

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Wurms, Sven; Huber, Nils

Grenzen und Möglichkeiten flussbaulicher Modelle bei der umweltgerechten Entwicklung von Binnenwasserstraßen

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/106749>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Wurms, Sven; Huber, Nils (2019): Grenzen und Möglichkeiten flussbaulicher Modelle bei der umweltgerechten Entwicklung von Binnenwasserstraßen. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Verkehrswasserbau und Ökologie – Erfolge, Synergien, Konflikte. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 66-70.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Grenzen und Möglichkeiten flussbaulicher Modelle bei der umweltgerechten Entwicklung von Binnenwasserstraßen

Dr.-Ing. Sven Wurms, Bundesanstalt für Wasserbau

Dr.-Ing. Nils P. Huber, Bundesanstalt für Wasserbau

Modelleinsatz im Rahmen flussbaulicher Untersuchungen

Flussbauliche Regelungsmaßnahmen wie z. B. Quer- oder Längsbauwerke zielen an frei fließenden Binnenwasserstraßen traditionell auf die Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse ab. Im Wesentlichen stehen hierbei die Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen im unteren bis mittleren Abflussspektrum sowie eine gleichmäßige und stabile Strömungsführung im Vordergrund. Das Regelungssystem beeinflusst die dem Fließgewässer innewohnende morphodynamische Entwicklung der Sohle idealerweise in der Art, dass sich der erforderliche Unterhaltungsaufwand innerhalb der Fahrrinne verringert und sich langfristig eine im zeitlichen Mittel stabile Sohle einstellt. Darüber hinaus umfassen die flussbaulichen Regelungsziele zunehmend Gesichtspunkte zur Verbesserung der Strukturvielfalt und des ökologischen Gewässerzustands der Binnenwasserstraßen, welche es mit den verkehrlichen Zielen in Einklang zu bringen gilt.

Für die Planung flussbaulicher Maßnahmen und die Analyse von deren Auswirkungen auf das hydraulisch-morphologische System werden sowohl numerische als auch gegenständliche Strömungs- und Feststofftransportmodelle eingesetzt. Die Modelle zielen bislang hauptsächlich auf die Identifikation geeigneter oder die Anpassung bestehender flussbaulicher Maßnahmen zur Erreichung definierter Regelungsziele sowie die Untersuchung von Maßnahmen der Sedimentbewirtschaftung oder der Fahrrinnenunterhaltung ab. Wesentliche Modellergebnisse sind die maßnahmenbedingten Änderungen abiotischer Parameter wie Strömungsgeschwindigkeiten, Wassertiefen, Sedimenttransportraten oder Sohlagen. Diese Ergebnisse stellen eine wesentliche Grundlage für die Bewertung der Maßnahmen aus Sicht der Wasserwirtschaft, hier insbesondere des Hochwasserschutzes, der Ökologie und weiterer Disziplinen dar.

Wesentliche Grundlage sowohl numerischer als auch gegenständlicher Modelle sind räumliche und zeitlich konsistente Eingangsdaten hoher Güte, die das hydraulisch-morphologische System idealerweise im gesamten Modellbereich beschreiben und zudem geeignet sind, sowohl langfristige als auch abflussabhängige Entwicklungen in der Untersuchungsstrecke nachzuzeichnen. Die höchste räumliche und zeitliche Datendichte hydrographischer Daten (Sohlpeilungen, Geschwindigkeitsmessungen etc.) liegt zumeist im Bereich des Mittelwasserbetts vor. Außerhalb nimmt die Genauigkeit, aber auch die Verfügbarkeit hydrographischer Daten ab, was einerseits auf die bislang deutlich geringere Relevanz dort anzutreffender Fragestellungen, andererseits aber auch auf praktische Aspekte wie z. B. die Befahrbarkeit von Altarmen oder gar Vorlandflächen bei Hochwasserereignissen mit Messbooten zurückzuführen ist.

Die Auswahl der jeweils für die Fragestellung geeigneten Untersuchungsmethode hängt insbesondere von den relevanten, vom Modell zwingend abzubildenden hydraulischen und morphologischen Prozessen ab. Darüber hinaus sind die Ausdehnung und Charakteristik des Untersu-

chungsgebiets sowie die zeitliche Dimension der zu untersuchenden Phänomene wesentliche zu berücksichtigende Faktoren. Mehrdimensionale numerische Modelle werden aufgrund ihrer Effizienz und der zur Verfügung stehenden Rechnerleistung heutzutage bereits für Strecken deutlich über 100 km Ausdehnung sowie für langfristige morphodynamische Prognosen eingesetzt und stellen somit grundsätzlich geeignete Werkzeuge für flussbauliche Untersuchungen im Rahmen von großräumig angelegten Verkehrsinfrastrukturprojekten dar. Dabei darf jedoch nicht unterschätzt werden, welche hohen Anforderungen die zu beschreibenden Phänomene insbesondere in freifließenden Binnenwasserstraßen sowohl an die fachlichen Fähigkeiten und Erfahrungen der modellierenden Personen als auch an das Modellverfahren selbst stellen. Zentrale Voraussetzung für erfolgreiches flussbauliches Handeln ist ein fundiertes Verständnis des jeweils betrachteten natürlichen Systems und der in ihm ablaufenden maßgeblichen Prozesse. Modelle sind stets nur unterstützende Werkzeuge, deren Ergebnisse nur dann einen relevanten Wert entfalten, wenn sie einer kritischen Überprüfung auf Plausibilität unterzogen und fachkundig interpretiert werden.

Sind Auswirkungen flussbaulicher Maßnahmen auf den Sedimenttransport und die Sohlenentwicklung zu beschreiben, so sind gleichermaßen anspruchsvolle wie relevante Prozesse wie z. B. der Transportbeginn von Sedimentmischungen mit breiter Korngrößenverteilung, vertikale Sortierprozesse im Sedimentkörper und die Ausbildung von Deckschichten oder Transportkörpern oftmals nur stark abstrahiert abbildbar. Ursache hierfür ist die bis heute z. T. fehlende oder unzureichende mathematische Beschreibung wesentlicher physikalischer Prozesse. Insbesondere in diesen Fällen bieten gegenständliche Modelle wertvolle alternative Untersuchungsmöglichkeiten, sofern unvermeidbare Maßstabeffekte berücksichtigt werden. Nachteil derartiger Modelle ist jedoch der vergleichsweise hohe Aufwand, der beim Aufbau des Modells und bei Variantenbetrachtungen flussbaulicher Maßnahmen zum Tragen kommt sowie der in der Regel auf wenige Flusskilometer limitierte Modellabdeckungsbereich.

Neue Herausforderungen durch ökologisch orientierte Maßnahmen

Numerische und gegenständliche Modelle zählen zum bewährten Methodenspektrum im Rahmen der Untersuchung klassischer flussbaulicher Fragestellungen in Binnenwasserstraßen. Die Ausweitung der flussbaulichen Regelungsziele um ökologische Komponenten stellt hingegen eine zunehmende Herausforderung für die Entwicklung adäquater Modellierungskonzepte auf Basis des bestehenden Modellinstrumentariums und dem Fundus an routinemäßig von der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung erhobenen Daten dar.

Für eine erfolgversprechende flussbauliche Modellierung unabdingbar, dies gilt sowohl für numerische als auch gegenständliche Modelle, sind belastbare Messdaten, welche das Verständnis für die wesentlichen Prozesse erweitern helfen und anhand derer eine Kalibrierung und Validierung von Modellen gelingen kann. Die größte Modellgenauigkeit kann daher bei flussbaulichen Untersuchungen traditionell in den Bereichen zwischen den Uferlinien, in denen sowohl die Regelungssysteme inklusive deren Wirkbereiche als auch die morphologisch aktive Gewässersohle lokalisiert sind, erreicht werden. Die reduzierte Verfügbarkeit von Eingangsdaten insbesondere im Bereich der Vorländer wird im Rahmen der Kalibrierung zwangsläufig durch ein erhöhtes

Maß an Parametrisierung ausgeglichen, wodurch die Aussagefähigkeit der Modelle im Hauptstrom bei klassischen flussbaulichen Untersuchungen jedoch nicht beeinträchtigt wird.

Die Betrachtung ökologisch relevanter hydraulischer oder morphologischer Aspekte definiert Anforderungen und auch Erwartungen an eine Modellierung oftmals in den Bereichen, die auch aus bereits genannten Gründen der verminderten Zugänglichkeit vielfach nicht im eigentlichen Fokus von Datenerhebungen stehen können. In diesen Bereichen ist demzufolge eine über eine entsprechend gröbere Parametrisierung hinausgehende hydraulische oder morphologische Kalibrierung nicht in dem Maße möglich, wie es eine vielfach ökologisch angestrebte detaillierte Bewertung von dynamischen Prozessen und potenziell zukünftigen Habitatbedingungen erfordern würde. Letzteres ist nicht als Schwäche flussbaulicher Modelle zu interpretieren. Lassen die vorliegenden Daten unabhängig von der Modellanwendung keine Beschreibung der ortsspezifischen hydraulisch-morphologischen Phänomene zu, dann sind diese im Modell per se nicht mit hoher Genauigkeit abbildbar. Beispiele in diesem Zusammenhang sind Flachwasserzonen, ufernah hinterströmte Bereiche von Bauwerken, lokal begrenzte Bereiche alternativer Ufersicherungen, Altarme oder Vorlandrinnen.

Zur ökologischen Aufwertung der Bedingungen an den Bundeswasserstraßen werden mit dem Ziel, Strukturvielfalt zu schaffen, vielfach individuelle bzw. ortsspezifisch wirkende Lösungen verfolgt, für die ein belastbarer Erfahrungsschatz selten existiert. Mit der Ausweitung der Untersuchungsfokusse vom Hauptstrom über die Gewässerseitenbereiche bis auf die Vorländer werden somit mitunter die klassischen, mit umfangreichem Erfahrungswissen unterlegten und im Rahmen zahlreicher Modellanwendungen validierten Anwendungsbereiche verlassen, woraus in diesen Gebieten gegebenenfalls weitere Unsicherheiten erwachsen. Dies betrifft beispielsweise Prozesse wie morphologische Entwicklungen in den Altarmen und Rinnensystemen der Vorländer, die Auswirkungen der saisonal differenziert zu betrachtenden Vorlandvegetation auf Strömungs- und Sedimenttransportprozesse oder auch die Durchströmung tiefer Seen, die saisonale Temperaturschichtungen aufweisen können.

Eine ähnliche Herausforderung besteht in der modellgestützten Entwicklung flussbaulicher Maßnahmen, in deren Wirkungsbereich ökologisch wertvolle, dynamische Strukturen wie z. B. Kiesgründe lokalisiert sind, die durch die Maßnahmen nicht nachteilig beeinflusst werden dürfen. Die Prognose der maßnahmenbedingten Auswirkungen auf derartige sensibel auf eine Veränderung der hydraulischen und morphologischen Randbedingungen reagierende, räumlich begrenzte und in der Regel vergleichsweise kleinskalige Strukturen erfordert neben einer Datenbasis, die Auskunft über die bisherige Entwicklung dieser Strukturen gibt, eine deutlich höhere Genauigkeit bei der Abbildung der relevanten ortsspezifischen Prozesse und der abflussabhängigen Dynamik. Doch auch unter der Annahme eines bestmöglich kalibrierten und validierten Modells wäre eine Aussage zur längerfristigen Entwicklung dynamischer Strukturen infolge der Variabilität wesentlicher Randbedingungen seriöserweise nur in Bandbreiten kommunizierbar. Größen, die naturgemäß eine hohe Variabilität aufweisen und dementsprechend Auswirkungen auf die Systementwicklung haben, sind u. a. hydrologische Randbedingungen (z. B. Abfolge und Ausprägung hydrologischer Ereignisse, Auswirkungen des Klimawandels auf diese), morphologische und sedimentologische Komponenten, das Sedimentdargebot oder auch die Ausprägung und

Verteilung der Vegetation (z. B. Entwicklung, saisonale Abhängigkeiten). Sollen potenziell dynamische Strukturen gar als ökologisch optimierte Form eines technischen Bauwerks als regelndes Element fungieren (z. B. Flussinsel anstelle eines Parallelwerks), erwachsen hieraus ebenfalls die genannten Herausforderungen. In der Folge weisen dann nicht nur diejenigen von einem Modell erwarteten Aussagen zusätzliche Unsicherheiten auf, die von ökologischer Relevanz sind. Mit einer Abkehr von etablierten flussregelnden Maßnahmen können insbesondere auch die Prognosen zu Regelungswirkungen und z. B. zur morphologischen Entwicklung nicht in gewünschter Zuverlässigkeit formuliert werden. Hierdurch können Planungen von Maßnahmen für eine Verbesserung schiffahrtlicher Bedingungen maßgeblich beeinträchtigt werden.

Lösungsansätze

Die zunehmende Relevanz ökologisch motivierter Fragestellungen im Rahmen flussbaulicher Untersuchungen erfordert offensichtlich eine Anpassung der klassischen Untersuchungskonzepte. Neben der Frage, wie in den vergleichsweise kleinskaligen ökologischen Fokusgebieten die erforderliche Modellgenauigkeit erzielt werden kann, steht die Anforderung, trotz steigenden Komplexitätsgrads der Modellierung einen effizienten Modellbetrieb im Rahmen flussbaulicher Untersuchungen zu gewährleisten.

Eine erfolgreiche Vorgehensweise stellt die Kombination unterschiedlicher Modellarten dar, um auf diese Weise von den Vorzügen der einzelnen Modelle, z. B. Genauigkeit auf der einen und Effizienz auf der anderen Seite, profitieren zu können. Im Rahmen dieser sogenannten hybriden Modellierung kann das effiziente, gegebenenfalls weniger genaue Modell dazu dienen, in kurzer Zeit umfangreiche flussbauliche Variantenanalysen durchzuführen. Potenziell zielführende Maßnahmen können dann im genaueren Modell unter erhöhtem Aufwand detailliert hinsichtlich ihrer Wirkung z. B. auf lokal begrenzte, ökologisch schützenswerte Strukturen untersucht werden. Wenngleich der Untersuchungsaufwand bei dieser Vorgehensweise insgesamt steigt, erhöht sich die Ergebnisschärfe und die Belastbarkeit der sich aus zwei Modellen ergänzenden Aussagen deutlich.

Ein aktuelles Beispiel hierfür ist die Modellierung des Engpasses Jungferngrund am Mittelrhein, der in einer nautisch anspruchsvollen 90°-Krümmung gelegen ist. Der Engpass wird maßgeblich durch Kies- und Sandablagerungen am Innenufer verursacht, welche regelmäßig im Zuge von Unterhaltungsbaggerungen beseitigt werden müssen. Querströmungen ober- und unterhalb der im Bereich der Außenkurve gelegenen Felsinsel, dem Tauber Werth, verschärfen die Situation zusätzlich. Die im Bereich des Jungferngrunds zu entwickelnden flussbaulichen Maßnahmen zielen daher auf eine Verringerung sowohl der Querströmungen als auch der Anlandungstendenzen ab. Als wesentliche Randbedingung gilt es hierbei zu beachten, dass durch die erforderliche Erhöhung der an der Gewässersohle angreifenden Kräfte die ökologisch wertvolle Kiesformation Jungferngrund nicht nachteilig beeinflusst wird. Maßgebliche, vom Modell abzubildende Prozesse sind neben den 3D-Strömungseffekten die Wirkung der zerklüfteten Felssohle auf die Hydraulik und auf den Transport von Geschiebe mit breiter Korngrößenverteilung. Ein Teil dieser Prozesse kann von numerischen Modellen bislang nicht ausreichend genau abgebildet werden. Der Einsatz eines gegenständlichen Modells, welches bei der Genauigkeit deutliche Vorteile besitzt, geht jedoch mit langen Versuchszeiten einher.

Für die Untersuchungen am Jungferngrund wurde daher ein hybrider Modellansatz gewählt, bei welchem ein 3D-hydrodynamisch-numerisches Modell und ein gegenständliches Feststofftransportmodell mit teilbeweglicher Sohle und einem Modellgeschiebe aus Kunststoffgranulat zum Einsatz kommen.

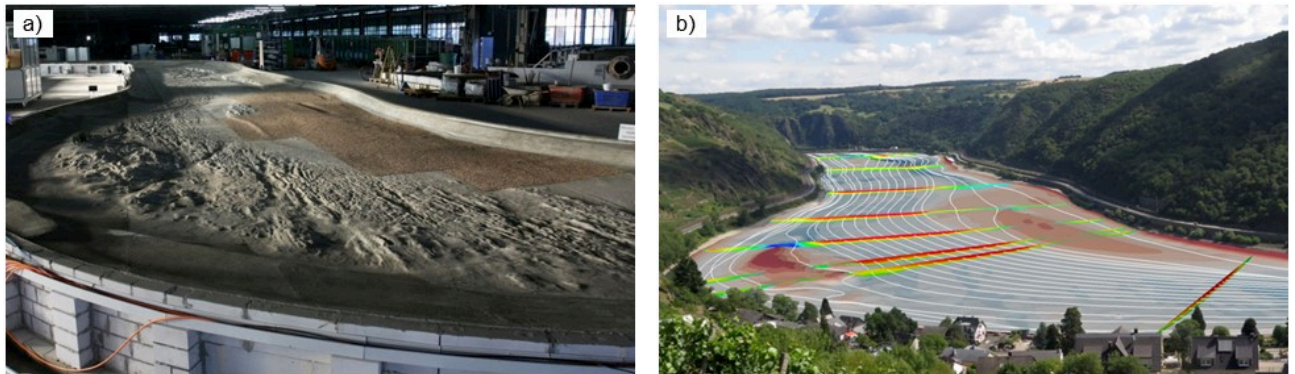


Bild 2: Hybrider Modellansatz am Engpass Jungferngrund bestehend aus gegenständlichem (a) und 3D-hydrodynamisch-numerischem Modell (b).

Um das vorhandene Potenzial innovativer Modellierungskonzepte im Rahmen der Untersuchung ökologisch orientierter Fragestellungen in flussbaulichen Modellen bestmöglich ausschöpfen zu können, ist die Ausweitung der kontinuierlichen Datenerhebung insbesondere auf die ökologisch relevanten Gebiete als Voraussetzung unerlässlich. Hierbei sind sowohl die hydrographische Vermessung der Gewässersohle in den Flachwasserbereichen als auch die regelmäßige Vermessung von Kiesgründen von Relevanz. Die Kenntnis der zeitlichen und abflussabhängigen Entwicklung solcher Bereiche ist eine wesentliche Grundlage für die Bewertung der Auswirkungen flussbaulicher Maßnahmen auf die Dynamik dieser Strukturen. Auch die regelmäßige Aufnahme hydrographischer Daten in Altarmen und Vorlandgewässern, insbesondere der Sohllagen sowie abflussabhängiger Durchflüsse, ist für die Untersuchung von z. B. Altarm- oder Rinnenanbindungen essentiell. Messungen von Strömungsgeschwindigkeiten in den Vorlandrinnen, bei entsprechenden Abflüssen aber auch auf den Vorländern und in den durchströmten Auen sind nicht nur wichtig für das Systemverständnis, auch für die Kalibrierung der Modelle sind diese Daten zwingend erforderlich. Ohne Kenntnis der ereignisbezogenen Durchströmung des Vorlandes ist eine Kalibrierung der Modelle im Abflussbereich oberhalb des Bordvoll-Abflusses ebenso wenig möglich wie die Auswahl eines geeigneten Ansatzes zur Beschreibung des hydraulischen Widerstands durch- oder überströmter Vegetation.

Eine frühzeitige Integration ökologischer Anforderungen in flussbauliche Untersuchungen ist aus mehreren Gründen hilfreich und kann dazu beitragen, die im Komplexitätsgrad tendenziell anwachsenden Modelluntersuchungen effizienter zu gestalten. Die Spezifikation der Anforderungen einerseits und der betroffenen Gebiete andererseits ermöglichen es, die ökologisch relevanten Aspekte frühzeitig mit entsprechendem Detaillierungsgrad in die Modelluntersuchungen und die Entwicklung flussbaulicher Maßnahmen zu integrieren, oder, im Falle fehlender Grundlagendaten, die entsprechenden Datenerhebungen in die Wege zu leiten.

Fazit

Wenngleich die Potenziale zur Verbesserung der flussbaulichen Modellierung unter Berücksichtigung ökologischer Aspekte erkennbar sind, sind ortsscharfe Prognosen der Ausprägung hydraulisch-morphologischer Entwicklungen nicht zuletzt infolge der dem System inhärenten Variabilitäten nur bedingt möglich. Das hat zwangsläufig zur Folge, dass nicht nur ökologische Entwicklungen, sondern auch die Wirkung flussbaulicher Regelungsmaßnahmen und somit die Erreichung definierter Bedingungen für die Schifffahrt nicht eindeutig prognostizierbar sind. In den konkreten Projekten sind daher Konzepte zum Umgang mit Unsicherheiten zu thematisieren. Einen hohen Stellenwert hat in diesem Zusammenhang das konsequente Monitoring bereits umgesetzter ökologisch orientierter Maßnahmen. Dies nicht nur, um die ökologischen und in ihrer Zielerreichung von diesen möglicherweise beeinflussten verkehrswasserbaulichen Maßnahmen gegebenenfalls bedarfsgerecht nachjustieren zu können, sondern auch, um Erfahrungen zu sammeln, vom Fluss zu lernen und um auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse die flussbaulichen Modelle weiterzuentwickeln.