

# Instream River Training: Lenkbuhnen und Pendelrampen

Matthias Mende und Christine Sindelar

## Zusammenfassung

Das *Instream River Training* ist durch die gezielte Induzierung von Sekundärströmungen mit niedrigen Einbauten innerhalb der benetzten Gewässersohle gekennzeichnet. Mit ihnen lassen sich prognostizierbare Veränderungen der Geschwindigkeitsverteilung und der Querprofilgeometrie erzielen. Naturnahe Bauweisen des *Instream River Trainings* sind Lenkbuhnen und Pendelrampen, die von Otmar Grober/Baubezirksleitung Bruck an der Mur, entwickelt wurden. Im Rahmen von Monitorings wurden die beiden Bauweisen seit 2005 eingehend untersucht. Es zeigt sich, dass ihr Umfeld durch eine große Strömungsdiversität gekennzeichnet ist, die mit Substratsortierungen und ausgeprägter Tiefenvarianz einhergeht. Dies gilt auch, wenn sie primär zur Stabilisierung umgesetzt wurden. Selbst auf der Rampe besteht, trotz guter stabilisierender Wirkung, eine ausgeprägte Dynamik. Ergänzende fischereibiologische Untersuchungen belegen eine deutliche Zunahme der Individuen- und Artenzahl.

## 1 Einleitung

In den vergangenen Jahrzehnten ist das ökologische Bewusstsein der Gesellschaft deutlich angestiegen. Auch im Flussbau sind naturnahe Bauweisen auf dem Vormarsch. Man ist bestrebt, von harten Verbauungen hin zu sanfteren Methoden zu gehen. Die Palette reicht von Bühnen über Aufweitungen bis zu Maßnahmen zur Initialisierung von Eigendynamik. Häufig ist es jedoch nicht möglich, dem Fluss wieder mehr Raum zu geben. Die in diesem Beitrag vorgestellten Maßnahmen können ökologische und stabilisierende Anforderungen auch bei beengten Platzverhältnissen erfüllen. Dabei wird die Strömung als wesentliche Ursache für morphologische Veränderungen und damit auch für Schäden identifiziert. Es käme einer Symptombekämpfung gleich, diesen Schäden mit hartem Uferverbau zu begegnen. Daher sollte umgekehrt versucht werden, die Strömung so zu modifizieren, dass sie keine Schäden mehr verursacht. Dabei spielt die Induzierung von Sekundärströmungen eine entscheidende Rolle. Diese Idee ist keineswegs neu. So ist bei Schauburger [09] schon 1930 nachzulesen: „Man kann durch kleinere Einbauten dort, wo diese zum Schutze von Kulturgütern unvermeidlich werden, gewisse Verbesserungen schaffen, doch wäre es falsch, eine Regulierung des Flusses von seinen Ufern aus durchführen zu wollen, also nur die Auswirkungen, nicht aber die Ursachen zu bekämpfen.“

## 2 Definition: Instream River Training

Das *Instream River Training* (wörtlich übersetzt: *Flussbau im Stromstrich*) ist eine Form des Flussbaus, bei der die Strömung als Ursache für Ufer- und Sohlenerosionen durch die Induzierung einer oder mehrerer Sekundärströmungen (s. Kapitel 3.1) modifiziert wird. Hierzu werden bereits bei Niedrigwasser überströmte Bauweisen innerhalb der benetzten Gewässersohle eingesetzt. Je nach Anwendungsgebiet wird mit der Strömungsmodifizierung mindestens eines der folgenden Ziele verfolgt:

- a) Gewässerstabilisierung unter weitgehendem Verzicht auf massive Maßnahmen (z. B. Blocksatz),
- b) Nachhaltiges Geschiebemanagement und
- c) Initialisierung von Eigendynamik.

### **3 Interaktion Hauptströmung - Sekundärströmung**

#### **3.1 Definitionen**

Der Begriff Sekundärströmung beschreibt eine senkrecht zur Hauptströmung gerichtete Strömungskomponente. Im folgenden wird der Begriff verwendet, um krümmungsinduzierte Sekundärströmungen nach der Definition von Prandtl et al. [07] sowie bauwerksinduzierte Sekundärströmungen, die den krümmungsinduzierten in ihrer Ausdehnung und ihrem Strömungsbild gleichen, zu bezeichnen.

Die Überlagerung einer Sekundärströmung mit der Hauptströmung führt zur Ausbildung einer Spiralströmung. In der Spiralströmung bewegen sich die Wasserteilchen auf einer schraubenförmigen Bahnlinie.

#### **3.2 Kurvenströmung**

Bekannt und gut untersucht ist die Interaktion von Primär- und Sekundärströmung in Flusskrümmungen. Durch die Spiralströmung verändert sich im Verlauf der Krümmung die Geschwindigkeitsverteilung über den Querschnitt. Bei gleichmäßigem Querschnitt verlagert sich das Geschwindigkeitsmaximum der Hauptströmung am Krümmungsbeginn zunächst zum Innenufer und wandert dann zum Prallufer [03; 08]. Die am Krümmungsbeginn höhere Geschwindigkeit am Innenufer ist vor allem auf den hier kürzeren Fließweg und das daraus resultierende höhere Gefälle zurückzuführen [02]. Im Verlauf der Krümmung führt die Sekundärströmung zu einer Umverteilung der Hauptströmung und verlagert das Geschwindigkeitsmaximum in Richtung Außenufer. Auch in vertikaler Richtung findet durch die Spiralströmung eine Verschiebung des Geschwindigkeitsmaximums statt. Das Maximum wandert in Fließrichtung vom oberflächennahen zum bodennahen Bereich (z.B. [03; 08]).

Die Interaktion von Sekundär- und Hauptströmung führt folglich zu inhomogenen Strömungsbelastungen im Fließgewässer. Dem großen Strömungsangriff am Prallufer mit daraus resultierendem Kurvenkolk und Laufverlagerungen steht mit dem Gleitufer ein Bereich mit geringen Belastungen und Ablagerungstendenz gegenüber.

#### **3.3 Naturnahe Bauweisen zur Induzierung von Sekundärströmungen**

##### **3.3.1 Allgemeines**

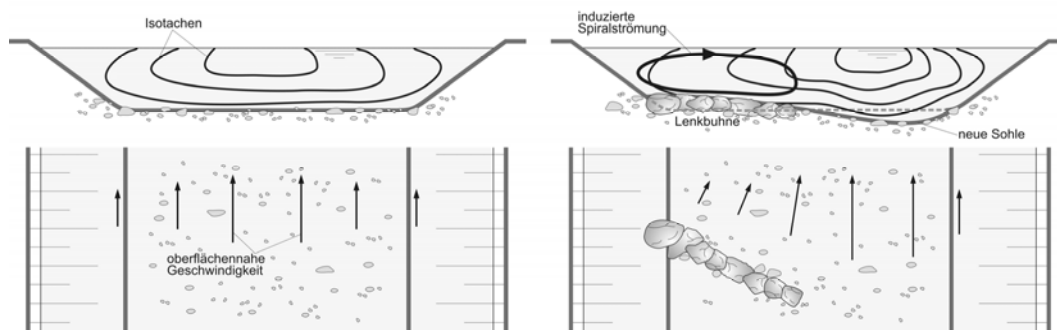
Werden Sekundärströmungen gezielt induziert, lässt sich der in Kapitel 3.2 beschriebene Mechanismus durch prognostizierbare Veränderungen der Geschwindigkeitsverteilung und der Querprofilgeometrie nutzbar machen. Hierzu werden seit Mitte der 1980er Jahre so genannte Leitelemente (engl. Submerged Vanes) eingesetzt, die heute mehrheitlich als doppelt gekrümmte Betonplatten oder als Spundwandelemente ausgeführt werden (z.B. [05]). Eine naturnahe Bauweise zur Sekundärströmungsinduzierung ist die Lenkbuhne. Sie wird meist schwellenartig aus Blocksteinen gebaut und in den Bereichen Uferschutz, Geschieberegulierung und Gewässerstrukturierung eingesetzt [11]. Die erste Rampe, bei der im Hochwasserfall gezielt Sekundärströmungen induziert werden, ist die Pendelrampe. Ihr Anwendungsgebiet ist die Stabilisierung der Sohlenlage unter Aufrechterhaltung bzw. Wiederherstellung der biologischen Längsvernetzung.

Im Folgenden wird vor allem auf die hydraulischen Besonderheiten der beiden letztgenannten, von Otmar Grober/Baubezirksleitung Bruck an der Mur entwickelten Bauweisen eingegangen. Darüber hinaus gehende Informationen können unter anderem Sindelar & Mende 2009 [11] und Mende & Gassmann 2009 [04] entnommen werden.

### 3.3.2 Lenkbuhne

Die Lenkbuhne ist eine besondere Bauform der Buhne, die bereits bei Niedrigwasser überströmt wird und in ihrer hydraulischen Wirkung daher eher Grundswellen nach DIN 19661-2 [01] ähnelt. Grundswellen wie auch Lenkbuhnen ragen nur wenig über die Sohle hinaus. Ein Fließwechsel mit Deckwalze, wie er für überströmte "klassische Buhnen" typisch ist, kann daher nur bei kleinen Abflüssen auftreten. Aus diesem Grund haben Lenkbuhnen bei großen Abflüssen keine gefällevermindernde Wirkung und gleichen hydraulisch unwirksamen Abstürzen.

Als wesentlicher Unterschied zu reinen Grundswellen, die meist rechtwinklig zur Strömung über die gesamte Sohlenbreite angeordnet werden, sind deklinante und inklinante Lenkbuhnen bei größeren Abflüssen durch die Induzierung einer Spiralströmung (s. Kapitel 3.1) gekennzeichnet. Bei inklinanter Anordnung (Abb. 1) lenkt die induzierte Strömung langsam fließendes sohlennahes Wasser in den Bereich der Einbauten. Schnell fließendes oberflächennahes Wasser wird dagegen heraus transportiert. Dieser Massen- und Impulsaustausch bewirkt im genannten Bereich eine deutliche Verringerung der Fließgeschwindigkeit, die Ablagerung eingetragener Sedimente wird begünstigt und das Ufer entlastet. Außerhalb der Einbauten steigt die Fließgeschwindigkeit an. In Wechselwirkung mit dem quer zur Hauptströmung gerichteten Geschiebetransport sind Eintiefungen die Folge.

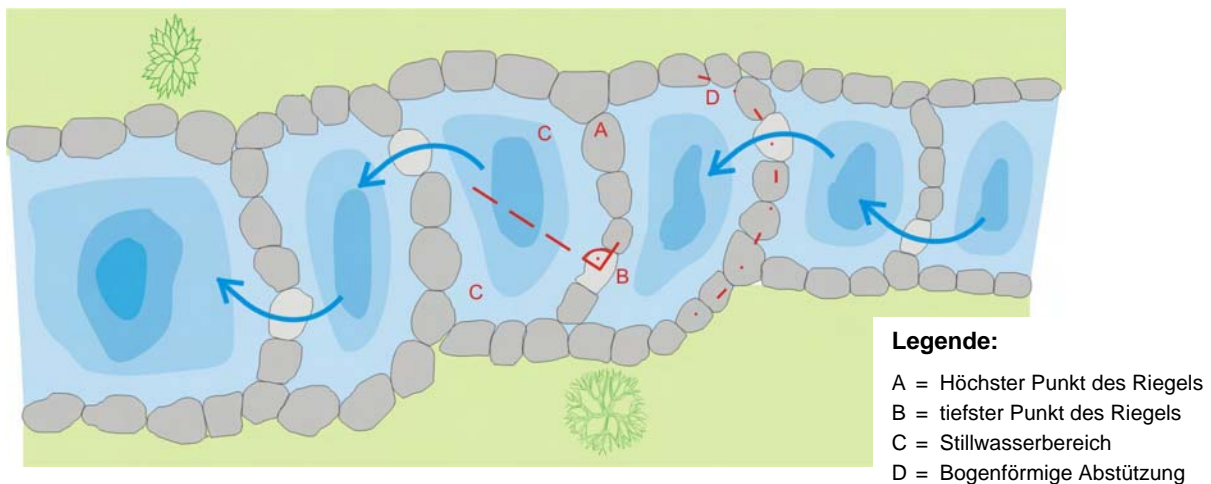


**Abb. 1** Schematische Isotachendarstellung eines geraden Gewässerabschnitts ohne (links) und mit inklinanter Lenkbuhne (rechts); aus: [11]

### 3.3.3 Pendelrampe

Die Pendelrampe ist durch wechselseitig geneigte oder vertiefte Riegel gekennzeichnet, wodurch bei niedrigen und mittleren Abflüssen ein "pendelnder" Stromstrich und damit ein verlängerter Fließweg entstehen (Abb. 2). Mit der daraus resultierenden Verringerung des effektiven Gefälles und der Fließgeschwindigkeit wird zusammen mit der Abflusskonzentration auf eine Teilbreite die biologische Durchgängigkeit der Rampe optimiert. Um eine selektive Wirkung auszuschließen, werden für die vertieften Riegelbereiche möglichst runde Steine zur Vermeidung abgelöster Strömungen gewählt. Da üblicherweise nur Teile der Riegel überströmt werden, entstehen ober- und unterstrom der nicht überströmten Riegelbereiche Stillwasserzonen, in denen sich aufsteigende Fische ausruhen können (Abb. 2: C).

Die in der Draufsicht bogenförmigen Riegel ermöglichen eine Kraftabtragung ins Ufer und sind für die Rampenhydraulik bei Hochwasser von großer Bedeutung. Die Riegel können als beidseitig angeordnete inklinante Lenkbuhnen aufgefasst werden, die im Bereich der Gewässermittle zusammenlaufen. Bei starker Überströmung im Hochwasserfall induzieren die Riegel folglich zwei Spiralströmungen mit entgegengesetzter Drehrichtung. An der Sohle drehen die beiden Strömungen in Richtung Ufer und bewirken einen zum Ufer gerichteten Geschiebetransport. Am Wasserspiegel laufen die Sekundärströmungen aufeinander zu. Wie bei inklinanten Lenkbuhnen werden die Ufer entlastet, die Ufersicherungen können entsprechend reduziert werden.



**Abb. 2** Schematische Darstellung einer Pendelrampe bei Niedrig- und Mittelwasserabfluss; aus: [04]

## 4 Naturuntersuchungen

Für Lenkbuhnen und Pendelrampen liegen bei der Baubezirksleitung Bruck an der Mur langjährige Erfahrungen vor, die ersten Umsetzungen fanden bereits Anfang der 1990er Jahre statt. Die Erfahrungen in Bezug auf Stabilisierung und Strukturierung sind sehr positiv. Auch bei großen Hochwasserereignissen (bis  $HQ_{100}$ ) traten keine Schäden an den Bauweisen und zu schützenden Gewässerbereichen auf. Inzwischen wurden Lenkbuhnen und Pendelrampen auch in der Schweiz und in Deutschland umgesetzt.

Mehrere der in jüngerer Zeit umgesetzten Maßnahmen konnten dank der Unterstützung durch die verantwortlichen Behörden im Rahmen mittel- bis langfristig angelegter Monitorings eingehend untersucht werden. Diese Erfolgskontrollen liefern wertvolle Informationen zu den Auswirkungen der Bauweisen auf die Hydraulik, Gewässermorphologie und Fischbestände.

### 4.1 Lenkbuhnen

Lenkbuhnen werden bzw. wurden an der Wiese in Lörrach (Deutschland), der Mur bei St. Stefan (Österreich) und am Ellikerbach bei Ellikon (Schweiz) im Rahmen von Monitorings untersucht. Die bisherigen Ergebnisse der Untersuchungen an den beiden letztgenannten Gewässern werden im Folgenden vorgestellt.

#### 4.1.1 Mur bei St. Stefan ob Leoben / Österreich

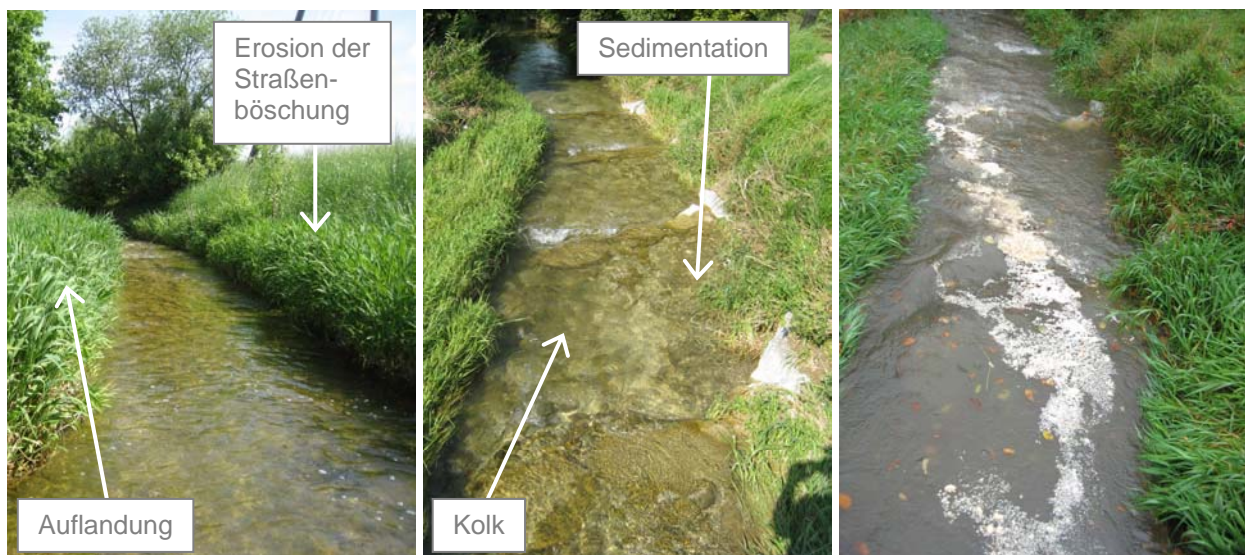
Im Jänner 2005 wurden in der Mur bei St. Stefan ob Leoben trichterförmige Lenkbuhnen als Strukturierungsmaßnahme eingebaut. Die Ergebnisse des hydraulisch-morphologischen Moni-

torings wurden in Sindelar & Mende [11] umfassend aufbereitet. Das Monitoring macht deutlich, dass die Strömungsvielfalt und Tiefenvarianz mit den Lenkbuhnen deutlich vergrößert werden konnte. Eine Fischbestandserhebung (Pinter et al. [07]) eines ca. 8,5 km langen Abschnitts der Mur kam zu dem Schluss, dass die Lenkbuhnen die Lebensraumqualität der Fische erhöhen. Drei flusstypische Begleitarten (Neunauge, Bachschmerle, Flussbarsch) und das Rotauge konnten ausschließlich im Bereich der Trichterbuhnen nachgewiesen werden.

#### 4.1.2 Ellikerbach bei Ellikon / Schweiz

Der im nördlichen Teil des Kantons Zürich verlaufende Ellikerbach besitzt ein Einzugsgebiet von etwa 19 km<sup>2</sup> und mündet unterhalb von Ellikon in die Thur. Der Unterlauf ist stark begradigt und durch ein einheitliches Trapezprofil gekennzeichnet. Über weite Strecken verläuft das Gewässer entlang einer Straßenböschung, die bereits an mehreren Stellen erodiert wurde. Zur Sicherung der Böschung unter gleichzeitiger Verbesserung der Gewässerstruktur wurden im Rahmen einer Pilotmaßnahme im Juli 2008 erstmalig in der Schweiz in fünf Abschnitten des Bachs Lenkbuhnen gebaut, wobei verschiedene Materialien (u. a. Blocksteine und gerammte Fichtenspaltpfähle) verwendet wurden.

Die Maßnahme wurde durch ein Monitoring begleitet, das die Aufnahme von Querprofilen, Geschwindigkeitsmessungen und eine Fotodokumentation beinhaltet. Bei den beiden bisher durchgeführten Messkampagnen im Mai und Oktober 2008 wurde der Zustand vor und drei Monate nach Einbau der Lenkbuhnen erfasst. Ergänzend wurden Elektrofischungen im Juli 2008 und Mai 2009 durchgeführt. Weitere Erkenntnisse konnten bei einer Begehung im Herbst 2009 gewonnen werden.



**Abb. 3** Situation vor (links) und zwei Monate nach dem Einbau von Lenkbuhnen aus Blocksteinen (Mitte); visualisierte Oberflächenströmung bei erhöhtem Abfluss im Oktober 2008 (rechts). Blick in Fließrichtung



Die Ergebnisse der Monitorings können wie folgt zusammengefasst werden:

- Vor dem Einbau war die Strömung bei Niedrig- und Mittelwasser in allen Abschnitten durch einheitliche, meist geringe Fließgeschwindigkeiten über die gesamte Breite gekennzeichnet (Abb. 3, links). Nach dem Einbau ist eine deutliche Zunahme der Strömungsdiversität zu verzeichnen. Insbesondere weist der Bach heute auch Bereiche mit größeren Fließgeschwindigkeiten auf, was rheophilen Arten zu Gute kommt.
- Die strömungslenkende Wirkung und daraus resultierende Entlastung der Straßenböschung bleibt auch bei erhöhtem Abfluss erhalten (Abb. 3, rechts)
- Bereits wenige Monate nach Einbau konnte eine merkliche Zunahme der Tiefenvarianz festgestellt werden. Die vorher annähernd horizontale Sohle ist heute durch Flachwasserzonen und Kolke gekennzeichnet (Abb. 3, Mitte).
- Lokal konnten Laufverlagerungen um bis zu einem Meter von der gefährdeten Straßenböschung weg nachgewiesen werden (Abb. 4, links). Entlang der Böschung ist keine Erosion mehr feststellbar, stattdessen wird hier Geschiebe abgelagert (Abb. 3, Mitte). Teilweise kommt auf diesen Ablagerungen bereits Bewuchs auf, durch den die Böschung weiter stabilisiert und das überbreite Niedrig- und Mittelwasserprofil auf ein naturnahes Maß eingengt wird (Abb. 4, rechts).
- In den beiden Abschnitten mit Lenkbuhnen aus Blocksteinen ist eine annähernde Verdopplung des Fischbestands (Individuenzahl) zu verzeichnen, wobei insbesondere die Bachschmerle als rheophile Art von dem Einbau profitiert hat. Hervorzuheben ist eine Verfünffachung (!) der größeren Fische (> 30 cm), was auf die neu entstandenen Kolke (Fischeinstände) im Lenkbuhnumfeld zurück geführt wird. Die Ergebnisse sind durch weitere Elektrofischungen abzusichern. Eine qualitative Aussage lässt sich nach Ansicht der Autoren jedoch bereits ableiten.



**Abb. 4** Ufererosion gegenüber der zu schützenden Straßenböschung (links); Abschnitt mit Lenkbuhnen aus Fichtenspaltpfählen am linken Ufer gut ein Jahr nach Einbau (rechts)

## 4.2 Pendelrampe am Stübmingbach / Österreich

Der Stübmingbach (Steiermark, Österreich) hat ein Gefälle von ca. 2,5 % und befindet sich in der oberen Forellenregion, in der schwimmstarke Fische wie die Bach- und die Regenbogenforelle typisch sind. Zwei stark verkleaste Sohlenstufen nahe Turnau wurden im Jahr 2004 von der Baubezirksleitung Bruck an der Mur (BBL Bruck) durch eine Pendelrampe ersetzt. Die Pendelrampe besteht aus 8 Riegel-Becken-Einheiten und einer Grundschwelle am unteren Ende des Bauwerks (Grundriss siehe Abbildung 6a.). Die folgenden Geometriedaten über die Rampe beziehen sich auf die Sohlenmessung vom Dezember 2009. Die Rampe ist vom ersten bis zum achten Riegel 31 m lang und weist einen Höhenunterschied von 2,1 m auf, womit sich ein Gefälle von 6,8 % ergibt. Die Höhendifferenz zweier benachbarter Riegel beträgt 24 - 39 cm, der Horizontalabstand misst 3,3 – 5,45 m. Die einzelnen Riegel bestehen aus Wasserbausteinen mit einem Durchmesser von ca. 1,5 m, die tief in die natürliche Sohle eingebunden sind. Flussab eines Riegels stützen kleinere Blocksteine (D ~ 0.8 m) die Riegelsteine ab. Die Becken sind nicht gesichert und bestehen aus dem natürlichen Bachsediment. Seit dem Einbau hat die Rampe mehrere große Hochwasserereignisse ohne Schaden überstanden. Das bisher aufgetretene maximale Ereignis wird auf HQ<sub>20</sub> geschätzt, die genaue Jährlichkeit der Ereignisse kann aufgrund fehlender Pegel nicht bestimmt werden. Bisher wurden von der TU Graz und der BBL Bruck zwei Sohlenvermessungen durchgeführt (Dezember 2007, Dezember 2009). Im Dezember 2009 konnte bei sehr geringer Wasserführung auch die Korngrößenverteilung des Sediments in den Becken dokumentiert werden.

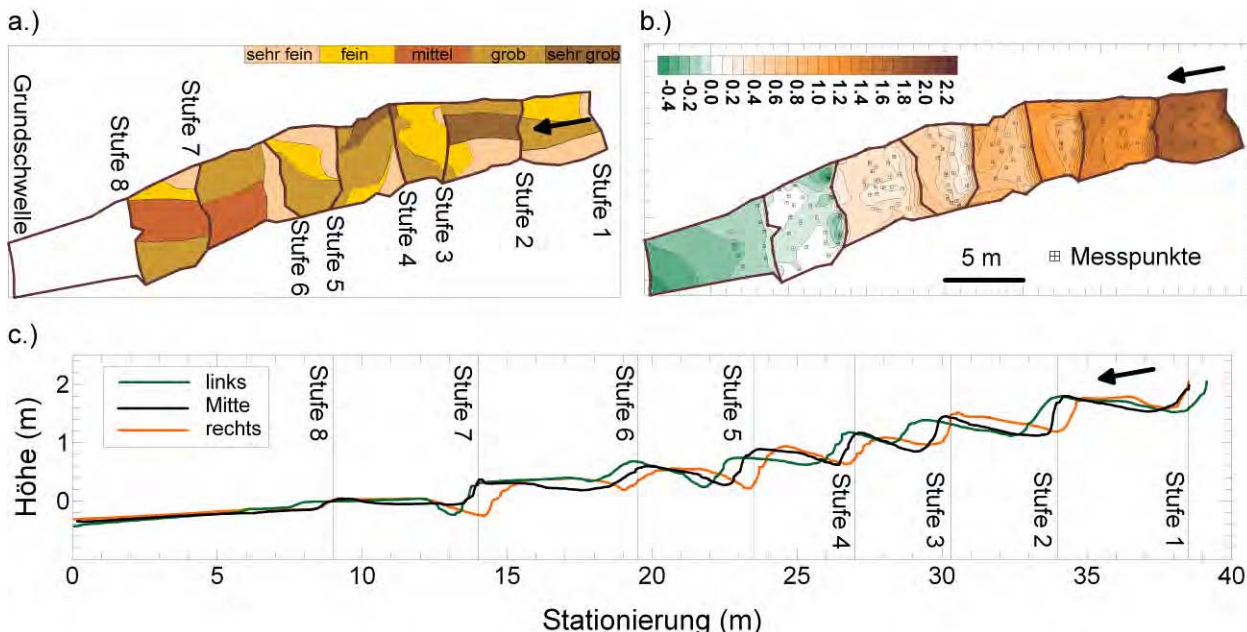


**Abb. 5** Schmelzwasserabfluss bei der Pendelrampe am 25.03.2010, 18:27 MEZ (links), Substratsortierung in der 4. Riegel-Becken-Einheit der Rampe (rechts)

Die Ergebnisse der Monitorings können wie folgt zusammengefasst werden:

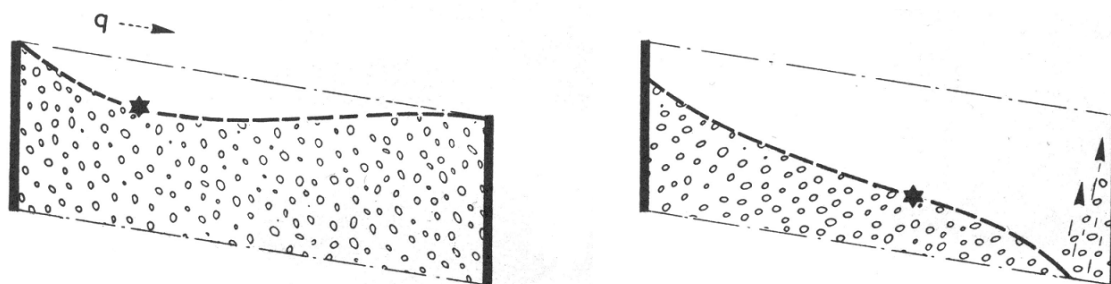
- Unterhalb eines jeden Riegels haben sich Kolke gebildet, die aufgrund der Querneigung der Riegel über die Breite unterschiedlich tief sind. Mittelt man die Kolkiefen über die Querprofilbreite, so ergeben sich Kolkiefen zwischen 37 und 73 cm. Punktuell beträgt die maximale Kolkiefe bis zu 91 cm. Die Kolke befinden sich nur im oberen Drittel einer Riegel-Becken Einheit, danach steigt die Sohle stetig bis zum flussab gelegenen Riegel an (siehe Abbildung 6c.).
- Bei der klassischen Blocksteinrampe stellt die Kolkbildung unterhalb der Rampe häufig ein Problem dar. Bei der Pendelrampe treten keine Kolke am Rampenfuß auf.

- Während flussauf bzw. flussab der Rampe die einzelnen Kornfraktionen des Sediments gut durchmischt sind, findet in den Becken der Pendelrampe eine deutliche Sortierung des Sediments statt. In Abbildung 6a. sind die Kornklassen in den Grundriss der Rampe eingetragen. Abbildung 5 (rechts) zeigt die Substratsortierung der 4. Riegel-Becken Einheit im Dezember 2009.
- Obwohl die Rampe primär der Sohlenstabilisierung dient, weist sie auch eine ausgeprägte Tiefenvarianz und Strömungsdynamik auf.



**Abb. 6** Ergebnis der Sohlenvermessung vom Dezember 2009: a.) Grundriss der Pendelrampe mit Kornklassenverteilung, b.) Grundriss des Pendelrampe mit eingezeichneten Sohlenhöhen c.) Längenschnitt der Rampe (2-fach überhöht)

Bei der Rampe stellen sich Kolke gemäß Abbildung 7 (links) ein. Volkart [12], Whittaker [13] und Sindelar & Knoblauch [10] berichten in ihren Modellversuchen über Riegel-Becken Sequenzen von Kolkbildung unmittelbar flussauf eines Riegels (Abbildung 7, rechts). Diese Vorkolke entstehen, wenn bei steigendem Durchfluss das Wellental des gewellten Wasserspiegels in Richtung des flussab gelegenen Riegels wandert. Whittaker [13] mutmaßt, dass das Vorkolk-Phänomen aufgrund von Abpflasterungsvorgängen in der Natur möglicherweise nicht auftritt.



**Abb. 7** Kolkentwicklung einer Riegel-Becken Einheit, aus: Volkart [12]



Um dieser Vermutung nachzugehen, wurde Anfang März 2010 eine solarbetriebene Messstation bei der Pendelrampe im Stübmingbach aufgebaut, die in 10-min Intervallen ein Foto der Rampe aufnimmt und die Temperatur aufzeichnet. Aus Hochwasserereignissen, die so dokumentiert werden können, sollen Rückschlüsse auf die Wechselwirkung von Wasserspiegel und Kolkbildung gezogen werden. Seit der Inbetriebnahme der Messstation wurde einmal ein durch Schmelzwasser leicht erhöhter Abfluss registriert. In Abbildung 5 (links) ist der mäandrierende Stromstrich gut zu erkennen. Um eine abschließende Aussage zur Wechselwirkung von Wasserspiegel und Kolkbildung treffen zu können, sind noch weitere Messungen notwendig.

## 5 Schlussbetrachtung

Die Monitoringergebnisse machen deutlich, dass durch ein naturnahes *Instream River Training* die Ziele Strömungsvielfalt, Tiefenvarianz und Verbesserung der Habitatqualität mit verhältnismäßig geringen Kosten erreicht werden können. Auch Stabilisierungsmaßnahmen gehen bei dieser Form des Flussbaus mit einer Strukturierung einher, so dass schutzwasserbauliche und ökologische Aspekte gleichermaßen erfüllt werden.

## Literatur

- [01] DIN 19661-2: „Richtlinie für Wasserbauwerke – Sohlenbauwerke; Teil 2: Abstürze, Absturztreppe, Sohlenrampen, Sohlengleiten, Stützschwelle, Grundschwelle, Sohlenschwelle“. 19 S., Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2000
- [02] Hafner T: „Uferrückbau und eigendynamische Gewässerentwicklung – Aspekte der Modellierung und Abschätzungsmöglichkeiten in der Praxis“. Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft 117, TU München, 2008
- [03] Meckel H: „Spiralströmungen und Sedimentbewegung in Fluss- und Kanalkrümmungen. Wasserwirtschaft, Heft 10 / 1978, S. 287-294, Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden, 1978
- [04] Mende M, Gassmann E: „Pendelrampen – Funktionsweise und Erfahrungen“. Ingenieurbiologie, Heft 3 / 2009, 19. Jahrgang, S. 29 – 36, 2009
- [05] Odgaard A J: „River Training and Sediment Management with Submerged Vanes“. American Society of Civil Engineers, ASCE Press, ISBN 978-0-7844-0981-7, 171 Seiten, 2009
- [06] Pinter K, Unfer G, Wiesner C: „Fischbestandserhebung der Mur im Bereich St. Michael“. Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement, Wien, Juni 2009
- [07] Prandtl L, Oswatitsch K, Wieghardt K, Dettmering W: „Führer durch die Strömungslehre“. 9. verbesserte und erweiterte Auflage, Vieweg-Verlag Braunschweig, 1993
- [08] Rozovskii I L: „Flow of water in bends of open channels“. Academy of sciences of the Ukrainian SSR, Kiev, USSR (auf Russisch). (Englische Übersetzung: Israel Program for Scientific Translation, Jerusalem, Israel, 1961), 1957
- [09] Schauburger V: „Temperatur und Wasserbewegung“. Sonderdruck aus „Die Wasserwirtschaft“, Heft 24, Wien, 1930

- [10] Sindelar, C, Knoblauch H: „Modellversuch zur Dimensionierung einer Pendelrampe an der Großen Tulln“. Ingenieurbiologie, Heft 3 / 2009, 19. Jahrgang, S. 37 – 42, 2009
- [11] Sindelar C, Mende M: „Lenkbuhnen zur Strukturierung und Stabilisierung von Fließgewässern“. Wasserwirtschaft, Heft 1-2 / 2009, S. 70 – 75, Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden, 2009
- [12] Volkart P: „Die Stabilisierung von Flussläufen mittels einer Folge von Querschwellen“. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Heft 6 / 1972, Zürich, 1972
- [13] Whittaker J G: „Sediment Transport in Step-pool Streams“. Aus: „Sediment Transport in Gravel-bed Rivers“, S. 545 - 579, John Wiley & Sons Ltd., New York, 1987

## **Anschriften der Verfasser**

Matthias Mende  
IUB Ingenieur-Unternehmung AG  
Thunstrasse 2  
3005 Bern, Schweiz  
[matthias.mende@iub-ag.ch](mailto:matthias.mende@iub-ag.ch)

Christine Sindelar  
Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft  
Technische Universität Graz  
Stremayrgasse 10/II  
8010 Graz, Österreich  
[christine.sindelar@TUGraz.at](mailto:christine.sindelar@TUGraz.at)