

# Hydromorphologische Uferentwicklung an Inn und Salzach - wie weit können wir gehen?

*Daniel Skublics, Michael von Berg, Tilmann Zinsser, Johannes Steinkellner, Florian Pflieger*

## Zusammenfassung

Seit der Erstellung des Gewässerentwicklungsplans für die Innausleitungsstrecke zwischen Jettenbach und Töging im Jahr 2000 wurden zahlreiche Maßnahmen zur Förderung einer dynamischen morphologischen Entwicklung durchgeführt. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um die bereichsweise Entfernung von Ufersicherungen und die Errichtung von bisher 18 schrägen Schüttsteinschwellen. Die Schüttsteinschwellen, deren Kronen in etwa auf Niveau des Wasserspiegels bei Restwasserabgabe liegen, haben zwei Funktionen. Zum einen wird der Wasserspiegel gestützt, um bei Niedrigwasser die frostempfindliche Sohle zu schützen und zum anderen wird durch die schräge Anordnung Ufererosion initiiert und gefördert. Dadurch soll bereichsweise wieder eine gewisse morphologische Dynamik zugelassen werden (Ufererosion, Kiesbänke, hydromorphologische Strukturen).

Auch an der Salzach werden im Rahmen der Salzachsanieierung bereichsweise eigendynamische Uferentwicklungen zugelassen. Oberhalb der Stadt Laufen wurden hierzu auf einer Länge von 2,4 Kilometern die Ufersicherungen entfernt. Hier ist die Hauptintention durch die Gewässeraufweitung und den Geschiebeeintrag die Tiefenerosion zu verlangsamen oder zu stoppen.

Am Inn wurde bisher allerdings noch keine systematische Quantifizierung der initiierten Entwicklungen durchgeführt. An der Salzach sind die prognostizierten Aufweitungen nahezu erreicht. Für beide Gewässer gilt es, ein nachhaltiges Konzept zu entwickeln, zum einen, um die Breitenentwicklungen abschätzen zu können und zum anderen, um einen dynamischen aber stabilen Zustand zu erreichen.

Die Breitenentwicklung von Flüssen ist bereits seit längerem Gegenstand der Forschung. Neue Erkenntnisse helfen, dabei wieder mehr natürliche Dynamik zuzulassen und gleichzeitig die notwendige Sicherheit zu gewährleisten (Zarn 1997, Hunziker 1998, Requena 2008)

## 1 Hydromorphologische Entwicklung der Innausleitungsstrecke

### 1.1 Situation

Die Innausleitungsstrecke erstreckt sich vom Ausleitungswehr Jettenbach bis zur Wiedereinleitung des Innkanals unterhalb des Kraftwerks Töging über ca. 32 Kilometer und ist der letzte längere freifließende Flussabschnitt am bayerischen Inn. Der Inn fließt hier in einer Schluchtstrecke in Talmäandern durch Moränen und Niederterrassen. Dieser Flusstyp ist ursprünglich geprägt durch Prall- und Gleitufer, Laufverlagerungen und intensive Erosions- und Auflandungsprozesse (Bay. LfW 1979). Diese starke hydromorphologische Dynamik verdankte der Inn einem jährlichen Geschiebenachschub von ca. 125.000 m<sup>3</sup> (Regierung von Oberbayern, 2000).

Durch den Bau des Ausleitungskraftwerks Jettenbach/Töging (1919 bis 1923) und weiterer Innstautufen wurde dieser Geschiebenachschub unterbrochen. Dies führte zu einer starken

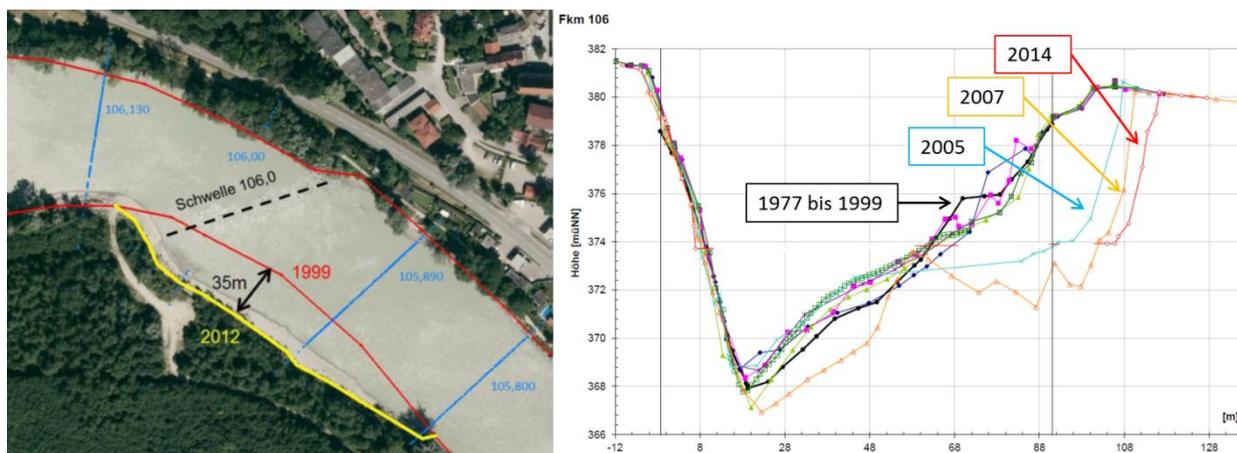
Beschleunigung der Sohleintiefung und zu einer weitgehenden Ausräumung der Kiesauflage. Für den Zeitraum zwischen 1923 und 1977 sind Eintiefungen von über 2 m dokumentiert. Der Inn in der Ausleitungsstrecke verläuft heute mit wenigen Ausnahmen auf feinkörnigem tertiärem Untergrund, der lokal von Sandstein- und Konglomeratbänken gestützt wird. Zwischen 1977 und 1999 verringerte sich die Eintiefungsrate auf etwa 1 cm pro Jahr. Mit dem Jahr 2001 wurde die Restwassermenge neu festgelegt und von 5 m<sup>3</sup>/s auf einen jahreszeitlich gestaffelten Abfluss zwischen 35 und 50 m<sup>3</sup>/s erhöht (Bay. LfW 2000). Zusätzlich wurde um diese Zeit mit der Umsetzung der Maßnahmen des Gewässerentwicklungsplanes (GEP) begonnen. Die stellenweise Entnahme der Uferverbauung und die Errichtung schräger Schüttsteinschwellen initiieren Uferanbrüche und damit eine neue morphologische Dynamik. Zusätzlich wird die Sohle gestützt und durch den Rückstau (und die erhöhte Restwassermenge) die frostempfindliche Sohle geschützt. Seit 1999 konnte die Eintiefung zumindest im Mittel über die gesamte Ausleitungsstrecke gestoppt werden (aquasoli 2015). Da das Geschiebedargebot aus den Uferanbrüchen endlich ist, bleibt aber abzuwarten, ob diese Stabilisierung dauerhaft ist.

## 1.2 Uferentwicklung an den Schüttsteinschwellen

Die umgesetzten Schüttsteinschwellen sind i.d.R. schräg gegen das jeweilige Innenufer gerichtet und lenken somit die Strömung auf das Ufer. Außerdem wird die kurveninduzierte Sekundärströmung abgeschwächt oder sogar umgekehrt. Außenkurvenkolke werden verringert und Ufererosion am Innenufer tritt auf. Steigen die Abflüsse an (über 700 bis 800 m<sup>3</sup>/s), so geht die strömunglenkende Wirkung der Schüttsteinschwellen zurück, was an der geringen Höhe der Schwellen über der mittleren Gewässersohle liegt.

Die Schüttsteinschwellen bei Flusskilometer (Fkm) 106 und 110 wurden bereits 2003 errichtet. In den Luftbildern (siehe Abb. 1 links) ist deutlich die Uferaufweitung mit einer Breitenentwicklung von ca. 35 m erkennbar (aquasoli 2015). Die zeitliche Entwicklung spiegelt sich in der Auswertung der Querprofile wider (siehe Abb. 1 rechts). Innerhalb der ersten 2 Jahre nach Errichtung der Schüttsteinschwellen traten die größten Veränderungen auf (ca. 20 m). Unterstützt wurde diese anfänglich sehr starke Entwicklung durch die Sanierung des Kraftwerkskanals Jettenbach Töging. In diesem Zeitraum wurde der Gesamtabfluss durch die Ausleitungsstrecke geleitet. In den folgenden knapp 10 Jahren lag die Uferaufweitung trotz der Hochwasserereignisse im August 2005 und im Juni 2013 bei nur noch 10 m. Es zeigt sich also, dass die Entwicklung des Ufers zwar noch nicht abgeschlossen ist, sich aber bereits deutlich verlangsamt hat.

Die Auswertung der Fotodokumentation, die durch die Flussmeisterstelle Wasserburg vorgenommen wurde, zeigt visuell die Veränderungen der Ufer über die Jahre (Abb. 2). Die Fotos zeigen eine Zunahme der morphologischen Diversität, die ein Grundstein der ökologischen Diversität ist. Aus den gleichförmigen Querschnitten mit abgeplatteten Uferbereichen entwickelten sich strukturreiche Querschnitte mit Kiesinseln, flach überströmten Bereichen und Stillwasserzonen.



**Abb. 1** Uferentwicklung bei Fkm 106; Links: Auswertung über Luftbilder zwischen 1999 und 2012; Rechts: Auswertung der Querprofilaufnahmen zwischen 1999 und 2014 bei Fkm 106,0.



**Abb. 2** Fotodokumentation der Uferentwicklung unterhalb der Schwelle bei Fkm 110 (Blick in Fließrichtung; links: Ufer vor Baumaßnahme (2002); rechts: Uferentwicklung durch Schüttsteinschwelle (2011)).

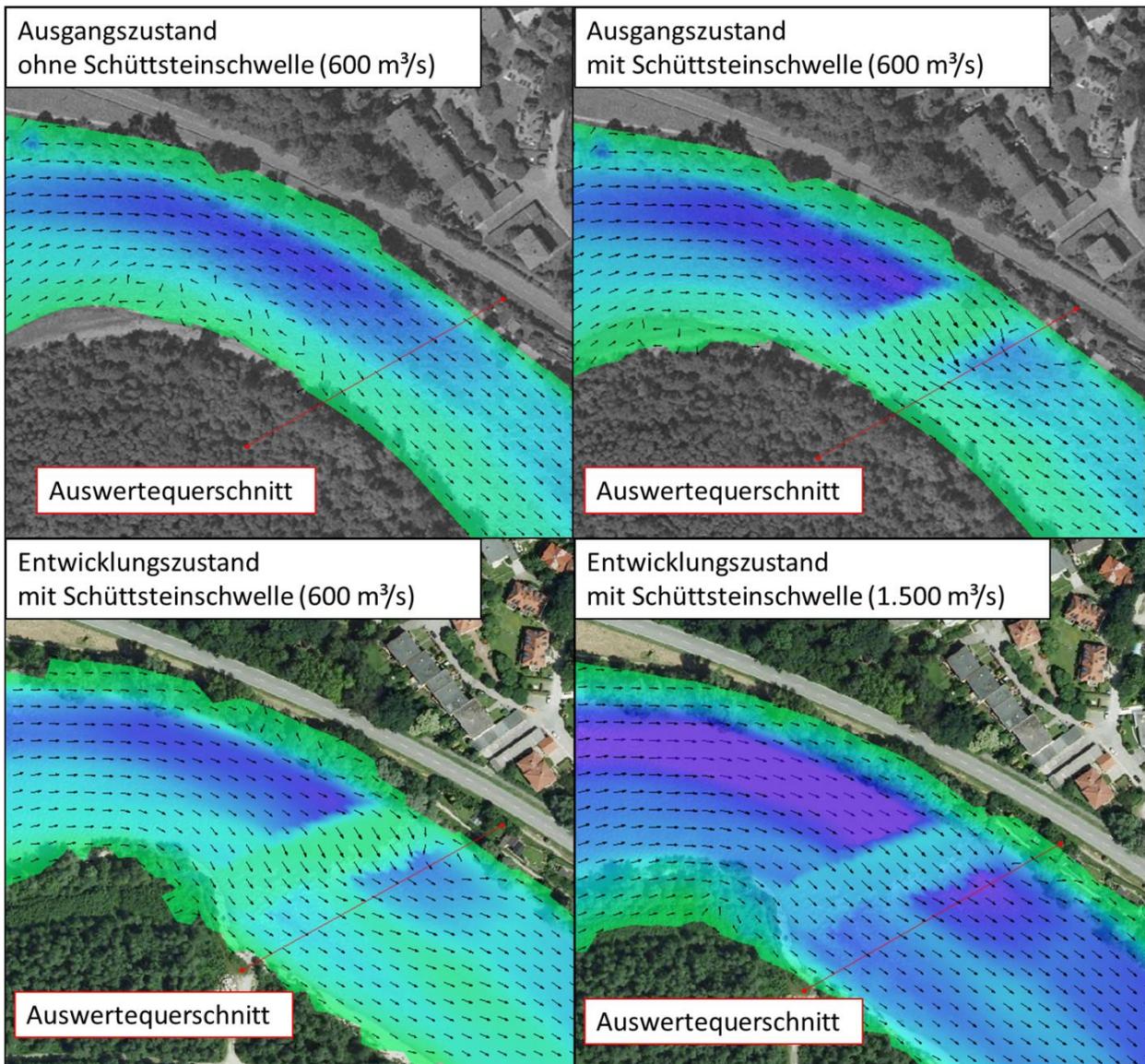
### 1.3 Hydraulische Wirkung der Schüttsteinschwellen

Mithilfe von 2d-Reinwassersimulationen wurde die Uferbelastung beispielhaft für den Standort bei Fkm 106 untersucht. Dabei wurden unterschiedliche stationäre Abflüsse ( $400 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $600 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $800 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$ ) eingestellt, um das Abflussspektrum der morphologischen Aktivität abzudecken. Modelliert wurden der Ausgangszustand vor dem Bau der Schüttsteinschwelle (Querprofile von 1999), kurz nach dem Bau der Schüttsteinschwelle (Querprofile von 1999 und geometrische Abbildung der Schwelle im Modell) sowie der derzeit dokumentierte Entwicklungszustand (Querprofile von 2007 und geometrische Abbildung der Schwelle im Modell). Ausgewertet wurden die Fließgeschwindigkeiten und Wasserspiegellagen in einem Auswertequerschnitt direkt unterhalb der Rampe.

Die Ergebnisse werden beispielhaft für die Abflusszustände  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  (hoher Uferangriff) und  $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$  (bordvoller Abfluss; höchste Sohlbelastung) dargestellt.

In der folgenden Abbildung (Abb. 3) ist oben der Ausgangszustand bei einem Abfluss von  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  einmal ohne Schwelle (links) und mit Schwelle (rechts) dargestellt. Deutlich zu erkennen ist, dass die Fließgeschwindigkeiten vor dem Bau der Schüttsteinschwelle sehr gleichmäßig über den Querschnitt verteilt sind und parallel zu den Uferlinien verlaufen. Durch den

Bau der Schwelle wird der Abfluss im Bereich der Schwelle beschleunigt und gegen das Innenufer gelenkt. Im Querschnitt entsteht ein differenzierteres Bild der Fließgeschwindigkeiten mit Bereichen hoher und niedriger Fließgeschwindigkeiten und sogar einer Rückströmung am Außenufer.



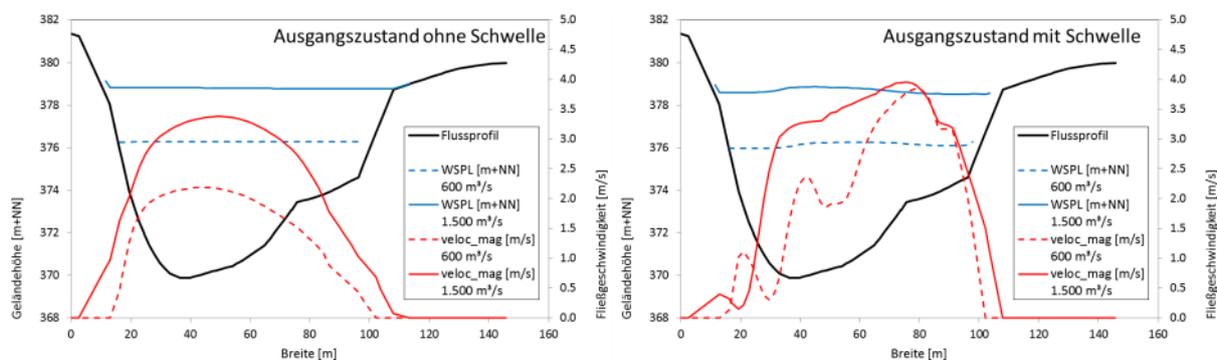
**Abb. 3** Ausgangszustand ohne Schüttsteinschwelle (oben links), mit Schüttsteinschwelle (oben rechts); Entwicklungszustand (unten) bei  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  (links) und bei  $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$  (rechts). Dargestellt sind die Fließtiefen farblich (■=8m; ■=4m; ■=1m) und die Fließgeschwindigkeiten als Vektoren.

In der unteren Hälfte zeigt die Abbildung 3 den Entwicklungszustand 4 Jahre nach dem Bau der Schüttsteinschwelle bei einem Abfluss von  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  (links) und  $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$  (rechts).

Im Entwicklungszustand verringern sich die Geschwindigkeiten durch die Aufweitung des Ufers. Die Strömunglenkung durch die Schwelle und die Variation der Strömungsgeschwindigkeiten im Querschnitt bleibt in leicht abgeschwächter Form erhalten. Bei höheren Abflüssen ( $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$ ) vergleichmäßigen sich die Fließgeschwindigkeiten. Die strömunglenkende Funktion der Schüttsteinschwelle geht fast komplett zurück.

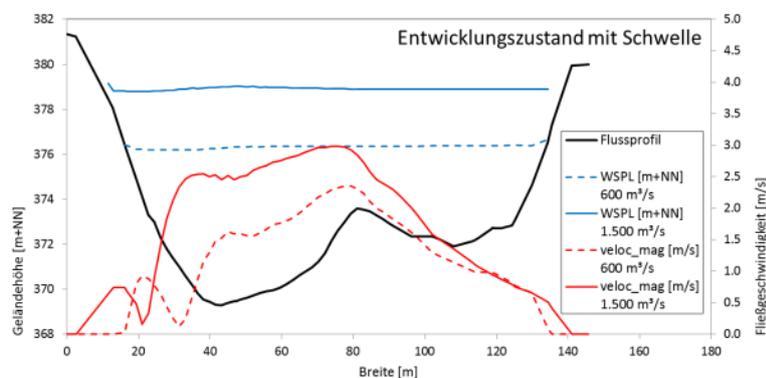
Der visuelle Eindruck der Abbildungen bestätigt sich durch in der Darstellung der Fließgeschwindigkeiten im Auswertequerschnitt (Abb. 4 und Abb. 5).

Im Ausgangszustand ohne Schwelle sind die Fließgeschwindigkeiten sowohl bei Abflüssen von  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  als auch bei Abflüssen von  $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$  recht gleichmäßig über den Querschnitt verteilt. Das Geschwindigkeitsmaximum liegt in der Mitte des Querschnitts, aber auch in den Uferbereichen treten vergleichsweise hohe Geschwindigkeiten auf. Durch den Bau der Schwelle treten hier höhere Fließgeschwindigkeiten auf, wobei auch die Variation der Fließgeschwindigkeiten über den Querschnitt zunimmt. Letzteres ist insbesondere bei niedrigeren Abflüssen ( $600 \text{ m}^3/\text{s}$ ) zu beobachten (die wellige Form der Fließgeschwindigkeitsverteilung am linken Ufer zeigt das auftretende Kehrwasser). Das Maximum der Fließgeschwindigkeiten verschiebt sich durch den Bau der Schwelle ans Innenufer (orographisch rechtes Ufer). Hier tritt nun eine höhere Belastung des Ufers auf, was zu der gewollten Uferaufweitung führt. Steigen die Abflüsse an, verschieben sich die maximalen Fließgeschwindigkeiten wieder Richtung Flussmitte, die strömunglenkende Wirkung der Schwelle geht zurück.



**Abb. 4** Auswertung der Fließgeschwindigkeiten (rot) und der Wasserspiegellagen (blau) beim Abfluss von  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  (gestrichelt) und  $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$  (durchgezogen) im Ausgangszustand ohne Schwelle (links) und mit Schwelle (rechts).

Im Entwicklungszustand wird im Flussprofil die Seitenerosion sichtbar. Es wird deutlich, dass das Ufer vor der durch die Schwelle ausgelösten Belastung „zurückweicht“. Die Fließgeschwindigkeiten im Uferbereich sind nun geringer als im Ausgangszustand ohne Schwelle. Durch den verbreiterten Querschnitt entstehen Zonen mit stark unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten und Fließtiefen. Auch bei hohen Abflüssen bleiben die Fließgeschwindigkeiten am Innenufer niedrig.



**Abb. 5** Auswertung der Fließgeschwindigkeiten (rot) und der Wasserspiegellagen (blau) beim Abfluss von  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  (gestrichelt) und  $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$  (durchgezogen) im Entwicklungszustand.

Über die Fließgeschwindigkeiten (Energienliniengefälle) und die Fließtiefen lassen sich auch die auftretenden Sohlschubspannungen ( $\tau_{0, \text{Sohle}}$ ) quantifizieren. An den Ufern treten geringere Schubspannungen auf als an der Sohle. Als Umrechnungsfaktor von maximalen Sohlschubspannungen auf maximale Uferschubspannungen ( $\tau_{0, \text{Ufer}}$ ) ist 0,75 verbreitet. Die auftretenden maximalen Schubspannungen können den kritischen Schubspannungen (Transportbeginn) gegenübergestellt werden, um den Beginn des Geschiebetriebes abzuschätzen. In der Ausleitungsstrecke werden bei mittleren Korndurchmessern von ca. 30 mm in der Unterschicht und ca. 50 mm in der Deckschicht kritische Schubspannungen von etwa 26 N/m<sup>2</sup> für die Unterschicht und 43 N/m<sup>2</sup> für die Deckschicht errechnet.

In der unten stehenden Tabelle (Tab. 1) sind die aus dem Modell ermittelten maximalen Sohlschubspannungen und die daraus errechneten maximalen Uferschubspannungen für die verschiedenen Zustände und unterschiedliche Abflüsse angegeben.

**Tab. 1** Aus dem Modell entnommene Sohlschubspannungen und berechnet Uferschubspannungen für die verschiedenen Zustände bei unterschiedlichen Abflüssen.

Abfluss [m <sup>3</sup> /s]	Ausgangszustand ohne Schwelle [N/m <sup>2</sup> ]		Ausgangszustand mit Schwelle [N/m <sup>2</sup> ]		Entwicklungszustand mit Schwelle [N/m <sup>2</sup> ]	
	max $\tau_{0, \text{Sohle}}$	max $\tau_{0, \text{Ufer}}$	max $\tau_{0, \text{Sohle}}$	max $\tau_{0, \text{Ufer}}$	max $\tau_{0, \text{Sohle}}$	max $\tau_{0, \text{Ufer}}$
400	15	11.25	100	75	40	30
600	25	18.75	95	71.25	35	26.25
800	30	22.5	90	67.5	35	26.25
1000	35	26.25	85	63.75	35	26.25
1500	50	37.5	80	60	45	33.75

Im Ausgangszustand ohne Schwelle steigen die maximalen Schubspannungen mit dem Abfluss kontinuierlich an. Erosion setzt erst bei hohen Abflüssen ein. Durch den Bau der Schwelle werden die maximalen Sohlschubspannungen stark erhöht, wobei anzumerken ist, dass die hohen Werte auf lokale Bereiche begrenzt sind. Erosion findet über ein breites Abflussspektrum statt. Im Entwicklungszustand vergleichmäßigiert sich die Belastung, bei großen Abflüssen treten sogar niedrigere Werte auf als im Ausgangszustand ohne Schwelle.

#### 1.4 Verbesserung der morphologischen Diversität

Um die qualitative Größe einer hydromorphologischen Verbesserung quantifizieren zu können, wurde von Gostner und Schleiss (2011) der HMID (hydromorphologische Index der Diversität) entwickelt. Dafür werden jeweils die Standardabweichungen ( $\sigma_i$ ) und die Mittelwerte ( $\mu_i$ ) der Größen Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit und daraus jeweils ein Vielfältigkeitsindex ( $\nu(i)$ ) ermittelt:

$$\nu(i) = \left(1 + \frac{\sigma_i}{\mu_i}\right) \quad [1]$$

Der HMID ist dann das Produkt aus der Teilvielfältigkeit der Wassertiefe und der Teilvielfältigkeit der Fließgeschwindigkeit.

Dadurch kann, basierend auf nur zwei Parametern, eine Verbesserung oder Verschlechterung der morphologischen Diversität quantifiziert werden. Dies ist insbesondere in Verbindung mit einem hydrodynamisch-numerischen Modell bei der Abschätzung von Varianten sinnvoll.

Zudem können Referenzzustände für einzelne Flussabschnitte definiert werden und somit eine Zielerreichung bewertet werden.

### 1.4.1 Hydromorphologische Diversität Schüttsteinschwelle

Die Veränderung der hydromorphologischen Diversität wurde ebenfalls an der Schüttsteinschwelle bei Fkm 106 beispielhaft untersucht. Es wurde für die Szenarien Entwicklungszustand und Ausgangszustand ohne Schwelle für unterschiedliche Abflüsse der HMID bestimmt. Obwohl zu erwarten ist, dass die Schüttsteinschwelle für den oberstromigen Bereich durch den Aufstau eine Verschlechterung darstellt, zeigt sich für den gesamten Einflussbereich der Maßnahme (ca. 550 m) eine deutliche Verbesserung (siehe Tab. 2).

**Tab. 2** Ergebnisse der Quantifizierung des hydromorphologischen Index der Diversität

	HMID	
	Ausgangszustand	Entwicklungszustand
50 m <sup>3</sup> /s	7.17	13.04
400 m <sup>3</sup> /s	4.04	5.14

Diese deutliche Verbesserung der hydromorphologischen Verhältnisse zeigt sich insbesondere bei Restwasserabflüssen von 35 bis 50 m<sup>3</sup>/s. Solche Abflüsse herrschen in der Ausleitungsstrecke allerdings an ca. 200 Tagen im Jahr vor. Bei ansteigenden Abflüssen nimmt die hydromorphologische Verbesserung der Schüttsteinschwelle ab. Abflüsse größer 400 m<sup>3</sup>/s treten aber durchschnittlich nur an ca. 20 Tagen im Jahr auf.

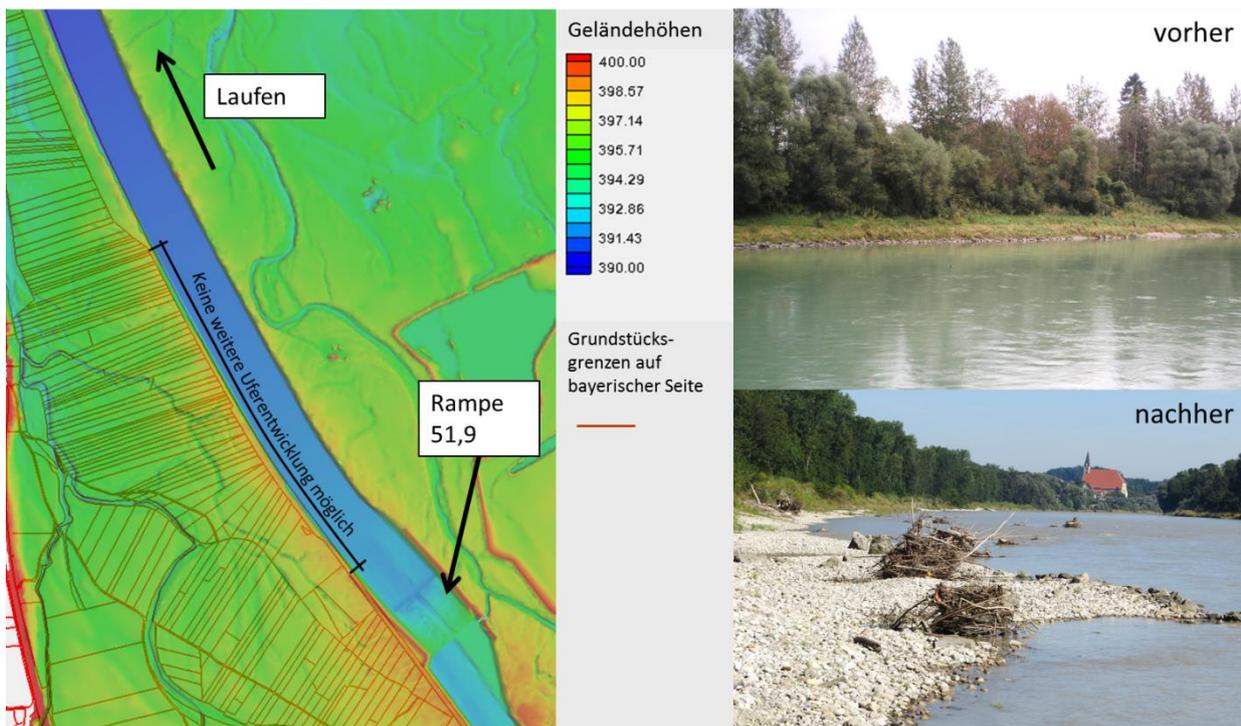
## 2 Eigendynamische Uferaufweitung an der Salzach

### 2.1 Situation

Im Rahmen der Salzachsanieung wurde 2010 im Freilassinger Becken die sohlstützende Rampe bei Fkm 51,9 fertiggestellt. Gleichzeitig wurde unterstrom der neuen Rampe bis Laufen auf 2,4 km Länge beidseitig die Ufersicherung entnommen und eigendynamische Seitenerosion zugelassen. Durch diese Uferentwicklung sind in den Jahren 2010 bis 2013 (nach dem Junihochwasser) etwa 160.000 m<sup>3</sup> Material (davon ca. 80.000 m<sup>3</sup> Kies) der Salzach zugekommen. Dadurch konnte das Geschiebedefizit, das durch den Rampenbau oberstrom entsteht, bisher in etwa ausgeglichen werden (Hengl et al., 2015).

Mittlerweile hat sich die prognostizierte Breite nahezu eingestellt und reicht auf der orographisch linken Salzachseite fast an den Unterhaltungsweg heran. Durch die leichte Krümmung der Salzach kann aber eine weitere Verlagerung (bei in etwa gleichbleibender Breite) Richtung Kurvenaußenseite nicht ausgeschlossen werden (Hengl et al. 2015, Hafner et al. 2006). Eine Verlegung des Unterhaltungswegs ist aber, insbesondere direkt unterhalb der Rampe auf einer Strecke von ca. 1 km, nicht möglich, da eine große Anzahl privater Grundstücke direkt angrenzen (siehe Abb. 6).

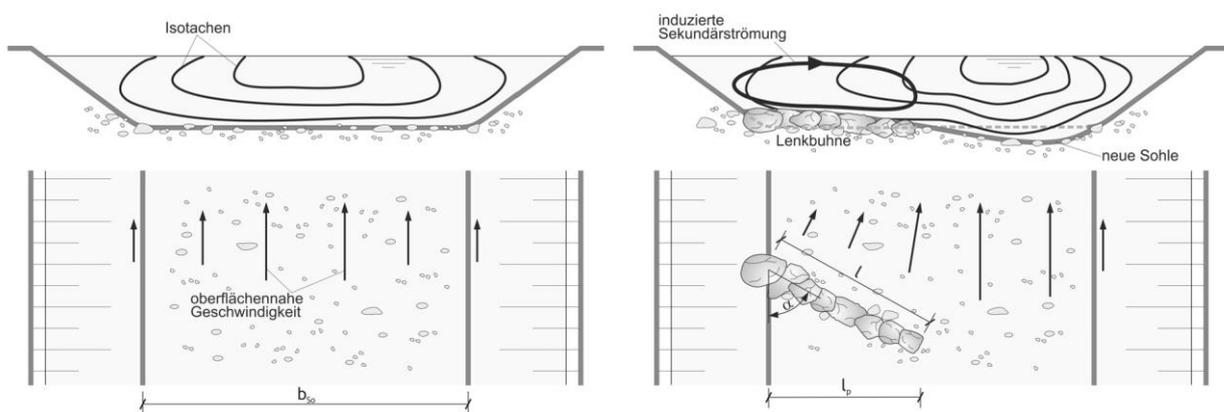
Da ein Grunderwerb in diesem Fall mittelfristig nicht umzusetzen ist, müssen für diesen Bereich Sicherungsmaßnahmen durchgeführt werden.



**Abb. 6** Situation: eigendynamische Uferentwicklung unterhalb der Rampe 51,9 mit Lage der privaten Grundstücke auf bayerischer Seite. Rechts: Fotodokumentation der Uferentwicklung.

## 2.2 Konzept: Instream River Training

Für die erneute Ufersicherung bieten sich neben einer flächigen Böschungssicherung oder der Sicherung über klassische Buhnen die Möglichkeiten des Instream-River Training an (Mende 2014; Sindelar und Mende 2009). Im Gegensatz zum klassischen Längsverbau werden mithilfe von Instream-River Training nicht die Symptome der Ufererosion bekämpft, sondern (z.B. mit Lenkbuhnen) die Ursachen beeinflusst, also der Strömungsangriff verringert. Lenkbuhnen sind inklinante Buhnen, die bereits bei Niedrigwasserabflüssen vollständig überströmt werden. Sie kombinieren eine Beeinflussung der Hauptströmung und der Sekundärströmung. Durch die lenkende Wirkung der Hauptströmung werden die ufernahen Fließgeschwindigkeiten verringert. Gleichzeitig wird eine Sekundärströmung induziert, die in Sohlnähe auf das zu schützende Ufer gerichtet ist (siehe Abb. 7). Somit wird dort Geschiebe angelagert, bzw. die Entstehung eines Kurvenaußenkolkes verhindert (Mende 2014, Hafner 2008).



**Abb. 7** Schematische Darstellung der Beeinflussung von Fließgeschwindigkeiten (Hauptströmung und Sekundärströmung) durch Lenkbuhnen aus Mende (2014).

Durch den Einsatz von Lenkbuhnen könnten also die uferangreifenden Kräfte verringert, die Ausbildung eines Kurvenaußenkolkes verhindert und somit die Ufer stabilisiert werden. Gleichzeitig können die ständig überströmten Buhnen eine Verbesserung der Gewässerstruktur darstellen (Erhöhung der Varianz der Fließgeschwindigkeiten). Für das gefährdete Ufer sind dann ingenieurbioökologische Sicherungsmaßnahmen ausreichend.

### **2.3 Dimensionierung der Ufersicherung mit Lenkbuhnen**

Die Bemessungsregeln von Mende (2014) geben für geringe Flusskrümmungen oder gerade Gewässerstrecken einen relativen Buhnenabstand (Verhältnis von Buhnenabstand in Fließrichtung und auf die Gewässerbreite projizierte Buhnenlänge) von ca. 4 an. Für Buhnen mit einem (empfohlenen) Inklinationswinkel von 60° die bis in die Gewässermitte reichen, ergibt sich damit ein Buhnenabstand von etwa 200 m. In den Untersuchungen von Mende (2014) zeigen bereits Buhnen mit einer relativen Bauwerkshöhe (Verhältnis Bemessungswassertiefe zu Buhnenhöhe) von 1/10 eine sehr gute Wirkung. Für die Salzach bedeutet dies, dass bei einer Fließtiefe bei bordvollem Abfluss von 6,5 m die Buhnenoberkante etwa 0,65 m über der Plansohle liegen sollte. Aus strömungstechnischen Gesichtspunkten empfiehlt es sich zusätzlich, die Buhnenhöhe bis zur Gewässermitte auf das Plansohlenniveau auslaufen zu lassen. Auch eine leichte Variation von Inklinationswinkel und Buhnenabstand ist aus Sicht der Gewässerstruktur zu empfehlen.

Die zusätzliche ingenieurbioökologische Sicherung des Ufers wird derzeit durchgeführt. Dadurch wird in der Übergangszeit bis zu Umsetzung der Lenkbuhnen bereits eine erhöhte Widerstandsfähigkeit der Ufer erreicht. Zum Einsatz kommen dabei unterschiedliche Bauweisen, damit eine ungleichförmige Böschungsstruktur entsteht. Neben Weidensetzstangen, Weidensteckhölzern und Weidenspreitlagen werden beispielsweise im Böschungsbereich auch Totholz-Raubäumen fixiert und mit Kies überschüttet.

Durch dieses 2-gleisige Konzept soll eine wirksame Ufersicherung entstehen, die aber weiterhin eine morphologische Dynamik und eine Vernetzung zwischen Ufer und Fluss zulässt und damit eine ökologische und ästhetische Aufwertung dieses Flussabschnittes darstellt.

## **3 Fazit**

Die hier aufgeführten Beispiele zeigen, dass eine Verbesserung der morphologischen Diversität unserer Flüsse häufig mit einfachen Mitteln möglich ist. Für längere Abschnitte reicht i.d.R. die Entfernung der Uferlängsverbauung aus, um eine eigendynamische Aufweitung zu initiieren. Bei räumlich begrenzten Verhältnissen, oder wenn eine Uferaufweitung in der Kurveninnenseite erreicht werden soll, eignen sich schräg zur Fließrichtung angeordnete Schwellen, um die Strömung auf das Ufer zu lenken.

Die für die Entwicklung der Flüsse vorhandenen Flächen sind heute durch Siedlungen, Infrastruktureinrichtungen und privaten Grundbesitz sehr begrenzt. Bei eigendynamischen Uferaufweitungen gilt es daher immer abzuschätzen, wie weit und wie schnell die Seitenerosion voranschreitet. Sinnvoll erscheint hier die Festlegung von Beurteilungslinien und Interventionslinien. Erreicht die Uferentwicklung die Beurteilungslinie, so wird die Sachlage von einem Expertengremium neu eingeschätzt. Wird die Interventionslinie erreicht, so sind vorher entwickelte Sicherungsmaßnahmen zu treffen. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass die Ufersicherung immer noch ein Mindestmaß an hydromorphologischer Dynamik und eine Ufer-Fluss Vernetzung zulässt.

Eine hohe hydromorphologische Diversität bedeutet aber nicht automatisch eine hohe ökologische Diversität. Sie ist vielmehr ein wichtiger Baustein neben etlichen weiteren Bedingungen, die erfüllt sein müssen. Es ist also auch notwendig, diese großräumigen Parameter und Prozesse, wie die ökologische Durchgängigkeit oder die Belastung des Gewässers mit Nährstoffen und Chemikalien miteinzubeziehen.

Wenn eigendynamische Uferentwicklungen zum Stillstand kommen (natürlich oder durch Sicherungsmaßnahmen) muss es das Ziel sein, eine hydromorphologische Dynamik auf Dauer zu erhalten. Eine Geschiebezugabe bzw. die Erhöhung der transportierten Geschiebemengen fördert den natürlichen Wechsel zwischen Auflandungs- und Erosionsprozessen. Unter Umständen können auch direkte mechanische Eingriffe unterstützend wirken.

## Literatur

aquasoli (2015): Flussmorphologische Untersuchung Inn Ausleitungsstrecke Jettenbach bis Töging, Erläuterungsbericht.

Bay. LfW (1979): Die Innausleitungsstrecke zwischen Jettenbach und Töging – eine morphologische Bestandsaufnahme mit grundsätzlichen Überlegungen zu Flußsanierung, München.

Bay. LfW (2000): Gewässerentwicklungsplan Inn – Ausleitungsstrecke Jettenbach – Töging.

Gostner, W., Schleiss, A. (2011): Der hydromorphologische Index der Diversität – eine Messlatte für das ökologische Potenzial von Hochwasserschutzprojekten, Wasser Energie Luft 103. Jahrgang, 2011, Heft 4.

Hafner, T., Aufleger, M., Strobl, Th. (2006): Anpassung des Programmpaketes UFERLOS an die Krümmungssituation der Unteren Salzach, Projektbericht, Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität München

Hafner, T. (2008): Uferrückbau und eigendynamische Gewässerentwicklung – Aspekte der Modellierung und Abschätzungsmöglichkeiten in der Praxis, Technische Universität München, Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft Nr. 117, München.

Hengl, M., Dehnb, R., Spannring, M. (2015): Sanierung untere Salzach – Flussmorphologische Untersuchung nach dem Hochwasser vom Juni 2013, Bericht

Hunziker, L.M. (1998): Flussaufweitungen – Morphologie, Geschiebehaushalt und Grundsätze zur Bemessung, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Mitteilungen 159, Zürich.

Mende, M. (2014): Naturnaher Uferschutz mit Lenkbuhnen – Grundlagen, Analytik und Bemessung, Dissertation, Fakultät für Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig

Regierung von Oberbayern (2000): Restwasseruntersuchung Inn / Jettenbach – Töging.

Requena, P. (2008): Seitenerosion in Kiesführenden Flüssen - Prozessverständnis und quantitative Beschreibung, DISS. ETH Nr. 18074, Zürich.

Sindelar, C.; Mende, M. (2009): Lenkbuhnen zur Strukturierung und Stabilisierung von Fließgewässern. Wasserwirtschaft, 2009 Nr. 1-2, S. 70 - 75

Zarn, B. (1997): Einfluss der Flussbettbreite auf die Wechselwirkung zwischen Abfluss, Morphologie und Geschiebetransportkapazität, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Mitteilungen 154, Zürich.

### **Anschrift der Verfasser**

Dr.-Ing. Daniel Skublics  
Wasserwirtschaftsamt Rosenheim  
Königstraße 19, 83022 Rosenheim  
[daniel.skublics@wwa-ro.bayern.de](mailto:daniel.skublics@wwa-ro.bayern.de)

Dipl.-Ing. Michael von Berg  
Wasserwirtschaftsamt Rosenheim  
Königstraße 19, 83022 Rosenheim

Dipl.-Ing. Tilmann Zinsser  
Wasserwirtschaftsamt Traunstein  
Rosenheimerstraße 7, 83278 Traunstein

Dipl.-Ing. Johannes Steinkellner  
Aquasoli Ingenieurbüro  
Hauertinger Straße 1a, 83313 Siegsdorf

Dr.-Ing Florian Pflieger  
Aquasoli Ingenieurbüro  
Hauertinger Straße 1a, 83313 Siegsdorf