

**EIGENDYNAMISCHE FLUSSMORPHOLOGISCHE PROZESSE IN
ZUSAMMENHANG MIT FLUSSAUFWEITUNGEN ALS
PRAXISBEISPIEL FÜR DEN MODERNEN WASSERBAU**

**SELF FORMING RIVER PROCESSES IN THE CONTEXT OF RIVER
WIDENING AS A MEASURE EXAMPLE OF MODERN WATER
MANAGEMENT**

Stephan Schober¹, Erik Formann², Herbert Mandler,³ Helmut Habersack⁴

ZUSAMMENFASSUNG

Jahrzehntelang wurden Österreichs Flüsse nach technischen Gesichtspunkten gestaltet. Die ökologischen Aspekte eines Fließgewässers wurden dabei selten mitbedacht. Die Konsequenzen sind monotone Fließgewässer, die nicht mehr imstande sind ihre ökologischen Funktionen für das Gewässer erfüllen zu können. Die technischen Möglichkeiten wurden überschätzt und fehlende Rückhalteräume für Hochwässer unterschätzt. Mit dem Wissen um den Einfluss der Ökologie zeigt an Hand eines praktischen Beispiels das dargestellte Projekt, wie Hochwasserschutz, Gewässerstabilisierung und ökologische Ziele gemeinsam umgesetzt werden können. Das Grundkonzept der Maßnahmen besteht aus der Überlegung, durch Erhöhung der wirksamen Sohlbreite bei Aufweitungsmaßnahmen einerseits die existierende Sohleintiefung zu minimieren, andererseits eine Verstärkung der morphologischen Dynamik infolge des Entstehens von Sohlformen und Bänken zu erreichen und auch den Hochwasserschutz zu verbessern. Der Uferschutz wurde mit Hilfe „verdeckter Bühnen“ gewährleistet, welche im Hinterland gesetzt wurden. Die bisherigen Ergebnisse eines umfangreichen Monitorings zeigen eine extrem hohe flussmorphologische Dynamik dieses Abschnittes durch Erosions- und Sedimentationsprozesse sowie Laufverlagerungen, wobei die Wirksamkeit der eingesetzten Maßnahmen einer Qualitätssicherung unterzogen wurde.

Keywords: Rückbaumaßnahme, Monitoring, Hydrodynamische Modellierung

ABSTRACT

For decades, Austria's rivers have been manipulated and regulated with a focus on technology rather than ecology. The consequences are monotonous rivers and streams, unable to perform

¹ Government of Carinthia, Department of Water Management, Mießtalerstraße 1, 9020 Klagenfurt, Austria (phone: +43 050536-31808 Fax: +43 050536-31828; e-mail: stephan.schober@ktn.gv.at)

² Department of Water – Atmosphere – Environment, BOKU- University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Muthgasse 18, 1180 Wien, Austria (e-mail: erik.formann@boku.ac.at)

³ Government of Carinthia, Department of Water Management, Lutherstraße 6-8, A-9800 SPITAL/DRAU, Austria (phone: +43 050536-62335, Fax: +43 050536-62312; e-mail: herbert.mandler@ktn.gv.at)

⁴ Department of Water – Atmosphere – Environment, BOKU- University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Muthgasse 18, 1180 Wien, Austria (phone: +43-1-36006-5516; fax: +43-1-36006-5549; e-mail: helmut.habersack@boku.ac.at)

their vitally important natural functions. The emphasis lay in land reclamation (“10. Bundesland”), to create the basic conditions for intensive land use. The technical possibilities were overrated and missing retention area was underestimated. With the background of rising demand for an environmentally friendly concept of river protection and river stabilisation measures, the project on hand shows an exemplary practical way how economical plans for flood protection and river bed stabilisation in the alpine regions can be carried out and at the same time, high ecological demands fulfilled. Instead of inclines or water breaks as made in the past measures to widen the cross-section of the river bed, re-opening a left bank side arm of the river, using also bioengineering methods, have been carried out. The basic concept of the measure “river widening” consists to improve the ecological integrity of the river-ecosystem, to stop the riverbed degradation and to ensure flood protection. The bank protection” was ensured with the help of "covered groins", that were constructed outside the river to allow a certain side erosion but then to give protection. The past results of an extensive monitoring show extremely high river-morphologic dynamics of this section by erosion and sedimentation processes, whereby the effectiveness of the assigned measures could be demonstrated.

Keywords: Restoration measure, Monitoring, Hydrodynamic Modelling

EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Seit der Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert fließt die Drau in einem korrigierten bzw. regulierten Flussbett (Nachtnebel et al., 1992). Ziel der damaligen Regulierungsmaßnahmen war die rasche Geschiebeabfuhr zur Verbesserung des Hochwasserschutzes. Waren es früher eher Geschiebeüberschüsse, die Probleme bereiteten, so sind es in den letzten Jahrzehnten eher die Defizite an Geschiebe, die durch Eintiefungstendenzen Anlass zu Sorge bereiten (Habersack & Nachtnebel, 1998) (Abb. 1). Dabei spielt neben den zurückgehaltenen Geschiebeeinstößen in den Zubringern, auch die Unterbindung von Seitenerosion durch Uferregulierungen eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Die Transportkapazität ist größer, als der Geschiebeeintrag, dadurch unterliegt die Flusssohle einem Erosionsprozess.

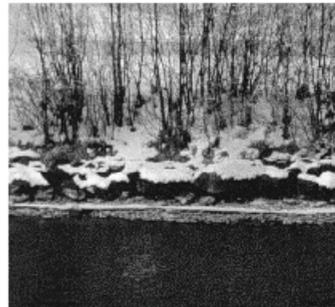


Abb1: Flussmorphologische Probleme im Zusammenhang mit Mangel und Überschuss an Feststoffen (a) Hochwasser an der Oberen Drau 1965 (b) Sohleneintiefung mit freierodiertem Böschungsfuß

Fig1: River-morphologic problems in connection with lack and surplus of suspended and bedload (A) flood of the upper Drau 1965 (B) erosion of the bed also free-eroded embankment foot

Schlüsselstellen sowohl auf den Geschiebe- als auch den Schwebstofftransport muss als solcher im Detail erfasst (modelliert) werden (Schober, 2006).

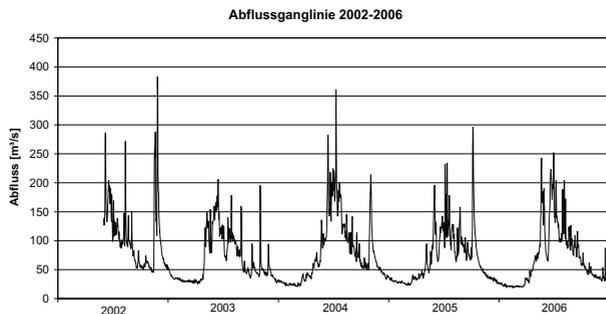


Abb3: Abflussganglinie am Pegel Sachsenburg seit der Baumsetzung der Maßnahme Kleblach - Lind von 2002 bis 2006

Fig3: Discharge hydrograph of the gauging station Sachsenburg for the periode of construction work by the measure Kleblach – Lind from 2002 to 2006

Der Abfluss ist eine weitere wesentliche Eingangsgröße für die Flussmorphologie und stellt eine weitere Randbedingung dar. Die hydrologischen Kenngrößen des Pegels Sachsenburg betragen bei Mittelwasser 73,8 m³/s, bei HQ₁ 320 m³/s, bei HQ₃₀ 790 m³/s und bei HQ₁₀₀ 1050 m³/s. Die Abflussganglinie (Abb. 3) dokumentiert die Abflusssituation seit Umsetzung der Maßnahme bei Kleblach Lind im Juni 2002. Dabei zeigt sich, dass während dieser Zeit relativ geringe Abflüsse aufgetreten sind und die Maßnahme noch keinem größerem Hochwasser ausgesetzt war. Die flussmorphologische Entwicklung ist daher im Kontext dieser geringen Abflusssituation zu sehen.

UMSETZUNG VON GEWÄSSERAUFWEITUNGEN AM BEISPIEL KLEBLACH - LIND

Im Bereich von Kleblach – Lind traten in den letzten Jahrzehnten überdurchschnittliche Eintiefungstendenzen auf. Im Gewässerbetreuungskonzept Obere Drau wurde eine Aufweitung in Kombination mit Anlage eines Nebengerinnes vorgeschlagen (Abb. 4). Dieser Vorschlag wurde in den Jahren 2002 und 2003 bei Kleblach - Lind durch eine Aufweitung im Mittel um 20 m umgesetzt. Die Anlage eines Seitenarmes im Bereich der historischen Verzweigungsstrecke, der Bau eines Amphibientümpels und die Verbreiterung des Gehölzstreifens zwischen den beiden bestehenden Totarmen waren weitere Schritte zur ökologischen Verbesserung des Gebietes. Auf einer ehemaligen Weidefläche bei Kleblach - Lind wurde linksufrig ein rund 600m langes Nebengerinne initiiert und dann eine eigendynamische Entwicklung zugelassen.

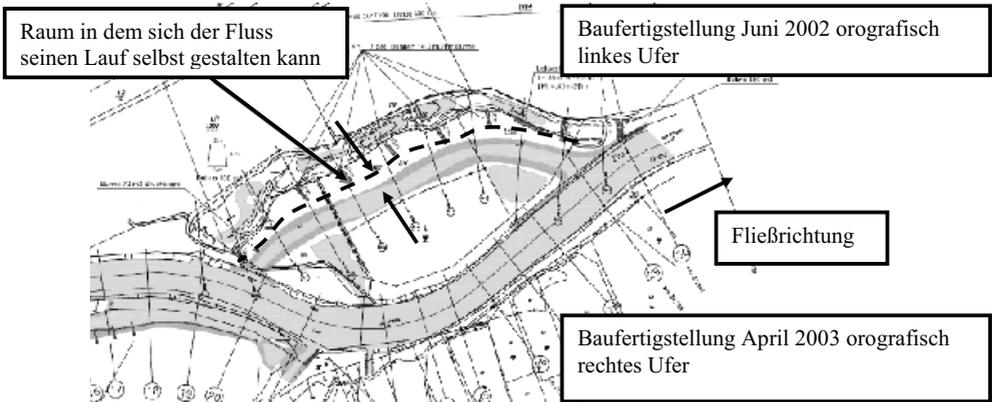


Abb4: Ausführungsplan der Maßnahme Kleblach - Lind
Fig4: Map of the measure Kleblach - Lind

In Aufweitungen sind vor allem die Ufer einer hohen hydraulischen Belastung ausgesetzt, während hohe Abflüsse punkto Abflusskapazität selten eine Gefährdung darstellen (Hunzinger, 2004). Als Uferschutz wurden daher punktuell versteckte Buhnen im Hinterland ausgeführt. Die Buhnen wurden als nicht durchlaufende Querbauten, die quer zur Streichlinie bzw. schräg zum Stromstrich liegen und in einer Tiefe von ca. 1m eingegraben. Die Planung erfolgte durch das Umweltbüro Klagenfurt (Petutschnig & Moser, 1998). Bei einer Buhnenlänge von 10 bis 20m wurde im Durchschnitt ein Buhnenabstand von 60m gewählt. Durch diese Wahl der Abstände wirken die Buhnen als Buhnengruppe nach Schöberl (1988) und gewährleisten den notwendigen Uferschutz. Als punktförmige Gerinnebegrenzung sollen sie eine unkontrollierte Seitenerosion ins Hinterland verhindern. Buhnen sind flexible Bauwerke, die sich durch Verlängerung oder Kürzung unproblematisch an eine veränderte Situation anpassen lassen. Zur Abschätzung der sich einstellenden Gewässerbreite und für die Situierung der Buhnen kann ein Verfahren nach Schmautz (2003) herangezogen werden.

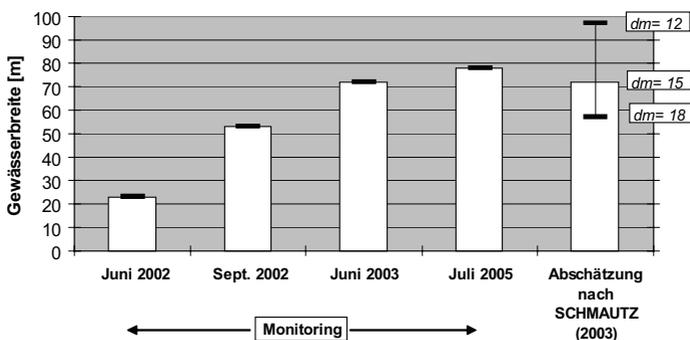


Abb5: Vergleich Messung – Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der Gewässerbreite, Aufweitung Kleblach - Lind (dm [mm] maßgebender Korndurchmesser).
Fig5: Comparison between the measurement and the prediction of the restored river width in Kleblach Lind (dm (mm) characteristic grain size).

Dieses Verfahren beruht auf der Ermittlung der „Regime-Breite“ und der „Regime-Länge“ auf Basis des Korndurchmesser, des Breiten-Tiefen Verhältnisses, des Gefälles und der Skalierung. Abb. 5 zeigt die Breitenentwicklung im Bereich des neu geschaffenen Seitenarmes bei Kleblach - Lind verglichen mit den Abschätzungen nach Schmautz (Schober & Habersack, 2004). Diese Methode unterliegt jedoch Einschränkungen (nur für bewuchsfreie, kohäsionslose Ufer in einer geraden Gewässertrecke), hat sich aber für erste Abschätzungen als durchaus zweckmäßig erwiesen (geringer Datenaufwand).

ERGEBNISSE DES MONITORINGS

Anhand dieses Monitorings wurden die Auswirkungen der Maßnahmen aus flussmorphologischer Sicht über einen längeren Zeitraum von über drei Jahren verfolgt. Die Ergebnisse des flussmorphologischen Monitorings zeigen bisher, dass prinzipiell eine Erhöhung der Dynamik nach Baumsetzung zu erkennen ist (Abb. 6).

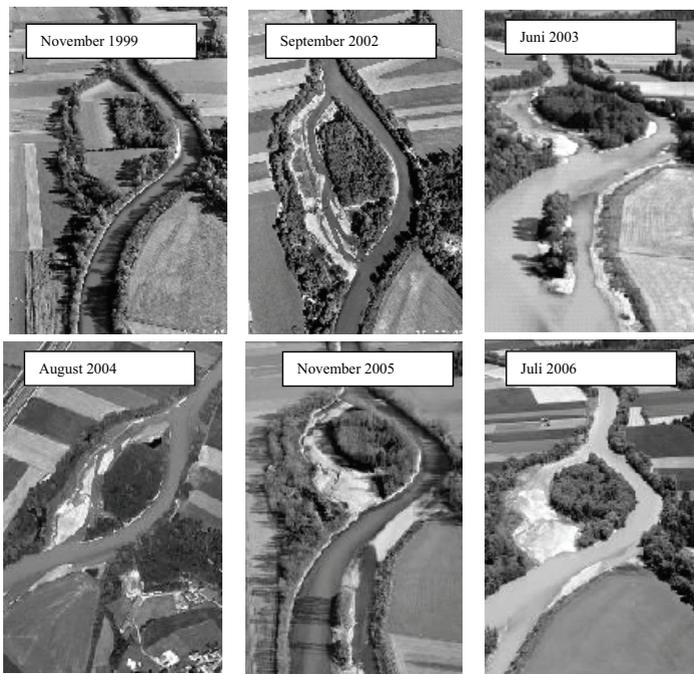


Abb6: Aufweitung Kleblach - Lind (a) Vor Umsetzung der Maßnahmen (1999) und (b) Nach Umsetzung der Maßnahmen (2002, 2003, 2004, 2005, 2006).

Fig6: River widening in Kleblach - Lind (a) before the restoration measures (1999) and (b) after the implementation of the restoration measures (2002, 2003, 2004, 2005, 2006).

Diese drückt sich in einer Steigerung der Breiten- und Tiefenvarianz aus aber insbesondere im Bereich Kleblach – Lind in einer dokumentierten, extrem hohen Dynamik des Abschnittes durch Erosions- und Sedimentationsprozesse, sowie Laufverlagerungen (Habersack et al., 2003). Die Initiierung neuer Seitenarme und Verbreiterungen im Hauptfluss, sowie die

vorhandenen Auwald-, Altarm- und Nebengewässersysteme leisten auch einen wichtigen Beitrag zur Retention bei Hochwasser. In den ersten 8 Monaten wurde der Beginn des Seitenarms aufgrund eines 1- jährlichen Hochwassers von 15 auf im Mittel 65 m eigendynamisch aufgeweitet (Formann, 2004). Maßgebende Prozesse waren die Seitenerosion und die darauf folgenden Anlandungen von Schotter, welche sich als charakteristische Kiesbänke ausbildeten. Die Massenbilanzierung für das Jahr 2003 bis 2004 ergab durchschnittliche Anlandungen von 0,10 m, was einer Mengenzunahme von ca. 3.000 m³ entspricht. Aufgrund der Studien von Hooke (1999) wird angenommen, dass die Anlandungsraten nicht linear verlaufen und es weiter zu Anlandungen, jedoch in viel geringerem Ausmaß kommen wird. Eine Stabilisierung wird erst in 4-8 Jahren nach der Umsetzung erwartet (Formann et al., 2007).

ERGEBNISSE DER NUMERISCHEN MODELIERUNG

Erscheinungsformen und Intensität der eigendynamischen Entwicklungen hängen wesentlich von der hydraulischen Belastung, der Art des Ufermaterials und der vorhandenen Vegetation ab (Schmautz, 2003). Daher ist das Ziel dieses Kapitels das Aufzeigen der Auswirkungen der morphologischen Veränderungen auf die Hydraulik am Beispiel der Aufweitung Kleblach - Lind. Dabei wurden besonders der Vergleich vor und nach den Umbaumaßnahmen und die sukzessiven Veränderungen analysiert. Die hydraulischen Verhältnisse wurden mit einem mehrdimensionalen Abflussmodell simuliert (CCHE2D©, „National Center for Computational Hydroscience and Engineering (NCCHE)“ der Universität von Mississippi, 2001). Die Analysen der Monitoringergebnisse haben gezeigt, dass sich als maßgebender dominanter Prozess die Seitenerosion darstellt. Dieser Prozess kann wiederum in eine Strömungserosion an der Böschung (fluvial erosion) und in einen Böschungsbruch (bank mass failure) unterteilt werden (Rodi, 1980; Thorne, 1982; Pizzuto, 1990; Hey, 1997).

Die Strömungserosion wird durch die kritische Sohlschubspannung beschrieben, welche von der Dichte des Sohlmaterials, der Korngrößen, und -verteilung, vom Ungleichförmigkeitsgrad, der Kornform, der Lagerungsdichte und des Turbulenzgrades der Strömung abhängig ist. (Eisenhauer, 2006). Weiters ist auch die Vegetation mit einzubeziehen. Der Einfluss der Vegetation findet jedoch in den derzeitigen Berechnungsansätzen keine bzw. nur unzureichende Berücksichtigung (Rinaldi & Darby, 2005). In dieser Studie, insbesondere in den Jahren 2002 bis 2004 hatte die Vegetation nur untergeordnete Bedeutung und wurde deshalb nicht berücksichtigt. Ab dem Jahr 2005 ist jedoch die Sukzession schon bedeutend fortgeschritten und muss daher in weiteren Analysen jedenfalls Eingang finden.

Die wirkende Schleppspannung an der Böschung τ_b kann über einen Proportionalitätsfaktor k_τ mit der Sohlschubspannung an der Sohle τ_s in Beziehung gesetzt werden (Lane, 1955, Mosselmann, 1992). Der Proportionalitätsfaktor k_τ wird großteils mit dem Wert 0,75 angesetzt. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass sich dieser Wert mit abnehmender Neigung (bei 0°, $k_\tau=1$) erhöht und umgekehrt. Bei Böschungsneigungen mit 90° kann dieser Wert zwischen 0,25 und 0,5 schwanken. Die Böschungsneigungen des Seitenarms betragen großteils zwischen 80 und 90°. Diese Tatsache zeigt in Zusammenhang mit den Studien von Lane (1955) und Mosselmann (1992), dass neben der Strömungserosion auch dem Böschungsbruch eine bedeutete Rolle zuzuordnen ist.

Die Berechnung der Sohlschubspannung im numerischen Modell CCHE2D© (Jia & Wang, 2001) erfolgte nach dem Ansatz von Darcy – Weisbach. Der Darcy- Weisbach Koeffizient f_c wird in Abhängigkeit der Schubspannungsgeschwindigkeit u^* ermittelt. Die Berechnung der Sohlschubspannung stützt sich auf die logarithmische Geschwindigkeitsverteilung (depth

logarithmic law), wobei zwischen drei unterschiedlichen hydraulischen Zuständen unterschieden wird (rauer Bereich, glatter Bereich, Übergangsbereich). In Abb. 7 sind die Sohlschubspannungen bei $115 \text{ m}^3/\text{s}$ zu unterschiedlichen Zeitpunkten dargestellt. Flussbauliche Maßnahmen wurden orografisch linksufrig mit Juni 2002 und orografisch rechtsufrig im April 2003 abgeschlossen.

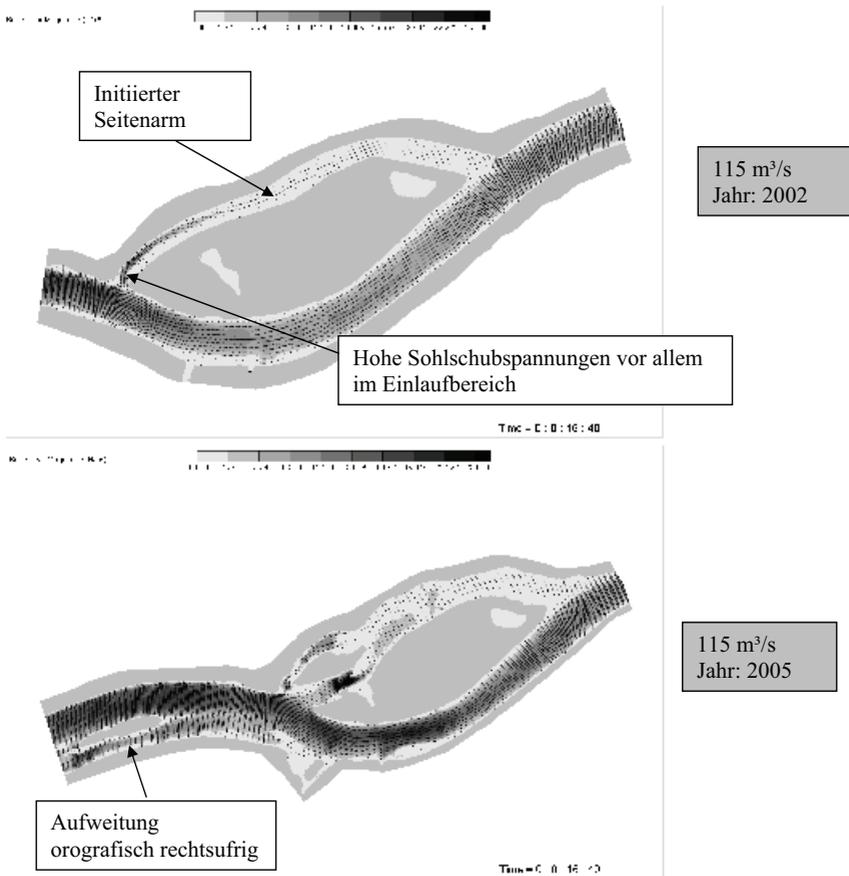


Abb7: Numerische Ergebnisse der Strömungsgeschwindigkeiten und der Sohlschubspannungen auf Basis des 2D Modells für 2003 (a) und 2005 (b).

Fig7: Numeric Results about the streamflow velocities and shear stresses on the basis of the 2D- model for the year 2003 (a) and 2005 (b).

Die Ergebnisse zeigen die morphologische Entwicklung am Beginn des Nebenarmes und deren Auswirkung auf die Sohlschubspannung. Wie das Ergebnis der numerischen Simulation für die morphologische Situation der geplanten und umgesetzten Maßnahme im Jahr 2002 ergab, werden am Beginn des Seitenarmes die ermittelten Grenzsohlschubspannungen wesentlich überschritten. Die beobachteten Erosionen und Laufverlagerungen bestätigen die Modellannahmen. Die massiven Schotterbankbildungen konnten im verwendeten

hydraulischen Modell nicht zufriedenstellend simuliert werden. Durch die Entstehung der Mittenbänke wird bei Nieder- und Mittelwasser die Strömung Richtung Ufer umgelenkt. Die hydraulische Belastung, wie im Modell für das Jahr 2005 erkennbar, wandert somit ebenso in Richtung der Ufer. Die Reduktion der Sohlschubspannungen durch die Aufweitung ist daher hauptsächlich im mittleren Bereich des Abflussquerschnitts zutreffend. Die Uferbereiche dagegen werden auch mit zunehmender Aufweitung der Strömungserosion ausgesetzt. Maßgebender Schutz vor weiterer Seitenerosion bietet nur eine Reduktion des Böschungswinkels und die Vegetation. Es ist zu berücksichtigen, dass die im Modell angewandte Strömungserosion nur im wasserbedeckten Bereich auftreten kann. Insbesondere bei kohäsiven Böschungen verursacht dies ein „Unterschneiden“ der Böschungen, was in weiterer Folge zum bereits erwähnten Böschungsbruch führt (Thorne 1982, ASCE Task Committee, 1998, Rinaldi & Darby 2005). Der Böschungsbruch selbst ist ein komplexer Prozess, da verschiedene hydrologische (Versickerungsrate, Porenwasserdruck, Wassergehalt, etc.) und geotechnische (Korngrößenverteilung, Kohäsion, Erosionsfähigkeit, etc.) Faktoren zu berücksichtigen sind. Es hat sich allerdings gezeigt, dass derart komplexe Vorgänge wie die eigendynamischen Entwicklungen des Seitenarmes bei Kleblach - Lind noch nicht mit einem hydrodynamischen Feststofftransportmodell erfasst werden können.

Um detaillierte Aussagen zum stattfindenden Böschungsbruch treffen zu können, wird seit dem Jahr 2006 ein spezielles Monitoring durchgeführt (Klösch, 2007). Diese Erkenntnisse sollen dann auf Softwareebene in numerischen Modellen umgesetzt werden, die auf diesem Wege weiterentwickelt und überprüft werden, um weiters bereits bei der Planung ein adäquates Instrument als Entscheidungsgrundlage zu erhalten.

DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Durch mehrjähriges Monitoring konnte belegt werden, dass durch die Aufweitungen der Drau eine Erhöhung der flussmorphologischen Dynamik und die Voraussetzung für eine Verminderung der örtlichen Sohleintiefung erreicht wurde. Insbesondere am Beginn konnte eine extrem hohe Dynamik des Abschnittes durch Erosions- und Sedimentationsprozesse, sowie Laufverlagerungen beobachtet werden. Grundvoraussetzung für eine bleibende flussmorphologische Dynamik sind übergeordnete Randbedingungen, wie der Geschiebehaushalt und die Abflusssituation (Hochwässer). Die bei Kleblach - Lind beobachtete massive seitliche Entwicklung ist im Wesentlichen auf strömungsinduzierte Erosion („Strömungserosion“) und gravitationsinduzierte Massenbewegung („Böschungsbruch“) zurückzuführen. Durch die versteckten Bühnen konnte die Fortsetzung der Böschungserosionen am linken Ufer gesteuert werden, ohne die strukturelle Vielfalt zu begrenzen. Als Abschätzung der sich einstellende Gewässerbite kann der Ansatz nach Schmutz (2003) mit Einschränkungen herangezogen werden. Die massive Ausbildung von Schotterbänken wurde jedoch unterschätzt. Daraus lässt sich die Notwendigkeit des Einsatzes von Feststofftransportmodellen ableiten. In diese müssen aber auch die komplexen Prozesse der Seitenerosion implementiert werden. Dazu ist aber die Vertiefung des Prozessverständnisses notwendig, welches auf Basis weiterer Feldstudien erfolgen soll.

Das Monitoring der Restrukturierungen zeigt, dass viel Positives gleichzeitig erreicht werden kann: Hochwasserschutz, Sohlstabilisierung, Erholungs-, Erlebnis- und Spielbereiche, sowie wertvolle neue Lebensräume für gefährdete Tier- und Pflanzenarten (Unfer et al., 2004).

Die im Rahmen dieser Arbeit und im Zuge des LIFE-Projektes „Auenverbund Obere Drau“ entwickelte Methodik hilft nun auch, die Vorgaben entsprechend der im WRG 2003 umgesetzten EU-Wasserrahmenrichtlinie bezüglich morphologischer Parameter effizienter zu erfassen und zu beurteilen.

LITERATUR

- ASCE Task Committee, 1998. River width adjustment. I: Processes and mechanics. Hydr. Engineering., ASCE 124(9).
- Eisenhauer, N., 2006. Hochwasserschutz, Umdruck zur Vorlesung Flussbau, Karlsruhe
- Formann, E., 2004. Morphologische Entwicklung flussbaulicher Maßnahmen an der Oberen Drau - Kleblach-Lind. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, 131; Wien.
- Formann, E., Habersack, H., Schober, St. 2007. Morphodynamic river processes and techniques for assessment of channel evolution in Alpine gravel bed rivers. *Geomorphology*. p. 340-355. Reduced-Complexity Geomorphological Modelling for River and Catchment Management. Edited by J. Brasington and K. Richards. Volume 90, Issues 3-4, doi:10.1016/j.geomorph.2006.10.029.
- Habersack, H. M., 2000. The river-scaling concept (RSC): a basis for ecological assessments, Habersack, H. M., Schober St., Formann E., Beheshti K. M., Daniczek M., Schellander M., 2003. Flussmorphologisches Monitoring im Rahmen des Life Projektes „Auenverbund Obere Drau“, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Habersack, H., Nachtnebel, H.-P., 1998a. Der Zustand der Oberen Drau aus abiotischer Sicht: Defizite, Nutzungen, Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Heft 1/2, Jg. 50, S. 9–19.
- Habersack, H., Nachtnebel, H.-P., 1998b. Planung und Konzeption flussbaulicher Maßnahmen zur Sohlsicherung und Verbesserung der gewässermorphologischen Strukturen, Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Heft 1/2, Jg. 50, S. 40–48.
- Hey, R.D., 1997. Channel response and channel forming discharge. *Rinal Rep.*, U.S. Army Res.Ofc. (London), Univ. of East Anglia, Norwich, U.K.
- Hooke, J.M., 1999. River channel adjustment to meander cutoffs on the River Bollin and River Dane, northwest England. *Geomorphology* 14. 235-253
- Hunzinger, L. M., 1998. Flussaufweitungen – Morphologie, Geschiebehalt und Grundsätze zur Bemessung, VAW Mitteilung 159 der ETH Zürich.
- Hunzinger, L. M., 2004. Flussaufweitungen: Möglichkeiten und Grenzen, «Wasser Energie Luft» 96. Jahrgang, 2004, Heft 9/10, CH-5401 Baden
- Jia, Wang, 2001. CCHE2D – Two Dimensional Hydrodynamic And Sediment Transport Model For Unsteady Open Channel Flows Over Loose Bed. Technical Report No. NCCHE-TR-2001-1. School of Engineering, University of Mississippi, National Center for Computational Hydroscience and Engineering. http://www.ncche.olemiss.edu/cche2d/cche2d_windows.html, am 10. Jänner 2003.
- Klösch, M., 2007. Ufererosion - Monitoring und Modellierung der Stabilität von Uferböschungen. Diplomarbeit am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau. BOKU Wien.
- Lane, E. W. 1955. Design of stable channels. *Trans. ASCE*, 120, 1234 -1260.
- Mangelsdorf J., Scheuermann K., 1980: Flussmorphologie: Ein Leitfaden für Naturwissenschaftler und Ingenieure. München, Oldenburg.
- Mosselman, E., 1992. Mathematical Modelling of Morphological Processes in Rivers with Erodible Cohesive Banks. PhD Thesis, Technische Universität Delft, Delft, Netherlands.
- Nachtnebel, H.-P., Habersack, H. 1992. Gewässerbetreuungskonzept – Obere Drau, Arbeitspaket 7: Geschiebehalt, Wien.
- Petutschnig, Moser, 1998. Einreichprojekt Kleblacher Totarme, Klagenfurt.
- Pizzuto, J.E., 1990. Numerical simulation of gravel bed widening. *Water Resour. Res.*, 26. 1971-1980.

- Rinaldi, M., Darby, S. E., 2005. Advances in modelling river bank erosion processes. 6th Gravel Bed River Workshop. Austria 2005.
- Rodi, W., 1980. Turbulence models and their application in hydraulics. Int. Assn. for Hydr. Res. (IAHR), Delft, The Netherlands. 1-104
- Schmautz, M., 2003. Eigendynamische Aufweitung in einer geraden Gewässertrecke. Bericht des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft im Institut für Wasserwesen an der Technischen Universität München.
- Schober, St., Habersack, H. M., 2004. Auswirkungen wasserbaulicher Maßnahmen auf die Flussmorphologie und Ökologie am Beispiel der Oberen Drau, Beitrag zum Symposium vom 16. – 19. Juni 2004 in Wallgau, Oberbayern.
- Schober, St., 2006. Flussmorphologische Prozesse am Beispiel alpiner Einzugsgebiete, Verlag Gutmann Peterson, Wien.
- Schöberl F. 1988. Hydrologische Grenzbedingungen für die Beeinflussungsmöglichkeit des Bettmaterialtransportes alpiner Flussläufe durch instationäre Hochwasserwellen. 14. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen Kiew; Mittel. des hydrographischen Dienstes in Österreich, Heft Nr. 58.
- Thorne, C. R., 1982. Processes and mechanisms of river bank erosion. Gravel-bed rivers, R. D. Hey, J. C. Bathurst, and C. R. Thorne, eds., John Wiley & Sons, Inc., Chichester, U.K., 227-271.
- Unfer, G., Schmutz, S., Wiesner, Ch., Habersack, H.H., Formann, E., Komposch, Ch., Paill, W., 2004. The effects of hydropeaking on the success of river-restoration measures within the LIFE-project "Auenverbund Obere Drau". In: Diego Garcia de Jalon & Pilar Vizcaino Martinez: Fifth International Symposium on Ecohydraulics, 12.09.2004-17.09.2004, Madrid; Proceedings of the Fifth International Conference on Ecohydraulics - Aquatic Habitats: Analysis and Restoration, 1, 741-746; IAHR, Madrid; ISBN 90-805649-7-4.