

# Vereinfachte Analyseverfahren zur Beurteilung feststoffspezifischer und morphologischer Fragestellungen wasserbaulicher Konzeptionen in der Praxis auf Basis numerischer 2D-Hydraulikmodelle

Practical aspects of simplified analysis methods for dealing with sediment-specific and morphological problems in hydraulic engineering using two-dimensional numerical hydraulics models

S. SATTLER und P. MAYR

## Kurzfassung/Summary

In der Praxis sind immer wieder vereinfachte Analysewerkzeuge zur Beurteilung von wasserbaulichen Aufgabenstellungen hinsichtlich feststoffspezifischer und morphologischer Fragestellungen für wasserbauliche Konzeptionen mit ausreichend genauen Ergebnissen gefragt. Dabei muss sowohl die Qualität als auch die Wirtschaftlichkeit in ausreichendem Maß gewährleistet sein. Auf Basis dieser Forderungen wurde daher die Entwicklung einer vereinfachten, anwenderorientierten Analysemethodik auf GIS-Basis initiiert, für die nun im Rahmen eines Projektes erste Resultate vorliegen. Im gegenständlichen Beitrag wird die entwickelte Analysemethodik vorgestellt.

*Hydraulic engineers are often faced with the need for simplified tools for answering sediment-specific and morphological questions of structural design with an adequate degree of accuracy, while ensuring a sufficient measure of both quality and economy. This need has led to the development of a simplified user-oriented analysis method based on GIS. First results, obtained for a particular project, are now available. This report presents the analytical method developed for this project.*

## 1. Einleitung

Die Aufgabenstellungen wasserbaulicher Projekte sind mannigfaltig und gehen im Bereich Flussbau längst über rein schutzwasserbauliche Betrachtungsweisen hinaus. Bauliche Veränderungen im Ge-

wässer führen zu Beeinflussungen des Feststoffhaushalts und zu morphologischen Entwicklungen, deren Auswirkungen im Vorfeld der Bauarbeiten abzuschätzen sind. Für die Abschätzung dieser Veränderungen bieten sich zweidimensionale (bereits auch dreidimensionale) numerische Feststofftransportmodelle an.

Der Bedarf an derartigen Untersuchungen im Wasserbau ist entsprechend groß, die Projektbudgets erlauben jedoch nur selten die Anwendung dieser sehr aufwändigen numerischen Modelle. Die Suche nach wirtschaftlichen Alternativen zur Analyse und Beurteilung wasserbaulicher Aufgabenstellungen hinsichtlich Feststoffproblematik mit ausreichender Genauigkeit ist als Ergänzung zu numerischen Hydraulikmodellen von Interesse.

## 2. Problematik

Numerische 2D-Modelle liefern üblicherweise drei Basisinformationen zur Behandlung wasserbaulicher Fragestellungen. Diese sind die Wasserspiegellagen (Wassertiefen), die Fließgeschwindigkeiten (und Fließgeschwindigkeitsvektoren), sowie die Schubspannungen (meistens Maximalwerte). Bei den numerischen Simulationen handelt es sich jedoch um Reinwasserabflüsse die den in der Natur auftretenden Vorgängen nur eingeschränkt gerecht werden können. Der Feststofftransport, sowie der Einfluss von Totholz tragen mitunter entscheidend zum Abflussgeschehen bei und können in reinen Hydraulikmodellen nur sehr untergeordnet Berücksichtigung finden. Im Zuge künftiger

Gefahrenzonenplanungen und Abflussuntersuchungen sollten diese Einflüsse auf das Abflussgeschehen und auf die morphologische Entwicklung von Fließgewässern vermehrt beachtet werden. Von besonderem Interesse sind neben dem Feststofftransport und den Sohlveränderungen im Gewässer selbst, vor allem auch die Geschiebebeeinträchtigungen durch Seitenzubringer, die mitunter zu großräumigen Überflutungen führen können und bei Reinwassersimulationen in der Regel vernachlässigt werden.

## 3. Methodik

Die logische Erweiterung numerischer 2D-Hydraulikmodelle (feste Sohle) sind an die Hydraulikmodelle gekoppelte numerische Feststofftransportmodule (bewegte Sohle). Diese stehen bereits zur Verfügung und werden mit Erfolg angewandt. Diese Modelle können die tatsächlichen Verhältnisse in der Natur mit guter Genauigkeit wiedergeben. Bedingung dafür ist die entsprechende Kalibrierung des Modells. Diese setzt ein umfassendes Wissen über den Feststoffhaushalt des Bearbeitungsbereichs, langjährige Beobachtungsdaten zur Ableitung eines Kalibrierungsziels und die Berücksichtigung von natürlichen, aber vor allem auch anthropogenen Veränderungen im Feststoffhaushalt voraus.

Die Kalibrierung numerischer Hydraulikmodelle basiert auf Wasserstands- Abflussbeziehungen im IST-Zustand. Diese können aktuell erhoben werden.

Die Kalibrierung eines Feststofftransportmodells basiert jedoch auf zeitlichen Verände-

rungen. Bei Fehlen dieser Daten (qualitativ oder quantitativ) ist eine nachträgliche Erhebung von ausreichenden Kalibrierungsdaten nicht möglich. In diesem Fall muss auf eine detaillierte Kalibrierung verzichtet werden.

Der Aufwand der Erhebung aller notwendigen feststoffspezifischen Daten, deren Analyse und die Definition des Kalibrierungsziels ist hoch und zumeist eine eigenständige Fragestellung. Eine detaillierte Analyse des Feststoffhaushalts zur umfassenden Beurteilung eines Fließgewässers ist jedoch in jedem Fall unumgänglich.

Der Aufwand der Erstellung und Auswertung eines numerischen 2D-Feststoffmodells kann aufgrund des Kalibrierungsaufwandes nach dem Stand der Technik den Aufwand eines 2D-Hydraulikmodells um ein mehrfaches übersteigen.

Aufgrund der Komplexität der Geschiebepbewegung, der unterschiedlichen Transportvorgänge, sowie deren gegenseitiger Beeinflussung ist die Sohlveränderung ein schwer zu erfassender Vorgang. Die Berechnung des Geschiebetriebes in Fließgewässern beruht daher in der Regel auf mehr oder weniger vereinfachten Annahmen.

Die zur Verfügung stehenden Transportformeln basieren weitgehend auf empirisch im Labor gefundenen Zusammenhängen und verfügen über eng abgegrenzte Einsatzbereiche.

Die Qualität der Ergebnisse numerischer Feststoffmodelle hängt daher von der Qualität der Kalibrierung und vor allem von der Erfahrung des Bearbeiters ab.

Ein unkalibriertes Feststofftransportmodell kann bestenfalls grobe Aussagen über Trends liefern, der Bearbeitungsaufwand ist immer noch beträchtlich. Ein gutes Kosten-Nutzenverhältnis ist in diesem Fall kaum erreichbar.

Daher sind wirtschaftliche Alternativen zu den Feststofftrans-

portmodellen (2D, 3D) mit ausreichend genauen Ergebnissen zur Bewertung und Analyse von häufig vorkommenden morphologischen und feststoffspezifischer Fragestellungen im Wasserbau gefragt.

Es folgte die Entwicklung einer vereinfachten, anwenderorientierten Analysemethodik auf GIS-Basis, für die nun im Rahmen eines Projektes erste Resultate vorliegen. In Zukunft sollen weitere Anwendungsbereiche gefunden und das Modell entsprechend weiterentwickelt werden.

### 3.1 Module ERO-SED und SM – AF (Mayr&Sattler OEG)

Die Ergebnisse von 2D-Hydraulikmodellen eröffnen die Möglichkeit für morphologische und feststoffspezifische Fragestellungen zusätzliche Analysewerkzeuge zu entwickeln bzw. klassische Berechnungs- und Analyseverfahren ergänzend anzuwenden.

Die Entwicklung einer GIS-basierten Geschiebeanalysemethodik ermöglicht es die Ergebnisse aus hydraulischen Modellierungen weiter zu nutzen und so einen Synergieeffekt zu erzielen. Diese Methodik ist modellunabhängig, es können daher bei entsprechender Möglichkeit des Datenexports, Daten unterschiedlicher numerischer 2D-Modelle (Hydraulik) verwendet werden.

Breiter Raum wird der Erfahrung der ExpertInnen eingeräumt, die die Ergebnisse aus den 2D-Simulationen mittels der Analysemodule und Informationen über den aktuellen Feststoffhaushalt, die Feststofffrachten, Korngrößenverteilungen und die Zusammensetzung der Deck- und Grundschicht zu einem Gesamtbild verbinden und bewerten.

Zur Beurteilung der Entwicklung ist die Betrachtung der gesamten ablaufenden Welle nötig. Diese kann vereinfacht quasi-stationär ermittelt werden.

### 3.2 Beispiel ILL-Mengmündung

Anhand einer kurzen Vergleichsanalyse soll der entwickelte Methodikansatz ERO-SED dargestellt werden.

Die Vergleichsanalyse bezieht sich auf die Ill und den Zubringer Meng im Rahmen des Projekts „Gewässertypspezifischer Ausbau im Konsens von Wasserbau und Ökologie“

*Auftraggeber:* Amt der Vorarlberger Landesregierung; Abt. VIII – Wasserwirtschaft

*Software:* Der Modellaufbau erfolgt mit der Software SMS (Surface-Water Modeling System) der Firma Environmental Modeling Systems Inc. (ems-i) die Abflussmodellierung erfolgt mit der Software Hydro\_AS-2D.

*Eigenentwicklung:* Die angewandte morphologische und feststoffspezifische Bearbeitungsmethodik stellt ein im Unternehmen Mayr&Sattler OEG entwickeltes Bearbeitungsverfahren dar und basiert auf zwei in Eigenforschung entwickelten Erweiterungsmodulen zu den 2D-Hydraulikberechnungen (modellunabhängig).

Diese sind:

- Modul ERO-SED (EROSion-SE-Dimentation): Ausweisung von Erosions- und Sedimentationsbereichen über eine ablaufende Welle. Analyse und Bewertung der morphologischen Veränderungen unter Berücksichtigung des Feststoffinputs, der Kornzusammensetzung und des Wellenablaufs aufbauend auf einer 2D-Hydraulikberechnung.
- Modul SM-AF (Sedimentanalysis Model – Adequate Fidelity): Ausweisung von Sohlveränderungen in Abhängigkeit der Sohlbelastung und des Feststoffinputs unter Verwendung eines vereinfachten ungekoppelten Modellansatzes.

*Auftragnehmer:* Mayr&Sattler OEG



Abb. 1: Mengmündung, Zustand nach dem HW-2005 (Quelle: Amt der Vorarlberger Landesregierung)

## Allgemeines

In Abbildung 1 ist die Situation des Mündungsbereichs der Meng in die Ill nach dem Hochwasserereignis 2005 dargestellt. Es zeigt sich eine deutliche Verlandung im Mündungsbereich am linken Ufer. Anhand der Verlandung und den vorliegenden Vermessungsdaten des Zustands nach der Sohlräumung dieses Bereichs wurde versucht die Analysemethodik zu testen und die Resultate zu überprüfen.

Da die genauen hydrologischen Abläufe des Ereignisses nicht bekannt waren, wurde ausgehend vom Verlandungsbild eine vereinfachte hydrologische Abflusskombination ermittelt und als Annah-

me für die Analysen verwendet. Die Abflussannahmen eines Bemessungsabflusses stellen eine mögliche Abflusszusammensetzung auf Basis der Statistik dar.

Gerade Einschübe aus feststoffreichen Zubringern führen oftmals örtlich zu großen Problemen. Deshalb werden verstärkt Restrisiko-untersuchungen zur Berücksichtigung derartiger Gefahrenquellen gefordert, die Erfassung bleibt jedoch schwierig.

Die nachfolgende Untersuchung analysiert unterschiedliche Modellannahmen zur Beurteilung der Mündungssituation und soll die Möglichkeiten einer Analyse durch die Ausweisung von potentiellen Erosions- und Sedimentati-

onsbereichen auf Basis des Transportbeginns zeigen.

## Modellannahmen

Für die Untersuchung wurden vier Modellannahmen gewählt.

- *IST-Zustand*: Geländemodell auf Basis der Vermessung nach Abschluss der Räumungsarbeiten mit Initialgerinne in der Meng (Stand 03/2006)
- *GERÄUMT*: Gesamter Mündungsbereich vollständig geräumt ohne Initialgerinne
- *HW2005*: Annahme einer verbleibenden Verlandung im Mündungsbereich entsprechend der Situation direkt nach dem HW-2005
- *EW45°*: Annahme eines Einmündungswinkels (EW) der Meng von 45°

In den nachfolgenden Abbildungen sind die potentiellen Erosions- (Werte [dimensionslos] > 0 – Gelb- bis Rotschattierung) und Sedimentationszonen (Werte < 0 – Hell- bis Dunkelgrünsschattierung) dargestellt. Der Wert 0 (Weiß) stellt den Bereich des Bewegungsbeginns auf Basis des dm (Grundschicht) dar. Die Methodik basiert auf dem Ansatz von HORTON (1945).

## 3.3 Morphologische Analyse (Modul ERO-SED)

In Abbildung 2 ist der Zustand bei gleichzeitig auftretendem bordvollen Abfluss beider Fließgewässer dargestellt. Es zeigt sich, dass durch eine vollständige Räumung des Mündungsbereichs die Hochwassersituation sich deutlich verschlechtert (GERÄUMT). Die Sohl Schubspannungen sind flächig deutlich verringert, die Erosionsflächen (Gelb bis Rot) sind gegenüber dem IST-Zustand deutlich kleiner. Aufgrund der verringerten Fließgeschwindigkeit erhöht sich der Wasserspiegel und es werden deutlich größere Vorlandflächen

**Entwicklungsanalysen  
 Morphologie – Feststoff**

ZS/5000



IST

GERÄUMT

HW2005

EW45°

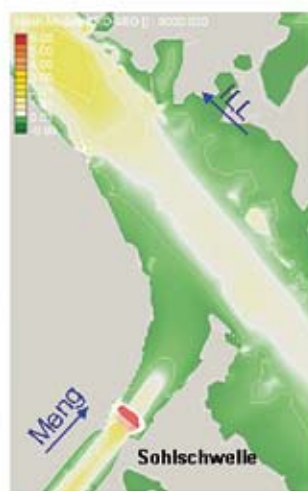
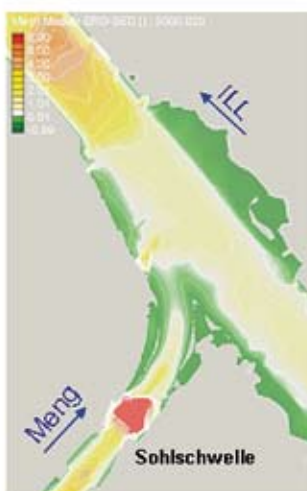
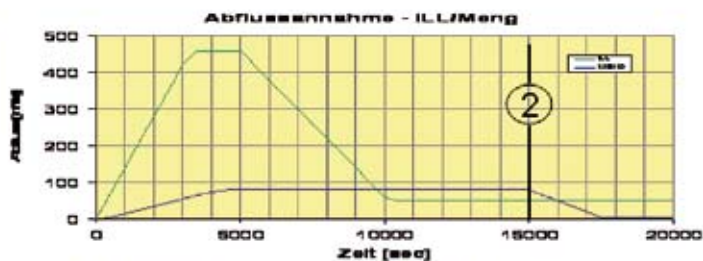


Abb. 2: Abflusssituation Zeitpunkt 1

**Entwicklungsanalysen  
 Morphologie – Feststoff**

ZS/15000



IST

GERÄUMT

HW2005

EW45°

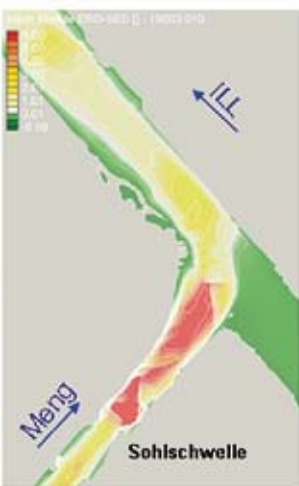
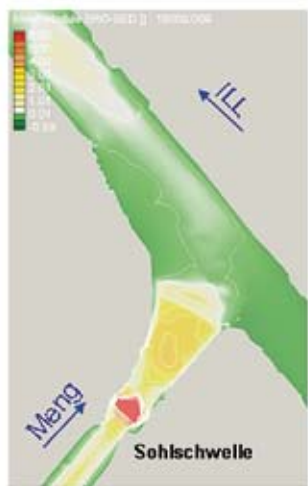
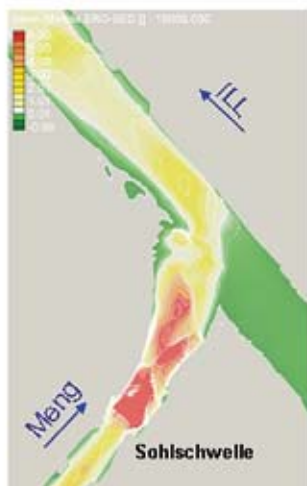
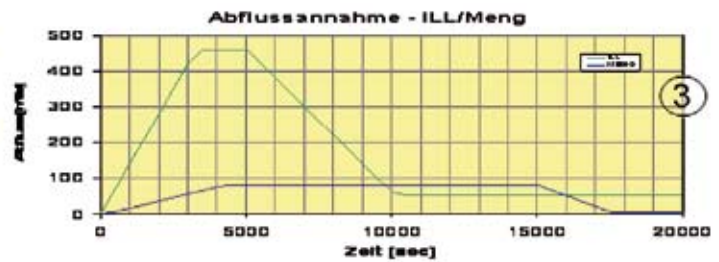


Abb. 3: Abflusssituation Zeitpunkt 2

Entwicklungsanalysen  
Morphologie – Feststoff

ZS/20000



IST

GERÄUMT

HW2005

EW45°

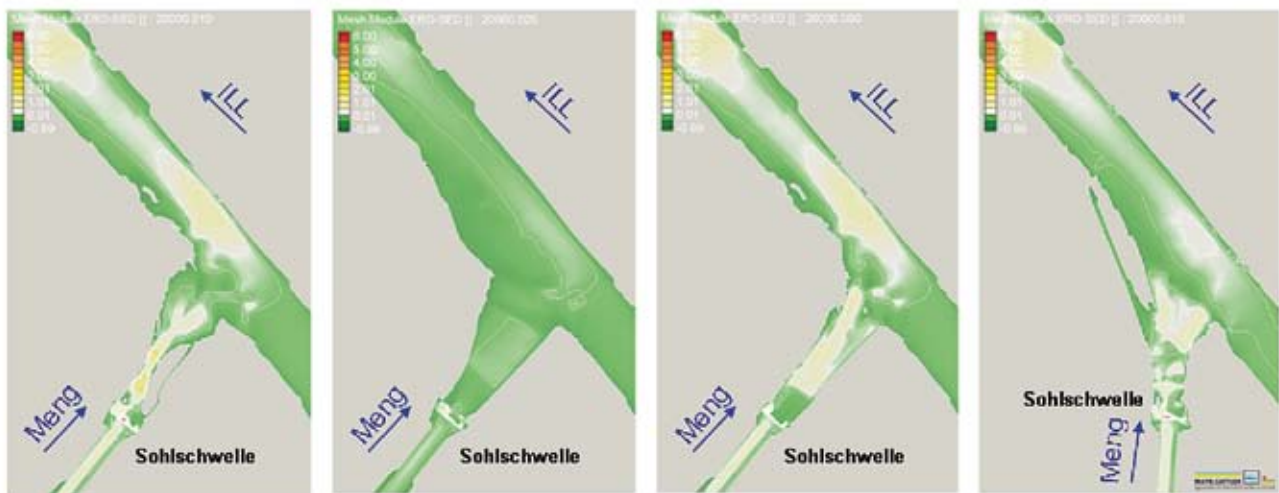


Abb. 3: Abflusssituation Zeitpunkt 3

überströmt. Weiters zeigt sich, dass das Belassen bzw. die Vorwegnahme der Verlandung die Einströmsituation in das Hauptgerinne deutlich verbessert und der vorweggenommene Verlandungsbereich die Abflusssituation nicht negativ beeinflusst (HW2005). Das eingetragene Material kann durchgängig in das Hauptgerinne transportiert werden. Die Veränderung der Einströmsituation durch einen veränderten Einströmwinkel ist gegenüber dem IST-Zustand neutral (EW45°).

In Abbildung 3 ist der Zustand bei bordvollem Abfluss des Zubringers gegenüber einem MQ im Hauptgerinne dargestellt. Es zeigt sich wieder, dass durch eine vollständige Räumung des Mündungsbereichs die Strömungssituation verschlechtert wird (GERÄUMT). Aufgrund des großflächigen Abtrags im Einströmbereich werden die Sohlschubspannungen im

Hauptgerinne stark reduziert. Von einer Verlandung des Mündungsbereichs bei diesem Modellzustand wäre auszugehen. Ein Belassen bzw. die Vorwegnahme der Verlandung würde die Einströmsituation des Zubringers in das Hauptgerinne verbessern (HW2005). Die Veränderung der Einmündungssituation durch eine Veränderung des Einmündungswinkels führt auch in diesem Modellzustand zu keiner Verbesserung gegenüber dem IST-Zustand (EW45°).

In Abbildung 4 ist der Zustand bei MQ beider Fließgewässer dargestellt. Deutlich erkennbar ist, dass mit Ausnahme der Modellannahme GERÄUMT örtlich ein Feststofftransport auf Basis der Modellannahmen ( $d_m$ ) auch bei MQ stattfindet. Es zeigt sich auch hier, dass eine vollständige Räumung des Mündungsbereichs zu einer deutlich verstärkten Verlandungstendenz führen würde.

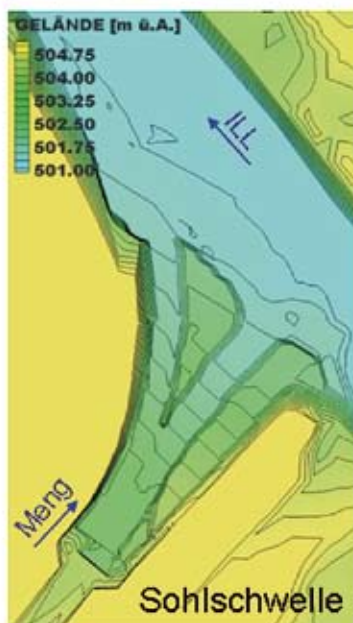
Bei diesem Modellzustand findet praktisch im gesamten Mündungsbereich kein Feststofftransport (auf Basis des  $d_m$ ) statt. Weiters zeigt sich, dass das Belassen bzw. die Vorwegnahme der Verlandung die Einströmsituation in das Hauptgerinne nicht negativ beeinflusst (HW2005). Die Veränderung der Einmündungssituation durch eine Veränderung des Einmündungswinkels führt generell zu keiner Verbesserung gegenüber dem IST-Zustand (EW45°).

Es muss berücksichtigt werden, dass es während einer HW-Welle zu Sohlveränderungen und zur Ausbildung einer Tiefenrinne des Zubringers kommen würde. Daraus resultiert eine Verbesserung der Abflusskapazität. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen aber dennoch klar, dass im gegenständlichen Fall davon ausgegangen werden kann, dass eine Sohlräumung, wie sie oftmals nach Extrem-

## Entwicklungsanalysen Morphologie – Feststoff

### Sohlveränderungen (20000sec)

#### MODELLANNAHME



#### MODELLERGEBNIS



#### VERÄNDERUNG

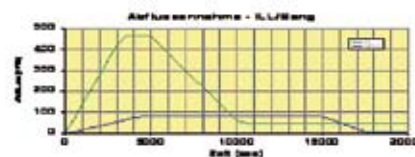
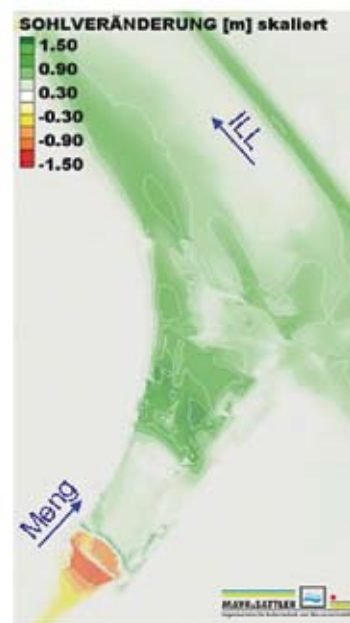


Abb. 5: Sohlveränderungen

ereignissen durchgeführt wird, nicht zur erwünschten Verbesserung der Hochwassersituation bei einem künftigen Ereignis führen würde. Es zeigt sich weiters, dass die aufgrund der Verlandung entstandene Zonierung die Abflusssituation aus schutzwasserbaulicher Sicht sogar verbessert. Durch die Sohlräumungen werden außerdem für die Sohlstabilität notwendiges Sohlmaterial aus dem System entfernt. Die Notwendigkeit derartiger Maßnahmen sollte daher genauer analysiert werden. Bei der Beurteilung ist auch die Feststoffsituation flussab zu berücksichtigen.

Die Ausweisung von Erosions- und Sedimentationsbereichen über den gesamten Ablauf einer Hochwasserwelle stellt ein ausreichend genaues Analysewerkzeug zur Abschätzung künftiger Entwicklungen dar. Für die Beurteilung der zu erwartenden Verände-

rungen ist zusätzlich die Kenntnis der aktuellen Feststoffsituation notwendig.

Ergänzt durch konventionelle Methoden der Feststoffbeurteilung (Transportkapazitäten, Feststofffrachten) ist so eine morphologische und feststoffspezifische Erstbeurteilung flussbaulicher Maßnahmen mit ausreichender Genauigkeit und relativ geringem Mehraufwand möglich.

Die Umsetzung ist zeitlich rasch möglich und damit für viele Fragestellungen im Wasserbau eine wirtschaftliche Alternative zu 2D-Feststoffmodellierungen.

Durch eine vermehrte Anwendung dieser Analysemethodik und der Gegenüberstellung der Ergebnisse zu real stattfindenden Ereignissen soll die Anwendbarkeit von ERO-SED für die Lösung feststoffrelevanter Fragestellungen optimiert und weiterentwickelt werden.

Es wird in unserem Unternehmen bereits bei aktuellen Gefahrenzonenplanungen eingesetzt.

### 3.4 Sohlveränderungen (Modul SM-AF)

Der nächste Schritt ist die vereinfachte Analyse der Sohlveränderungen (Modul SM-AF). Dabei werden den 2D-Abflussberechnungen Ergebnisse zu bestimmten Berechnungszeitpunkten entnommen und zu einer quasi-stationären Abflusswelle zusammengefügt, welche die reale Welle beschreibt. Es erfolgt die Zuordnung des Feststoffeintrags zum jeweiligen Abflusszeitpunkt auf Basis der aktuellen Feststoffsituation.

Bedingung der Anwendbarkeit ist ein nahezu regelmäßiges Gitterraster (modellunabhängig). Die Berechnungen können auf Basis unterschiedlicher Transportansät-

ze verwendet werden. Aktuell wird der Ansatz von Du Boys verwendet. Aufgrund des einfachen Schubspannungsansatzes wurde diese Gleichung für die Abschätzung der Sohlveränderungen gewählt.

Die Hydraulikparameter werden der 2D-Hydraulikberechnung entnommen, die Berechnung erfolgt unter Verwendung eines vereinfachten ungekoppelten Modellansatzes und ist daher unabhängig vom 2D-Hydraulikmodell. Die benötigten Hydraulikparameter sind die Wassertiefen und die Fließgeschwindigkeiten ( $v_x/v_y$ ). Als Feststoffparameter werden die Feststoffinputverteilung zum jeweiligen Zeitpunkt einer Abflussschwelle, kennzeichnende Korngrößen und die Wellendauer verwendet. Zur Steuerung werden Anpassungsfaktoren für Wellendauer, mittlere Elementgröße und die maximal mögliche Eintiefung verwendet. Die Ergebnisse werden auf Beobachtungswerte (Kalibrierung) oder gewählte Größenbereiche skaliert und bewertet.

In Abbildung 5 sind die Ergeb-

nisse einer 5-Schritt-Analyse der Sohlveränderungen dargestellt. Dabei werden die Hydraulikparameter an fünf charakteristischen Stellen der Abflussschwelle (2D-Hydraulik) entnommen und die Sohlveränderungen berechnet. Die Berechnungswerte werden auf plausible Veränderungsgrößen (keine Absolutwerte) skaliert und GIS-basierend dargestellt. Die dargestellte Methodik (Modul SM-AF) stellt ein ergänzendes Werkzeug zur feststoffspezifischen Analyse (Modul ERO-SED) dar.

Für die Analyse wurden im Zubringer zwei Initialgerinne um einen um rund 1 m erhöhten Inselbereich und einem rechtsufrig verlaufenden Verlandungsbereich definiert. Das Modellergebnis zeigt die Veränderungen der Geometrie im Einströmbereich gemäß der Hydrologieannahme. Die Veränderungen zeigen deutliche Verlandungstendenzen im Mündungsbereich. Die Sohlveränderungen wurden auf  $\pm 1,5$  m skaliert und zeigen lediglich die Intensität der Veränderungen. Der starke Ein-

tiefungsbereich (Rot) stellt die Wirkung (theoretisch, nicht fixierte Sohle) einer Sohlschwelle mit Tosbecken dar.

Als Ergebnisse stehen Bereiche mit Sohlveränderungstendenzen in Abhängigkeit der Sohlbelastung und des Feststoffinputs für die Analyse und Bewertung der zu erwartenden Sohlveränderungen zur Verfügung. Dabei wird nicht der Anspruch erhoben, qualitativ vergleichbare Werte mit kalibrierten 2D-Feststoffmodellen zu liefern. Ziel ist vielmehr, rasch qualitativ ausreichend genaue Ergebnisse für die Abschätzung von morphologischen Veränderungen zu erhalten. Diese Methodik kann und will ein vollständig kalibriertes 2D-Feststoffmodell nicht ersetzen. ■

#### Korrespondenz:

Fa. Mayr&Sattler OG – Ingenieurbüro für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft  
Anton Frank Gasse 13/1-2  
A-1180 Wien  
www.flussbau.at

## LITERATUR

**Du Boys P (1879):** Le Rhone et les rivières à lit affonilable, Annales des Ponts et Chaussées, Ser.5, Vol. XVIII, p.141-195.

**DVWK Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (1992):** Geschiebemessungen DK 551.51/.54 - Fließgewässer und DK 556.535.6 – Geschiebefracht; Regeln der Wasserwirtschaft, H. 127/1992, Verlag Paul Parey, Bonn

**GÜNTER A (1971):** Die kritische mittlere Sohlenschubspannung bei Geschiebemischungen unter Berücksichtigung der Deckschichtbildung und der turbulenzbedingten Sohlenschubspannungsschwankungen. Zürich: Mitteilungen der VAW der ETH-Zürich Nr. 3.

**Habermaas F (1935):** Geschiebewanderung in Werkskanälen und deren Verhinderung, Wasserkraft und Wasserwirtschaft, Heft 9

**Horton (1945):** Erosional Development of Streams

and their Drainage Basin. In: Bull.Geol.Soc.Am.56

**Jawecki A (1988):** Untersuchungen zur Anwendung eines numerischen Abfluss-Geschiebmodells an der Donau. Wien, Universität für Bodenkultur, Diplomarbeit..

**Julien P Y (1995):** Erosion and Sedimentation. Cambridge, University Press.

**Muhar S, Kainz M, Kaufmann M & Schwarz M, (1996):** Ausweisung flusstypspezifisch erhaltener Fließgewässerabschnitte in Österreich, BMLF, Wien.

**Niederbichler I (2005):** Kalibrierung von abiotischen Kriterien zur Entwicklung eines ökologischen Bewertungsmodells für Fließgewässer mithilfe von mehrdimensionaler Abflussmodellierung - IST-ZUSTAND, Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau

**Scheuerlein H (1984):** Die Wasserentnahme aus ge-

schiebeführenden Flüssen. Berlin: Ernst, Verlag für Architektur und Techn. Wiss., 105 Seiten.

**Schoklitsch A (1934):** Der Geschiebetrieb und die Geschiebefracht, Wasserkraft Wasserwirtschaft 4

**Shields A (1936):** Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik und der Turbulenzforschung auf die Geschiebewegung, Mitteilung der Preussischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Berlin Heft 26

**Simons D B, Simons R K (1987):** Differences between Gravel- and Sand-bed Rivers. In: Sediment Transport in Gravel-bed Rivers. Hrsg.: C. R. Thorne, J. C. Bathurst u. R. D. Hey. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons Ltd.

**Wasserrechtsgesetz 1959:** BGBl. Nr. 215, zuletzt geändert durch das Bundesgesetz BGBl. I Nr. 156/2002

**Zanke U (1982):** Grundlagen der Sedimentbewegung. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.