



Niels Werdenberg
Dipl. Biologe, Dipl. Umweltingenieur FH NDS
Projektleiter
Telefon +41 58 451 65 77

Emch+Berger AG Bern
Schlösslistrasse 23 | Postfach | CH-3001 Bern |
www.emchberger.ch

Grafik: Werdenberg

Instream River Training – Bauen mit dem Fluss

Inhalt

§ Instream River Training

- Strömungslenkung
- Grundlagen

§ Diverse Praxisbeispiele CH

- Schwerpunkt Bäche & kleinere Flüsse

§ Erfolgskontrolle Lenkbuhnen

- Uferschutz, Ökologie, Kosten

§ Faustregeln für Bemessung IRT

Strömungslenkung mit IRT

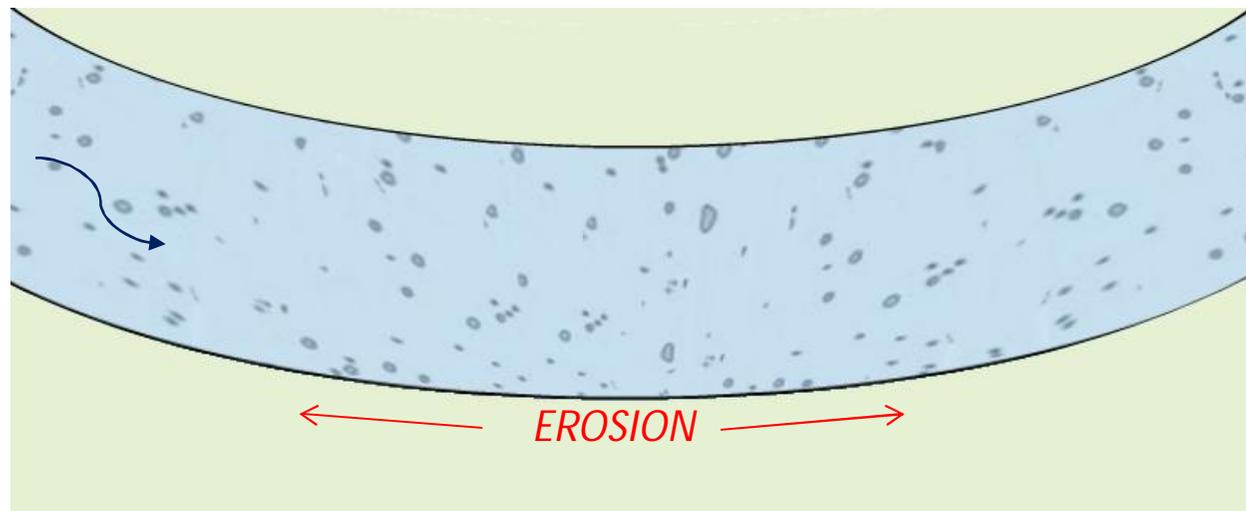
Warum?

- § *Ursachenorientierung*: Strömung schafft Morphologie eines Gewässers durch Erosion und Sedimentation
- § Probleme wie Ufererosion, Verlandung, monotone Sohlenmorphologie sind Folge der Strömung

Strömungslenkung mit IRT

Beispiel Ufererosion

Häufiges Problem: Strömungsangriff führt zu Ufererosion in Aussenkurven von Fließgewässern.



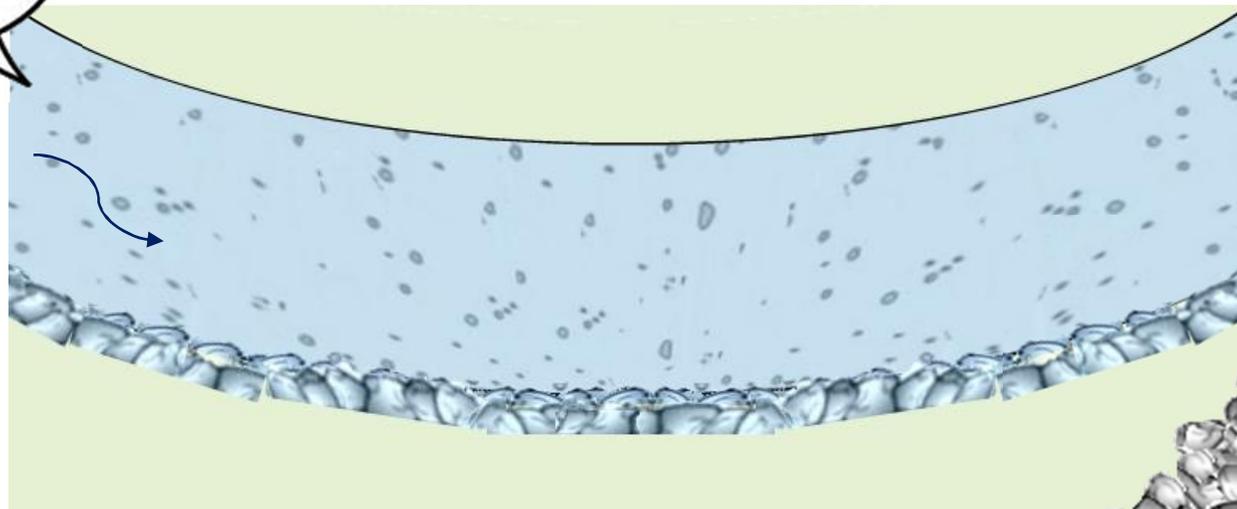
Grafik: Werdenberg

Strömungslenkung mit IRT

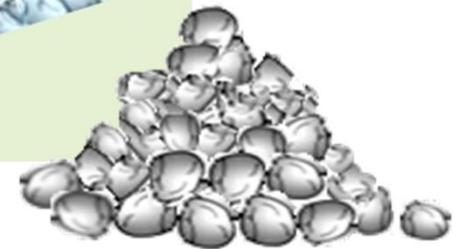
Beispiel Ufererosion

*Ufer
verbauen?*

Anstatt Ufer durchgehend zu
verbauen (teuer, viel Material)...



Grafik: Werdenberg

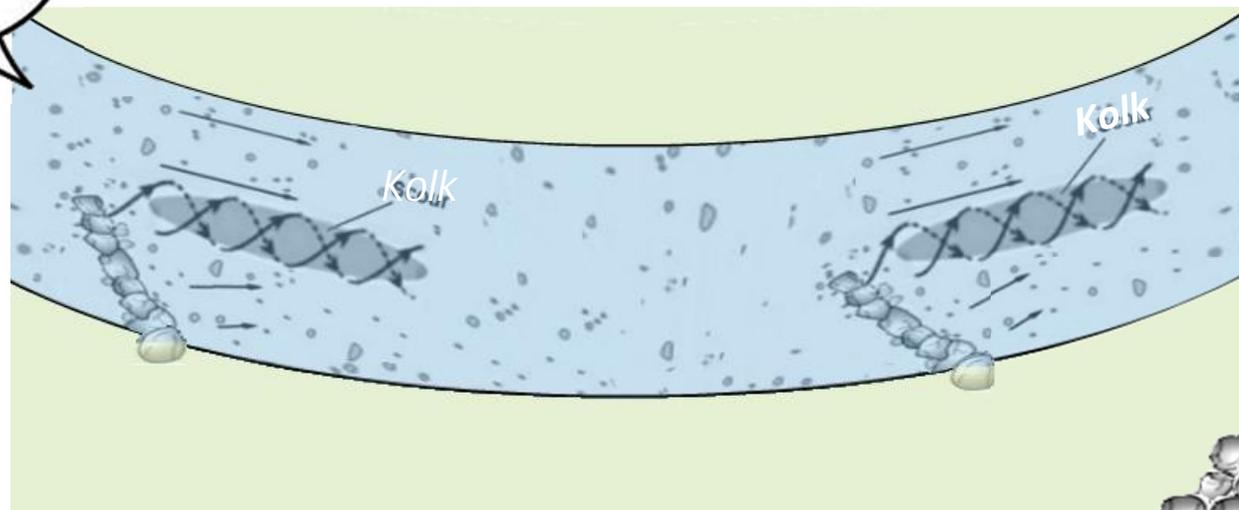


Strömungslenkung mit IRT

Beispiel Ufererosion

Strömung
lenken!

...ist es günstiger und ökologischer, die Strömung
punktuell mit kleinen Einbauten anzupassen.



Grafik: Werdenberg

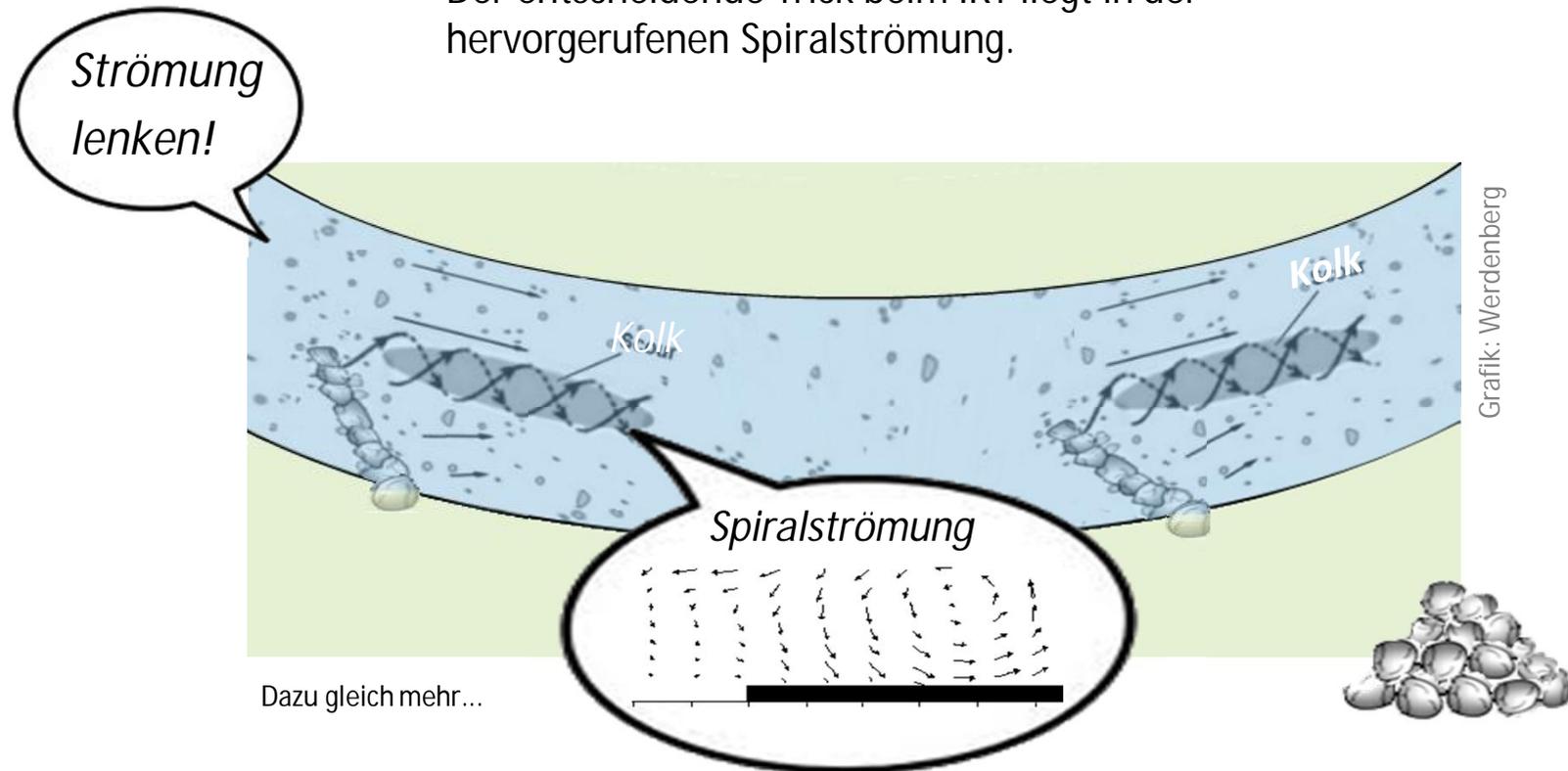
Zwischen den Einbauten bleiben unverbaute Naturufer.
Und die ökologisch wertvolle Strukturierung der Flusssohle gibt's gratis dazu.



Strömungslenkung mit IRT

Wie funktioniert das?

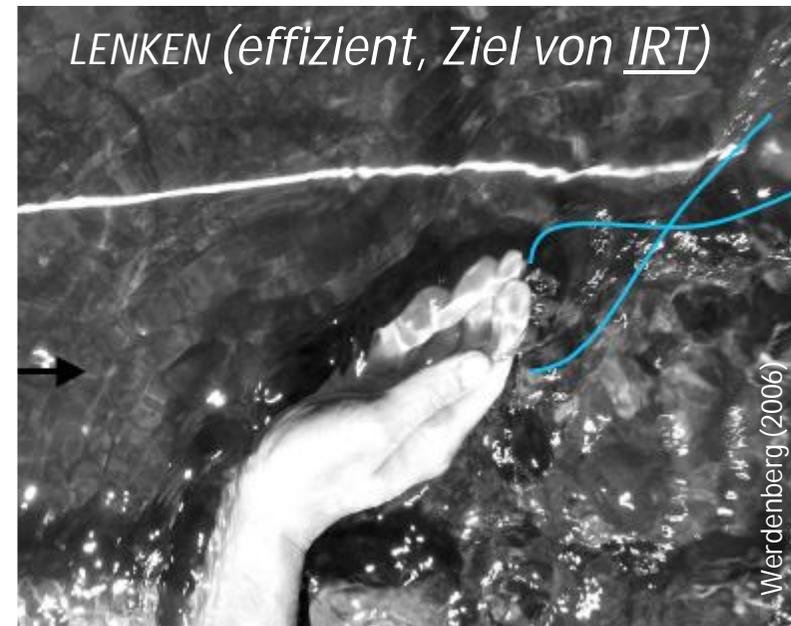
Der entscheidende Trick beim IRT liegt in der hervorgerufenen Spiralströmung.



Strömungslenkung mit IRT

Wie funktioniert das?

- § Hervorrufen «nützlicher» Strömungsmuster, Anpassen «schädlicher» Strömungsmuster
- § Lokal Impulse geben, weitreichende Wirkung



Strömungslenkung mit IRT

Anwendungsbereiche?

- § Uferschutz: Verzicht/Reduktion Längsverbau
- § Gerinnestrukturierung: Schaffung vielfältige Morphologie, Erhalt Niederwasserrinne
- § Geschiebemanagement: Beseitigung von ungünstigen Auflandungen
- § Initialisierung von Eigendynamik: Uferanrisse, Aufweitungen, Gerinneverlagerung

Strömungslenkung mit IRT

Wie sehen die Einbauten aus?

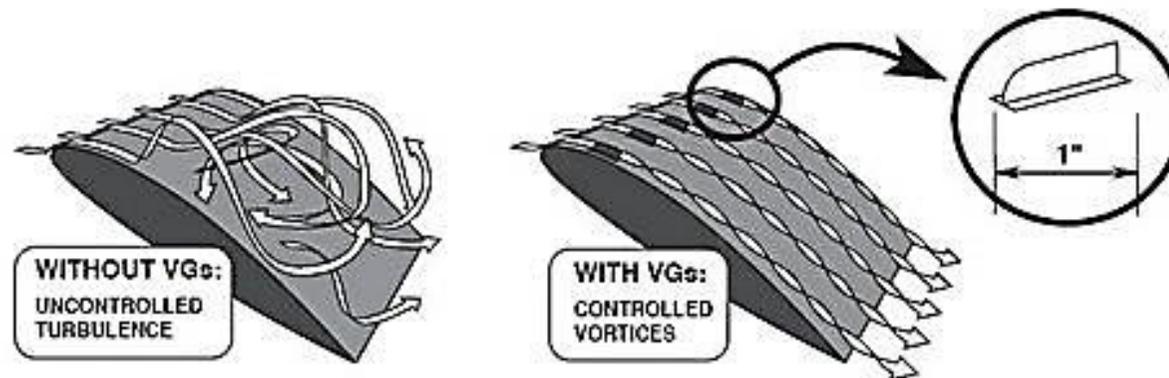
- § Kleine, bereits bei Niederwasser überströmte Einbauten, oft aus Blocksteinen, Form je nach Ziel der Strömungslenkung
- § Durch Form und Lage induzieren sie *spiralförmige Sekundärströmungen*, die in der Lage sind die Hauptströmung anzupassen



Strömungslenkung mit IRT

Wo ist der Unterschied zu klassischen Buhnen?

- § IRT-Einbauten sind so niedrig, dass sie ständig überströmt sind
- § Gezieltes Hervorrufen von Spiralströmungen
- § Ähnlichkeit zu *Vortex Generators* in der Aviatik



Micro AeroDynamics (2003)

Strömungslenkung mit IRT

Wo ist der Unterschied zu klassischen Buhnen?

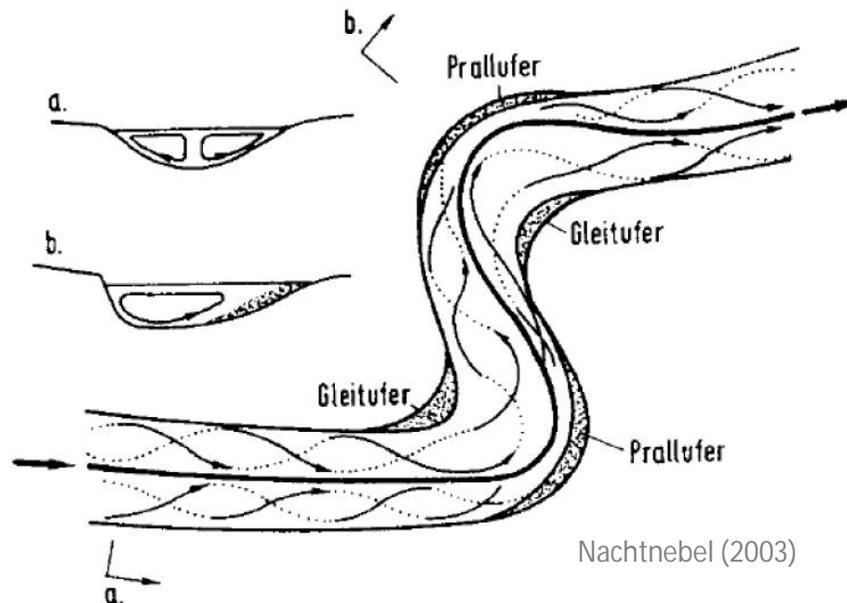
- § IRT-Einbauten sind so niedrig, dass sie ständig überströmt sind
- § Gezieltes Hervorrufen von Spiralströmungen
- § Ähnlichkeit zu *Vortex Generators* in der Aviatik
- § Keine wesentliche Querschnittsverengung
- § Anstieg des Wasserspiegels i.d.R. vernachlässigbar

IRT ≠ klassische Buhnensysteme!

Strömungslenkung mit IRT

...Ein neuer Umgang mit Wasser

§ Förderung / Adaption der für natürliche Fließgewässer ur-typischen Spiralströmungen («Längswirbel»)



Strömungslenkung mit IRT

Was kann IRT?

- § Flussbauliche Probleme (Ufererosion, Verlandung, monotone Sohlenmorphologie, Durchgängigkeit etc.) *nachhaltig* beheben
- § Mit minimalem Materialeinsatz
- § In der benetzten Sohle
- § I.d.R. ohne weiteren Flächenbedarf

Strömungslenkung mit IRT

Was kann IRT nicht?

- à Raumbedarf des Gewässers «ersetzen»
- à Gehölzsaum und Totholz «ersetzen»
- à Uferstabilität «herzaubern» (Geotechnik)
- à Ingenieurbiologie «ersetzen»
- à Ungleichgewichte «wegzaubern» (Geschiebe, Abflussregime)

- IRT kann unter engen Platzverhältnissen eine optimale ökologische Aufwertung erreichen. Jedoch soll es stets das primäre Ziel sein, dem Gewässer eine ausreichende Gewässerraumbreite für seine eigendynamische Entwicklung zurückzugeben.
- IRT ist weder Ersatz für den gewässertypischen Gehölzsaum (Beschattung) noch für Totholz im Gewässer (Deckungsstrukturen für Fische etc.).
- Die Ufer müssen grundsätzlich geotechnisch stabil sein (Neigungswinkel, Materialien, etc.). Diese Stabilität kann dann mit IRT vor den hydraulischen Kräften geschützt werden. Umkehrschluss: Es ist nicht überall möglich, dank IRT auf Längsverbau (Blocksatz und Ufermauern) zu verzichten.
- Die ingenieurbiologischen Sicherungen werden durch IRT keineswegs überflüssig, sondern sie ergänzen sich optimal. Da der Strömungsangriff mit IRT herabgesetzt wird, wird der Anwendungsbereich der ingenieurbiologischen Sicherungen sogar vergrößert.

Grundlagen

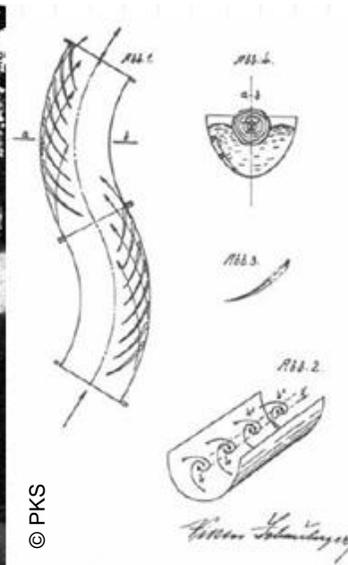
Erste Ansätze IRT bereits 1930

§ Viktor Schaubberger

§ Erfolgreiche Strömungslenkung in natürlichen und künstlichen Gerinnen mit *Spiralströmungen*



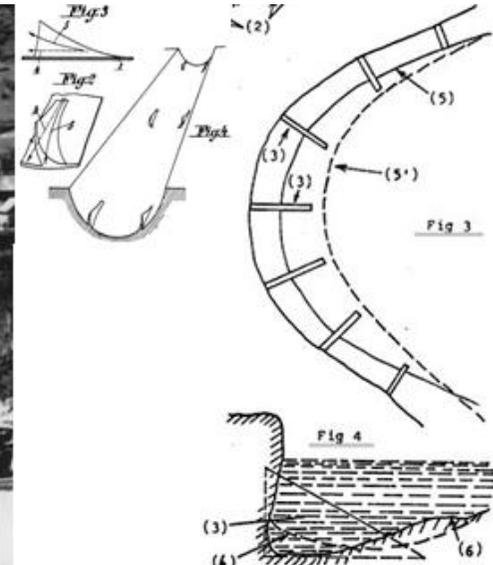
Niels Werdenberg



© PKS



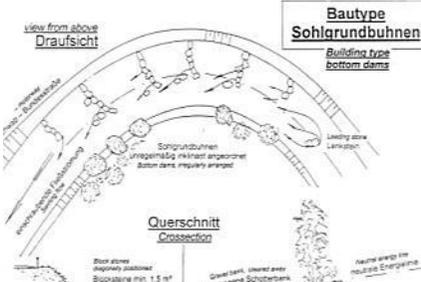
INSTREAM RIVER TRAINING – Bauen mit dem Fluss



2018

Grundlagen

Flussbaupraxis IRT ab 1990 durch Otmar Grober



Inklinante Lenkbuhnen

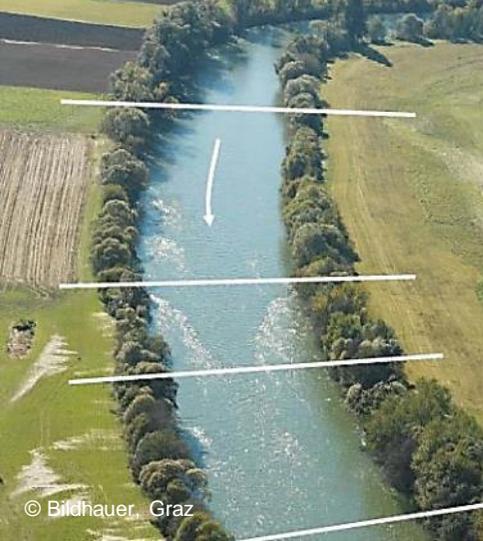


© Werdenberg

Niels Werdenberg

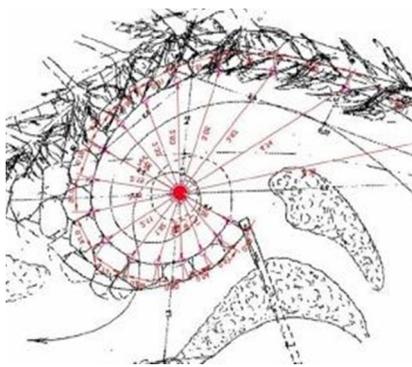


Trichterbuhnen



© Bildhauer, Graz

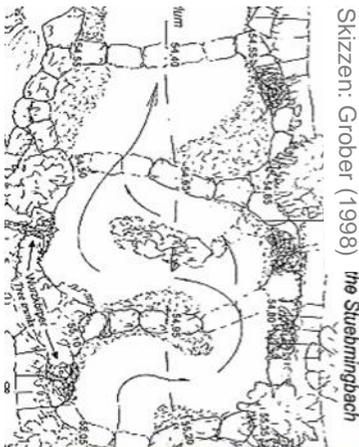
INSTREAM RIVER TRAINING – Bauen mit dem Fluss



Schneckenbuhnen



© Werdenberg



Pendelrampe



© Mende

2018

Skizzen: Grober (1998) the Steubingbach

Grundlagen

Forschung IRT ab 2005 (TU Braunschweig, TU Graz)

Inklinante Lenkbuhnen

Im Labor zeigte sich, dass die Lenkwirkung der Lenkbuhnen auch bei 10-facher Überströmungshöhe einwandfrei funktioniert.



Starke Überströmung der Lenkbuhnen



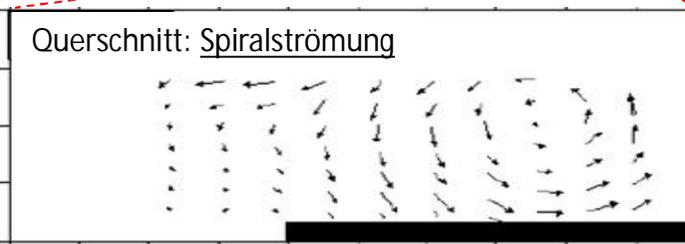
a) $h=12$ cm



b) $h=20$ cm



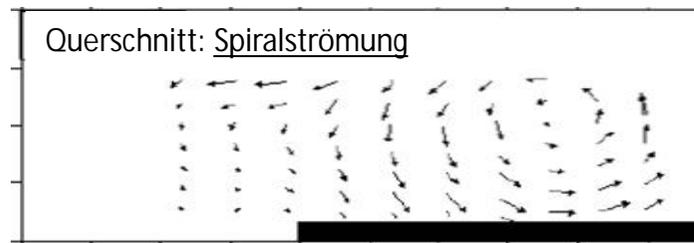
c) $h=20$ cm (visualisierte Oberflächenströmung)



Grundlagen

10-fach überströmte inklinante Lenkbuhnen

Im Labor zeigte sich, dass die Lenkwirkung der Lenkbuhnen auch bei 10-facher Überströmungshöhe einwandfrei funktioniert.

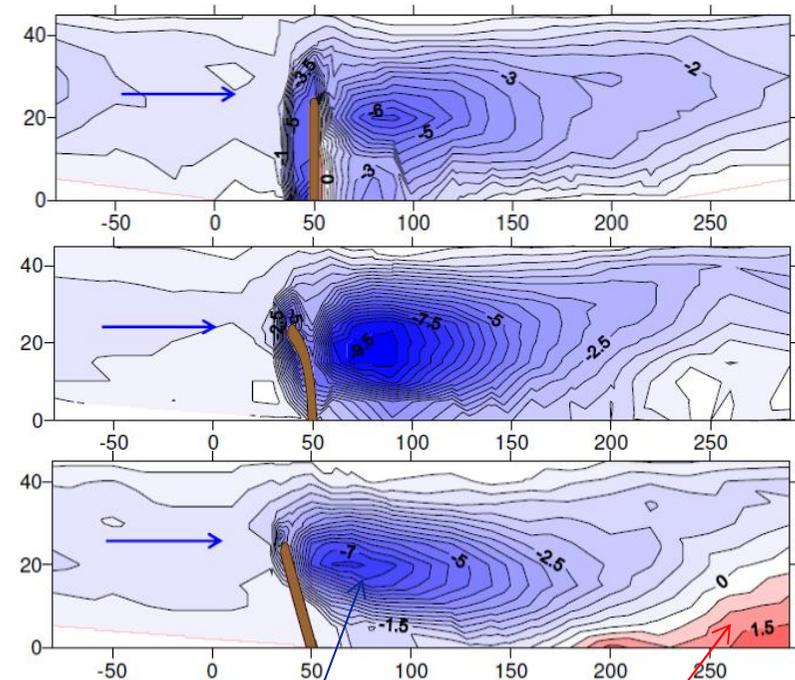


Grundlagen

Morphologie Sohle



Inklinante Lenkbuhne



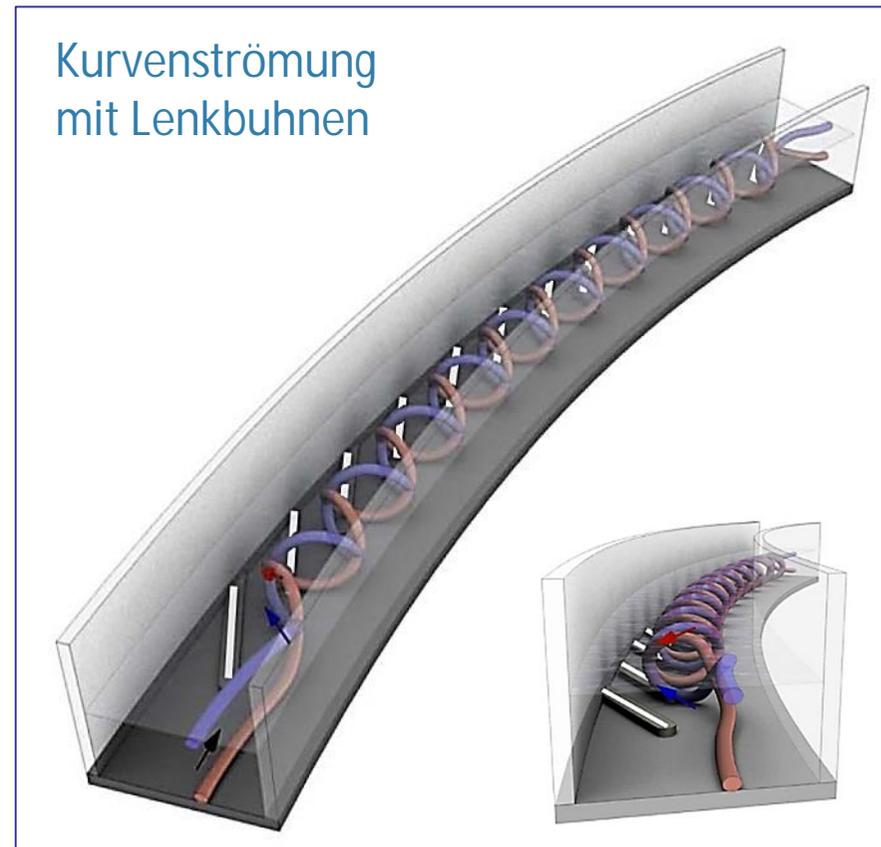
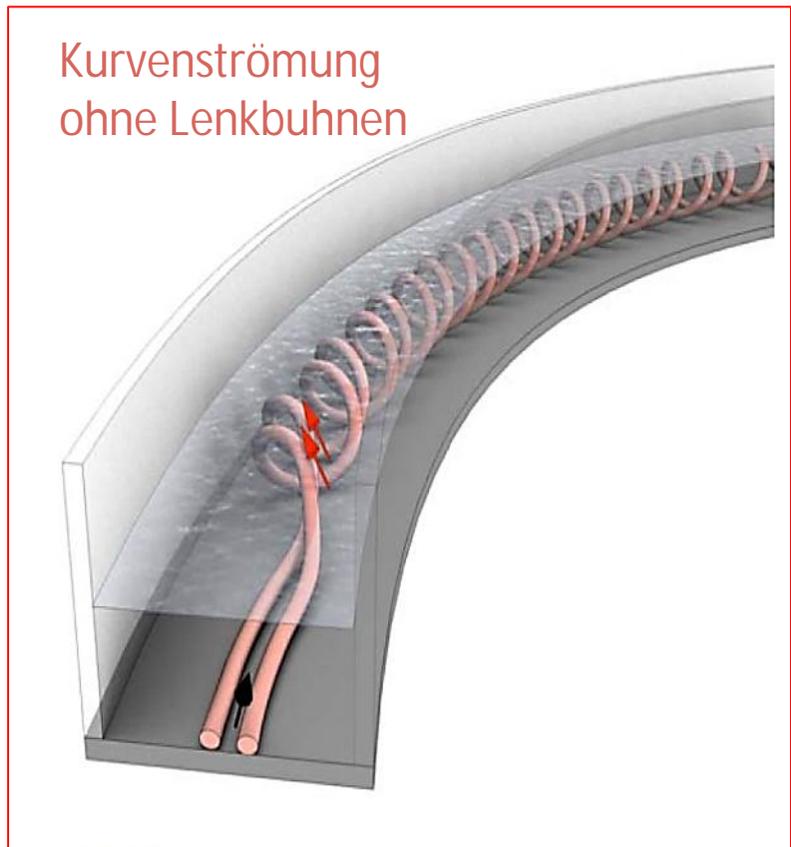
Kolk

Aufandung



Grundlagen

Anpassung Kurvenströmung mit Lenkbuhnen



Die sich in Flussbiegungen natürlicherweise ausbildende Kurvenströmung, ebenfalls eine Spiralströmung, wird durch die entgegengesetzt drehende Spiralströmung der inklinanten Lenkbuhnen „neutralisiert“ – damit wird die Kurvenerosion gestoppt.

Grundlagen

Anpassung Kurvenströmung mit Lenkbuhnen

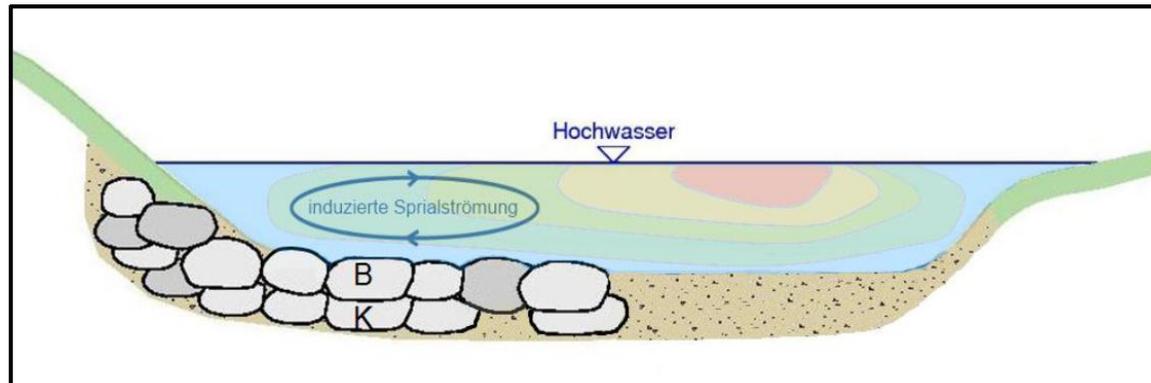


Abb. 5 Funktionsschema einer inklinanten Lenkbuhne mit der durch die Spiralströmung beeinflussten Fließgeschwindigkeitsverteilung (rot = v max, blau = v min), adaptiert nach [3]

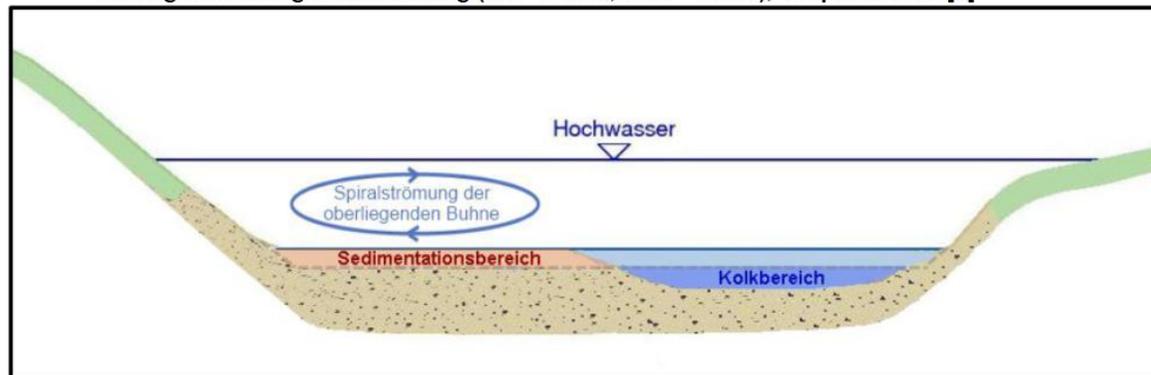


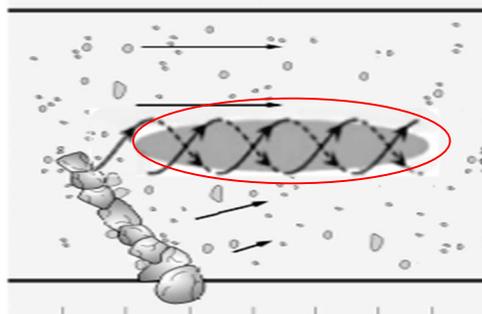
Abb. 6 Schema der morphologischen Wirkung im Bereich unterstrom einer inklinanten Lenkbuhne

Basler & Hofmann

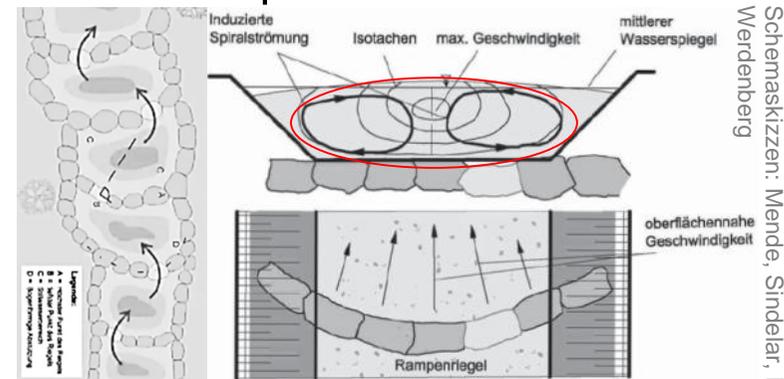
Grundlagen

Spiralströmungen bei grosser Überströmungshöhe Grundprinzip aller IRT-Bautypen

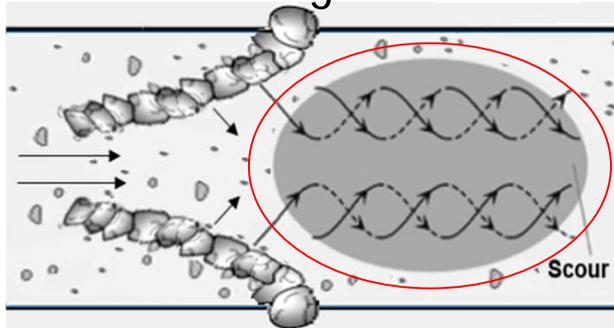
Inklinante Lenkbuhne



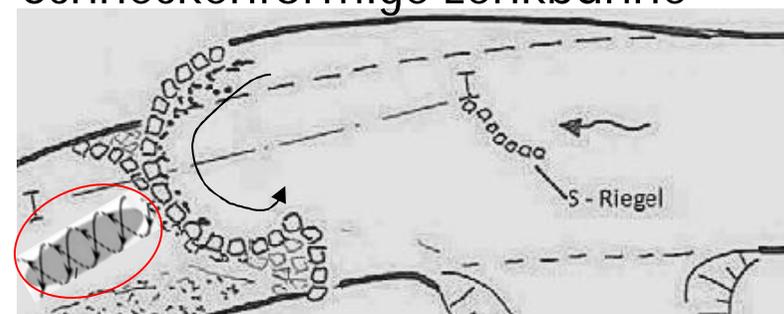
Pendelrampe



Trichterförmige Lenkbuhne



Schneckenförmige Lenkbuhne

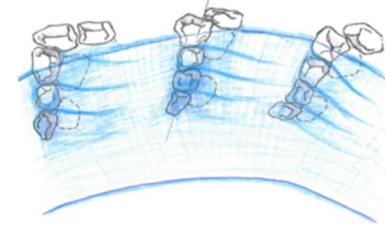


Praxisbeispiele IRT (CH)



Uferschutz & Struktur Taverna, Flamatt FR

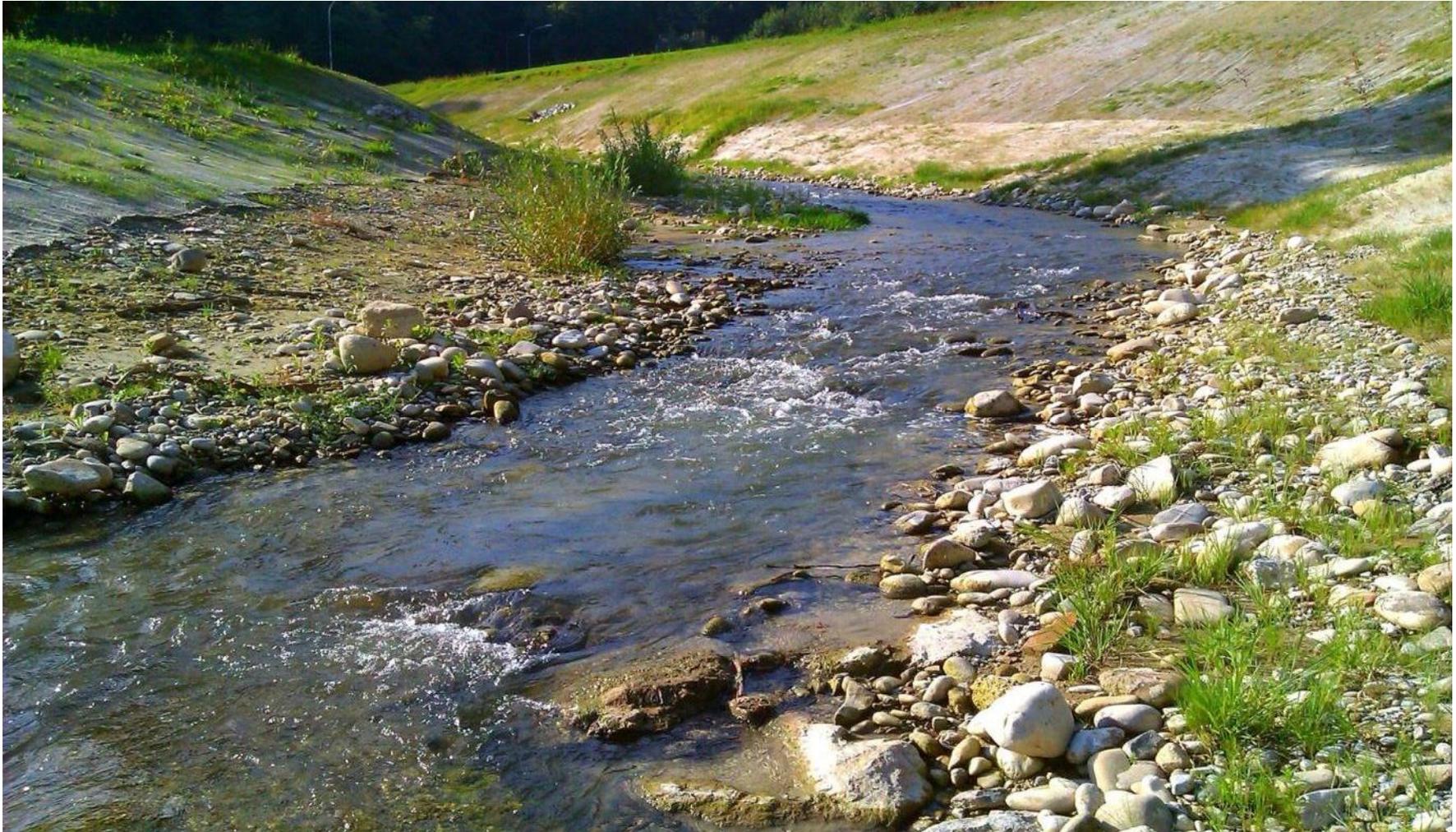
§ Inclinante Lenkbuhnen in Kurven



Die Taverna erhielt 2011 ein neu gegrabenes Gerinne. Zu dessen Sicherung wurden Lenkbuhnen eingebaut. Auf Uferlängsverbau wurde komplett verzichtet.



Uferschutz & Struktur Taverna, Flamatt FR



Neues Gerinne nach Bau, mit den relativ unauffälligen Lenkbuhnen in der Aussenkurve
Niels Werdenberg

INSTREAM RIVER TRAINING – Bauen mit dem Fluss

Fotos: Werdenberg
2018

Uferschutz & Struktur Taverna, Flamatt FR



Neues Gerinne nach Bau, mit den relativ unauffälligen Lenkbuhnen in der Aussenkurve
Niels Werdenberg
INSTREAM RIVER TRAINING – Bauen mit dem Fluss

Fotos: Werdenberg
2018

Uferschutz & Struktur Taverna, Flamatt FR



Neues Gerinne nach Bau, mit den relativ unauffälligen Lenkbuhnen in der Aussenkurve
Niels Werdenberg

INSTREAM RIVER TRAINING – Bauen mit dem Fluss

Fotos: Werdenberg
2018

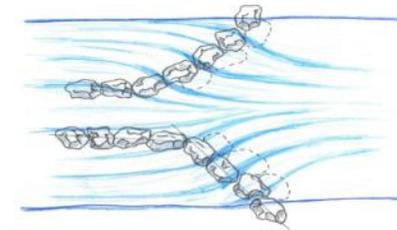
Uferschutz & Struktur Taverna, Flamatt FR



Flusskurve bei kleinem Hochwasser, die Buhnen (weiss markiert) sind hier etwa 80 cm hoch überströmt. Die von den Lenkbuhnen induzierte Spiralströmung ist deutlich sichtbar. Diese beruhigt die ufernahe Strömung, während mittig ein Kolk entsteht. Foto: Werdenberg; Schema: Sindelar & Mende (2009), adaptiert

Uferschutz & Struktur Taverna, Flamatt FR

§ Trichterbuhnen auf Geraden



Entlang gerader Gerinneabschnitte wurden Trichterbuhnen eingebaut. Auf Uferlängsverbau wurde verzichtet.

Niels Werdenberg

INSTREAM RIVER TRAINING – Bauen mit dem Fluss

Fotos: Werdenberg

2018

Uferschutz & Struktur Taverna, Flamatt FR



Fertige Trichterbühne. Auf Uferlängsverbau wurde verzichtet.

Niels Werdenberg

INSTREAM RIVER TRAINING – Bauen mit dem Fluss

Fotos: Werdenberg

2018

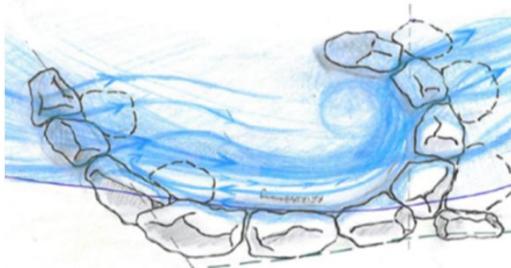
Uferschutz & Struktur Taverna, Flamatt FR



Ansicht eines Trichters (weiss gestrichelt) bei kleinem Hochwasser. Der Trichter ist etwa 80 cm hoch überströmt. Die zwei induzierten Spiralströmungen sind deutlich sichtbar, diese beruhigen die ufernahe Strömung, während mittig ein Kolk entsteht. Foto: Werdenberg; Schema: Sindelar & Mende (2009), adaptiert

Strukturierung Taverna, Flamatt FR

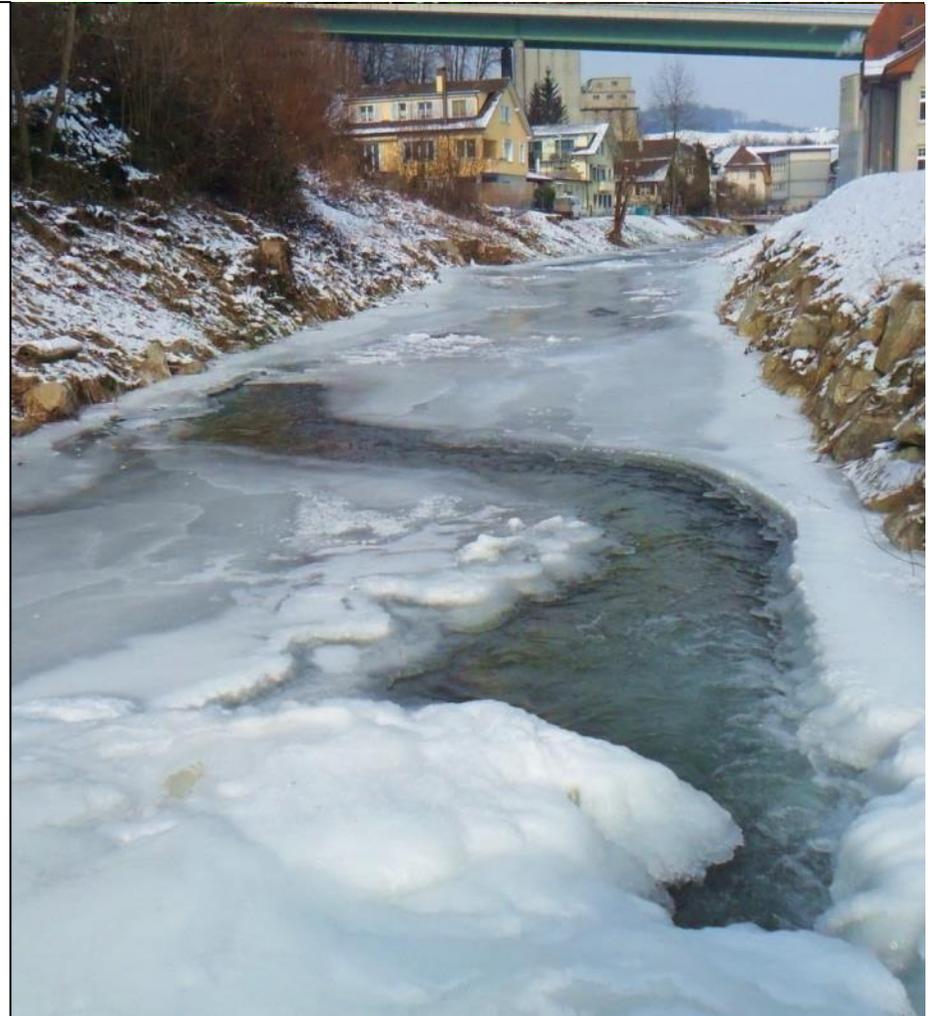
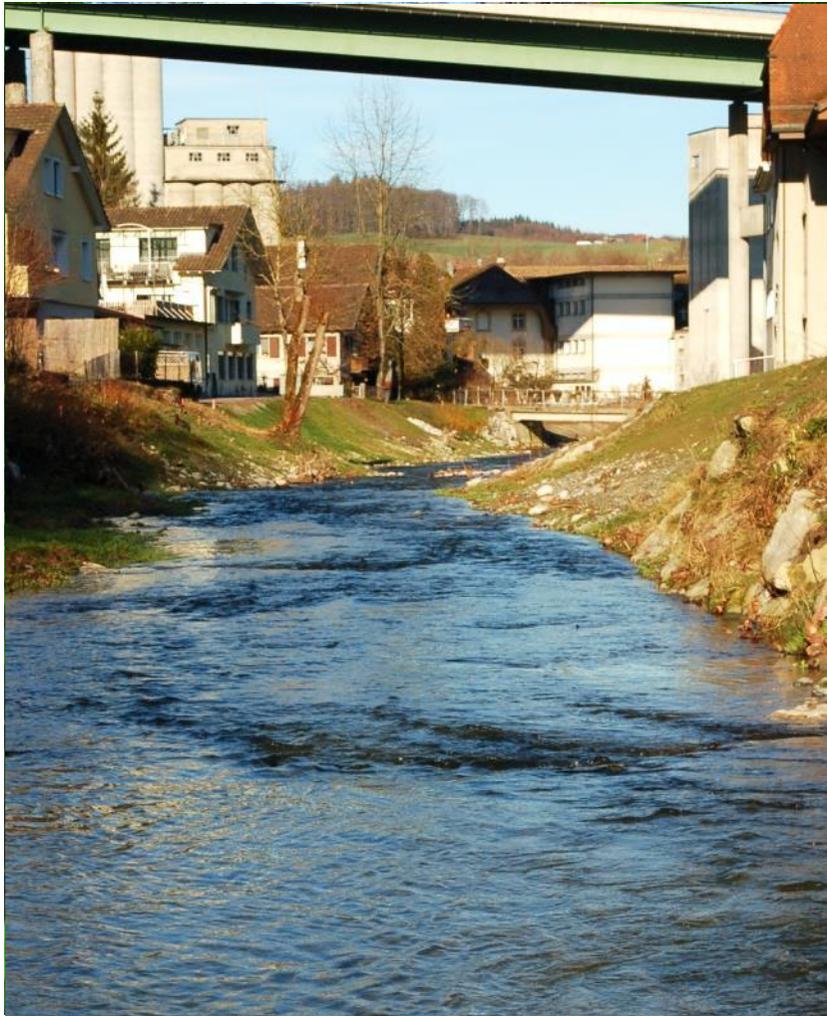
§ IRT in bereits verbauten Abschnitten



Anderswo musste der alte Längsverbau belassen werden. Entlang solcher monotonen Abschnitte wurden Lenkbuhnen auch zur Gerinnestrukturierung eingebaut. Hier Z.B. Einbau Schneckenbuhnen.

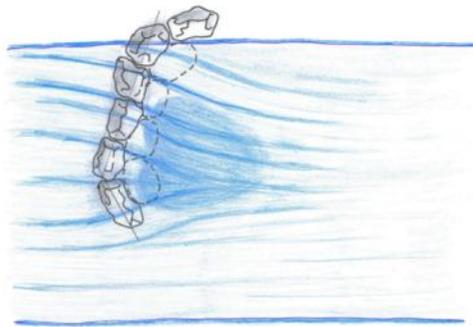
Fotos: Werdenberg

Strukturierung Taverna, Flamatt FR



Abschnitt mit Schnecken nach Einbau: Starke Strömungslenkung, Strömungsvielfalt und Tiefenvarianz nahmen deutlich zu. Fotos: Werdenberg
Niels Werdenberg INSTREAM RIVER TRAINING – Bauen mit dem Fluss 2018

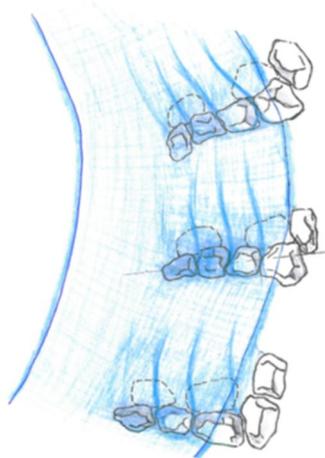
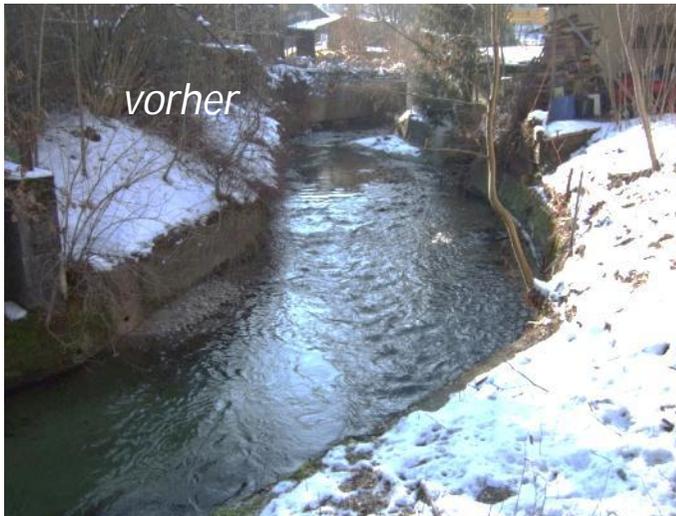
Strukturierung Taverna, Flamatt FR



Wo alte Ufermauern bestehen bleiben mussten wurden z.B. Hakenlenkbühnen zur Gerinnestrukturierung / ökologischen Aufwertung eingebaut. Strömungsvielfalt und Tiefervarianz nahmen deutlich zu.

Fotos: Werdenberg

Strukturierung Taverna, Flamatt FR



Hier wurden Lenkbuhnen zur ökologischen Aufwertung und Bauwerksentlastung entlang einer unterspülten Bachmauer eingebaut.

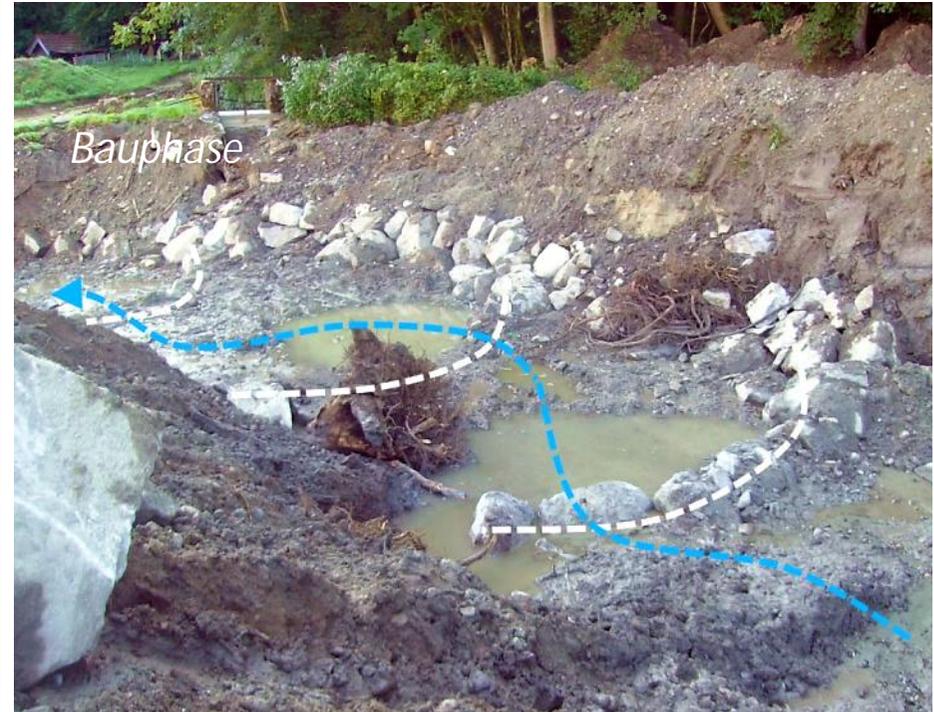
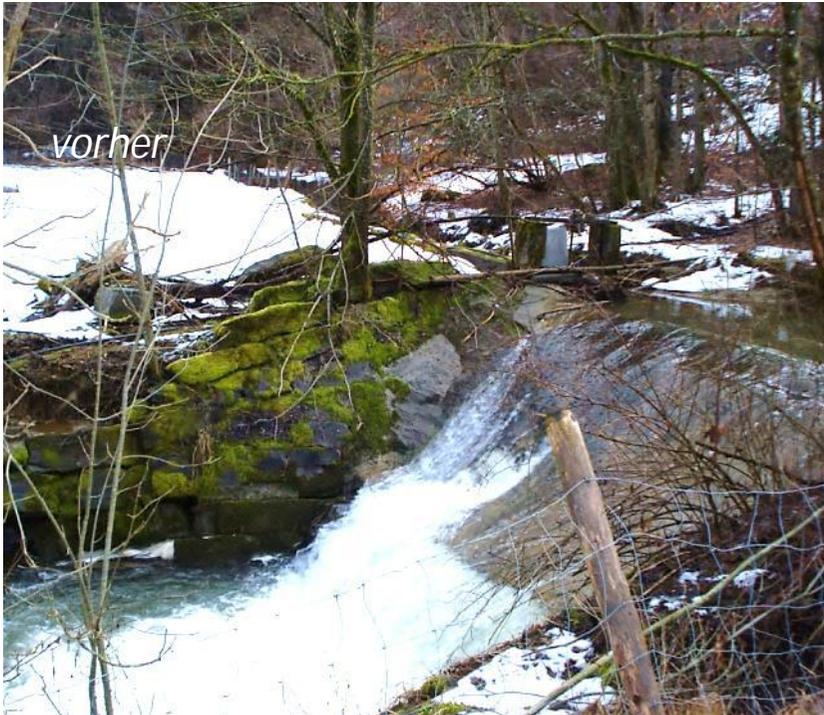
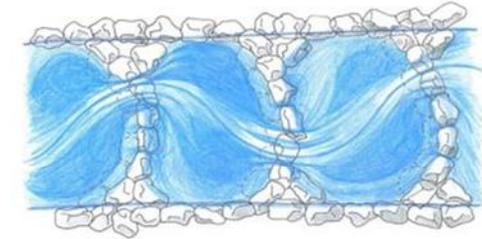
Strukturierung Taverna, Flamatt FR



Abschnitt nach Einbau. Strömungsvielfalt und Tiefenvarianz nahmen deutlich zu.

Längsvernetzung Taverna, Wünnewil FR

§ Pendelrampe zur Behebung von nicht fischgängigen Abstürzen



Zur fischgängigen Umgestaltung eines Absturzes wurde eine Pendelrampe eingebaut. Diese Rampe weist wechselseitig geneigte Riegel auf. Zwischen den Riegeln entstehen Becken mit Kiessubstrat.

Längsvernetzung Taverna, Wünnewil FR



Die fertige Rampe bei Niedrigwasser. Durch die wechselseitige Neigung der Riegel wird das Niedrigwasser mäandrierend geführt (Fließwegverlängerung, bessere biologische Durchgängigkeit).

Niels Werdenberg

INSTREAM RIVER TRAINING – Bauen mit dem Fluss

Fotos: Werdenberg

2018

Längsvernetzung Taverna, Wünnewil FR



Die fertige Rampe bei Niederwasser. Durch die wechselseitige Neigung der Riegel wird das Niederwasser mäandrierend geführt (Fließwegverlängerung, bessere biologische Durchgängigkeit).

Fotos: Werdenberg

Niels Werdenberg

INSTREAM RIVER TRAINING – Bauen mit dem Fluss

2018

Vernetzung Taverna, Wünnewil



Ansicht bei kleinem Hochwasser, Riegel ca. 70 cm überströmt. Die Pendelrampe ruft bei starker Überströmung zwei Spiralströmungen hervor welche die ufernahe Strömung beruhigt und das Ufer entlastet.

Foto: Werdenberg; Schema: Mende & Gassmann (2009)

Vernetzung Taverna, Wünnewil



Ansicht bei kleinem Hochwasser, Riegel ca. 70 cm überströmt. Die Pendelrampe ruft bei starker Überströmung zwei Spiralströmungen hervor welche die ufernahe Strömung beruhigt und das Ufer entlastet.

Foto: Werdenberg; Schema: Mende & Gassmann (2009)

Längsvernetzung Chise, Oberdiessbach BE



Weiteres Beispiel einer Pendelrampe

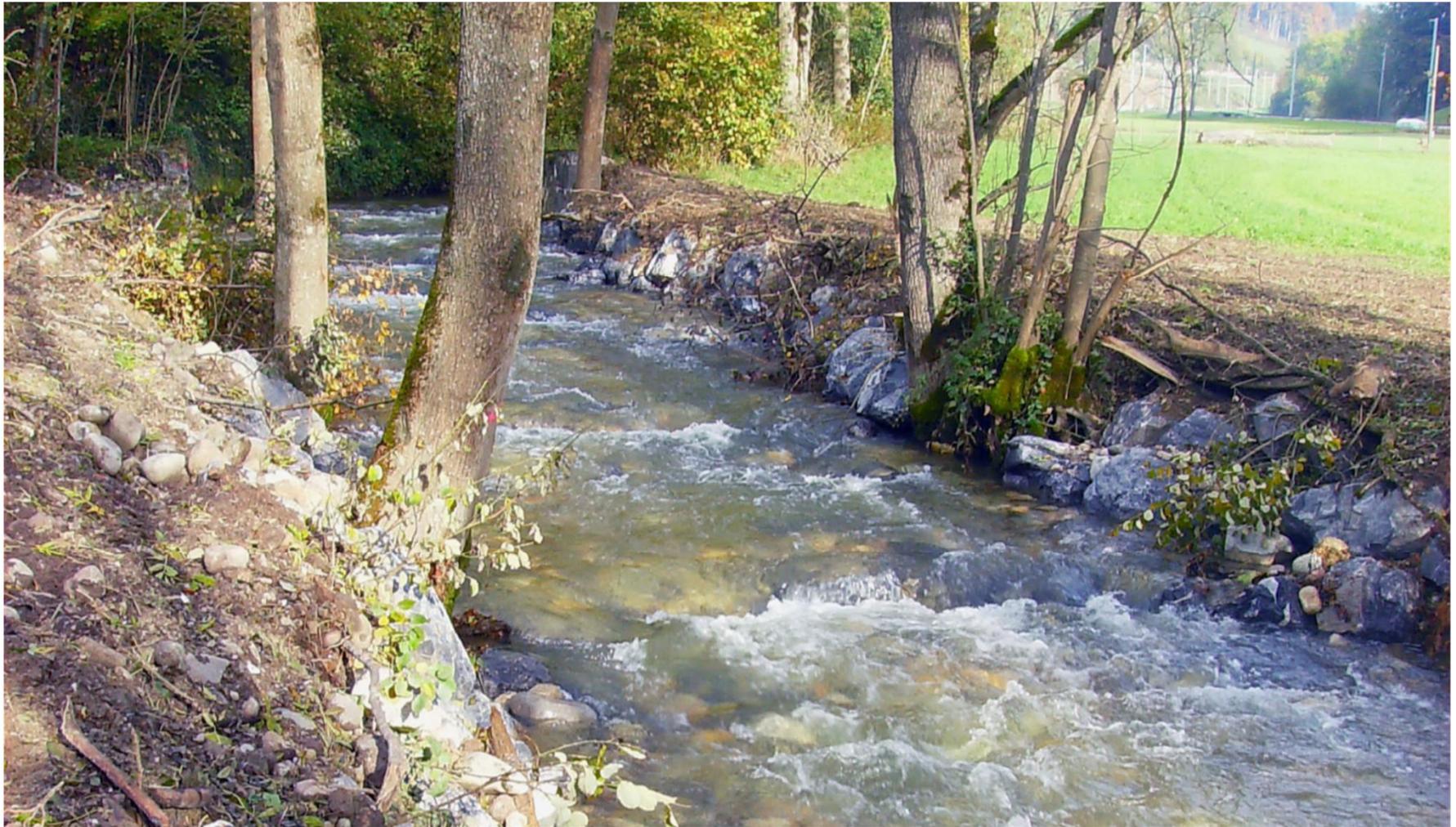
Niels Werdenberg

INSTREAM RIVER TRAINING – Bauen mit dem Fluss

Fotos: Werdenberg

2018

Längsvernetzung Chise, Oberdiessbach BE



Fertige Pendelrampe

Niels Werdenberg

INSTREAM RIVER TRAINING – Bauen mit dem Fluss

Fotos: Werdenberg

2018

Längsvernetzung Chise, Oberdiessbach BE



Fertige Pendelrampe

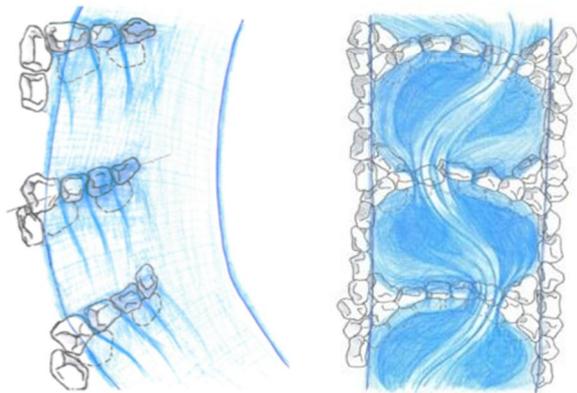
Niels Werdenberg

INSTREAM RIVER TRAINING – Bauen mit dem Fluss

Fotos: Werdenberg

2018

Strukturierung Lindenbach, Schwarzenburg BE



Das steile Gerinne verlief direkt auf Fels, auf dieser „Rutschbahn“ konnte sich kein Kies halten. Der Bachlauf wies dementsprechend wenige Lebewesen auf. Durch den Einbau von Lenkbuhnen und Pendelrampenartiger Querriegel konnte sich wieder eine Kiessohle aufbauen.

Strukturierung Lindenbach, Schwarzenburg BE



Das steile Gerinne verlief direkt auf Fels, auf dieser „Rutschbahn“ konnte sich kein Kies halten. Der Bachlauf wies dementsprechend wenige Lebewesen auf. Durch den Einbau von Lenkbuhnen und Pendelrampenartiger Querriegel konnte sich wieder eine Kiessohle aufbauen.

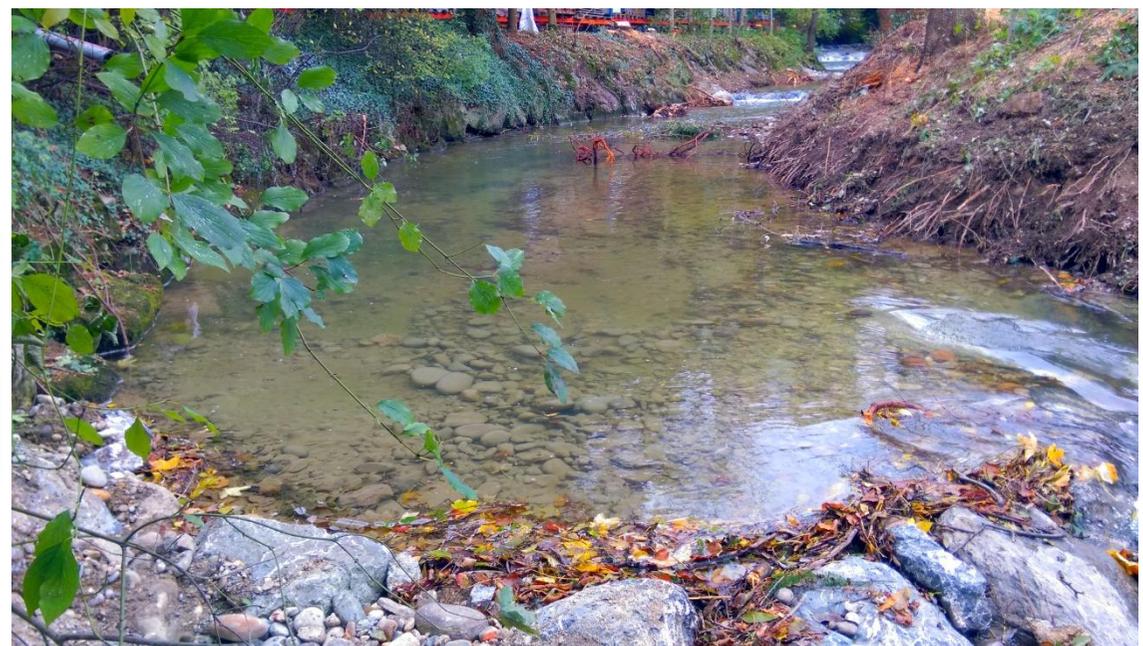
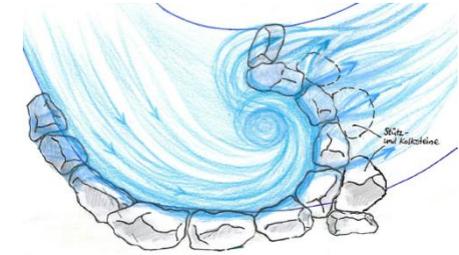
Fotos: Werdenberg

Niels Werdenberg

INSTREAM RIVER TRAINING – Bauen mit dem Fluss

2018

Uferschutz & Struktur Chise, Oberdiessbach BE



Umbau einer ungünstigen 90° Gerinnekurve zur Schneckenbühne. Die Hauptströmung wird seither auch bei Hochwasser vom Aussenufer weggelenkt.

Uferschutz & Struktur Chise, Oberdiessbach BE



Fertige Schneckenbuhne mit visualisiertem «Schneckenhaus»

Niels Werdenberg

INSTREAM RIVER TRAINING – Bauen mit dem Fluss

Fotos & Grafik: Werdenberg

2018

Erfolgskontrolle Lenkbuhnen

Taverna FR (CH)
2011 bis 2018

Basler & Hofmann



ETAT DE FRIBOURG
STAAT FREIBURG



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU
Office fédéral de l'environnement OFEV
Ufficio federale dell'ambiente UFAM
Uffizi federal d'ambient UFAM

Die erste Langzeituntersuchung von Lenkbuhnen wurde im Auftrag von Kanton FR und Bund an der Taverna durchgeführt.

Niels Werdenberg

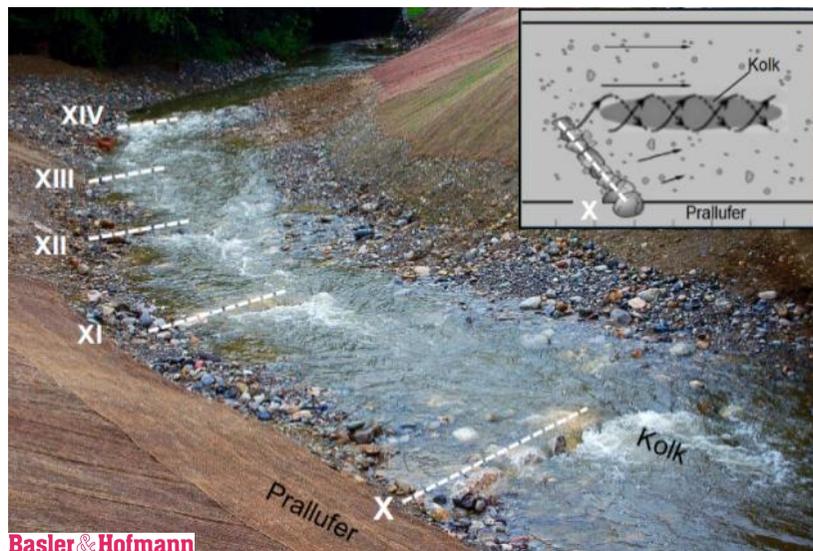
INSTREAM RIVER TRAINING – Bauen mit dem Fluss

2018

Erfolgskontrolle Lenkbuhnen

Kernfragen

1. Bleiben die Ufer auch bei Hochwasser stabil?
2. Können Lenkbuhnen den Längsverbau ersetzen?
3. Welche Vorteile (Ökologie, Ökonomie) bieten Lenkbuhnen gegenüber Längsverbau?



Basler & Hofmann

Die moderne Flussbaumethode auf dem Prüfstand...

Niels Werdenberg



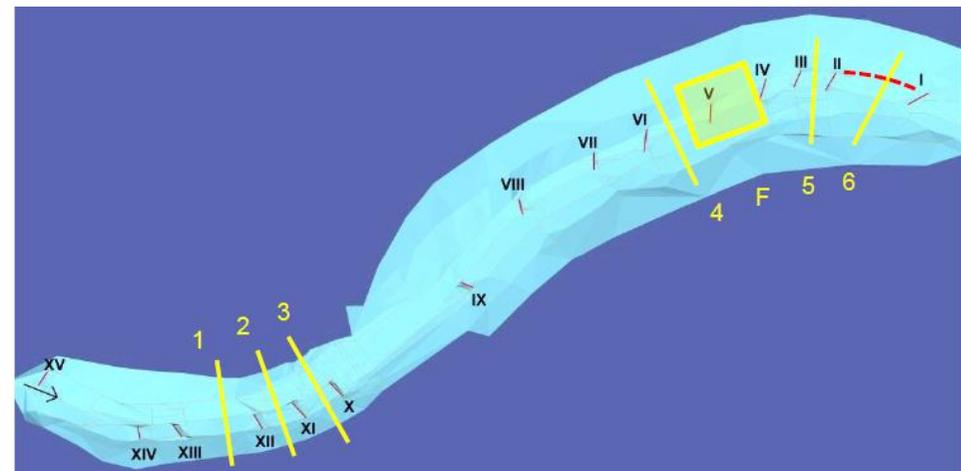
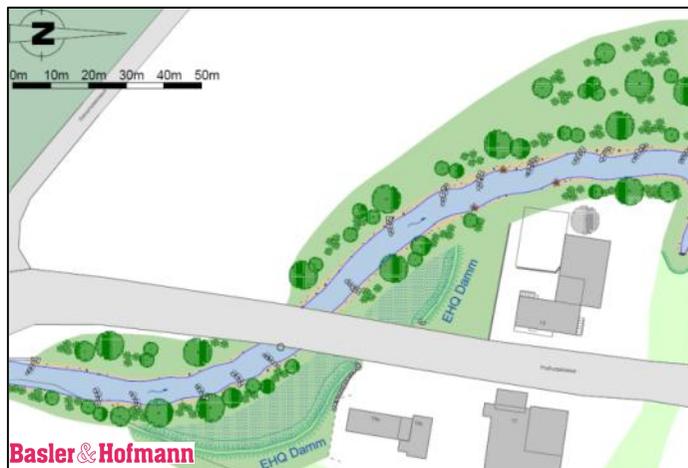
Werdenberg et al. (2018)

2018

Erfolgskontrolle Lenkbuhnen

Vorgehen / Methodik

- § Untersuchungsperimeter: neu gebautes Gerinne mit Doppelkurve (hoher Erosionsdruck auf Prallufer)
- § Nur durch LB stabilisiert; plus Kontrollstrecke ohne LB
- § Jährliche Erhebung nach HW: 6 Profile, 1 Fläche, Fotodoku



Erfolgskontrolle Lenkbuhnen

Hydrologie /Hydraulik

§ $Q_{\text{dim}} = \underline{38 \text{ m}^3/\text{s}} = HQ_{100}$ gedrosselt durch HWRB

§ Sohlenschubspannung bei $HQ_{100} = 200 \text{ N/m}^2$

Bisherige Hochwasserabflüsse

§ 2011 -2018 diverse HW-Ereignisse mit mind. $30 \text{ m}^3/\text{s}$



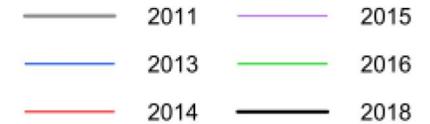
Niederwasser

Basler & Hofmann



Hochwasser (15 m³/s)

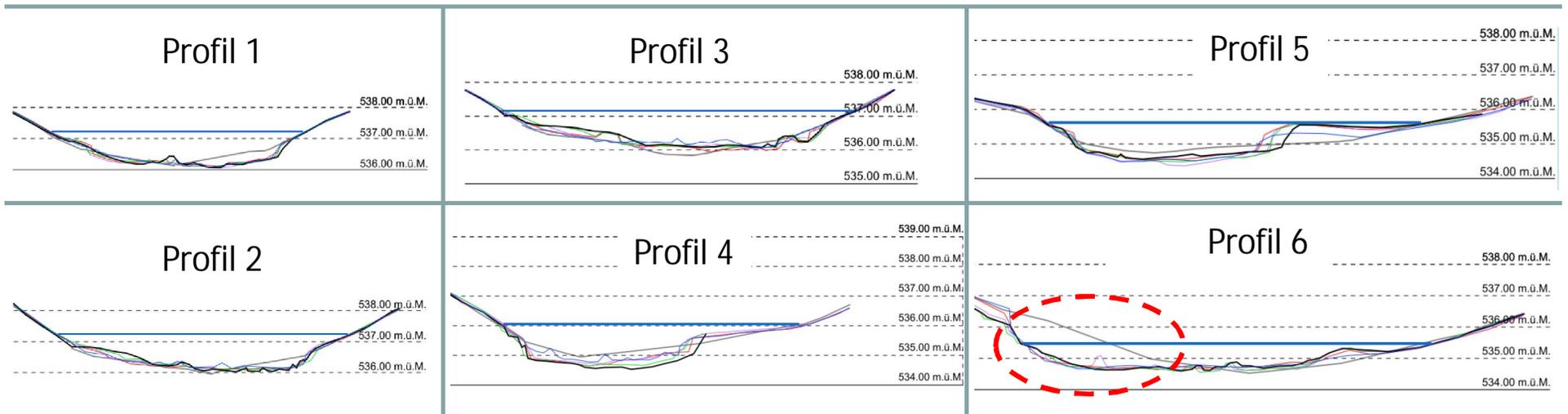
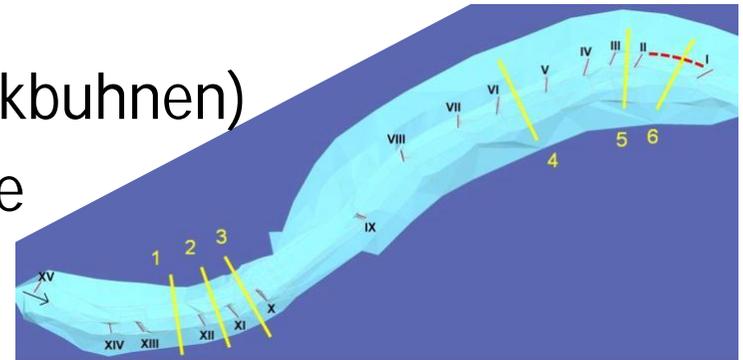
Erfolgskontrolle Lenkbuhnen



Uferschutz

§ Ufer stabil (Profile 1-5 mit Lenkbuhnen)

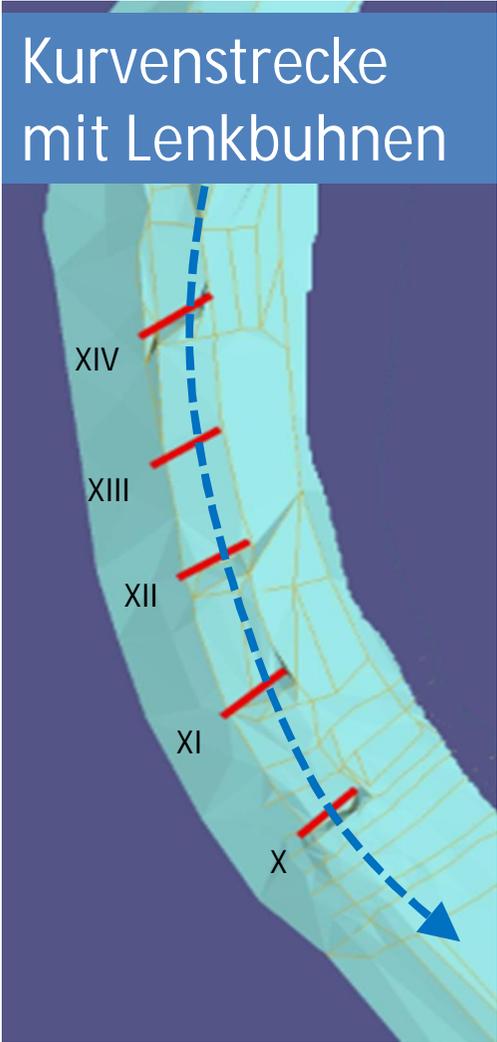
§ Ufererosion bei Kontrollstrecke ohne Lenkbuhnen (Profil 6)



Das ausschliessliche und deutliche Auftreten von Seitenerosion im Abschnitt ohne Lenkbuhnen unterstreicht die Funktionalität der Lenkbuhnen für Uferschutz auch bei grossen Hochwasserabflüssen (mind. 8-fache Überströmungshöhe).

Erfolgskontrolle Lenkbuhnen

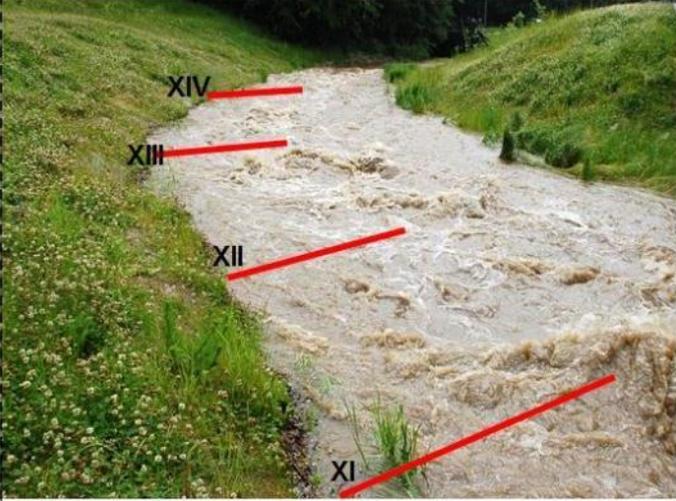
Uferschutz



Basler & Hofmann

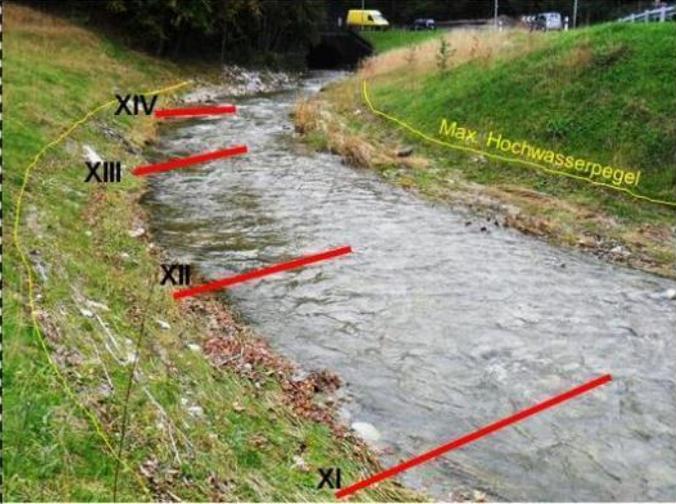
Wirkung bei Hochwasser

- Stromstrich in Gerinnemitte
- Beruhigte Strömung am Prallufer



Nach Abflussspitze von 30 m³/s

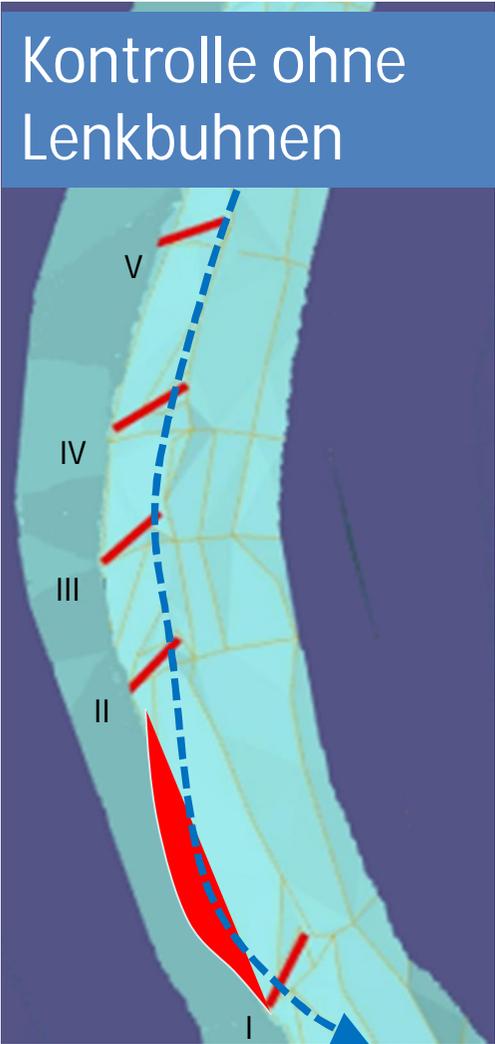
- Keine Ufererosion



Werdenberg et al. (2018)
2018

Erfolgskontrolle Lenkbuhnen

Uferschutz



Basler & Hofmann

Wirkung bei Hochwasser

- Stromstrich verlagert sich ans Prallufer



Nach Abflussspitze von 30 m³/s

- Ufererosion



Werdenberg et al. (2018)
2018

Erfolgskontrolle Lenkbuhnen

Morphologie Detail

- § Kolkbereich Mitte Gerinne
- § Sedimentation am Prallufer

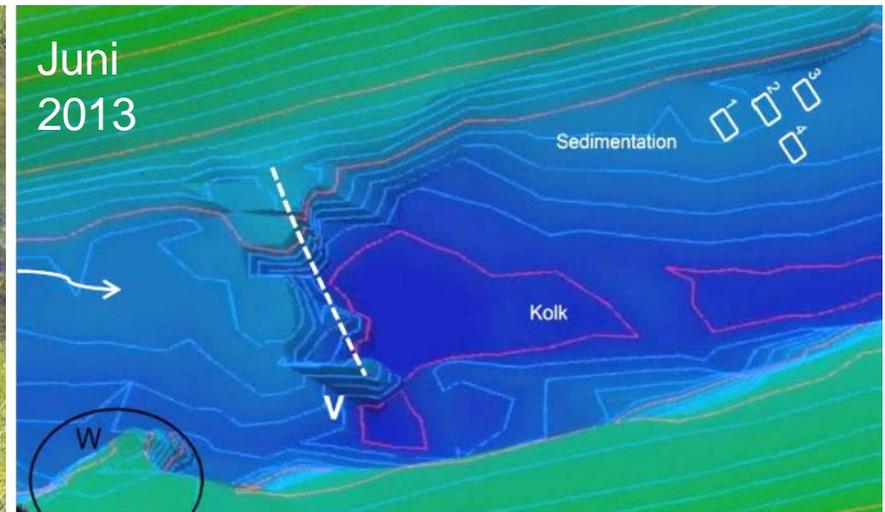
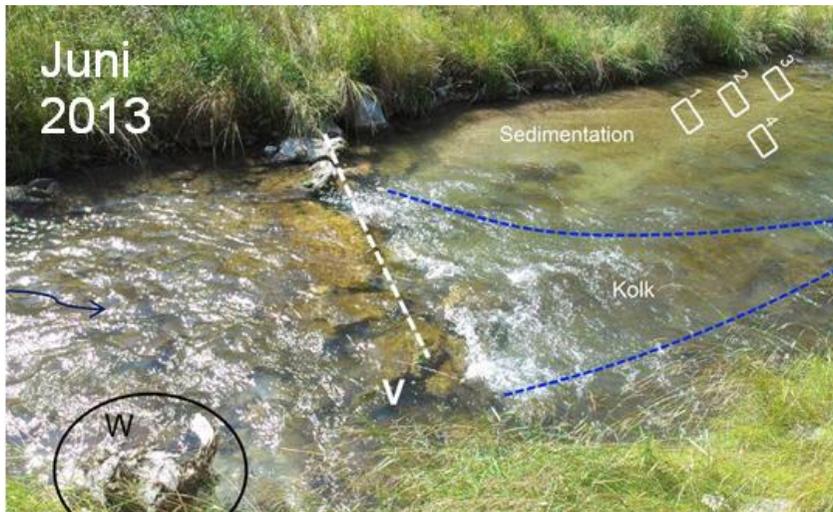
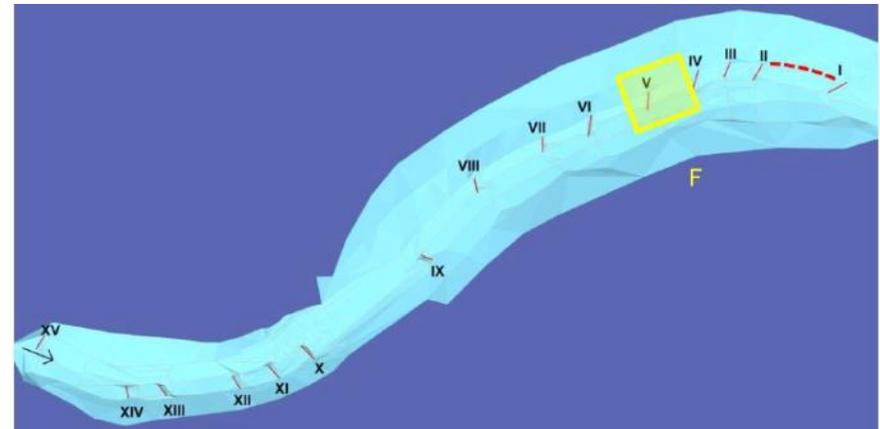


Abb. 18 Resultat Vermessung Bereich Fläche F vom 03.06.2013 (W = Wurzelstock; 1 bis 4 = Standorte Sedimentproben)

Basler & Hofmann

Die moderne Flussbaumethode auf dem Prüfstand...

Niels Werdenberg

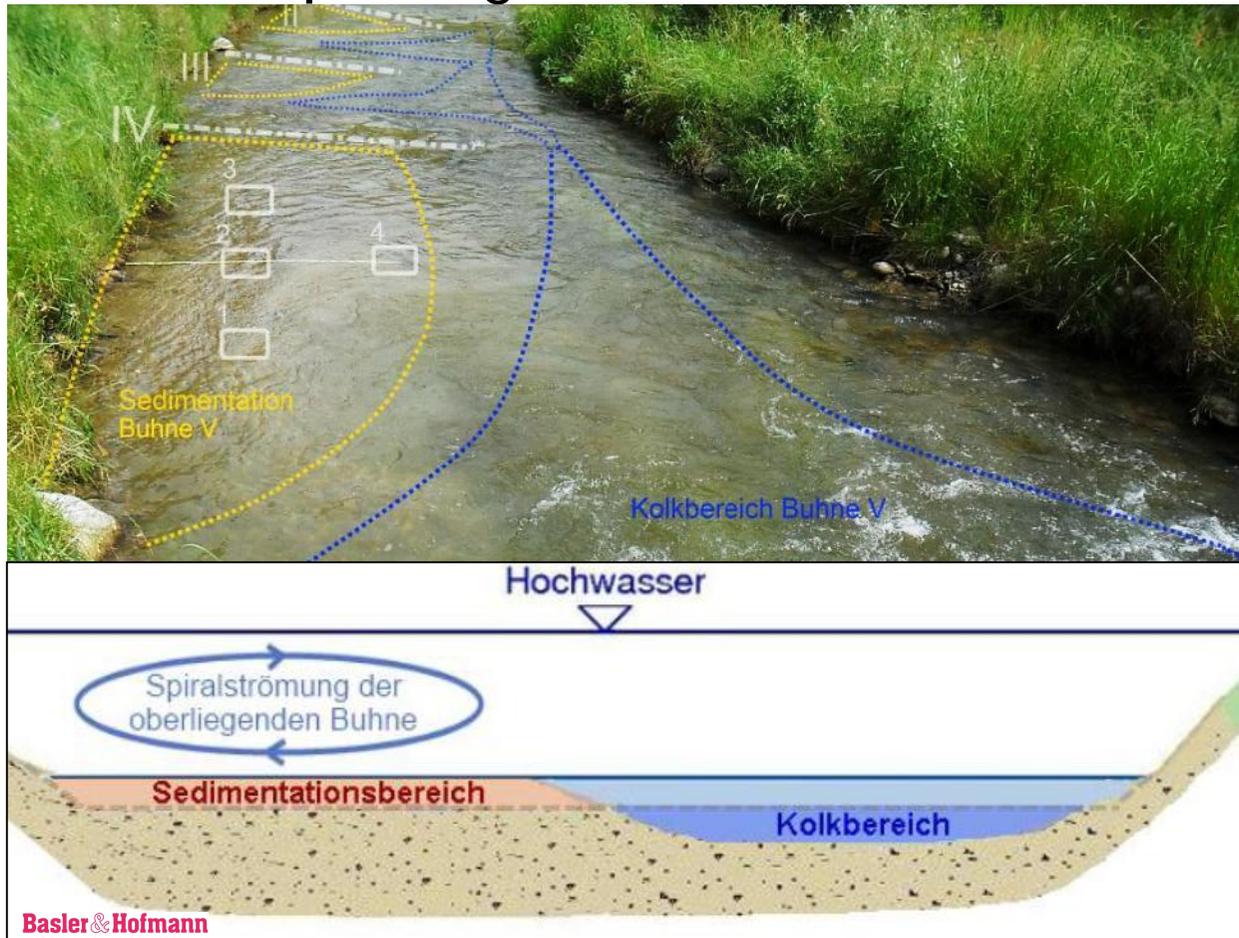
INSTREAM RIVER TRAINING – Bauen mit dem Fluss

Werdenberg et al. (2018)

2018

Erfolgskontrolle Lenkbuhnen

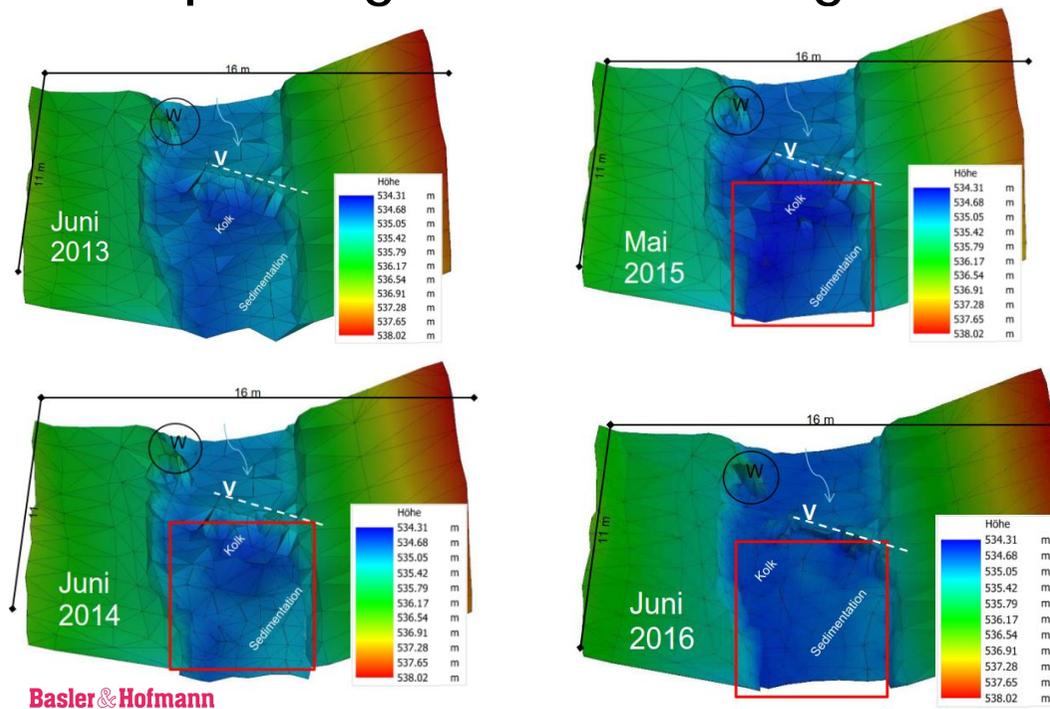
Morphologie Detail



- § Morphologie als Folge der Spiralströmung bei HW
- § Typisch für Lenkbuhnen
- § durchgehender Kolkbereich = sommerkühle Niederwasser-Rinne

Erfolgskontrolle Lenkbuhnen

Morphologie Entwicklung



- § Morphologie als Folge der Spiralströmung bei HW
- § durchgehender Kolkbereich = sommerkühle Niederwasser-Rinne

Die Kolk- und Auflandungsbereiche treten wie erwartet an den für die Lenkbuhnen typischen Stellen auf. Aus der morphologischen Vielfalt der Sohle kann eine ebenso grosse Strömungsvielfalt abgeleitet werden. Die insgesamt geschaffene Habitatvielfalt und insbesondere die im Niederwasserfall wichtige, durchgehende Tiefzone ist aus gewässerökologischer Sicht vorteilhaft. Die Schaffung von Auflandungszonen am Prallufer ist zudem ein weiterer Hinweis auf die uferschützende Wirkung der inklinanten Lenkbuhnen.

Erfolgskontrolle Lenkbuhnen

Ökonomie

- § LB benötigen weniger Blocksteine als Längsverbau
- § Einsparung Baukosten gegenüber Längsverbau ca. 30 bis 50 %
- § Bauleitungsaufwand jedoch leicht höher (Einführung Maschinist & engere Begleitung vor Ort)

Längsverbau



Basler & Hofmann

Niels Werdenberg

Lenkbuhnen



Werdenberg et al. (2012)

INSTREAM RIVER TRAINING – Bauen mit dem Fluss

2018

Erfolgskontrolle Lenkbuhnen

Fazit Langzeitstudie 2011 - 2018

Uferschutz: auch bei Hochwasser gewährleistet

Morphologie: strukturreiche Sohle, Akzentuierte
Niederwasserrinne, unverbaute Ufer

Ökonomie: klare Einsparung gegenüber Längsverbau

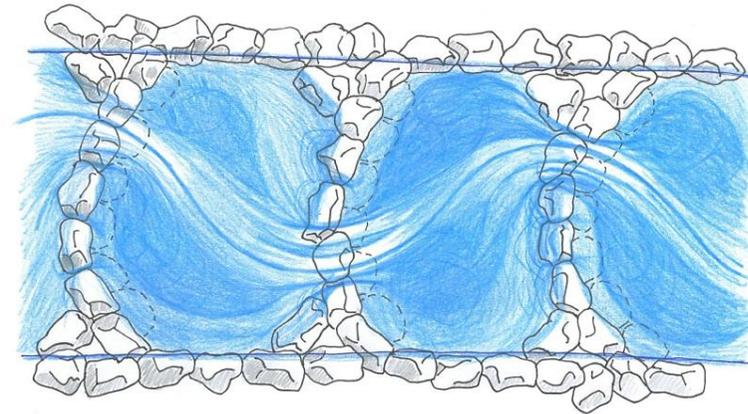
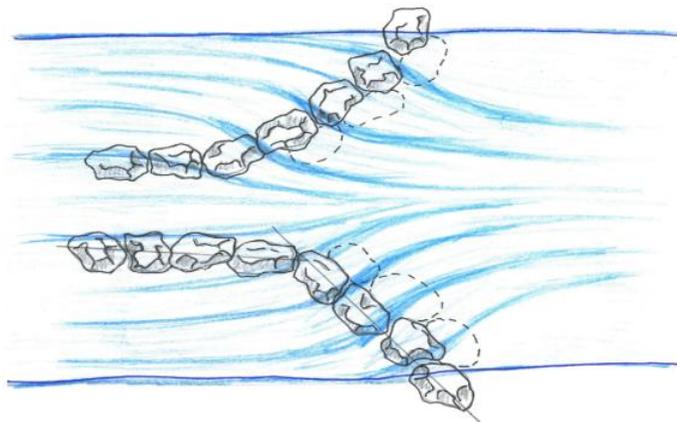
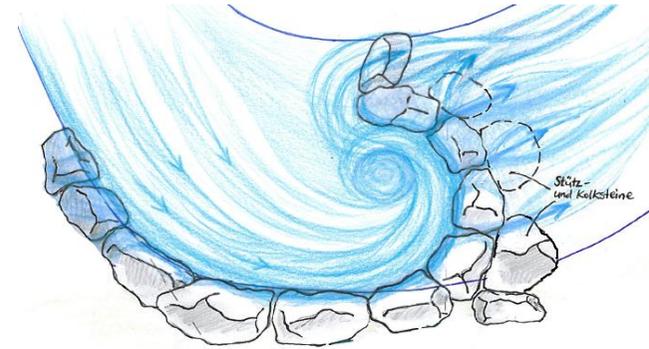
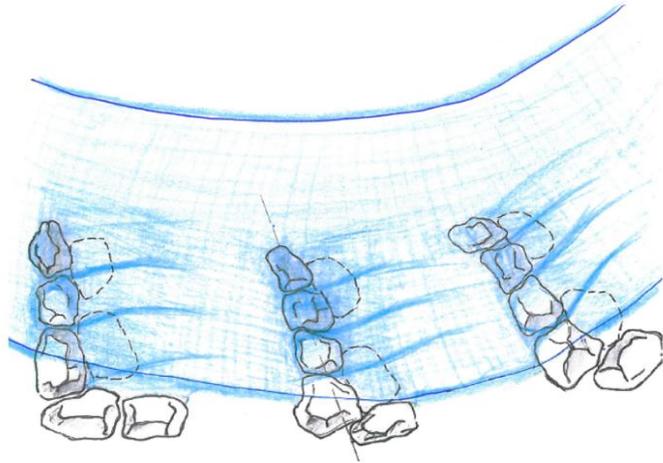


Basler & Hofmann



Werdenberg et al. (2018)

Faustregeln Bemessung IRT für Praktiker



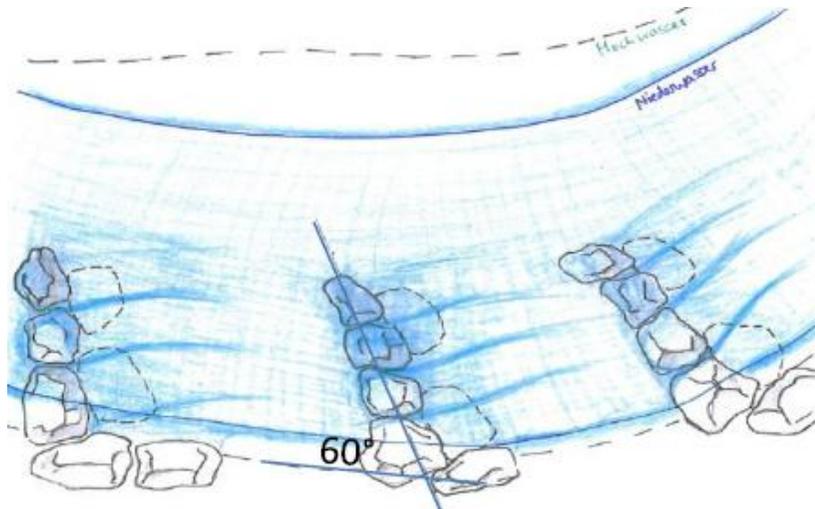
Allgemeine Rahmenbedingungen



- § Untergrund / Korngrößen Sohlenmaterial / zu erwartende Kolk-tiefen / Sohlenschwankungen
- § Geotechnik Ufer
- § Gefälle / Längsprofil (projektierter Verlauf)
- § Kurvenradius

Faustregeln

Bemessung inklinante Lenkbuhne



Längsgefälle

§ Empfehlung 0 – 2.5 %

Gerinnebreite

§ >1.5 m

Winkel Ufer/Buhnenachse

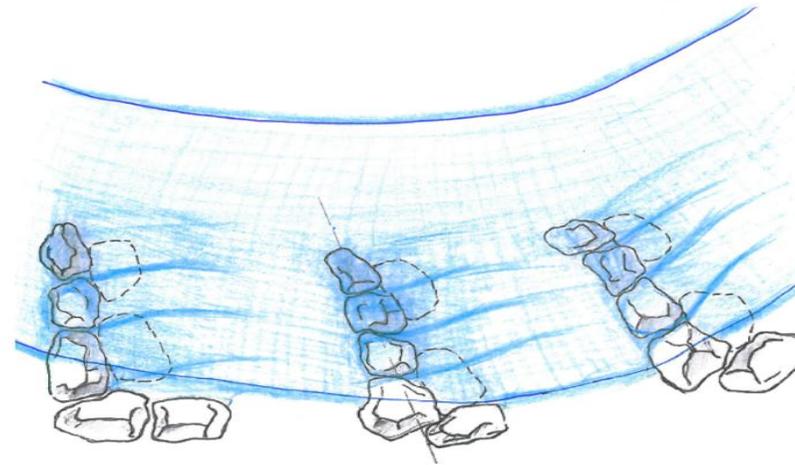
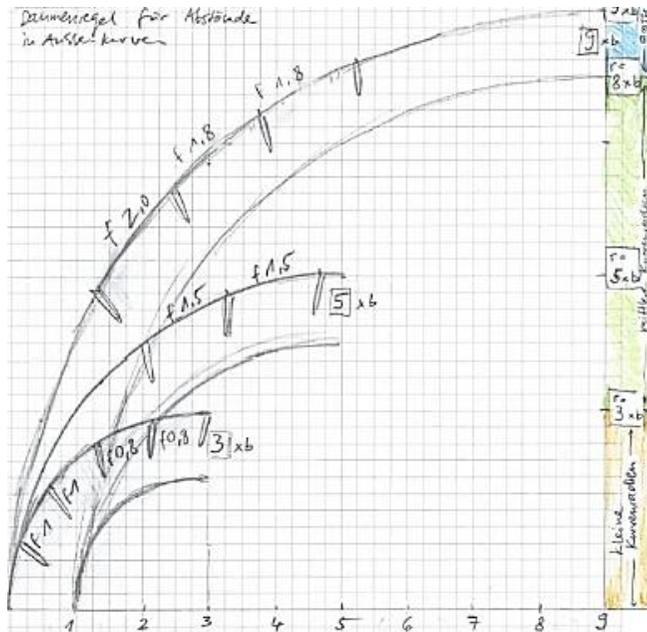
§ i.d.R. ca. 60°

Länge Buhne

§ bis Mitte Sohle, max 2/3 B

Faustregeln

Bemessung inklinante Lenkbuhne



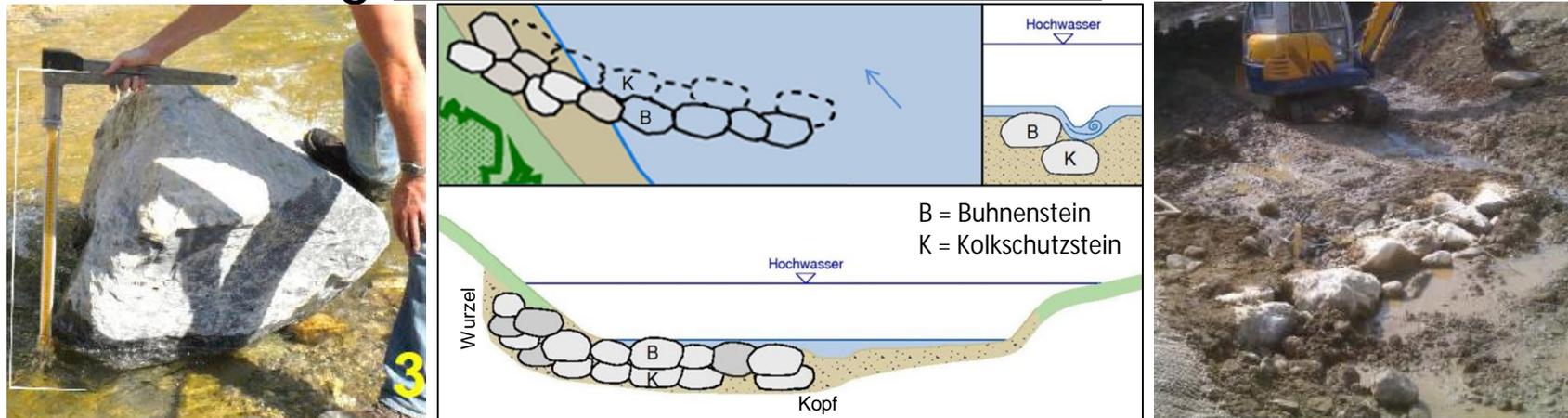
Buhnenabstände in Aussenkurve nach Massgabe Kurvenradius r und Sohlenbreite B

- § kleine Kurvenradien ($r < 3 \times B$) $\rightarrow B \times 0,8$ bis $1,0$
- § mittlere Kurvenradien $\rightarrow B \times 1,5$
- § grosse Kurvenradien ($r > 8 \times B$) $\rightarrow B \times 1,8$ bis $2,0$

Abstände beim
Einbau nie exakt
gleich, sondern
leicht variieren
(naturnah)

Faustregeln

Bemessung inklinante Lenkbuhne



Blocksteingrösse

- § Bäche → Schubspannung, Schleppkräfte (Boulder mass nach *Shields 1936*, *Stevens et al. 1976*)
- § Flüsse → Kantenlänge (Bei einer Einbindung des Steins zu 2/3 in Sohle – zwingend – sollte die Kantenlänge passend zur Kolkentiefe bzw. zur Schwankung der Sohlenlage gewählt werden)

Einbauhöhe Bühnensteine

- § Ca. 1/10 der Hochwasserspiegelhöhe über Sohlenniveau (Leicht ansteigend zur Wurzel, leicht abfallend zum Kopf)

Verankerung:

- § Nachkolkschutz-Steine & Einbindung Bühnenwurzel

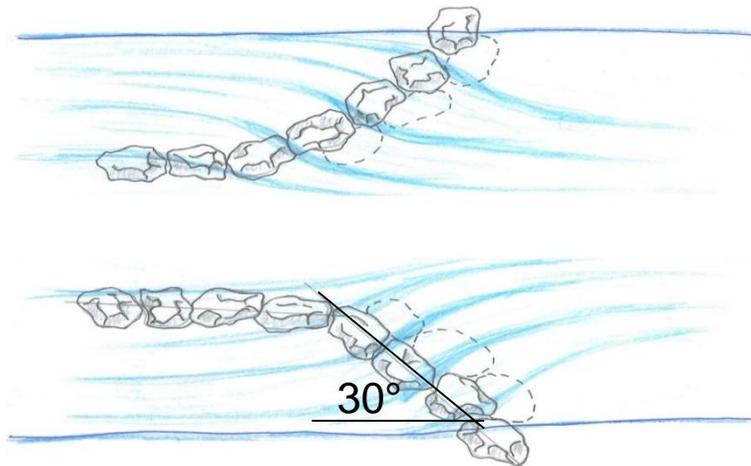
Niels Werdenberg

INSTREAM RIVER TRAINING – Bauen mit dem Fluss

Werdenberg et al. (2012)
Mende (2014)
2018

Faustregeln

Bemessung Trichterbuhne



Längsgefälle

§ Empfehlung 0 – 2.5 %

Gerinnebreite

§ > 3.5 m

Winkel Ufer/Buhnenachse

§ ca. 30°

Länge Trichter

§ i.d.R. B x 1 bis 2

Trichterabstände nach Massgabe Sohlenbreite B und Längsgefälle J

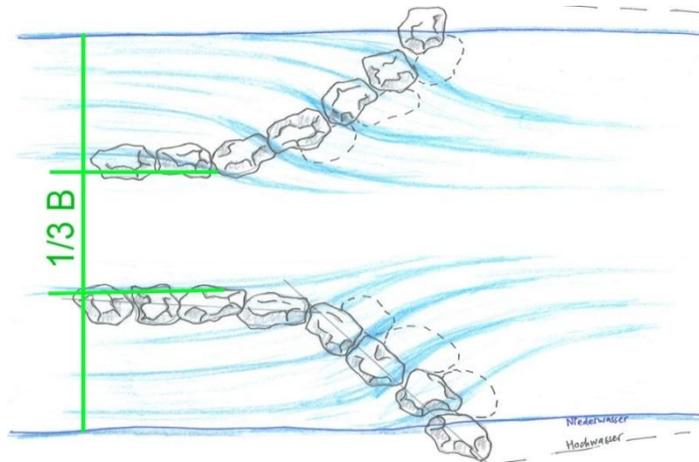
§ ca. B x 1.5 (für J = 1.6 – 2.5 %)

§ ca. B x 3 (für J = 1 – 1.5 %)

§ ca. B x 4 (für J = 0 – 0.9 %)

Faustregeln

Bemessung Trichterbuhne



Blocksteingrösse

§ Analog inklinante Lenkbuhne

Einbauhöhe Buhnensteine

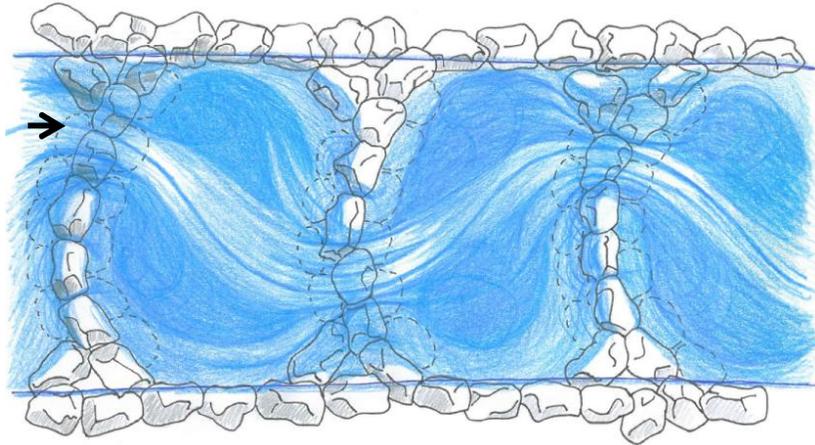
§ Ca. 1/10 der Hochwasserspiegelhöhe über Sohlenniveau

Verankerung

§ Nachkolkschutz-Steine & Einbindung Buhnenwurzel

Faustregeln

Bemessung Pendelrampe



Grafik: Werdenberg

Rahmenbedingungen

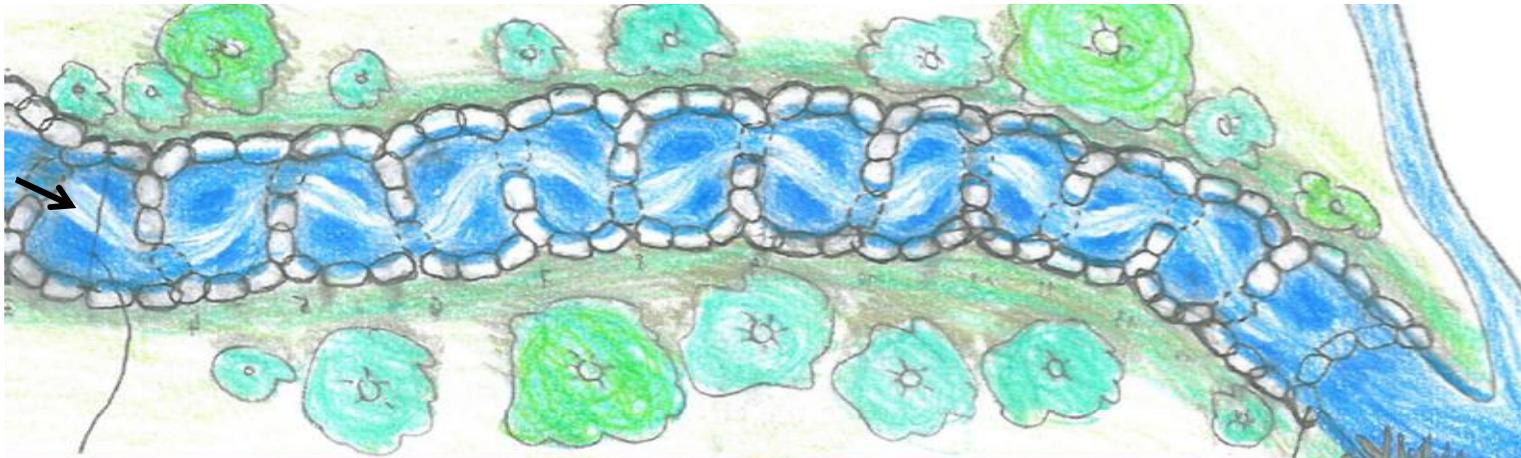
- § Untergrund / Korngrößen Sohlenmaterial
- § Geotechnik Ufer
- § Gefälle / Längsprofil (projektierter Verlauf)

Blocksteingröße

- § Stabilitätskriterien (Required boulder mass nach *Sindelar 2011*)

Faustregeln

Bemessung Pendelrampe



Grafik: Werdenberg

Längsgefälle

§ Empfehlung $< 5.0\%$ ($< 3\%$ nach *Sindelar 2011*)

Riegelabstände

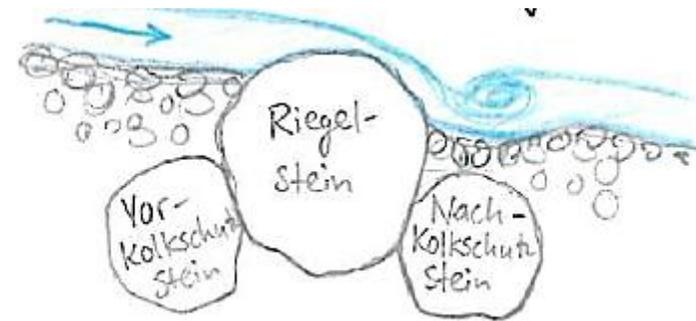
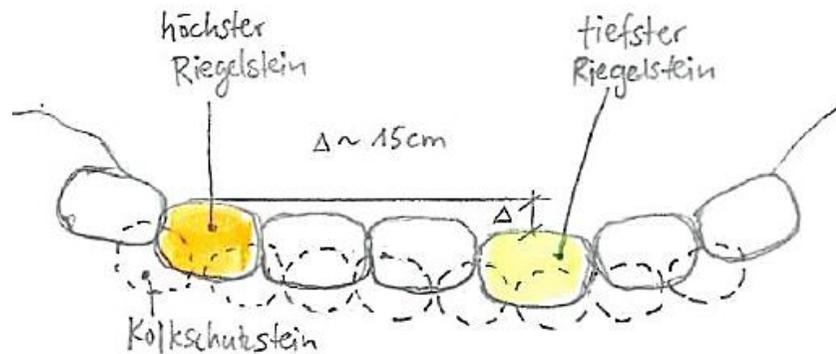
§ nach *Sindelar 2011* (i.d.R. mindestens Niederwasserbreite)

Mittlere Riegelhöhe über Sohle

§ nach *Sindelar 2011* ca. 0.15 m (Fischmigration)

Faustregeln

Bemessung Pendelrampe



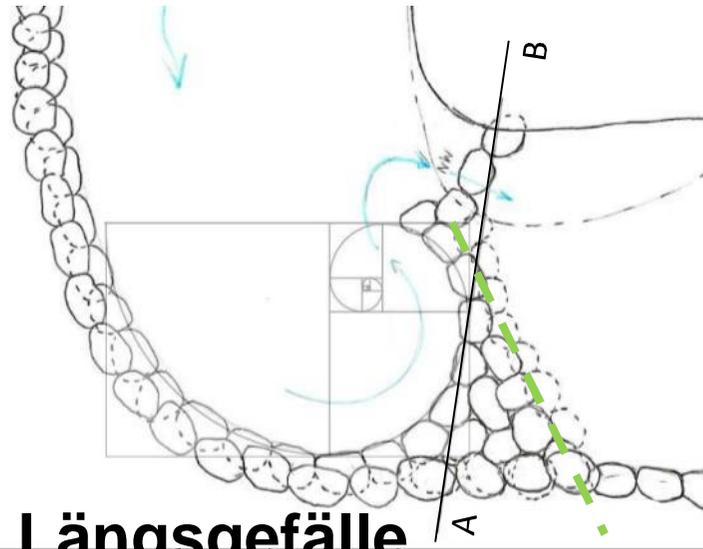
Grafik: Werdenberg

Verankerung

- § Vor- und Nachkolksteinreihe im Untergrund (min. Steingröße nach *Sindelar 2011*)
- § Einbindung Riegel beidseitig in Ufer

Faustregeln

Bemessung Schneckenbuhne



Längsgefälle

§ Empfehlung 0 – 2.5 %

Ideal bei engen Kurven oder Anrissen

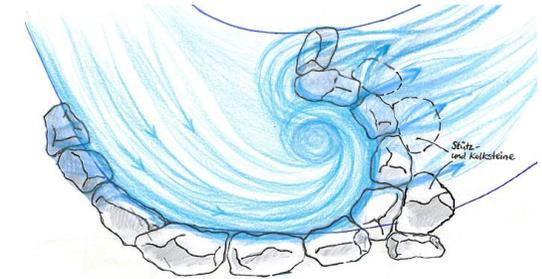
§ $r < 3 \times B$, B mind. 4 m

Steingrösse / Einbauhöhe / Verankerung

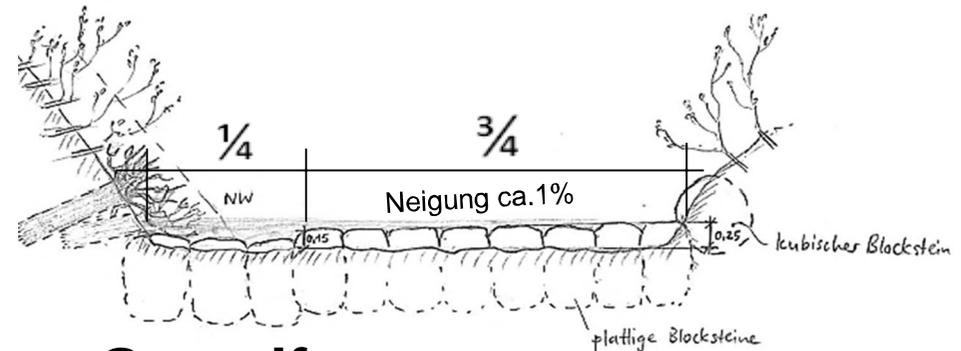
§ analog inklinante LB

Niels Werdenberg

INSTREAM RIVER TRAINING – Bauen mit dem Fluss



Schnitt B-A



Grundform

§ Fibonacci Spirale

Breite Schneckenbogen

§ i.d.R. $\frac{3}{4} B$

Anschlussriegel (tiefgestellt)

§ i.d.R. $\frac{1}{4} B$

Winkel der Abschlussachse

§ 60° (inklinante LB)

Huber (2010)
Mende (2014)
Werdenberg (2015)
2018

«Man reguliert einen Fluss nicht von seinen Ufern aus, sondern von Innen,
aus dem fließenden Medium selbst» Viktor Schauberger



Grafik: Werdenberg

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Niels Werdenberg

Dipl. Biologe, Dipl. Umweltingenieur FH NDS

Projektleiter

Telefon +41 58 451 65 77

Emch+Berger AG Bern

Schlosslistrasse 23 | Postfach | CH-3001 Bern | www.emchberger.ch

Weiterführende Literatur zu Instream River Training:

Mende, M., Sindelar, C. 2010. Instream River Training – Lenkbuhnen und Pendelrampen. In: Gemeinschafts-Symposium der Wasserbau- Institute TU München, TU Graz und ETH Zürich vom 1.-3. Juli 2010 in Wallgau, Oberbayern, 35–44

Mende, M. 2014. Naturnaher Uferschutz mit Lenkbuhnen – Grundlagen, Analytik und Bemessung. Dissertation, TU Braunschweig, Leichtweiss-Institut für Wasserbau

Sindelar, C. Design of a Meandering Ramp. Dissertation, TU Graz, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, 2011

Werdenberg, N., Meile, T., Steiner, R. 2012. Erfahrung mit Lenkbuhnen bei Hochwasserschutz und Renaturierung - Instream River Training am Voralpenfluss Taverna. In: Gemeinschafts- Symposium der Wasserbau-Institute TU München, TU Graz und ETH Zürich vom 12.-15. September 2012 in Graz, Steiermark, 533–540

Werdenberg N., Mende M., Sindelar C. 2014. Instream River Training – Fundamentals and Practical Example: In: River Flow 2014, International Conference on Fluvial Hydraulics, Eds: A. J. Schleiss, G. de Cesare, M. J. Franca, M. Pfister, EPFL Lausanne, CRC Balkema Press

Werdenberg, N. 2018. Erfolgskontrolle Lenkbuhnen an der Taverna 2011 - 2018. Abschlussbericht 2018, Zollikofen/Murten, 29. Oktober 2018