1616_Ingenieur_3_09:1616_Ingenieur_1_06 23.3.2010 9:47 Uhr Seite 29

Pendelrampen – Funktionsweise und Erfahrungen

Praxisbeispiel Scherlibach, Gemeinde Köniz/Kanton Bern

Matthias Mende, Edi Gassmann

Zusammenfassung

Mitte der 1990er-Jahre wurde von der Baubezirksleitung Bruck an der Mur/Steiermark mit der sogenannten Pendelrampe eine neue Bauform der Riegelrampe entwickelt und bisher zweimal umgesetzt. Die Pendelrampe ist durch wechselseitig geneigte bzw. vertiefte Riegel gekennzeichnet, wodurch bei niedrigen und mittleren Abflüssen ein «pendelnder» Stromstrich und damit ein verlängerter Fliessweg entstehen. Mit der daraus resultierenden Verringerung des effektiven Gefälles wird die biologische Durchgängigkeit der Rampe optimiert. Als weitere hydraulische Besonderheit induzieren die in der Draufsicht bogenförmigen Riegel bei Hochwasser zwei Spiralströmungen mit entgegengesetzter Drehrichtung, die zu einer Entlastung der Ufer führen. Die Ufersicherungen können entsprechend reduziert werden.

Die erste Pendelrampe der Schweiz wurde im Mai 2007 im Rahmen einer Fachtagung mit Workshop, organisiert von der Interessengemeinschaft «Wasserbau im Fluss» mit Unterstützung der Gemeinde Köniz, am Scherlibach umgesetzt. Dieser verlief im betrachteten Abschnitt bis 2001 in einem Betongerinne und wurde 2002 unter Verwendung von Holzschwellen saniert. Nachdem die Schwellen unterspült wurden, sollte der Bach mit der Pendelrampe unter den bestehenden beengten Platzverhältnissen stabilisiert und die Längsvernetzung wiederhergestellt werden. Bei den extremen Hochwasserereignissen im Juli und August 2007 wurde auch die Rampe beschädigt. Die Erkenntnisse aus dem Schadensereignis und einem physikalischen Modellversuch an der TU Graz ermöglichten es, die Pendelrampe im November 2008 in verbesserter Form wieder aufzubauen. Beim Neubau wurde insbesondere auf eine tiefere Gründung der Riegelsteine und einen stärkeren Verbund der Riegel geachtet, durch den eine Kraftabtragung ins Ufer erreicht wird. Zusätzlich wurde die Sohlenrauheit im schiessenden Zulaufbereich zur Rampe durch Blöcke erhöht, um die Ausbildung eines Wechselsprungs auf der eigentlichen Rampe zu verhindern. Eine wesentliche Verbesserung konnte darüber hinaus durch die Verbreiterung der Rampe erzielt werden, die durch das Einverständnis des Besitzers des angrenzenden Grundstücks möglich wurde.

Keywords

Instream-River-Training, Biologische Durchgängigkeit, Spiralströmung, Strömungslenkung, Uferentlastung

Les rampes pendulaires – mode de fonctionnement et expériences

Exemple pratique du Scherlibach, commune de Köniz dans le canton de Berne

Résumé

Avec la rampe pendulaire, une nouvelle forme de rampe à traverses a été développée au milieu des années 1990 par la Direction des constructions dans le district de Bruck an der Mur dans le Steiermark en Autriche. Depuis, cette technique a été mise en œuvre deux fois. La rampe pendulaire est caractérisée par des traverses inclinées et embouties alternativement de chaque côtés, provoquant avec un écoulement faible et moyen une ligne de courant «oscillante» et ainsi une ligne d'écoulement plus longue. Avec la réduction de la pente effective qui en résulte, la continuité biologique de la rampe est optimisée. Comme autre particularité hydraulique, les traverses courbées en plan induisent en période de crue deux tourbillons ayant un sens de rotation contraire et ainsi déchargent les rives. Les mesures prises afin de consolider les rives peuvent être réduites en conséquence.

La première rampe pendulaire de Suisse a été mise en place sur le Scherlibach en mai 2007, dans le cadre d'un colloque professionnel et un atelier organisés par le groupe de travail interdisciplinaire «Aménagement hydraulique dans les cours d'eau» («Wasserbau im Fluss»), avec le soutien de la commune de Köniz. Sur le tronçon considéré, le Scherlibach s'écoulait jusqu'en 2001 dans un canal en béton, puis a été assaini en 2002 par la mise en place de seuils en bois. Après la dégradation des seuils par l'affouillement, le ruisseau a dû être stabilisé par la mise en place d'une rampe pendulaire dans l'espace restreint disponible et la mise en réseau longitudinale reconstruite. La rampe a également été endommagée à l'occasion des crues extrêmes de juillet et août 2007. Les connaissances acquises par l'étude de ces dommages et une modélisation physique réalisée par l'Université technique de Graz ont permis de reconstruire la rampe avec une forme améliorée en novembre 2008. Lors de la reconstruction, on a notamment insisté sur une assise plus profonde des pierres de traverses et sur un assemblage plus fort des traverses, permettant une diminution des forces contre la rive. De plus, la rugosité du lit a été améliorée au moyen de blocs placés dans la zone d'alimentation de la rampe dans le but d'éviter la formation d'un ressaut sur cette dernière. Une amélioration conséquente a pu être obtenue par l'élargissement de la rampe, rendu possible grâce à l'accord des propriétaires des parcelles du terrain adjacent.

Mots-clés

In-stream-River-Training, Continuité biologique, Courant en forme de spirale, Direction du courant, Décharge des rives

1616_Ingenieur_3_09:1616_Ingenieur_1_06 23.3.2010 9:47 Uhr Seite 30

Foto 1: Bogenförmiger linksseitig vertiefter Riegel mit anschliessender Kolkbildung und Ablagerungen.
Photo 1: Traverse en forme d'arc enfoncée du côté gauche avec affouillement consécutif et formation de dépôts.

1 Einleitung

Die Längsvernetzung ist eine wesentliche Grundlage für ein ökologisch intaktes Fliessgewässer. Sie wird heute jedoch durch zahlreiche Querbauwerke wie Wehre und Sohlstufen unterbrochen. Viele biologisch nicht durchgängige Abstürze, deren ersatzlose Entfernung zum Beispiel aus Gründen der Sohlenstabilität nicht möglich ist, werden daher durch verschiedene Bauweisen rauer Rampen ersetzt. Damit wird zwar die biologische Durchgängigkeit in vielen Fällen gewährleistet, das grosse Rampengefälle und der daraus resultierende Strömungsangriff auf Sohle und Ufer verlangen jedoch eine massive Befestigung, weshalb auch bei Riegelrampen die Becken meist mit grobem Material gesichert werden (Sindelar & Knoblauch 2009).
Mit der Pendelrampe wurde von der Baubezirksleitung Bruck an der Mur Mitte der 1990er-Jahre eine Bauform der Riegelrampe entwickelt, die eine ausgeprägte Dynamik in den Rampenbecken zulässt (Abb. 1) und bei der auch die Ufersicherungen durch die gezielte Induzierung von Sekundärströmungen verringert werden können.

2 Interaktion Hauptströmung – Sekundärströmung

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. (1993) 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.

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 (Abb. 1). Bei gleichmässigem Querschnitt verlagert sich das Geschwindigkeitsmaximum der Hauptströmung am Krümmungsbeginn zunächst zum Innenufer und wandert dann zum Prallufer (Rozovskii 1957, Meckel 1978). Die am Krümmungsbeginn höhere Geschwindigkeit am Innenufer ist vor allem auf den hier kürzeren Fliessweg und das daraus resultierende höhere Gefälle zurückzuführen (Hafner 2008). Im Verlauf der Krümmung führt die Sekundärströmung zu einer Umverteilung der Hauptströmung und verlagert das Geschwindigkeitsmaximum in Richtung Aussenufer. Auch in vertikaler Richtung

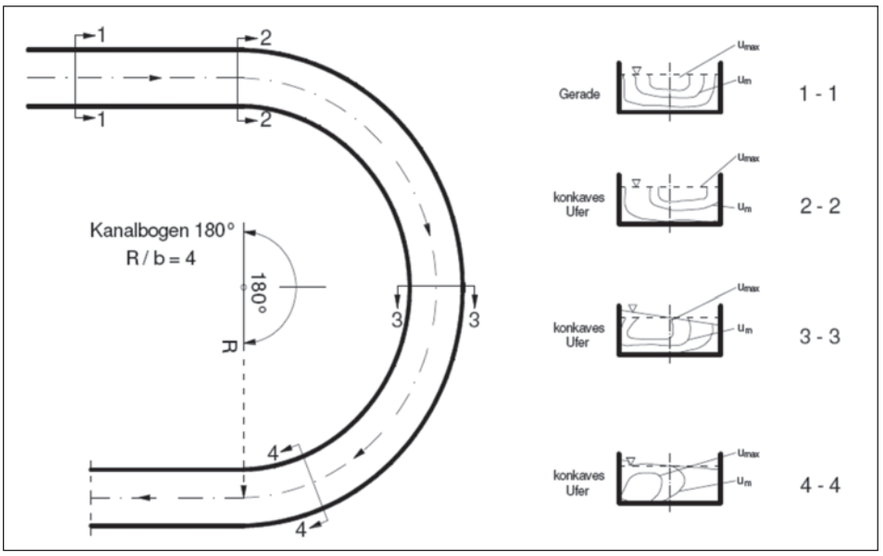

Abb. 1: Geschwindigkeitsverteilung der Hauptströmung entlang eines Kanalbogens in schematischer Isotachendarstellung (nach: Meckel 1978).
Fig. 1: Distribution de la vitesse du courant principal u le long de la cuvette d'un canal, représentation isotaque schématique (courbes d'égale vitesse) (d'après Meckel 1978).

1616_Ingenieur_3_09:1616_Ingenieur_1_06 23.3.2010 9:48 Uhr Seite 31

findet in Folge der Spiralströmung eine Verschiebung des Geschwindigkeitsmaximums statt (Abb. 1). Das Maximum wandert in Fliessrichtung vom oberflächennahen zum bodennahen Bereich (z.B. Rozovskii 1957, Meckel 1978).

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.

Bauweisen zur Induzierung von Sekundärströmungen

Die gezielte Induzierung von Sekundärströmungen ermöglicht es, die Geschwindigkeitsverteilung und daraus resultierende Strömungsbelastung auf Ufer und Sohle zu modifizieren. Hierzu werden seit Mitte der 1980er-Jahre sogenannte Leitelemente (engl. Submerged Vanes) eingesetzt, die heute mehrheitlich als doppelt gekrümmte Betonplatten oder als Spundwandelemente ausgeführt werden (z.B. Odgaard 2009). Eine naturnahe Bauweise zur Sekundärströmungsinduzierung ist die Lenkbuhne (Abb. 3). Sie wird meist schwellenartig aus Blocksteinen gebaut und in den Bereichen Uferschutz, Geschieberegulierung und Gewässerstrukturierung eingesetzt (Sindelar & Mende 2009).

Die erste Rampe, bei der im Hochwasserfall gezielt Sekundärströmungen induziert werden, ist die Pendelrampe,

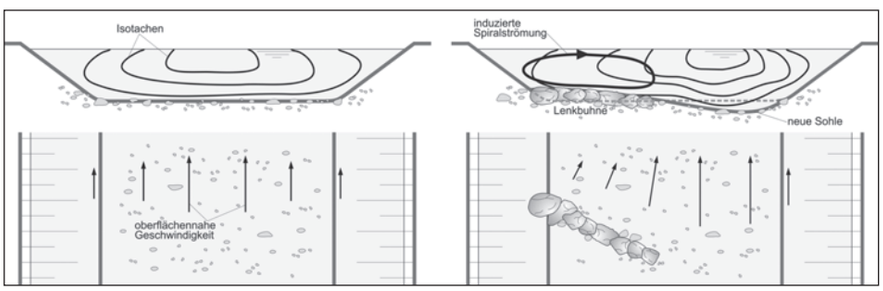

Abb. 2: Schematische Darstellung eines geraden Gewässerabschnitts ohne (links) und mit Lenkbuhnen (rechts) (aus: Sindelar & Mende 2009).
Fig. 2: Représentation schématique d'une section de cours d'eau longiligne sans (à gauche) et avec épis de direction (à droite) (tiré de Sindelar et Mende 2009).

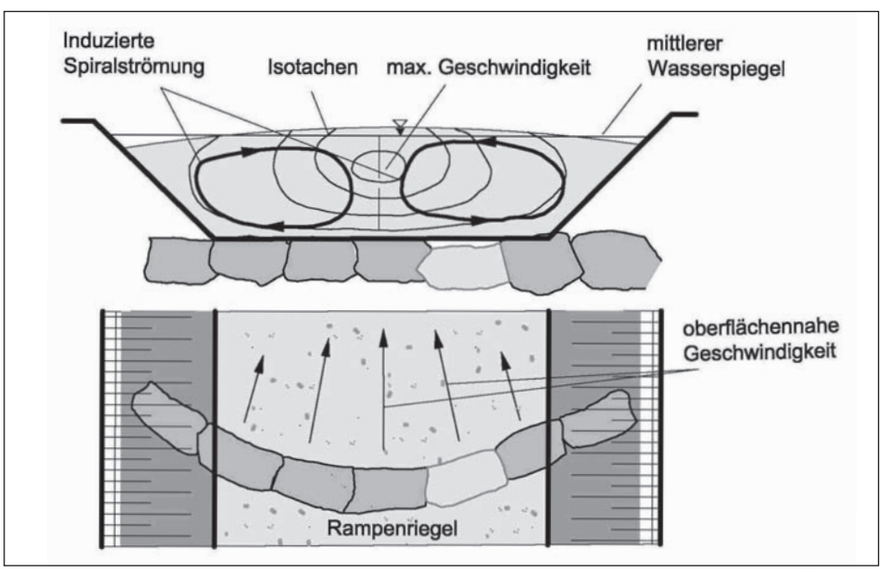

Abb. 3: Schematische Darstellung der hydraulischen Wirkung einer Pendelrampe bei starker Überströmung im Hochwasserfall (oben: Querschnitt, unten: Lageplanausschnitt)
Fig. 3: Représentation schématique de l'effet hydraulique d'une rampe pendulaire lors d'un fort débordement en période de crue (en haut: coupe transversale, en bas: extrait du plan de situation)

deren hydraulische Besonderheiten im Folgenden vorgestellt werden.
Die auf Erfahrungswissen basierenden und in Rolker (2004) ausführlich aufbereiteten Bemessungsansätze können unter *www.wasserbauimfluss.ch* in gekürzter Form heruntergeladen werden. Zusätzlich sei auf die neuen Erkenntnisse aus dem physikalischen Modellversuch der TU Graz (Sindelar & Knoblauch 2009) verwiesen, die ebenfalls in dieser Ausgabe der «Ingenieurbiologie» vorgestellt werden.

3 Hydraulische Besonderheiten von Pendelrampen

Hochwasser

Die Pendelrampe besteht aus bogenförmigen Blocksteinriegeln (Foto 1). Diese können vereinfacht als v-förmig beschrieben und somit als beidseitig angeordnete inklinante Lenkbuhnen aufgefasst werden, die im Bereich der Gewässermitte 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. Der daraus resultierende Staudruck führt zu einem nach oben gewölbten Wasserspiegel (Abb. 3).

Aufgrund der Sekundärströmungen wird langsam fliessendes sohlennahes Wasser in den Uferbereich gelenkt, schnell fliessendes oberflächennahes wird dagegen heraustransportiert. Dieser Massen- und Impulsaustausch bewirkt eine Verringerung der ufernahen Fliessgeschwindigkeit, wodurch die Ablagerung des eingetragenen Sediments begünstigt und das Ufer entlastet wird. In Laborversuchen an der TU Braunschweig konnte die Induzierung einer Sekundärströmung durch Lenkbuhnen nachgewiesen werden (Meyenburg 2007). Für Pendelrampen fehlt der Nachweis bisher. Da die Riegel der Pendelrampe jedoch als inklinante Lenkbuhnen aufgefasst werden können

1616_Ingenieur_3_09:1616_Ingenieur_1_06 23.3.2010 9:48 Uhr Seite 32

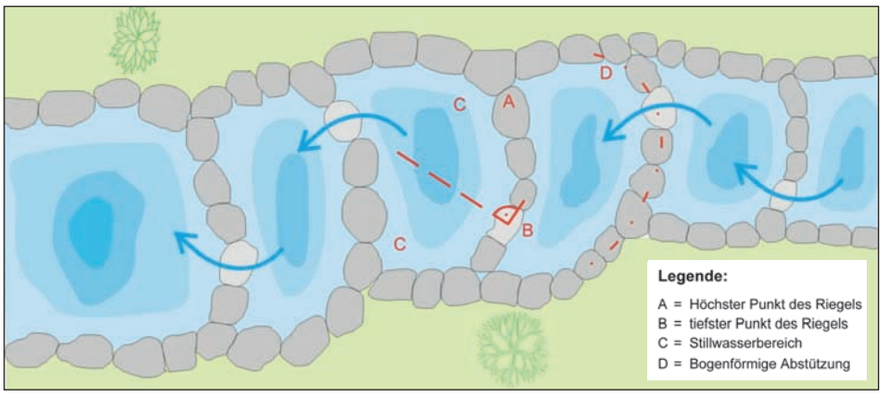

Abb. 4: Schematische Darstellung einer Pendelrampe bei Niedrig- und Mittelwasserabfluss.
Fig. 4: Représentation schématique d'une rampe pendulaire lors d'un débit d'eau faible et moyen.

(s. o.), kann dieses Wirkungsprinzip auch für Pendelrampen angenommen werden.

Niedrig- und Mittelwasserabfluss

Die Riegel der Pendelrampe sind wechselseitig vertieft angeordnet (Abb. 4: B). Dadurch entsteht bei Niedrig- und Mittelwasserabfluss ein «pendelnder» Stromstrich und somit ein verlängerter Fliessweg. Mit der daraus resultierenden Verringerung des effektiven Gefälles und der Fliessgeschwindigkeit wird zusammen mit der Konzentration des Abflusses auf eine Teilbreite die biologische Durchgängigkeit der Rampe optimiert. Um eine selektive Wirkung der Rampe auszuschliessen, werden für die vertieften Riegelbereiche möglichst runde Steine zur Vermeidung abgelöster Strömungen gewählt (Foto 1). 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. 4: C).

4 Pendelrampe am Scherlibach

Die aus Bauunternehmern, Ingenieuren und weiteren auf Fliessgewässer spezialisierten Fachleuten bestehende Interessengemeinschaft «Wasserbau im Fluss» hat sich zum Ziel gesetzt, das so genannte «Instream-River-Training» (wörtlich übersetzt: «Flussbau im Stromstrich») in der Schweiz bekannt zu machen und weiter zu entwickeln. Das Ziel dieser Form des Flussbaus ist es, die Strömung als Ursache für Ufer- und Sohlenerosionen durch verhältnismässig kleine Eingriffe so zu modifizieren, dass auf massive Massnahmen zur Stabilisierung teilweise oder sogar vollständig verzichtet werden kann. Gleichzeitig sollen Gewässerstabilisierung und -strukturierung miteinander kombiniert werden. Bereits seit Anfang der 1990er-Jahre wird diese Form des Flussbaus unter anderem sehr erfolgreich von der Baubezirksleitung Bruck an der Mur/Steiermark praktiziert. Mit dem Bau der Pendelrampe am Scherlibach konnte nun auch in der Schweiz eine Baumassnahme umgesetzt werden, die ebenfalls dem Grundsatz des «In-stream-River-Training» entspricht.

4.1 Ausgangslage

Im Jahr 2001 wurde der Unterlauf des Scherlibachs durch ein Unwetter stark beschädigt. Die Sanierung des Bachlaufs erfolgte im Bereich der Gewässersohle mit Holzschwellen, die Böschungen wurden mit Blocksteinen und ingenieurbiologischen Einbauten wieder hergestellt. Beim Hochwasser im August 2005 wurden diese Sicherungen zerstört, woraufhin sich die Gemeinde Köniz «Abteilung Umwelt und Landschaft» bereit erklärte, im Rahmen einer Pilotmassnahme einen Abschnitt des Unterlaufs mit einer Pendelrampe zu sanieren.

4.2 Erstausführung der Pendelrampe im Jahr 2007

Die Planung und Ausführung der Pendelrampe erfolgte durch die Interessengemeinschaft «Wasserbau im Fluss» in enger Zusammenarbeit mit der Baubezirksleitung Bruck an der Mur/Steiermark (siehe auch: Beteiligte am Projekt Pendelrampe). Als Einbauort wurde der Mündungsbereich des Scherlibachs in die Sense gewählt, wo beim Hochwasser 2005 die grössten Schäden auftraten. Das Gewässer hatte sich, wie die Auswertung von Geländeaufnahmen zeigte, in diesem Bereich seit der Zerstörung der Sicherungen bereits um ca. 50 cm eingetieft. Mit dem Bau der Pendelrampe sollte die Stabilität des Sohlen- und Uferbereichs wiederhergestellt werden. Als wichtige Randbedingungen mussten die stark beengten Platzverhältnisse in diesem Bereich berücksichtigt werden, die den Spielraum für die Gestaltung der Rampe stark einschränkten. Insbesondere musste die bestehende Sohlenbreite des Scherlibachs von 4 bis 5 m beibehalten werden, eine Abflachung der Ufer (Neigung ≥ 1:1) war nicht möglich.

Die wichtigsten Eckdaten der Pendelrampe sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Aufgrund der beengten Platzverhältnisse musste das Gefälle mit 4,5 bis 5,4 % relativ hoch gewählt werden. Dies wird jedoch als unproblematisch beurteilt, da das Gefälle des Fliesswegs aufgrund der «Pendelbewegung» mit etwa 3% deutlich geringer ist. Darüber hinaus ist der Mündungsbereich des Scherlibachs der unteren Forellenregion zuzuordnen, daher werden primär schwimmstarke Fischarten erwartet.

Die aus Granitblocksteinen (Gewicht 2 bis 3 t) bestehenden Riegel wurden mit einem einheitlichen Quergefälle von 2,5% wechselseitig geneigt eingebaut, im Grundriss wurden die geradlinigen Riegel abwechselnd in einem Winkel von ca. 80° zum rechten bzw. linken Ufer angeordnet (Foto 2). Zwischen den Riegeln erfolgte keine Sicherung der Sohle, wodurch sich vielfältige Sohlenstrukturen mit ausgeprägten Kolken und damit guten Fischeinständen ausbilden konnten. Die Riegel wurden auf einem unterstrom eingebauten Stützstein gegründet, dem gleichzeitig die Funktion des Kolkschutzes zukam. Die Gründungstiefe lag bei etwa 1,2 m. Die Böschungen wurden ebenfalls mit Blöcken bis in eine Tiefe von 0,8 m unter der Sohle gesichert. Besondere Beachtung

1616_Ingenieur_3_09:1616_Ingenieur_1_06 23.3.2010 9:48 Uhr Seite 33

Foto 2: Erstausführung der Pendelrampe unmittelbar nach Fertigstellung im Mai 2007.
Photo 2: Première mise en service de la rampe pendulaire directement après son achèvement en mai 2007.

wurde der Bepflanzung der Böschung mit standorttypischen Sträuchern geschenkt, die neben der Stabilisierung auch der Beschattung und der weiteren ökologischen Aufwertung der Rampe dienen.
Die Bauausführung der Pendelrampe erfolgte grossteils im Mai 2007 im Rahmen einer Fachtagung mit Workshop, die von der Interessengemeinschaft «Wasserbau im Fluss» mit Unterstützung der Gemeinde Köniz organisiert wurde. Mit dem Einbau der Riegel wurde von unterstrom begonnen, um das entstehende Strömungsmuster sofort überprüfen und gegebenenfalls korrigieren zu können. Trotz stark beengter Platzverhältnisse und Steingewichten von bis zu 3 Tonnen konnte beim Einbau der Blocksteine mittels Baggerlöffel eine Genauigkeit in Lage und Höhe von 10 bzw. 5 cm erreicht werden.

4.3 Hochwasser im Juli und August 2007

Bei den beiden Hochwasserereignissen im Juli und August 2007, zwei Monate nach Fertigstellung, wurde die Pendelrampe lokal stark beschädigt. Die erste Analyse einer umfangreichen Videodokumentation der Ereignisse machte insbesondere deutlich, dass der Abfluss im Oberwasser der Rampe im Bereich eines glatten Brückendurchlasses bereits schiessend erfolgte. Am Beginn der rauen Pendelrampe bildete sich daher ein ausgeprägter Wechselsprung mit einem Wasserspiegelanstieg von etwa einem Meter aus, der zu einer starken Sohlen- und Uferbelastung führte. Der neu erstellte Blocksatz am linken Ufer und das anstehende Material wurden daher teilweise erodiert, die bestehende Betonmauer am rechten Ufer blieb unbeschädigt.

4.4 Optimierung und Neubau 2008

Da das Grundprinzip dieser Rampenbauweise sowohl aus hydraulischer als auch ökologischer Sicht sehr positiv beurteilt wird, erfolgte auf Basis der aus den Hochwassern gewonnenen Erkenntnisse eine standortangepasste Optimierung. Ein weiterer positiver Begleitumstand war die Zustimmung des Besitzers des angrenzenden Grundstücks zu einer Verbreiterung der Rampe, mit der insbesondere durch die Verringerung des breitenspezifischen Abflusses eine deutliche Entlastung der Rampe erreicht werden konnte.
Das erste Ziel der Interessengemeinschaft war es, die Geschehnisse intensiv zu analysieren und die entsprechenden Erkenntnisse bei einem Neubau einfliessen zu lassen. In der Gesamtbetrachtung wurde versucht, alle möglichen Ursachen für den Schaden zu berücksichtigen.
Gespräche mit den Anwohnern zeigten, dass sich seit dem Neubau einer uferparallelen Kanalisation (Abstand zum Scherlibach 3–5 m) die Uferstabilität verschlechtert hatte. Es wird angenommen, dass der Bau zu einer Bodenlockerung geführt hat und sich zudem bei Hochwasser ein Teilabfluss im Kieskörper zwischen Kanalisation und Bach konzentriert, was das Versagen des Ufers begünstigt.
Die weiteren Analysen zeigten ausserdem, dass die aus dem bereits erwähnten Wechselsprung im Zulaufbereich zur Rampe resultierende Ufererosion zu starken Querströmungen führte, die die Riegel zusätzlich belasteten.
Das Projekt konnte aufgrund dieser Erkenntnisse erweitert werden. Die neue Pendelrampe wurde daher ab der bestehenden Brücke bis hinunter zur Einmündung der Sense gebaut (Abb. 5). Die Gesamtlänge vergrösserte sich damit um 35 m auf 100 m. Das Gefälle wurde variabel von 1,7 bis 5,0% ge-

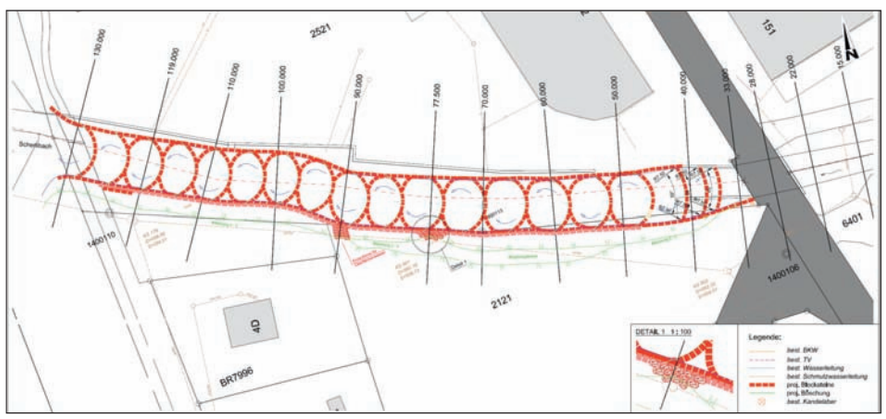

Abb. 5: Situationsplan der neuen Pendelrampe, Fliessrichtung von rechts nach links (Quelle: tagmar + partner AG).
Fig. 5: Plan de situation de la nouvelle rampe pendulaire, direction d'écoulement de droite à gauche (source: tagmar + partner AG).

1616_Ingenieur_3_09:1616_Ingenieur_1_06 23.3.2010 9:48 Uhr Seite 34

wählt, wobei das grösste Gefälle im mittleren Rampenbereich lag.

Fazit aus der Analyse der Hochwasserereignisse

- Dem Uferschutz muss besondere Beachtung geschenkt werden, da das anstehende kiesige Ufermaterial unter anderem in Folge eines uferparallelen Kanalisationsneubaus sehr instabil ist.
- Insbesondere der obere Teil der Rampe ist durch den Übergang vom Schiessen zum Strömen besonders belastet. Es müssen Massnahmen zur Verhinderung eines Wechselsprungs auf der eigentlichen Rampe oder eine lokale Erhöhung der Rampenstabilität umgesetzt werden.
- Die Riegelsteine müssen tiefer gegründet werden, um die Stabilität auch bei extremen Belastungen wie zum Beispiel in Folge von Querströmungen gewährleisten zu können.
- Die Bepflanzung aus einzelnen Sträuchern konnte aufgrund der kurzen Anwuchsphase von nur zwei Monaten bis zum Hochwasser keinen ausreichenden Schutz bilden. Oberhalb des Blocksatzes ist daher eine sofort wirksame ingenieurbiologische Sicherung zu wählen.

Optimierte Planung und Ausführung

Neben den auf der Hochwasseranalyse basierenden Verbesserungen konnten aufgrund der Erkenntnisse aus dem physikalischen Modellversuch an der TU Graz (Sindelar & Knoblauch 2009) zusätzliche Verbesserungen durch bauliche Anpassungen in das neue Projekt einfliessen. Diese Anpassungen beinhalten

- grössere und höhere Riegelsteine (Gewicht 3÷5 t, Höhe ≥ 1,5 m);
- Stützsteine ober- und unterhalb der eigentlichen Riegel (Gewicht der Stützsteine 2÷3 t, Kantenlänge ca. 1 m);
- wechselseitig vertiefte horizontale Riegel (Abb. 8) statt wechselseitig geneigte Riegel zur Vermeidung von Wellenbildung bei Hochwasser;
- eine Riegelausführung als Korbbogen (Abb. 8) mit Verankerung im Uferblocksatz;

Foto 3: Optimierte neue Pendelrampe mit bogenförmigen, in der Böschung verankerten Riegeln im September 2009.
Photo 3: La nouvelle rampe pendulaire optimisée avec des traverses courbées et ancrées dans le remblai, en septembre 2009.

- eine Sohlensicherung in den oberen drei Becken durch 50 cm unter der Sohle liegende Steinblöcke.

Zur Optimierung des besonders kritischen Zulaufbereichs zur eigentlichen Rampe führte die Firma bhc Projektplanung mit Unterstützung der Firma Proc-Eng Moser mit dem Programm «Fluent» 3D-Abflussmodellierungen für ein HQ_{100} von 25 m^3/s durch. Die Modellierungen zeigten, dass der Zulauf durch drei als Rauheitselemente dienende Blocksteinriegel (Höhe ca. 20 cm über der mittleren Sohle, Abstand 2 m) deutlich verbessert werden kann (Foto 4). Den Modellierungen zufolge tritt der Wechselsprung nun unmittelbar unterstrom der Brücke im Bereich der Blocksteinriegel auf, die in der lokal anstehenden Felssohle verankert wurden. Die Kompensation des Wasserspiegelanstiegs infolge der Rauheitswirkung konnte durch eine linksseitige Gewässeraufweitung um bis zu 2 m erreicht werden.

Neben dem Zulauf zur Rampe stellt die Gestaltung des Mündungsbereichs in

Foto 4: Riegel als Rauheitselemente zur Verringerung der Fliessgeschwindigkeit im Zulaufbereich zur Pendelrampe inklusive linksufriger Verbreiterung.
Photo 4: Traverse comme éléments de rugosité visant à réduire la vitesse d'écoulement dans la zone d'alimentation de la rampe, y compris élargissement sur la rive gauche.

1616_Ingenieur_3_09:1616_Ingenieur_1_06 23.3.2010 9:48 Uhr Seite 35

Foto 5: Gestaltung des Mündungsbereichs in die Sense.
Photo 5: Configuration de la zone d'embouchure dans la Sarine.

	Erstausführung	**Neubau**
Länge L [m]	65	100
Fallhöhe gesamt ΔH [m]	3,35	3,92
Absturzhöhe am Riegel Δh [m]	≤ 0,20	≤ 0.20
Abstand Riegel [m]	3,70 ÷ 4.50	5.00 ÷ 6.00
Gefälle I [%]	4,5 ÷ 5.4	1,7 ÷ 5.0
Sohlenbreite b [m]	4 ÷ 5	7
Riegel:		
Gewicht Riegelsteine [t]	2 ÷ 3	3 ÷ 5
Höhe Riegelsteine [m]	1,20	1,50 ÷ 1.70
Gründung / Kolkschutz	Stützsteine (2 ÷ 3 t) unterhalb Riegel	Stützsteine (2 ÷ 3 t) ober- + unterhalb Riegel
Grundriss	gerade	bogenförmig
Querneigung [%]	2,5	horizontal, wechselseitig vertieft
Sohlenmaterial:	wie anstehend	obere 3 Becken: Blöcke ca. 50 cm unter der Sohle, darüber Sohlenmaterial der Sense; restliche Becken: Sohlenmaterial der Sense
Ufersicherung:	Blocksatz (Neigung ≥ 1:1), darüber Sträucher	Blocksatz (Neigung ≥ 2:3), darüber Sträucher mit Ansaat oder Buschlagen, zusätzlich durchgängig Jutegewebe
Besonderheiten		zusätzliche Steinriegel als Rauheitselemente im Zulaufbereich

Tab. 1: Vergleich der Erstausführung mit der neuen Pendelrampe.
Tab. 1: Comparaison de la première mise en service avec la nouvelle rampe pendulaire.

die Sense eine weitere Besonderheit dar. Um unterhalb des letzten Rampenriegels eine «Deltabildung» durch Geschiebeablagerungen und damit einhergehenden geringen Fliesstiefen zu vermeiden, wird der Abfluss auch unterstrom der Rampe durch lokale Verengungen des Querschnittes gebündelt und somit die biologische Durchgängigkeit optimiert (Foto 5).

Auf eine massive Ufersicherung mit Blocksteinen in Kombination mit Jutegewebe als Erosionsschutz konnte in weiten Teilen trotz der infolge der induzierten Spiralströmungen verringerten ufernahen Fliessgeschwindigkeiten (s. Abschnitt 3) nicht verzichtet werden. Die Ufer mussten aufgrund der nach wie vor stark beengten Platzverhältnisse sehr steil ausgeführt werden und konnten daher nur lokal mit Buschlagen in Kombination mit standortgerechten Sträuchern weich gesichert werden (Foto 6).

Tabelle 1 fasst die wesentlichen Kenngrössen und baulichen Besonderheiten der ursprünglichen und der neuen Pendelrampe vergleichend zusammen.

5 Ausblick und Schlussbetrachtung

Bei dem Wiederaufbau der Pendelrampe nach den Hochwasserereignissen 2007 konnten umfangreiche neue Erkenntnisse in das Projekt integriert werden. Weitere Verbesserungen ergaben sich aus der Möglichkeit, dem Scherlibach im Rampenbereich mehr Raum zu geben. Die Erfahrungen ein Jahr nach der Umsetzung zeigen, dass durch die neue Riegelanordnung in Kombination mit angeschwemmtem Totholz eine grosse Strömungsvielfalt mit dynamischen Sohlenstrukturen entstanden ist, die Gewässerorganismen gute Lebensbedingungen bietet. Die Stabilität der Riegel und Böschungen und damit der Pendelrampe als Ganzes konnte allen Erkenntnissen nach deutlich verbessert werden. Eine erste Bewährungsprobe wird sicher nicht lange auf sich warten lassen.
Pendelrampen sind eine sehr gute Ergänzung zu den bisher bekannten Rampenbauweisen. Sie stellen die biologi-

1616_Ingenieur_3_09:1616_Ingenieur_1_06 23.3.2010 9:48 Uhr Seite 36

sche Durchgängigkeit wieder her, dienen gleichzeitig als Lebensraum und fügen sich gut in das Landschaftsbild ein. Die induzierten Spiralströmungen führen zu einer Entlastung der Ufer. Der Uferschutz kann daher in der Regel oberhalb des einjährlichen Hochwasserstands auf naturnahe und kostengünstige ingenieurbiologische Bauweisen reduziert werden.

Trotz umfangreicher positiver Erfahrungen zeigen die Ereignisse am Scherlibach auch, dass weitere Forschung und die Entwicklung allgemeingültiger Bemessungsansätze wünschenswert und auch notwendig sind. Aus diesem Grund wird die aktuelle Forschungstätigkeit an der TU Graz sehr begrüsst. Darüber hinaus sind aber auch weitere «Naturversuche» wie am Scherlibach notwendig, um insbesondere praxisrelevante Erfahrungen zu sammeln und die Eignung der Rampen als Aufstiegshilfen und Lebensraum weiter optimieren zu können.

Foto 6: Lokale Böschungssicherung mit Buschlagen (Bauzustand).
Photo 6: Consolidation locale du remblai avec des lits de plançons (en construction).

Beteiligte am Projekt Pendelrampe

Bauherr
Gemeinde Köniz – Abteilung Umwelt und Landschaft
Ansprechpartner: Rolf Fuchs

Planung
Edi Gassmann, tagmar + partner AG, Dagmersellen

Bauleitung
Beat Scheuter, GmbH Scheuter, Baar

Edi Gassmann, tagmar + partner AG, Dagmersellen

Baufirmen
Witschi AG, Langenthal
Kästli AG, Ostermundigen
Witschi, Langenthal

Beratung Flussbau
Otmar Grober, Baubezirksleitung Bruck a.d. Mur
Christine Sindelar, TU Graz
Matthias Mende, IUB AG, Bern

Beratung Landschaft
Jörg Wetzel, atelier georegio, Burgdorf

Hydraulik
Peter Schmocker, bhc Projektplanung, Wimmis; ProcEng Moser, Siselen

Literatur

HAFNER, T. (2008): 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.

MECKEL, H. (1978): Spiralströmungen und Sedimentbewegung in Fluss- und Kanalkrümmun-gen. Wasserwirtschaft 10, S. 287–294.

MEYENBURG, I. (2007): Einfluss der Anordnung und Geometrie von Lenkbuhnen auf ihre hydraulische Wirkung. Diplomarbeit am Leichtweiss-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig (unveröffentlicht).

ODGAARD, A. J. (2009): River Training and Sediment Management with Submerged Vanes. American Society of Civil Engineers, ASCE Press, ISBN 978-0-7844-0981-7, 171 Seiten.

PRANDTL, L.; OSWATITSCH, K.; WIEGHARDT, K.; DETTMERING, W. (1993): Führer durch die Strömungslehre. 9. verbesserte und erweiterte Auflage, Vieweg-Verlag Braunschweig.

ROLKER, I. (2004): Vergleich einer «Pendelrampe» mit konventionellen Bauweisen rauer Rampen. Diplomarbeit am Leichtweiss-Institut für Wasserbau der TU Braunschweig, 106 Seiten.

ROZOVSKII, I.L. (1957): 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).

SINDELAR, C.; KNOBLAUCH, H. (2009): Modellversuch zur Dimensionierung einer Pendelrampe an der Grossen Tulln. Ingenieurbiologie, Mitteilungsblatt Nr. 3, September 2009.

SINDELAR, C; MENDE, M. (2009): Lenkbuhnen zur Strukturierung und Stabilisierung von Fliessgewässern. Wasserwirtschaft 1–2, S. 70–75.

Kontaktadressen

Matthias Mende
IUB Ingenieur-Unternehmung AG
Thunstrasse 2
CH-3005 Bern
E-Mail: matthias.mende@iub-ag.ch

Edi Gassmann
tagmar + partner ag
Baselstrasse 59
CH-6252 Dagmersellen
E-Mail: edi.gassmann@tagmar.ch