

5.1 Planen mit der Natur

Planen mit der Natur - wie ökologische Modellierung Wasserbauprojekte unterstützen kann

Dr. Elmar Fuchs

Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Dipl.-Geograph Stephan Rosenzweig

Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Dr. Michael Schleuter

Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Zusammenfassung

Wasserbauliche Maßnahmen an als Wasserstraßen genutzten Flüssen können auf Grund hydro-ökologischer funktionaler Zusammenhänge Beeinträchtigungen der Natur verursachen. Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) hat signifikante, durch Eingriffe an Bundeswasserstraßen bedingte erheblich negative ökologische Auswirkungen per Gesetz zu kompensieren. In diesem Kontext hat eine intakte Fluss- und Auenökologie, welche über den Gütertransport per Schiff hinaus weitere ökosystemare Dienstleistungen zur Verfügung stellt, zunehmend Bedeutung gewonnen, vor allem vor den heutigen ökologischen Anforderungen der europäischen und nationalen Gesetzgebung.

Die WSV hat die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) beauftragt, eine Methodik zu entwickeln, mit der ökologische Auswirkungen von wasserbaulichen Eingriffen modellhaft vorhergesagt werden kann. Der Ansatz des Integrierten Flussauenmodells INFORM kombiniert konventionelle hydraulische Ansätze mit ökologischer Modellierung. Ein Beispiel an der Mittleren Elbe demonstriert den Nutzen von Lebensraumeignungsmodellen für Pflanzen und Tiere. Die modellhaft vorhergesagten ökologischen Auswirkungen von optionalen flusswasserbaulichen Gegenmaßnahmen zur Abminderung intensiver Sohlerosion ermöglichen damit die Auswahl geeigneter Maßnahmen oder deren Umgestaltung aus ökologischer Sicht. Ökologische Modellierung kann als Werkzeug angesehen werden, das mit den Vorstellungen der PIANC „Working with Nature“ Position übereinstimmt. Diese hat in einem integrierten Ansatz für die Vorplanungsphase die Förderung einer nachhaltigen Schifffahrt bei gleichzeitigem Erhalt einer wertvollen und nützlichen Natur an Wasserstraßen zum Ziel.

1. Wasserstraßen und Natur

Das Netz der Europäischen Wasserstraßen besitzt eine Länge von ungefähr 30.000 km, von denen ca. 7.350 km auf Deutschland entfallen. 6.600 km Binnenwasserstraßen und 750 km Küstenwasserstraßen fungieren als wichtige Nord-Süd und Ost-West Transportkorridore für die Schifffahrt. 35% der Wasserstraßen sind frei fließend oder reguliert, 41% sind staugeregt und 24% sind Kanäle (Schäfer, 2009).

Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung ist per Gesetz für Unterhaltung und Ausbau der Wasserstraßen des Bundes zuständig. Mit ihren Aktivitäten stellt die WSV

eine ökonomische und wettbewerbsfähige Infrastruktur von Wasserstraßen zur Verfügung, wobei die Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt im Vordergrund stehen.

1.1 Wasserstraßen und ihre Ökologischen Dienstleistungen

Der Millennium Assessment Report von 2005 benennt sogenannte ökosystemare Dienstleistungen (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Diese sind als derjenige Nutzen definiert, welcher der Gesellschaft von Ökosystemen zur Verfügung gestellt wird. Dazu zählen beispielsweise die Versorgung mit Nahrungsmitteln und Wasser, das Regulierungspotenzial für Hochwasser oder Seuchen oder auch kultureller Nutzen wie Erholung oder Freizeit. Naturgemäß weisen Flussökosysteme viele solcher ökosystemarer Dienstleistungen auf: Erhaltung von Klima und Atmosphäre, Filtration von Stoffflüssen, Reinigung von und Versorgung mit Wasser, Erhalt der Bodenfruchtbarkeit, Lebensraum für Flora und Fauna oder auch geistige und kulturelle Werte (Shelton et al., 2001). In diesem Kontext ist auch die Möglichkeit des Gütertransports zu Wasser als eine dieser ökosystemaren Dienstleistungen des Ökosystems Fluss anzusehen, die Wasserstraße selbst also als Dienstleister für Gesellschaft.

In historischer Perspektive agiert die WSV mit ihren baulichen Aktivitäten zur Gewährleistung der Schifffahrt durchaus als Triebkraft des Wandels (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) für die von Flussökosystemen zur Verfügung gestellten Dienstleistungen. Mögliche Veränderungen können mit Indikatoren beobachtet und abgeschätzt werden (EEA, 1999). Güte und Ausmaß einer eingriffsbedingten Veränderung im Ökosystem Fluss können bisher jedoch nur unzureichend genau vorhergesagt werden. Die Komplexität und die Unschärfe ökosystemarer Zusammenhänge begrenzen hierbei bislang belastbare Vorhersagen.

1.2 Rechtlicher Stellenwert der Natur im Management von Wasserstraßen

Flussbauliche Eingriffe können Auswirkungen auf das Ökosystem Fluss oder Teile davon haben. Zustand, Güte oder Funktionen des Ökosystems können verändert werden, was durchaus auch Auswirkungen auf die ökosystemaren Leistungen mit sich bringen kann. Die Reaktion auf eine ursächlich nachgewiesene negative Auswirkung eines baulichen Eingriffs an der Wasserstraße ist dabei durch europäische und nationale rechtliche Standards geregelt. Das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG, 2009) oder das Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVPG, 2005) verlangen intensive Untersuchungen der Umwelt sowie möglicher projektgebundener Auswirkungen und schreiben Kompensationsmaßnahmen für signifikant negative Folgen für die Natur vor.

Das übliche rechtliche Zulassungsverfahren für planfestzustellende Verfahren an Wasserstraßen folgt demnach größtenteils dem Prinzip der Feststellung eines Schadens und nachfolgender, oftmals kostenintensiver Kompensation. Zwar sind Betroffene und potenzielle Einwender (z.B. NGOs) im Zulassungsverfahren zumeist beteiligt, dennoch ist die Zeit bis zur Projektrealisierung teilweise unangemessen lang, wobei projektbeteiligte Lobbyisten mehr als Konkurrenten oder gar Gegner angesehen werden.

5. Umgang mit der Natur, Umweltschutz

Planen mit der Natur - wie ökologische Modellierung Wasserbauprojekte unterstützen kann

Bei Ausbauprojekten an Wasserstraßen wird dieser Effekt noch verstärkt, da ein Großteil der Fluss- oder angrenzenden Lebensräume als Europäische Natura 2000 Standorte geschützt sind (EEC, 1992). Diese Tatsache betont den hohen naturschutzfachlichen Wert der Wasserstraße trotz ihrer Nutzung als Transportroute.

Der Fluss und die Flussaue hat an ökologischer Bedeutung noch dazu gewonnen durch die Verabschiedung und das Inkrafttreten der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie EU-WFD (EC, 2000). Mit Betonung einer integrierten Flussgebietsbewirtschaftung sollen der gute ökologische und chemische Zustand bzw. ihr Potenzial bis zum Jahr 2015, spätestens jedoch bis 2027 erreicht werden. Die nationalen Bewirtschaftungspläne für Elbe und Weser sind beispielsweise jüngst verabschiedet worden. Ausbau von Flüssen, aber auch Maßnahmen zum Hochwasserschutz oder zur Energiegewinnung wie auch weitere Eingriffe haben zweifellos zu einer Schädigung der ursprünglichen strukturellen Diversität und Funktionalität an als Wasserstraßen genutzten Flüssen geführt, was Konflikte mit den Zielen der EU-WFD bedingt. Aus diesem Grund sind große Abschnitte von Bundeswasserstraßen als „stark verändert“ klassifiziert. Kanäle sind dabei als „künstlich“ eingestuft.

In diesem enggewobenen Netz gesetzlicher Verflechtungen unterstützt die Bundesanstalt für Gewässerkunde die WSV für die Aufgaben des „Tagesgeschäftes“. Gesetzliche Anforderungen und Regelungen werden in Beratung und Handlungsanweisungen für die Bedürfnisse der Praxis der Unterhaltung und des Ausbaus der Wasserstraßen übersetzt.

1.3 Paradigmenwechsel und neue Aufgaben

Wie dargestellt, ist der steigenden gesellschaftlichen Bedeutung von Ökologie in der europäischen und nationalen Gesetzgebung bereits entsprechend Rechnung getragen worden. Die gesetzlich fixierten Anforderungen an den Schutz von Natur und Ökologie haben nunmehr auch zu einem politischen Paradigmenwechsel in der Zuordnung der Aufgaben der WSV geführt. Per Erlass des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung obliegt der WSV neben ihren „klassischen“ Aufgaben zu Unterhaltung und Ausbau der Bundeswasserstraßen jetzt auch ihre ökologische Verbesserung gemäß den Zielen der EU-WRRL (EC, 2000) sowie der flussgebietsbezogenen Bewirtschaftungspläne (BMVBS, 2009). Der Betätigungsraum für diese gewässerökologischen Aufgaben ist dabei durch gesetzliche (WHG, 2009) wie auch hydromorphologische Randbedingungen eindeutig beschrieben und eingegrenzt (BMVBS, 2009). Die Herstellung oder Wiederherstellung der Durchgängigkeit von Bundeswasserstraßen für die Fischmigration nach § 34, 4 WHG (WHG, 2009) durch bauliche Maßnahmen an Stauanlagen oder Schleusen ist dabei ein prominentes Beispiel.

Die konsequente Umsetzung dieser Vorgaben wird sich auch auf Planung und Durchführung verkehrswasserbaulicher Projekte auswirken. Beschleunigung von planungsrechtlichen Zulassungsverfahren können erwartet werden, da die ökologische Zuständigkeit und Kompetenz der WSV durchaus zu höherer Akzeptanz bei den Verfahrensbeteiligten und damit schneller zu gemeinsam abgestimmten Planungen führen wird. Dieses Vorgehen entspricht dem durch die PIANC 2008

vorangetriebenen „Working with Nature“ Prinzip (PIANC, 2008) mit dem Ziel einer nachhaltigen Förderung einer wettbewerbsfähigen Schifffahrt bei gleichzeitigem Erhalt und Förderung einer intakten Ökologie der Wasserstraße und ihres Umfelds.

1.4 Ökosysteme der Wasserstraßen verstehen

Um Projekte an Bundeswasserstraßen, welche nunmehr die eigentlichen verkehrswasserbaulichen Ziele mit den Anforderungen der europäischen Habitat- und Wasserrahmenrichtlinie verbinden, effektiv durchzuführen, ist zweifellos ein tiefes Verständnis der komplexen ökosystemaren Zusammenhänge in Flussökosystemen notwendig. Für den Planungsprozess ist eine zuverlässige Wissensbasis erforderlich, um mögliche negative Effekte auf die Natur frühzeitig fachgerecht detektieren und bewerten zu können. Nur so können Planungsalternativen entwickelt und geprüft werden, die nur wenig oder abgemilderte Auswirkungen auf die Natur haben oder sogar mit einer positiven Wirkung für die Flussökologie verbunden werden können.

Diskussionen zwischen den Verfahrensbeteiligten um kontroverse ökologische Sachverhalte enden „traditionell“ oftmals in subjektivem, emotionalem und unangemessenem Austausch von persönlichen Meinungen. Verzögerungen im Planungsprozess können die Folge sein, zusätzliche Kosten können entstehen.

Dieser Missstand ruft nach einer Methode, die eine fundierte Wissensbasis über ökologische Wirkungszusammenhänge zur Verfügung stellt und damit eine zuverlässige Infrastruktur für objektive Diskussionen liefert. Eine geeignete Lösung bietet der Ansatz der ökologischen Modellierung. Wissenschaftlich begründetes ökologisches Wissen wird dabei objektiv aufgezeichnet, formalisiert und in Modellregeln übersetzt. Ökologische Modelle können vereinfacht als eine Nachbildung des Vorkommens von Lebensräumen für Fauna und Flora oder einzelne Organismen in ihrer Antwort auf die Ausprägung spezifischer Umweltbedingungen (Vorhersageparameter) definiert werden. Die Verknüpfung ökologischer Modelle mit verfügbaren Modellen für die abiotische Umwelt (z.B. hydraulische Modelle, Grundwassermodelle, Bodenmodelle) führt zu einem integrierten Modellansatz, mit dem der Zustand von oder Änderungen in komplexen Systemen, wie es z.B. ein Flussökosystem darstellt, formalisiert vorhergesagt werden können. Bei der Planung flusswasserbaulicher Projekte kann ein solcher integrierter Modellansatz vorteilhaft für die Vorhersage und die Bewertung von Planungsalternativen auf die abiotische und biotische Umwelt, diese zumeist verstanden als Auswirkungen auf die Natur, genutzt werden.

2. Ökologische Modellierung in der Umweltplanung

Seit ca. 20 Jahren ist die Entwicklung von ökologischen Modellen zur Anwendung in der Praxis Gegenstand intensiver Forschung. Triebfeder dafür war und ist der steigende Bedarf von Behörden, Institutionen und Personen an eine effektive und wissenschaftlich zuverlässige Durchführung von Planungen, bei denen die Umwelt tangiert ist.

In diesem Kontext wird ökologische Modellierung zumeist verstanden als Abbildung und Vorhersage der potenziellen Verteilung und Abundanz von Organismen

5. Umgang mit der Natur, Umweltschutz

Planen mit der Natur - wie ökologische Modellierung Wasserbauprojekte unterstützen kann

und Lebensräumen in Abhängigkeit von Standort bestimmenden Umweltvariablen. In weiterer Auslegung kann die Zusammensetzung von Pflanzen- und Tiergemeinschaften und die Beschreibung ökologischer Prozesse und Funktionen in diese Definition integriert werden (Horchler, 2005).

In den Niederlanden sind vielfältige Ansätze zur ökologischen Modellierung in der Wasserbewirtschaftung entwickelt worden. Im Allgemeinen werden sie von den Anwendern akzeptiert. Eingang in die tägliche Planungspraxis haben sie allerdings noch nicht gefunden. Zum Aufbau eines integrierten Bewirtschaftungsplans des Einzugsgebiets der Dommel sind beispielsweise ein öko-hydrologisches Antwortmodell für Feuchtgebiete (ALNION), ein Modell für aquatische Ökosystemtypen (EFCOSTREAM) und ein Modell für Vegetation (MOVE) wissenschaftlich entwickelt und innerhalb eines EU-LIFE Projektes in der Praxis angewendet worden (Verkrost et al., 1998).

Die Vorhersage von sogenannten Ökotypen auf der Basis der Vegetationsstruktur sowie weiterer Umweltfaktoren ist in NATLESS realisiert, einem mit einem Geografischen Informationssystem (GIS) gekoppelten räumlich arbeitenden Modell zur Landschaftsbewertung (van Delft, 2004). LEDESS ist ein weiteres niederländisches Beispiel für ein Modell zur räumlichen Vorhersage der Verteilung von Vegetation und Fauna (van Eupen et al., 2002). Effekte von Landnutzungsänderungen auf die Natur werden hiermit prognostiziert und bewertet.

Die niederländischen Modelle DEMNAT und NICHE verbinden Hydrologie mit Bodenprozessen und Vegetationsökologie und bewerten die ökologischen Auswirkungen von projektbezogenen Eingriffen von Wasserbewirtschaftungsprojekten. DEMNAT sagt Veränderungen in der botanischen Qualität von Ökotypen voraus, während NICHE das potenzielle Vorkommen von Vegetationstypen prognostiziert (van Ek et al., 2000).

Die Entwicklung HABITAT von Deltares in den Niederlanden stellt einen GIS-basierten Rahmen zur integrierten ökologischen Analyse von Projektgebieten zur Verfügung (Deltares, 2009). Dafür ist ein gründliches ökologisches Verständnis des jeweiligen Projektgebietes erforderlich. Räumlich vorliegende Umweltinformation kann mit Ergebnissen betriebener abiotischer Modelle, z.B. hydraulischer Modelle gekoppelt werden. Habitatmodelle sind vordefiniert verfügbar, müssen aber zu meist regionspezifisch aufgestellt werden. Modellergebnisse sind die Verfügbarkeit und die Qualität von Habitaten für bestimmte Spezies. HABITAT wird z.B. verwendet zum Aufstellen individueller Flussgebietsbewirtschaftungspläne (Haasnot et al., 2009).

Bio-geo-morphologische Modelle sind Fokus der Forschung ECOBE (Ecosystem Management Research Group) an der Universität Antwerpen. Ziel ist das nachhaltige Management von Ästuaren unter besonderer Berücksichtigung des Aspektes der ökosystemaren Dienstleistungen (van Looy et al., 2008).

In Frankreich entwickelt das CEMAGREF (French Public Research Institute for Science, Water and Land Management) Software in Forschungsprogrammen, die dem Verständnis der Umwelt und in der Anwendung dem Management von Umweltbelangen dienen (CEMAGREF, 2009).

Der Eden Rivers Trust in England nutzt zur kosteneffektiven und schnellen Bewertung der Umwelt des Flusses Eden eine Vielzahl von Hilfsinstrumenten, die aus Methoden der Fernerkundung, GIS, Umweltmodellierung und ökologischem Monitoring bestehen (Dugdale et al., 2006). Mit Schwerpunkt auf der aquatischen Umwelt hat das HR Wallingford ökologische Modelle entwickelt, welche vornehmlich Lebensräume des Gewässerbodens und von Fischen abbilden und bewerten (HR Wallingford, 2009).

In der Schweiz hat die EAWAG (Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz) für die Flüsse Thur und Rhone ein integriertes Flusssanierungsmodell entwickelt (Reichert et al., 2007).

In den Vereinigten Staaten von Amerika ist es die Aufgabe des United States Army Engineer Research and Development Center sowie des US Environmental Laboratory, für den US Army Corps of Engineers innovative Methoden und Techniken für die Unterstützung in umweltrelevanten Projekten zu konzipieren. Die ökologische Modellierung wird dabei als wertvolles und nutzbringendes Instrument für diese Fragestellung angesehen. Haupteinsatzgebiet sind die Renaturierung, die Verbesserung und das Management von Flüssen und ihren Ökosystemen. Ein wesentliches Produkt des Ecosystem Management and Restoration Research Programms EMRRP ist das Ecosystem Management and Restoration Information System EMRIS, welches eine ökologische Wissensbasis sowie Modelle für die Anwendung in Flussprojekten anbietet (USACE, 2009).

Zusammenfassend werden ökologische Modelle zu meist nicht zum Selbstzweck eingesetzt, sondern sind meistens gekoppelt an hydraulische oder hydro-morphologische Modelle und werden ergänzt durch ökonomische Modelle sowie Bewertungsansätze. Solche Konzepte führen letztlich zu sogenannten integrierten Modellansätzen. Diese finden sich in der praktischen Anwendung weniger häufig, da sie einen hohen Datenbedarf mit einem tiefen Verständnis der komplexen funktionalen Zusammenhänge zwischen ökologischen Faktoren bedürfen. Bisweilen werden Integrierte Modellansätze als sogenannte Entscheidungsunterstützungssysteme (DSS, Decision Support System) benannt, die dann zusätzliche Werkzeuge zur Kommunikation und Öffentlichkeitsbeteiligung enthalten.

Ein solcher multidisziplinärer Ansatz ist im Elbe-DSS für das Flussgebietsmanagement der Elbe realisiert (Hahn et al., 2009). Auf verschiedenen räumlichen und zeitlichen Skalen können Maßnahmen am Fluss implementiert und ihre ökologischen sowie ökonomischen Auswirkungen dargestellt werden.

Das Entscheidungsunterstützungssystem nofdp-IDSS wurde innerhalb eines europäischen INTERREG IIIB Projektes entwickelt und unterstützt die Planung und Realisierung von Maßnahmen für einen naturverträglichen Hochwasserschutz (Fuchs et al., 2009). Nach Gestaltung von optionalen Maßnahmen ist eine modellgestützte Vorhersage ihre hydraulischen, ökologischen und ökonomischen Effekte möglich. Eine Bewertung über vorgegebene Merkmale oder interaktiv mit Verfahrensbeteiligten entwickelten Kriterien kann zur Auswahl geeigneter Maßnahmen genutzt werden. Damit geht

5. Umgang mit der Natur, Umweltschutz

Planen mit der Natur - wie ökologische Modellierung Wasserbauprojekte unterstützen kann

das nofdp-IDSS mit den Zielen der PIANC Position „Working with Nature“ (PIANC, 2008) einher.

In der Anwendung an Flüssen beziehen sich die meisten Systeme auf ökologische Wiederherstellung oder Renaturierung. Direkter Bezug zur Unterhaltung und Ausbau von Wasserstraßen ist nur selten anzutreffen. Mit der niederländischen Entwicklung „Blokendos“ kann man beispielsweise für die Maas recht einfach hydraulische Effekte von Maßnahmenplanungen am Fluss vorhersagen, ökologische Aspekte sind jedoch nicht enthalten.

In den frühen 90er Jahren erkannte die WSV bereits die Notwendigkeit für eine Methodik, mit der ökologische Auswirkungen von flussbaulichen Maßnahmen an Bundeswasserstraßen vorhergesagt werden können. Die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) wurde beauftragt, eine entsprechende Methodik zu entwickeln, zunächst gedacht für den Einsatz in Vorplanungsstadien.

3. Das Modellsystem INFORM

Startpunkt für die Entwicklung des **IN**tegrated **F**loodplain **R**esponse **M**odel **INFORM** war der Bedarf der WSV für die „Früherkennung“ von negativen Auswirkungen auf die Natur, insbesondere in den Auen durch wasserbauliche Eingriffe an der Wasserstraße. Hierdurch sollte die Möglichkeit angeboten werden, frühzeitig Planungsalternativen zu entwickeln, die bei Erhalt des avisierten flussbaulichen Ziels (z.B. bestimmter Wasserstand auf einer Flussstrecke) Auswirkungen auf die Fluss(auen)ökologie minimieren, abmildern oder sogar einen positiven Effekt auf die Natur erzielen. Potenzielle Kompensationskosten für erheblich negative ökologische Auswirkungen als „Spätfolgen“ einer Baumaßnahme sollten im gleichen Atemzug dadurch minimierbar sein. Mit zunehmendem Entwicklungsstand und Erfahrung mit INFORM ist auch die Anwendung in rechtlichen Zulassungsverfahren wie z.B. einer Umweltverträglichkeitsuntersuchung oder ökologischen Risikoeinschätzung avisiert. Auch der Einsatz für Ziele der EU-WRRL oder ihrer nationalen Bewirtschaftungspläne gerade vor dem Hintergrund der Veränderung der WSV Aufgaben (vgl. Kapitel 1.3) ist dabei denkbar.

Den ersten Entwicklungsstufen von INFORM liegen umfangreiche Felduntersuchungen zu Hydrologie, Grundwasser, Boden, Vegetation und Fauna in einem Auenbereich am Niederrhein in den frühen 90er Jahren zu Grunde. Die wissenschaftlichen Untersuchungen dienten dem Aufbau eines grundlegenden Verständnisses der ökologischen Prozesszusammenhänge und Wechselwirkungen in der Aue. Dieses Wissen ist unabdingbar für den Aufbau ökologischer Modelle, da derzeit und auch noch heute ökologische Modellierung ein innovatives Forschungsfeld ist. Alle gewonnenen Felddaten wurden empirisch ausgewertet und mittels multivariater statistischer Methoden analysiert. Auf dieser Basis wurden erste regelbasierte Lebensraumeignungsmodelle für die Auenvegetation und Laufkäfer

entworfen. Ihre Anwendung und Überprüfung erfolgte manuell innerhalb damals verfügbarer GIS-Software.

Mittlerweile ist die Entwicklung von INFORM grundlegend vorangeschritten. INFORM ist als eigenes Software Tool programmiert. Inhaltlich ist es breiter aufgestellt auf Grund des erlangten ökologischen Wissens und den aktuellen Anforderungen an Wasserstraßen-ausbau und -unterhaltung (Fuchs et al., 2003).

3.1 Eigenschaften von INFORM

Die ursprüngliche Programmierung von INFORM war in der Sprache C++ realisiert und in die ArcInfo™ Workstation Umgebung mittels Arc Macro Language AML implementiert. Heute ist INFORM zu ArcGIS™ 9.3 migriert. Es ist in C# und Python programmiert und als ArcGIS™-Extension für ArcMap mit eigener Symbolleiste und zentraler Projektvorlage realisiert. Letztere hält Modelle, Skripte, Korrelationsmatrizen Visualisierungsvorschriften und grundlegende Projektdaten serverseitig vor. Innerhalb von ArcMap hilft ein sogenannter Projektbaum ähnlich einem Inhaltsverzeichnis bei der Organisation eines spezifischen Projekts mitsamt allen durchzuführenden Arbeits- und Modellierungsschritten (Bild 1). Durch die Realisierung von INFORM innerhalb der ArcGIS™ Umgebung wird explizit eine räumliche Analyse sowie Darstellung aller Modellergebnisse ermöglicht.

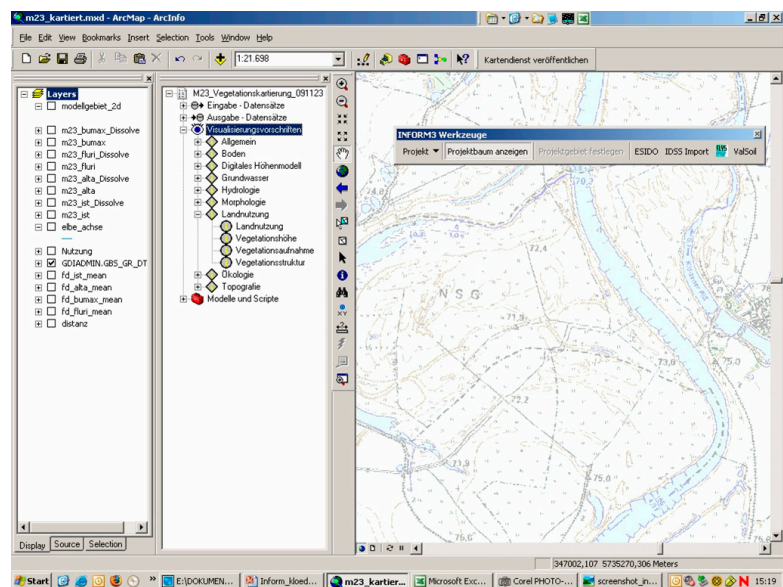


Bild 1: Grafische Benutzeroberfläche von INFORM innerhalb der ArcGIS™ 9.3 Umgebung

Das Aufstellen eines INFORM Projektes beginnt mit der Speicherung der zentralen Projektvorlage in ein eigenes z.B. lokales Verzeichnis, in dem alle relevanten Daten des anzulegenden Projektes abgelegt werden. Die räumliche Ausdehnung und das Koordinatensystem werden dabei entweder von der zentralen Projektvorlage übernommen oder eigens definiert unter Nutzung eines bestehenden Projektes oder einer verfügbaren Karte. Nachfolgend müssen die Modelle und Skripte ausgewählt und registriert werden, die für das neu eingerichtete Projekt benutzt werden sollen.

5. Umgang mit der Natur, Umweltschutz

Planen mit der Natur - wie ökologische Modellierung Wasserbauprojekte unterstützen kann

Die Systemarchitektur von INFORM zeigt einen modularen Aufbau. Dies ermöglicht das Hinzufügen neuer Komponenten aus neueren Entwicklungsstufen, aber auch das Entfernen von überalterten oder nicht mehr benötigten Komponenten. Auch in der operativen Phase von INFORM können Komponenten zu- oder abgeschaltet werden.

Derzeit enthält INFORM verschiedene Systemkomponenten, die in Bild 2 illustriert sind. Eine grundlegende Funktionalität wird durch ein 1D-hydraulisches Modell zur Berechnung von Flusswasserständen zur Verfügung gestellt. Eine Schnittstelle für extern betriebene hydraulische Modelle ist vorhanden. Bauliche Eingriffe im Fluss und seiner Umgebung mit möglichen Auswirkungen auf die Flusswasserstände können einfach in einer kartografischen Umgebung entworfen und gestaltet werden (Bild 3).

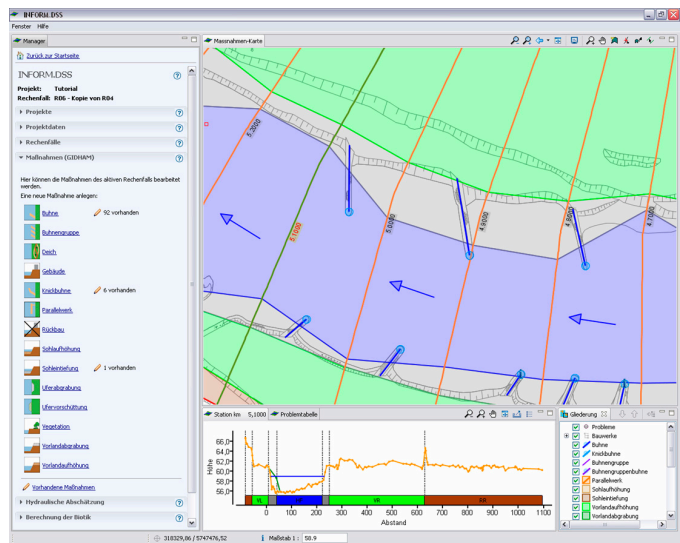


Bild 3: Grafische Benutzeroberfläche von INFORM.DSS zum Entwurf von baulichen Maßnahmen

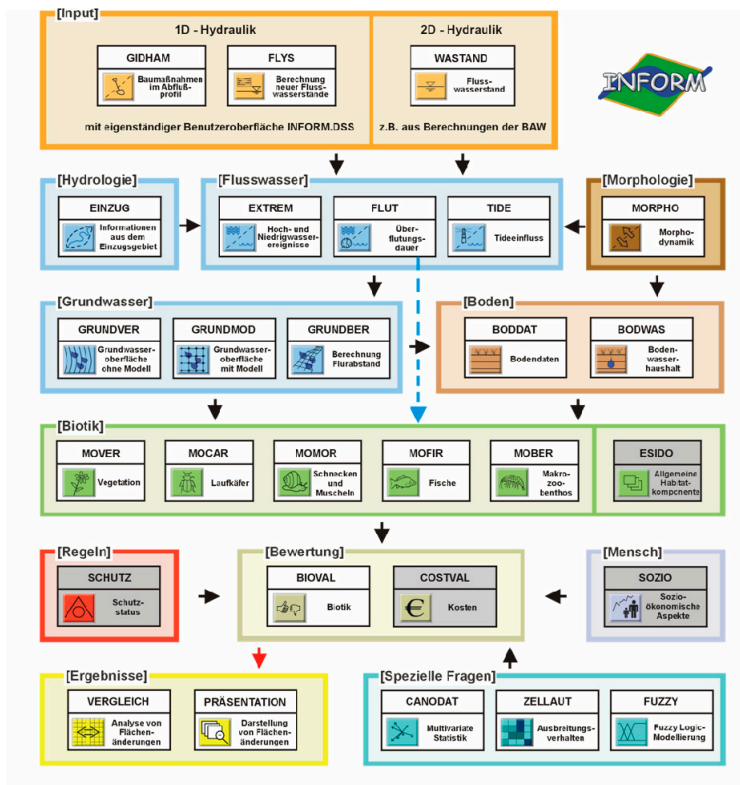


Bild 2: Systemkomponenten von INFORM

Verschiedene typische hydraulisch wirksame Baumaßnahmen sind enthalten, können in einem Projektgebiet platziert und in ihrer Größe ausgelegt werden. Beispiel für solche Maßnahmen sind Buhnen, Parallelwerke, Tieferlegung oder Auffüllung von Flussbett oder Vorland. Die umgestaltete Morphologie ist dann Eingangsparameter für eine hydraulische Neuberechnung zur Abschätzung des Effektes einer angelegten Maßnahme auf die Flusswasserstände.

Für die Oberflächenhydrologie können mit Hilfe eines einfachen Werkzeugs Extremereignisse wie Hoch- und Niedrigwasser oder die Überflutungsdauer berechnet werden. Ergänzend sind Instrumente für die Situation

an Tide beeinflussten Bereichen oder auch für das Flusseinzugsgebiet vorhanden.

Berechnete Flusswasserstände fungieren prinzipiell als Eingangsgrößen zur Berechnung der Grundwassersituation innerhalb eines Projektgebietes. Diese wird entweder durch eine Schnittstelle zu extern betriebenen Grundwassermodellen oder durch vereinfachte Algorithmen innerhalb von INFORM erzeugt. In Kopplung mit einem digitalen Geländemodell wird der Grundwasserflurabstand und seine räumliche Ausdehnung generiert, eine nicht unwichtige Größe für die Flussauenökologie.

Die Modellierung der abiotischen Umwelt wird ergänzt durch ein Modell zum Bodenwasserhaushalt, welches über Pedotransferfunktionen mit Fluss- und Grundwasserstand als wesentlichen Steuergrößen arbeitet. Die morphologische Komponente importiert hauptsächlich projektspezifische Ergebnisse von extern betriebenen hydromorphologischen Modellen.

Innovative Schlüsselkomponenten von INFORM sind zweifelsohne die biologischen Modelle (Rosenzweig et al., 2007). Diese

Modelle bilden die Vorkommenswahrscheinlichkeit der Verteilung von Lebensräumen oder Organismen am und im Fluss ab. Steuergrößen für diese Modelle sind selektierte Umweltvariablen, mit deren Änderung eine Veränderung der Lebensräume vorhergesagt werden kann. Für den Aufbau der biologischen Modelle musste und muss intensive Feldforschung betrieben werden, insbesondere, da Flussökologie sehr durch die regionale oder lokale Standorthydrologie spezifiziert wird. Empirische Interpretation und multivariate statistische Analyse der Felddaten haben zu einem grundlegenden Verständnis der funktionalen ökologischen Zusammenhänge in Flusssystemen geführt. Die Parametrisierung des gewonnenen Wissens war und ist die essenzielle Grundlage für den Aufbau der biologischen Modelle.

5. Umgang mit der Natur, Umweltschutz

Planen mit der Natur – wie ökologische Modellierung Wasserbauprojekte unterstützen kann

Die biologischen Modelle werden von bis zu vier Umweltvariablen angetrieben. Überwiegend werden regelbasierte Modelle genutzt, die in Zuordnungstabellen hierarchisch klassifizierte Umweltvariablen in Beziehung setzen zum Vorkommen von Lebensräumen oder Organismen. Statistische Modelle basieren auf mathematischen Regressionen oder anderen numerischen Lösungen.

Derzeit sind biologische Modelle für die Vegetation (MOVER), Laufkäfer (MOCAR), Weichtiere (MOMOR), Makrozoobenthos (MOBER) und Fische (MOFIR) in INFORM vorhanden. Ein generalisiertes Modellschema (ESIDO) erlaubt das Einbringen von eigenem ökologischem Wissen zur Anwendung als regelbasiertes biologisches Modell.

Die meisten INFORM Komponenten arbeiten Hand in Hand, in dem übergeordnete Komponenten Ergebnisse erzeugen, die als Eingangsparameter für untergeordnete Komponenten dienen. Aus diesem Grund ist die Bewertungskomponente das letzte Glied in der Modellkette. Damit kann eine allgemeine Bewertung der modellhaft vorhergesagten Lebensraumsituation vorgenommen werden, wobei in einer formalisierten Prozedur Bewertungskriterien herangezogen werden, die auch in Umweltverträglichkeitsuntersuchungen oder ökologischer Risikoanalysen verwendet werden. An Hand einer solchen Bewertung kann eine Maßnahmenplanung optimiert werden, in dem eine ökologisch sinnvolle Maßnahmenalternative gewählt wird, die hohe Kompensationskosten vermeidet.

Eine Komponente zur Kommunikation komplettiert den Anwendungsrahmen von INFORM. Hier können für jedes INFORM Projekt Daten und Ergebnisse visualisiert oder auch automatische Projektberichte erzeugt werden.

Die Möglichkeiten von INFORM zur Bewertung und Kommunikation sind von besonderem Interesse für den Einsatz in der Praxis. Das Übertragen aller INFORM Ergebnisse in eine für alle Planungsbeteiligten (insbesondere Nicht-Fachleute) transparente und nachvollziehbare Form ist der Schlüssel zum Erfolg für entscheidungsunterstützende Software.

3.2 Anwendung von INFORM

Das Anwendungsspektrum von INFORM wird an Hand eines Beispiels an der Mittleren Elbe demonstriert. große Abschnitte der Mittleren Elbe waren historisch gesehen unter Verantwortung der ehemaligen DDR, in deren Folge Unterhaltungsarbeiten in den letzten Jahrzehnten missachtet wurden. Viele der Flussregulierungsbauwerke sind in einem schlechten Zustand und erfüllen ihr ursprüngliches hydraulisches Ziel nicht mehr. Nach der Wiedervereinigung hat die WSV die Aufgabe übernommen, die Sicherheit und Leichtigkeit für den Schiffsverkehr auf der Mittleren Elbe wieder herzustellen, ein sicherlich anspruchsvoller und komplizierter Arbeitsauftrag, insbesondere vor der derzeitigen rechtlichen und politischen Situation.

Ein ca. 170 km langer Abschnitt der Mittleren Elbe ist durch erhebliche Erosion der Flusssohle beeinträchtigt

(Bild 4). In den letzten hundert Jahren hat sich das Flussbett dabei um fast 1 m eingetieft (Faulhaber, 1998). Die derzeitigen Erosionsraten liegen bei bis zu 2 cm pro Jahr (BfG, 2004). Der Wasserspiegelverfall beeinträchtigt dabei auch die Stabilität der Wasserbauwerke. Grundwasser- und Bodenwasserhaushalt der Flussauen können beeinflusst werden mit möglichen negativen Folgen für den ökologischen Zustand der Auen. Diese Tatsache ist von besonderer gesellschaftlicher und ökologischer Relevanz, da große Teile der Mittleren Elbe zum UNESCO Biosphärenreservat gehören.

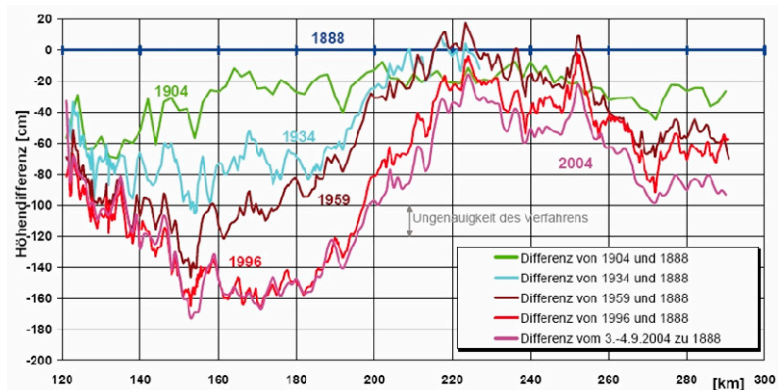


Bild 4: historische Entwicklung der Wasserstände an der Mittleren Elbe, ausgedrückt als Höhendifferenz zum normierten Wasserstand des Jahres 1888 (WSV, 2009, verändert)

Als kurzfristig wirksame Gegenmaßnahme reagiert die WSV seit 1996 mit Geschiebezugabe auf die Sohlerosion. Um ihr allerdings langfristig zu begegnen und die kostenintensive Geschiebezugabe zu minimieren bzw. aufzugeben, ist die Prüfung von Maßnahmenalternativen erforderlich. Aus diesem Grunde wurde 1999 eine Arbeitsgruppe gegründet, welcher die Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost, das Wasser- und Schifffahrtsamt Dresden, die Bundesanstalt für Wasserbau, die Bundesanstalt für Gewässerkunde sowie die Biosphärenreservatsverwaltung angehören. Ergebnis dieser Arbeitsgruppe ist das „Sohlstabilisierungskonzept für die Elbe“, in dem eine Vielzahl von Maßnahmen gegen die Sohlerosion bei gewünschtem Erhalt der natürlichen Bettodynamik vorgeschlagen werden (WSV, 2009).

Vorgeschlagen werden beispielsweise technische Sicherungen an der Flusssohle, die Ertüchtigung von Wasserbauwerken, die Anbindung alter Flussschleifen, die Anlage von Flutrinnen, die Tieferlegung von Flussufern oder Auenbereichen, die Schlitzung von Sommerdeichen und auch Deichrückverlegungen. Neben der Möglichkeit zur technischen Sicherung der Sohle zielen die meisten Maßnahmen darauf ab, den Anteil der Aue am Abflussgeschehen zu erhöhen und somit die Fließgeschwindigkeiten im Flussschlauch zu erniedrigen. Die Effektivität ausgewählter Maßnahmen wurde mittels Modelltechniken in Pilotgebieten geprüft.

Das Pilotgebiet Klöden umfasst einen Abschnitt von 10 km Länge (Elbe-km 185 bis 195) und eine Auenfläche von ungefähr 20 km² (Bild 5). Diese Strecke zeigt die höchsten Erosionsraten an der Mittleren Elbe. Die hydraulischen und morphologischen Auswirkungen

5. Umgang mit der Natur, Umweltschutz

Planen mit der Natur - wie ökologische Modellierung Wasserbauprojekte unterstützen kann

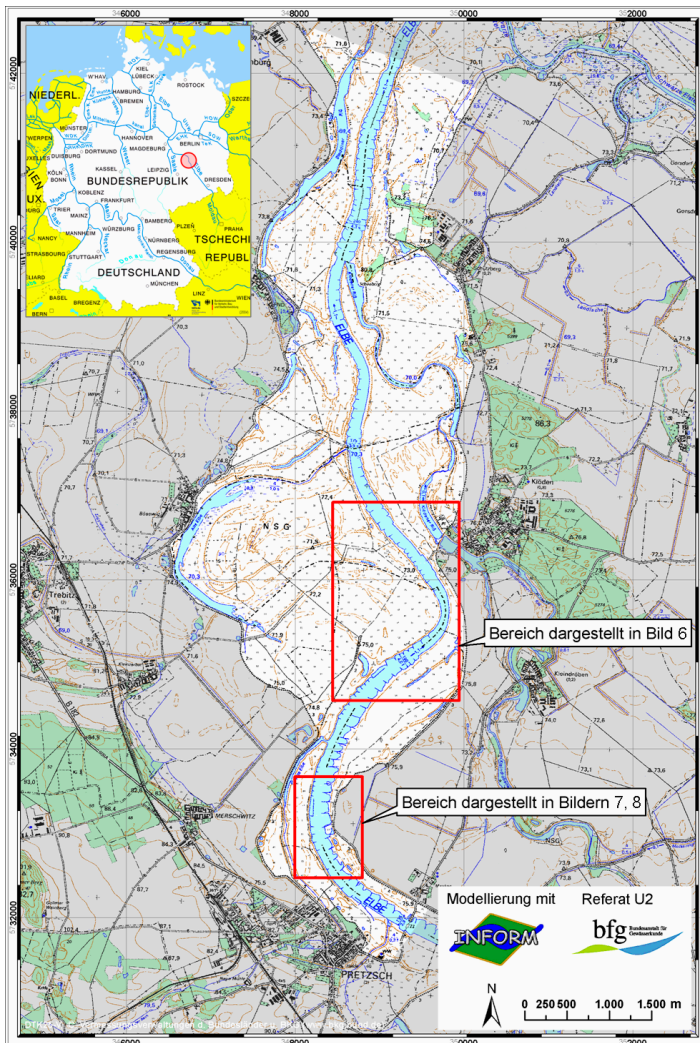


Bild 5: Pilotgebiet Klöden an der Mittleren Elbe zu Prüfung der ökologischen Auswirkungen möglicher baulicher Gegenmaßnahmen zur Minderung der Sohlerosion mit dem Modellsystem INFORM

ausgewählter Maßnahmen wurden durch die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) berechnet. Auf dieser Grundlage wurde die BfG beauftragt, die ökologischen Auswirkungen mit dem Flusssauenmodell INFORM vorherzusagen.

Als mögliche Maßnahme zur Überführung eines Teils des Abflusses in die Aue wird der Bau einer Flutmulde vorgeschlagen, die ab einem vordefinierten Abfluss aktiv wird. Die Lage im Vorland ist an einer Stelle konzipiert, in der die Elbe eine nahezu 90° Biegung macht. Eine Veränderung der Auenvegetation an dieser Stelle kann vermutet werden. Nachdem ein INFORM Projekt für das Pilotgebiet Klöden aufgesetzt wurde, dass alle relevanten topografischen, morphologischen und Umweltdaten enthält, wurde eine potenzielle Veränderung der Vegetation durch den Bau der Flutmulde mit dem biologischen Vegetationsmodell MOVER 2.3 berechnet. Dieses Modell bildet die Eignung von Vegetationshabitaten auf der Basis der Vorhersageparameter Überflutungsdauer (Tage/Jahr)

und Distanz zum Flussschlauch (Meter) ab. Eine Veränderung der Vegetation im gesamten Gebiet scheint offensichtlich nur klein zu sein, wird aber offensichtlich in der unmittelbaren Umgebung der Flutmulde. Im Vergleich zur ursprünglichen Biotopkartierung steigt der Anteil des feuchten bis nassen Grünlandes gegenüber dem mesophilen Grünland. Potenzielle Lebensbereiche für Röhrichte und Staudenfluren werden geschaffen (Bild 6).

Ein Vorschlag zum Erreichen der ursprünglich ausgeglichenen Verteilung der Flussgeschwindigkeiten im Längs- und Querprofil ist das Ausbaggern von Bühnfeldern. Auf Grund der in den letzten Jahrzehnten unterlassenen Unterhaltung sind im Pilotgebiet Klöden die Bühnfelder nahezu vollständig mit Sedimenten gefüllt. Damit erfüllen die Bühnen nicht mehr das ursprünglich vorgesehene hydraulische Ziel. Die zusedimentierten Bühnfelder fungieren quasi als neue Uferlinie, verengen das Querprofil, erhöhen damit die Fließgeschwindigkeiten im Flussschlauch und führen letztlich offensichtlich zu einer erhöhten Sohlerosion. Die Baggerung der Bühnfeldsedimente soll die Fließgeschwindigkeit im Flussschlauch verringern. Zusätzlich soll die ursprünglich für die Mittelwasserregelung ausgelegte Bühnenhöhe auf ein niedrigeres Höhnenniveau justiert werden, das am aufgrund der Sohlerosion niedrigeren heutigen Mittelwasserstand ausgerichtet ist.

Die hydraulischen und morphologischen Effekte der Bühnfeldbaggerung wurden wiederum durch die BAW modelliert. Da sich diese Maßnahme mehr auf den Fluss selbst bezieht, bietet INFORM nun die Möglichkeit, die Auswirkungen auf die Lebensräume von Fischen vorherzusagen. Das biologische Modell MOFIR 2 modelliert die Lebensraumeignung für Fischarten auf der Basis der Vorhersagevariablen Fließgeschwindigkeit, Wassertiefe, Substrat des Flussbetts und der Deckungsmöglichkeit.

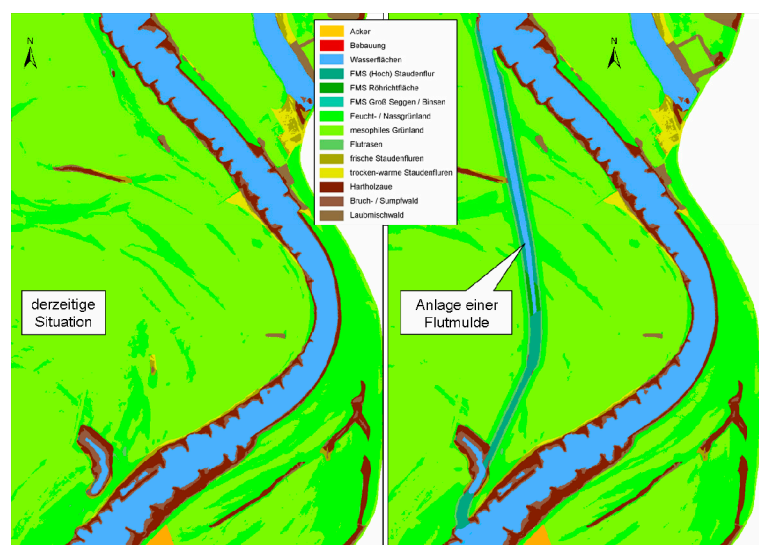


Bild 6: Detail des Pilotgebietes Klöden, mit dem Vegetationsmodell MOVER 2.3 modellierte Verteilung der Vegetation, links: Ausgangszustand, rechts: Zustand nach dem Bau einer Flutmulde

5. Umgang mit der Natur, Umweltschutz

Planen mit der Natur – wie ökologische Modellierung Wasserbauprojekte unterstützen kann

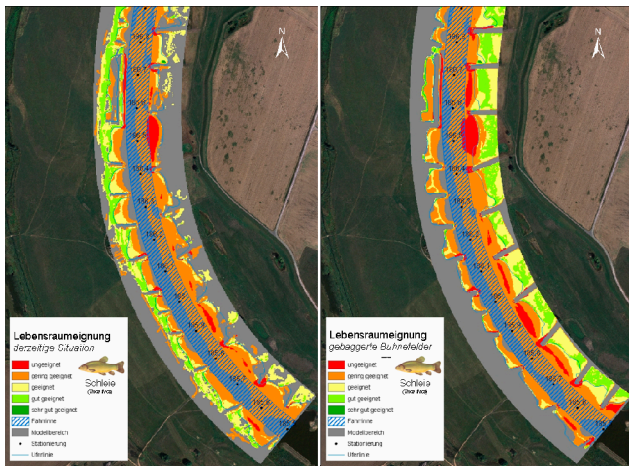


Bild 7: Detail des Pilotgebietes Klöden, mit dem Fischmodell MOFIR 2 modellierte Lebensraumeignung für die adulte Schleie (*Tinca tinca*), links: Ausgangszustand, rechts: Zustand nach Ausbaggerung der Bühnenfelder, beide bezogen auf mittleren Niedrigwasserabfluss

Bild 7 zeigt die Änderung in der Lebensraumqualität für die Fischart Schleie (*Tinca tinca*) für die adulte Lebensphase. Die derzeitige Situation bietet offensichtlich nur geringe Lebensraumqualität für die Schleie, vor allem in Bereichen der verfüllten Bühnenfelder. Die Ausbaggerung der Bühnenfelder verbessert deutlich die Lebensraumeignung für die das Stillwasser mit geringen Fließgeschwindigkeiten liebende Art Schleie.

Die strömungsliebende Fischart Barbe (*Barbus barbus*) zeigt eine gegenteilige Reaktion (Bild 8). Insbesondere die ufernahen Seitenbereiche bieten im Ausgangszustand nur mäßige Lebensbedingungen für die adulte Barbe. Die Ausbaggerung der Bühnenfelder verbessert diese Situation durch Schaffung von Lebensräumen mit mäßiger bis hoher Eignung für die Barbe. Für diese Elbregion ist das beachtenswert, da die Barbe hier eine hervorgehobene Rolle für Natur und Fischerei spielt.

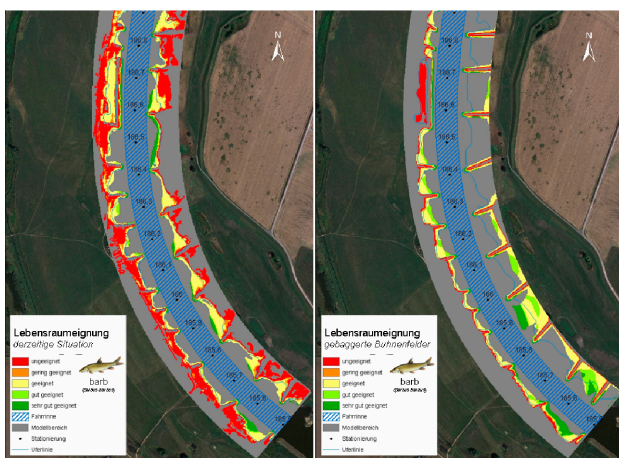


Bild 8: Detail des Pilotgebietes Klöden, mit dem Fischmodell MOFIR 2 modellierte Lebensraumeignung für die adulte Barbe (*Barbus barbus*), links: Ausgangszustand, rechts: Zustand nach Ausbaggerung der Bühnenfelder, beide bezogen auf mittleren Niedrigwasserabfluss

Die Bewertung der maßnahmenbezogenen Effekte kann an Hand selektierter Kriterien für die Vegetation oder die Fischarten vorgenommen werden. Hieraus kann dann der Schluss gezogen werden, welche der Maßnahmen aus ökologischer Sicht zu bevorzugen oder abzulehnen ist. So kann mit Hilfe der ökologischen Modellierung neben den hydraulisch-morphologischen Anforderungen die Auswirkungen auf die Ökologie mit in den Entscheidungsprozess zur Auswahl geeigneter Maßnahmen zur Eindämmung der Sohlerosion in diesem Elbeabschnitt einbezogen werden. Sicherlich wird dieser Prozess einer wohlüberlegten und umfassenden Vorplanung in einer gut begründeten Maßnahmenplanung münden, die von den Planungsbeteiligten und Entscheidungsträgern akzeptiert und mit getragen wird.

4. Ökologische Modellierung und die PIANC „Working with Nature“ Position

Wie von PIANC in 2008 vorgeschlagen, unterstützt und protegiert das „Working with Nature“ (WwN) Prinzip eine integrierte Planung von verkehrswasserbaulichen Projekten. Die Identifizierung von Synergieeffekten und Win-Win-Situationen für Projektplaner und Akteure ist dabei von besonderem Nutzen in Vorplanungsstadien, in denen noch Planungsflexibilität besteht (PIANC, 2008).

Für die Realisierung verkehrswasserbaulicher Projekte wird in WwN ein Wechsel von der Philosophie des Kontrollierens zur Philosophie des Managements favorisiert. Gleichzeitig müssen Verständigungsschwierigkeiten zwischen Ökologen, Bauingenieuren, Verwaltungspersonen und Politikern angegangen werden. In der Tat ist das Vorplanungsstadium der richtige Zeitpunkt, da hier noch für alle Planungs- und Verfahrensbeteiligten die Möglichkeit zur Kommunikation, Diskussion und Projektgestaltung gegeben ist. Sicherlich ist in einigen Ländern diese Vorgehensweise selbstverständlich und üblich, abhängig von der jeweiligen Planungskultur, gültigen rechtlichen Anforderungen und der Selbstwahrnehmung für eine moderne Wasserstraßenplanung. Andererseits können Probleme in der Umsetzung von Wasserstraßenprojekten, die Vernachlässigung ökologischen Folgen und damit einhergehende Verzögerungen im Zulassungsverfahren sowie eine negative öffentliche Wahrnehmung von wasserbaulichen Eingriffen auch heute noch weltweit wahrgenommen werden. Aus diesem Grund unterstützt PIANC die WwN Position als eine vorteilhafte, nutzbringende und lohnende Vorgehensweise zur Förderung des zukunftsfähigen und nachhaltigen wassergebundenen Transportsektors, sowohl im Hinblick auf die Entwicklung von Häfen wie auch für die Verkehrsinfrastruktur der Schifffahrt.

Nimmt man das WwN Prinzip ernst, ist zur Umsetzung auch ein tiefes Verständnis des Flussökosystems und seiner Dynamik sowie insbesondere das Wissen über das Verhältnis zwischen Eingriff und ökologischen Folgen (Ursache/Wirkung) notwendig. Als Ausgangspunkt für ein WwN-Projekt ist eine zuverlässige Datenbasis für die Planung mit möglichen Alternativen sowie für die ökologische Situation erforderlich. Darauf aufbauend sind Instrumente zur Vorhersage notwendig, um eine ökologische Folgenabschätzung von Planungen vornehmen zu können und Gelegenheit für mögli-

5. Umgang mit der Natur, Umweltschutz

Planen mit der Natur - wie ökologische Modellierung Wasserbauprojekte unterstützen kann

che Umplanungen zu eröffnen. An dieser Stelle kann die ökologische Modellierung als effektives und nutzbringendes Instrument angesehen werden, um ein Wasserstraßenprojekt gemäß des WvN-Prinzips unterstützend zu begleiten.

Ökologische Modellierung in der Planungspraxis bietet eine Reihe von Vorteilen. Eine gemeinsame Basis für objektive an Stelle von subjektiven Diskussionen wird geschaffen, ein Antwort auf erwartete projektbezogene ökologische Auswirkungen kann schnell gegeben werden, Möglichkeiten für Umplanungen werden ermöglicht, die erwarteten ökologischen Reaktionen kurzfristig gegeben, eigene Planungsideen und -vorstellungen können somit eingebracht und schnell bewertet werden. Im Hinblick auf ökosystemare Dienstleistungen kann die Schwierigkeit zur Priorisierung bestimmter Dienstleistungen mit dem Ziel, einen möglichst hohen Nutzen zu haben (Shelton et al., 2001), mit Hilfe ökologischer Modellierung relativiert werden. Zusätzliche Chancen, wasserbauliche Projekte in einem ökologischen Kontext zu verwirklichen, können maximiert werden. Letztlich werden somit Frustrationen, Verzögerungen und potenzielle Sonderkosten vermindert. Die Verwendung ökologischer Modellierung kann folglich dabei helfen, das Management von Wasserstraßen und ihres Umfeldes mit Bezug zum Planen mit der Natur zu erleichtern.

Literatur

- BfG: Feststofftransport und Flussbettentwicklung der Elbe, Bericht BfG-1431, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, 2004
- BMVBS: Wasserwirtschaftliche Unterhaltung an Bundeswasserstraßen. Grundzüge für ein Handlungskonzept. Erlass WS 14/WS 15/5242.3/3. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn, 2009
- BNatSchG: Bundesnaturschutzgesetz - Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege. vom 29. Juli 2009 (German Federal Act for Nature Conservation). BGBl. I Nr. 51 vom 06.08.2009. S. 2542, 2009
- CEMAGREF: Common scientific methods - New tools for understanding and managing the environment. www.cemagref.fr (most recent access 2009-12-30), 2009
- DELTAres: HABITAT – a spatial analysis tool to support the development of management plans. Deltares. The Netherlands. <http://public.deltares.nl/display/HBTHOME/Home> (most recent access 2010-01-04), 2009
- DUGDALE, L.J.; BROWN, J.; LANE, S.N.; A. MALTBY: Rapid Assessment of River Environments. Eden Rivers Trust, Units O&Q, Penrith, 2006
- EC: Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal L 327, 22.12.2000, pp 1–73, 2000
- EEA: Environmental indicators: Typology and overview. European Environmental Agency. Technical Report No.25, Copenhagen, 1999
- EEC: Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. Official Journal L 206, 22/07/1992, pp 0007 – 0050, 1992
- FAULHABER, P.: Entwicklung der Wasserspiegel- und Sohlenhöhen in der deutschen Binnenelbe innerhalb der letzten 100 Jahre - Einhundert Jahre „Elbestromwerk“. In: Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Elbe, 8. Magdeburger Gewässerschutzseminar, Teubner Stuttgart, Leipzig, 1998
- FUCHS, E.; GIEBEL, H.; HETTRICH, A.; HÜSING, V.; ROSENZWEIG, S.; H.J. THEIS: Einsatz von ökologischen Modellen in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung – Das integrierte Flusssauenmodell INFORM. BfG Mitteilung Nr.25, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, 2003
- FUCHS, E.; HORCHLER, P.; ROSENZWEIG, S.; WINTERSCHEID, A.: nofdp IDSS – ein kostenfreies Softwareprodukt zur Konzeption von naturverträglichen Hochwasserschutzmaßnahmen. Vieweg+Teubner Verlag. Wasserwirtschaft 10/2009, pp 10-14, 2009
- HAASNOT, M.; VAN DE WOLFSHAAR, K.E.: Combining a conceptual framework and a spatial analysis tool, HABITAT, to support the implementation of river basin management plans. IAHR, INBO and IAHS. Intl. J. River Basin Management Vol. 7, No. 4, pp. 295–311, 2009
- HAHN, B.M., KOFALK, S., DE KOK, J.L., BERLEKAMP, J.; EVERS, M.: Elbe DSS: a planning support system for strategic river basin planning. in: Geertman, S. & Stillwell, J.C.H. (Eds.), Best Practice and New Methods in Planning Support Systems, Springer. GeoJournal Series, volume 95, pp113-136, 2009
- HORCHLER, P.J.: Workshop on hydro-ecological modelling of riverine organisms and habitats, ecological processes and functions. 6th/7th June 2005, 's-Hertogenbosch, The Netherlands. EU INTERREG IIIB NEW Project nature-oriented flood damage prevention. available at: www.nofdp.net (most recent access 2010-01-04), 2005
- HR WALLINGFORD: Ecological modelling taken from internet <http://www.hrwallingford.co.uk> (most recent access 2010-01-04), 2009
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT: Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press. ISBN 1-59726-040-1, 2005
- OECD: Key Environmental Indicators. OECD Environment Directorate. OECD Publications. Paris, 2004
- PIANC: Working with Nature. PIANC Position Paper, Brussels, 2008
- REICHERT, P.; BORSUK, M.; HOSTMANN, M.; SCHWEIZER, S.; SPÖRRI, C.; TOCKNER, K.; TRUFFER, B.: Concepts of decision support for river rehabilitation. Elsevier Ltd., Environmental Modelling & Software 22. pp 188-201, 2007
- ROSENZWEIG, S.; HETTRICH, A.: Application of Ecological Submodels of INFORM. in: Frontiers in Ecological Research, pp. 165-185, Nova Science Publishers. ISBN 1-60021-060-0, 2007

5. Umgang mit der Natur, Umweltschutz

Planen mit der Natur - wie ökologische Modellierung Wasserbauprojekte unterstützen kann

SCHAEFER, K.: Federal Inland Waterways in Germany - Traffic routes and habitats. Presentation of Federal Ministry of Transport, Building and Urban Affairs. at: European Commission Working Group on Rivers, Brussels, 2009

SHELTON, D. ET AL.: Application of an ecosystem services inventory approach to the Goulburn Broken Catchment. Proceedings Third Australian Stream Management Conference August 27-29, 2001. Rutherford, I., Sheldon, F., Brierley, G., and Kenyon, C. (Editors). Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology: Brisbane. pp 157-162, 2001

USACE: Ecosystem Management and Restoration Information System EMRIS. US Army Corps of Engineers. <http://el.erdc.usace.army.mil/emrrp/emris> (most recent access 2009-12-30), 2009

UVPG: Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung. vom 25. Juni 2005 (German Federal Act for Environmental Impact Assessment). BGBl. I Nr. 37 vom 28.06.2005, S. 1757, 2005

VAN EK, R.; WITTE, J.P.M.; RUNHAAR, H.; KLIJN, F.: Ecological effects of water management in the Netherlands: the model DEMNAT. Elsevier Ltd. Ecological Engineering 16, pp 127-141, 2000

VAN EUPEN, M.; KNOL, W.; NIJHOF, B.; VERWEIJ, P.: Landscape Ecological Decision & Evaluation Support System. LEDESS Users Guide. Alterra, Green World Research. Alterra-Rapport 447, Wageningen, 2004

VAN DELFT, S.P.J.: Validatie Natuurgericht Land-evaluatiesysteem. Toetsing van de voorspelling van ecotooptypen aan veldgegevens in proefgeod Beerze-Reusel. Alterra, Green World Research. Alterra-Rapport 947, Wageningen. 2004

VAN LOOY, K.; MEIRE, P.; WASSON, G.B.: Including Riparian Vegetation in the Definition of Morphologic Reference Conditions for Large Rivers: A Case Study for Europe's Western Plains. Environmental Management, vol. 41, n° 5, pp 625-639, 2008

VERKROOST, A.W.M.; OLDE-VENTERINK, H.; PIETERSE, N.M.; SCHOT, P.P.; WASSEN, M.J.: Ecohydrological Modeling and Integrated Management Planning in the Catchment of the River Dommel. Faculty of Geographical Sciences, Utrecht University, ISBN 90-73083-19-2, 1998

WESSELINK, A.J.; REUBER, J.; KROL, M.S.: Anticipating climate change: knowledge use in participatory flood management at the river Meuse. E.W.Publications. European Water.15/16. pp 3-14, 2008

WHG: Wasserhaushaltsgesetz. Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts. vom 31. Juli 2009 (German Federal Water Act). BGBl. I Nr. 51 vom 06.08.2009, S. 2585, 2009

WSV: Sohlstabilisierungskonzept für die Elbe - von Mühlberg bis zur Saalemündung. Projektgruppe Erosionsstrecke Elbe. WSD Ost, WSA Dresden, BfG, BAW. Magdeburg, Dresden, Koblenz, Karlsruhe, 2009

Verfasser

Dr. Elmar Fuchs
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Referat U2 Ökologische Wirkungszusammenhänge
Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz
Telefon: 0261/1306-5308
E-Mail: fuchs@bafg.de

Dipl.-Geograph Stephan Rosenzweig
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Referat U2 Ökologische Wirkungszusammenhänge
Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz
Telefon: 0261/1306-5895
E-Mail: rosenzweig@bafg.de

Dr. Michael Schleuter
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Referat U2 Ökologische Wirkungszusammenhänge
Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz
Telefon: 0261/1306-5469
E-Mail: schleuter@bafg.de