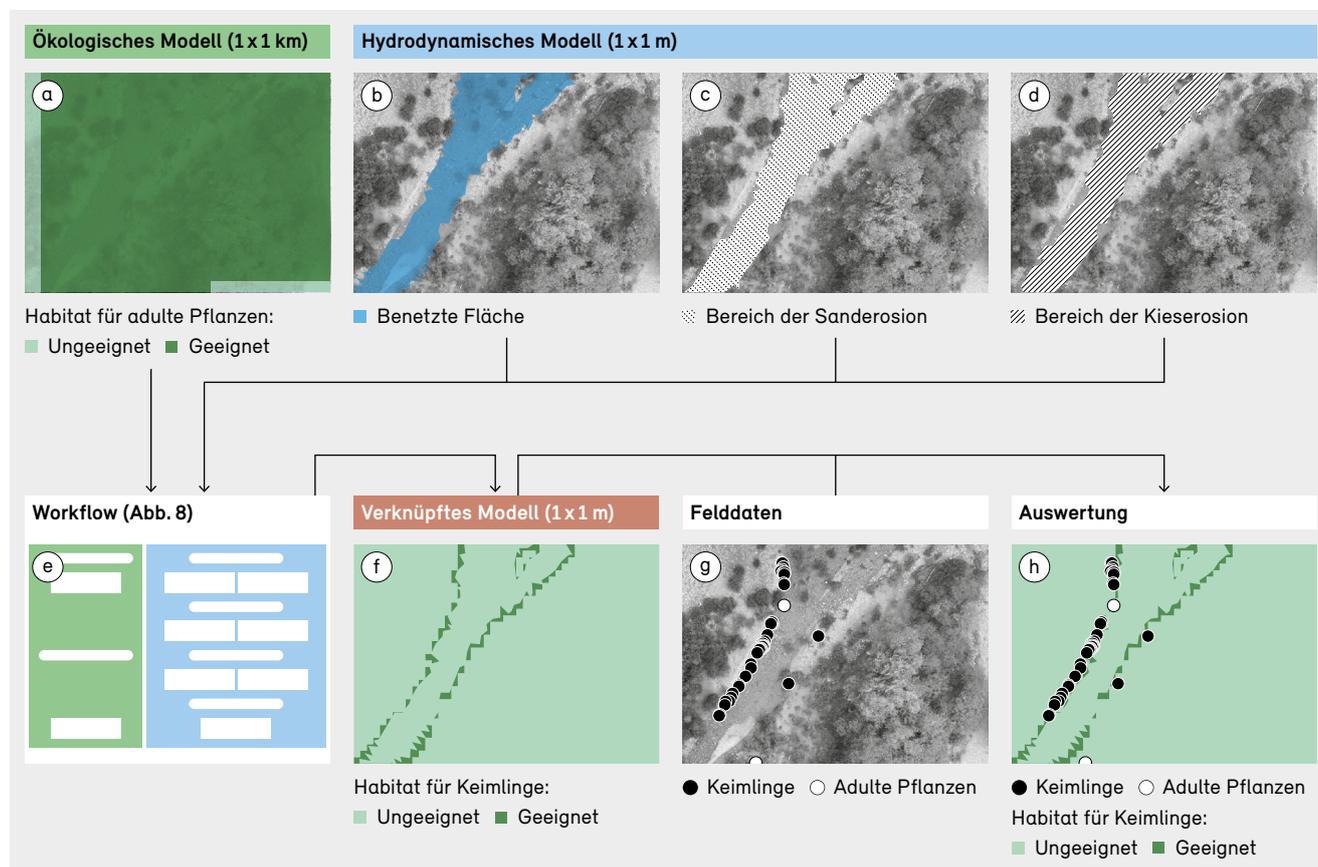
fügt sich in diese Entwicklung ein, da es die Vorteile einer Kombination von Modellierungswerkzeugen mit unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen nutzt.

### 2.3.4 Grenzen des verknüpften Modells

Das verknüpfte Modell war zwar nützlich, um Habitate für adulte und junge Pflanzen der Zielart zu ermitteln, ist aber mit einer komplexeren Modellierung verbunden. Grund dafür sind die unterschiedlichen räumlichen Skalen (gross für das ökologische und klein für das hydrodynamische Modell), die eine Anpassung erfordert (Neuskalierung, s. Abb. 8). Zudem berücksichtigt das verknüpfte

Abbildung 10

Evaluation zum verknüpften Modell mit Felddaten der adulten Deutschen Tamariske und Keimlingen in einem Abschnitt der Aue bei Cabbio (GR) (Luftbild vom Winter 2020). Die Keimlinge befanden sich in Bereichen, die im ökologischen Modell als geeignet identifiziert wurden (dunkelgrün in a), nahe der modellierten Hochwasserganglinie (blau in b) und ausserhalb der modellierten Erosions- und Ablagerungszonen (c: Sand, d: Kies). Nach Durchführung des Workflows zur Verknüpfung der beiden Modelle (e) grenzt die kombinierte Wahrscheinlichkeitsmatrix (f) die für die Etablierung von Keimlingen geeigneten Standorte ein (dunkelgrüne Bereiche in f und h). Diese Matrix stimmt mit den Felddaten (g) überein, wie die Auswertung (h) zeigt.



Modell nicht alle Prozesse, denen eine bestimmte Art ausgesetzt ist. Das Modell kann weiter verfeinert werden, z. B. durch den Einbezug von Wechselwirkungen zwischen Sedimentdynamik und Pflanzen (z. B. Caponi und Siviglia 2018). Überdies erfordert der vorgeschlagene Workflow (Abb. 8) die Verwendung mehrerer Tools (z. B. BASEMENT) sowie gewisse Scripting-Fähigkeiten für die Datenverarbeitung (z. B. in R oder Python), da er nicht in einer einzigen Software abgebildet ist. Er kann aber mit Freeware-Tools vollständig reproduziert werden.

### 2.3.5 Übertragbarkeit auf andere Fallstudien und Arten

Das verknüpfte Modell kann an andere Standorte und Arten angepasst werden. Insbesondere gibt es keine Einschränkungen in Bezug auf die Art oder Grösse des Flussabschnitts, sofern der 2D-Modellierungsansatz gültig ist. Durch die Verwendung von BASEMENT können alle Arten von Strömungsverhältnissen (d. h. strömender und schiessender Abfluss) reproduziert werden, womit Flussabschnitte im Mittelland ebenso wie in alpinen Gegenden untersucht werden können.

Für eine Anwendung des verknüpften Modells auf andere Flussabschnitte sind sowohl das ökologische als auch das hydrodynamische Modell erforderlich. Das ökologische Modell kommt auf der nationalen Skala zur Anwendung und die verfügbaren Informationen für die Deutsche Tamariske können für andere Standorte in der Schweiz verwendet werden (Fink *et al.* 2017). Der Arbeitsaufwand für das hydrodynamische Modell hängt von der Verfügbarkeit eines hochwertigen digitalen Geländemodells (DGM) ab, dessen vollständig neue Erstellung zeitaufwändig sein kann. Mit Blick auf den Aufwand empfehlen wir die Anwendung dieses Ansatzes in spezifischen Bereichen, die von besonderem Interesse sind (Grössenordnung von Kilometern), aber nicht auf nationaler Skala.

Da die Deutsche Tamariske eine Zeigerart der Pioniervegetation in Auengebieten ist (Delarze und Gonseth 2015), können die hier vorgestellten Ergebnisse auch genutzt werden, um Rückschlüsse auf den Lebensraum von Arten mit ähnlichen Nischen (z. B. Weide *Salix daphnoides*) oder von nicht-pflanzlichen Arten im gleichen Lebensraum (z. B. Nachtfalter *Istrianis myricariella*) zu ziehen. Die Methodik könnte auch zur Modellierung mobiler Arten angepasst werden, wie etwa Fische oder terrestrische

Laufkäfer und Spinnen der Auen (Box 5, s. a. Kap. 3; Kowarik und Robinson 2023). Dabei müsste das ökologische Modell so angepasst werden, dass es die Zielarten abbildet, und das hydrodynamische Modell müsste die hydraulischen Parameter quantifizieren, die für diese Arten wichtig sind.

## 2.4 Anwendung in der Praxis

Das verknüpfte Modell ist ein nützliches Instrument zur Beurteilung des Potenzials für die Erhaltung von Zielarten an einem Standort durch natürliche Verjüngung und lokales Wachstum. Die langsam wachsende Deutsche Tamariske, die auf der Roten Liste steht, wird tendenziell von den häufiger vorkommenden und schneller wachsenden Weiden verdrängt, da diese für schattige Lichtverhältnisse sorgen. Für die Deutsche Tamariske ist die Verjüngung entlang von Hochwasserganglinien, wo die Konkurrenz gering ist, entscheidend; sie trägt dazu bei, dass diese Art trotz des gleichzeitigen Vorkommens von Neophyten wie dem invasiven Sommerflieder (*Buddleja davidii*) überleben kann (Mörz 2017). Die Potenzialkarte für Keimlingshabitats erleichtert die Untersuchung des Verjüngungspotenzials an Standorten, die durch Wasserkraft beeinflusst werden. Zudem kann sie zur Überprüfung des Erfolgs der Fliessgewässerrevitalisierung verwendet werden, indem das vorhergesagte Lebensraumpotenzial von revitalisierten Flächen mit Beobachtungen etablierter Keimlinge verglichen wird.

Im Zuge des Klimawandels ist zu erwarten, dass Hochwasser zukünftig häufiger und in anderen Perioden auftreten werden als heute. Genauere Vorhersagen und ein tieferes Verständnis der Prozesse sind für das Fliessgewässermanagement von grundlegender Bedeutung, um mit künftigen Umweltveränderungen umgehen zu können. Mit dem verknüpften Modell können zukünftige Lebensraumbedingungen unter Berücksichtigung von Temperatur-, Niederschlags- und Abflussveränderungen vorhergesagt werden, was zu einem besseren Verständnis des weiteren Schicksals von Arten in einer sich verändernden Welt führt.

**Box 5: In der Praxis – Eine Anwendungsperspektive für die Habitatmodellierung**

Mauro Carolli, Forschungswissenschaftler bei SINTEF (Norwegen)

Die Habitatmodellierung kann sehr nützlich sein, um Praktikerinnen und Praktiker sowie Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger beim Management von Fließgewässern zu unterstützen. Wir verwendeten sie, um die ökologischen Restwassermengen flussabwärts von Wasserentnahmen aufgrund menschlicher Aktivitäten (z. B. Wasserkraftnutzung) zu quantifizieren. Restwassermengen werden in der Regel nur anhand der hydrologischen Verhältnisse im Einzugsgebiet definiert, während bei der Habitatmodellierung auch ökologische Aspekte berücksichtigt werden können. Im Jahr 2015 schlug die EU in ihren Leitlinien die Anwendung von Methoden zur Habitatmodellierung vor, um die ökologischen Restwassermengen für ihre Wasserrahmenrichtlinie zu definieren.

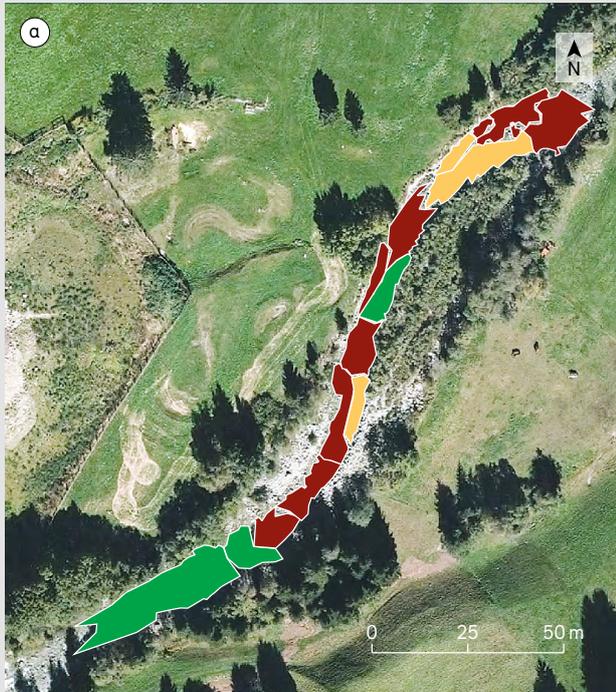
In Pilot-Fallstudien in den italienischen Alpen setzten wir die MesoHABSIM-Methode (Parasiewicz 2011) ein, um die ökologischen Restwassermengen in Übereinstimmung mit den EU-Leitlinien aus einer ökologischeren Perspektive zu definieren. Wir kartierten den Lebensraum bei verschiedenen Abflussmengen, um eine Habitat-Abflusskurve zu erstellen und die Lebensraumqualität für die beiden wichtigsten lokalen Arten, die Bachforelle (*Salmo trutta*, Abb. 11) und die Marmorforelle (*Salmo trutta marmoratus*), zu bewerten. Wir simulierten verschiedene Mengen von Wasserentnahmen für die menschliche Nutzung und wandelten die Abflussdatenreihen in Habitatreihen um, die wir zur

Ermittlung der Schwellenwerte der ökologischen Restwassermengen nutzten, unterhalb derer die Habitatqualität rapid abnimmt. Die Habitatqualität wird in der Praxis auf der Ebene von Gewässerabschnitten (10 bis 1000 m) bewertet. Die hydrodynamische Modellierung kann bei Bedarf bei der Ausweitung von Lebensraumbewertungen auf eine grössere räumliche Skala (Teileinzugsgebiet oder Einzugsgebiet) helfen. Die Umwandlung der Abflussdatenreihen in Habitatreihen kann auch auf verschiedenen zeitlichen Skalen berechnet werden, je nach Auflösung der Eingangsdaten. So lassen sich die ökologischen Auswirkungen von Phänomenen, die sich auf die Fließgewässergemeinschaft auswirken könnten, auf einer Skala von weniger als einem Tag (z. B. Schwall/Sunk) bis hin zu einer Woche oder einem Monat (z. B. extreme Dürren) bewerten.

Das Konzept der Habitatmodellierung stellt eine direkte Verbindung zwischen Hydrologie und Wasserwirtschaft mit den Lebensgemeinschaften in Fließgewässern her. Dieses Konzept lässt sich zudem auf die Quantifizierung anderer Ökosystemleistungen ausweiten, wenn eine Beziehung zwischen Abfluss (oder anderen hydraulischen Variablen) und Wassernutzung hergestellt werden kann. Ein Beispiel ist die Quantifizierung der Eignung von Flüssen für die Freizeitschiffahrt (Rafting, Kajakfahren) unterhalb von Wasserkraftwerken unter verschiedenen Strömungsbedingungen. Insgesamt ist die Habitatmodellierung ein leistungsfähiges Instrument für das Fließgewässermanagement und birgt ein grosses Potenzial für die Analyse möglicher Kompromisse und Synergien zwischen verschiedenen Fließgewässernutzungen und Lebensgemeinschaften.

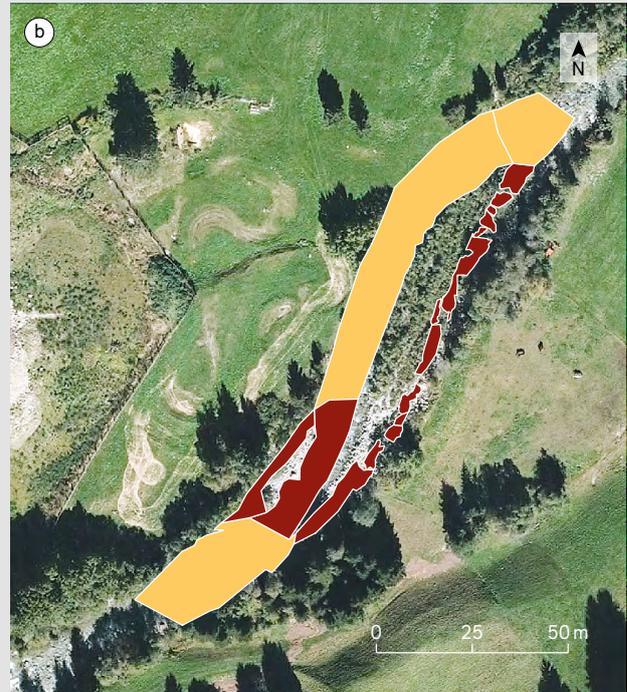
**Abbildung 11**

Habitat­eignung für adulte Bachforellen (*Salmo trutta*) bei Abflussmengen ( $Q$ ) von (a)  $1,15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  und (b)  $3,95 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Vermigliana, Vermiglio (IT).



Adulte Bachforelle,  $Q = 1,15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

■ Optimal ■ Geeignet ■ Ungeeignet



Adulte Bachforelle,  $Q = 3,95 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

■ Optimal ■ Geeignet ■ Ungeeignet

Quelle: Mit freundlicher Genehmigung von Prof. G. Zolezzi (DICAM, Universität Trient/Trento, IT)