

# Verwendung von Lenkbuhnen im naturnahen Gewässerunterhalt am Beispiel der Kempt in Fehraltorf / Kanton Zürich

Matthias Mende, Adrian Huber, Silke Schlienger, Fritz Studer

## Zusammenfassung

Der Gewässerunterhalt muss heute neben rein wasserbaulichen Aufgaben vermehrt ökologische Zielsetzungen erfüllen. Hierzu zählt z.B. die Wiederherstellung der Fischgängigkeit oder die Strukturierung von Sohle und Ufer. Am Beispiel einer Unterhaltsmassnahme an der Kempt konnte gezeigt werden, dass Lenkbuhnen, in Kombination mit anderen Massnahmen, auch für kleine Gewässer eine geeignete Bauweise sein können, um diese vielfältigen Aufgaben zu erfüllen.

Entlang der Kempt traten unterhalb von Fehraltorf ZH Vernässungsprobleme auf angrenzenden Kulturlandflächen auf. Grund für die Vernässung waren Auflandungen im Bachbett, die die Wirkung der einmündenden Drainagen beeinträchtigten. Im Rahmen des Gewässerunterhalts wurden die Auflandungen entfernt und ein Lenkbuhnen-system eingebaut. Ziel war es, durch lokale Einengungen der Sohle den Geschiebetrieb auch im Bereich der Auflandungen aufrecht zu halten und so zukünftige Sedimentationen zu verhindern. Ergänzend hierzu wurden sanierungsbedürftige Schwellen durch wechselseitig angeordnete Lenkbuhnen («Lenkbuhnenrampe») ersetzt und weitere Lenkbuhnen zur Strukturierung eingebaut. Im vorliegenden Artikel wird die Planung und Dimensionierung des Buhnen-systems beschrieben und auf die Erfahrungen beim Bau und bei einer späteren Optimierung eingegangen.

## Keywords

Lenkbuhnen, Instream River Training, Gewässerunterhalt, Sohlenstrukturierung

## Utilisation des épis de direction pour un entretien des cours d'eau proche de la nature à l'exemple de la Kempt à Fehraltorf ZH

### Résumé

En plus des fonctions d'aménagement purement hydraulique, l'entretien des cours d'eau doit aujourd'hui de plus en plus répondre à des objectifs écologiques. Cela inclut par exemple la restauration de la libre migration des poissons ou la structuration du lit et des berges. En utilisant l'exemple d'une mesure d'entretien sur la Kempt, il a été démontré que, en combinaison avec d'autres mesures, des micro-épis peuvent également convenir à de plus petits cours d'eau afin de remplir ces diverses tâches.

Le long de la Kempt en aval de Fehraltorf ZH, il y avait des problèmes de saturation du sol par l'eau sur les terres cultivées adjacentes. La raison de l'engorgement était des atterrissements dans le lit du cours d'eau ayant affecté l'effet des drainages entrant. Dans le cadre de l'entretien du cours d'eau, les atterrissements ont été retirés et un système de micro-épis a été mis en place. L'objectif était de maintenir le charriage de fond droit dans la zone d'atterrissement par un rétrécissement local du lit, empêchant ainsi toute sédimentation future. En plus de cela, les traverses nécessitant un réaménagement ont été remplacées par des micro-épis disposés en alternance («rampe micro-épis»), tandis que d'autres micro-épis ont été mis en place pour la structuration. Dans cet article, la planification et le dimensionnement du système des seuils sont décrits et les expériences acquises pendant la construction et lors d'une optimisation ultérieure ont été abordées.

## Mots-clés

Micro-épis, Formation River Instream, entretien des cours d'eau, structuration du lit, Instream River Training

## Uso di pennelli nella manutenzione di corsi d'acqua rispettosa della natura: l'esempio del fiume Kempt a Fehraltorf ZH

### Riassunto

Al giorno d'oggi, oltre ai classici compiti d'ingegneria idraulica, la manutenzione dei corsi d'acqua deve raggiungere sempre più spesso determinati criteri ecologici. Tra questi vi sono per esempio la libera migrazione piscicola o alveo e sponde con strutture. Sulla base di una misura di manutenzione sul fiume Kempt è stato dimostrato che i pennelli per deviare la corrente, in combinazione con altre misure, possono essere un tipo di opera appropriata per raggiungere questi obiettivi anche lungo piccoli corsi d'acqua. Lungo il fiume Kempt, a valle di Fehraltorf ZH, si verificavano problemi di ristagno sulle superfici agricole vicine. Di fatto, i depositi di materiale in alveo compromettevano il funzionamento dei canali di drenaggio che scaricano nel fiume. Durante la manutenzione del fiume è stato rimosso il materiale depositato e costruito un sistema di pennelli. L'obiettivo è di mantenere attivo il trasporto solido di fondo grazie al restringimento locale dell'alveo e di evitare futuri depositi di materiale. Inoltre, le briglie da sostituire sono state sostituite con pennelli disposti in modo alternato («rampa di pennelli») e altri pennelli sono stati aggiunti per aumentare le strutture in alveo. L'articolo descrive la pianificazione e il dimensionamento del sistema di pennelli, l'esperienza acquisita durante la costruzione e l'ottimizzazione avvenuta più tardi.

**Parole chiave**

*Pennelli, Instream River Training, Manutenzione di corsi d'acqua, Struttura dell'alveo*

**1. Einleitung**

Die Anforderungen an den Gewässerunterhalt haben in den letzten Jahrzehnten wesentlich zugenommen. Bis in die 1980er Jahre standen die Gewährleistung der Vorflut und der Gerinnestabilität sowie der Hochwasserschutz im Vordergrund. Heute rücken neben diesen Aufgaben vermehrt ökologische Zielsetzungen in den Fokus. Hierzu gehören z.B. die Wiederherstellung der Fischgängigkeit, die Strukturierung von Sohle und Ufer, der Aufbau und die Entwicklung ökologisch wertvoller Ufer- und Gehölzsäume und die Gewährleistung der Geschiebedurchgängigkeit. Die gewählten Lösungen zur Erfüllung dieser Aufgaben sollen, nicht zuletzt aus Kostengründen, möglichst nachhaltig sein. Hierdurch können auch häufige und störende Eingriffe in das Ökosystem Fließgewässer (z.B. Baggerungen) vermieden werden.

Eine wichtige Bauweise zur Erfüllung dieser vielfältigen Aufgaben sind Lenkbuhnen. Lenkbuhnen werden bereits bei Niedrigwasserabfluss vollständig

überströmt und können sowohl zur Gewässerstabilisierung als auch zur Gewässerstrukturierung verwendet werden (Sindelar & Mende 2009), wobei auch eine «reine» Stabilisierung immer mit einer gewissen Strukturierung einhergeht. Werden sie zum Uferschutz eingesetzt (Abb. 1), führen sie zu einer Entlastung der Ufer und erlauben so auch die vermehrte Verwendung naturnaher ingenieurbioologischer Bauweisen anstelle eines harten Uferverbau, wie z.B. Blocksatz (Mende 2014). Zusätzlich erhöhen sie die Strömungs- und damit Strukturvielfalt im Bereich der Gewässersohle. Weitere Anwendungsgebiete sind das Geschiebemanagement (z.B. Vermeidung störender Auflandungen durch lokale Erhöhung der Fließgeschwindigkeit) und der Ersatz von Sohlenschwellen, die die biologische Durchgängigkeit vielfach beeinträchtigen und zu einer monotonen Gewässerstruktur führen.

Im Folgenden werden am Beispiel eines im Sommer 2016 im Rahmen des Gewässerunterhalts realisierten Lenkbuhnen systems an der Kempt in Fehraltorf ZH die verschiedenen Einsatzgebiete von Lenkbuhnen an kleineren Fließgewässern weitergehend erläutert. Es werden Angaben zur Projektierung und Dimensionierung der Buhnen gemacht

und die Erfahrungen beim Bau und bei einer Optimierung des Systems im September 2017 beschrieben.

**2. Projektgebiet und Problemstellung**

Das Projektgebiet liegt in der Gemeinde Fehraltorf unterhalb der Ortslage und umfasst einen Bachabschnitt von ca. 250 m Länge (GEWISS-km 9.95–9.70). Der Bach ist in diesem Gebiet stark begradigt und monoton (Abb. 2). Die weitgehend ebene Sohle wurde mit zahlreichen Schwellen stabilisiert, die teilweise sanierungsbedürftig sind (Abb. 3). Positiv hervorzuheben ist die sichere Wasserführung der Kempt ( $Q_{347} = 67 \text{ l/s}$  und  $MQ = 380 \text{ l/s}$  am Pegel Fehraltorf (Periode 1991–2016), der augenscheinlich intakte Geschiebehaushalt mit wenig Kolmation sowie der standortgerechte Gehölzsaum mit ausreichend Beschattung.

Das Bachumfeld ist landwirtschaftlich intensiv genutzt und wird durch Drainagen entwässert, die in die Kempt münden. In den letzten Jahren traten auf einigen Flächen verstärkt Vernässungsprobleme auf (Abb. 4), was auf Auflandungen im Bereich der Brücke bei GEWISS-km 9.805 zurückgeführt wurde (Abb. 5 und Abb. 6). Die Auflandungen erzeugen einen Rückstau in die Drainageleitungen



Abbildung 1: Lenkbuhnen zum Schutz eines Prallufers der Mürz/Steiermark. Die Lenkbuhnen schliessen unmittelbar an den bestehenden Blocksatz am linken Ufer an, der vollständig erhalten werden konnte und seit dem Einbau stabil ist (Blick in Fließrichtung; Mende 2012)

*Figure 1: micro-épis pour la protection d'une berge affouillée de la Mürz/Steiermark. Les micro-épis suivent immédiatement l'enrochement existant situé sur la rive gauche, complètement préservé et stable depuis l'installation (vue dans le sens de l'écoulement, Mende 2012)*



Abbildung 2: Begradigte und strukturalme Kempt im Projektgebiet (Blick in Fließrichtung,  $Q = 450 \text{ l/s}$ )

*Figure 2: La Kempt canalisée et pauvre en structures dans la zone du projet (vue dans le sens de l'écoulement,  $Q = 450 \text{ l/s}$ )*





Abbildung 3: Beschädigte Sohlenschwelle (Q = 450 l/s)  
 Figure 3: Seuil enterré endommagé (Q = 450 l/s)



Abbildung 4: Vernässungsprobleme auf Kulturlandflächen rechts der Kempt  
 Figure 4: Problèmes d'engorgement des terres cultivées sur la droite de la Kempt

und verschlechtern so die Entwässerung des Kulturlands.

Das Ziel des Kantons Zürich war es, das Problem durch möglichst einfache und gleichzeitig dauerhaft wirksame flussbauliche Massnahmen zu lösen, die im Rahmen des Gewässerunterhalts umgesetzt werden können. Massnahmen, die nur eine temporäre Verbesserung bewirken (z.B. Entnahme der Auflandungen mit einem Bagger) wurden von vorne herein nicht in Betracht gezogen.

Im März 2015 wurde die IUB Engineering AG vom Kanton beauftragt, das Auflandungsproblem zunächst zu analysieren und die Ursachen zu bestimmen. Darauf aufbauend sollte dann ein Lenkbahnensystem entwickelt werden, mit dem die Entwicklung von Ablagerun-

gen dauerhaft vermieden werden kann. Ergänzend sollten auch die baufälligen Schwellen rückgebaut und durch uneingeschränkt fischgängige Einbauten ersetzt werden.

### 3. Problemanalyse

Zur Analyse des Problems standen neben den Beobachtungen vor Ort Vermessungsdaten des Büros Gossweiler Ingenieure AG vom März 2015 zur Verfügung. Zunächst wurde ein Längsprofil (inkl. Wasserspiegel, mittlerer Sohlenlage und Mündungskoten der Drainagerohre) erstellt und dem Verlauf der Veränderung der Sohlenbreite in Längsrichtung gegenübergestellt (Abb. 7). Die Auflandung im Brückenbereich ist im Längsprofil gut zu erkennen,

ebenso wie die hier rückgestauten Mündungen zweier Drainagerohre. Die Gegenüberstellung des Längsprofils und der Sohlenbreite in Längsrichtung verdeutlicht, dass die Auflandungen im Bereich der grössten Sohlenbreite liegen. Das Ausbauprofil im Brückenbereich wurde grösser gewählt als auf den angrenzenden Strecken und hat sich durch Ufererosion unterstrom der Brücke weiter verbreitert. Aus dieser Beobachtung wurde geschlossen, dass die Sedimentationstendenz im Brückenbereich auf die grössere Sohlenbreite und die damit verringerte Fließgeschwindigkeit und Sohlschubspannung zurückzuführen ist.



Abbildung 5: Auflandungen oberstrom der Brücke bei GEWISS-km 9.790 (Blick in Fließrichtung, Q = 450 l/s)  
 Figure 5: Atterrissement en amont du pont à GEWISS-km 9.790 (vue dans le sens d'écoulement, Q = 450 l/s)



Abbildung 6: Auflandungen unterstrom der Brücke bei GEWISS-km 9.805 (Blick in Fließrichtung, Q = 450 l/s)  
 Figure 6: Atterrissement en aval du pont à GEWISS-km 9.805 (vue dans le sens de l'écoulement, Q = 450 l/s)



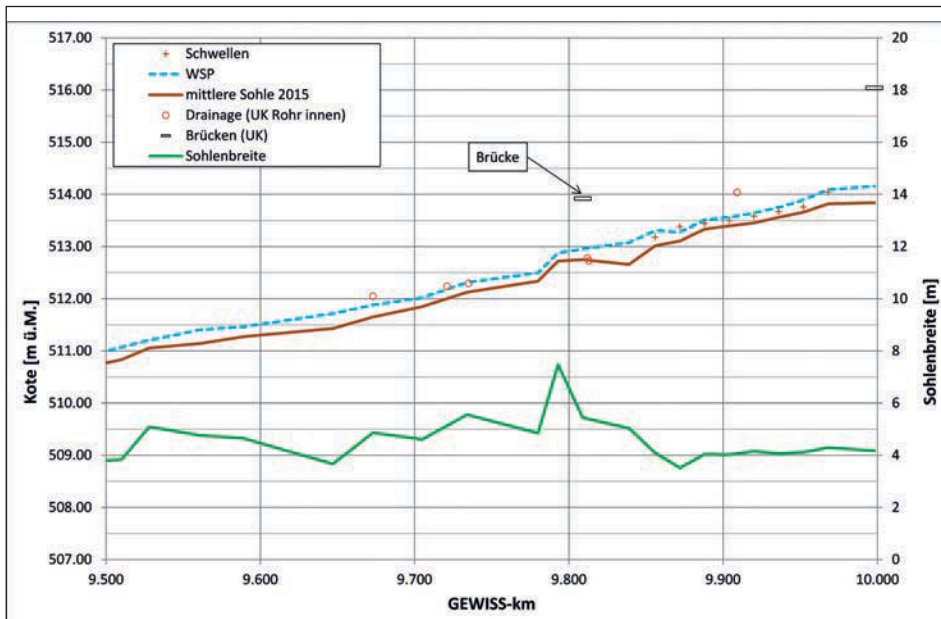


Abbildung 7: Längenprofil der Kempt im Projektgebiet mit Gegenüberstellung der Sohlenbreite im Längsverlauf

Figure 7: Profil en long de la Kempt dans la zone du projet avec une comparaison de la largeur du lit en profil longitudinal

## 4. Projektiertes Lenkbunnen-system

### 4.1 Konzept

Zur dauerhaften Lösung des Auflandungsproblems muss die Geschiebetransportkapazität der Kempt im Bereich der Auflandungen erhöht werden, was nur durch eine lokale Erhöhung der Fließgeschwindigkeit zu erreichen ist. Es wurde daher ein Lenkbunnen-system entwickelt, bei dem durch die Abflusskonzentration auf die Gewässermitte mit sogenannten «Strömungstrichtern» ein Talweg mit erhöhter Fließgeschwindigkeit entsteht, durch den ein kontinu-

ierlicher Geschiebetrieb gewährleistet werden kann (Abb. 8). Da Lenkbunnen sehr niedrige Gewässereinbauten sind, muss vor ihrem Einbau zunächst einmalig die Auflandung weggebaggert werden. Andernfalls lägen sie unter der Sohle und wären nicht wirksam. Ergänzend zu den gewählten Massnahmen im Brückenbereich wurde als Ersatz für die sanierungsbedürftigen Schwellen ein System aus in engem Abstand gesetzten, wechselseitig angeordneten Lenkbunnen gewählt (Abb. 8). Das Ziel dieser neu entwickelten «Lenkbunnenrampe» ist es, die Sohle durch eine Verlängerung

des Fließwegs und damit eine Verringerung des effektiven Sohlengefälles zu stabilisieren. Der Vorteil dieses Systems liegt insbesondere darin, dass die Lenkbunnen im Gegensatz zu klassischen Rampenriegeln nicht über die gesamte Gewässerbreite verlaufen, womit auch die Durchgängigkeit des Sohlensubstrats uneingeschränkt gegeben ist.

Um den ökologischen Wert des Projekts weiter zu erhöhen, wurde es über den eigentlichen «Problembereich» hinaus auf eine Gesamtlänge von 250 m ausgeweitet. Zusätzlich zu den Massnahmen gegen Auflandungen und dem Ersatz der Schwellen wurden weitere Lenkbunnen in Form von Strömungstrichtern und einseitigen Bunnen vorgesehen, um die Strömungs- und Strukturvielfalt auf einer grösseren Strecke zu erhöhen und gleichzeitig ein leicht gewundenes Niederwassergerinne zu entwickeln.

### 4.2 Dimensionierung

Im gesamten Projektperimeter wurden ausschliesslich inklinante Lenkbunnen geplant, um die Strömung von den Ufern wegzulenken und Uferschäden zu vermeiden. Form und Länge der Lenkbunnen wurden jeweils leicht variiert, um ein vielfältiges Strömungs- und naturnahes Erscheinungsbild zu entwickeln. Bei der Projektierung der Lenkbunnen wurde ein besonderes Gewicht auf die Höhenlage der Lenkbunnen gelegt. Nur wenn die Bunnen in ihrer Höhenlage gut aufeinander abgestimmt sind, können sie die gewünschte Wirkung erzielen.

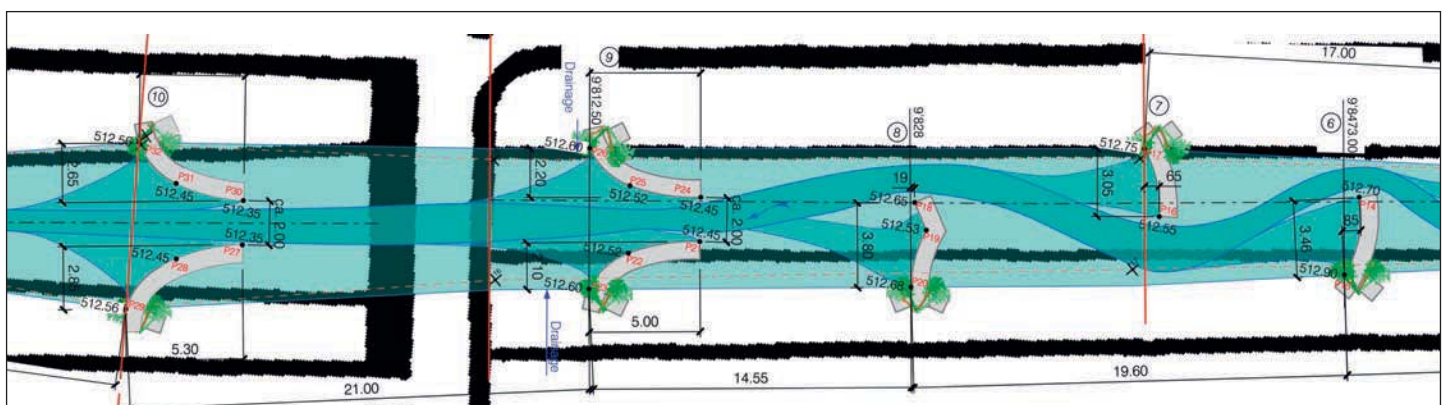


Abbildung 8: Situation des geplanten Lenkbunnen-system (Ausschnitt) mit zwei Strömungstrichtern im Brückenbereich und wechselseitig angeordneten Lenkbunnen («Lenkbunnenrampe») als Ersatz für die sanierungsbedürftigen Schwellen (Fließrichtung von rechts nach links)

Figure 8: Situation du système des micro-épaves planifié (détail) avec deux formes entonnoirs pour diriger le courant dans la zone du pont et des micro-épaves disposés en laternance («rampe des micro-épaves») comme remplacement des seuils nécessitant un assainissement (direction d'écoulement de droite à gauche)

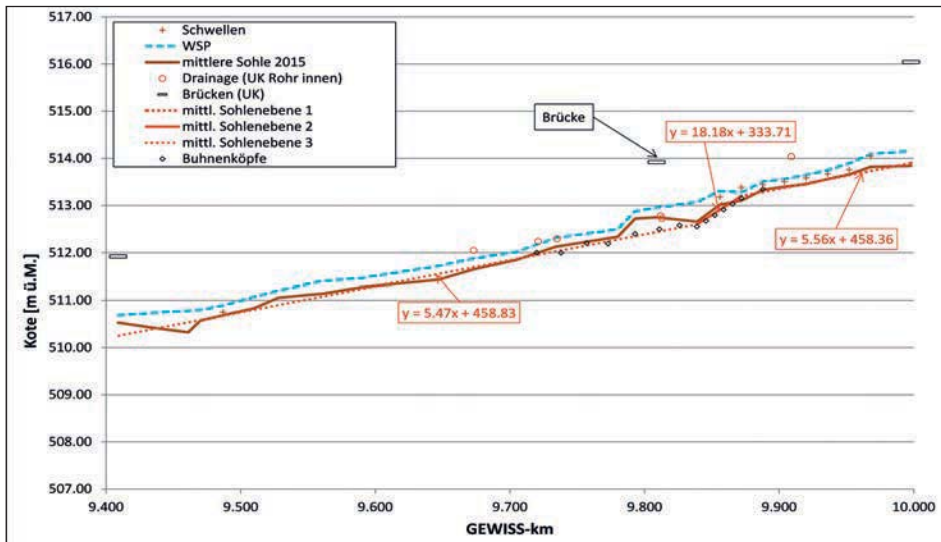


Abbildung 9: Längensprofil der Kempt im Projektgebiet mit mittleren Sohlenebenen inkl. Näherungsfunktionen und Lenkbuhnenköpfen

Figure 9: Profil longitudinal de la Kempt dans la zone du projet avec les niveaux moyens du lit, y compris fonctions d'approximation et têtes des micro-épis

Das Bezugsniveau für die Festlegung der Höhenkoten ist die «mittlere Sohlenebene» (Mende 2014). Die mittlere Sohlenebene ist eine über die Sohlenbreite und die Fliessstrecke gemittelte Sohlenlage. Zur Bestimmung der mittleren Sohlenebene wird zunächst für jedes vorhandene Profil des Projektperimeters die mittlere Sohlenlage berechnet. In einem weiteren Schritt wird dann ein Längensprofil mit der mittleren Sohlenlage erstellt und eine lineare Näherungsfunktion bestimmt, mit der für

jede beliebige Station des Perimeters die lokale Höhenkote auf der mittleren Sohlenebene berechnet werden kann. Zur Berechnung der Höhenlage geplanter Lenkbuhnen wird zunächst mit Hilfe der Näherungsfunktion die Höhenkote der mittleren Sohlenebene am Einbauort berechnet und dann die gewählte Höhe der Buhnen addiert. Durch diese Vorgehensweise kann die Höhenlage der einzelnen Lenkbuhnen optimal aufeinander abgestimmt werden.

Auch für die Kempt wurde die mittlere Sohlenebene bestimmt (Abb. 9). Hier besteht jedoch ein Sonderfall, da das Gefälle am Ende der vorhandenen Sohlenschwellen (ca. GEWISS-km 9.90–9.84, Abb. 7 und 9) deutlich höher ist als ober- und unterstrom. Aus diesem Grund wurde je eine mittlere Sohlenebene für den Bereich oberhalb der Schwellen, den steilen Bereich der Schwellen und den Bereich unterhalb der Schwellen hergeleitet. Zur Stabilisierung der Steilstrecke wurde die bereits oben beschriebene «Lenkbuhnenrampe» projektiert.

Die Höhe der Lenkbuhnen wurde so gewählt, dass sie am Ufer 15 cm über der mittleren Sohlenebene liegen und zur Bachmitte hin linear auf ± 0 cm abfallen. Geht die Buhne über die Bachmitte hinaus, liegt der Kopf unter der mittleren Sohlenebene. Grundsätzlich wird empfohlen, die Lenkbuhnen im Zweifelsfall eher zu tief als zu hoch einzubauen, da sie im Bedarfsfall nachträglich mit geringem Aufwand erhöht werden können. Hierzu muss der Bagger den gesetzten Stein lediglich greifen und leicht anheben, so dass der Flusskies unter ihn rutscht. Ein nachträgliches Tieferlegen der Steine ist hingegen weit aufwändiger. Hierzu müssen die Steine ausgebaut werden, Kies entnommen und die Steine wieder eingebaut werden.



Abbildung 10: Depot formwilder, mehrheitlich annähernd kubischer Blocksteine im Steinbruch

Figure 10: Dépôt en vrac, principalement des blocs cubiques dans la carrière



Abbildung 11: «Lenkbuhnenrampe» zwei Wochen nach Fertigstellung. Die Hinterkante der Lenkbuhnen bildet eine Linie (rot gestrichelt) und die Steine wurden mit in Fliessrichtung um 5 bis 10 cm ansteigender Oberfläche eingebaut (Blick in Fliessrichtung,  $Q = 460 \text{ l/s}$ )

Figure 11: «Rampe des micro-épis» deux semaines après sa finition. Le bord arrière des micro-épis forme une ligne (en rouge traitillé) et les pierres ont été encastrées dans la direction de l'écoulement 5 à 10 cm dans la surface ascendante (vue dans dans le sens de l'écoulement,  $Q = 460 \text{ l/s}$ )





Abbildung 12: Uferanbindung einer Lenkbuhne mit Weidenbuschlagen (Fließrichtung von unten rechts nach oben links)  
 Figure 12: Raccordement à la berge d'un micro-épi avec des lit de plançons (sens de l'écoulement d'en bas à droite à en haut à gauche)



Abbildung 13: Strömungstrichter unterstrom der Brücke (GEWISS-km 9.790), im Bereich der ehemaligen Auflandungen (vgl. Abb. 6) mit Rot gestrichelt dargestellten Bühnhinterkanten (Blick in Fließrichtung,  $Q = 240 \text{ l/s}$ )  
 Figure 13: Entonnoir pour diriger le courant sous le pont (GEWISS-km 9.790) dans la région des anciens atterrissements (cf. Figure 6) avec les bords de fuite des épis en rouge traitillé (vue dans le sens de l'écoulement,  $Q = 240 \text{ l/s}$ )

Bei der Planung der Bühnenlängen wurde das «Drittelprinzip» angewandt, d.h. einseitige Lenkbühnen reichen über  $\frac{2}{3}$  der Sohlenbreite, das Drittel der Sohle zwischen Bühnenkopf und Ufer bleibt offen. Bei den Strömungstrichtern, also beidseitig gegenüberliegend angeordneten Lenkbühnen, bleibt das mittlere Drittel der Sohle offen, d.h. die beiden Bühnen nehmen in der Summe ebenfalls  $\frac{2}{3}$  der Sohlenbreite ein. Im breiten Bereich der Brücke wurde von diesem Prinzip leicht abgewichen und die Öffnungsbreite in der Mitte der Trichter etwas schmaler als  $\frac{1}{3}$  der Sohlenbreite gewählt (vgl. Abb. 13). Die

Öffnungsbreiten wurden so bei allen Lenkbühneneinbauten ähnlich gewählt und sind damit gut aufeinander abgestimmt.

Der Abstand der Lenkbühnen in Fließrichtung wurde in diesem völlig geraden Abschnitt zwischen 15 und 25 m variiert, was etwa 3–5 Sohlenbreiten entspricht. Im Bereich der Auflandungen wurde der Abstand am engsten gewählt, um hier die Entwicklung eines durchlaufenden Talwegs mit erhöhter Fließgeschwindigkeit gewährleisten zu können. In Bereichen, wo die Lenkbühnen abschliesslich der Strukturierung dienen, wurde ein grösserer Abstand gewählt.

Abweichend hiervon wurden die Lenkbühnen im Abschnitt der «Lenkbühnenrampe», der mit einem Gefälle von 1,8% recht steil ist, in einem Abstand von 8 m und damit wesentlich enger gesetzt. Insgesamt wird an der aus 5 Lenkbühnen bestehenden «Rampe» ein Höhenunterschied von 0.75 m abgebaut, d.h. 15 cm von Bühne zu Bühne.

## 5. Ausführung

Zu Beginn der Ausführung wurden zunächst die Auflandungen im Brückenbereich bis auf das Niveau der mittleren Sohlenebene abgetragen. Lokal mussten bis zu 50 cm Kies abgetragen wer-



Abbildung 14: Vergleich des Strömungstrichters oberstrom der Brücke (Blick gegen Fließrichtung) bei GEWISS-km 9.805 vor (links,  $Q = 460 \text{ l/s}$ ) und nach der Optimierung im September 2017 (rechts,  $Q = 470 \text{ l/s}$ )  
 Figure 14: Comparaison des directions du courant en amont du pont (vue contre le sens d'écoulement) à GEWISS-km 9.805 avant (à gauche,  $Q = 460 \text{ l/s}$ ) et après l'optimisation en septembre 2017 (à droite,  $Q = 470 \text{ l/s}$ )



den, der der Kempt im Unterlauf wieder zugegeben wurde. Die Kiesentnahme wurde, ebenso wie der anschließende Einbau der Lenkbuhnen, mit dem Schreitbagger des Gewässerunterhalts durchgeführt.

Zum Bau der Lenkbuhnen wurden Blocksteine aus Alpenkalk mit einer Masse zwischen ca. 1,0 und 1,5 t verwendet. Die Buhnen werden riegelartig gebaut, d.h. die Blocksteine werden in einer Linie nebeneinander gesetzt. Auf Kolk-schutzsteine unter dem eigentlichen Lenkbuhnenriegel wurde aufgrund der als gering eingeschätzten Kolk-tendenz in dem geraden Bachabschnitt verzichtet. Um trotz des nur einreihigen Aufbaus eine ausreichende Bauwerksstabilität gewährleisten zu können, wurde eine eingebaute Steinhöhe von mindestens 80 cm vorgegeben. Um diese Vorgabe erfüllen zu können, wurden die Steine meist mit ihrer längeren Seite in die Sohle eingebunden.

Neben der Einbindetiefe ist für eine hohe Bauwerksqualität auch die Stein-form wichtig. Es werden formwilde, aber annähernd kubische Steine benötigt, die gut kraftschlüssig im Verband gesetzt werden können (Abb. 10). Um diese Steinqualität zu bekommen, wurden vorgängig eine Steinbruchbegehung durchgeführt und die Vorgaben mit dem Lieferanten abgesprochen.

Für den Einbau wurde eine Genauigkeit in der Höhe von  $\pm 5$  cm und in der Lage von  $\pm 20$  cm angestrebt. Die angegebenen Koten und auch die Lage gelten für die Hinterkante der Steine (Luvseite), die weitgehend eine Linie bilden sollte (Abb. 11). Die Steine sind in Fliessrichtung leicht ansteigend einzubauen, um die Bildung von Vorkolken zu verringern.

Um ein Hinterspülen der Buhne am Ufer zu verhindern, wurde sie rund einen halben Meter weit ins Ufer eingebunden. Zusätzlich wurde oberstrom der eigentlichen Lenkbuhne ein Uferschutzstein eingebaut und über den Buhnensteinen eine Weidenbuschlage eingelegt (Abb. 12).

Die Bauzeit für die gesamte Massnahme, d.h. die Kiesentnahme und der Bau von 6 Strömungstrichtern (Abb. 13) und 8 einseitigen Lenkbuhnen betrug

aufgrund zahlreicher Unterbrechungen durch anhaltend hohen Abfluss 5 Wochen, von denen effektiv etwa 1,5 Wochen (140 Mannstunden inkl. Bauleitung) im Gewässer gearbeitet werden konnte. Insgesamt wurden 115 t Blocksteine benötigt.

## 6. Optimierung

Nach den ersten kleineren Hochwasserabflüssen zeigte sich, dass die Lenkbuhnen im Bereich der entfernten Auflandungen etwas zu tief eingebaut waren und sich bereits erste Sedimentationen andeuteten (Abb. 14 links). Unterhalb der recht steilen «Lenkbuhnenrampe» hatte sich ein langgestreckter flacher Kolk entwickelt, an den eine ebenfalls flache Kiesbank im Bereich der ursprünglichen Auflandungen anschloss. Zur Vereinheitlichung des Gefälles wurden die beiden unteren Buhnen der Rampe und die beiden anschließenden Strömungstrichter (vgl. Abb. 8) Ende September 2017 um 10 bis 20 cm angehoben (Abb. 14 rechts). D.h., der Gefälleknick unterhalb der Rampe wurde abgeschwächt und das Gefälle im Auflandungsbereich etwas erhöht. Für die Optimierung, die wiederum mit einem Schreitbagger durchgeführt wurde, wurde lediglich ein halber Arbeitstag benötigt.

Die Entwicklung der Sohlenlagen wird nun weiter beobachtet. Im Bedarfsfall liesse sich mit wenig Aufwand eine weitere Optimierung umsetzen. Es wird jedoch nicht davon ausgegangen, dass dies notwendig wird.

## 7. Schlussbetrachtung

Mit dem Bau des Lenkbuhnen-systems an der Kempt konnte gezeigt werden, dass Lenkbuhnen auch für kleinere Fliessgewässer gut geeignet sind, mit moderatem Aufwand umgesetzt und im Bedarfsfall nachträglich optimiert werden können. Die Strömungs- und Strukturvielfalt in der stark begradigten Kempt konnte durch die Unterhaltmassnahme deutlich verbessert werden. Ergänzend sollte bei zukünftigen Projekten noch vermehrt grobes Totholz (z.B. Wurzelstämme) in Sohle und Ufer eingebaut werden, um zusätzlich u.a. das Angebot an Deckungsstrukturen zu verbessern.

Eine abschliessende Beurteilung, ob mit den umgesetzten Massnahmen das Ablagerungsproblem dauerhaft behoben werden konnte, ist so kurze Zeit nach Einbau der Lenkbuhnen noch nicht möglich. Ebenso kann auch die Eignung der «Lenkbuhnenrampe» als sohlenstabilisierende Massnahme nicht abschliessend beurteilt werden. In dieser neu entwickelten Bauweise wird jedoch ein grosses Potential als naturnaher Ersatz relativ niedriger, nicht fischgängiger Schwellen gesehen, da sie mehrere Vorteile miteinander verbindet: Die Durchgängigkeit des Sohlensubstrat ist gegeben, sie erzeugt bei Niedrig- und Mittelwasser keinen Rückstau und es bildet sich auf ihr ein Niederwassergerinne mit einer strukturreichen Sohle aus.

## Literaturverzeichnis

Mende, M. 2012. Instream River Training – Naturnaher Flussbau mit minimalem Materialeinsatz. Korrespondenz Wasserwirtschaft, Jg. 5, Nr. 10, S. 537–543

Mende, M. 2014. Naturnaher Uferschutz mit Lenkbuhnen – Grundlagen, Analytik und Bemessung. LWI-Mitteilungen Heft 162/2015, Dissertation Hrsg. Technische Universität Braunschweig, Leichtweiss-Institut für Wasserbau, Prof. Dr.-Ing. A. Dittrich, ISSN 0343–1223

Sindelar C., Mende M. 2009. Lenkbuhnen zur Strukturierung und Stabilisierung von Fliessgewässern. Wasserwirtschaft, 99. Jg., Heft 1–2, 70–75

## Kontaktadresse

Matthias Mende  
IUB Engineering AG  
Belpstrasse 48  
3000 Bern 14  
Tel. +41 31 357 12 24  
Fax +41 31 357 11 12  
E-Mail: matthias.mende@iub-ag.ch  
Internet: www.iub-ag.ch