



# Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004 – RIVA / TRIENT

## ÖKOLOGISCH ORIENTIERTER HOCHWASSERSCHUTZ AN EINEM POTAMALEN FLIESSGEWÄSSER: AUSWIRKUNGEN AUF DAS ABFLUSSGESCHEHEN UND DIE FLUSSBAULICH – MORPHOLOGISCHEN VERHÄLTNISSE

### ECOLOGICALLY ORIENTED HYDRAULIC ENGINEERING AT AN AUSTRIAN LOWLAND RIVER: INFLUENCES OF ARTIFICIAL STRUCTURES ON FLOOD PROCESSES AND THE MORPHOLOGICAL DEVELOPMENT

H. Habersack<sup>1</sup>, Ch. Hauer<sup>2</sup>, S. Edin, K. Maierhofer, I. Novak

#### ZUSAMMENFASSUNG

Die an der Sulm umgesetzten Maßnahmen (generelle Aufweitung, Einbau von 2 Mäandern, Strukturierungselemente) wurden einem dreijährigen flussmorphologischen Monitoring unterzogen. Es zeigte sich, dass durch die gesetzten Maßnahmen der Hochwasserschutz für die Siedlungen im Projektbereich sehr gut erreicht werden konnte. Das Monitoring der Gesamtstrecke zeigte weiter eine beginnende Auflandungstendenz in einem Großteil der Querprofile, was auf die Reduktion der Geschiebetransportkapazität infolge Verringerung der Sohlschubspannung nach der Aufweitung zurückzuführen ist. Bei den Strukturierungsmaßnahmen (Buhnen, Raubäume etc.) kommt es infolge daraus resultierender Querschnittsveränderungen und Rauigkeitsmodifikationen zum Anheben des Wasserspiegels bei entsprechenden Abflüssen. In Kombination mit hydrobiologischen Untersuchungen wurde eine Habitatmodellierung durchgeführt, wobei verschiedene Modellkonzepte zur Anwendung kamen (z.B. PHABSIM).

**Key words:** Hochwasserschutz, Flussmorphologie, Habitatmodellierung

#### ABSTRACT

At the Austrian lowland river Sulm an ecologically orientated flood protection was realized. Beside a general 5 m extension of the river cross section and the construction of two small meanders several artificial structures were placed in the river to gain better ecological conditions. The lowering of the water level caused by the wider river guarantees the flood protection for the villages in the monitored area. Furthermore aggradation could be surveyed. This effect was caused by the reduced sediment transport rate, which was also a result of the cross section extension. To judge the improvement of the ecological situation a habitatmodelling for specific cyprinide fish was made.

**Key words:** Flood protection, morphological development, habitatmodelling

<sup>1</sup>Habersack H., Univ.- Prof. Dr. DI, IWHW/BOKU Wien Muthgasse 18, 1190 Wien

<sup>2</sup>Hauer Ch., DI, IWHW/BOKU Wien Muthgasse 18, 1190 Wien

## EINLEITUNG

Gerade die jüngsten Hochwasserkatastrophen im Sommer 2002 zeigten die engen Grenzen der Vorbeugemaßnahmen gegenüber Extremereignissen auf. Zusätzlich erlangt neben der Gewährleistung des Hochwasserschutzes für Siedlungen auch der gute ökologische Zustand rechtlich immer mehr an Bedeutung. Dieser "gute" Zustand von Fließgewässern ist ein Begriff, der erst seit kurzer Zeit im Flussbau präsent erscheint. Er stammt aus der Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union, mit deren Inhalt ein Paradigmenwechsel der gemeinsamen Wasserpolitik vollzogen wird. Es erfolgt eine Abkehr von der rein schutzwasserwirtschaftlichen, ökonomischen hin zu einer ökologischen Betrachtung der Gewässer. Die Richtlinie beinhaltet einerseits das Verbot der Verschlechterung des derzeitigen Zustandes aller Gewässer und verpflichtet andererseits zur Wiederherstellung des guten ökologischen Zustands, bzw. des ökologischen Potentials.

Unter diesen Gesichtspunkten kann dieses Hochwasserschutzprojekt, an der Sulm durchgeführt in den Jahren 1998 – 2000, als ein Versuch zur ersten schrittweisen Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie an einem Potamalgewässer bezeichnet werden.

## UNTERSUCHUNGSGEBIET

Der Monitoringabschnitt an der Sulm liegt im Südsteirischen Hügelland flussab der Gemeinde Heimschuh. Die beiden Zubringer Schwarze und Weiße Sulm entspringen in den Zentralalpen und erreichen noch unabhängig voneinander bei Schwanberg bzw. im Bereich Wies das steirische Becken. In den Zentralalpen dominieren Kerbtal- und Sohlenkerbtalstrecken sowie der gestreckte und pendelnde Flusstyp. Im Tertiärbecken sind Schwarze und Weiße Sulm hauptsächlich als mäandrierende Flüsse in einem Sohlenkerbtal charakterisiert. Die Sulm liegt nach dem Zusammenfluss als mäandrierender sowie teilweise als gewundener Flusstyp vor (MUHAR et al., 1996). Eine Begradigung des Flusses 1965 bewirkte flussab von Heimschuh einen gestreckten Verlauf bis Leibnitz. Dort mündet die Lassnitz aus dem Norden kommend in die Sulm und diese in weiterer Folge in die Mur.

Die hydrologischen Daten für das Untersuchungsgebiet wurden vom AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2001) zur Verfügung gestellt und sind in der Tabelle 1 dargestellt.

**Tab. 1:** Hydrologische Daten Untersuchungsgebiet (Pegel Untersuchungsgebiet)

**Tab. 1:** Hydrological data monitoring area (gauge monitoring area)

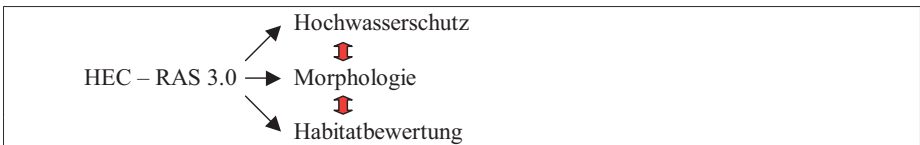
Gesamteinzugsgebiet:	1.113 km <sup>2</sup>	Abflüsse:	HQ <sub>100</sub>	300 m <sup>3</sup> /s
Mittlere Seehöhe:	620 m ü. A.		HQ <sub>30</sub>	265 m <sup>3</sup> /s
Mittlerer Jahresniederschlag:	1160 mm		HQ <sub>1</sub>	95 m <sup>3</sup> /s
Gefälle:	0.8 – 1 Promille		MQ	8.85 m <sup>3</sup> /s
Lauflänge:	rd. 50 km		NNQ	rd. 1 m <sup>3</sup> /s

Die Abflussverhältnisse sind durch das pluvio – nivale 3 – Regime gekennzeichnet. Charakteristisch ist das Auftreten von drei beinahe gleichwertigen Abflussspitzen (MADER et al., 1996).

## METHODIK

Grundlage für das flussmorphologische Monitoring an der Sulm bildeten terrestrische Aufnahmen der Projektstrecke in den Jahren 2001, 2002 und 2003. Diese wurden im großen

Maßstab von der Landesregierung Steiermark und im Detail vom IWHW durchgeführt. Das Hauptaugenmerk der universitären Vermessungsarbeiten lag in der Dokumentation von morphologischen und abiotischen Veränderungen an der größten umgesetzten Maßnahme, einem neu geschaffenen Flussbogen bei Flkm 12.9. Weiteres wurden alle Restrukturierungselemente vermessen, die den Querschnitt des Flusses entscheidend beeinflussen. Um in weiterer Folge die Auswirkungen der Renaturierungen auf das Abflussgeschehen zu analysieren und zu bewerten wurde ein eindimensionales HN – Modell (Hydrodynamisch – Numerisch) herangezogen. Das Modell HEC – RAS 3.0 wurde ausgewählt um im klassischen Sinne Hochwasserschutzberechnungen durchzuführen aber auch morphologische Entwicklungen zu prognostizieren und Habitateigenschaften von aquatischen Lebewesen zu analysieren. In der Abb. 1 ist der modulare Aufbau der Arbeiten mit dem Modell dargestellt.



**Abb1:** Modularer Aufbau der Arbeiten mit HEC – RAS 3.0  
**Fig1:** Modular work package HEC – RAS 3.0

Besonders auf die Interaktion der drei Arbeitsschwerpunkte wurde bei den Auswertungen der Berechnungsergebnisse geachtet. Somit konnte neben der Bewertung von Hochwasserwellen betreffend den Schutz der Siedlungen auch deren Einfluss auf die Morphologie und die Entwicklung der Habitatqualität bestimmter Leitfischarten Bezug genommen werden.

## Hochwasserschutz

Durch die vorhandene Datenlage der Vermessungsarbeiten konnten 4 verschiedene Geometrien für das HEC - RAS Modell erstellt werden.

Modell 1: Das Modell 1 repräsentiert den Untersuchungsabschnitt der Sulm vor der Aufweitung im Jahr 1996. Diese Geometrie bildete die Grundlage für die Berechnungen des Hochwasserschutzprojektes Sulm – Heimschuh.

Modell 2: Entspricht der ursprünglich für den Hochwasserschutz Heimschuh entworfenen Geometrie und stellt den Fluss nach der baulichen Aufweitung von 1998 dar. In der Flussgeometrie sind noch keinerlei Strukturierungselemente vorhanden. Somit können in vergleichenden Modellrechnungen die negativen bzw. positiven Auswirkungen der Restrukturierung auf den geplanten Hochwasserschutz herausgearbeitet werden.

Modell 3: Modell 3 ist eine Erweiterung des Modells 2 um die zwei neu angelegten Mäander.

Modell 4: In diesem Modell sind alle vom IWHW vermessenen Strukturen enthalten. Die Gerinnegeometrie wird definiert durch das Modell 3 mit den hier zusätzlich nicht abflusswirksamen Teilen der Querschnitte. Diese Flächen der Profile entsprechen in ihrer Größe den in der Natur vermessenen geometrischen Eigenschaften der Strukturierungselemente. Als Beispiel sind hier Wurzelstöcke, Raubäume und Buhnen anzuführen.

Als Abflüsse wurden neben den für den Hochwasserschutz signifikanten Werten wie HQ<sub>100</sub> und HQ<sub>30</sub> auch geringere Abflussmengen herangezogen, einerseits um den Einfluss der Strukturierungselemente bei Mittelwasser herauszuarbeiten andererseits um einen Überblick über die Lebensraumbedingungen für ausgewählte Leitfischarten zu bekommen.

## Morphologie

Grundlage für die Dokumentation der morphologischen Veränderungen bildeten die terrestrischen Aufnahmen der Gerinnegeometrie. Durch profilweise Auswertung konnten die Anlandung- und Eintiefungsbereiche ersichtlich gemacht werden. Für Detailanalysen wurden Geländemodelle erstellt. Mit dem Modell HEC – RAS wurde über die berechneten Schleppspannungen bei variablen Durchflüssen die morphologische Entwicklung der Renaturierungen interpretiert. Durch Substratanalysen der Deckschicht (Volumetrische Geschiebeprobe und Linienzahlanalysen) wurden die charakteristischen Korndurchmesser bestimmt und in weiterer Folge die kritische Schleppspannung über die empirische Formel nach MEYER-PETER & MÜLLER (1949) rückgerechnet (Gl. 1).

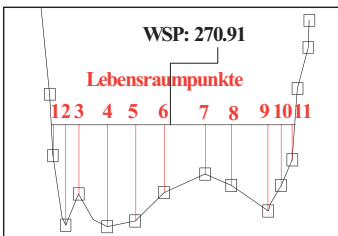
$$\tau_{cr} = 0.047 \cdot (\rho_F - \rho_W) \cdot g \cdot d_m \quad (1)$$

- $\rho_F$  = Dichte des Geschiebes
- $\rho_W$  = Dichte des Wassers
- $d_m$  = mittlerer Korndurchmesser
- $g$  = Erdbeschleunigung

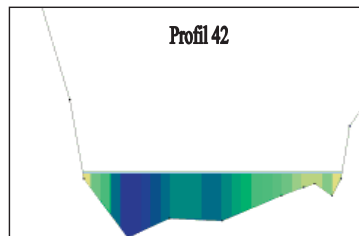
Dieses  $\tau_{cr}$  verglichen mit den errechneten Schleppspannungen aus dem HEC – RAS Modell gab Auskunft über möglichen Bewegungsbeginn und potentielle Anlandung. Dabei fanden Erkenntnisse über Bewegungsbeginn aus Naturmessungen Eingang (HABERSACK & LARONNE, 2002). Um diese Ergebnisse zu verifizieren wurden in einem Profil der Mäanderstrecke bei Flkm.12.9 Geschiebefallen in die Gewässersohle eingebaut. Mit Hilfe von Erosionsstangen konnte die laterale Erosion erfasst werden.

## Habitatmodellierung

Die Habitatbewertung konnte modellbedingt nur in Querprofilen exakt durchgeführt werden. Dazu wurden unterhalb des Wasserspiegels sogenannte Lebensraumpunkte definiert, in denen die abiotischen Eigenschaften Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit und Substrat analysiert wurden (Abb. 2). Da die hydraulische Grundlage einer Wasserspiegelberechnung die querschnittsgemittelte 1 – D Fließgeschwindigkeit darstellt, werden diese Modelle generell als unzureichend für eine quantitative Habitatmodellierung angesehen. Im Modell HEC – RAS wird aber die Möglichkeit geboten, über die „conveyance“ eine sogenannte Querverteilung der Fließgeschwindigkeit zu berechnen (Abb. 3). Somit konnte in ausreichender Weise auf die Variabilität der Fließgeschwindigkeit in den Querschnitten eingegangen werden.



**Abb2:** Profil 42 HEC – RAS Modell  
**Fig2:** Cross section 42 HEC – RAS Modell



**Abb3:** Profil 42 „quasi“ 2D  
**Fig3:** Cross section 42 „quasi“ 2D velocity plot

Um die gewonnenen abiotischen Daten einer Bewertung zu unterziehen wurden funktionale Ansätze herangezogen. Als einfachstes aber durchaus anerkanntes Verfahren ist die Expertenmethode anzusehen. Hierbei werden über die Bewertung der bekannten hydraulischen Situationen mit Hilfe der errechneten Wassertiefen quantitative Aussagen über Habitateigenschaften getroffen. Die Methode der multiplikativen Verknüpfung (Gl. 2) wurde erstmals in PHABSIM angewandt (MILHOUSE, 1989). Die zweite Bewertungsmethode, ein statistisches Verfahren, wurde im Zuge des GBK Traisen von der Abteilung für Hydrobiologie, Fischereiwirtschaft und Aquakultur (BOKU Wien) entwickelt (SCHMUTZ et al., 1999). Die Berechnungsergebnisse definieren die Wahrscheinlichkeit eines guten Fischhabitates in Abhängigkeit der abiotischen Kenngrößen (Gl. 3).

### Multiplikative Verknüpfung

Der Hintergrund einer multiplikativen Verknüpfung zum Bewerten von Fischhabitaten ist die Optimierung von abiotischen Verhältnissen. Wird ein Parameter mit einem Nullwert versehen ist durch die Multiplikation der Eignungsindizes ein Nullwert, sprich keine Eignung, das Ergebnis.

$$SI_{ges} = SI_d \cdot SI_v \cdot SI_{CI} \text{ oder allg. } SI_{ges} = \prod_{i=1}^I SI_i \quad (2)$$

Mit  $SI_d$  = Eignungsindex bezüglich der Wassertiefe (depth)  
 $SI_v$  = Eignungsindex bezüglich der Fließgeschwindigkeit (velocity)  
 $SI_{CI}$  = Eignungsindex bezüglich der Sohlstruktur (channel index)

### Logistische Regression

Der große Vorteil der logistischen Regression gegenüber der multiplikativen Verknüpfung ist die Analyse der Wechselwirkung zwischen den lebensraumbeschreibenden Parametern. Neben einer Gewichtung werden jene Parameter die zueinander einen hohen Korrelationswert besitzen, z.B. Fließgeschwindigkeit und Substrat, aus der Bewertung genommen. In weiterer Folge wird die Wahrscheinlichkeit eines geeigneten Fischhabitates ermittelt. Die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten des Ereignisses wird dabei nach dem Ansatz

$$P = \frac{1}{1 + e^z} \quad (3)$$

berechnet, wobei

$$z = b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n + a \quad (4)$$

$x_i$  sind die Werte der unabhängigen Variablen,  $b_i$  sind Koeffizienten, deren Berechnung die Aufgabe der logistischen Regression ist;  $a$  ist eine Konstante. Ergibt sich für  $P$  ein Wert kleiner als 0.5, nimmt man an, dass das Ereignis nicht eintritt; im anderen Fall nimmt man das Eintreffen des Ereignisses an.

## **ERGEBNISSE HOCHWASSERSCHUTZ**

Die Ergebnisse der Auswirkungen der Renaturierung auf das Abflussgeschehen wurden in einer sogenannten Szenarienanalyse gewonnen. Diese beinhaltet die differenzierte Darstellung der einzelnen berechneten Wasserspiegel aus den Modellen 1 – 4. Somit kann anschaulich in Diagrammen der hydraulische Einfluss von Strukturelementen auf die Wasserspiegel dargestellt werden.

Szenario 1: Dieses erste Berechnungsszenario dokumentiert die Folgen der Aufweitung im Untersuchungsabschnitt. In der Abb. 4 sind die Differenzen der Wasserspiegellagen zwischen

Modell 1 und Modell 2 für verschiedenste Durchflüsse angegeben. Als Koordinatenursprung ist in dieser, wie auch in allen folgenden Szenarienanalysen, Heimschuh, am oberen Ende des HEC – RAS Modells gelegen, definiert. Deutlich ist in den Aufweitungsbereichen ein Absenken des Wasserspiegels zu erkennen. Die Effizienz der Abflusserhöhung steigt mit den Berechnungsdurchflüssen und ist bei 120 m<sup>3</sup>/s bzw. auch bei Simulationen eines HQ<sub>5</sub> maximal. Der Wasserspiegel sinkt bis zu 60 cm in Teilen der Projektsstrecke. Bei größeren Ereignissen HQ<sub>10</sub>, HQ<sub>30</sub> und HQ<sub>100</sub> zeigt die baulich erweiterte Geometrie nicht mehr diese Abflussleistungen. Die Absenkungen des Wasserspiegels betragen in weiten Teilen des Modellierungsabschnittes nur mehr 20 cm und erreichen lokal Spitzen von 40 cm.

Szenario 2: Bei diesem Vergleich wird der Einfluss der Mäander auf die Wasserspiegel untersucht. Dazu werden die mit HEC – RAS berechneten Wasserspiegel aus Modell 2 von jenen von Modell 3 subtrahiert und sind in Abb. 5 dargestellt. Zu erkennen ist, dass vor allem bei geringeren Abflussmengen der Einfluss der geometrischen Eigenschaften der Flussbögen am stärksten ist. Diese verlieren mit zunehmenden Abflussmengen ihre positiven Auswirkungen auf die Abflussleistung. Durch großräumige Wirbelstrukturen bei der Wiedervereinigung von Flussbogen und Überströmstrecke und damit entstehenden Rückstauwirkungen in den Krümmungen sinkt die Abfuhrkapazität. Somit bewirken die beiden größten Maßnahmen vor allem bei den signifikanten Hochwasserwerten HQ<sub>30</sub> und HQ<sub>100</sub> keine Verbesserung im Vergleich zur klassischen unstrukturierten Aufweitung. Vor allem konnte keinerlei positiver oder negativer Einfluss auf die Hochwassersituation in Heimschuh nachgewiesen werden.

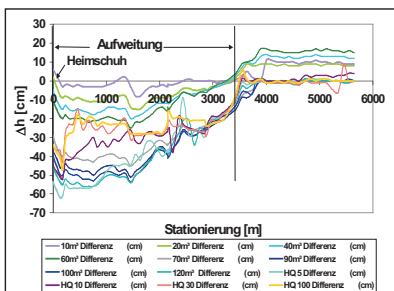


Abb4: Ergebnisdigramm Szenario 1  
 Fig4: Diagram of the results in scenario 1

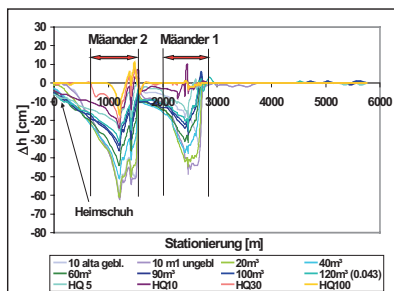
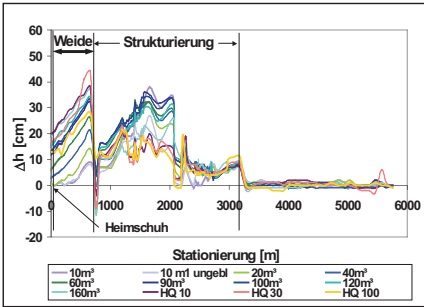
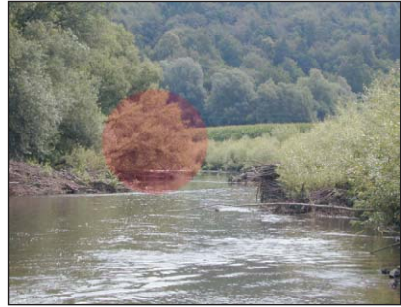


Abb5: Ergebnisdigramm Szenario 2  
 Fig5: Diagram of the results in scenario 2

Szenario 3: Hier werden die Auswirkungen der Strukturierungsmaßnahmen im Flussquerschnitt auf die Wasserspiegellage untersucht. Die Darstellung in Abbildung 6 erfolgt durch die Subtraktion der Berechnungen aus dem Modell 4 von denen aus dem Modell 3. Deutlich ist in weiten Teilen ein Ansteigen des Wasserspiegels zu erkennen. Zu beachten ist in dieser Darstellung, dass die teils positiven Auswirkungen der beiden Flussbögen sich in diesem Szenario aufheben. Beide sind in den Geometrien von Modell 4 und von Modell 3 enthalten. Bei der Subtraktion der Simulationsergebnisse fallen sie somit aus der Bewertung. Die Ergebnisse aus dieser Szenarienanalyse zeigen deutlich eine starke Aufspiegelung ca. 750 m unterhalb von Heimschuh um bis zu 40 cm. Diese wird hervorgerufen durch eine einzelne Weide, die als Strukturierungselement in den Fließquerschnitt gelegt wurde und diesen deutlich vermindert (siehe Abb. 7). In dem „Weidenprofil“ selbst kommt es durch die Einengung des Querschnittes zu einer Erhöhung der Fließgeschwindigkeit und einem Absenken des Wasserstandes. In den Profilen flussauf bewirkt der entstehende Rückstau eben die deutlich erkennbare Erhöhung des Wasserstandes.



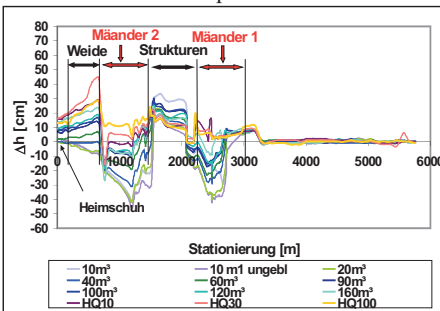
**Abb6:** Ergebnisdiagramm Szenario 3  
**Fig6:** Diagram of the results in scenario 3



**Abb7:** Weidenprofil (rot)  
**Fig7:** Cross section with willow (red)

Vor allem kommt es durch diese Struktur in Heimschuh bei der Simulation eines HQ<sub>30</sub> zu einer Erhöhung des Wasserspiegels um bis zu 20 cm. Dieses Ansteigen kann bereits zu beträchtlichen Schäden im zivilen Bereich führen. Unterhalb der Weide führen Raubäume, Buhnen und Wurzelstöcke ebenfalls zu einem Steigen des Wasserspiegels, der maximal um 37 cm höher liegt als er durch das Modell 3 berechnet wurde. Dabei ist der Einfluss der Strukturen bei geringeren Abflussmengen höher als bei Simulationen von HQ<sub>5</sub> – HQ<sub>100</sub> Werten. Von der maximalen Aufspiegelung bei 10 m<sup>3</sup>/s verliert der Einfluss der Renaturierungselemente bei Durchflusssteigerungen zunehmend an Bedeutung.

Szenario 4: Dieser Vergleich (Abb. 8) beschreibt die Auswirkungen aller Renaturierungsmaßnahmen (Mäanderbögen und Strukturierungsmaßnahmen im Flussquerschnitt) aus dem Modell 4 zu den Berechnungen aus der klassischen Aufweitung dem das Modell 2 entspricht.

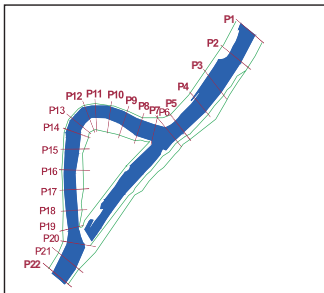


**Abb8:** Ergebnisdiagramm Szenario 4  
**Fig8:** Diagram of the results in scenario 4

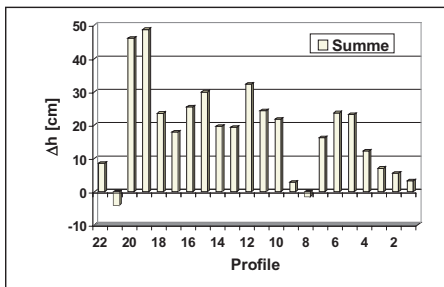
Im Gegensatz zur Abb. 6 sind hier die Auswirkungen der beiden Flussbögen wieder zu erkennen. Diese verbessern jedoch die negativen Auswirkungen der Weide nicht. In Summe befindet sich die Änderung des Wasserspiegels in weiten Teilen der Projektstrecke bei hohen Abflusswerten wie HQ<sub>30</sub> und HQ<sub>100</sub> durch die Restrukturierung in einem Bereich zwischen  $\Delta h = -5$  cm und  $\Delta h = +20$  cm. Einzig der geometrische Einfluss der besagten Weide erhöht lokal den Wasserstand um bis zu 40 cm. Anzumerken ist, dass diese Weide durch ein HQ<sub>10</sub> im Dezember 2002 wegerodiert wurde. Die Erkenntnisse daraus sind wichtig für zukünftige Dimensionierungen von Renaturierungsmaßnahmen und Strukturierungselementen (Sinnhaftigkeit).

## ERGEBNISSE MORPHOLOGIE

Die Abbildung 9 zeigt jene Profile, die vom IWHW zur Dokumentation der morphologischen Veränderungen im Bereich des Flussbogens bei Flkm. 12.9 aufgenommen wurden. Der als unten angegebener Altarm fungierende ehemalige regulierte Teil der Sulm wird ab  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  durchströmt und bewirkt im Vergleich zur klassischen Aufweitungsstrecke eine Steigerung der Abflussleistung und ein Sinken des Wasserspiegels. Dieser Umstand ist aber nicht allein für die massiven Auflandungen von 2001 – 2003, in Abb. 10 dargestellt, verantwortlich.



**Abb9:** Vermessungsprofile im Mäander  
**Fig9:** Surveyed cross sections in the meander

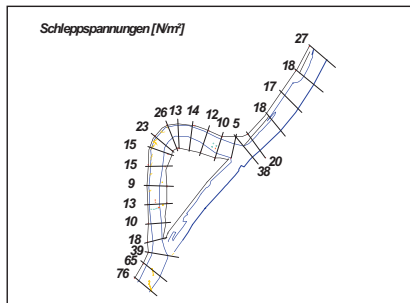


**Abb10:** Morphologische Entwicklung 2001 - 2003  
**Fig10:** Morphological development 2001 - 2003

Hinzu kommt, dass es durch den Einbau des Mäanders zu einer Verlängerung des Flusslaufes um 110 m kam. Mit der Laufverlängerung wurde zunächst das Sohlgefälle reduziert. Dies bewirkte ein Absinken der Sohlschubspannung. Der Effekt wurde im Hochwasserfall weiters verstärkt durch den Rückstau im Bereich des Zusammenflusses von Flussbogen und Überströmstrecke. Durch die Ausbildung von großräumigen Wirbelstrukturen (Abb. 11) reicht der hydraulische Einfluss des Flussbogens weit über seine tatsächliche Länge hinaus. Dies konnte die Berechnung der Schleppspannungen aus dem HEC – RAS Modell für eine bordvolle Abflusssituation deutlich zeigen (Abb. 12).



**Abb11:** Mäander bei ca.  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  Durchfluss  
**Fig11:** Meander with  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  discharge

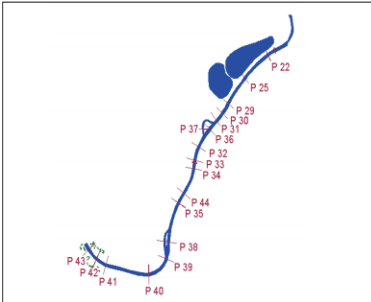


**Abb12:** Berechnete Schleppspannung  
**Fig12:** Calculated Shear stress

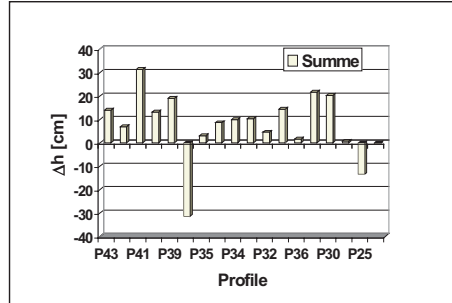
Die Aufweitung in den Profilen flussab der Krümmung verstärkte die Tendenz zur Auflandung. Dadurch entwickelte dieser Mäanderbereich innerhalb des Beobachtungszeitraumes durch seine spezielle Geometrie einen „Falleneffekt“ für das Geschiebe.



In der Abbildung 13 sind jene Profile dargestellt, die von der Landesregierung Steiermark für die Dokumentation der morphologischen Entwicklung vermessen wurden. Die Abstände betragen 100 – 300 m und geben einen deutlich größeren Entwicklungsprozess wieder als die Aufnahmen des IWHW. Betrachtet man die morphologische Entwicklung (Abb. 14) der gesamten Projektstrecke, so überwiegen auch hier in weiten Teilen die Auflandungen, wie es nach einer Querschnittsverbreiterung zu erwarten ist.



**Abb13:** Vermessungsprofile LR Steiermark  
**Fig13:** Surveyed cross sections LR Styria



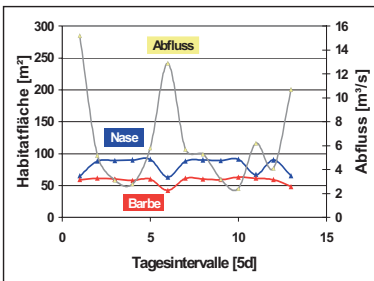
**Abb14:** Ergebnisse Morphologische Entwicklung  
**Fig14:** Morphological development 1999 - 2003

Allerdings spiegeln die Ergebnisse auch die Dynamik der Sohlentwicklung wider. Vor allem innerhalb des ersten Beobachtungszeitraumes nach der Umsetzung der Renaturierungsmaßnahmen kam es in den Profilen 22, 25 und 29 zu ausgeprägten Eintiefungen, während in den anderen Profilen bereits eine Auflandungstendenz dokumentiert wurde. Zurückzuführen ist dies auf die Lage der Profile unterhalb des Mäanderbogens bei Flkm. 12.9. Nach PATT et al. (1998) entstand durch den bereits beschriebenen Falleneffekt des Mäanderbogens für das Geschiebe ein Feststoffdefizit im Unterliegerbereich welches letztendlich für die Eintiefungen verantwortlich war. Die markante Erosion der Sohle bei Vermessungsprofil 38 wurde durch eine Verringerung der Durchflussbreite induziert. Verantwortlich dafür war der Bau des Mäanderbogens 2, dessen Breite mit 16.5 m in der Bauausführung deutlich geringer dimensioniert wurde als der ursprüngliche Regulierungszustand der Salm. Innerhalb des Monitoringzeitraumes hat sich aber die Salm in diesem Bereich durch laterale Erosion ein Flussbett mit mittlerweile 18.5 m Breite geschaffen. Dies entspricht jenem Wert, den FLEISCHANDERL (2002) als natürliche Flussbreite von 1877 ermittelt hatte.

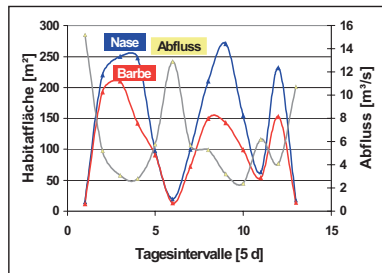
In Summe gibt die Abb. 14 sehr deutlich die natürliche Reaktion des Flussbettes auf geometrische Veränderungen wieder. Bei Querschnittsverengung kommt es zu einer Eintiefung der Sohle. Gleiches gilt für den Rückhalt von Geschiebe. Eine klassische Aufweitung des Flussquerschnitts hat Auflandungen zur Folge. Die Auswirkungen auf den Hochwasserschutz sind zum Zeitpunkt des Monitoringabschlusses als marginal einzustufen.

## ERGEBNISSE HABITATMODELLIERUNG

Als Beispiel für eine Anwendung des HEC – RAS Modells zur Habitatmodellierung ist die Durchführung der Expertenmethode zur Untersuchung der Laichhabitate 2001 für Nasen (*Chondostroma nasus*) und Barben (*Barbus barbus*) im Bereich des Mäanderbogens bei Flkm. 12.9 beschrieben. Nach STEIN (1987) besitzen intakte Laichplätze einen zentralen Stellenwert in der gewässerökologischen Betrachtung, da Besatzmaßnahmen aus verschiedenen Gründen keine Alternativen darstellen. Diese Reproduktionsbereiche von Nase und Barbe sind gegenüber dem allgemein verfügbaren Lebensraum stark abgegrenzt. Das erfolgreiche Ablaichen wurde stets in stark überströmten, kiesigen Flussabschnitten in sogenannten Furten beobachtet (STEIN, 1992, KECKEIS, 1991, MAIER et al., 1992). Auf Grund der morphologischen Situation konnten zwei Furtbereiche (siehe Abb. 4-6, Furt 1; Profil 7 – 9/ Furt 2; Profil 16 – 18) im Flussbogen mit geeignetem Sohlsubstrat ausgewiesen werden. Für die Berechnungen der verfügbaren Habitatflächen wurde die Ganglinie 2000 im Projektgebiet für den Zeitraum April - Mai herangezogen. Als Ergebnis sind die verfügbaren Flächen im Verhältnis zum Abfluss in Abb. 15 und Abb. 16 dargestellt.



**Abb15:** Ergebnisdiagramm Furt 1  
**Fig15:** Results in riffle 1



**Abb16:** Ergebnisdiagramm Furt 2  
**Fig16:** Results in riffle 2

Die Abhängigkeit der potentiellen Laichhabitate von der jeweiligen Durchflusssituation ist deutlich zu erkennen. Der Furtbereich 1 bietet bei geringerer Fläche stabilere Verhältnisse in Bezug auf die Verfügbarkeit als der Furtbereich 2. Die geringeren potentiellen Laichhabitate der Barben sind auf die enger definierten optimalen Nutzungsbereiche der Wassertiefe zurückzuführen. Auf die optimalen Fließgeschwindigkeiten bezogen wäre die Barbe bei der Laichplatzwahl indifferent als die Nase einzustufen. Zusätzlich zur Verfügbarkeit von Flächen wurde mit dem HEC – RAS Modell die Stabilität der potentiellen Laichhabitate analysiert. Als lithophile Fischarten kleben Nase und Barbe den Laich auf geeignetes Sohlsubstrat. Anders als bei Salmoniden, deren Laichplätze oft durch die Kolmatierung durch absinkende Schwebstoffe gefährdet sind, ist es bei Nase und Barbe die Bewegung der großen Kornfraktionen, die ein Gefährdungspotential darstellt. Durch die morphologisch exponierte Lage der Laichhabitate in den Furtbereichen ist die Erosion und Anlandung des Geschiebes jener Faktor, der eine mögliche Zerstörung des Laichs bedingt. Die Tabellen 2 und 3 zeigen die Stabilitätsverhältnisse in den untersuchten Abschnitten. Neben den rückgerechneten Grenzschleppspannungen nach MEYER-PETER, MÜLLER (1949) für die jeweilige Körnungsklasse sind die mittleren vom Modell HEC – RAS errechneten Schleppspannungen der die drei Laichhabitate beschreibenden Profile aufgelistet. Wie aus dem Vergleich hervorgeht, erreichen die Kräfte im potentiellen Laichhabitat 1 bei höheren Abflüssen nie die unterste Grenze des Bewegungsbeginns des vorhandenen Mikrolithals. Bei gleichen Abflussbedingungen (in der Natur wie im Modell) bestätigten die entnommenen

Sedimentproben der Geschiebefallen den ausschließlichen Transport von Korngrößen mit  $d_m < 2$  cm. Dadurch konnten die Berechnungen über den simulierten Bewegungsbeginn verifiziert und bestätigt werden.

**Tab. 2:** Schlepptensionen Furt 1  
**Tab. 2:** Shear stress riffle 1

Abfluss	Mikrolithal	Profil 18	Profil 17	Profil 16
[m³/s]	$\tau_w$ [N/m²]	$\tau$ [N/m²]	$\tau$ [N/m²]	$\tau$ [N/m²]
14.62	15.21 - 47.92 N/m²	7.22	11.72	9.79
4.79	15.21 - 47.92 N/m²	5.86	13.82	9.42
3.57	15.21 - 47.92 N/m²	4.71	12.65	8.21
3.25	15.21 - 47.92 N/m²	4.38	12.3	7.86
5.78	15.21 - 47.92 N/m²	6	14.36	10.52
12.3	15.21 - 47.92 N/m²	7.06	11.88	9.98
5.68	15.21 - 47.92 N/m²	6.02	14.44	10.42
4.8	15.21 - 47.92 N/m²	5.87	13.83	9.43
3.33	15.21 - 47.92 N/m²	4.46	12.38	7.95
2.54	15.21 - 47.92 N/m²	3.63	11.52	6.98
6.55	15.21 - 47.92 N/m²	6.03	13.48	11.03
4.33	15.21 - 47.92 N/m²	5.57	13.51	9.08
10.67	15.21 - 47.92 N/m²	6.69	11.8	10.11

**Tab. 3:** Schlepptensionen Furt 2  
**Tab. 3:** Shear stress riffle 2

Abfluss	Mikrolithal	Profil 9	Profil 8	Profil 7
[m³/s]	$\tau_w$ [N/m²]	$\tau$ [N/m²]	$\tau$ [N/m²]	$\tau$ [N/m²]
14.62	15.21 - 47.92 N/m²	17.62	20.18	14.56
4.79	15.21 - 47.92 N/m²	12.16	16.02	5.87
3.57	15.21 - 47.92 N/m²	9.93	16.56	4.79
3.25	15.21 - 47.92 N/m²	9.23	16.92	4.07
5.78	15.21 - 47.92 N/m²	14.42	16.26	6.93
12.3	15.21 - 47.92 N/m²	21.05	22.13	13.84
5.68	15.21 - 47.92 N/m²	14.28	16.21	6.82
4.8	15.21 - 47.92 N/m²	12.18	16.01	5.88
3.33	15.21 - 47.92 N/m²	9.39	16.8	4.18
2.54	15.21 - 47.92 N/m²	7.7	16.14	3.06
6.55	15.21 - 47.92 N/m²	15.36	16.61	7.78
4.33	15.21 - 47.92 N/m²	11.58	16.23	5.5
10.67	15.21 - 47.92 N/m²	20.77	21.05	12.27

Somit ist in diesem Abschnitt neben der Verfügbarkeit potentieller Laichhabitate auch die Stabilität dieser gewährleistet. Im Furtbereich 2 hingegen liegen die errechneten Schlepptensionen großteils im kritischen Bereich. Ab 10 m³/s ist in diesen Teilen ein signifikanter Abtransport des Sediments zu erwarten. Da aber der Einsatz des Geschiebetriebs als ein stochastischer Prozess angesehen wird und dieser in Art Erosionsrinnen und nicht über den gesamten Querschnitt abläuft, würden auch in der Furt 2 Bereiche mit stabilen Substratverhältnissen verbleiben.

## SCHLUSSFOLGERUNG

Die Ergebnisse aus dem Monitoring an der Sulm zeigten, dass die Maßnahmen sich positiv für den Hochwasserschutz und die Ökologische Funktionsfähigkeit auswirkten. Durch Variationen der Rauigkeiten und der Modellgeometrie konnten die hydraulischen Einflüsse von Strukturierungselementen berücksichtigt werden. Die komplexen Prozesse des Sedimenttransports wurden über die profilweise errechnete Schlepptension soweit analysiert, dass Auflandungs- bzw. Eintiefungstendenzen aus dem Modell herausgearbeitet werden konnten. Diese Beweglichkeit der Sohle ist für den Hochwasserschutz insofern von Bedeutung, dass durch kontinuierliche Anlandungen im Bereich von Aufweitungen in Kombination mit dem Aufkommen von Vegetation der Durchflussquerschnitt verringert wird. Der positive Effekt der Aufweitung auf das Abflussgeschehen geht dadurch teilweise verloren. In Fragen der ökologischen Funktionsfähigkeit der Fließgewässer wird durch das Inkrafttreten der Wasserrahmenrichtlinie die Habitatmodellierung weiter an Bedeutung gewinnen. Gerade in Kombination mit der Gewährleistung des Hochwasserschutzes und den dynamischen morphologischen Prozessen ist die Entwicklung und Sicherstellung von aquatischen Lebensräumen ein zukünftiges zentrales Thema im Bereich des modernen Flussbaus, für dessen erfolgreiche Umsetzung noch zahlreicher Forschungsbedarf besteht.

## LITERATUR:

- Amt d. Steiermärkischen Landesregierung (2001) – *Broschüre*, „Hochwasserschutz Sulm – Heimschuh“
- Fleischanderl D., (2002) „Flussmorphologisches und Fischökologisches Leitbild und Maßnahmenbewertung auf Basis der Jungfischeinnischung an der Sulm“, *Diplomarbeit an der Abteilung für Hydrobiologie BOKU/Wien*
- Habersack H. & Laronne J.B., (2002) „Evaluation and improvement of bedload discharge formulas based on Helley – Smith sampling in an alpine gravel bed river“ *J. Hydraulic Engineering*, 128, 5, 484 – 499
- Keckeis H., (1991) „Fortpflanzungsbiologie und ökologische Kennzeichnung von Laichgebieten der Nase (*Chondostroma nasus*) in der Donau“, *Workshop Biologie und Gefährdung heimischer Kleinfischarten, Innsbruck*
- Mader H., Steidl T., Wimmer R., (1996) „Abflussregimietypologie österreichischer Fließgewässer“, *Beitrag zu einer bundesweiten Fließgewässertypologie. Monografie UBA, Grüne Reihe Wien*
- Maier K., Turcsany M., Krieg M., Tinguely C., (1992) „Untersuchungen an einem Laichplatz der Nase (*Chondostroma nasus*) im Unterlauf der Sense“, (*Schweiz, Kt. Bern*). *DGL, erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung 1992, Band 1*, 258 – 263
- Meyer – Peter E., Müller P., (1949) „Eine Formel zur Berechnung des Geschiebetriebes“, *Schweizer Bauzeitung*, 67, *Jahrgang Nr.3 1949*, S.29 – 32.
- Milhouse R. T., (1989) „Physikal Habitat Simulation System Reference Manual - Vers 2“, *Instream Flow Information Paper No.26. U.S.Department of the Interior, Fish and Wildlife Service.*
- Muhar S., Kainz M., Kaufmann M., & Schwarz M., (1996) „Ausweisung flusstypspezifisch erhaltener Fließgewässer in Österreich“, *BMLF, Wien*
- Patt H., Jürging P., Kraus W., (1998) „Naturnaher Wasserbau“. - *Berlin Springer*
- Schmutz S., A. Melcher, G. Holzer, G. Hollerer (1999) - *Arbeitspaket 19 a* „Biotische Habitatmodellierung“
- Stein H., (1987) „Gefährdungsursachen und Gefährdungspotentiale der Fischarten Nase und Äsche“, *Bericht Technische Universität München, Fachbereich Fischbiologie*
- Stein H., (1992) „Fischlaichplätze in Fließgewässern“, *Kriterien zur Untersuchung Identifizierung und Bewertung im Rahmen von Beweissicherungen. Seminar f. Sachverständige der Binnenfischerei. Bonn*