

**Universität für Bodenkultur Wien**  
University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

**Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt**  
Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft



**Universität für Bodenkultur Wien**

# Projektanalyse flussbaulicher Maßnahmen nach dem Prinzip des Instream River Training

Masterarbeit zur Erlangung des akademischen Grades  
Diplomingenieur

eingereicht von:  
**SIMON ALBERT**  
Matrikelnummer 0641134

Betreuer: Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr.nat.techn. Willibald Loiskandl

19. Mai 2014



## **Vorwort**

Die vorliegende Arbeit wurde am Institut für Hydraulik und landeskultureller Wasserwirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien unter der Leitung von Univ. Prof. Dr. Willibald Loiskandl durchgeführt.

Mein besonderer Dank gilt:

### **UNIV. PROF. DR. WILLIBALD LOISKANDL**

für die Möglichkeit zur Durchführung dieser Arbeit und die umfangreiche Unterstützung und Hilfestellung

### **DI MATTHIAS MENDE, Ma.ING.DIPL.sc. NIELS WERDENBERG, DI Mag.DR.techn CHRISTINE SINDELAR und DI JAN KÖCK,**

für die Bereitstellung von Unterlagen und die Hilfe bei Fragestellungen

### **OTMAR GROBER**

für die weitreichenden Einblicke in den naturnahen Flussbau und die Vermittlung vielseitiger Sichtweisen

### **MEINER FAMILIE UND MEINEN FREUNDEN**

für die kontinuierliche Unterstützung und Motivation während des gesamten Studiums und in allen Lebenslagen

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>VI</b>
<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>VII</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Flussbauliche Maßnahmen .....</b>	<b>3</b>
2.1 Rechtlicher Rahmen.....	3
2.2 Anthropogene Eingriffe in Flusssysteme.....	5
2.3 Herausforderungen des naturnahen Flussbaus .....	7
<b>3 Instream River Training .....</b>	<b>8</b>
3.1 Viktor Schauburger .....	8
3.2 Iowa Vanes.....	11
3.3 Ziel .....	12
<b>4 Sohlgrundlenkbuhnen .....</b>	<b>13</b>
4.1 Entwicklung von Buhnen.....	13
4.2 Bauweise.....	14
4.3 Hydraulische Wirkungsweise.....	16
4.4 Lenkbuhnen zum Uferschutz.....	17
4.4.1 Strömungsverhältnisse in Flusskrümmungen .....	17
4.4.2 Hydraulische Wirkungsweise in Flusskrümmungen .....	20
<b>5 Trichterförmige Leitwerke (Strömungstrichter).....</b>	<b>22</b>
5.1 Allgemeines .....	22
5.2 Bauweise.....	22
5.3 Hydraulische Wirkungsweise.....	23
<b>6 Pendelrampe.....</b>	<b>24</b>

<b>6.1</b>	<b>Allgemeines .....</b>	<b>24</b>
<b>6.2</b>	<b>Bauweise .....</b>	<b>28</b>
<b>6.3</b>	<b>Hydraulische Wirkungsweise .....</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>Flussbauliche Projekte .....</b>	<b>35</b>
<b>7.1</b>	<b>Sohlgrundlenkbuhnen im Ellikerbach, Kanton Zürich, Schweiz .....</b>	<b>36</b>
	7.1.1 Auswirkungen .....	37
<b>7.2</b>	<b>Sohlgrundlenkbuhnen in der Mürz, Kraftwerk Trieb, Steiermark .....</b>	<b>40</b>
	7.2.1 Auswirkungen .....	42
<b>7.3</b>	<b>Sohlgrundlenkbuhnen in der Taverna, Kanton Freiburg, Schweiz .....</b>	<b>46</b>
	7.3.1 Auswirkungen .....	48
<b>7.4</b>	<b>Strömungstrichter in der Mur, St Stefan ob Leoben, Steiermark .....</b>	<b>53</b>
	7.4.1 Auswirkungen .....	56
<b>7.5</b>	<b>Strömungstrichter in der Salza, Gusswerk, Steiermark .....</b>	<b>59</b>
	7.5.1 Auswirkungen .....	61
<b>7.6</b>	<b>Strömungstrichter in der Kainach, Dobl, Steiermark .....</b>	<b>64</b>
	7.6.1 Auswirkungen .....	67
<b>7.7</b>	<b>Pendelrampe im Stübmingbach, Turnau, Steiermark .....</b>	<b>70</b>
	7.7.1 Auswirkungen .....	73
<b>7.8</b>	<b>Pendelrampe Scherlibach, Köniz, Kanton Bern, Schweiz .....</b>	<b>79</b>
	7.8.1 Auswirkungen .....	82
<b>7.9</b>	<b>Pendelrampe Große Tulln, Leitsberg, Niederösterreich .....</b>	<b>86</b>
	7.9.1 Auswirkungen .....	89
<b>8</b>	<b>Ziel/Auswirkung – Matrix .....</b>	<b>91</b>
<b>8.1</b>	<b>Zielgruppen und Einzelziele .....</b>	<b>91</b>
<b>8.2</b>	<b>Wirkungsgruppen und Auswirkungen .....</b>	<b>92</b>
<b>8.3</b>	<b>Anwendung .....</b>	<b>94</b>
	8.3.1 Methodik .....	95
<b>8.4</b>	<b>Anwendungsbeispiel .....</b>	<b>97</b>
<b>8.5</b>	<b>Definition der Ziele und Auswirkungen .....</b>	<b>98</b>
	8.5.1 Hydraulik .....	98

8.5.2 Hydromorphologie .....	99
8.5.3 Ökologie/Umwelt .....	101
8.5.4 Projektkosten.....	102
<b>8.6 Auswirkungen.....</b>	<b>103</b>
8.6.1 Wirkungsgruppe Hydraulik.....	103
8.6.2 Wirkungsgruppe Sohle .....	104
8.6.3 Wirkungsgruppe Ufer.....	106
8.6.4 Wirkungsgruppe Hochwasser.....	107
8.6.5 Wirkungsgruppe Landschaft.....	107
8.6.6 Wirkungsgruppe Vegetation .....	108
8.6.7 Wirkungsgruppe Fische.....	108
8.6.8 Wirkungsgruppe Wirtschaft.....	109
<b>9 Auswertung .....</b>	<b>110</b>
<b>9.1 Sohlgrundlenkbuhnen .....</b>	<b>111</b>
9.1.1 Resümee.....	114
<b>9.2 Strömungstrichter .....</b>	<b>115</b>
9.2.1 Resümee.....	118
<b>9.3 Pendelrampe .....</b>	<b>119</b>
9.3.1 Resümee.....	122
<b>9.4 Diskussion und Gegenüberstellung der Strukturelemente .....</b>	<b>124</b>
<b>9.5 Ökonomische Bewertung .....</b>	<b>126</b>
<b>10 Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>128</b>
<b>11 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>130</b>
<b>12 Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>136</b>
<b>13 Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>140</b>
<b>14 Formelverzeichnis .....</b>	<b>141</b>
<b>15 Anhang .....</b>	<b>142</b>
15.1 Schneckenbuhnen .....	142
15.2 Ziel/Auswirkung - Matrizen.....	146

## Abkürzungsverzeichnis

APCP	Acoustic Doppler Current Profiler
BAFU	Bundesamt für Umwelt (Schweiz)
BBL	Baubezirksleitung
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
cm	Zentimeter
D	Durchmesser (soweit nicht anders gekennzeichnet)
DIN	Deutsches Institut für Normung
EZG	Einzugsgebiet
EU-WRRL	EU-Wasserrahmenrichtlinie
FLOZ	Flussordnungszahl
FMH	Fischmigrationshilfen
FLKM	Flusskilometer
GZUV	Gewässerzustandsverordnung
HQ <sub>x</sub>	Hochwasserereignis der Jährlichkeit X [m <sup>3</sup> /s]
km	Kilometer
KW	Kraftwerk
kWh	Kilowattstunde
LKW	Lastkraftwagen
m	Meter
MQ	Mittlerer Abfluss (bezogen auf ein Abflussjahr) [m <sup>3</sup> /s]
MNQ	Mittlerer Niedrigwasserabfluss [m <sup>3</sup> /s]
NQ	Niedrigster Abfluss gleichartiger Zeitabschnitte [m <sup>3</sup> /s]
Q	Durchfluss [m <sup>3</sup> /s]
TU	Technische Universität
U <sub>c</sub>	Fließgeschwindigkeit in Hauptströmungsrichtung
Vgl.	Vergleiche
3D	Dreidimensional

## Zusammenfassung

Hinsichtlich des Flussbaus treten in der heutigen Kulturlandschaft ökologische Aspekte und daraufhin angepasste Sichtweisen immer mehr in den Vordergrund. Das "Instream River Training" ist eine Methode des modernen naturnahen Flussbaus, das mit geringfügigen Eingriffen die Gewässerstabilisierung sowie ein nachhaltiges Geschiebemanagement bei gleichzeitiger Initialisierung der Eigendynamik fördert. Dabei wird die Strömung als Grundlage der meisten Fragestellungen, die sich im Konfliktfeld zwischen den Belangen des Menschen und der Umwelt ergeben, verstanden. Die dafür eingesetzten Strukturelemente sind in der Entwicklung.

In der vorliegenden Arbeit wird durch die Erarbeitung einer Ziel/Auswirkung-Matrix eine Möglichkeit geboten, flussbauliche Maßnahmen nach dem Prinzip des "Instream River Training" hinsichtlich ihrer Ziele und Auswirkungen, zu verstehen und gegenüberzustellen. Ziel ist es, anhand einer Projektanalyse die Prognose der Auswirkungen für diese und vergleichbare naturnahe Maßnahmen zu verbessern.

Es wird einleitend auf die Herausforderungen des modernen naturnahen Flussbaus im Zusammenhang mit dem bestehenden rechtlichen Rahmen eingegangen, und die Entwicklung sowie das Prinzip des "Instream River Training" erläutert. Die einzelnen Bauweisen werden vorgestellt und bestehende Projekte als Grundlage für die Auswertung mit der Ziel/Auswirkung-Matrix herangezogen. Nach der Erläuterung der Methodik der Matrix wird die Auswertung vorgenommen. Abschließend werden die Erkenntnisse zusammengefasst und diskutiert sowie ein Ausblick hinsichtlich der weiteren Entwicklung des "Instream River Training" gegeben.

## **Abstract**

With regard to river engineering, in the present-day cultural landscape, ecological aspects and adjusted perceptions are considered more and more. The Instream River Training is a technique of nature-orientated river engineering, making it possible - by minor interferences - to stabilize rivers as well as initializing its own dynamic and providing a sustainable bedload management at the same time. Thereby, the stream flow is regarded as cause of most issues regarding conflicts between human requirements and those of nature. The structural elements used for the Instream River Training are under way.

By the development of an aim/consequence-matrix, the presented master thesis provides an opportunity to understand and discuss the aims and consequences of the river engineering measures by the principle of the Instream River Training. The objective is to improve the prognosis concept of those and comparable measures by an analysis of projects.

Incipiently, the challenges of modern nature-orientated river engineering in relation to the legal framework are commented, and the development as well as the principle of the Instream River Training is defined. The individual construction methods are presented and consisting projects are used as base of the evaluation by the aim/consequence-matrix. After the explanation of the methodology, the analysis is conducted. In the conclusion, the results are summarized and discussed and a perspective - regarding the further development of the Instream River Training - is given.

# 1 Einleitung

Durch einen sich stetig verändernden Lebensraum sind auch dessen Randbedingungen ständigen Veränderungen unterworfen. Daraus ergeben sich für Fließgewässer Spannungsfelder zwischen den ökologischen Anforderungen und denen einer Kulturlandschaft. Die Entwicklung des Flussbaus beinhaltet durch die Beweglichkeit des zu behandelnden Elements und der stetigen Veränderung seiner Aufgaben und Anforderungen ein weites Feld an zu beachtenden Faktoren und Komponenten. Diese sind für jeden Fluss speziell und können auch für jeden Flussabschnitt große Verschiedenheit aufweisen.

Für die zufriedenstellende Entwicklung einer Kulturlandschaft hinsichtlich der Gesamtheit der Bedürfnisse, nahm in der jüngeren Vergangenheit der naturnahe Flussbau an Bedeutung zu. Die neuen ökologischen Anforderungen machen eine angepasste Sichtweise notwendig, mit der ein Für und Wider eines Eingriffs in die natürliche Fließgewässerentwicklung möglichst frühzeitig in seinen Gesamtauswirkungen bewertet werden kann (vgl. PATT, et al., 2009).

Die angemessene Umsetzung einer flussbaulichen Maßnahme macht somit das Erkennen und Gegenüberstellen der wechselseitigen Beeinflussungen aller miteinander verbundenen Komponenten erforderlich. Daher ist das Verstehen der komplexen Zusammenhänge zwischen Hydraulik, Ökologie und Morphologie eines Fließgewässers, und den anthropogenen Eingriffen in dieses, notwendig. Dieses Prozessverständnis kann durch das Entwickeln und Etablieren von Strategien, die es ermöglichen, die Ziele des Flussbaus und deren Auswirkungen bestmöglich zu analysieren und aufeinander abzustimmen, angewendet werden.

Der Naturforscher Viktor Schauberg erforschte bereits in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts viele wichtige Zusammenhänge zwischen Eingriffen in die Natur und deren Auswirkungen. Er gab dabei richtungsweisende Ausblicke für konkrete Umsetzungen des naturnahen Wasserbaus, die heute von fundamentaler Wichtigkeit sind. Einige grundlegende Ideen Schaubergs werden durch das Instream River Training, einer Methode des modernen naturnahen Flussbaus, umgesetzt. Dabei werden strömungsmodifizierende Strukturelemente eingesetzt. Diese sind derzeit noch in der Entwicklung und durch einzelne Projekte, die sich auf die speziellen Gegebenheiten des betreffenden Flussabschnitts beziehen, beschrieben.

## Fragestellung

Geltende Bemessungsansätze für die jeweiligen Bauweisen des Instream River Training sind in der Entstehung und werden durch wissenschaftliche Behandlungen weiterentwickelt. Dabei stellt sich die Frage, wie die Wirkung des Flussbaus nach dem Prinzip des Instream River Training hinsichtlich verschiedener Zielsetzungen und unterschiedlichen Gegebenheiten und Anforderungen von Fließgewässern beurteilt werden kann, und welche Einsatzmöglichkeiten sich dadurch ergeben. Des Weiteren ist zu prüfen, welche ökologischen und ökonomischen Vorteile das Instream River Training gegenüber dem klassischen Flussbau bietet.

### **Ziel der Arbeit**

- Diskussion und Gegenüberstellung flussbaulicher Maßnahmen nach dem Prinzip des Instream River Training durch eine Projektanalyse
- Verbesserung des Prozessverständnisses durch Erarbeiten übertragbarer Ergebnisse und Zusammenhänge auf Grundlage der Projektanalyse
- Entwicklung einer Ziel/Auswirkung-Matrix zur Erhöhung der Prognose der Auswirkungen des Instream River Training

Bezogen auf die Anforderungen eines individuellen Flussabschnitts kann mit der Ziel/Auswirkung-Matrix eine geeignete naturnahe flussbauliche Maßnahme hinsichtlich der jeweiligen Ziele und Gestaltungsmöglichkeiten gefunden werden. Der Fokus liegt dabei auf der hydraulischen Wirkungsweise und der Erreichung der jeweiligen flussbaulichen Ziele hinsichtlich der Hydromorphologie. Mit der Matrix soll zudem ermöglicht werden, im Vorfeld die Auswirkungen der jeweiligen Maßnahme im Hinblick auf die Zielsetzungen der EU- Wasserrahmenrichtlinie zu beurteilen.

## 2 Flussbauliche Maßnahmen

In diesem Kapitel soll ein kurzer Überblick über den bestehenden rechtlichen Rahmen hinsichtlich der Fließgewässer in Österreich gegeben werden. Des Weiteren werden die Einwirkungen menschlicher Aktivitäten in Flusssysteme und diesbezüglich die Herausforderungen des naturnahen Flussbaus erläutert.

### 2.1 Rechtlicher Rahmen

Anthropogenen Nutzungsansprüchen an Fließgewässern steht der nachhaltige Schutz der empfindlichen Lebensräume, sowie den zum Hochwasserschutz notwendigen Retentionsräumen gegenüber. Ein Abwägen von oft gegensätzlichen Interessen ist daher erforderlich. Anlässlich der Notwendigkeit eines Regelwerks für die dabei zu treffenden Entscheidungen ist die Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG (EU-WRRL) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 am 22. Dezember 2002 in Kraft getreten. Dadurch wurde ein Ordnungsrahmen für den europäischen Gewässerschutz sichergestellt und die politische Priorität für den nachhaltigen Umgang mit der vielfältig vorhandenen Ressource Wasser verdeutlicht. Die EU-WRRL stellt Fristen und Qualitätsziele auf und gibt Vorgehensweisen an, durch welche diese zu erreichen sind. Neben der Vermeidung weiterer Verschlechterung sowie dem Schutz und der Verbesserung der aquatischen Ökosysteme bezüglich des Wasserhaushalts, hat die Wasserrahmenrichtlinie mitunter die Erreichung des guten ökologischen und chemischen Zustands aller Wasserkörper zum Ziel. Dabei gilt eine schrittweise Umsetzfrist bis 2015. Überwachungsprogramme der festgelegten Ziele und der Beschluss von Kriterien für das Monitoring werden durch die Gewässerzustandsverordnung (GZÜV) konkretisiert (BMLFUW, 2014).

Die EU-WRRL sieht zudem eine frühzeitige und umfassende Information und Anhörung der Öffentlichkeit, sowie die aktive Einbeziehung der betroffenen und interessierten Kreise (Landwirtschaft, Naturschutz, Gemeinden bzw. Städte) vor. Dadurch sollen durch eine Verbesserung der Entscheidungsfindung auch innovative und kreative Optionen berücksichtigt, und für die Öffentlichkeit akzeptabel umgesetzt werden können (NACHTNEBEL, 2013).

Um eine konkrete Zielsetzung und deren Realisierung im Sinne eines aktuellen, wirksamen Gewässermanagements zu gewährleisten, sollen signifikante Probleme und Belastungen definiert und stets aktualisiert werden. Dies erfolgt durch den Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan (NGP), der basierend auf den Zielen und Grundsätzen des Wasserrechtsgesetzes in Zusammenarbeit mit den wasserwirtschaftlichen Planungen der Länder alle sechs Jahre durch den Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft erstellt und veröffentlicht werden muss. Der NGP ist eine flussgebietsbezogene Planung basierend auf einem integrierten Ansatz zum Schutz und Verbesserung sowie zur nachhaltigen

Nutzung der Gewässer. Die Festlegung der zu erreichenden Erhaltungs- und Sanierungsziele erfolgt auf Grundlage einer Ist- Bestandsanalyse. Dabei sind ökonomische Gegebenheiten nicht zu ignorieren, womit eine ausgewogene kostenwirksame Verbesserung der Gewässer und deren Schutz ermöglicht werden soll (BMLFUW, 2009). Der ökologische Zustand von Oberflächenwasserkörpern ist gemäß der EU-WRRL als die Qualität von Struktur und Funktionsfähigkeit aquatischer, in Verbindung mit Oberflächengewässern stehender Ökosysteme, definiert. Er wird in fünf Stufen eingeteilt.

Tabelle 2-1: Fünf Stufen des ökologischen Zustands (EU-WRRL)

Einstufung des ökologischen Zustands	Farbkennung
sehr gut	blau
gut	grün
mäßig	gelb
unbefriedigend	orange
schlecht	rot

Für die Einstufung von Fließgewässern sind Qualitätskomponenten definiert worden:

A) Biologische Komponenten

- Zusammensetzung und Abundanz der Gewässerflora
- Zusammensetzung und Abundanz der benthischen wirbellosen Fauna
- Zusammensetzung, Abundanz und Altersstruktur der Fischfauna

B) Hydromorphologische Komponenten in Unterstützung der biologischen Komponenten

- Wasserhaushalt
  - Abfluss und Abflussdynamik
  - Verbindung zu Grundwasserkörpern
- Durchgängigkeit des Flusses
- Morphologische Bedingungen
  - Tiefen- und Breitenvariation
  - Struktur und Substrat des Flussbetts
  - Struktur der Uferzone

C) Chemische und physikalisch-chemische Komponenten in Unterstützung der biologischen Komponenten

- Temperaturverhältnisse
- Sauerstoffhaushalt
- Salzgehalt
- Versauerungszustand
- Nährstoffverhältnisse

## 2.2 Anthropogene Eingriffe in Flusssysteme

Anthropogene Eingriffe in Fließgewässer und insbesondere der Flussbau haben eine lange Geschichte. Mit dem Lauf der Zeit änderten sich auch die Anforderungen und Ziele des Flussbaus stetig. Für den Naturhaushalt eines Flusssystemes bedeutet jeder menschliche Eingriff eine Veränderung der natürlichen Lebensbedingungen und deshalb auch eine Gefahr der Störung des ökologischen Gleichgewichts. In der Vergangenheit hat die Natur auftretende Instabilitäten durch ihr Regenerationsvermögen ausgleichen und überdecken können. Die zunehmende Inanspruchnahme von Flächen durch Siedlungstätigkeiten und Infrastrukturmaßnahmen in den natürlichen Überschwemmungsgebieten engt jedoch die Entwicklungs- und Kompensationsmöglichkeiten der Fließgewässer mehr oder weniger stark ein.

Flussbauliche Maßnahmen können mit verschiedenen Ansätzen verschiedene Ziele verfolgen. Diese betreffen die Wasserkraftnutzung, die Schifffahrt und die Landwirtschaft, und sind meist mit Hochwasserschutzmaßnahmen gekoppelt. Durch harte Verbauung und eingeeengte kanalisierte Gerinneformen, mit dem Ziel des möglichst raschen Abführens eines definierten Abflusses, ergeben sich neben dem Verlust von Abflussflächen in urbanen Bereichen zudem erhebliche Verschlechterungen der Gewässergüte. Durch die Begradigungen entsteht ein höheres Gefälle, das durch Wehre und Sohlstufen ausgeglichen werden muss. Dadurch ergeben sich wesentliche Veränderungen in der Hydromorphologie der Gewässer und Störungen des ökologischen Gleichgewichts der Flusssysteme. Querbauwerke stellen Durchgängigkeitsbarrieren dar, die eine Unterbrechung des Fließgewässerkontinuums verursachen. Der Sedimenttransport und insbesondere das Wanderungsverhalten der Gewässerfauna werden eingeschränkt, was in weiterer Folge zur Isolation von Habitaten und Lebensräumen führt. Lokale Zielverfehlungen hinsichtlich der ökologischen Durchgängigkeit können durch die Einschränkung des Wanderkorridors auch überregionale Auswirkungen auf andere Wasserkörper haben. Eine Veränderung des Feststoffhaushalts kann die Gewässermorphologie und das Sohlsubstrat beeinflussen und den Verlust von Laichhabitaten herbeiführen. Wird der natürliche Sedimenttransport langfristig negativ beeinflusst, können sich beispielsweise Sohleintiefungen ergeben, die zu einem Absinken des Grundwasserspiegels und somit zu einer hydrologischen Entkoppelung von Auegebieten und dem Umland führen können (BMLFUW, 2009; PATT, et al., 2009).

Die Auswirkungen anthropogener Eingriffe in Fließgewässer ist anhand des österreichischen Berichts der Ist-Bestandsanalyse 2013 (siehe Kapitel 2.1) hinsichtlich der Risikoverteilung für Oberflächenwasserkörper (Risiko der Verfehlungen der Ziele der EU-WRRL im Jahr 2021), ersichtlich. Der Großteil der Risikoausweisungen erfolgt aufgrund hydromorphologischer Belastungen. Das Risiko durch chemische Schadstoffe aus Industrie und unbehandelten kommunalen Abwässern sind seit den 70er und 80er Jahren deutlich zurückgegangen und liegt derzeit bei ca. 1 %. Bei den allgemein chemisch-physikalischen Parametern gibt es teilweise

noch Probleme mit der saprobiologischen Gewässergüte, überwiegend aber durch Nährstoffbelastungen. Es ist jedoch bei Mitberücksichtigung neuerer chemischer und biologischer Untersuchungsmethoden bei weiteren Erhebungen ein geringer Prozentsatz zu erwarten.

Hydromorphologische Belastungen stellen die Hauptursache für Zielverfehlungen dar. Sie betreffen alle Flusseinzugsgebiete. Insgesamt weisen knapp 60 % der Gewässer ein mögliches oder sicheres Risiko der Zielverfehlungen aufgrund hydromorphologischer Belastungen auf (siehe Abbildung 2-1). Der größte Anteil fällt dabei auf strukturelle Eingriffe zurück, die weitestgehend den bereits genannten Eingriffen entsprechen. Im Vergleich zur Risikobewertung von 2009 ist der Anteil der Gewässerstrecken mit hydromorphologischem Risiko aber um sieben Prozent gesunken (BMLFUW, 2014).

### Risikoverteilung der Oberflächenwasserkörper Österreichs

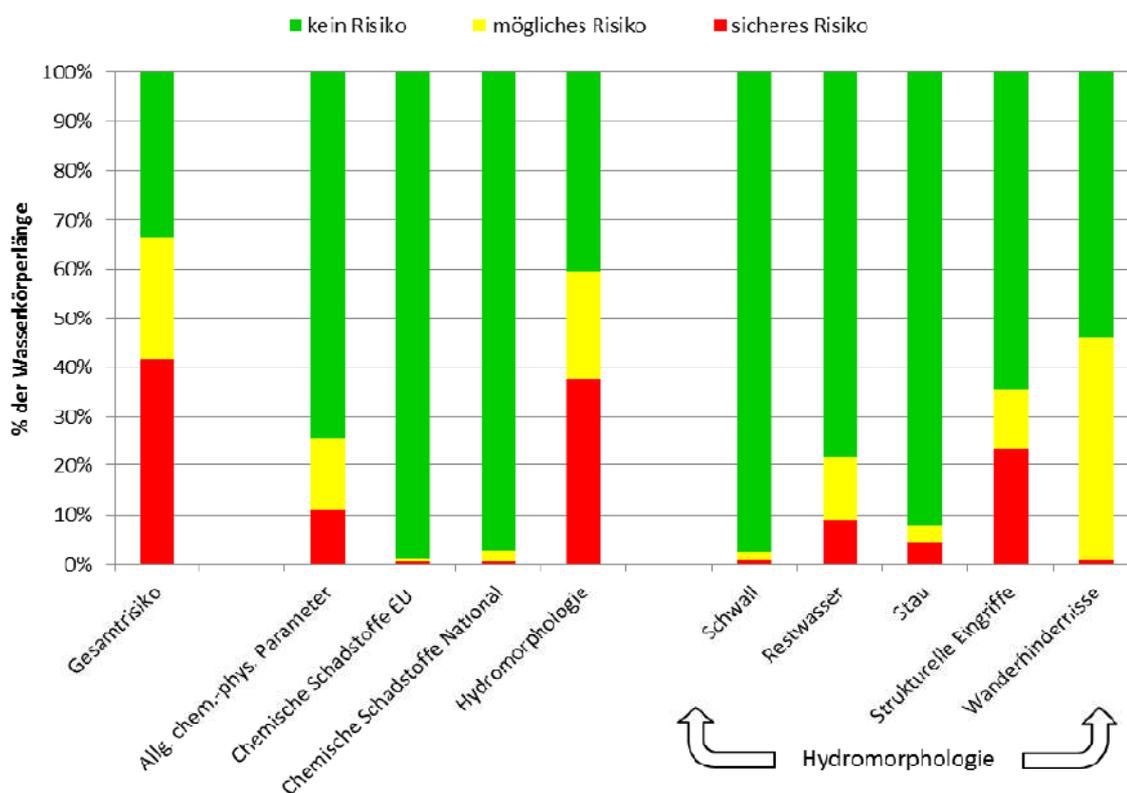


Abbildung 2-1: Risikoverteilung der Oberflächenwasserkörper in Österreich - Überblicksdarstellung mit Vergleich der drei Risikostufen (BMLFUW, 2014)

## 2.3 Herausforderungen des naturnahen Flussbaus

Es wurde zunehmend deutlich, dass der bisherige Umgang mit der natürlichen Ressource Wasser durch den Flussbau auf Dauer zu irreversiblen Schäden führen kann. Die Vorgehensweise flussbaulicher Eingriffe hat sich demnach in der jüngeren Vergangenheit gewandelt. Vor etwa zwei Jahrzehnten wurden durch ein gestiegenes Umweltbewusstsein und Interesse der Bevölkerung an ökologischen Zusammenhängen und den Veränderungen durch anthropogene Eingriffe in die Natur, die Sichtweise und das Arbeitsfeld des Wasserbauingenieurs stark verändert. Neue, an den ökologischen Anforderungen orientierte Strategien beeinflussten die bisher angewandten nutzungsorientierten Bauweisen für Schutzwasserbau und zur Erhaltung von Fließgewässern. Zufriedenstellende und effektive Maßnahmen zu finden ist eine Herausforderung und in vielen Fällen durch die vorherrschenden Verhältnisse schwer zu verwirklichen. Das angesprochene Konfliktfeld, welches sich aufgrund der unterschiedlichen Belange des Menschen und der Umwelt im Bereich des Flussbaus ergibt, wird durch natürliche Prozesse wie Ufererosion, lokale Kolkbildung und Anlandungen deutlich. Diese Prozesse sind aus ökologischer Sicht durchaus erwünscht, stellen aber für die Nutzungsansprüche des Menschen und dem Erhalt ufernaher Infrastruktureinrichtungen Herausforderungen dar. Um Schäden z.B. durch Ufererosion entgegen zu wirken, wurden die Ufer wie eingangs erwähnt weitestgehend mit Längsverbauungen wie Blocksätzen und Krai-nerwänden, sowie einer Anpassung der Sohle stabilisiert. Hierbei wird jedoch lediglich eine Anpassung an den Strömungsangriff bewirkt, sich diesem jedoch nicht als Ursache angenommen. Darüber hinaus sind diese Maßnahmen mit hohen Kosten und ökologischen Nachteilen verbunden (SINDELAR, et al., 2009; MENDE, et al., 2012; MENDE, 2005).

Laut MENDE (2010) ist das zentrale Ziel des naturnahen Flussbaus heutzutage die eigen-dynamische Gewässerentwicklung. Die wesentliche Voraussetzung dafür ist ein ausreichender Entwicklungsraum, der dem Gewässer jedoch vielfach nicht zurückgegeben werden kann. Die Herausforderung liegt demnach in der Umsetzung von Maßnahmen, die dem rechtlichen Rahmen entsprechenden und gleichzeitig trotz eingeschränkten Raumverhältnissen neben den Zielen des naturnahen Flussbaus auch den Belangen einer Kulturlandschaft nachkommen. Eine Möglichkeit bieten die in den nachfolgenden Kapiteln beschriebenen Strukturierungselemente des Instream River Training.

### 3 Instream River Training

Durch Längsverbauung der Ufer erfolgt eine Anpassung dieser an den Strömungsangriff. Diese von SINDELAR & MENDE (2009) als Symptombekämpfung bezeichnete Maßnahme zur Eindämmung von Ufererosion schützt also gegen die Wirkung des Wassers. Das Instream River Training bedeutet wörtlich übersetzt ‚Flussbau im Stromstrich‘, und verfolgt einen grundlegend anderen Lösungsansatz. Es ist eine Form des Flussbaus, bei der die Strömung als wesentliche Ursache morphologischer Veränderungen wie Ufer- und Sohlenerosion angenommen wird. Durch die Induzierung von einer oder mehrerer Sekundärströmungen wird die Strömung modifiziert und somit eine Verringerung des Strömungsangriffs auf das Ufer bewirkt.

In den folgenden Kapiteln wird die Entwicklung des Instream River Trainings von der Entstehung des Grundgedankens bis zur Vorstellung der derzeitigen Gestaltungselemente erläutert.

#### 3.1 Viktor Schaubberger

Viktor Schaubberger (1885–1958) war ein österreichischer Naturforscher und Visionär. Er hatte die grundlegende Idee der Strömunglenkung:

*„Man kann durch kleinere Einbauten dort, wo diese zum Schutze von Kulturgütern unvermeidlich werden, gewisse Verbesserungen schaffen, doch wäre es falsch, eine Regulierung des Flusses von seinen Ufern aus durchführen zu wollen, also nur die Auswirkungen, nicht aber die Ursachen zu bekämpfen.“* (SCHAUBERGER, 1930)

Schaubberger befasste sich bereits 1920 erfolgreich mit Strömunglenkung und naturgemäßer Wasserbewegung im Flussbau. Unter anderem entwickelte er Holzschwemmanlagen zum Befördern von geschlagenen Holzstämmen aus dem Hochland ins Tal. Die Bestandteile sind Wasserrinnen (Riesen) und Abschnitte der Wildflößerei (Trift). Waren die Transportkanäle zuvor gerade, um auf kürzestem Wege die maximale Steigung und Transportleistung zu erzielen, wurden die Schwemmanlagen von Schaubberger mäanderförmig in ihrer Beschaffenheit konzipiert und an natürlichen Flussläufen orientiert. Durch optimale Ausnutzung der Wassertemperatur und gezielte Verwirbelung des Wassers in den Kurven konnten auch schwere Hölzer wie Buche und Tanne transportiert werden. Somit wurden durch das Kopieren dieser Besonderheiten eines natürlichen Flusslaufs die Transporteigenschaften und die Lebensdauer deutlich erhöht. Damit war es möglich, mehr als 100 Festmeter Holz pro Meter zu befördern und die Transportkosten um mehr als 90 Prozent zu reduzieren (vgl. RAUBER, 2013).

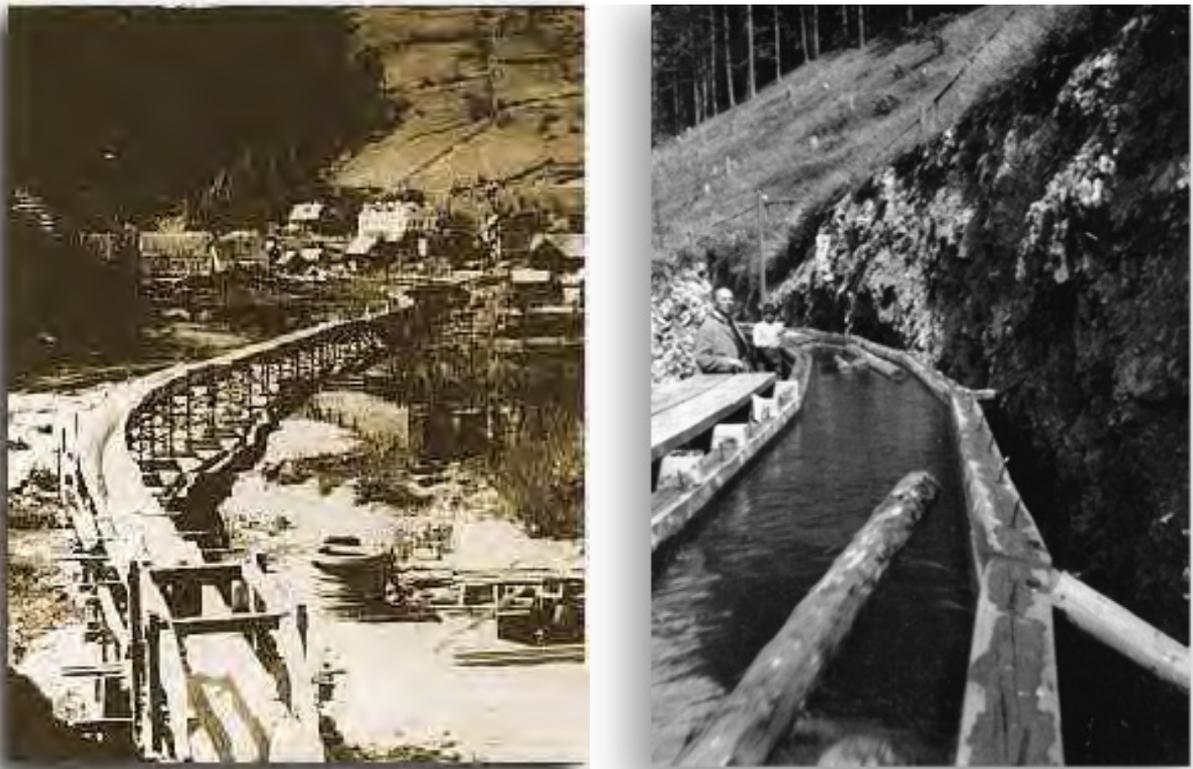


Abbildung 3-1: links: Schwemmanlage Neuberg (RAUBER, 2013); rechts: Triftsteg im Einschnitt nach Mürzüberquerung (HINTERSTOISSER, 2013)

Die Schwemmanlagen wurden mit einem eiförmigen Querschnitt konstruiert und in mäanderförmigen Bahnen angelegt sowie zusätzlich mit kleinen Strukturelementen versehen, durch die sich der Stromstrich bei Bildung einer Spiralströmung in der Rinnenmitte konzentrierte. 1931 meldete Schaubberger ein Patent für die Wasserführung in Rohren und Gerinnen an.

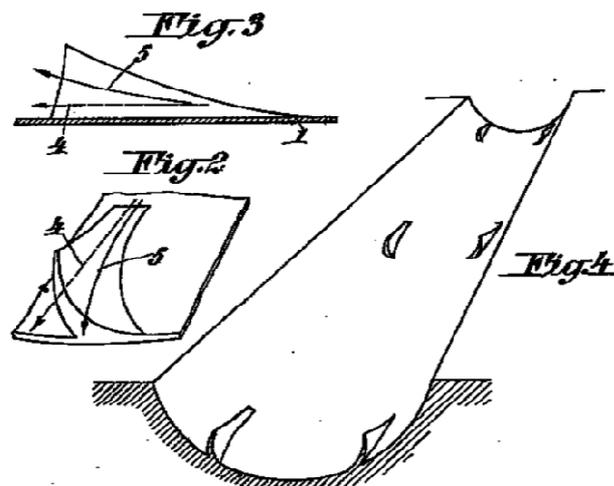


Abbildung 3-2: Ausschnitt aus der österreichischen Patentschrift Nr. 134543: Wasserführung in Rohren und Gerinnen (SCHAUBERGER, 1933)

Durch die besondere Bauweise der Schwemmanlage konnte eine hohe Fließgeschwindigkeit in Gerinnemitte erreicht werden, wodurch die Hölzer schnell und ohne Berührung der Wände unbeschadet ins Tal transportiert werden konnten (Abbildung 3-3, links). Zusätzlich erreichte

Schauberger mithilfe der Zugabe von kaltem, frischem Wasser etwa alle 100 m und durch die induzierte Spiralströmung des Wassers, dass auch Hölzer mit einem größeren spezifischen Gewicht als das des Wassers, transportiert werden konnten (ALEXANDERSSON, 1994).

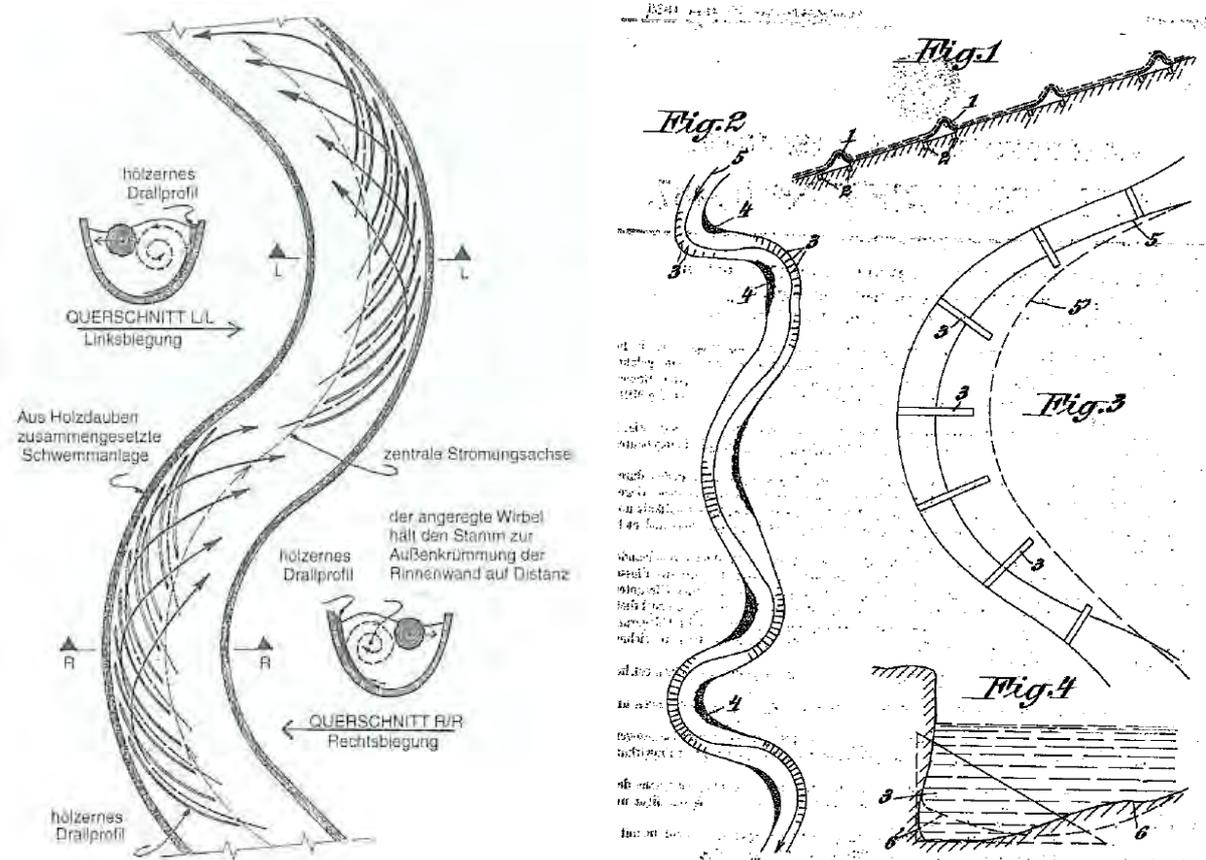


Abbildung 3-3: links: Drallkurven in der Holzschwemmanlage (aus ALEXANDERSSON, 1994); rechts: Ausschnitt aus der österr. Patentschrift Nr. 113487 'Einbau zur Wildbachverbauung und Flussregulierung' (SCHAUBERGER, 1929)

Schauberger handelte stets nach dem Prinzip, die Natur vorerst zu beobachten und zu verstehen, um so von ihren Bewegungsabläufen und Prozessen zu lernen. Ein natürliches Gerinne ist laut Schauburger durch eine ausgeprägte Fließgeschwindigkeitsvariabilität, Turbulenzen sowie einer mäandrierenden Linienführung gekennzeichnet. Diese Gegebenheiten sollten demnach auch bei Eingriffen des Menschen in Flusssysteme berücksichtigt werden. Konkret bezogen auf den Flussbau meldete Schauburger 1927 die Patentschrift Nr. 113487 „Einbau zur Wildbachverbauung und Flussregulierung“ an. Dabei handelt es sich um dreiecksförmige Einbauten, die er „Wirbelerzeuger“ nannte. Durch diese konnte er den Uferschutz in Flusskrümmungen durch die Strömunglenkung umgesetzt werden. Dadurch hatte Schauburger bereits in den 1920 Jahren Flussläufe naturnah reguliert. Abbildung 3-3 rechts zeigt einen Ausschnitt der Patentschrift, in der Fig. 4 die Einbauten im Querschnitt zeigt. Fig. 3 verdeutlicht die Verlagerung des Stromsrichers in einer Flusskrümmung durch die Wir-

kung der Einbauten (durchgezogene Linie 5 vor, und gestrichelte Linie 5' nach erfolgtem Einbau). Gleichzeitig erreichte man durch die Einbauten laut Schaubberger eine „Energetisierung des Wassers“, welche wesentlich zur Verbesserung der Wasserqualität beitrage. Bezogen auf die Wasserqualität sah Schaubberger auch einen engen Zusammenhang mit dem Temperaturgefälle des Wassers und dessen Einfluss auf die Bewegung des Wassers (ALEXANDERSSON, 1994; COATS, 1994; SCHAUBERGER, 2009).

Diese und ähnliche Entwicklungen Schaubbergers sowie die Idee, im Flussbau von der Natur zu lernen, inspirierten den Flussbauer OTMAR GROBER bei der Entwicklung der Gestaltungselemente des Instream River Trainings.

### 3.2 Iowa Vanes

Etwa 50 Jahre nach Schaubberger wurde die Idee des Instream River Training wieder verstärkt verfolgt. PROF. JACOB ODGAARD betrieb in den 1980er Jahren am IIHR der Universität Iowa Forschung zu „Submerged Vanes“, zu Deutsch etwa „überströmte Leitschaukeln“. Nach Untersuchungen zur Optimierung sowie Erstellung eines theoretischen Modells liegt beim IIHR seit 1987 ein Patent für die sogenannten „Iowa Vanes“. Hierbei handelt es sich um Leitschaukeln, die auf Grundlage der linearen Tragflügeltheorie entwickelt wurden. Sie gehen ursprünglich auf die russischen Ingenieure POPATOV und PYSHKIN zurück. Iowa Vanes sind schlanke, doppelt gekrümmte Leitelemente, die aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehen können. Zumeist werden sie aus Betonelementen oder Spundwänden hergestellt.



Abbildung 3-4: Einbau von Iowa Vanes in den Wapsipinicon River bei Niedrigwasser im Sommer 1988 (links), Ufer des gleichen Flussabschnitts des Wapsipinicon River 2 Jahre nach Einbau bei Niedrigwasser 1990 (rechts); (MENDE, 2005; aus ODGAARD, 2005)

Die gängigen Abmessungen der Iowa Vanes betragen in der Höhe ein bis drei Meter und in der Länge etwa die dreifache Höhe. Die Wandstärke liegt zwischen 5 bis 20 cm, der Winkel der Leitschaukeln zur Hauptströmung zwischen 15° und 25°. Aufgrund der Ausrichtung der Iowa Vanes wird die Strömung durch Induzierung von Sekundärströmungen modifiziert, wo-

raus sich eine Umlagerung des Flusssediments und eine Überhöhung des Wasserspiegels in Gewässermittle ergeben. Wie in Abbildung 3-4 ersichtlich, erfolgte durch die Wirkungsweise eine deutliche Verlandung im Bereich des Prallufers. Iowa Vanes werden zum Uferschutz, Geschiebemanagement oder Vergrößerung der Fließtiefe in Gewässermittle für den Schifffahrtsbetrieb eingesetzt (vgl. ODGAARD, 2005; ODGAARD, et al., 1991; zitiert in MENDE, 2005).

Zudem entwickelte DAVID ROSGEN (Colorado) die sogenannten „Cross Vanes“, „W-Weirs“ und „J-Hook Vanes“. Sie zeichnen sich durch ein naturnahes Erscheinungsbild aus und wirken strömungstechnisch ähnlich wie die Iowa Vanes und der Strömungstrichter (siehe Kapitel 5). Auch die In-Stream Structures von ROSGEN sowie die Iowa Vanes von ODGAARD können zum Instream River Training gezählt werden (ROSGEN, 2011; WERDENBERG, et al., 2012).

### 3.3 Ziel

Unabhängig von der Forschung durch ODGAARD und ROSGEN entwickelte Otmar Grober beginnend in den 1990er- Jahren die in dieser Arbeit beschriebenen Strukturelemente des Instream River Training. Dabei werden durch die gezielte Strömungsmodifizierung je nach Gestaltungselement und Anwendungsgebiet mindestens eines der folgenden Ziele verfolgt (vgl. MENDE, et al., 2010):

- Gewässerstabilisierung unter weitgehendem Verzicht auf massive Maßnahmen (z. B. Blocksatz)
- Nachhaltiges Geschiebemanagement
- Initialisierung von Eigendynamik

Diese drei hauptsächlichen Strukturelemente und die jeweilige hydraulische Wirkungsweise sowie deren Anwendungsgebiete werden in den folgenden Kapiteln erläutert. Hier sei vermerkt, dass neben diesen drei Gestaltungselementen mit der Schneckenbuhne ein Weiteres existiert. Aufgrund unzureichender Daten für eine Auswertung der Schneckenbuhne hinsichtlich der Auswirkungen und den sich ergebenden Zusammenhänge in einem Flussabschnitt, wird sich in dieser Arbeit auf die Erläuterung der Bauart und der hydraulischen Wirkungsweise beschränkt und hierfür auf den Anhang verwiesen.

## 4 Sohlgrundlenkbuhnen

### 4.1 Entwicklung von Buhnen

Als Buhne versteht man in Querrichtung orientierte Flussbauwerke, die vom Ufer weg gebaut werden und selbsttragend sind. Das Querprofil des Fließgewässers wird dadurch eingengt und die Fließrichtung und Struktur des Abflusses modifiziert. Die erste systematische Beschreibung von Buhnen geschah in Vierlingh's "van Tractaetdyckagie" aus dem Jahr 1576. Anwendungen von bühnenartigen Flussbauwerken gab es aber bereits vorher. Experimentelle Forschung an Buhnen wurde erst ab Ende des 19., Anfang des 20. Jahrhunderts begonnen. Ursprünglich war die Hauptanwendung der Schutz von Deichen gegen Eisdrift, zur Gewässerkorrektur, zur Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse oder zum Schutz vor der Zerstörung durch Hochwässer (vgl. HABERSACK, 2011). Ein vereinfachter Aufbau einer Buhne ist folgender Abbildung zu entnehmen:

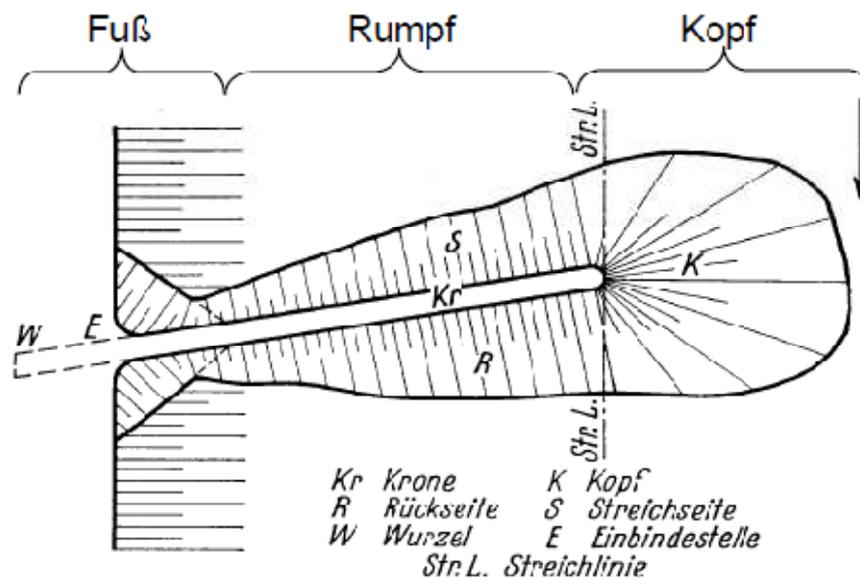


Abbildung 4-1: vereinfachter Aufbau einer Buhne (HABERSACK, 2011)

Bezüglich Wirkungs- und Bauweise sowie Anwendungsgebiete zu unterscheiden sind „nicht überströmte Buhnen“, deren Kronenhöhe deutlich über der Mittelwasserlinie liegt und dadurch eine Überströmung nur im Hochwasserfall erfolgt - und die für das Instream River Training eingesetzte Sohlgrundlenkbuhne. Diese ist eine Lenkbuhnenform, die bereits bei Niederwasser überströmt wird. Lenkbuhnen werden bisher an Gewässern mit bis zu 40m Sohlenbreite in den Bereichen Uferschutz, Geschieberegulierung, Strukturierung und Stabilisierung eingesetzt (SINDELAR, et al., 2009).

## 4.2 Bauweise

In diesem Kapitel wird auf die Bauweise bezüglich der Baumaterialien und der generellen Ausbildungsform von Sohlgrundlenkbuhnen eingegangen. Genaue Bemessungsansätze fehlen bislang. Für die Stabilität wird aufgrund der fehlenden Bemessungsansätze derzeit auf generelle konstruktive Regeln zurückgegriffen.

Sohlgrundlenkbuhnen bestehen aus aneinandergereihten Blocksteinen (Abbildung 4-2). Die Bauweise und Ausbildung variieren mit dem jeweiligen Flusssystem und den individuellen Anforderungen des betreffenden Flussabschnittes. So werden je nach Bedarf die Anordnung und die Materialien dem Sohlsubstrat und den Abflussverhältnissen angepasst. Die Blocksteingröße kann in Abhängigkeit des Bettmaterials und der Sohl Schubspannung ermittelt werden. Laut GROBER sollen für eine ausreichende Stabilität zwei Drittel der Blocksteine in der Sohle verbaut sein. Meist werden Blocksteine mit einem Durchmesser zwischen 0,8 m bis 1,2 m und einer Tiefe zwischen 1,2 m bis 1,5 m verwendet. Die bedeckten Anteile der Blocksteine in der Sohle sollten eng aneinandergereiht werden, sodass sie sich gegenseitig stützen. Die überströmten Anteile sollten dagegen Abstände zueinander aufweisen. Dadurch werden Durchlässe geschaffen, die für die Strömungsmodifizierung (siehe Kapitel 4.3) notwendig sind - und unterstrom der Buhne eine Kolkbildung ermöglichen. Die Durchlässe sind darüber hinaus notwendig, um nach dem Einbau zu gewährleisten, dass der Sedimentstrom eine naturnahe Gewässersohle bildet. Der Buhnenkopf erfährt die stärkste Anströmung, daher ist dort ein etwas schwererer Blockstein einzubauen.

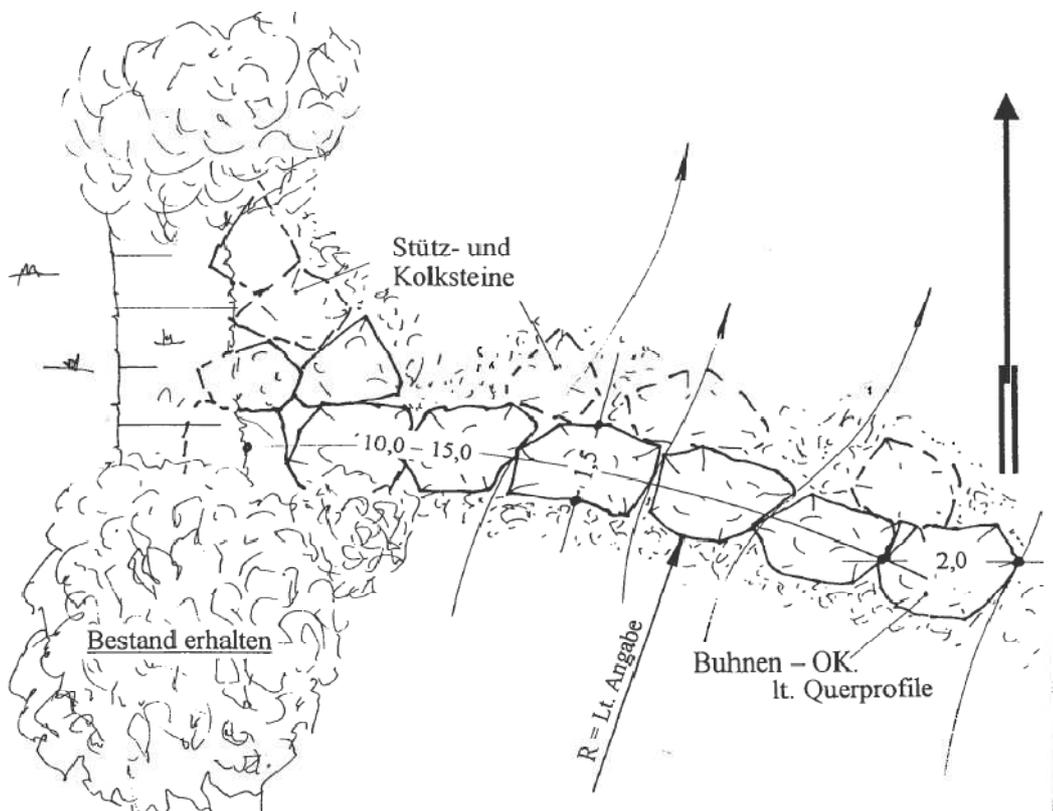


Abbildung 4-2: Aufbau einer inklinanten Sohlgrundbuhne (BBL, 2006)

Die Wurzel der Sohlgrundlenkbuhne wird gut in der Böschung verankert. Wegen der Ausbildung eines Kolks unterstrom der Buhnen wird ein Nachkolkenschutz aus weiteren Blocksteinen angebracht, die verhindern, dass die Blocksteine der Buhne in ihren eigenen Kolk fallen. Die Kolkenschutzsteine haben in etwa die gleiche Größe wie die Blocksteine und werden so unter Sohlniveau eingebracht, dass sich trotzdem eine ökologisch wertvolle Kolktiefe ausbilden kann. Sie sind schräg geneigt einzubauen, damit eine optimale Stützung gewährleistet werden kann. Die Nachkolksicherung soll zumindest in der Niederwasserzeit eine Schotterüberlagerung aufweisen. Dadurch fügt sich der Eingriff auch optisch gut in das Erscheinungsbild des Flussbettes ein. Laut GROBER kann bei einer Nachkolksicherung (siehe Abbildung 4-3) mit einer versetzten Tiefe von ca. 0,5 m bis 0,8 m von der jeweiligen Buhnenoberkante eine zufriedenstellende Standfestigkeit gewährleistet werden (WERDENBERG, et al., 2012; GLÜH, 2005).

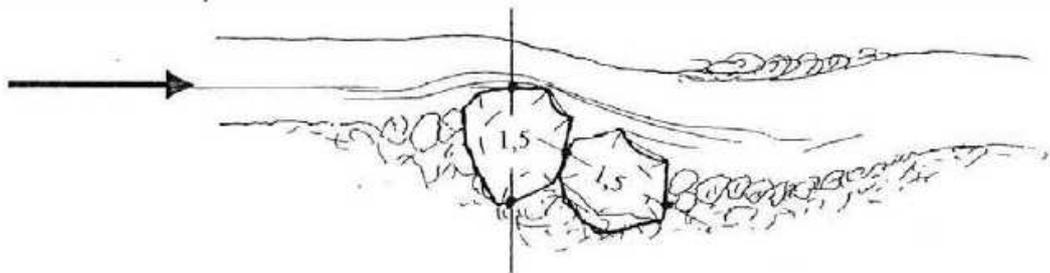


Abbildung 4-3: Querschnitt Sohlgrundlenkbuhne (GROBER, 2011)

Durch die Wahl des Materials kann laut GROBER zudem die Wasserqualität beeinflusst werden. Wasserbausteine mit hohem Silikatgehalt sollen eine ausreichende Formstabilität gewährleisten sowie eine Anregung der Selbstreinigungskräfte des Flusses durch Kieselsäure ermöglichen. Die Sohlenbreite sollte zu zwei Drittel mit der Sohlgrundbuhne verbaut werden, ein Drittel ist freizulassen. Durch dieses Wirkungsverhältnis von Buhnenlänge zu Sohlenbreite wird eine Energieverlagerung in die Gewässermittle gewährleistet. Die Einbauhöhe kann sich - Stimmigkeit von Geometrie und Abständen vorausgesetzt – an dem Abflussverhalten des Flusses orientieren: Die optimale Lenkwirkung wird nach Ergebnissen aus Modellversuchen bei ca. 9- bis 10-facher Überströmungshöhe erzielt (MEYENBURG, 2007).

### 4.3 Hydraulische Wirkungsweise

Die hydraulische Wirkungsweise von Sohlgrundlenkbuhnen ist abhängig von der Größe des Abflusses. Sohlgrundlenkbuhnen werden nicht zur Aufnahme der uferbelastenden Strömungskräfte bemessen, sondern auf eine effektive Strömunglenkung, mit der die Belastungen am Außenufer verringert werden (Prinzip der 'Symptombekämpfung', siehe Kapitel 3). Da Sohlgrundlenkbuhnen bereits bei Niederwasser überströmt werden ähneln sie Grundschwellen nach DIN 19661-2, welche auch nur wenig über die Sohle hinausragen. Daher findet ein Fließwechsel mit Deckwalze (siehe Abschnitt 6.1 und 6.3), wie bei Überströmung einer Buhne mit „klassischer Bauform“ (siehe Kapitel 4.1) im Hochwasserfall, nur bei kleinen Abflüssen statt. Die gefällevermindernde Wirkung bei großen Abflüssen ist somit nicht gegeben. Sohlgrundlenkbuhnen gleichen daher hydraulisch unwirksamen Abstürzen.

Bei größeren Abflüssen ist das wesentliche Merkmal der hydraulischen Wirkungsweise von Sohlgrundlenkbuhnen die Induzierung einer Spiralströmung um die Längsachse in Fließrichtung. Die Geschwindigkeitsverteilung und der Geschiebetransport werden beeinflusst, indem die induzierte Strömung langsam fließendes sohlennahes Wasser in den Bereich der Einbauten lenkt, schnell fließendes oberflächennahes Wasser dagegen heraus transportiert wird. Dieser Massen- und Impulsaustausch bewirkt im genannten Bereich eine deutliche Verringerung der Fließgeschwindigkeit, wodurch die Ablagerung eingetragener Sedimente begünstigt und das Ufer entlastet wird. Außerhalb der Einbauten steigt die Fließgeschwindigkeit an (siehe Abbildung 4-4). In Wechselwirkung mit dem quer zur Hauptströmung gerichteten Geschiebetransport sind Eintiefungen die Folge (MENDE, et al., 2010; MEYENBURG, 2007; SINDELAR, et al., 2009).

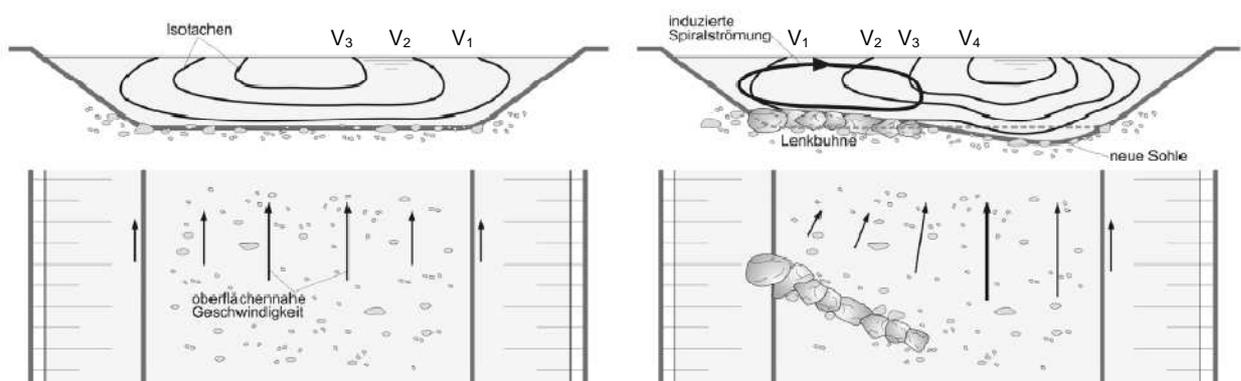


Abbildung 4-4: Schematische Isotachendarstellung eines geraden Gewässerabschnitts ohne (links) und mit inklinanter Lenkbuhne (rechts); V<sub>4</sub>=höchste Geschwindigkeit, V<sub>1</sub>=niedrigste Geschwindigkeit; (SINDELAR, et al., 2009), verändert

## 4.4 Lenkbuhnen zum Uferschutz

An dieser Stelle werden auf die ausschlaggebenden Strömungsvorgänge in Flusskrümmungen und die damit einhergehenden typischen morphologischen Veränderungen eingegangen. Diese sind insbesondere für den Einsatz von Sohlgrundlenkbuhnen zum Uferschutz in Flusskrümmungen von grundlegender Bedeutung.

### 4.4.1 Strömungsverhältnisse in Flusskrümmungen

In naturnahen Fließgewässern sind die Fließgeschwindigkeiten sehr unterschiedlich verteilt. Sie sind unter anderem abhängig vom Sohlgefälle, dem Flusslauf, der Gerinnequerschnittsform, der Gerinnerauigkeit sowie den Strukturen im Gerinne sowie der Abflussmenge. Die maximalen Geschwindigkeiten befinden sich bei geradlinig verlaufenden Gerinnen in Oberflächennähe etwa in der Gewässermitte (Abbildung 4-5). Die Hauptströmung verläuft annähernd gleichförmig und parallel zur Gerinneachse (HÜTTE, 2000).

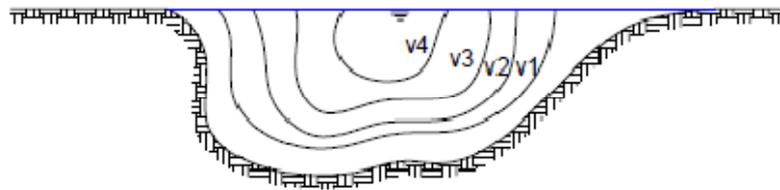


Abbildung 4-5: Verteilung der Fließgeschwindigkeit in geradem Flussabschnitt (v4=höchste Geschwindigkeit, v1=geringste Geschwindigkeit) (HÜTTE, 2000)

In Flusskrümmungen hingegen sind die maximalen Fließgeschwindigkeiten jeweils nahe dem Außenufer lokalisiert.

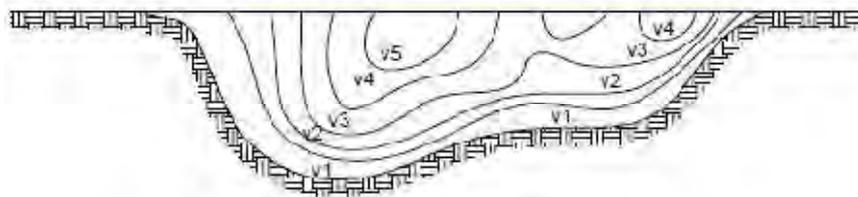


Abbildung 4-6: Verteilung der Fließgeschwindigkeit in einem Gewässerbogen (HÜTTE, 2000) (v5=höchste Geschwindigkeit, v1=geringste Geschwindigkeit)

Der Abflussvorgang in einer Krümmung ist ein dreidimensionaler Vorgang. Betrachtet man die Geschwindigkeitsverteilung über den Querschnitt einer Flusskrümmung (Abbildung 4-6), ist eine Verlagerung der maximalen Längsgeschwindigkeit zur Kurvenaußenseite ersichtlich. Diese Verteilung wird durch die radial nach außen wirkende Zentrifugalkraft bestimmt. Aufgrund der Kreisbahn wirken in der Flusskurve Fliehkräfte, welche zur Kurvenaußenseite gerichtet sind. Wassermassen werden hierdurch in der Kurve nach außen gedrückt. Es ergibt sich ein zum Innenufer hin fallender Wasserspiegel, wodurch sich die Fließtiefe in Kurveninnenseite reduziert und an der Außenseite erhöht. Bei Betrachtung der Fließgeschwindig-

keitsverteilung über die Fließtiefe in Hauptströmungsrichtung ( $U_c$  in Abbildung 4-7), wirken die größten Längsgeschwindigkeiten kurz unterhalb des Wasserspiegels. Sie nehmen in etwa logarithmisch verteilt in Richtung Sohle ab. Die Zentrifugalkraft besitzt eine ebensolche Verteilung. Um die Kontinuitätsgleichung nicht zu verletzen, muss es auch eine nach innen gerichtete Strömungskomponente im Querschnitt geben. Diese tritt im unteren Sohlbereich auf und wird durch den Druckgradient in Richtung Kurveninnenseite, der durch das Wasserspiegellagengefälle in Querrichtung entsteht, verursacht. Dadurch werden die geringeren Fliehkräfte im Sohlbereich überdrückt. Durch die Überlagerung der Druck- und Fliehkräfte entsteht ein walzenartiges Strömungsmuster, die Sekundärströmung (Abbildung 4-7). Diese ist im Mittel um eine Zehnerpotenz kleiner als die Hauptströmung, verursacht jedoch eine Umverteilung der Hauptströmung und damit eine Verlagerung der maximalen Längsgeschwindigkeit zur Kurvenaußenseite (SCHADE, et al., 2007; HAFNER, 2008; MEYENBURG, 2007; nach ROZOVSKII, 1963; WITTMANN, et al., 1938; STEIN, 1989; KÜHNER, 2003; MECKEL, 1978).

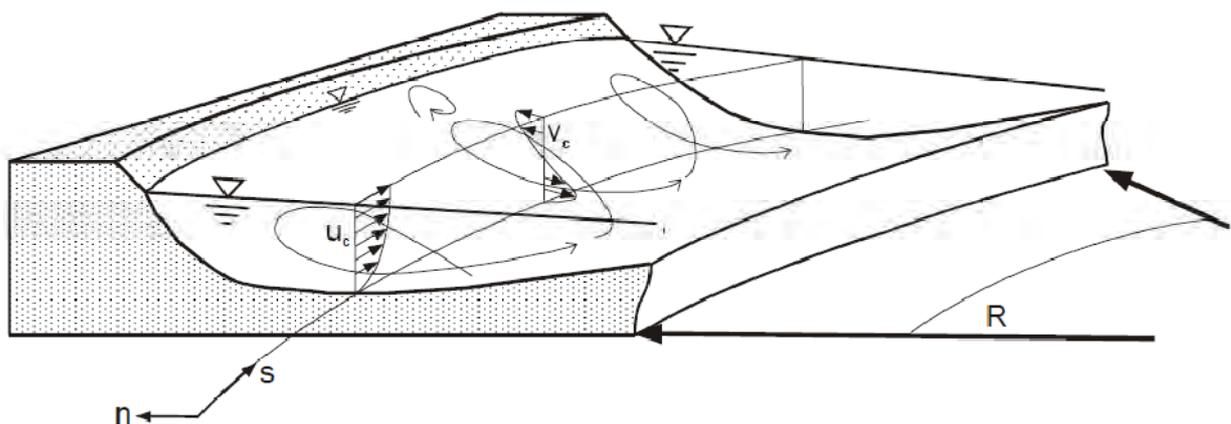


Abbildung 4-7: Sekundärströmung in einer Flusskrümmung (HAFNER, 2008)

Die Strömungsverhältnisse in einer Flusskrümmung ändern also im Verlauf der Krümmung die Geschwindigkeitsverteilung über den Querschnitt. Bei gleichmäßigem Querschnitt verlagert sich das Geschwindigkeitsmaximum der Hauptströmung am Krümmungsbeginn zunächst zum Innenufer und wandert dann zum Prallufer (siehe Abbildung 4-8). Die am Krümmungsbeginn höhere Geschwindigkeit am Innenufer ist vor allem auf den hier kürzeren Fließweg und das daraus resultierende höhere Längsgefälle zurückzuführen. An der Außenkurve tritt der gegenläufige Effekt auf. Im Verlauf der Krümmung bleibt das Längsgefälle an der Innen- und Außenseite zunächst konstant. Die Sekundärströmung führt dann zu einer Umverteilung der Hauptströmung und verlagert das Geschwindigkeitsmaximum in Richtung Außenufer, wobei der kürzere Fließweg und das etwas erhöhte Längsgefälle an der Innenseite das Geschwindigkeitsmaximum tendenziell zum Innenufer zieht.

Wie sich das Geschwindigkeitsmaximum schließlich verlagert, ist von der Krümmungssituation und den Gegebenheiten des Flussabschnitts abhängig. Am Kurvenausgang tritt der gegenläufige Effekt wie am Kurveneingang auf. Die Wassertiefe nimmt im Außenbereich wieder ab und erhöht sich an der Innenkurve, um schließlich wieder einen annähernd horizontalen Verlauf, oder entsprechend bei einer folgenden Kurve, die Gegenneigung anzunehmen. Dadurch werden die Fließgeschwindigkeiten im Außenbereich erhöht und im Innenbereich abgebremst. Daher treten sehr hohe Pralluferbelastungen am Außenufer auf. Wo sich letztendlich die stärksten Uferbelastungen ergeben ist ausschlaggebend für den Lenkbuhnen einbau zum Uferschutz. Auch in vertikaler Richtung findet durch die Spiralströmung eine Verschiebung des Geschwindigkeitsmaximums statt. Dieses wandert in Fließrichtung vom oberflächennahen zum bodennahen Bereich.

Durch den Strömungsangriff am Prallufer resultiert in vielen Fällen die Ausbildung eines Kurvenkolkes (Abbildung 4-8). Am Innenufer kommt es aufgrund der Abnahme der Geschiebetransportraten zur Ausbildung eines Gleitufers mit geringeren Belastungen und Anlandungstendenz (STROBL, et al., 2006; HAFNER, 2008; MENDE, et al., 2010; aus MECKEL, 1978; ROZOVSKII, 1963).

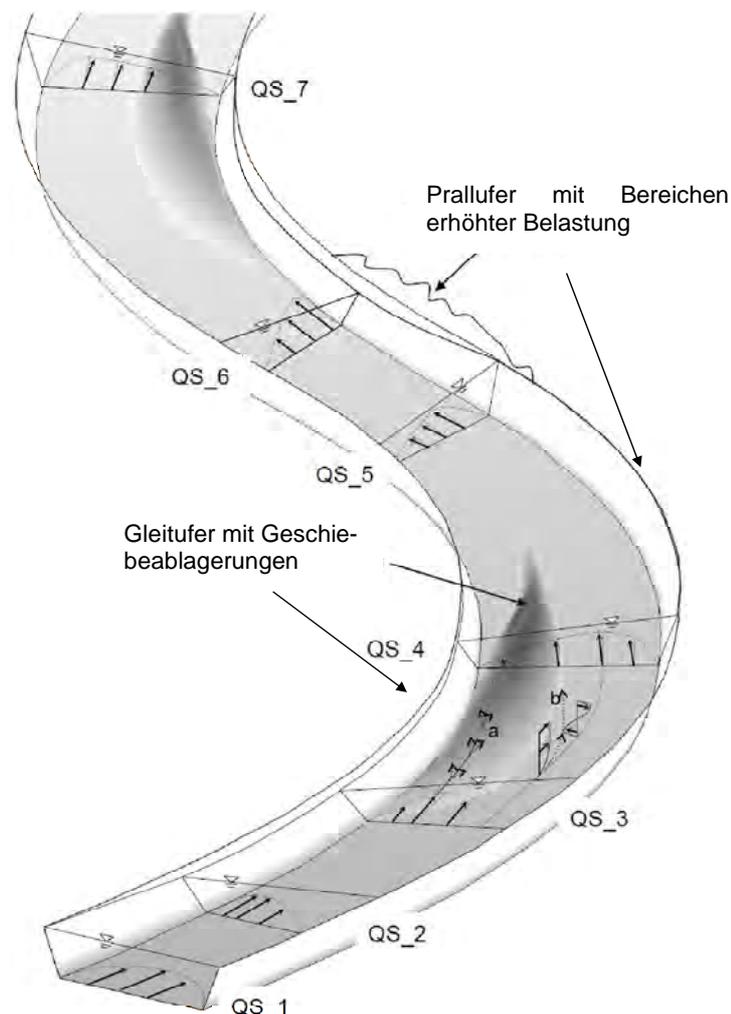


Abbildung 4-8: Prozesse in einer Flusskrümmung (HAFNER, 2008), verändert

#### 4.4.2 Hydraulische Wirkungsweise in Flusskrümmungen

In einer Flusskrümmung kommt es wie in Kapitel 4.3 beschrieben zur Ausbildung eines typischen Prall- und Gleitufers. Die Wirkung der Lenkbuhnen zum Uferschutz basiert im Wesentlichen auf drei Mechanismen:

- Die Vermeidung eines Kurvenkolks und das Unterspülen des Außenufers durch den quer zur Strömung angeordneten Einbau der Lenkbuhnen am Außenufer und die Einbindung in die Gewässersohle
- Die Verringerung der Fließgeschwindigkeit durch die buhnenbedingte Erhöhung der Rauheit
- Die Strömunglenkung in Richtung Gewässermittle bei gleichzeitiger Induzierung einer Sekundärströmung erster Ordnung im Kurvenbereich

Dabei ist die Strömunglenkung der wesentliche Wirkungsmechanismus. Durch die leicht flussaufwärts gestellte (inklinante), sohlnahe Anordnung der Buhnen wird ein großes Strömungsbild erzeugt, das bei optimaler Bemessung die gleiche Größe und die entgegengesetzte Drehrichtung der in der Krümmung wirkenden Sekundärströmung aufweist. Diese natürliche Sekundärströmung, die zur Ausbildung eines Kurvenkolks führt, wird durch die buhneninduzierte Spiralströmung „neutralisiert“ (Abbildung 4-9). Dadurch lässt sich der beschriebene Mechanismus der Interaktion von Sekundär- und Hauptströmung, durch prognostizierbare Veränderungen der Geschwindigkeitsverteilung und der Querprofilgeometrie, nutzbar machen.

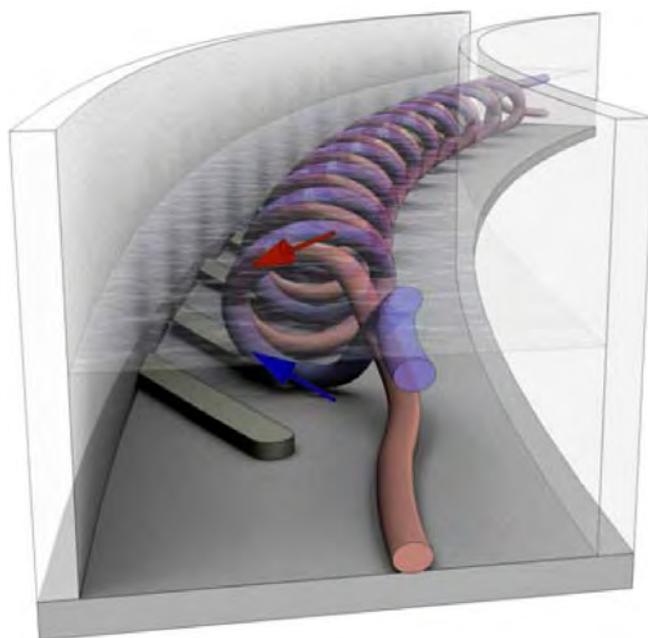


Abbildung 4-9: Krümmungsinduzierte (rot) und durch Lenkbuhnen induzierte (blau) Sekundärströmungen in einem Gerinnebogen, Ansicht in Fließrichtung (schematisch) (MEYENBURG, 2007)

Lenkbuhnen werden, um den Stromstrich in Richtung Innenufer zu verlagern, einseitig am Außenufer mit einer seriellen Anordnung eingebaut, da die gelenkte Strömung nach einiger Distanz wieder zum Prallufer zieht (Abbildung 4-10, Draufsicht). Es stellen sich Strömungsverhältnisse ähnlich einer geraden Gewässerstrecke ein, was sich durch eine ausgeglichene Querprofilgeometrie in der Krümmung widerspiegelt (siehe Abbildung 4-10, Schnitt A-A).

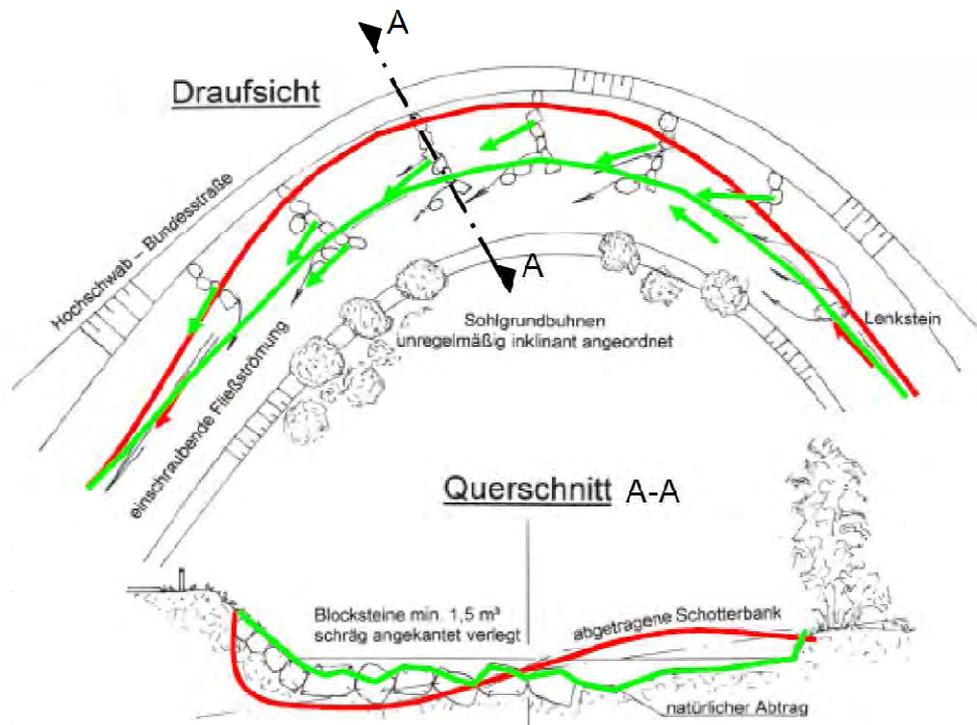


Abbildung 4-10: Querschnitt und mögliche Anordnung inklinanter Sohlgrundlenkbuhnen in einer Flusskrümmung und Verlagerung des Talweges und Ausgleich des Querprofils (MEYENBURG, 2007)

Durch die Lenkung der Hauptströmung in Richtung Innenufer kommt es dort zu Abtragungen. Gleichzeitig wird das Außenufer entlastet. Statt weiterer Erosion am Prallufer werden dort im Bereich der Eintiefungen Sedimente abgelagert. Im Sinne einer dynamischen Stabilisierung wird die Fließenergie umgelenkt, wodurch ein neutrales Strömungsbild und eine vielfältigere Gewässerstruktur entstehen. Harte Ufersicherungen können durch den Einbau von Sohlgrundlenkbuhnen reduziert und teilweise zur Gänze weggelassen werden, ohne bei Hochwasser die Gerinnestabilität zu gefährden (SINDELAR, et al., 2009; MENDE, et al., 2010; WERDENBERG, et al., 2012; GROBER, 2011; MENDE, et al., 2012; MEYENBURG, 2007).

## 5 Trichterförmige Leitwerke (Strömungstrichter)

### 5.1 Allgemeines

Der Strömungstrichter ist ein weiteres Gestaltungselement zur Strömungslenkung nach dem Prinzip des Instream River Trainings. Hierbei handelt es sich um beidseitig angeordnete Lenkbunnenpaare. Sie sind eine Weiterentwicklung der Strukturelemente aus dem österreichischen Patent Nr. 124543 von Viktor Schauburger (siehe Kapitel 3.1), mit der an gewünschten Stellen eine Umlagerung von Sedimenten in geraden Flusstrecken möglich ist. Er wurde ebenso wie die Sohlgrundlenkbunnen von OTMAR GROBER entwickelt. Zum Einsatz kommen Strömungstrichter vor allem in geraden Gewässerstrecken zur Strukturierung und Uferentlastung, aber auch für die Hochwasserregulierung. In Fällen, in denen die Ufer aus ökologischen oder ökonomischen Gründen intakt bzw. bestehen bleiben müssen, kann die Hochwasserregulation nur innerhalb des Flusslaufes erfolgen. Durch den Strömungstrichter kommt es auch für den Hochwasserfall zur Ausbildung günstiger Sohlstrukturen. Somit können auch in größeren Flusssystemen die Ufer geschützt und für Hochwasserabflüsse günstig strukturiert werden (GROBER, 2011).

### 5.2 Bauweise

Die Bauweise des Strömungstrichters ist ähnlich der Bauweise von Sohlgrundlenkbunnen. Es werden auch hier dem gewässertypischen Sohlsubstrat angemessene Blocksteine trichterförmig beidseitig in die Sohle eingebaut. Die beiden sichelförmig angeordneten Sohlgrundlenkbunnen sind damit beidseitig offen und erinnern an einen Trichter. Sie sind in Fließrichtung wesentlich länger als in Querrichtung und verjüngen sich vergleichbar mit einer Hyperbel. Die Größe der Blocksteine liegt zwischen 1 – 1,5 m in der Breite und Höhe. Die Bemessung des Trichters ist von den gewässertypischen hydrologischen Gegebenheiten abhängig. Die Blocksteine werden für den Strömungstrichter bezüglich der Höhe dem Sohlenniveau angepasst, so dass bei Niedrigwasser eine Überströmung erfolgt. Durch Abstände zwischen den Blocksteinen wird ein Lückensystem gebildet um vielfältige Strömungsverhältnisse und Verwirbelungen zu ermöglichen. Am Anfang des Trichters kann, wenn stärkere Strömungsangriffe zu erwarten sind, links und rechts eine Sicherung mit Wurzelstöcken erfolgen. Strömungstrichter können deklinant und inklinant eingebaut werden. Bei der deklinanten Anordnung befindet sich die Trichterschmalseite flussab, bei der inklinanten Bauweise flussauf (BADURA, et al., 2006).

### 5.3 Hydraulische Wirkungsweise

Mit dem Strömungstrichter können je nach Anordnung verschiedene Wirkungen erzielt werden. Abbildung 5-1 zeigt eine deklinante (a) und eine inklinante (b) Anordnung. Die Strömungsverhältnisse und Sohlmorphologie bilden sich dadurch unterschiedlich aus.

Bei einem deklinanten Einbau konzentriert sich die Hauptströmung in Gewässermitte, wodurch sich dort die Fließgeschwindigkeit erhöht. An den Trichterflügeln wird das überlaufende Wasser gebremst und eingerollt. Dadurch ergibt sich ein an der Wasseroberfläche zum jeweiligen Außenufer drehender Spiralwirbel. Dieser bewegt sich ruhig an beiden Ufern entlang und es entstehen jeweils Seitenkolke. Die Strömungsberuhigung und Verringerung der Fließgeschwindigkeit hinter den beidseitigen Steinreihen entlastet das Ufer.

Bei einer inklinanten Anordnung des Strömungstrichters, bei der die schmale Öffnung des Trichters flussaufwärts eingebaut wird, kommt es hingegen zur Ausbildung eines Zentralkolkes in Flussmitte. Es entstehen, abhängig vom Abfluss, zwei Spiralströmungen in Gewässermitte. Da es zu einer Verringerung der Schleppkräfte seitlich des Trichters kommt, können Uferanrisse verhindert werden. Es ergibt sich keine Ausbildung von Seitenkolken (SINDELAR, et al., 2009; ORTNER, 2007; GROBER, 2011). Die hier dargestellten Auswirkungen auf die Sohlstruktur bilden sich abhängig vom Strömungsangriff und der Beschaffenheit des Sohlsubstrats unterschiedlich stark aus.

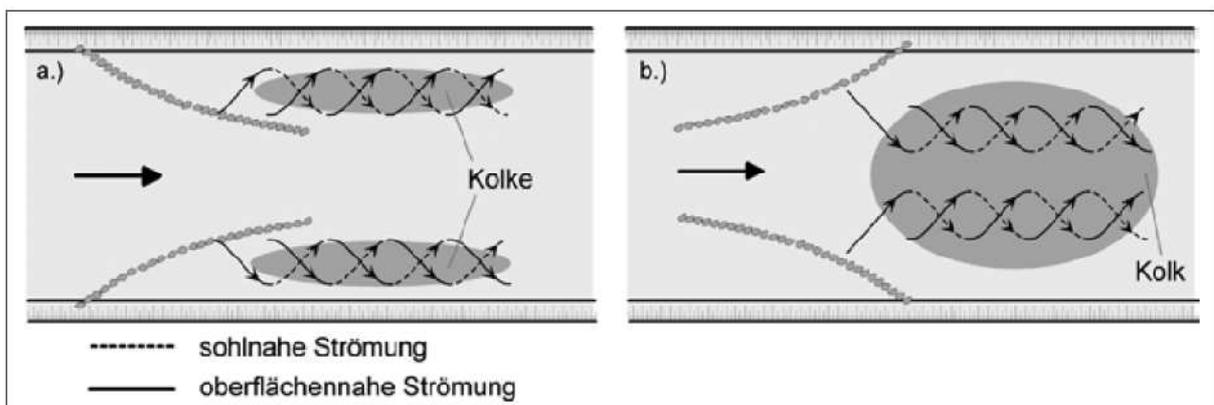


Abbildung 5-1: Hydraulik und Sohlenmorphologie bei Strömungstrichtern: a) deklinante und b) inklinante Anordnung (SINDELAR, et al., 2009)

## 6 Pendelrampe

### 6.1 Allgemeines

Sohlenbauwerke wurden seit den 50-er Jahren in alpinen Flüssen eingebaut. Sie haben die Funktion der Sicherung der Sohle und der Überwindung von Gefällsstufen sowie der Verringerung der Fließgeschwindigkeit. Der Überbegriff Sohlenbauwerke kann wie in Abbildung 6-1 gegliedert werden. In weiterer Folge werden nur auf die für die Erläuterung der Entwicklung der Pendelrampe relevante Sohlenbauwerke näher eingegangen.

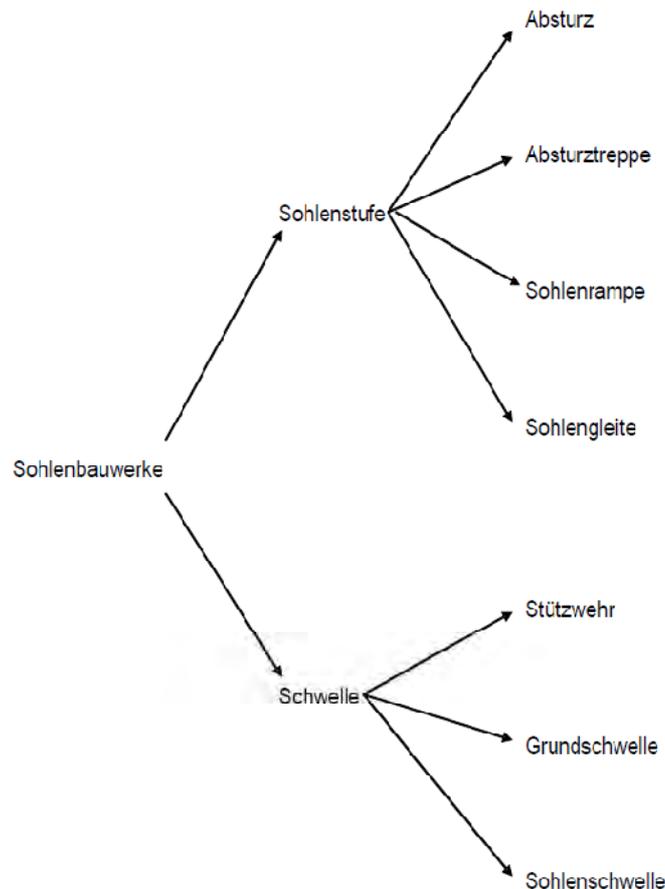


Abbildung 6-1: Einteilung der Sohlenbauwerke nach DIN 4047, Teil 5

Da durch Sohlenbauwerke das Sohlgefälle einer längeren Fließstrecke zusammengefasst wird, ist es im Bereich von Sohlenbauwerken von wesentlicher Bedeutung, möglichst viel kinetische Energie umzuwandeln. Weit verbreitete Sohlenbauwerke waren und sind deswegen Abstürze. Sie sind die in Fließrichtung kürzesten Sohlenbauwerke, bei welchen die Gefällekonzentration an einer Stelle lokal auftritt. Sie sind nach DIN 19661, Teil 2 dann hydraulisch wirksam, wenn bei maßgebenden Abflüssen ein zweifacher Fließwechsel mit Wechelsprung und gestauter Deckwalze auftritt (siehe Abbildung 6-2). Im Ober- und Unterwasser sollte sich demnach Strömen einstellen, im Übergangsbereich Schießen. Die hydraulische Wirkungsweise von Abstürzen beruht auf der Umwandlung von kinetischer Energie in Wärme- und Schallenergie in der Deckwalze.

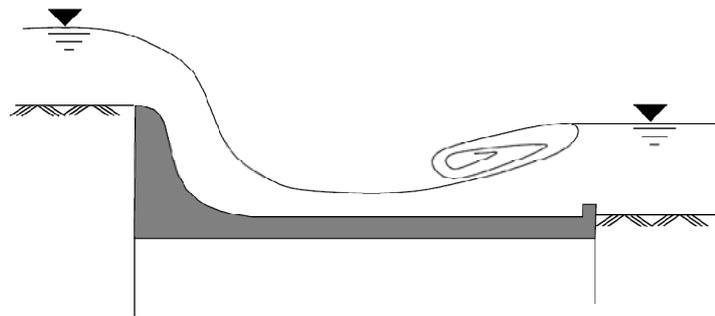


Abbildung 6-2: Absturz nach DIN 4047, Teil 5 bzw. DIN 19661, Teil 2, aus (PFÖRTNER, 2007)

Mit Abstürzen kann jedoch nicht den Anforderungen des naturnahen Wasserbaus entsprochen werden (siehe Kapitel 2.3). Die festgelegten „zulässigen Absturzhöhen“ haben nur für wenige wassergebundene Lebewesen Gültigkeit. Für die Gewährleistung der ökologischen Durchgängigkeit ist jedoch neben dem Sedimenttransport das Passieren für alle Arten von Wassertieren, darunter auch Benthosorganismen (Kleinstlebewesen), zu ermöglichen (HENNING, 2005; HABERSACK, 2011).

WALTER SCHAUBERGER, der Sohn von VIKTOR SCHAUBERGER (siehe Kapitel 3.1) und DIPL. ING. DR. RIEDINGER, entwickelten in den frühen 50 –er Jahren eine doppelt gekrümmte Blocksteinrampe. Diese Rampenbauart wurde später als „Schauberger Rampe“ bekannt. Sie wurde 1954 erstmalig im Almfluss in Oberösterreich eingebaut.

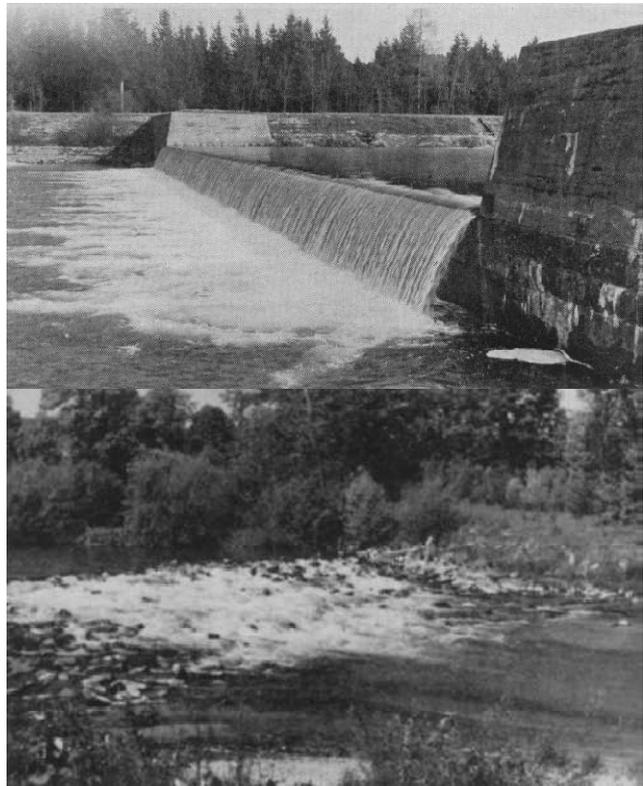
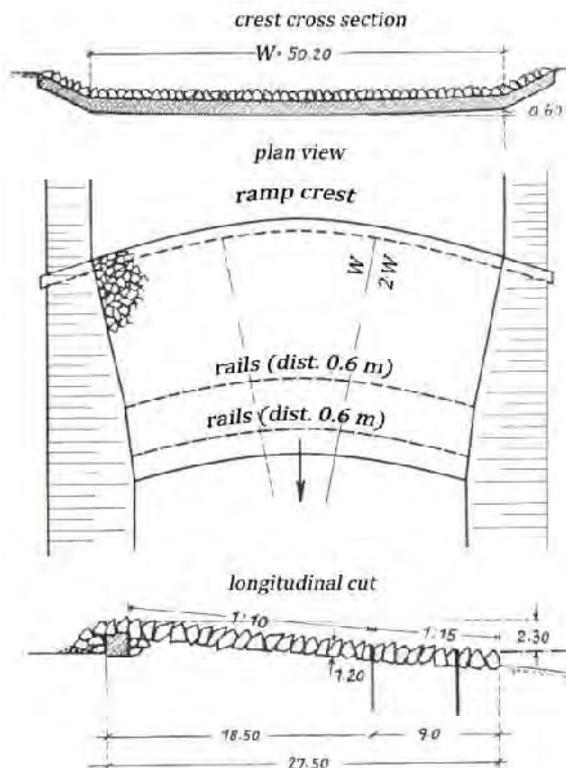


Abbildung 6-3: links: Abmessungen der "Schauberger Rampe"; rechts oben: Absturz im Almfluss 1951; rechts unten: Erste „Schauberger Rampe“ im Almfluss in Bad Wimsbach 1954; aus (SCHAUBERGER, 1973) zitiert in (SINDELAR, 2011)

Sowohl im Querschnitt als auch im Grundriss sind Rampenkronen und -fuß gekrümmt (Abbildung 6-3 links). Durch diese doppelt-räumliche Krümmung erreicht die „Schauberger Rampe“ eine Konzentration des Abflusses zur Mitte hin. In den Randbereichen entstehen Zonen mit niedrigeren Fließgeschwindigkeiten, so dass die Durchgängigkeit auch für Kleinstlebewesen ermöglicht wird. Die „Schauberger Rampe“ verjüngt sich zum Unterwasser, wodurch dort ein ansteigender Wasserspiegel erzeugt wird, der sich bei der Energieumwandlung positiv auswirken kann. Mit der Entwicklung von Stein- und Sohlenrampen konnten die eingangs erwähnten Funktionen von Sohlenbauwerken mit den Zielen des naturnahen Flussbaus besser miteinander vereinbart werden. Steinrampen werden vor allem in größeren Flüssen mit Sohlbreiten von  $b > 15$  m und zu überwindenden Höhendifferenzen von  $h_r > 1,5$  m eingesetzt. Heutzutage werden neben der „Schauberger Rampe“ je nach Gegebenheiten und Anforderungen häufig Sohlenrampen (glatte und raue, Gefälle 1:3 bis 1:10) oder Sohlengleiten (Gefälle 1:20 bis 1:30) umgesetzt (LfU, 2000; ROLKER, 2004).

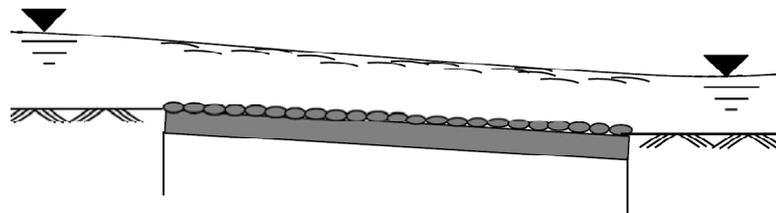


Abbildung 6-4: Sohlengleite nach DIN 4047, Teil 5; aus (PFÖRTNER, 2007)

Trotz der deutlich verbesserten ökologischen Durchgängigkeit von Blocksteinrampen im Vergleich zu Abstürzen und Absturztreppe kann eine vollends zufriedenstellende Durchgängigkeit häufig nicht gewährleistet werden. Deshalb wurden so genannte aufgelöste Rampentypen entwickelt. Bei aufgelösten Rampen wird der Höhenunterschied in kleinere, für Fische überwindbare Stufen mit dazwischenliegenden Becken aufgeteilt. Dabei wird auf die Verbundwirkung dicht aneinander gesetzter Wasserbausteine zugunsten größerer Strömungs- und Strukturvielfalt verzichtet. Um die Stabilität dennoch zu gewährleisten, sind aufgelöste Rampen in der Regel flacher als traditionelle Blocksteinrampen. Vorteile sind die reduzierte Fließgeschwindigkeit und die Begünstigung der Durchgängigkeit für Fische und Benthosarten. Eine Form der aufgelösten Rampentypen ist die Riegelbeckenrampe. Dabei wird sich an Riegelbeckenstrukturen orientiert, welche in steilen Gebirgsbächen mit gut abgestuftem Sediment bei großen Hochwasserereignissen entstehen. Diese besonders stabile Flussbettform wird bei den Riegelbeckenrampen übernommen (LANG, et al., 2006; SINDELAR, 2011; ULLMANN, et al., 2009).



## 6.2 Bauweise

Grundsätzlich sind bei der Dimensionierung von Pendelrampen schutzwasserwirtschaftliche (hinsichtlich der Standsicherheit, Sohlstabilität, Bemessungsabfluss) und ökologische Gestaltungskriterien (ökologische Durchgängigkeit, Sohlstrukturierung) zu beachten.

Die Riegel der Pendelrampe sind S-förmig in der Lage und schließen jeweils auf halber Beckenlänge an die Böschung sowie nahtlos an den flussauf bzw. flussab liegenden Querriegel an. Die Steine bilden so eine durchgehende Schlangenlinie (siehe Abbildung 6-6). Entlang der gesamten Rampe wird die Böschung mit einem Böschungsansatzstein gesichert. Der tiefste Punkt eines Querriegels ist auf Sohlniveau und liegt je nach Querneigung einmal im linken, einmal im rechten Viertelpunkt des Querprofils. Jeder Querriegel wird auf jener Uferseite, auf welcher er die maximale Höhe erreicht, durch einen bogenförmigen Stützriegel flussab stabilisiert. Der Riegelabschluss ist gemeinsam mit dem flussab gelegenen Becken U-förmig. Nach etwa 6 Becken in der Mitte der Rampe ist ein horizontales Beruhigungsbecken ( $\Delta h = 0$  m,  $L \approx 8$  m) anzuordnen. Dieses erfüllt einen hydraulischen und fischökologischen Nutzen, da es auch als Rastplatz für aufsteigende Fische dient. Der letzte Sohlgurt der Rampe liegt fast sohlneutral und weist im Querschnitt eine konkave Form auf. Dadurch wird die mäandrierende Bewegung des Stromstriches im unteren Bereich der Rampe etwas abgemildert und den Fließbedingungen im Unterwasser angeglichen. Um schon während des Baus das Strömungsmuster zu überprüfen und gegebenenfalls zu korrigieren, werden Pendelrampen vom Unterwasser Richtung Oberwasser gebaut (ROLKER, 2004; PFÖRTNER, 2007; SINDELAR, 2011).

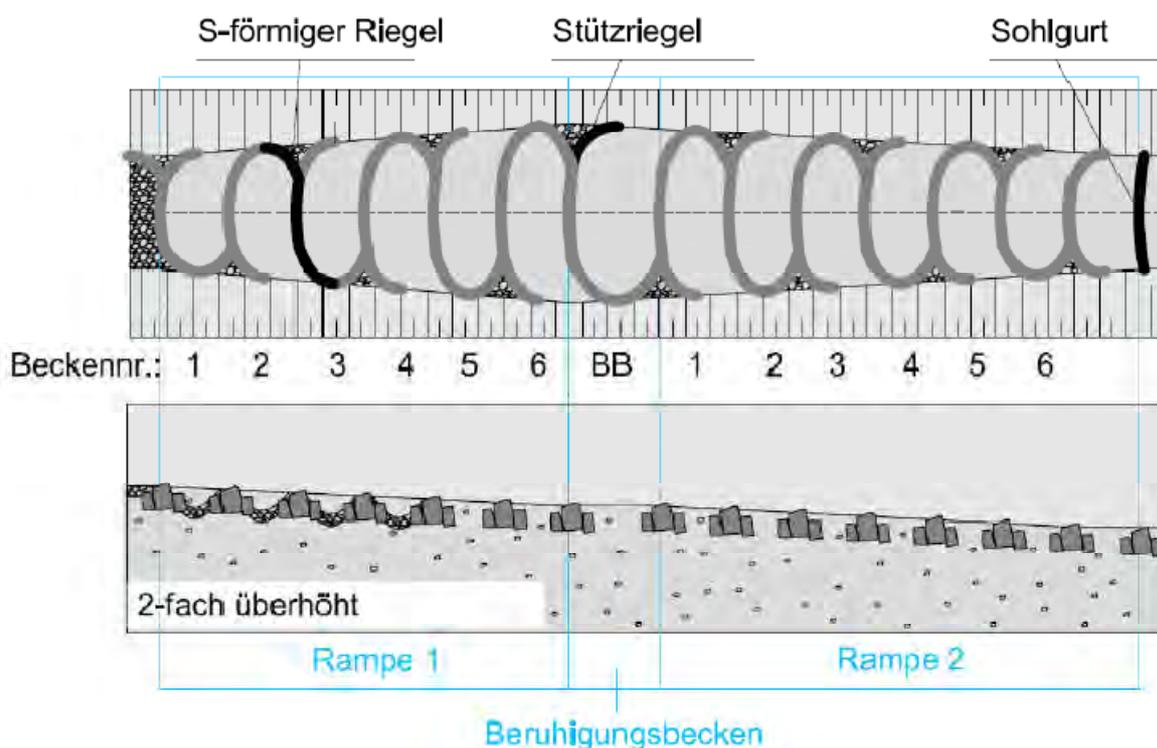


Abbildung 6-6: Schema Pendelrampe, Grundriss (oben), Längenschnitt in Flussachse (unten), (SINDELAR, 2011)

Nach SINDELAR (2011) wird die Flussbreite entlang der Rampe wie folgt kontinuierlich aufgeweitet und dann wieder auf die ursprüngliche Flussbreite verjüngt:

- Die größte Flussbreite  $B_{max}$  wird im Beruhigungsbecken erreicht
- Unterhalb des Beruhigungsbeckens wird die Flussbreite kontinuierlich reduziert, bis sie am Rampenfuß die ursprüngliche Flussbreite  $B$  erreicht hat
- $B_{max} \approx 1.5 \cdot B$
- Wenn möglich, soll die ursprüngliche Böschungsneigung im Rampenbereich beibehalten werden, wodurch sich die Böschungsoberkante ebenso aufweitet und wieder verjüngt

Durch die Aufweitung und Wiederverjüngung wird der spezifische Abfluss reduziert. Die ersten vier Becken der Rampe werden zur Sicherung muldenförmig mit Blocksteinen ausgeschichtet (siehe Abbildung 6-6). Der vertikale Abstand zwischen der Oberkante des oberen Beckenriegels und dem tiefsten Punkt auf halber Beckenlänge beträgt  $h_{Kolk} = 0.9$  m (siehe Abbildung 6-7). Für geringe Beckenlängen wählt man  $h_{Kolk} = 0.75$  m. Die restlichen Beckensohlen bestehen aus dem natürlichen Flusssediment. Die Stabilität des Rampengefüges beruht auf der Standfestigkeit der einzelnen Sohlgurte. Die verwendeten Wasserbausteine müssen daher von ausreichender Größe und Eigengewicht sein. Sie werden tief gegründet und sollten annähernd quaderförmig sein, sowie eine möglichst ebene Oberfläche haben. Da die Blocksteine nicht verzahnt sind, würden zu große Unebenheiten der Steinoberfläche den kraftschlüssigen Einbau zueinander verhindern und das exakte positionieren der Steine erschweren. Der Wasserbaustein ist durch seine drei Achsen definiert (vgl. SINDELAR, 2011).

Tabelle 6-1: Bezeichnungen der Achsen der quaderförmigen Wasserbausteine (SINDELAR, 2011)

Achsen	Hauptriegelstein	Kolksicherung
Vertikale Achse (m)	$l_a$	$l_{a,K}$
Horizontale Querachse (m)	$l_b$	$l_{b,K}$
Horizontale Achse in Fließrichtung (m)	$l_c$	$l_{c,K}$

Der Aufbau eines Riegels im Querschnitt setzt sich aus je einem Hauptriegelstein und einem Kolksicherungsstein flussauf sowie flussab zusammen (siehe Schnitt A-A in Abbildung 6-7). Es entsteht ein Dreieck zwischen Hauptriegel, Stützriegel und Böschungsfuß (Punkte BCD in Abbildung 6-7), welches mit grobem Steinmaterial gefestigt wird. Durch diese Anordnung werden eine Ablösung der Strömung und das Entstehen stark erosiver Walzen verhindert. Die Pendelrampe wird unterhalb des Rampenfußes von einem in der Lage U-förmigen Sohlgurt mit Abstand  $L =$  Beckenlänge auf Sohlniveau abgeschlossen (SINDELAR, 2011).

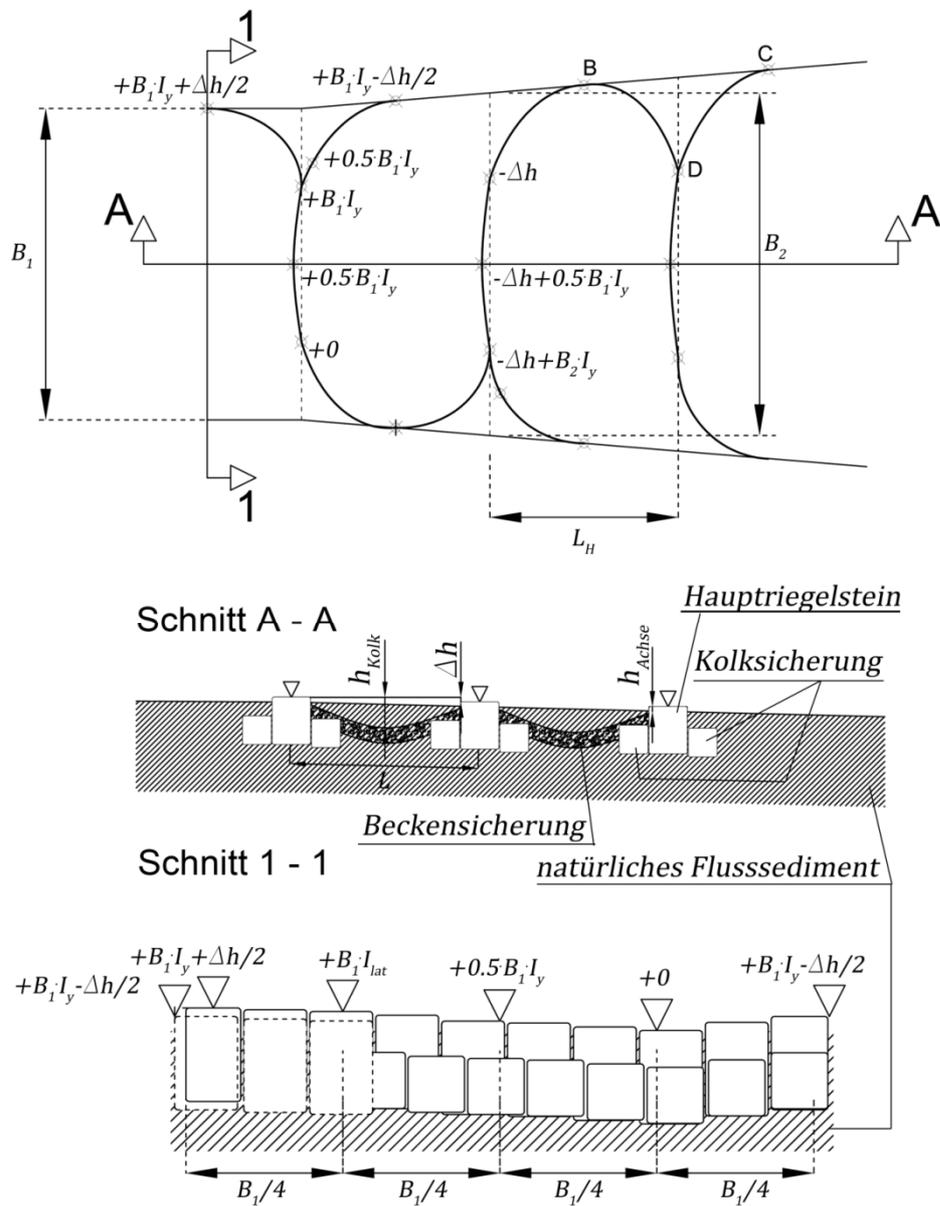


Abbildung 6-7: Rampengeometrie: Grundriss und Schnitte - Höhenlagen der Riegel (SINDELAR, 2011)

Die wichtigsten Bemessungsparameter sind in Tabelle 6-2 zusammengefasst:

Tabelle 6-2: Rampengeometrie (SINDELAR, 2011)

	Optimal	Zulässiger Bereich
Rampenneigung $I$ (%)	2.5	$\leq 3\%$
Riegelabstand $L$ (m)	6	$5 \leq L \leq 7$
Höhenunterschied zwischen zwei Riegeln in Flussachse $\Delta h$ (m)	0.15	$\Delta h = \frac{I}{100} \cdot L \cdot \cos \alpha$
Querneigung der Riegel $I_y$ (%)	3	
Höhe, die ein Riegel in der Flussachse aus der Sohle ragt $h_{Achse}$ (m)	$0.5 \cdot B \cdot I_y$	
Höhe, die ein Riegel maximal aus der Sohle ragt (m)	$B \cdot I_y$	

Für detailliertere Informationen zur Bauweise und Dimensionierung einer Pendelrampe wird hier auf die Dissertation von Dipl.-Ing. Mag. Dr. techn. SINDELAR verwiesen.

Zu beachten ist jedoch, dass sich die Dimensionierung der Becken und Riegel der Pendelrampe (Überfallshöhen und damit Mindest- und Maximalfließgeschwindigkeiten, Beckenvolumen und damit die Energiedissipation im Becken (siehe Kapitel 6.3), Riegelneigung und damit die Gegebenheiten von Wanderkorridoren) an den Gegebenheiten des jeweiligen Gewässer- und Flussabschnitts hinsichtlich der Öko- und Fischregion und damit den Anforderungen der dafür typischen aquatischen Organismen zu orientieren hat. Dabei gibt es je Fließgewässerzone hydraulische Bemessungswerte für die Energiedissipation und die Überfallshöhe sowie der Fließgeschwindigkeit zur Gewährleistung der Fischdurchgängigkeit (BMLFUW, 2012).

### 6.3 Hydraulische Wirkungsweise

Die hydraulische Wirkungsweise der Pendelrampe bildet sich wie auch schon bei den Sohlgrundlenkbuhnen und dem Strömungstrichter, je nach Abflusshöhe unterschiedlich aus. Bei Niedrigwasser wird der Stromstrich durch die geneigten Riegel, wie erwähnt, in einer mäandrierenden Linienform von Becken zu Becken geführt (siehe Abbildung 6-8).

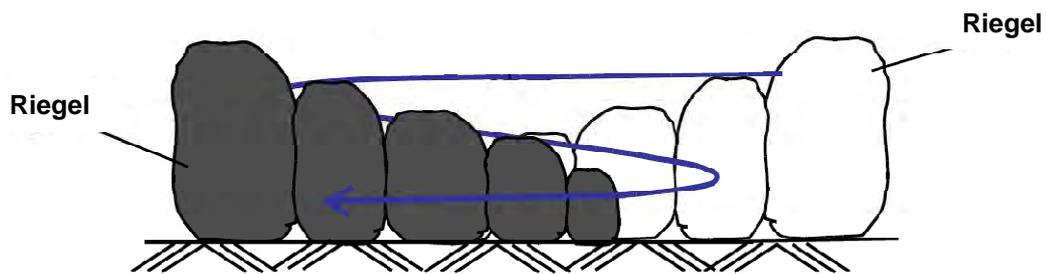


Abbildung 6-8: Mäandrierender Stromstrich (blau) durch zwei hintereinander angeordnete Riegel einer Pendelrampe bei Niedrigwasser (PFÖRTNER, 2007), verändert

An der TU Graz erfolgten aufbauend auf den bisher erfolgreich umgesetzten Pendelrampen in der Schweiz und in Österreich (siehe Kapitel 7.7, 7.8.8 und 7.9), wissenschaftliche Untersuchungen in einem Glasgerinne mit dem Ziel Bemessungskriterien für Riegelrampen unter Berücksichtigung der speziellen Fließbedingungen abzuleiten. Hinsichtlich des Abflussverhaltens über den Längsschnitt betrachtet hat sich bei den Untersuchungen im Glasgerinne gezeigt, dass der charakteristische Fließzustand der Pendelrampe der so genannte "Tumbling Flow" ist (siehe Abbildung 6-9). Bei diesem fließt das Wasser kaskadenförmig über die Riegel (vgl. SINDELAR, 2011).

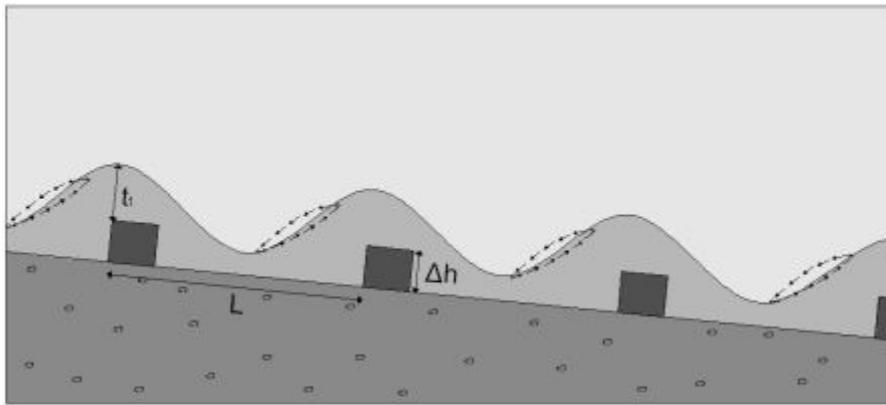


Abbildung 6-9: Tumbling Flow (TU GRAZ, 2014)

Der "Tumbling Flow" ist eine zyklische Abfolge von strömendem und schießendem Abfluss. Der Fließwechsel findet dabei in den Becken zwischen zwei Riegeln statt. Die Energieumwandlung der kinetischen Energie erfolgt bei Niederwasser durch den pendelnden Stromstrich und die erhöhte Rauheit, sowie bei erhöhten Abflüssen durch den Wechselsprung in den Becken beim "Tumbling Flow". Durch den Wechselsprung wird das Wasser außerdem sehr stark mit Luft vermischt, da starke Turbulenz als Ausdruck intensiver Energieumwandlung herrscht (vgl. BOLLRICH, 2013).

Als Maß für die Turbulenz hat sich die Leistungsdichte [W/m³] bei der Energieumwandlung etabliert. Dadurch wird die Umwandlung der in ein Becken eingetragenen Energie (potentielle und kinetische Energie in Wärme und Schall) in Bezug zur Beckendimension beschrieben, die Energiedissipation (vgl. BMLFUW, 2012; nach DVWK, 1996; und LARINIER, 2007). Hinsichtlich der Fischdurchgängigkeit sind Bemessungswerte in Abhängigkeit der maximalen Höhenunterschiede zwischen den Becken je Fischregion festgelegt. Sie können dem „Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen“ des BMLFUW (2012) entnommen werden. Bezogen auf ein Becken der Pendelrampe kann die Energiedissipation nach STEPHAN (2010) mit folgender Beziehung berechnet werden:

$$T = 0,7 * MNQ * \rho * g * \frac{\Delta h}{V_B} \quad (6.1)$$

Mit

- T.....[W/m³] Energiedissipation
- V<sub>B</sub>.....[m³] Beckenvolumen
- ρ .....[kg/m³] Dichte Wasser
- Δh.....[m] Wasserspiegeldifferenz
- g.....[m/s²] Erdbeschleunigung
- MNQ....[m³/s] Mittl. Niedrigwasserabfluss

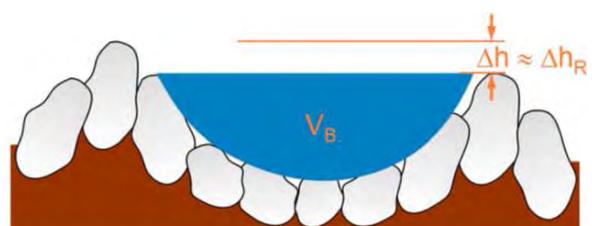


Abbildung 6-10: Schema Becken einer Pendelrampe (STEPHAN, 2010), verändert

## Hochwasserfall

Bei sehr hohen Durchflüssen ändert sich das Fließbild. Der "Tumbling Flow" geht in den "Rapid Flow" über (siehe Abbildung 6-11). Der Wasserspiegel ist dann weitgehend eben und der Abfluss über die Riegelkanten erfolgt schießend (vgl. TU GRAZ, 2014; SINDELAR, 2011).

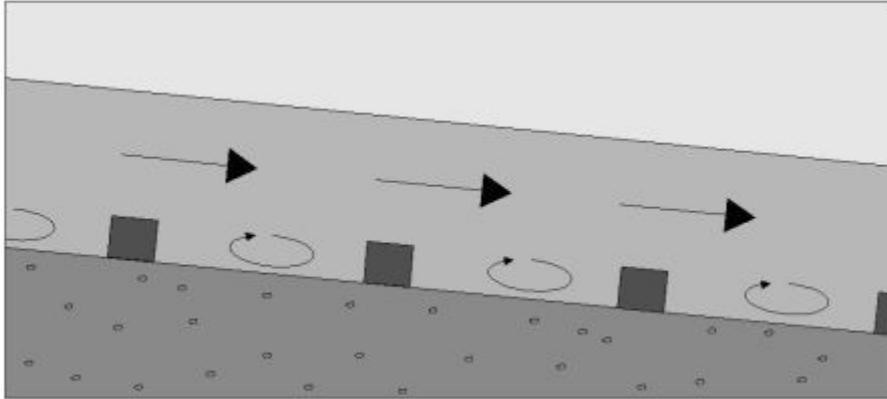


Abbildung 6-11: Rapid Flow (TU GRAZ, 2014)

In den Becken entstehen Walzen mit horizontalen Achsen quer zur Fließrichtung, die Erosionskraft ist reduziert. Durch den Rapid Flow sinkt jedoch die Energieumwandlungsfähigkeit der Rampe durch die geringere Energiedissipation in den Becken. Der "Tumbling Flow" ist daher aufgrund der hervorragenden Energieumwandlung dem Rapid Flow vorzuziehen. Bei der Pendelrampe werden dynamische Prozesse zugelassen, wodurch die Becken bei einer ansteigenden Hochwasserwelle erodieren. Der "Tumbling Flow" kann somit länger erhalten bleiben. Die Untersuchungen im Glasgerinne der TU Graz haben ergeben, dass der "Tumbling Flow" umso länger erhalten werden kann, je größer die Beckentiefe ist. Bei abfallender Hochwasserwelle setzen sich die vom Fluss transportierten Sedimente ab und füllen die Becken wieder auf. Bei den Untersuchungen wurde zudem in einem vereinfachten Modell das optimale Verhältnis von Beckenlänge zu Beckentiefe gesucht. Dabei stellte sich heraus, dass bei einem kleinen Verhältnis Beckenlänge zu Tiefe der Übergang von "Tumbling Flow" zu Rapid Flow schon bei geringen Durchflüssen stattfindet. Ein großes Verhältnis hat den Vorteil, dass der "Tumbling Flow" bei sehr großen Abflüssen erhalten bleiben kann. Bei einem zu großen Verhältnis beschleunigt das Wasser in den Becken zu stark und die Strömung kann sich am Beckenboden anlegen. Dies kann zu unerwünschten Erosionen führen (vgl. SINDELAR, 2011).

Die Wirkungsweise der Pendelrampe beruht auf dem Wirkungsprinzip der Lenkbuhnen (siehe Kapitel 4.3). Die bodenförmigen Blocksteinriegel können vereinfachend als v-förmig beschrieben und somit als beidseitig angeordnete inklinante Lenkbuhnen aufgefasst werden. Durch die Riegel werden im Hochwasserfall bei starker Überströmung zwei gegenläufige Spiralströmungen induziert (Abbildung 6-12). Diese drehen an der Sohle in Richtung Ufer und bewirken dadurch einen zum Ufer gerichteten Geschiebetransport. Am Wasserspiegel laufen die Sekundärströmungen dagegen aufeinander zu. Daraus resultiert ein Staudruck, der zu einem nach oben gewölbten Wasserspiegel führt. Die Sekundärströmungen bewirken, dass langsam fließendes sohlennahes Wasser in den Uferbereich gelenkt, schnell fließendes oberflächennahes Wasser dagegen heraus transportiert wird. Die ufernahe Fließgeschwindigkeit wird durch diesen Massen- und Impulsaustausch verringert, wodurch eine Ablagerung des eingetragenen Sediments begünstigt und die Ufer somit entlastet werden. Der Stromstrich wird dadurch bei höheren Abflüssen in Flussmitte geleitet (vgl. MENDE, et al., 2009).

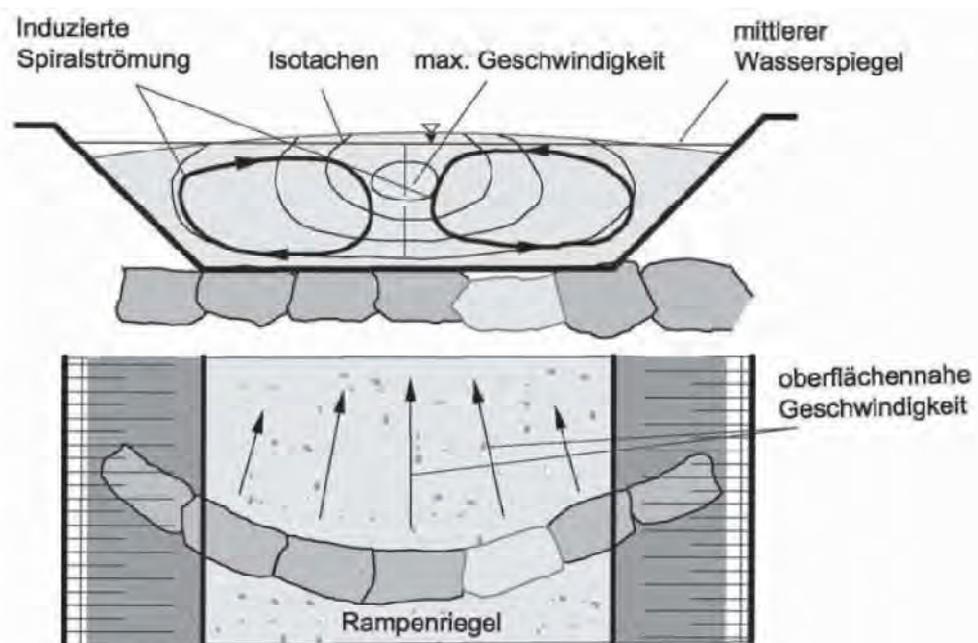


Abbildung 6-12: Schematische Darstellung der hydraulischen Wirkung einer Pendelrampe bei starker Überströmung (oben: Querschnitt, unten: Lageplanausschnitt) (MENDE, et al., 2009)

Da der Abfluss über die niedrigere Seite des Riegels stets größer ist als derjenige über die höhere Seite, wird sich auch bei höheren Abflüssen ein zumindest leicht mäandrierender Stromstrich ausbilden (vgl. PFÖRTNER, 2007).

## 7 Flussbauliche Projekte

Bisher wurde eine überschaubare Anzahl an flussbaulichen Projekten des Instream River Training umgesetzt. Diese wurden befinden sich vor allem in der Steiermark und in der Schweiz. Die in diesem Kapitel vorgestellten Projekte stellen einen Teil davon dar. Dabei handelt es sich um drei Projekte, bei welchen Sohlgrundlenkbuhnen eingesetzt wurden, drei Projekte mit Einbau eines Strömungstrichters und drei Projekte, in denen eine Pendelrampe umgesetzt wurde. Es wird hier in zusammenfassender Weise auf die Ziele, den Umfang, sowie das Monitoring und die Auswirkungen der jeweiligen Maßnahme als Grundlage für die spätere Bewertung mit der Ziel/Auswirkung - Matrix eingegangen.

Die ökologischen Zustände der betroffenen Gewässer in der Steiermark sind in Abbildung 7-1 verzeichnet. Zur Übersicht ist die Lage der Gewässerabschnitte, in denen die einzelnen Maßnahmen umgesetzt wurden, gekennzeichnet. Die Positionen der Projekte in der Schweiz sind bei der jeweiligen Beschreibung der Maßnahme angegeben.

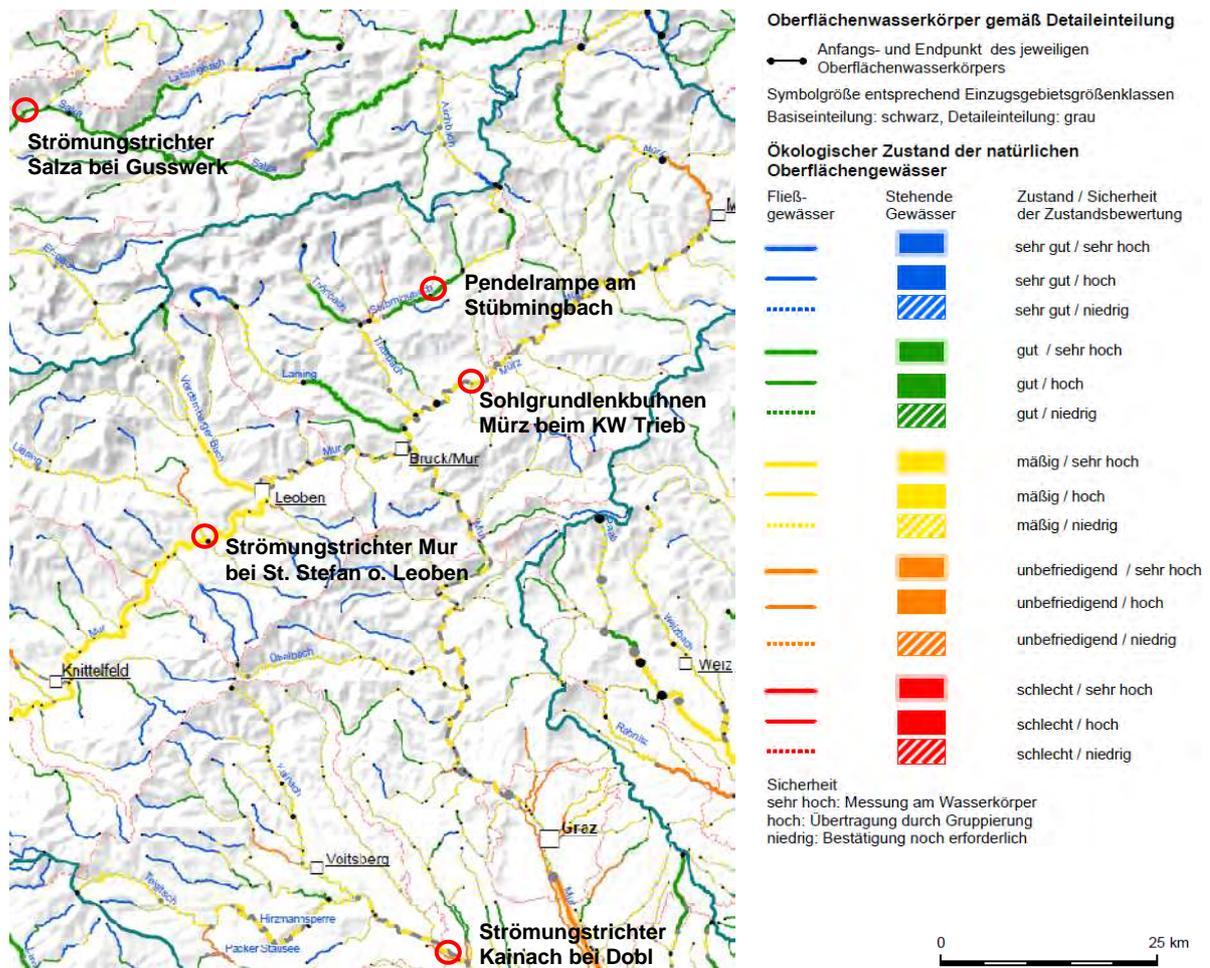


Abbildung 7-1: Lage der flussbaulichen Maßnahmen und ökologischer Zustand der natürlichen Oberflächengewässer (BMLFUW, 2009)

## 7.1 Sohlgrundlenkbuhnen im Ellikerbach, Kanton Zürich, Schweiz

Durch dieses Projekt werden die Auswirkungen und die Wirkungsweise von Sohlgrundlenkbuhnen bei beengten Platzverhältnissen in einem kleineren Gewässer erläutert.

### Ausgangssituation und Lage

Der Ellikerbach befindet sich im nördlichen Teil des Kantons Zürich und besitzt ein Einzugsgebiet von etwa 19 km<sup>2</sup>. Er mündet unterhalb von Ellikon in die Thur. Er ist stark begradigt, besitzt ein einheitliches Trapezprofil und ist beidseitig mit Dämmen gekennzeichnet. Der ökomorphologische Zustand wird als stark beeinträchtigt eingestuft. Er fließt über weite Strecken entlang einer Straßenböschung, die bereits an mehreren Stellen erodiert wurde. Dadurch wurden der Damm und die dahinter liegende Straße gefährdet (Abbildung 7-3).

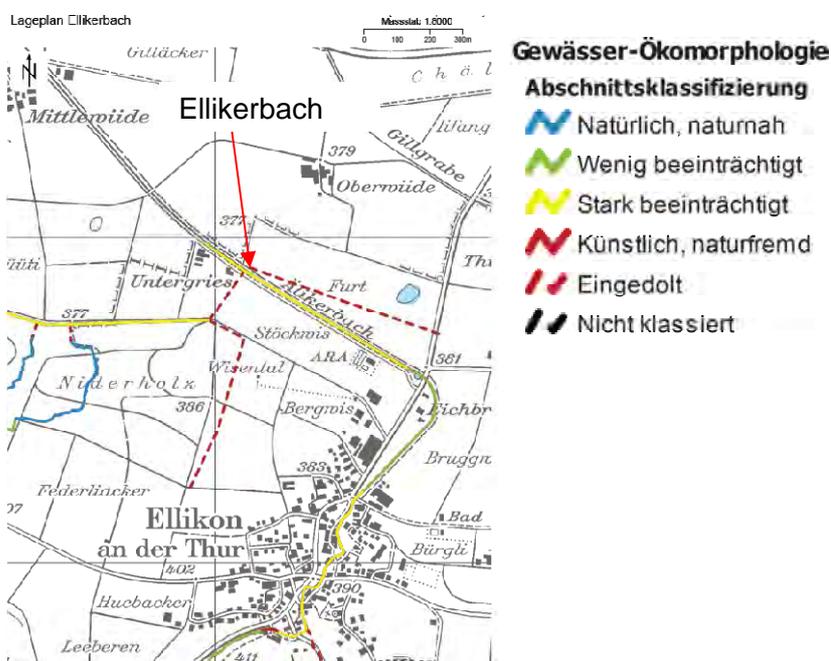


Abbildung 7-2: Lageplan Ellikerbach (GIS-ZH, Kanton Zürich)



Abbildung 7-3: Ausgangssituation Ellikerbach (MENDE, et al., 2012)

## **Ziel**

Das Ziel der Maßnahme war es, die Uferböschung zu sichern und gleichzeitig die Gewässerstruktur zu verbessern. Zudem sollten die Kosten für den dauerhaften Unterhalt, welche durch häufige Baggerungen entstanden, reduziert werden. Diese wurden notwendig, um zu verhindern, dass sich der Stromstrich in Richtung Damm verlagert. Mit der Maßnahme wurde ein nachhaltiger und verhältnismäßiger Eingriff in das Ökosystem des Ellikerbachs angestrebt (MENDE, et al., 2012).

## **Umfang der Maßnahme**

Es wurden in fünf Abschnitten des Bachs Lenkbuhnen eingebaut. Dabei kamen verschiedene Materialien zum Einsatz. Zum einen Blocksteine, zum anderen gerammte Fichtenspaltpfähle sowie Fichtenstämme. Trotz der teilweise unterschiedlichen Bauweise der Lenkbuhnen können die Auswertungen des Projektes aufschlussreiche Erkenntnisse über die Auswirkungen der Sohlgrundlenkbuhnen geben. Die Lenkbuhnen wurden so konstruiert, dass sie bei Niederwasser überströmt werden.

## **Monitoring**

Das Monitoring beinhaltete die Aufnahme von Querprofilen, Geschwindigkeitsmessungen sowie eine Fotodokumentation. Im Mai und Oktober 2008 wurden zwei Messkampagnen durchgeführt, wobei der Zustand vor und drei Monate nach Einbau der Lenkbuhnen erfasst wurde. Zusätzlich wurden Elektrofischungen im Juli 2008 und Mai 2009 durchgeführt. Weitere Erkenntnisse konnten bei Begehungen gewonnen werden (vgl. MENDE, et al., 2010).

### **7.1.1 Auswirkungen**

Es sind Auswirkungen auf die Fließgeschwindigkeitsverteilung, die Sohlmorphologie, die Strömung sowie die Ökologie dokumentiert.

#### **Fließgeschwindigkeitsverteilung/Sohlmorphologie**

Bei Nieder- und Mittelwasser waren vor dem Einbau die Fließgeschwindigkeiten über die gesamte Breite einheitlich und meist gering. Durch die Lenkbuhnen wurde ein deutlich variables Fließgeschwindigkeitsbild mit Bereichen größerer und kleinerer Fließgeschwindigkeiten bewirkt. Dadurch ergab sich bereits wenige Monate nach Einbau eine deutliche Zunahme der Tiefenvarianz. Die zuvor annähernd horizontale Sohle ist nach dem Einbau durch Flachwasserzonen und Kolke gekennzeichnet (siehe Abbildung 7-4). Entlang der Böschung kam es durch lokale Laufverlagerungen - um bis zu einem Meter von der gefährdeten Straßenböschung weg - zu keiner Erosion mehr. Vielmehr wurden dort Ablagerungen von Geschiebe festgestellt. Die Ablagerungen wurden schnell bewachsen, womit die Böschung weiter stabilisiert wurde. Das überbreite Nieder- und Mittelwasserprofil wurde so auf ein naturnahes Maß eingengt (MENDE, et al., 2010; MENDE, et al., 2012).

Die unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten und die morphologischen Veränderungen zeigen, dass die Lenkbuhnen die gewünschte Wirkungsweise auf die Fließgeschwindigkeitsverteilung und die Sohlmorphologie haben. Die Ufer konnten wie geplant entlastet werden.

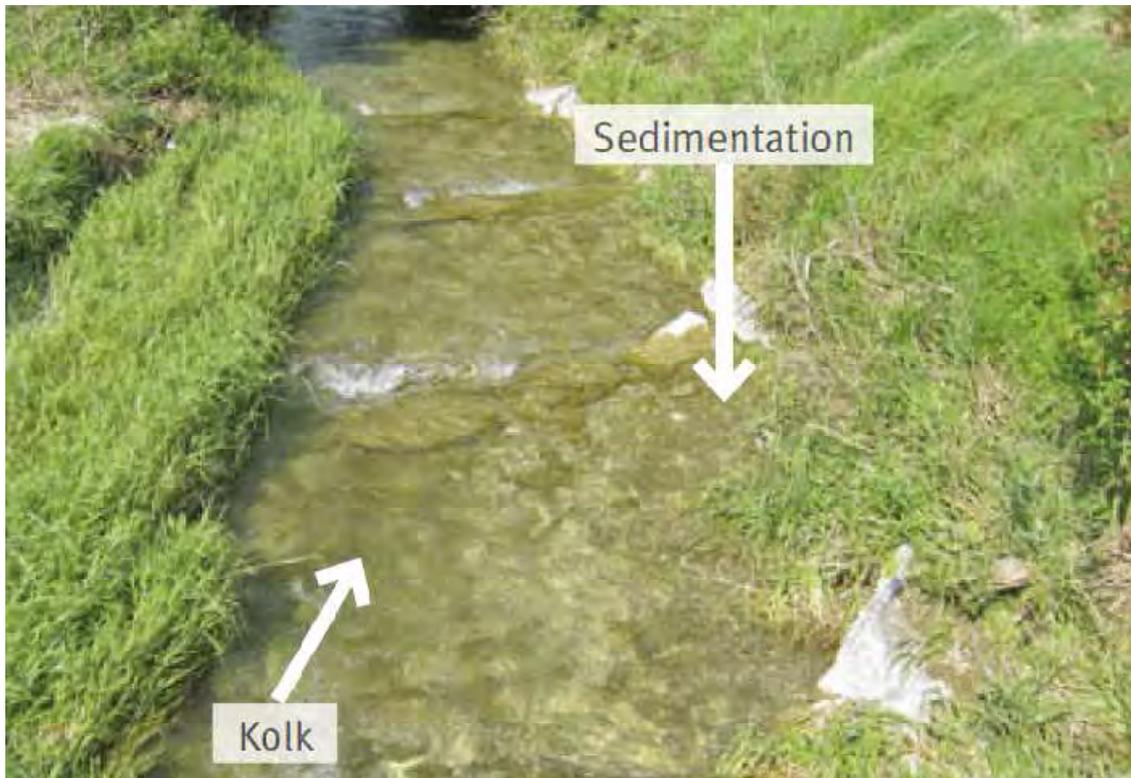


Abbildung 7-4: Situation zwei Monate nach Einbau von Lenkbuhnen aus Blocksteinen (MENDE, et al., 2012)

### **Strömung**

Auch bezüglich der Strömungsverhältnisse zeigten die Lenkbuhnen die gewünschte Wirkung. Eine deutliche Zunahme der Strömungsdiversität sowie eine effektive Strömunglenkung konnte auch bei höheren Abflüssen gewährleistet werden (siehe Abbildung 7-5). Der Stromstrich konnte dadurch in Gewässermitteln gelenkt und das Außenufer entlastet werden. Zur teilweise unterschiedlichen Bauweise der Buhnen ließ sich feststellen, dass die Lenkbuhnen aus Fichtenspaltpfählen aufgrund der scharfkantigen Ausbildung tendenziell eine etwas bessere Wirkung hinsichtlich der Strömunglenkung als die annähernd horizontal eingebauten runden Fichtenstämme, aufwiesen. Diese sind zudem aufgrund des Auftriebs nur schwer präzise einzubauen. Die Einbauten aus Holz sind aufwendiger in der Herstellung und werden, bevor sie sich verfärben, eher als Fremdkörper wahrgenommen. Sie eignen sich aber durchaus für Gewässer mit eher feinkörniger Sohle. Dahingegen zeigten die Lenkbuhnen aus Blocksteinbauweise vielfältigere Strömungsverhältnisse und fügten sich optisch besser in das Gewässer ein (vgl. MENDE, et al., 2012).



Abbildung 7-5: Visualisierte Oberflächenströmung bei erhöhtem Abfluss (MENDE, et al., 2012)

### **Ökologie**

Bezüglich der Auswirkungen auf die Fauna des Gewässerabschnitts lässt sich bereits eine qualitative Aussage ableiten, wobei die Ergebnisse noch durch weitere Elektrofischungen abzusichern sind. Es konnte eine annähernde Verdopplung des Fischbestands (Individuenzahl) in den beiden Abschnitten mit Lenkbuhnen aus Blocksteinen verzeichnet werden. Insbesondere die Bachschmerle als rheophile Art hat von dem Einbau profitiert. Hervorzuheben ist eine Verfünffachung der größeren Fische (> 30 cm), was auf die neu entstandenen Kolke (Fischeinstände) im Lenkbuhnumfeld zurückgeführt wird (vgl. MENDE, et al., 2012).

Die Habitatqualität wurde deutlich erhöht. Auch kann man ableiten, dass durch die erhöhte Böschungssicherheit die regelmäßige Wartung durch Baggerungen minimiert bzw. zur Gänze ausbleiben kann, was den Eingriff in das Ökosystem und damit auch die Belastungen für die Flora verringert.

## 7.2 Sohlgrundlenkbuhnen in der Mürz, Kraftwerk Trieb, Steiermark

Bei diesem Projekt wurden Sohlgrundlenkbuhnen für das Geschiebemanagement unterstrom des Kraftwerks Trieb in der Mürz (Gemeinde St. Marein) eingebaut. Es gibt Aufschlüsse über die Fließgeschwindigkeitsverteilungen und die Auswirkungen auf die Sohlmorphologie durch Sohlgrundlenkbuhnen.

### Ausgangssituation und Lage

Die Mürz ist 98 km lang und hat einen MQ von 20 m<sup>3</sup>/s. Sie ist im betroffenen Gewässerabschnitt der Äschenregion (Hyporhithral groß) zugeordnet (BMLFUW, 2009). In der Mürz sind mehrere Kraftwerke zur Energiegewinnung installiert. Im Unterwasserbereich der Kraftwerke wurden Eintiefungen der Flusssohle vorgenommen, wodurch es bei manchen Anlagen zu Anlandungstendenzen kam. Dies führte zur Verringerung der nutzbaren Fallhöhe und damit zu Ertragseinbußen. Das Geschiebe wurde vor dem Einbau durch Baggerungen entnommen. Als Folge der Geschiebeentnahmen wird das Gewässersystem flussab eingetieft. Der Geschiebemangel führt zu Störungen des Energie- und Geschiebegleichgewichts. Durch erhöhte Fließgeschwindigkeiten ergibt sich in weiterer Folge das Risiko von Sohl- und Ufer- einbrüchen (FRIEDRICH, 2008).

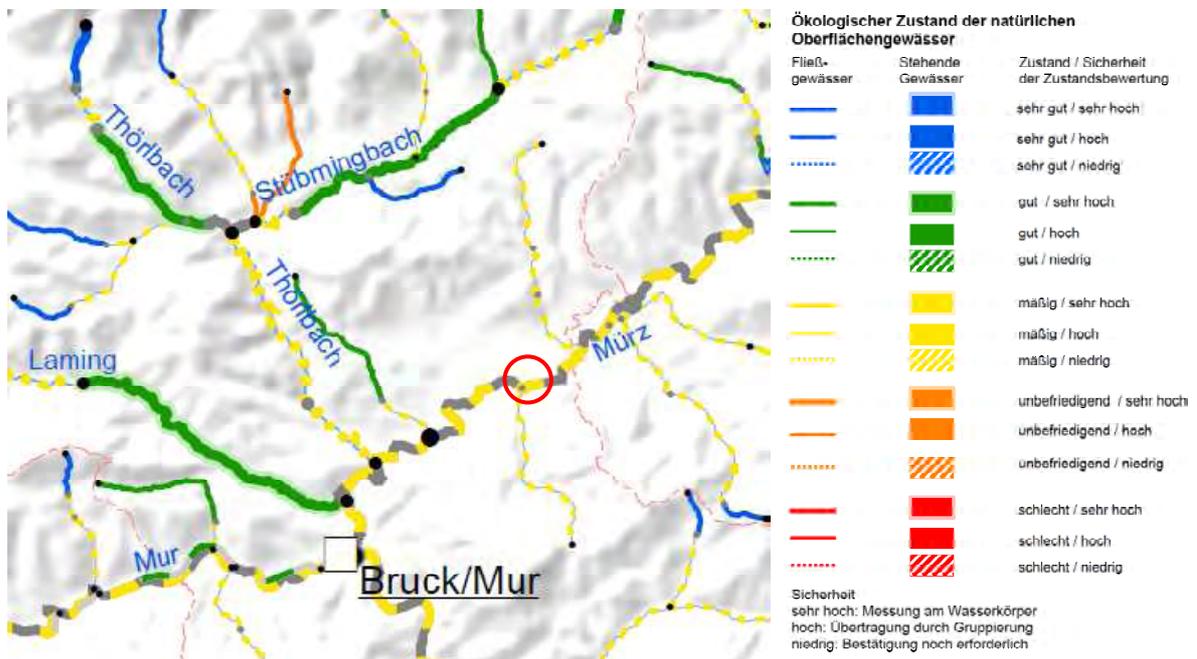


Abbildung 7-6: Lageplan Sohlgrundlenkbuhnen in der Mürz bei KW Trieb (BMLFUW, 2009)

### Ziel

Durch den Einbau von Sohlgrundlenkbuhnen sollte der Geschiebetrieb im Unterwasserbereich gefördert und die ungünstigen Bedingungen für den Kraftwerksbetrieb verbessert werden.

### Umfang der Maßnahme

Es wurden vier inklinante Sohlgrundlenbuhnen in Sichelform mit Längen zwischen 9 und 15 m, sowie ca. 80 m flussab der Wehranlage ein inklinantes Buhnenpaar mit jeweils 4 m Länge eingebaut. Die Breite der Buhnen variiert zwischen 1 und 2 m. Im Zuge des Einbaus wurden ca. 2800 m<sup>3</sup> Geschiebe geräumt. Geplant wurde die Maßnahme von OTMAR GROBER.

### Monitoring

Es fanden zwei Messkampagnen im Juli ( $Q = 8,00 \text{ m}^3/\text{s}$ ) und im November ( $Q = 21,00 \text{ m}^3/\text{s}$ ) 2007 statt (siehe Abbildung 7-7). Dabei wurde neben der Ultraschallmessung durch ein ADCP- Messgerät auch die Lage von 6 Profilen geodätisch vermessen (FRIEDRICH, 2008).

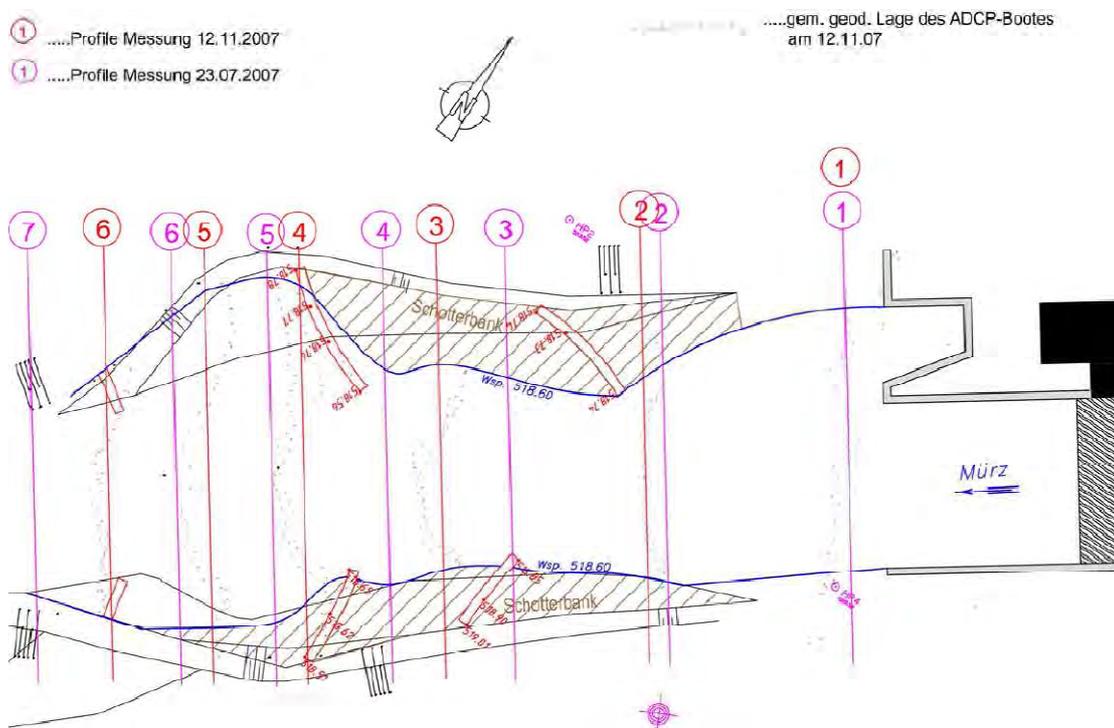


Abbildung 7-7: Buhnensituation flussab KW Trieb (FRIEDRICH, 2008)

### **7.2.1 Auswirkungen**

Die Auswirkungen auf die Fließgeschwindigkeit sowie die Sohlmorphologie sind gut dokumentiert, hingegen liegen bezüglich der Entwicklungen der Ökologie durch die Maßnahme keine Ergebnisse vor.

#### **Fließgeschwindigkeitsverteilung/Sohlmorphologie**

Abbildung 7-8 zeigt die Sohldarstellung im Ausgangszustand, bei der ersten Messung im Juli 2007 und bei der zweiten Messung im November 2007. Es ist erkennbar, dass sich Verlandungen auf der orographisch linken Seite bis zur Flussmitte hin konzentrierten. Diese begannen ca. 25 m unterhalb der Wehranlage und hatten eine Länge von ca. 50 m bei einer mittleren Breite von ca. 8 m. Die Verlandungshöhe betrug bis zu 1,2 m.

Die Messung nach dem Einbau 2007 hinsichtlich der Sohlmorphologie macht erkennbar, dass sich durch den Buhneneinbau der Querschnitt verringert und die Sohle eingetieft hat. Es hat sich eine ausgeprägte Tiefenrinne ausgebildet. Zu beachten ist allerdings, dass beim Einbau Geschiebe entnommen wurde. Die Veränderungen in der Sohlmorphologie im Vergleich zum Ausgangszustand sind daher nicht gänzlich auf die Sohlgrundlenkbuhnen zurückzuführen.

Im September 2007 ergaben sich durch ein  $HQ_{25}$  Sohlerhöhungen. Es kam aber zu keinen gravierenden Geschiebeablagerungen, wie sie sich vor dem Buhneneinbau ausbildeten. Die Tiefenrinne (siehe Abbildung 7-7 unten) blieb durch die Wirkung der Sohlgrundlenkbuhnen auch nach dem Hochwasser erhalten (FRIEDRICH, 2008).

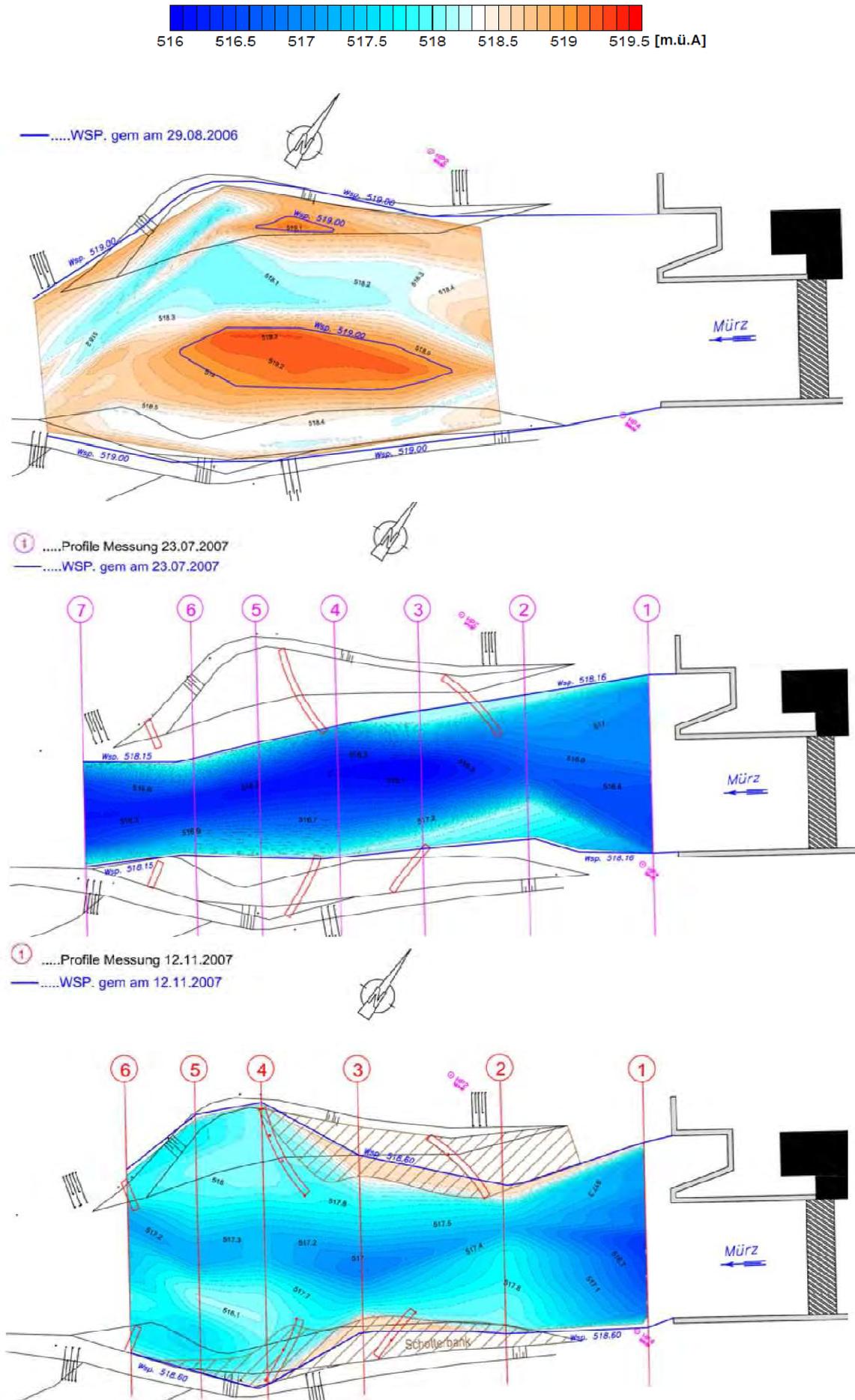


Abbildung 7-8: Sohldarstellung vor dem Einbau (oben), 11 Monate (mitte) und 15 Monate (unten) nach dem Einbau (FRIEDRICH, 2008)

Bei der Messung im Juli 2007 wurden die Sohlgrundbunnen nur teilweise, im November hingegen komplett überströmt. Die Geschwindigkeitsverteilung bildete sich jedoch bei beiden Messungen weitestgehend gleich aus. Dies verdeutlicht die Effektivität der hydraulischen Wirkungsweise auch bei höheren Abflüssen. In Profil 1 und 2 wurde der Bunneneffekt durch einen gelösten Kolkstein beeinträchtigt. Ab Profil 3 traten die höchsten Fließgeschwindigkeiten an der Wasseroberfläche in Flussmitte im Bereich der Tiefenrinne auf. Ab Profil 4 verringerten sich die Geschwindigkeiten durch die Aufweitung des Querschnitts (siehe Abbildung 7-9). Es treten aber auch dort die höchsten Fließgeschwindigkeiten in Flussmitte auf. In den Randbereichen entstehen strömungsberuhigte Zonen und Rückströmungen. Die absoluten Fließgeschwindigkeiten fielen aufgrund des unterschiedlich hohen Durchflusses sehr verschieden aus (FRIEDRICH, 2008).

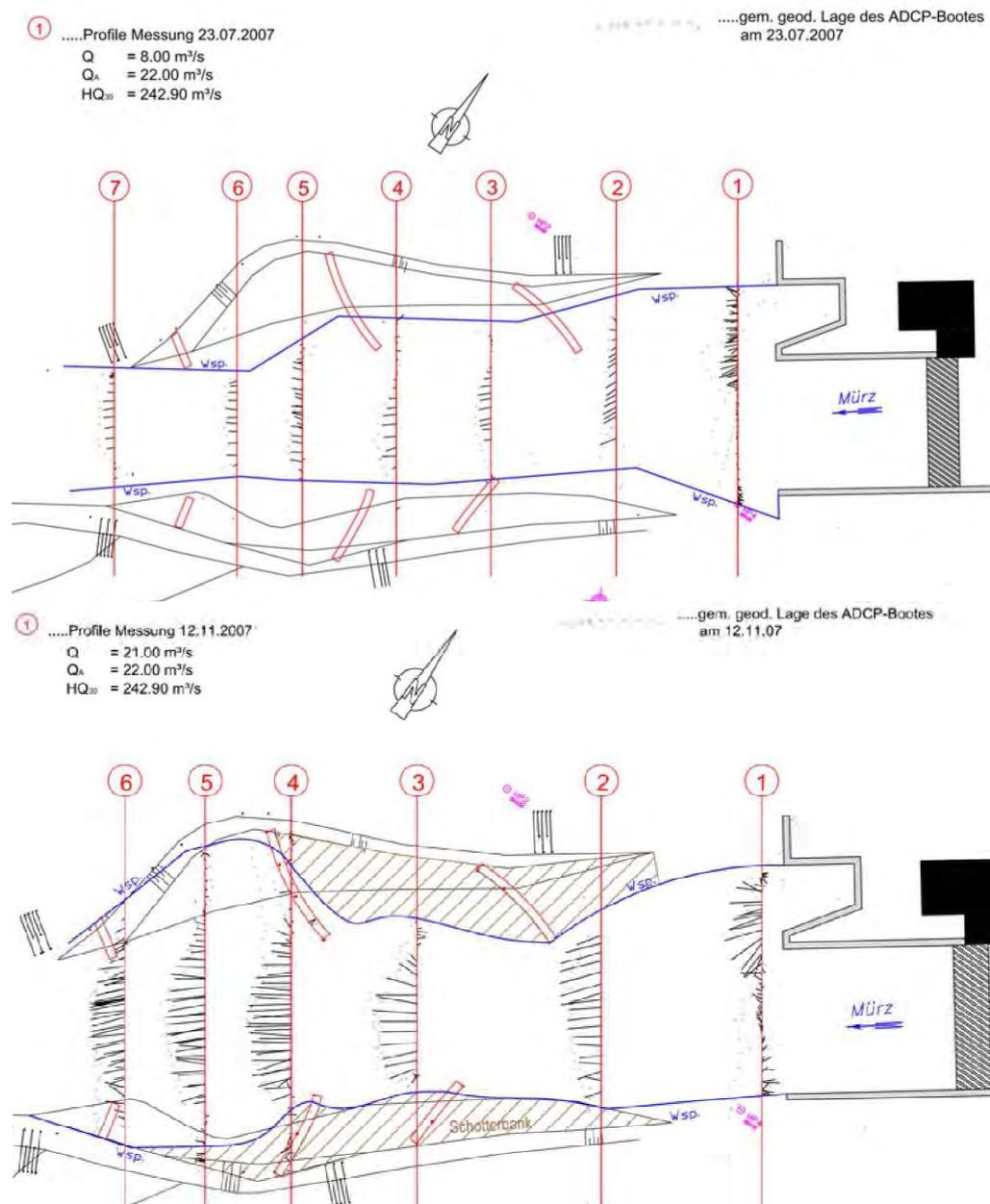


Abbildung 7-9: Fließgeschwindigkeitsverteilung flussab des KW Trieb; Messung am 23.07.2007 (oben) und am 12.11.2007 (unten) (FRIEDRICH, 2008)

## **Strömung**

Der Stromstrich wurde durch die beidseitig angeordneten Buhnen in Gewässermittle gelenkt. An den Randbereichen bildeten sich strömungsberuhigte Zonen aus. Der Geschiebetransport konnte dadurch aufrecht erhalten werden. Anhand der Fließgeschwindigkeitsbilder ist die Strömunglenkung auch bei höheren Abflüssen zu vermuten. Rückschlüsse auf die Ausbildung von Sekundär- und Spiralströmungen können durch das Monitoring nur indirekt gezogen werden.

## **Hochwasser**

Das HQ<sub>25</sub> im September 2007 zerstörte Teile des Ufers und der Buhnen. Die zerstörten Buhnen wurden saniert oder teilweise neu eingebaut sowie aufgrund der Sohlenerhebung leicht angehoben. Erkenntnisse über die Beständigkeit der Buhnen im Hochwasserfall nach der Sanierung sind nicht vorhanden.

## 7.3 Sohlgrundlenkbuhnen in der Taverna, Kanton Freiburg, Schweiz

Im Rahmen eines Hochwasserschutz- Renaturierungsprojektes an der Taverna wurden auf weiten Strecken naturnahe Flussbaumethoden des Instream River Trainings angewandt. Insgesamt wurden rund 45 Lenkbuhnen verschiedener Bautypen und eine Pendelrampe eingebaut. Es wird hier auf die Auswertungen einer Erfolgskontrolle eines Teils des Projektes hinsichtlich der Sohlgrundlenkbuhnen eingegangen. Dabei werden die Erkenntnisse bezüglich deren Einsatz als Uferschutz sowie die Auswirkungen auf die Sohlmorphologie erläutert.

### Ausgangssituation und Lage

Die Taverna ist ein 16 km langer Nebenfluss der Sense und befindet sich in der Forellen- und Äschenregion. Ihr Einzugsgebiet entwässert eine Fläche von ca. 54 km<sup>2</sup> (Basler & Hofmann West AG , 2013).



Abbildung 7-10: Verlauf der Taverna (blau eingefärbt) und Sohlgrundlenkbuhnenprojekt (rotes Kästchen). Ausschnitt aus Landeskarte (Swisstopo); (Basler & Hofmann West AG , 2013)

Auftraggeber: Gemeinde Wünnewil-Flamatt, Tiefbauamt Kanton Freiburg, Schweiz  
Realisierung: Basler & Hofmann

Basler & Hofmann betrieb 2011 bis 2012 eine initiiierende Erfolgskontrolle der Lenkbuhnen an der Taverna, welche im Auftrag des Kantons Freiburg und des Bundesamts für Umwelt (BAFU) um weitere fünf Jahre verlängert wird (2013 bis 2017).

## Ziel

In Folge von Hochwasserschäden im Jahr 2007 wurde für das Dorf Flamatt, das am Voralpenfluss Taverna liegt, ein Hochwasserschutz- Renaturierungsprojekt realisiert. Mit naturnahen Gestaltungselementen des Instream River Training anstatt mit klassischem Uferlängsverbau sollten die Ufer entlastet und die Sohle strukturiert werden. Um der Taverna mehr Raum zur Verfügung stellen zu können, wurde am Siedlungsrand von Flamatt ein neues Gerinne erstellt (Basler & Hofmann West AG , 2013).

## Umfang der Maßnahme

Die Taverna wurde vom Bereich Chrummatt durch das Dorf Flamatt bis hinunter zur Einmündung in die Sense umgestaltet. Insgesamt wurden auf rund 600 m Länge verschiedene Lenkbuhnentypen zum Uferschutz und zur Gerinnestrukturierung eingebaut. Die Erfolgskontrolle erfolgt(e) am neu erstellten Gerinne am südlichen Siedlungsrand von Flamatt, in welchem 15 inklinante Lenkbuhnen nach der in Kapitel 4.2 vorgestellten Bauweise eingebaut worden sind (Basler & Hofmann West AG , 2013).

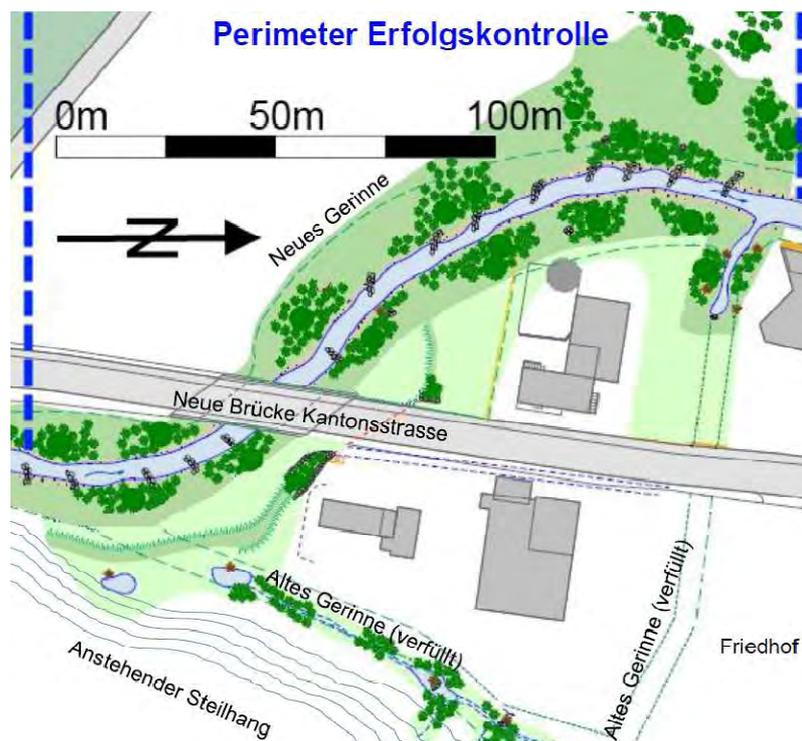


Abbildung 7-11: Perimeter Erfolgskontrolle Lenkbuhnen (Basler & Hofmann West AG , 2013)

## Monitoring

Das Gerinne der Erfolgskontrolle wurde rund 3 Wochen nach Fertigstellung des neuen Gerinnes komplett vermessen, und dient als Referenzzustand für die morphologische Entwicklung. Zudem wurde die Entwicklung zwischen Juni 2001 und Dezember 2012 fotografisch dokumentiert sowie die maximalen Pegelstände nach Hochwasserereignissen anhand von Hochwasserspuren vermessen. Des Weiteren wurde eine Foto- und Filmdokumentation während und nach Ereignissen durchgeführt. Es wurden sechs Querprofile festgelegt, welche für eine jährliche Vermessung jeweils nach einem Hochwasserereignis, aussagekräftige Erkenntnisse der morphologischen Entwicklung des Gerinnes liefern (Abbildung 7-12). Eine biologische Validierung (gewässerökologische Erfolgskontrolle der Fische und Wirbellosen, Auswirkungen auf die Flora) wird angestrebt, ist jedoch noch nicht durchgeführt.

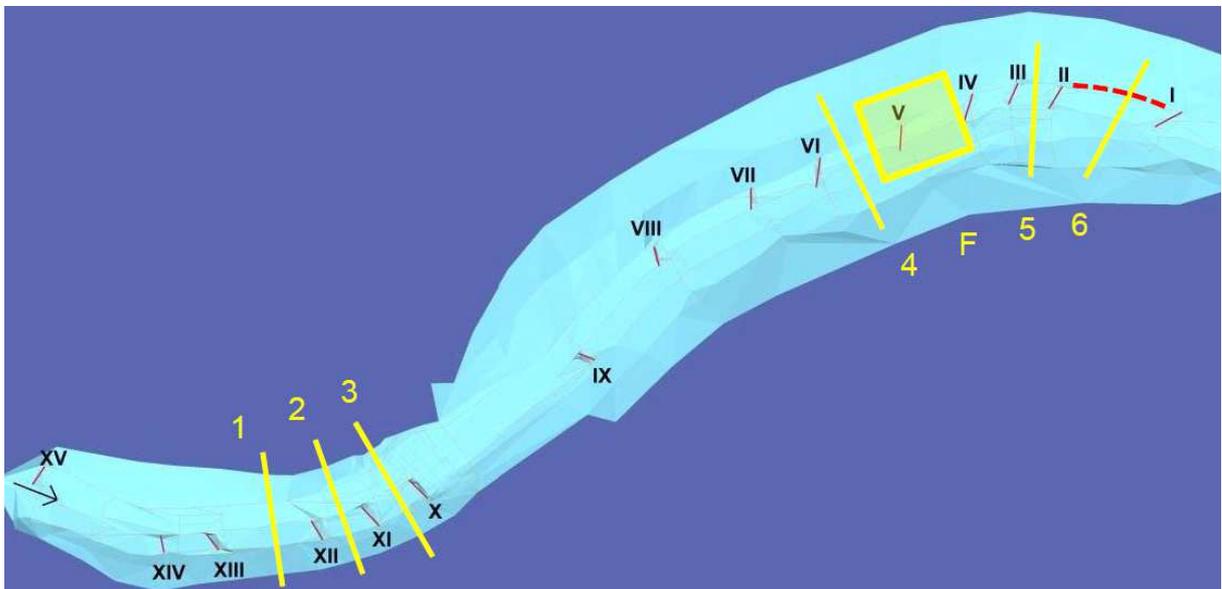


Abbildung 7-12: Perimeter Erfolgskontrolle mit Lokalisation der Querprofile 1-6 und Kontrollstrecke ohne Lenkbahnen (rot) (Basler & Hofmann West AG, 2013)

### 7.3.1 Auswirkungen

Da das neu erstellte Gerinne eine zweifache Prallufersituation aufweist, ergeben sich bezüglich der Wirkung von Lenkbahnen deutliche Ergebnisse.

#### Fließgeschwindigkeitsverteilung/Sohlmorphologie

Die Wirkung der Sohlgrundlenkbahnen bewirkt eine wie bei Lenkbahnen erwartete Fließgeschwindigkeitsverteilung. Innerhalb des Bahnenbereichs ist die Fließgeschwindigkeit deutlich verringert, außerhalb des Bahnenbereichs steigt sie an. Das Resultat der Vermessung von Fläche F (siehe Abbildung 7-12) zeigt, dass sich unterstrom der Bahnenachsen die größten Kolkiefen ausbilden. Diese variieren zwischen 0,5 und 0,7 m. Die maximale Tiefe tritt nahe der Gerinnemitte auf (Abbildung 7-13).

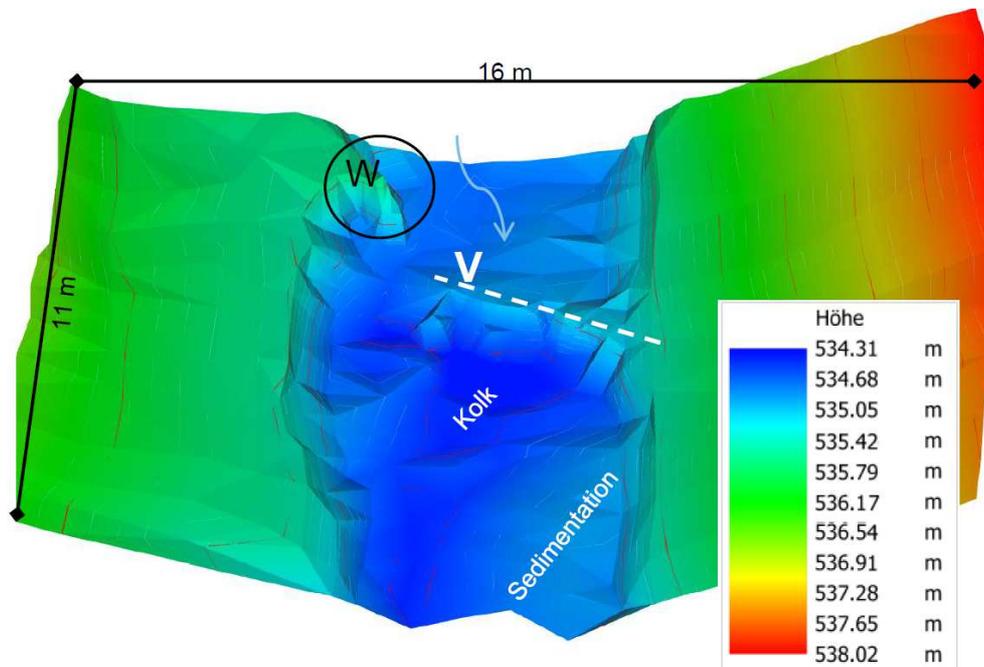


Abbildung 7-13: Resultat Vermessung Fläche F vom 03.06.2013 (V=Lenkbuhne; W=Wurzelstock); Blick gegen Fließrichtung (Basler & Hofmann West AG , 2013)

Zwischen den Buhnen bilden sich ausgeprägte Kolk- und Sedimentationsbereiche aus. Im Bereich F dehnt sich der Kolkbereich der Lenkbuhne V bis zu einer Länge von etwa 6 m zunehmend verjüngend bis zum Wirkungsbereich der unterstrom liegenden Buhne IV. Etwa ebenso lang dehnt sich der Sedimentationsbereich (Breite ca. 2,5 m) und schließt bis Buhne IV auf (Abbildung 7-14). So entsteht entlang der seriell angeordneten Lenkbuhnen eine durchgehende Tiefzone sowie Sedimentationsbereiche in den Buhnenfeldern (Basler & Hofmann West AG , 2013).

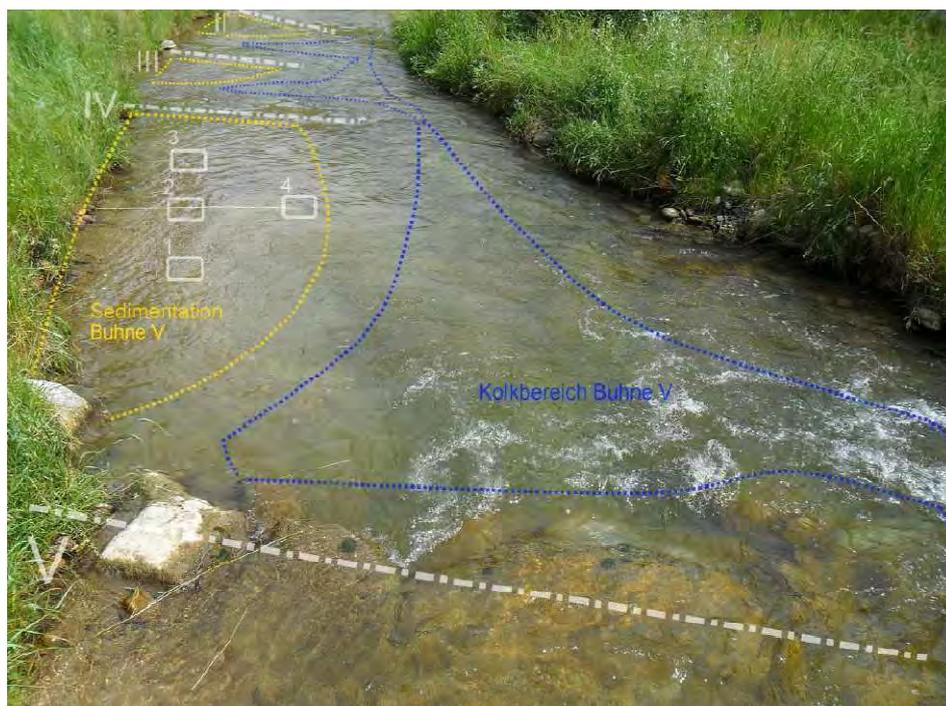


Abbildung 7-14: Bereich F mit eingezeichneter durchgehender Tiefzone und Sedimentationsbereiche (1 bis 4 = Standorte Sedimentproben); (Basler & Hofmann West AG , 2013)

Die Sedimentproben (Lage siehe Abbildung 7-14) weisen unterschiedliche Korngrößen auf. Es ergeben sich längliche ‚Schotterfahnen‘ mit tendenziell ähnlichen Korngrößenklassen (grob, mittel, fein).

### Strömung

Aus der morphologischen Vielfalt der Sohle kann eine ebenso große Strömungsvielfalt abgeleitet werden. Bei Hochwasser ist die Strömungslenkung aufgrund der buhneninduzierten Spiralströmung zu erkennen. Dadurch ergibt sich ein Energieabbau in Gerinnemitte und es zeigt sich ein nach oben gewölbtes Fließbild (siehe Abbildung 7-15). Am Prallufer findet eine Strömungsberuhigung statt. Erosionstendenzen bleiben im Abschnitt mit Einbau der Sohlgrundlenkbuhnen aus (siehe Abbildung 7-16).



Abbildung 7-15: Vergleich der Strömung bei Niederwasser (links) und Hochwasser (rechts); (Basler & Hofmann West AG, 2013)



Abbildung 7-16: Strömungsberuhigung am Prallufer (Basler & Hofmann West AG, 2013)

### Ökologie

Ein Monitoring, das die Auswirkungen der Maßnahme auf die Ökologie beurteilen könnte, wurde nicht durchgeführt. Durch die Ausbildung der Kolke und die Substratsortierung nach Korngrößen im Auflandungsbereich werden jedoch ökologisch interessante Laichplätze und Habitate für Fische und Wirbellose geschaffen. Gleichzeitig entsteht durch die Vertiefungen eine Niederwasserrinne, welche gemäßigte Wassertemperaturen auch in den Sommermonaten ermöglichen kann.

## Hochwasserbeständigkeit

Die Lenkbuhnen zeigen eine gute Wirkung bei Hochwasserereignissen. Trotz des Auftretens von zwei Hochwassern sind im Einflussbereich der Lenkbuhnen keine Uferanrisse am Prallufer aufgetreten. Zudem ist anhand der Entwicklung der Kontrollstrecke ohne Lenkbuhnen die Effektivität der Sohlgrundlenkbuhnen klar ersichtlich. Der Stromstrich verlagerte sich dort bereits bei kleineren Hochwasserereignissen ans Prallufer mit der Folge von Ufererosion. Bei dem bisher größten Hochwasserereignis seit der Erstellung des Gerinnes von 30 m<sup>3</sup>/s (entspricht in etwa einem HQ<sub>30</sub>), war ein ausgeprägter Uferanriss mit einer horizontalen Verschiebung der Uferlinie um ca. 3 m die Folge (siehe Abbildung 7-17 und Abbildung 7-18). Das ausschließliche Auftreten von Erosion im Abschnitt ohne Lenkbuhnen zeigt deutlich, dass das Prallufer durch die Wirkung der Lenkbuhnen gesichert und der Uferschutz gewährleistet werden konnte (Basler & Hofmann West AG , 2013).

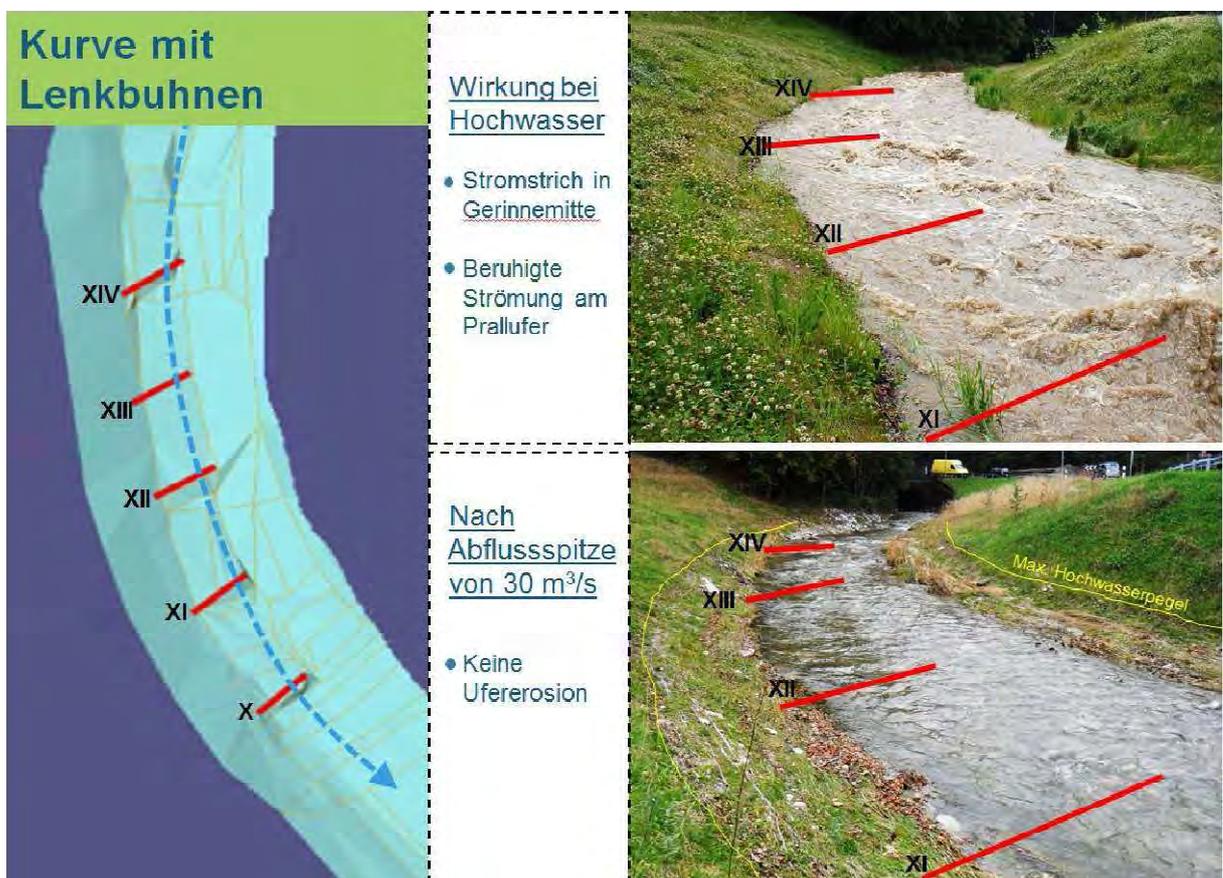


Abbildung 7-17: Gerinneabschnitt mit Lenkbuhnen. a) Daten der Gerinnevermessung b) Strömung bei einem Hochwasserabfluss (ca. 15 m<sup>3</sup>/s) c) Gerinne nach Hochwasserabfluss (ca. 30 m<sup>3</sup>/s) (Basler & Hofmann West AG , 2013)

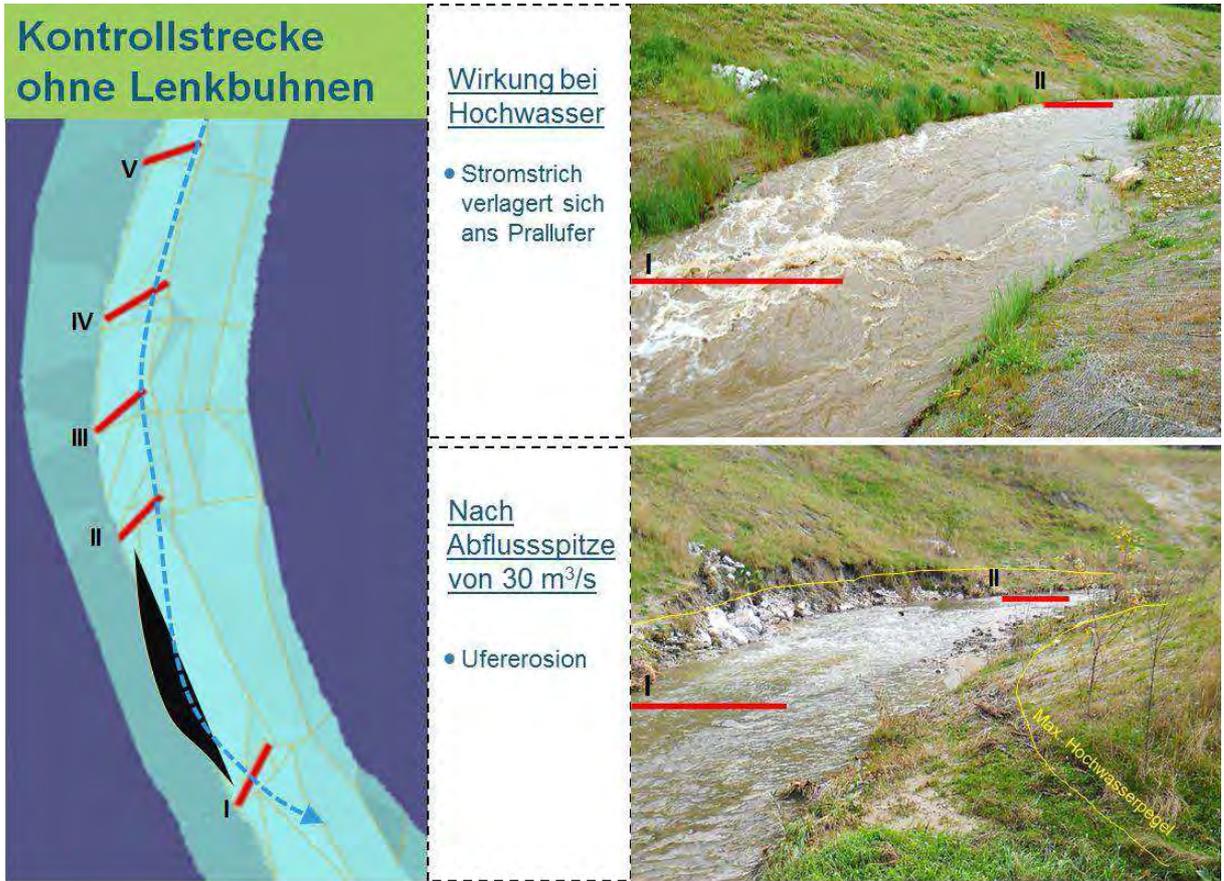


Abbildung 7-18: Gerinneabschnitt ohne Lenkbuhnen. a) Daten der Gerinnevermessung b) Strömung bei einem Hochwasserabfluss (ca. 15 m<sup>3</sup>/s) c) Gerinne nach Hochwasserabfluss (ca. 30 m<sup>3</sup>/s); (zur besseren Vergleichbarkeit sind die Abbildung der unteren Kontrollstrecke spiegelverkehrt); (Basler & Hofmann West AG, 2013)

## 7.4 Strömungstrichter in der Mur, St Stefan ob Leoben, Steiermark

In diesem Projekt ergaben sich deutliche Ergebnisse hinsichtlich der Auswirkungen eines deklinanten Strömungstrichters auf die Soilmorphologie, die Ökologie und der Fließgeschwindigkeitsverteilung.

### Ausgangssituation und Lage

Die Mur hat eine Länge von 453 km bei einem EZG von 13.824 km<sup>2</sup>. Sie ist der Äschenregion zugeordnet (Hyporhithral groß). Der Gewässerabschnitt hat einen mäßigen ökologischen Zustand (siehe Abbildung 7-19), das MQ beträgt 70 m<sup>3</sup>/s bei einer Abflusstiefe von 170 cm. Die mittlere Sohlenbreite ist 41 m. Aufgrund von Schäden durch ein Hochwasser im Jahre 1938 wurde die Mur in größerem Umfang reguliert und in der Lage verändert. In der bei FLKM 279.990 gelegenen Krümmung hat sich dadurch im Lauf der letzten Jahrzehnte die Sohle nach dem Außenbogen eingetieft und am Innenbogen angelandet. Der darauf folgende geradlinige Flusslauf bildete neben dem einheitlichen monotonen Fließbild einen Sohlrücken aus. Aufgrund der fehlenden Dynamik ergaben sich dort bei Hochwasser unverhältnismäßig große Schleppkräfte an den Ufern. Die natürliche Eigendynamik des Flusslaufs wurde zudem durch eine harte Verbauung in der Krümmung eingeschränkt. Dadurch wurden die einwirkenden Kräfte von der verbauten Uferseite an das Gegenufer gelenkt, wodurch Uferanrisse entstanden. Bei kleineren Hochwasserereignissen sorgt eine örtliche Absenkung der Hochwasserspiegellage für Entlastung der Uferbereiche (SINDELAR, et al., 2009; PETSCHNIK, et al., 2009; BBL, 2006; BMLFUW, 2009).

Gemeinde: St. Stefan o. L.  
 Interessent: Gemeinde St. Stefan o.L.  
 Durchführung: Baubezirksleitung Bruck/Mur

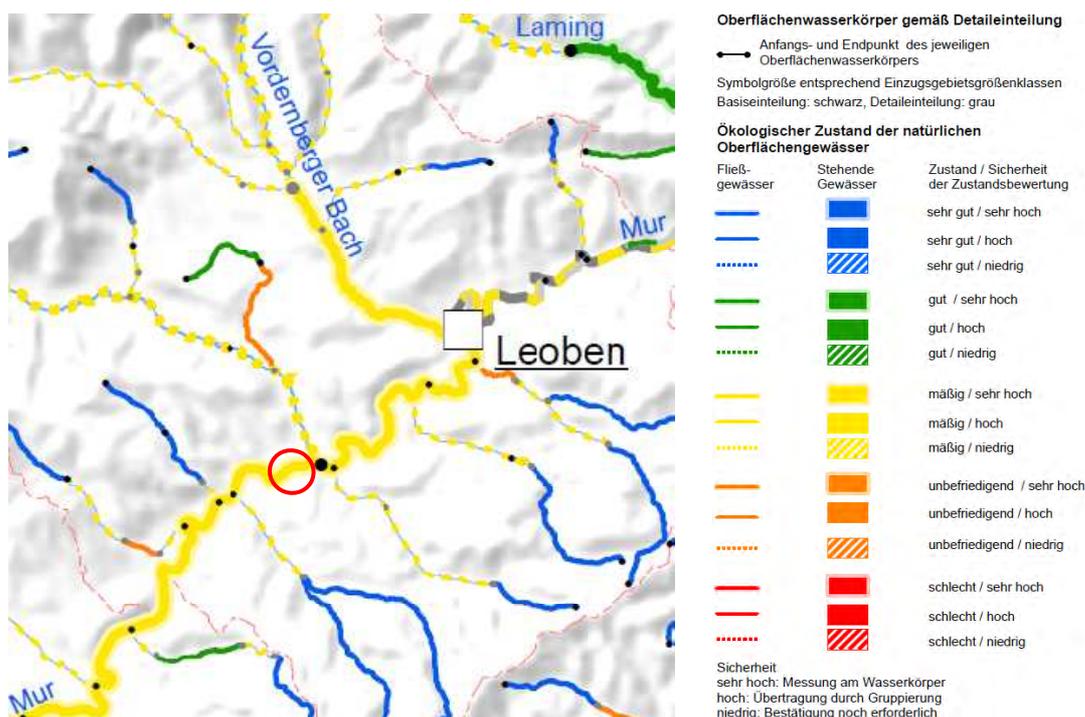


Abbildung 7-19: Lageplan Strömungstrichter und Leitelemente in der Mur bei St. Stefan ob Leoben (BMLFUW, 2009)

## Ziel

Ziel der Maßnahme war es, den Fließweg im vorgegeben Gewässerbett zu halten. Dabei sollte die Ufersicherung und die Sohlstabilisierung gewährleistet, sowie zusätzlich die Flussökologie verbessert werden. Insbesondere die Tiefenvarianz und die Strömungsdiversität sollten erhöht werden, um unter anderem die Lebensbedingungen für den dort heimischen Huchen zu verbessern (BBL, 2006; SINDELAR, et al., 2009).

## Umfang der Maßnahme

Die Maßnahme ist eine Kombination von verschiedenen Sohlgrundlenkbuhnen beginnend bei FLKM 278.680 bis FLKM 278.910 und dem deklinant eingebauten Strömungstrichter (siehe Abbildung 7-20, vgl. Kap. 5.2). Der Einbau erfolgte im Januar 2005. Die blaue Linie in Abbildung 7-20 kennzeichnet die Grundstücksgrenzen des Katasterplanes und lässt den ehemaligen Flusslauf erkennen (vgl. PETSCHNIK, et al., 2009).

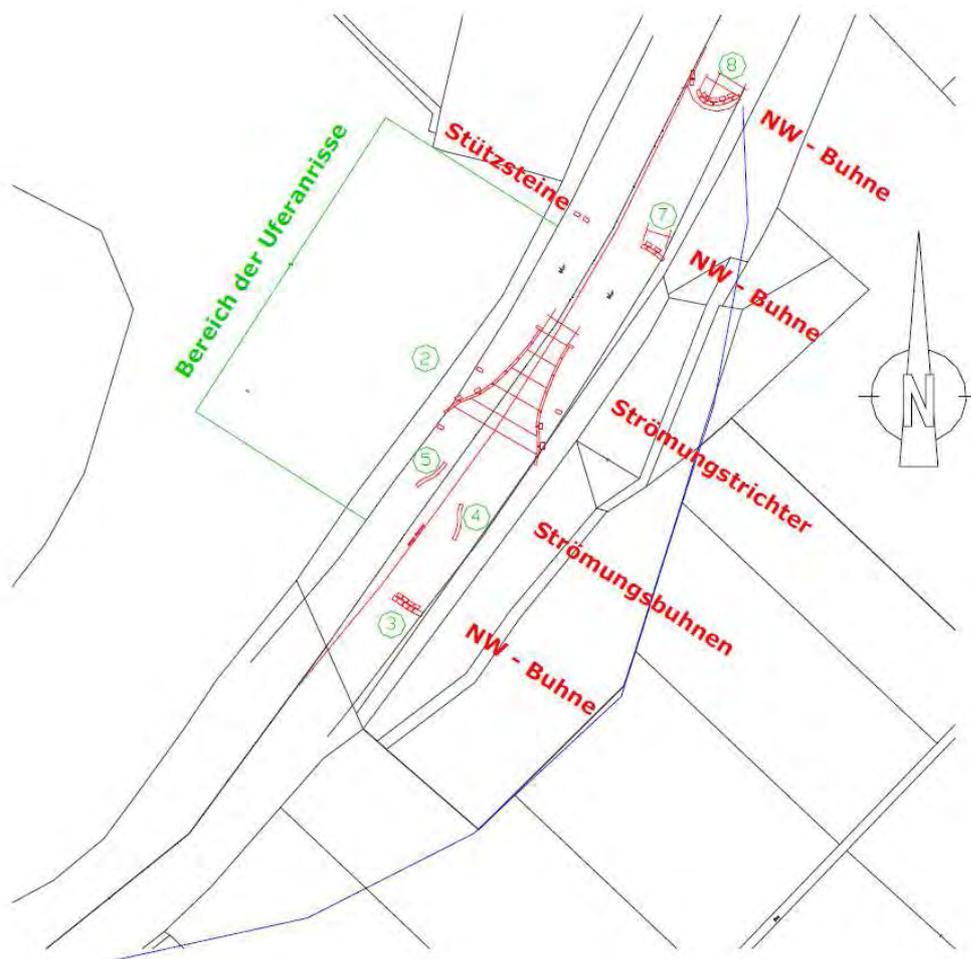


Abbildung 7-20: Elemente der Maßnahme in der Mur bei St. Stefan ob Leoben (PETSCHNIK, et al., 2009)

Die verschiedenen Buhnen haben je nach Anordnung unterschiedliche Auswirkungen auf das Fließverhalten. Eine Neutralisierungsbuhne (Abbildung 7-20, Markierung 3) soll die Wirkung des am Pralluferbereich entstandenen Kolks aufheben und den Stromstrich in Richtung Trichtermitte lenken. Diese Buhne wurde als Sohlgrundlenkbuhne (siehe Kapitel 4.2) ausge-

führt. Buhnen 4 und 5 (Markierung 4 und 5) haben die Funktion von Lenkbuhnen, die die Bildung der Spiralströmung im Trichter unterstützen und zudem zur Geschiebeaufteilung beitragen. Durch die beiden Buhnen wird der Fließquerschnitt in drei etwa gleich große Felder aufgeteilt, wodurch ein ausgeglichenes Verhältnis des Geschiebetransports entstehen soll. Da der westliche Teil des Trichters aufgrund der vorhandenen Strömung stärker beansprucht wird, ist Buhne 5 weiter flussab angeordnet, um so die Belastung mehr auf den östlichen Teil zu verlagern. Hinter dem Trichter sind zwei weitere Buhnen 7 und 8 (Markierung 7 und 8) angeordnet. Dadurch wird der Fließweg für die nachfolgende Krümmung reguliert. Buhne 7 dient als Entlastungsbauwerk für Buhne 8, die das eigentliche Lenkelement darstellt (vgl. PETSCHNIK, et al., 2009).

### Monitoring

Vor dem Einbau wurden sieben Querprofile im Abstand von 40 bis 60 m geodätisch aufgenommen. Dabei diente das am Weitesten flussauf liegende Querprofil 1 als vom Strömungstrichter unbeeinflusstes Referenzprofil. Unmittelbar nach dem Einbau wurden die Lagen und Höhen des Buhnensystems geodätisch vermessen. Zudem wurden nach einem Hochwasser im Oktober 2005 (Spitzenabfluss 526 m<sup>3</sup>/s), um die Strömungsverhältnisse und die Sohlenveränderungen zu messen, ADCP-Messungen vom Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU Graz durchgeführt. Dabei herrschte ein mittlerer Durchfluss von 37 m<sup>3</sup>/s. Gemessen wurden die Profile 1 bis 6 (Abbildung 7-21). Zusätzlich dazu wurden fünf Zwischenprofile im Bereich des Trichters gemessen. Weitere ADCP-Messungen bei mittleren Abflüssen wurden im August 2007 (67 m<sup>3</sup>/s) bzw. 2008 (104 m<sup>3</sup>/s) durchgeführt (vgl. SINDELAR, et al., 2009).

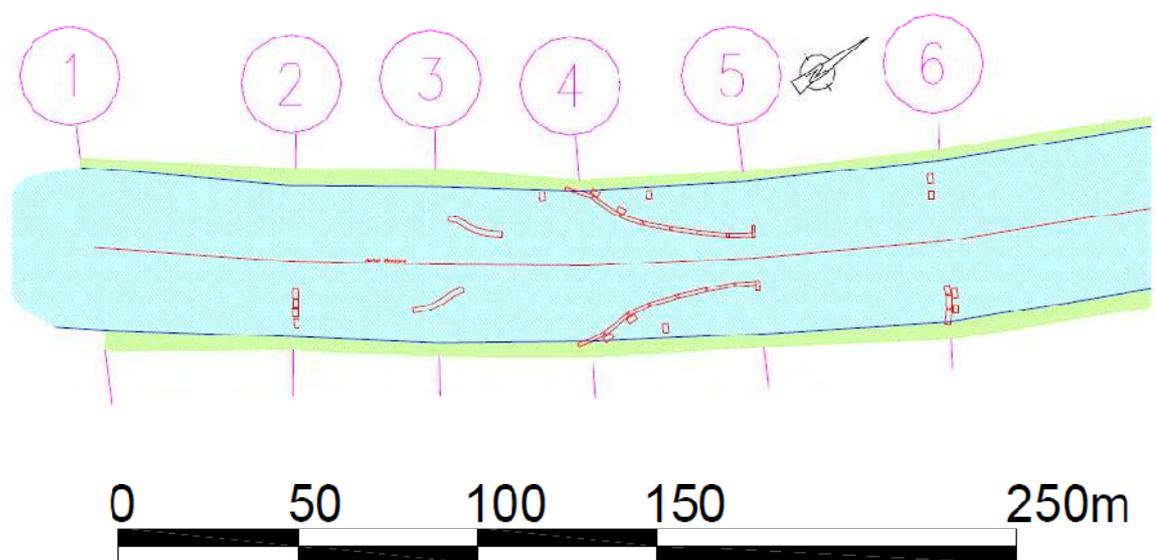


Abbildung 7-21: Grundriss- Plan mit Lage der Profile (PETSCHNIK, et al., 2009)

## 7.4.1 Auswirkungen

### Fließgeschwindigkeitsverteilung/Sohlmorphologie

Die Geschwindigkeitsmessungen ergaben, dass sich die Verteilung der Fließgeschwindigkeit und die Ausbildung der Kolke entsprechend dem erläuterten Prinzip in Kapitel 5.3 einstellten. Es bildeten sich zwei verschiedene Strömungsgebiete aus. In Gewässermitte kam es zur Erhöhung, im Uferbereich zur Verringerung der Fließgeschwindigkeiten. Im Unterschied zu einem Kurvenprofil traten in den Bereichen mit großen Wassertiefen die geringsten Geschwindigkeiten auf (Abbildung 7-22).

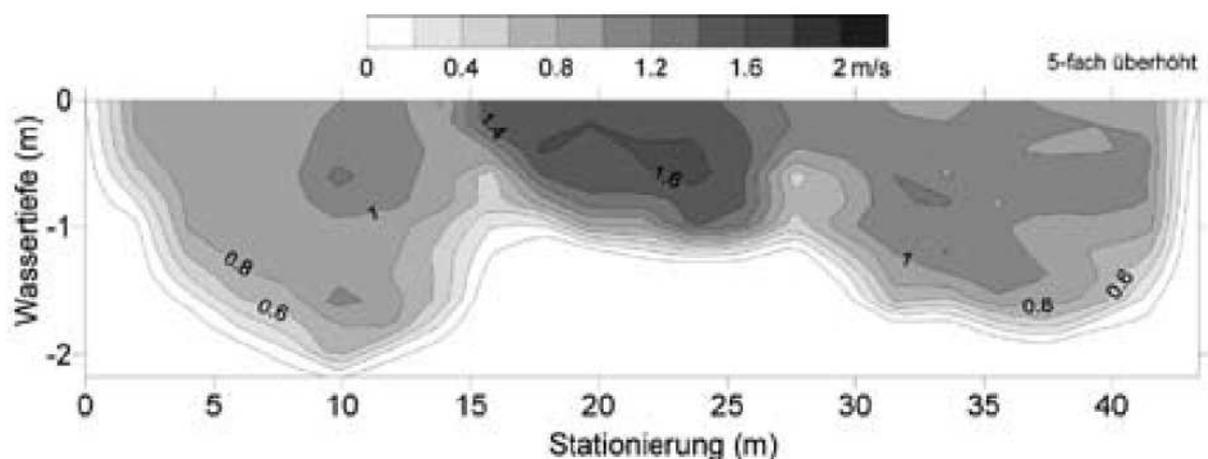


Abbildung 7-22: Geschwindigkeitsverteilung im Trichterauslauf (SINDELAR, et al., 2009)

Dadurch entstanden seitlich des Trichters Kolke, im Mittelbereich kam es zu Ablagerungen. Die Kolke im Innenbogen sind stärker ausgeprägt als im Außenbogen (siehe Abbildung 7-23). Dies kann auf die 80 m oberstrom des Trichters eingebaute Sohlgrundlenkbuhne zurückzuführen sein. Durch diese Buhne wurde der Stromstrich im Außenbogen zu stark gebremst, wodurch sich höhere Fließgeschwindigkeiten und damit tiefere Kolke im Innenbogen ausbildeten. Die Sohlmorphologie im Bereich des Trichters veränderte sich über das Jahr nicht. Dies ergaben Messungen im Sommer und im Winter. Die beschriebene Ausbildung der Sohlmorphologie war auch flussab des Trichters noch deutlich zu erkennen. Die Tiefenvarianz hatte also im Vergleich zum unverbauten Referenzzustand beachtlich zugenommen. Die zuvor annähernd horizontale Sohle zeigte sich nach Einbau deutlich strukturiert (vgl. SINDELAR, et al., 2009; PETSCHNIK, et al., 2009).

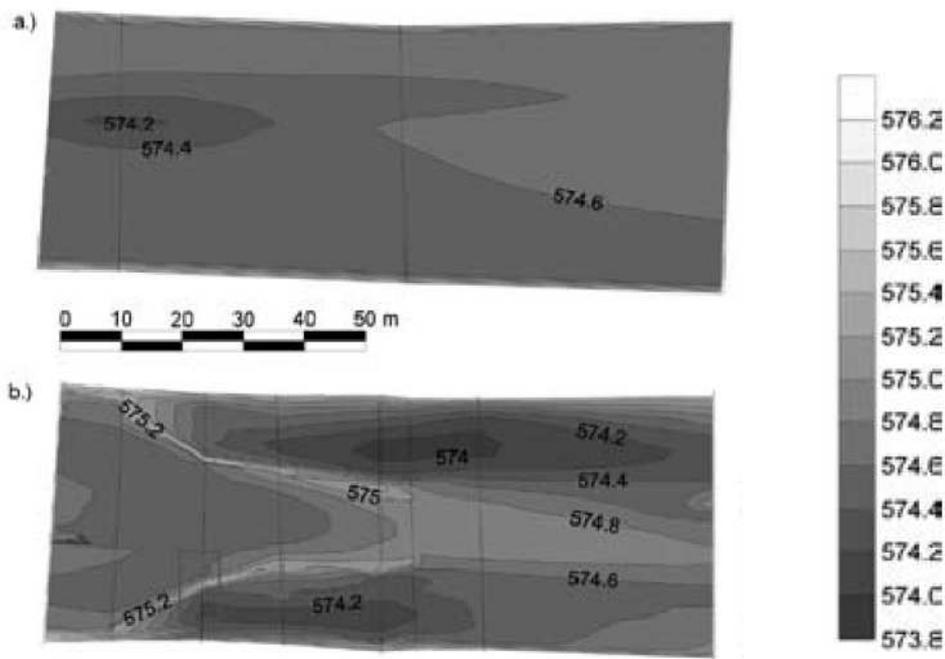


Abbildung 7-23: Sohlenmorphologie im Bereich des Strömungstrichters a) vor und b) nach dem Einbau im August 2007 (SINDELAR, et al., 2009)

## Strömung

Durch die Einbauten ergab sich eine hohe Komplexität an Querströmungen mit vielfältigen Strömungsstrukturen. Vor allem durch das Lückensystem der Blocksteine kam es zu einer hohen Strömungsdiversität, die unterschiedlich strukturierte Verwirbelungen ausbildeten. In der Querprofilgeometrie spiegelten sich auch die beiden Spiralströmungen wider, die sich bei höheren Abflüssen und damit großer Überströmung der Bühnen einstellten. Die Strömunglenkung in Gewässermitteln und die Ausbildung der strömungsberuhigten Bereiche in Ufernähe verdeutlichen die Wirksamkeit des Trichters hinsichtlich der hydraulischen Wirkungsweise und der gewünschten Strömungsverhältnisse. Die Ergänzung mit Sohlgrundlenkbühnen verbesserte zusätzlich die Strömunglenkung. Ob sich die Spiralströmungen auch bei mittleren und hohen Abflüssen und damit großem Verhältnis von Bühnenhöhe zu Fließtiefe einstellen, konnte im Rahmen der Untersuchungen nicht festgestellt werden.

## Ökologie

Durch den Einbau des Strömungstrichters kam es aufgrund der beschriebenen Auswirkungen auf die Geschwindigkeitsverteilung, die Veränderung der Strömungsverhältnisse und damit auch der Sohlmorphologie zu einer Verbesserung der flussökologischen Verhältnisse im beobachteten Gewässerabschnitt. Es wurden neue Habitate und ökologische Lebensräume geschaffen. Da der Trichter als eine Anordnung von Sohlgrundbühnen errichtet worden ist, ergibt der Einbau selbst durch die wechselnde Sohlsubstratbewegung vielschichtig aufgebaute Sand- und Schotterfahnen, die einen neuen und verbesserten Lebensraum für wassergebundene Lebewesen darstellen (vgl. SINDELAR, et al., 2009; PETSCHNIK, et al., 2009). Dies wird durch die Stellungnahme des Fischereiverbandes verdeutlicht:

*„Durch die Maßnahme wird im betroffenen [sic!] Murbereich durch die erreichten unterschiedlichen Strömungs- und Tiefenverhältnisse vor allem der Lebensraum für Großsalmoniden entsprechend verbessert und die Gewässerstruktur aufgewertet.“ (BBL, 2006)*

Eine fischökologische Erfolgskontrolle durch die Universität für Bodenkultur Wien im Jahre 2009 (PINTER, et al., 2009) bestätigt, dass 4 Fischarten (Ukrainisches Neunauge, Bachschmerle, Flussbarsch, Rotaugen) ausschließlich im Bereich der flussbaulichen Maßnahme auf 8,4 km Flusslänge vorkommen. Auch die Bildung der Habitate der Äsche (*Thymallus thymallus*) und des Huchens (*Hucho hucho*) sind hierbei zu erwähnen, welche durch die vorherrschenden Substrat- und Strömungsverhältnisse geeignete Lebensbedingungen vorfinden (vgl. HUBER, et al., 2011; PETSCHNIK, et al., 2009).

Bezüglich der Entwicklung der Vegetation im betroffenen Gewässerabschnitt sind keine Erkenntnisse vorhanden. Aufgrund der gestiegenen Uferdynamik im Vergleich zum Ausgangszustand, bei der die Ufer durch eine harte Verbauung gesichert waren, kann jedoch von einer für die Vegetation im Uferbereich günstigen Entwicklung ausgegangen werden.

### **Hochwasser**

Genauere Erkenntnisse zu Auswirkungen auf die Soilmorphologie sowie zur Beständigkeit bzw. Effektivität bei Hochwasserereignissen konnten nicht gewonnen werden. Allerdings konnte ein HQ<sub>20</sub>, welches neun Monate nach Einbau auftrat, im Bereich des Trichters schadlos abfließen. Es ergab sich keine Schadensauswirkung auf die Ufersicherung (vgl. PETSCHNIK, et al., 2009).

## 7.5 Strömungstrichter in der Salza, Gusswerk, Steiermark

Dieses Projekt ist vor allem hinsichtlich der Auswirkungen auf die Fischfauna sowie der Geschwindigkeitsverteilung im unmittelbaren Bereich des Trichters aufschlussreich.

### Ausgangssituation und Lage

Der Strömungstrichter wurde in einem etwa 27 m breiten Gewässerabschnitt der Salza zwischen Gusswerk und Wildalpen bei Fluss-km 8,0 eingebaut. Die Salza hat eine Länge von 88 km bei einem EZG von 867,7 km<sup>2</sup> und ist der Äschenregion zugeordnet. Der MQ beträgt 16 m<sup>3</sup>/s. Die vorkommenden Bachforellen und Äschen sind Kieslaicher und benötigen als Laichhabitate flach überströmte Schotterbänke in einer Wassertiefe von 10-50 cm. Die Salza weist in dem geradlinig verlaufenden Gewässerabschnitt eine geringe Tiefenvarianz sowie eine schwach ausgeprägte Strömungsdiversität auf. Dadurch konnte den spezifischen Ansprüchen der Fischfauna des Rhithrals hinsichtlich der Struktur des Flussbetts sowie den Strömungsverhältnissen nicht gerecht werden. Der ökologische Zustand der Salza wird als gut eingestuft (GLÜH, 2005; BMLFUW, 2009).

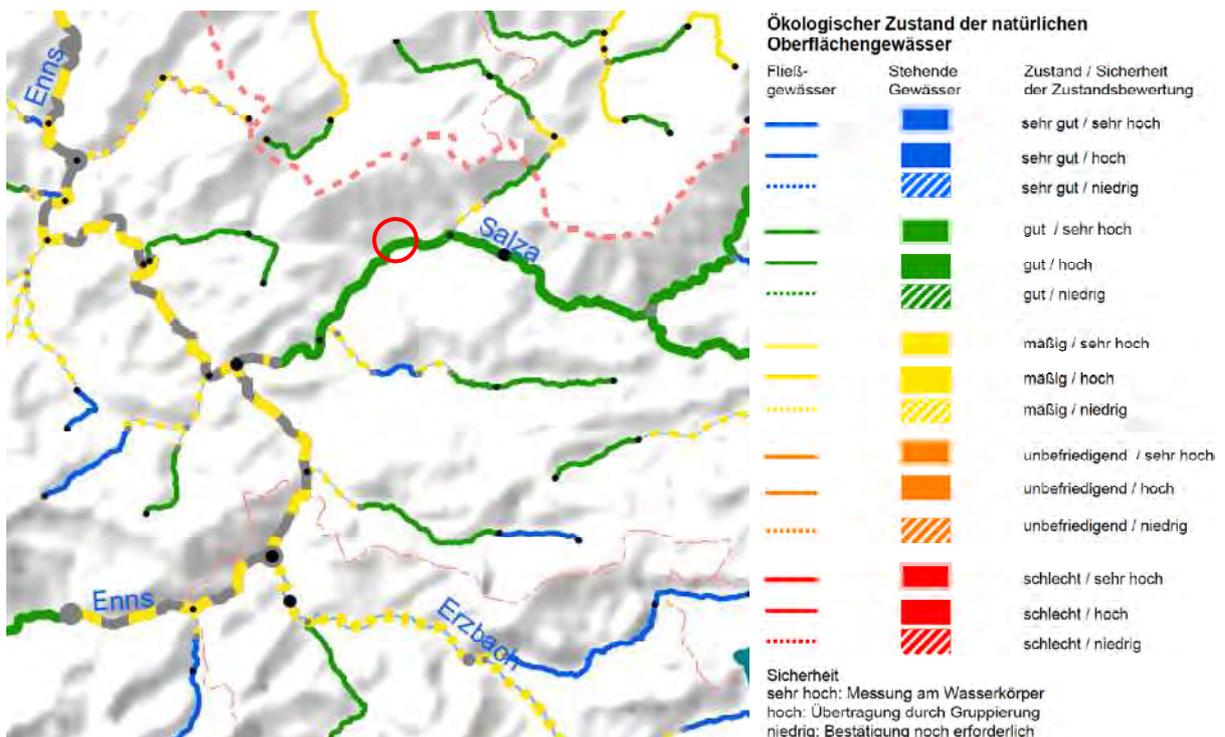


Abbildung 7-24: Lageplan Strömungstrichter bei Gusswerk (BMLFUW, 2009)

### Ziel

Mit dem Einbau des deklinanten Strömungstrichters sollte der Uferschutz und die Dynamisierung des Gewässers bezüglich der Ansprüche der vorhandenen Fischfauna verbessert werden. Der Massen-Impulsaustausch sollte gering gehalten werden. Daher fiel die Entscheidung auf einen Strömungstrichter, durch welchen für diesen Flussabschnitt eine geringere Energiedissipation als durch eine Maßnahme mit Sohlgrundlenkbuhnen erwartet wurde (GLÜH, 2005).

### Umfang der Maßnahme

Es wurde ein Strömungstrichter sowie eine Sohlgrundlenkbuhne flussauf eingebaut. Diese sollte den Stromstrich bereits im Vorfeld in die Mitte des Trichters lenken. Auch hier wurde dieser so bemessen, dass er bereits bei Niederwasser überströmt wird. Knapp 10 m nach dem Bauwerk sind zwei Wurzelstöcke eingebracht worden (siehe Abbildung 7-25), die zur weiteren Lenkung des Stromstrichs nach dem Trichter beitragen sollen.

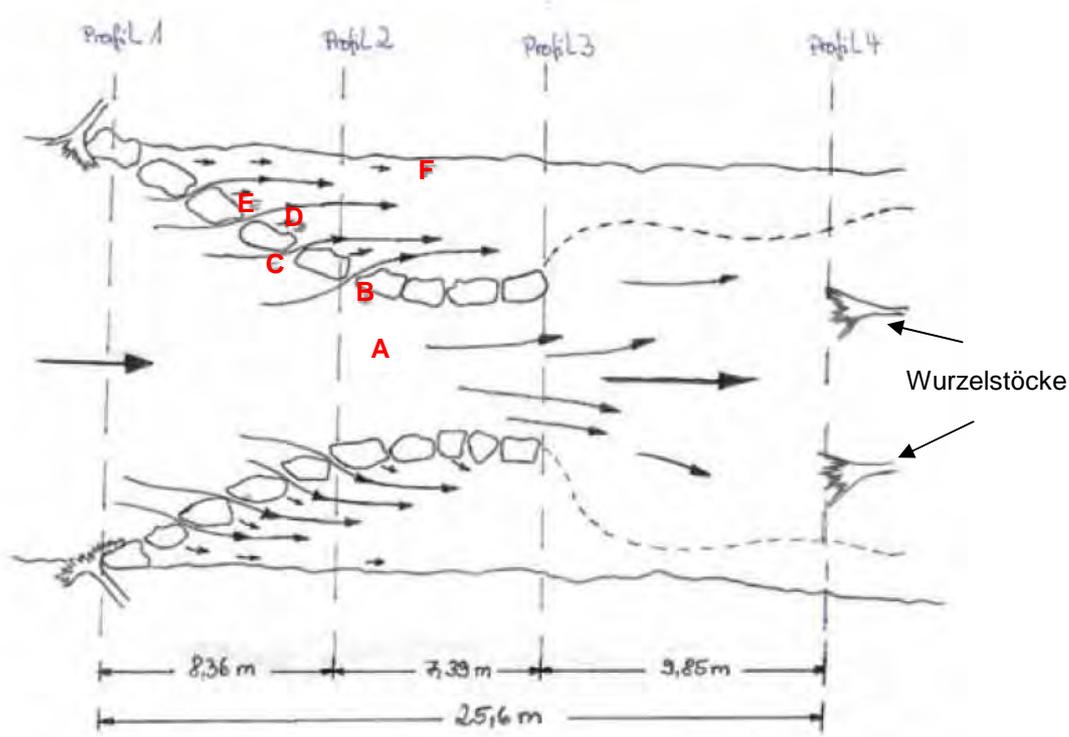


Abbildung 7-25: Skizze des Strömungstrichters (GLÜH, 2005), verändert



Abbildung 7-26: Strömungstrichter in der Salza bei Gusswerk (ORTNER, 2007)

## Monitoring

Im Bereich des Strömungstrichters wurden Geschwindigkeitsmessungen mithilfe eines Messflügels in Verbindung mit der Vermessung der Profilpunkte über ein Nivelliergerät durchgeführt. Außerdem wurden die Auswirkungen auf die Entwicklung der Fischpopulationen und der Gewässerökologie beobachtet.

### 7.5.1 Auswirkungen

Der Einbau des Strömungstrichters wirkte sich deutlich auf die Fließgeschwindigkeitsverteilung und die Sohlmorphologie aus. Dadurch wurde das aquatische Habitat aufgewertet.

#### Fließgeschwindigkeitsverteilung/Sohlmorphologie

Die Fließgeschwindigkeitsverteilung im Bereich des Trichters ist deutlich strukturiert. In Abbildung 7-27 ist die mittlere Fließgeschwindigkeit in den 4 Profilen ersichtlich.

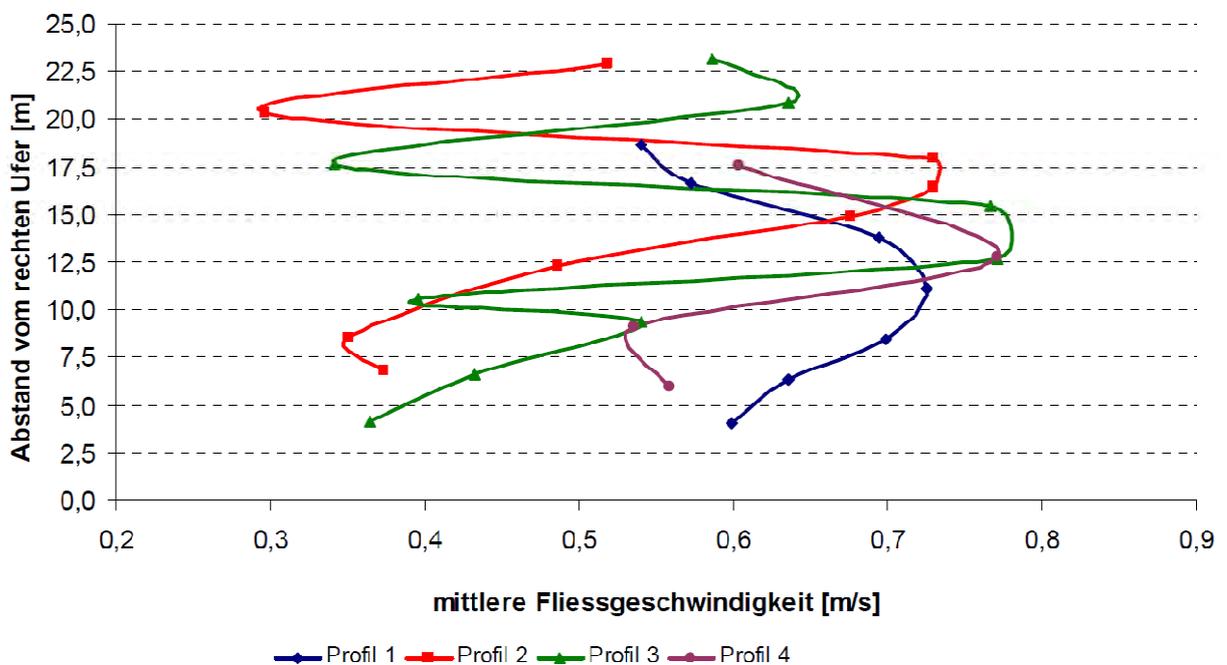


Abbildung 7-27: Fließgeschwindigkeitsverteilung im Bereich des Strömungstrichters (GLÜH, 2005)

Am Beginn des Trichters (Profil 1) ist die Fließgeschwindigkeitsverteilung über den Querschnitt noch ausgeglichen. In Profil 2 und 3 zeigte sich eine deutliche Abflusskonzentration in Trichtermittle. An den mittleren Fließgeschwindigkeiten von Profil 4 ist zu erkennen, dass die höchsten Fließgeschwindigkeiten auch noch ca. 10 m nach dem Trichter in Flussmitte auftreten. Durch das Lückensystem haben sich flussauf zwischen den Blocksteinen schmale Bereiche mit erhöhten Fließgeschwindigkeiten ergeben (Bereich C in Abbildung 7-25). Unmittelbar nach den Steinen (Bereich D) wurden die Geschwindigkeiten deutlich verringert.

Durch die unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten und Strömungsverhältnisse ergab sich eine vielfältige Sohlstruktur mit Anlandungen und Schotterbänken. Beidseitig der Blocksteinreihen sind ca. 5 cm tiefe Auskolkungen entstanden. Am stärksten sind diese mit ca. 10 cm Tiefe am Beginn des Bauwerks ausgeprägt. Besonders starke Anlandungen haben sich im letzten Drittel der Innenbereiche des Strömungstrichters ergeben. Es erfolgt eine Geschiebesortierung mit getrennten Feinkies- und Mittelkiesbändern in den Innenbereichen (siehe Abbildung 7-28). Diese Sohlstruktur ist auch noch ca. 9 m flussab des Bauwerks vorhanden (vgl. GLÜH, 2005).



Abbildung 7-28: Strömungstrichter vom rechten Ufer aus mit deutlich erkennbarer Geschiebesortierung (GLÜH, 2005)

### **Strömung**

Im Mittelbereich und am Ende des Strömungstrichters zeigte sich die abbremsende Wirkung der Einbauten. Es entstanden Strömungsschatten unmittelbar flussab der Blocksteinreihen (Bereich D in Abbildung 7-25). Im Außenbereich des Bauwerks (Bereich E) entstanden Wirbelbereiche mit einem relativ scharf begrenzten Übergang in eine strömungsberuhigte Zone (Bereich F) in direkter Ufernähe (siehe auch Abbildung 7-29). Es bildete sich eine Schotterbank aus. Durch die entstandenen Kolke und Anlandungen kam es zu einer Erhöhung der Tiefenvarianz, wodurch eine Verbesserung der Strömungsdiversität bei Nieder- und Mittelwasser zu verzeichnen war. Die Strömung wurde belebt und ursprünglich glatte Wasserober-

flächen - durch Anlandungen und die Blocksteine - in ein unterschiedlich strukturiertes Wasserspiegelbild überführt. Hinsichtlich der Induzierung von Spiralströmungen durch das Bauwerk sind keine Erkenntnisse vorhanden (vgl. GLÜH, 2005).

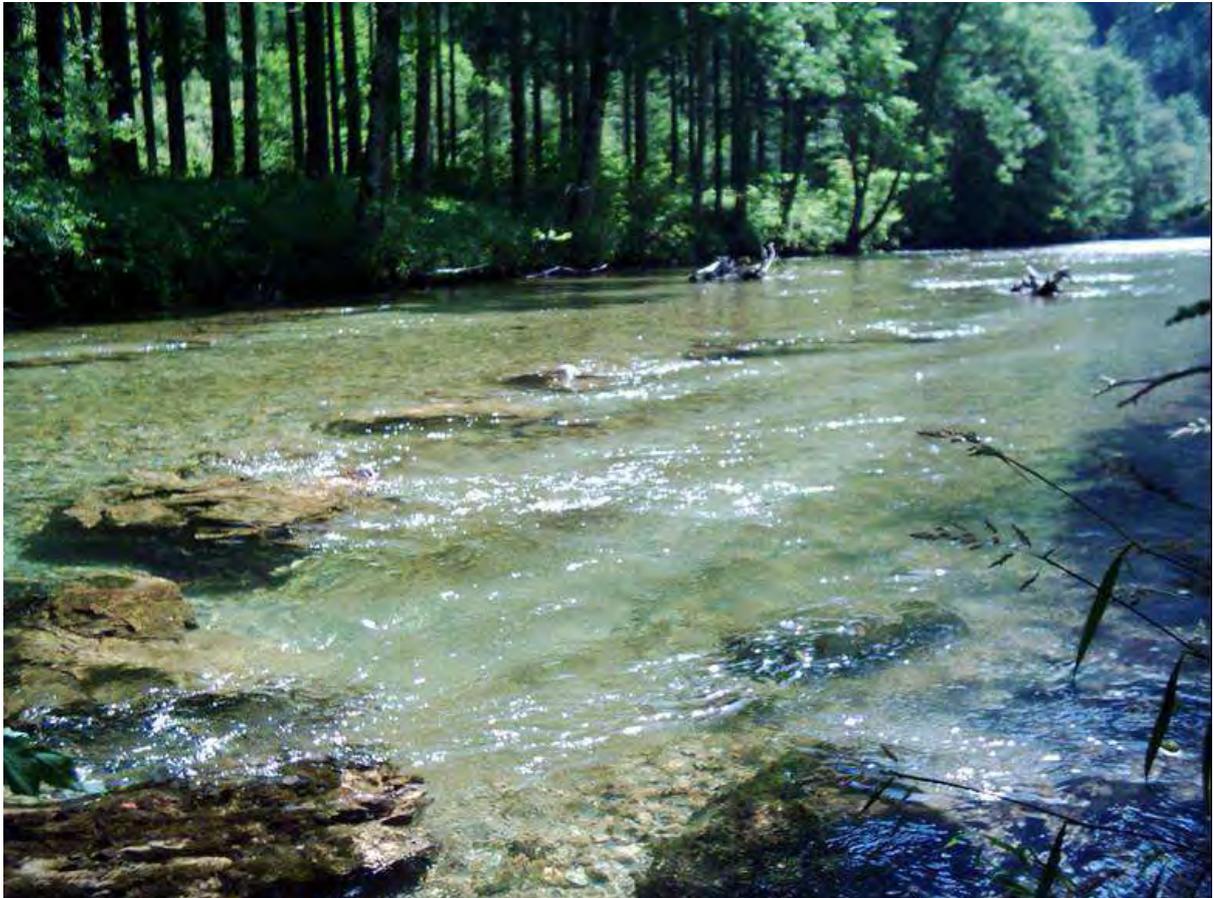


Abbildung 7-29: Wirbelbildung und unterschiedliche Struktur des Wasserspiegelbildes durch die Blocksteinreihe (MENDE, et al., 2011)

### **Ökologie**

Die Auswirkungen auf die Ökologie sind durchwegs positiv. Durch die vielfältig strukturierte Sohlstruktur entstanden geeignete Laichhabitate zur Erhaltung der Kieslaicher-Populationen. Der Einbau des Strömungstrichters bewirkte in dem Bachabschnitt der Salza eine Erhöhung der Bachforellenpopulation um ca. 200 %. Dadurch kann die Reproduktion und eine stabile Populationsdichte gewährleistet werden. Neben der Schaffung von Laichhabitaten wurden durch die Dynamisierung des Gewässerabschnittes auch Juvenil- und Adultfischhabitate geschaffen (vgl. GLÜH, 2005).

## 7.6 Strömungstrichter in der Kainach, Dobl, Steiermark

Durch das Monitoring der Maßnahme in der Kainach sind Erkenntnisse zur Fließgeschwindigkeitsverteilung und Strömungslenkung eines Strömungstrichters mit inklinater Anordnung vorhanden.

### Ausgangssituation und Lage

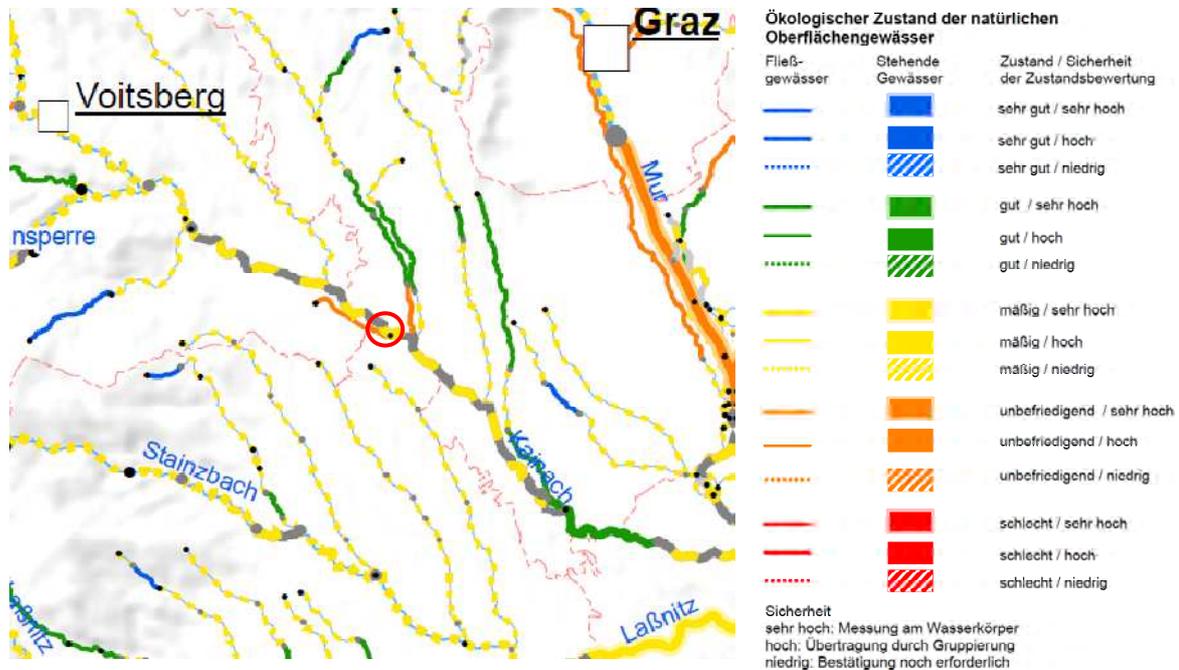


Abbildung 7-30: Lageplan des Strömungstrichters in der Kainach (BMLFUW, 2009)

Auftraggeber: Fachabteilung 19B Land Steiermark

Durchführung: HR Dipl.-Ing. R. Hornich das Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU Graz, Otmar Grober, Baubezirksleitung Bruck/Mur

Die Kainach ist ein Fluss in der Steiermark mit einer Länge von 64 km und einem Einzugsgebiet von 849 km<sup>2</sup>. Sie ist der Barbenregion zugeordnet (Epipotamal mittel). Der MQ beträgt 6,48 m<sup>3</sup>/s. Der ökologische Zustand ist mäßig. Ende der 60er Jahre wurde der Fluss begräbt. Direkt an der Mündung des Doblbachs beginnt ein 1,5 km langer Flussabschnitt, der bereits wieder naturnah reguliert wurde. Durch mehrere Hochwasserereignisse der letzten Jahre wurden viele dieser Uferschutzmaßnahmen wieder zerstört, wodurch eine erneute Sanierung notwendig wurde. Im Zuge dieser Sanierungsmaßnahmen beauftragte die Fachabteilung 19B des Landes Steiermark das Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU Graz mit der Projekterstellung einer alternativen Instandhaltungsmaßnahme in der Kainach bei Flusskilometer 16,420 im Bereich der Marktgemeinde Dobl. Der Einbau der Maßnahme erfolgte im Juni 2007. Vor dem Einbau des Strömungstrichters tendierte die Strömung stark zur linken Böschungsseite hin. Dadurch wurden die Ufer angegriffen und die Böschungsstabilität herabgesetzt. In weiterer Folge führte dies zu Unterspülungen. Entlang des

Prallufers lösten sich bereits einzelne Steine aus der Uferverbauung und glitten in die Kaimach (vgl. ORTNER, 2007).

### Ziel

Die Grundidee der Maßnahme war es, kostenintensivere Uferschutzbauten durch natürliche Flussbaumaßnahmen zu ersetzen und die natürliche Dynamik des Fließgewässers zu erhöhen. Dabei sollte die Beständigkeit der Maßnahme und damit der effektive Uferschutz durch die Lenkung der Hauptströmung in Flussmitte gewährleistet werden (vgl. ORTNER, 2007).

### Umfang der Maßnahme

Es wurden zwei einfach gekrümmte Sohlgrundlenkbuhnen (Länge 4,5 m, Breite 1 m) am Außenbogen eingebaut, um bereits vorab die Strömung in Gewässermittle zu lenken. Nachfolgend wurde eine doppelt gekrümmte Buhne (Länge 6 m, Breite 1 m) als weiteres Leitwerk angeordnet. Der Strömungstrichter liegt im geraden Gewässerabschnitt und hat eine Länge von 8 m bei einer Öffnungsbreite von 3,5 m in Flussmitte. Flussab wurden zwei weitere Sohlgrundlenkbuhnen (Länge 3 m) als strömunglenkende Leitwerke eingebaut. Der Einlauf des Trichters in Flussmitte liegt tiefer als der Auslauf, womit die Flanken des Bauwerks zum Ufer hin ansteigen (siehe Abbildung 7-31). Die Höhendifferenz beträgt 0,14 m (vgl. ORTNER, 2007).

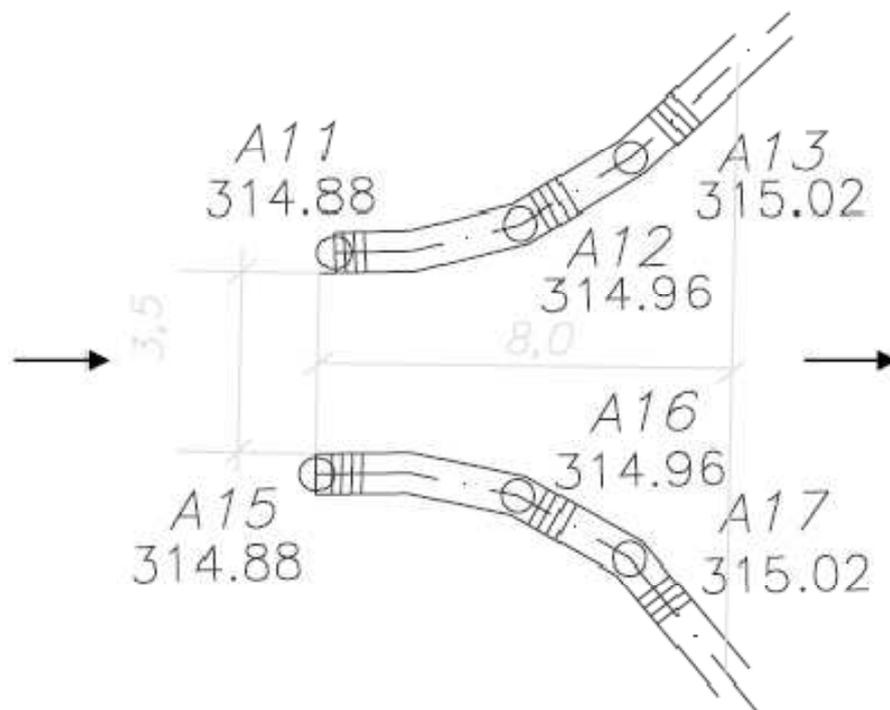


Abbildung 7-31: Geometrie und Koordinaten des Strömungstrichters (ORTNER, 2007)

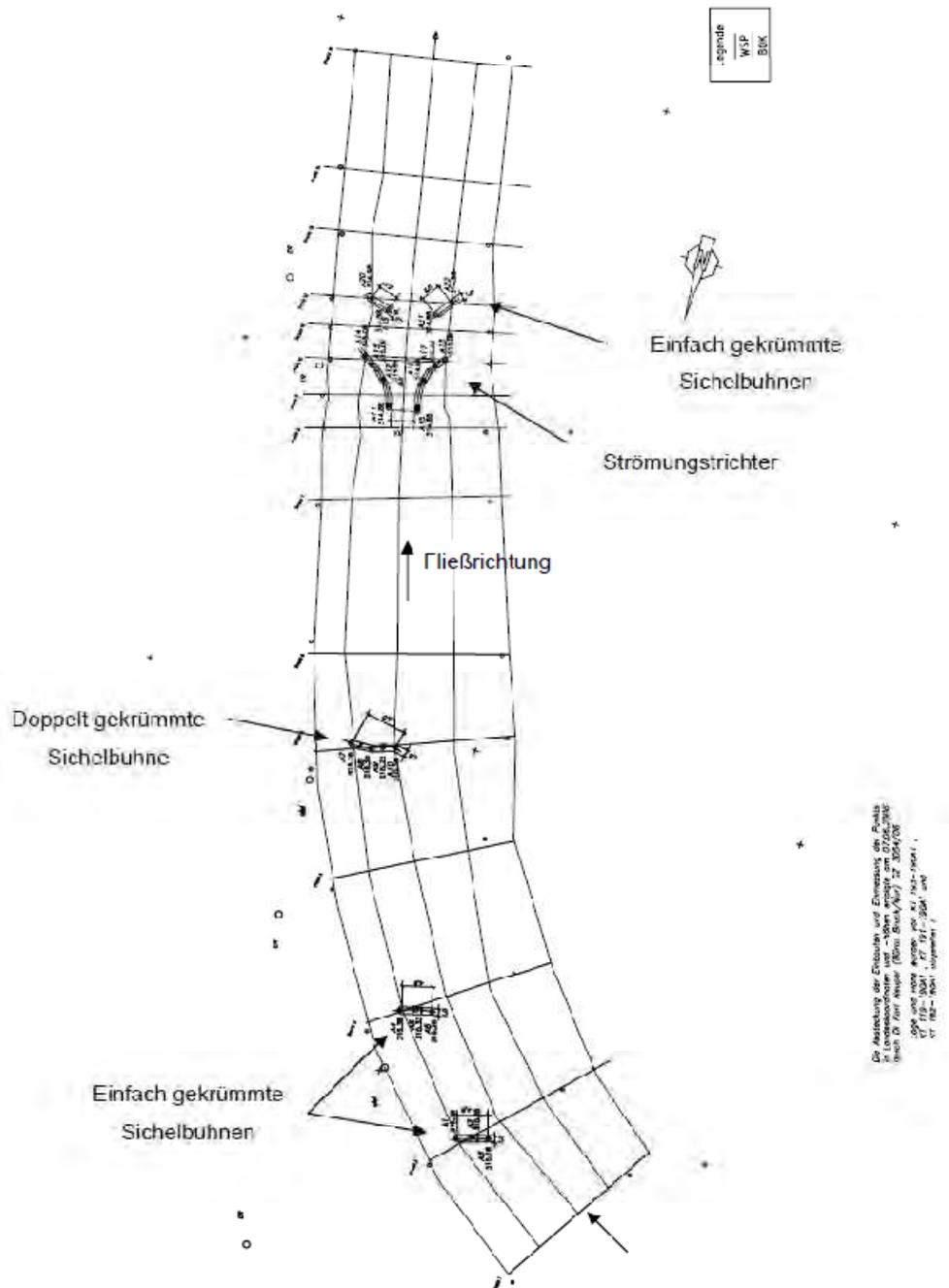


Abbildung 7-32: Lageplan und Anordnung der Buhnen und des Trichters (ORTNER, 2007)

### Monitoring

Entlang des Versuchsabschnitts wurden 15 ausgewählte Profile erfasst. Dabei wurde jeweils der gesamte Querschnitt in ein Raster aufgeteilt und an jedem Rasterpunkt die Geschwindigkeit mittels ADCP-Messgerät bestimmt. Zusätzlich zu den 15 Profilen wurden die Fließgeschwindigkeiten in zwei weiteren Querschnittsprofilen in der Mitte des Strömungstrichters und unterhalb der Messstrecke gemessen. Neben den Fließgeschwindigkeiten wurden die Wasserspiegelhöhen mit einem Theodolit vermessen.

Insgesamt wurden drei Messphasen durchgeführt. Die erste fand im Mai 2006 statt, während einem mittleren Durchfluss von  $33,44 \text{ m}^3/\text{s}$ . Der Einbau erfolgte im Juni. Die zweite Messphase erfolgte etwa eineinhalb Monate nach Einbau im Juli bei einem mittleren Durchfluss von  $13,93 \text{ m}^3/\text{s}$ . Die dritte Messphase fand im August bei  $16,43 \text{ m}^3/\text{s}$  statt. Der deutliche Unterschied der Durchflüsse zum Zeitpunkt der Messphasen muss bei der Auswertung der Ergebnisse berücksichtigt werden (vgl. ORTNER, 2007).

### 7.6.1 Auswirkungen

Sowohl der Strömungstrichter als auch die Sichelbuhnen hatten bezüglich der Lenkung der Hauptströmung und der Verteilung der Fließgeschwindigkeiten die erwartete Wirkungsweise. Im geraden Gewässerabschnitt traten hohe Fließgeschwindigkeiten vor allem im Öffnungsbereich des Trichters auf. Die Sohlschubspannungen erhöhten sich dadurch im Verhältnis zu denen im Randabschnitt.

#### Fließgeschwindigkeit/Sohlmorphologie

Die Geschwindigkeitsverteilung im Querschnitt des geraden Gewässerabschnitts unmittelbar nach den Buhnen, die vor dem Trichter angeordnet sind, wies ein Geschwindigkeitsbild mit gleichmäßig verlaufenden Isotachen auf. Die hohen Geschwindigkeiten, die vor dem Einbau bis in Sohlhöhe reichten, wurden dort reduziert. Im Bereich des Trichters wurden drei Messprofile erstellt, die alle eine ähnliche Fließgeschwindigkeitsverteilung zeigten. Es ergab sich ein Einschnürungseffekt durch die Öffnung des Trichters in der Mitte. Dort traten die höchsten Fließgeschwindigkeiten auf (siehe Abbildung 7-33).

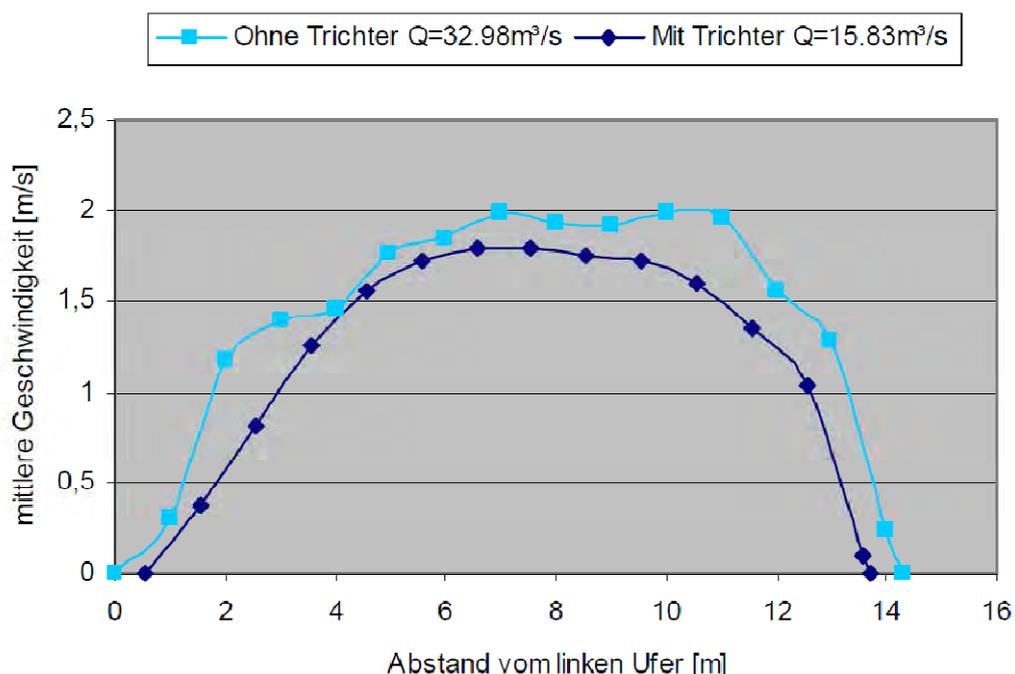


Abbildung 7-33: Geschwindigkeitsprofil im QS 9 mit/ohne Strömungstrichter (ORTNER, 2007)

Vom Ufer zur Gewässermittle hin stiegen diese annähernd linear an. In Ufernähe verliefen die Geschwindigkeitsgradienten nach dem Einbau tendenziell flacher wie vor dem Einbau. Anhand der Geschwindigkeitsprofile im Einlaufbereich des Trichters in Querschnitt 9 ist die Veränderung der Fließgeschwindigkeitsverteilung vor und nach dem Einbau zu erkennen. Vor dem Einbau tendierte die Hauptströmung zur rechten Gewässerseite hin. Nach dem Einbau konzentrierte sich der Stromstrich in Gewässermittle. Im Bereich nach dem Strömungstrichter blieb eine ähnliche Verteilung der Fließgeschwindigkeiten durch die beiden Sichelbuhnen an der linken und rechten Böschungslinie erhalten. Diese lenkten die Hauptströmung und damit die höchsten Fließgeschwindigkeiten im oberflächennahen Bereich weiterhin in Gewässermittle. Am Außenufer lösten sich die turbulenten Zonen mit erhöhten Fließgeschwindigkeiten auf. Die Verteilung der Geschwindigkeiten verlief auch flussab der nachgeordneten Buhnen geordnet und die Hauptströmung konzentrierte sich in Gewässermittle. Es bildeten sich erhöhte Sohlschubspannungen in der Mitte des Flusses, vor allem im Bereich des Strömungstrichters sowie unmittelbar danach, aus. In den Randabschnitten wurden sie reduziert. Ca. 50 Meter unterhalb des Trichters bei Profil 15, war dieser Effekt bereits nicht mehr vorhanden. Je nach Abfluss schwankten die Kolkiefen zwischen 15 und 25 cm. Der zu erwartende Zentralkolk unterhalb des Strömungstrichters hat sich im vorhandenen Untersuchungszeitraum nicht ausgebildet (vgl. ORTNER, 2007).

### Strömung

Der Strömungstrichter bewirkte eine vielseitige Ausbildung der Strömungsverhältnisse und lenkte die Hauptströmung in Gewässermittle. Die Strömungsdiversität wurde durch die Kombination aus Strömungstrichter und Lenkbuhnen zusätzlich erhöht. Dadurch entstanden zwei kleine Spiralströmungen an der Böschung und zwei Hauptspiralströmungen in Gewässermittle. Diese strömen nach außen und bewegen sich von oben nach unten zur Sohle hin. In Profil 10, beim Auslauf des Strömungstrichters, bleiben die Zonen erhöhter Geschwindigkeit am Prallufer aus. Die Strömung drängte weiterhin zur Flussmitte.



Abbildung 7-34: Stromstrichlenkung in Gewässermittle und Ausbildung vielfältiger Wasserspiegelstrukturen (ORTNER, 2007)

Drei Monate nach Einbau zeigten sich jedoch unterschiedliche Strömungsverhältnisse. Die Sohlgrundlenkbuhnen hatten zwar eine wirkungsvolle Strömunglenkung in Gewässermitte in der Flusskrümmung bewirkt, jedoch beeinflussten sie die Strömunglenkung des flussab liegenden Strömungstrichters. Hier belastete nun die Strömung nach der Linkskrümmung des Gewässers verstärkt das rechte Ufer. Die Wirkung der Strömunglenkung durch die Sohlgrundlenkbuhnen erfolgte also auch noch in dem nachfolgenden geraden Gewässerabschnitt. Die Buhnen wurden wahrscheinlich zu groß dimensioniert oder das Pendelverhalten des Flusses lenkte die Strömung im geraden Flussabschnitt an das rechte Ufer (vgl. ORTNER, 2007).

Hier sei auf die Maßnahme in Kapitel 7.4 verwiesen, bei der sich ebenso durch bereits vor dem Trichter platzierte Lenkbuhnen die Strömunglenkung im Bereich des Trichters beeinflusst wurde und sich verschiedene Kolkiefen seitlich des Trichters ausbildeten.

### **Ökologie**

Ein Monitoring bezüglich der Auswirkungen auf die Ökologie wurde nicht durchgeführt. Es wird jedoch auf die positiven Effekte durch die Strömungs- und Tiefenvariabilität auf Flora und Fauna im Flussabschnitt der Maßnahme hingewiesen. Demzufolge ist es wahrscheinlich, dass es durch die Maßnahme zur Bildung neuer Lebensräume für Flora und Fauna gekommen ist. Ruhezonen hinter den Blocksteinen und die günstige Uferstrukturierung bieten Ansiedlungsplätze für Wassertiere. Durch die offene Bauweise mit unregelmäßig geformten, natürlichen Bruchsteinen kommt es zudem zur Ausbildung eines natürlichen Fließverhaltens. Damit fügt sich die Maßnahme gut in das Landschaftsbild ein (vgl. ORTNER, 2007).

### **Hochwasser**

Beobachtungen zum Verhalten des Strömungstrichters und der Sichelbuhnen im Hochwasserfall konnten im Beobachtungszeitraum nicht erfolgen. Dabei wäre dies von besonderem Interesse, da durch die starke Überströmung der Blocksteine bei Hochwasserabfluss die Lenkung des Wassers und dadurch die Bildung eines Zentralkolkes in Gewässermitte erwartet wird.

## 7.7 Pendelrampe im Stübmingbach, Turnau, Steiermark

Im Stübmingbach wurde von der Baubezirksleitung Bruck/Mur im Jahr 2000 im Zuge einer Hochwasserschutzmaßnahme eine Pendelrampe errichtet.

Politischer Bezirk: Bruck/Mur  
 Gemeinde: Turnau  
 Katastralgemeinde: Turnau  
 Flussgebiet: Mürz, Mur, Drau, Donau  
 Bauherr: Marktgemeinde Turnau

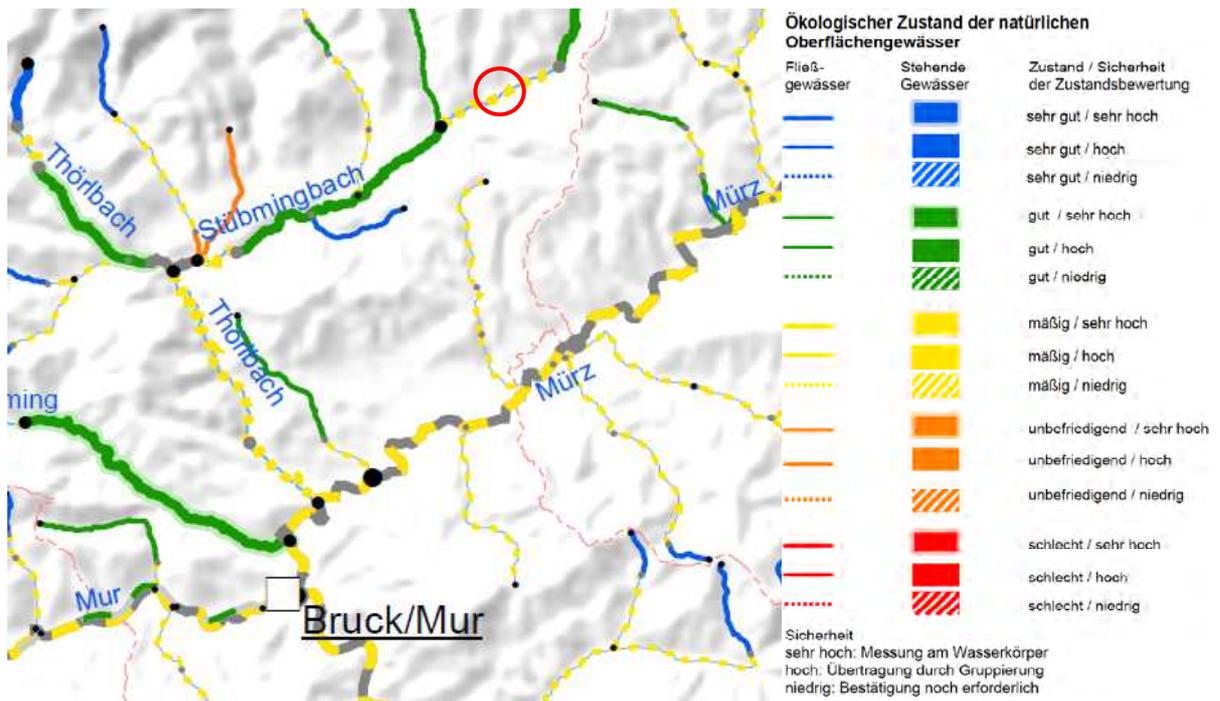


Abbildung 7-35: Lage der Pendelrampe im Stübmingbach (BMLFUW, 2009)

### Ausgangssituation und Lage

Der Stübmingbach hat eine Länge von ca. 24 km und im betroffenen Abschnitt ein Gefälle von ca. 2,5 %. Er befindet sich in der oberen Forellenregion (Epirithral). Dafür typisch sind schwimmstarke Fische wie die Bach- und die Regenbogenforelle. Aufgrund von Hochwasserereignissen kam es zu Uferanrissen und Überflutungen. Im Jahr 1997 wurden die teilweise zerstörten Ufer im Zuge von Hochwasserschutz-Sofortmaßnahmen gesichert. Vor dem Einbau befanden sich im betroffenen Gewässerabschnitt zwei stark verklauste Sohlstufen. Dadurch kam es vor der Umsetzung der Maßnahme mangels erforderlicher Abflusskapazität bei Ereignissen ab einer Größe von  $HQ_{10}$  zu Uferanrissen, sowie einem Ein- und Rückstau und damit einer beträchtlichen Hebung des Wasserspiegels. Großflächige Überflutungen und volkswirtschaftliche Schäden waren die Folge (BBL, 2006; MENDE, et al., 2010; ROLKER, 2004).

## **Ziel**

Das Ziel der gesamten Schutzmaßnahme am Stübmingbach im Jahr 2002 war es, den Hochwasserschutz für Wohn- und Wirtschaftsobjekte und deren öffentliche Infrastruktur mit ökologischen Ertüchtigungen bis zum Sicherungsgrad eines  $HQ_{100}$  zu gewährleisten. Unter anderen geringfügigen passiven Maßnahmen wurde im Bereich von FLKM 17,410 bis 17,450, zur Überbrückung eines durch die Hochwasserereignisse beschädigten Absturzbauwerks, eine Pendelrampe errichtet. Durch die Beseitigung der etwa 1,5 m hohen desolaten Gefällsstufe und der Errichtung der flach angelegten Pendelrampe wurde neben einer Wasserqualitätsanhebung auch die Durchgängigkeit für minder mobile wassergebundene Lebewesen angestrebt. Dadurch sollte der genetische Austausch wieder möglich gemacht werden (vgl. BBL, 2006).

## **Umfang der Maßnahme**

Es wird hier lediglich auf die Beschaffenheit der Pendelrampe als Teil der gesamten flussbaulichen Maßnahme eingegangen. Sie besteht aus 8 Riegel-Becken-Einheiten und einer Grundschwelle am unteren Ende des Bauwerks. Die folgenden Geometriedaten beziehen sich auf die Sohlenmessung vom Dezember 2009:

Die Rampe ist vom ersten bis zum achten Riegel 31 m lang und weist einen Höhenunterschied von 2,1 m auf, womit sich ein Gefälle von 6,8 % ergibt. Das effektive Gefälle (siehe auch Kapitel 6.1) des mäandrierenden Fließweges ist in etwa 1:35. Die Höhendifferenz zweier benachbarter Riegel beträgt 24 - 39 cm, der Horizontalabstand misst 3,3 – 5,45 m. Die einzelnen Riegel bestehen aus Wasserbausteinen mit einem Durchmesser von ca. 1,5 m, die tief in die natürliche Sohle eingebunden sind. Flussab eines Riegels stützen kleinere Blocksteine ( $D \sim 0.8$  m) die Riegelsteine ab. Die Becken sind nicht gesichert und bestehen aus dem natürlichen Bachsediment. Grundsätzlich wurden für die Errichtung der Pendelrampe nur Wurzelstöcke und Blocksteine aus der Umgebung mit einem Maximaldurchmesser von 1,2 m verwendet. Die eingebauten Wasserbausteine stammen aus den Steinbrüchen Gulsen und Veitsch in der Steiermark und sind damit ortstypischer Natur. Die Ufer wurden mit Blocksteinen und Wurzelstöcken aus Nadelholz sowie Weiden- und Erlenstämmen gesichert. Hinter jedem Sohlgurt über etwa  $2/3$  der Sohlbreite hinter den Bereichen, die bei höheren Abflüssen überströmt werden, wurden Stütz- und Kolkenschutzsteine eingebaut (vgl. MENDE, et al., 2010; ROLKER, 2004). Abbildung 7-36 zeigt die Planungsskizze mit Längenschnitt der Pendelrampe.

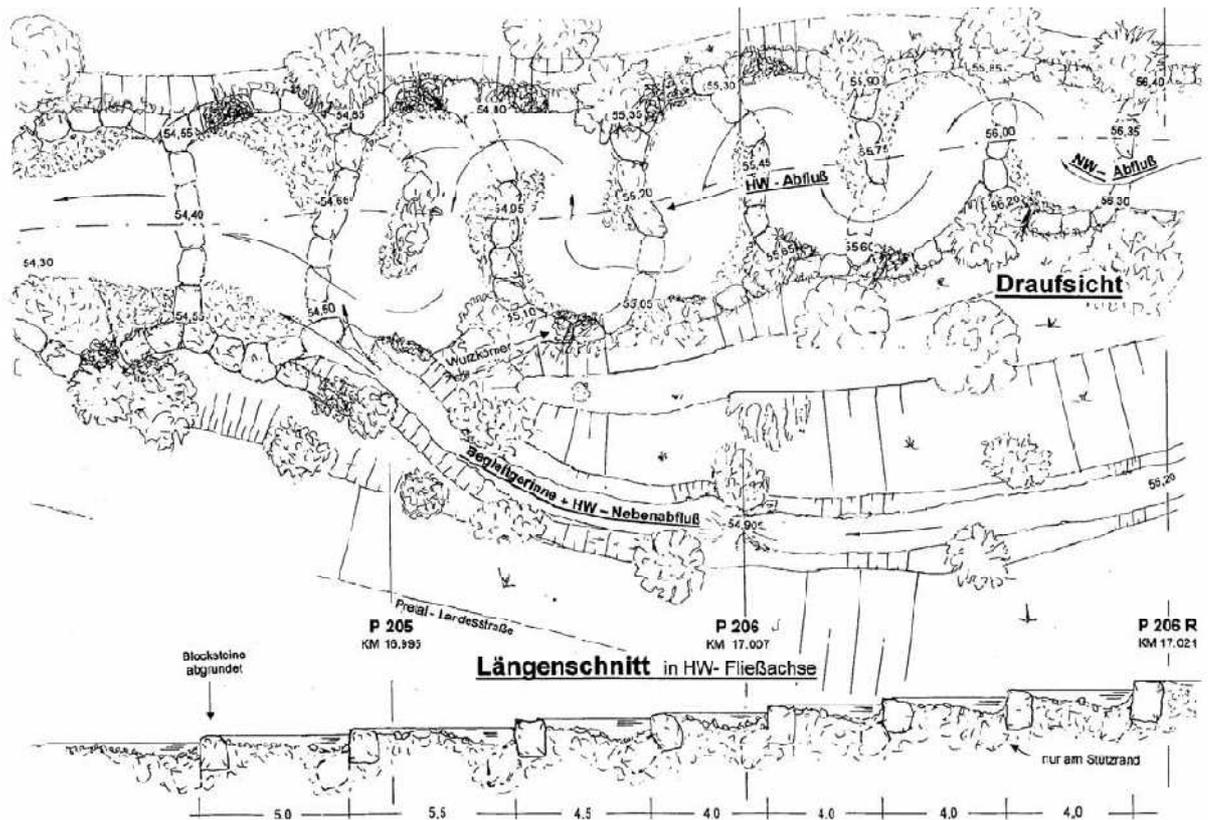


Abbildung 7-36: Planungsskizze der Pendelrampe am Stübmingbach (falsche FLKM – Angaben) nach Baubezirksleitung Bruck a.d.Mur, 2002 (PETSCHNIK, et al., 2009)

## Monitoring

Im Bereich des Rampenkörpers sowie unmittelbar oberhalb der Pendelrampe wurden bei Niederwasser ( $Q=0,178 \text{ m}^3/\text{s}$ ) Fließgeschwindigkeitsmessungen mit der Zweipunktmethode nach Krepss durchgeführt. Im Dezember 2007 und 2009 wurden von der TU Graz und der BBL Bruck/Mur zwei Sohlenvermessungen durchgeführt. 2009 konnte bei sehr geringer Wasserführung auch die Korngrößenverteilung des Sediments in den Becken dokumentiert werden. Zudem wurden von der Firma Planet Horizons mehrere Untersuchungen hinsichtlich der chemisch-physikalischen Eigenschaften des Wassers vorgenommen (vgl. MENDE, et al., 2010; ROLKER, 2004).

## 7.7.1 Auswirkungen

### Fließgeschwindigkeitsverteilung/Sohlmorphologie

Die im Herbst 2004 durchgeführten Fließgeschwindigkeitsmessungen ergaben, dass die größten mittleren Fließgeschwindigkeiten oberhalb der Pendelrampe mit 0,52 m/s in Gerinnemitte auftraten (siehe Abbildung 7-37). In den Uferbereichen waren die Geschwindigkeiten mit 0,37 m/s deutlich geringer. Innerhalb der Pendelrampe lagen die gemessenen Werte überwiegend unter den Geschwindigkeitswerten, die oberhalb der Rampe gemessen wurden. Es zeichnete sich ein variables Fließgeschwindigkeitsbild ab. Im Durchschnitt größere Fließgeschwindigkeiten sind jeweils hinter den Absturzbereichen der Riegel gemessen worden. Innerhalb eines Beckens ergaben sich hinter den nicht durchströmten Abschnitten der Sohlgrute Zonen mit niedrigeren Fließgeschwindigkeiten. Am Fuß und am Kopf der Rampe traten mit 0,70 m/s bzw. 0,58 m/s die größten Fließgeschwindigkeiten auf.

Die maximale Fließgeschwindigkeit, bei der die Durchgängigkeit von Fischen noch gewährleistet werden kann, ist abhängig von den Höhenunterschieden zwischen den Riegeln und wird bei 20 cm mit 2,0 m/s angegeben. Strömungsgeschwindigkeiten unter 0,3 m/s sollen vermieden werden, da sonst keine präzise Orientierung der meisten Fische gegen die Strömung gegeben ist (BMLFUW, 2012; nach PAVLOV, 1989). Durch die gemessenen Fließgeschwindigkeitswerte bei Niederwasser kann die Durchgängigkeit der Pendelrampe für die gewässerspezifischen Fischarten gewährleistet werden.

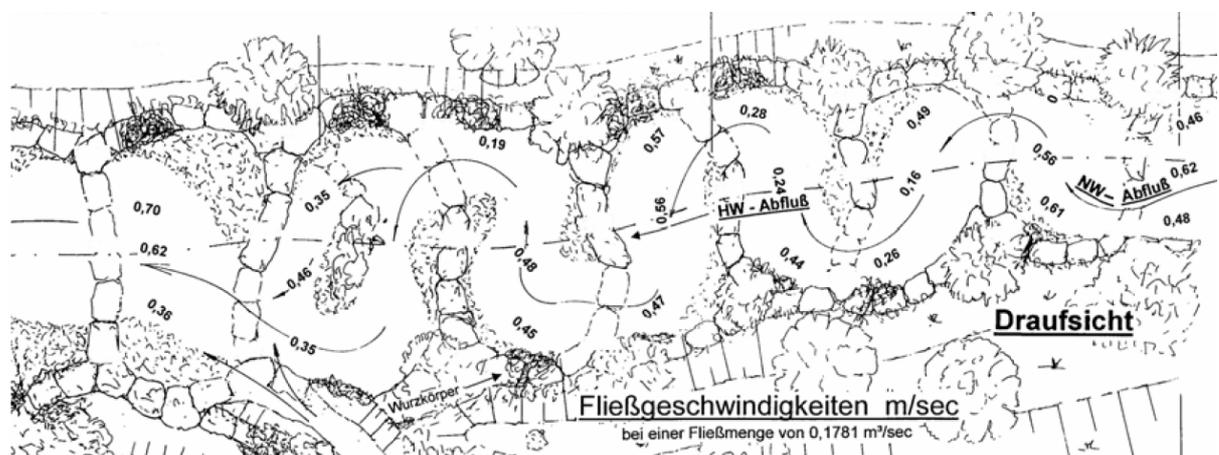


Abbildung 7-37: Gemessene mittlere Fließgeschwindigkeiten innerhalb der Pendelrampe am Stübmingbach (Baubezirksleitung Brck a. d. Mur, 2004 aus ROLKER, 2004)

Anzumerken ist, dass keine Geschwindigkeitsmessungen bei den jeweiligen Überfällen durchgeführt wurden, und die Messungen bei Niederwasser erfolgten. Erkenntnisse zu den hydraulischen Verhältnissen bei größeren Abflüssen kann aus den Messungen somit nicht gewonnen werden. Der in Abschnitt 6.3 beschriebene mäandrierende Stromstrich ist jedoch zu erkennen (vgl. ROLKER, 2004).

Die Ergebnisse des Monitoring bezüglich der Sohlmorphologie sind wie folgt zusammengefasst (MENDE, et al., 2010; SINDELAR, 2011):

- Kolkbildung unterschiedlicher Tiefen unterhalb eines jeden Riegels aufgrund deren Querneigung
- Mittlere Kolktiefe über die Querprofilbreite: 37 – 73 cm
- Punktuelle maximale Kolktiefe bis zu 91 cm
- Kolkausbildung nur im oberen Drittel einer Riegel-Becken-Einheit, danach steigt die Sohle stetig bis zum flussab gelegenen Riegel an (siehe Abbildung 7-39)
- Keine Kolke am Rampenfuß und damit kein Problem wie bei der klassischen Blocksteinrampe mit Kolkbildung unterhalb der Rampe (siehe Abbildung 7-38 unten)

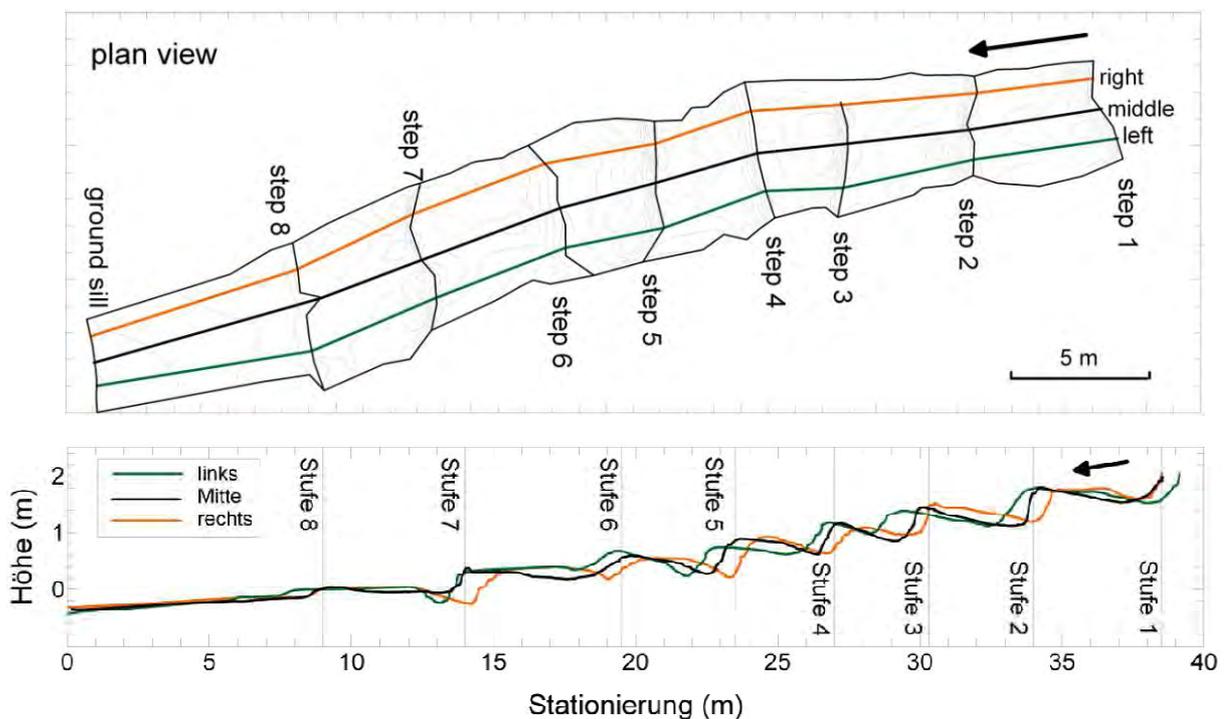


Abbildung 7-38: Grundriss (oben) und Längenschnitt der Pendelrampe, 2-fach überhöht (unten) (MENDE, et al., 2010; SINDELAR, 2011)

Flussauf und flussab der Rampe sind die einzelnen Kornfraktionen gut durchmischt. In den Becken findet jedoch eine deutliche Sortierung des Sediments statt. Abbildung 7-39 links zeigt die eingetragenen Kornklassen in den Grundriss der Rampe. Rechts ist zu erkennen, wie sich eine ausgeprägte Tiefenvarianz ergeben hat (vgl. MENDE, et al., 2010).

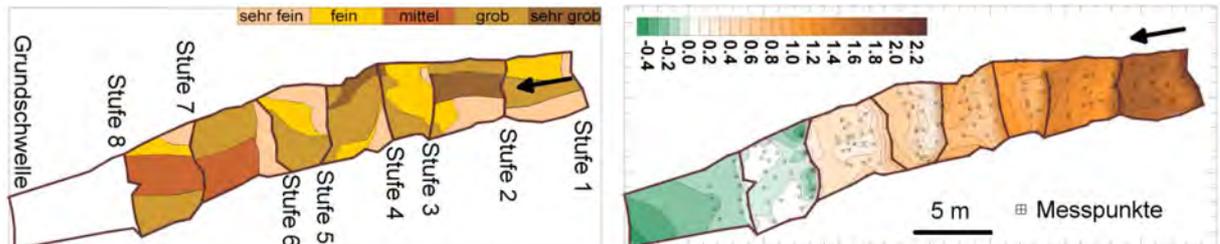


Abbildung 7-39: links: Grundriss der Pendelrampe mit Kornklassenverteilung; rechts: mit eingezeichneten Sohlenhöhen (MENDE, et al., 2010)

Die auffällige Substratsortierung in den verdeutlicht die Pendelbewegung des Stromstrichs innerhalb der Rampe. Abbildung 7-40 zeigt die gute Sortierung des Substrats innerhalb der 4. Riegel-Becken-Einheit.

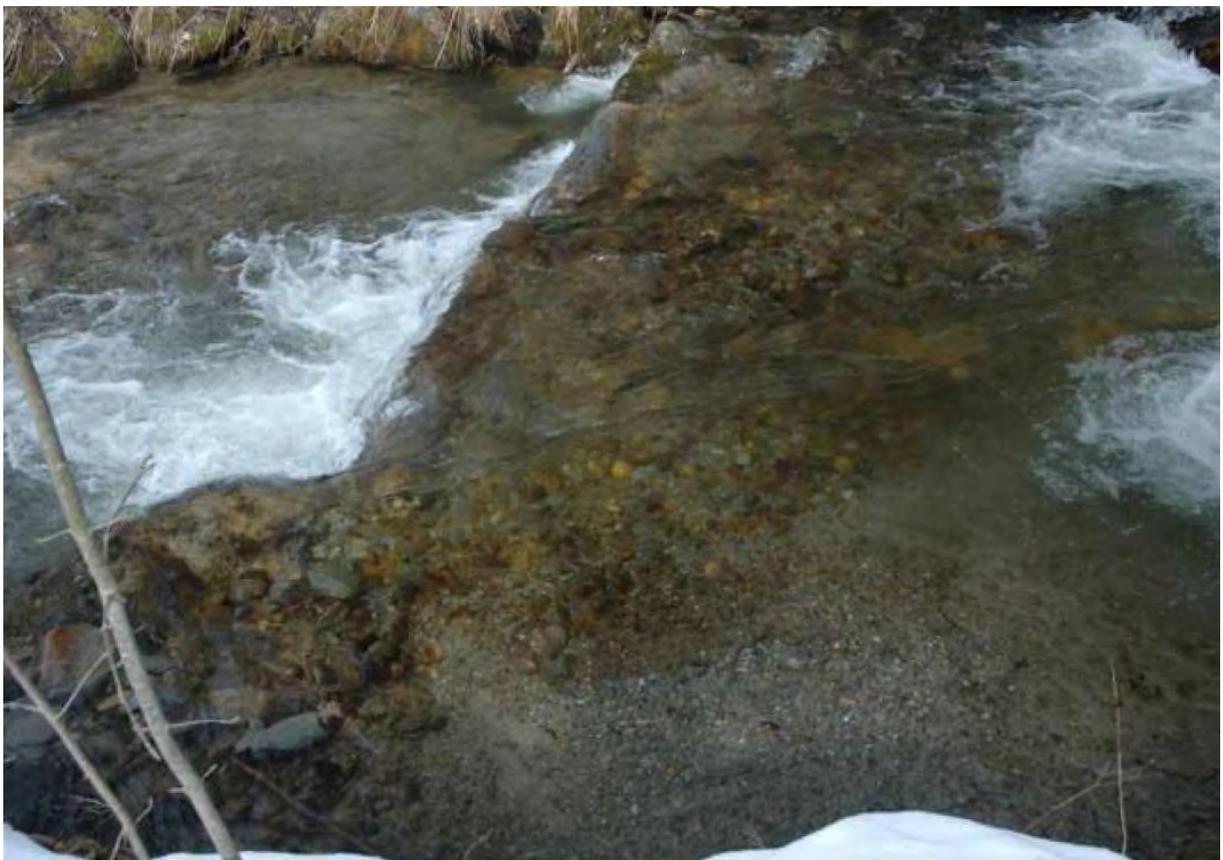


Abbildung 7-40: Substratsortierung der 4. Riegel-Becken-Einheit im Dezember 2009 (MENDE, et al., 2010)

## Strömung

Bei Niederwasser kommt es zu einem mäandrierenden Stromstrich und variablen Fließverhältnissen. In den Becken bilden sich Stillwasserzonen und Bereiche höherer Geschwindigkeiten. Bei Hochwasser bildet sich in der Flussmitte eine eindrehende Längswalze (vgl. (BBL, 2006). Die Strömunglenkung durch die geneigte Anordnung der Riegelblocksteine erfolgt nach dem in Abschnitt 6.3 erläuterten Prinzip. Auch bei höheren Abflüssen bleibt der mäandrierende Stromstrich weitestgehend erhalten (siehe Abbildung 7-41).



Abbildung 7-41: Pendelrampe bei Schmelzwasserabfluss im März 2010 (MENDE, et al., 2010)

## Ökologie

Es werden hier die erwähnten chemisch-physikalischen Untersuchungen zusammengefasst, durch welche man Rückschlüsse auf Auswirkungen auf die Ökologie im Gewässerabschnitt ziehen kann.

Es wurden Bio-Frequenz-Analysen durchgeführt, durch welche sich der Zustand und gewisse Eigenschaften des Wassers anhand der elektromagnetischen Frequenzstruktur ermitteln lässt. Dabei werden Wasserproben vor Ort entnommen und in einem Labor ausgewertet. Mithilfe eines Sensors werden durch die Erzeugung elektromagnetischer Felder potentielle Resonanzen auf elektromagnetische Schwingungen biologischer Stoffe aus-

gelöst. Anhand der digital erfassten Schwingungen kann durch deren Frequenz und Intensität in Abhängigkeit von der Zeit die Wasserqualität beurteilt werden. Proben wurden oberhalb und unterhalb der Pendelrampe entnommen. Dabei zeigte sich laut der Firma Planet Horizons hinsichtlich des Schwingungsbildes ein deutlicher Unterschied zwischen den Proben. Das Wasser ist unterhalb der Rampe qualitativ gut und im Vergleich zu flussauf der Rampe verbessert. Anzumerken ist, dass sich diese Methode noch in der Entwicklung befindet. Des Weiteren wurden Analysen von Kristallisationsbildern nach der Verdunstung einzelner Tropfen des Wassers durchgeführt. Durch Informationsübertragung im Wasser können so selbst schwache Feldwirkungen festgestellt werden, die mit üblichen Messmethoden nicht erkannt werden können. Auch bei diesen Auswertungen zeigten sich unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich der Kristallisationsbilder ober- und unterhalb der Rampe. Es ließ sich feststellen, dass die Proben oberhalb der Rampe durch Verunreinigungen eine schlechtere Strukturierung als diejenigen unterhalb der Rampe aufwiesen, die eine geordnete Struktur zeigten. Es lässt sich auf eine verstärkte Schutzwirkung des Wassers durch die Pendelrampe gegenüber Verunreinigungen schließen (vgl. ROLKER, 2004).

Zusätzlich wurde eine Analyse im Herbst 2002 und Frühjahr 2003 durchgeführt, bei welcher drei Wasserproben ober- und unterhalb der Rampe entnommen wurden. Dabei wurde festgestellt, dass die unterhalb entnommenen Proben eine geringere Konzentration der Ionen (Widerstandswert), einen geringeren pH-Wert, sowie eine Zunahme der Leitfähigkeit und des Gehalts an gelösten Mineralien aufwiesen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die Pendelrampe günstig auf chemisch-physikalischen Eigenschaften des Wassers auswirkt. Durch die Verwirbelungen wird die Selbstreinigungskraft des Wassers verstärkt. Großen Einfluss auf die Veränderungen haben laut Planet Horizon die bei der Pendelrampe verwendeten Gesteinsarten. Laut GROBER ließ sich zudem ein verstärktes Pflanzenwachstum unterhalb der Pendelrampe feststellen (vgl. ROLKER, 2004).

Des Weiteren lassen Messungen von flussab- bzw. flussaufwärts gelegenen Weidenstecklingen, die nach dem Einbau in die Böschung eingesetzt wurden, auf eine Verbesserung der Bedingungen für die Vegetation im Bereich der Pendelrampe schließen. Die flussabwärts gelegenen Stecklinge wiesen laut Grober eine Wuchshöhe von 220 cm auf, während die der flussauf gelegenen 80 cm betrug. Dadurch lässt sich zudem eine Anhebung der Wasserqualität durch die Pendelrampe ableiten (vgl. PETSCHNIK, et al., 2009).

**Hochwasser**

Die Pendelrampe hat seit dem Einbau mehrere Hochwasserereignisse ohne Schaden überstanden. Dabei wird das bisher größte Ereignis auf ein  $HQ_{20}$  geschätzt, wobei die genaue Jährlichkeit aufgrund fehlender Pegel nicht bestimmt werden kann (vgl. MENDE, et al., 2010). Es wurden zudem mit dem 1D Computerprogram WASPI - 2,5 die Auswirkungen eines  $HQ_{30}$  und eines  $HQ_{100}$  simuliert. Dabei wurden die Fließgeschwindigkeiten und die jeweiligen Wasserstände für die neue und alte Sohle berechnet. Durch die Maßnahme zeigten sich deutliche Verringerungen der Wasserspiegelschwankungen im Hochwasserfall verglichen mit den Verhältnissen vor dem Einbau. Dies ist neben der gleichmäßiger verlaufenden Sohllinie auf die Querschnittsaufweitungen durch die Maßnahme zurückzuführen. Die ermittelten Fließgeschwindigkeiten liegen für das  $HQ_{30}$  sowie für das  $HQ_{100}$  zum großen Teil unter den für den restlichen Gewässerabschnitt errechneten. Die Überschwemmungsflächen konnten deutlich reduziert werden (vgl. ROLKER, 2004).

Die gesamte Maßnahme und die Errichtung der Pendelrampe bewirkten die gewünschte Umwandlung der kinetischen Energie und die Ersetzung der Gefällsstufen durch ein gleichmäßigeres, den natürlichen Gegebenheiten des Flussabschnitts angepasstes Gefälle. Der Hochwasserabfluss konnte naturnah reguliert werden. Da bei der Maßnahme auch ein Hochwasser-Entlastungsgerinne umgesetzt wurde (siehe Abbildung 7-36), kann die Wirkung der Pendelrampe auf die günstigeren Abflussverhältnisse im Hochwasserfall, durch die Simulation nicht eindeutig festgestellt werden. Eine genaue Aussage hinsichtlich der Hochwasserbeständigkeit und der Effektivität der Rampe ist aufgrund fehlender Messdaten daher nicht möglich.

## 7.8 Pendelrampe Scherlibach, Köniz, Kanton Bern, Schweiz

### Ausgangssituation und Lage

Nach Beschädigungen des Unterlaufs des Scherlibaches durch ein Unwetter im Jahr 2001 wurden der Bachlauf im Bereich der Gewässersohle mit Holzschwellen und die Böschungen mit Blocksteinen sowie ingenieurbioologischen Maßnahmen saniert. Diese Sicherungen wurden jedoch bei einem Hochwasser 2005 zerstört. Zusätzlich verschlechterte sich die Uferstabilität aufgrund eines Neubaus einer uferparallelen Kanalisation. Daraufhin erfolgte im Auftrag der Gemeinde Köniz im Rahmen einer Pilotmaßnahme die Sanierung eines Abschnitts des Unterlaufs mit einer Pendelrampe.

Bauherr: Gemeinde Köniz, Abteilung Umwelt und Landschaft

Planung/Ausführung/Beratung: Edi Gassmann, Beat Scheuter, Interessengemeinschaft „Wasserbau im Fluss“, BBL Bruck/Mur

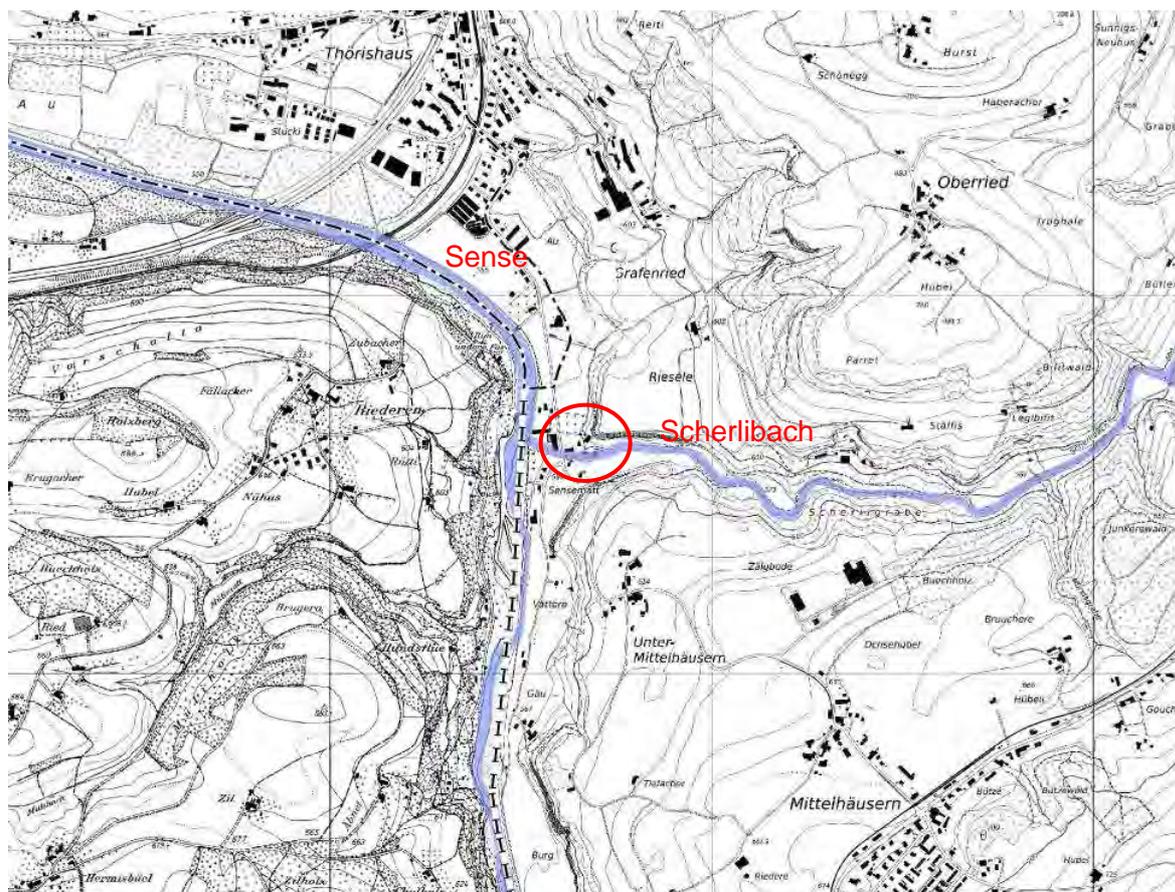


Abbildung 7-42: Lageplan der Pendelrampe im Scherlibach (Regio GIS Berner Oberland)

## **Ziel**

Ziel war es, am Mündungsbereich des Scherlibachs in die Sense, durch die Errichtung einer Pendelrampe weitere Hochwasserschäden einzudämmen und den Eintiefungen von ca. 50 cm, die sich nach der Zerstörung der Sicherungen ausgebildet hatten, entgegenzuwirken. Zudem sollte die Stabilität des Sohlen- und Uferbereiches wiederhergestellt werden. Dabei waren die stark beengten Platzverhältnisse zu berücksichtigen. Dadurch wurde die Gestaltung der Pendelrampe beeinflusst, da die Sohlenbreite des Scherlibachs von 4 bis 5 m beibehalten werden musste. Eine Abflachung der Ufer mit einer Neigung  $\geq 1:1$  war daher nicht möglich (MENDE, et al., 2009).

## **Monitoring**

Das Monitoring erfolgte mittels umfangreicher Videodokumentation und 3D - Gewässermo- dellierungen mit dem Programm ‚Fluent‘. Die Pendelrampe wurde im Mai 2007 eingebaut. Nach Hochwasserereignissen im Juli und August 2007 wurde sie stark beschädigt. Es erfolgte eine standortangepasste Optimierung auf Basis der aus den Hochwassern gewonnenen Erkenntnisse. Die Pendelrampe wurde 2008 neu eingebaut und verbreitert, wodurch infolge der Verringerung des breitenspezifischen Abflusses eine deutliche Entlastung der Rampe erreicht werden konnte. Die Gesamtlänge vergrößerte sich um 35 m auf 100 m und das Gefälle wurde variabel von 1,7 bis 5,0 % gewählt. Abbildung 7-43 und Abbildung 7-44 zeigen die Pendelrampe bei der Erstauführung und des optimierten Neubaus. Tabelle 7-1 gibt die jeweiligen Eckdaten an (MENDE, et al., 2009).

Tabelle 7-1: Vergleich der Erstaufführung mit der neuen Pendelrampe (MENDE, et al., 2009)

	Erstaufführung	Neubau
Länge L [m]	65	100
Fallhöhe gesamt $\Delta H$ [m]	3,35	3,92
Absturzhöhe am Riegel $\Delta h$ [m]	$\leq 0,20$	$\leq 0,20$
Abstand Riegel [m]	3,70 $\div$ 4,50	5,00 $\div$ 6,00
Gefälle l [%]	4,5 $\div$ 5,4	1,7 $\div$ 5,0
Sohlenbreite b [m]	4 $\div$ 5	7
Riegel:		
Gewicht Riegelsteine [t]	2 $\div$ 3	3 $\div$ 5
Höhe Riegelsteine [m]	1,20	1,50 $\div$ 1,70
Gründung / Kolkchutz	Stützsteine (2 $\div$ 3 t) unterhalb Riegel	Stützsteine (2 $\div$ 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 Sohlen- material der Sense; restliche Becken: Sohlenmaterial der Sense
Ufersicherung:	Blocksatz (Neigung $\geq 1:1$ ), darüber Sträucher	Blocksatz (Neigung $\geq 2:3$ ), darüber Sträucher mit Ansaat oder Buschlagen, zusätzlich durchgängig Jutegewebe
Besonderheiten		zusätzliche Steinriegel als Rauheitslemente im Zulaufbereich



Abbildung 7-43: Erstaufführung der Pendelrampe unmittelbar nach Fertigstellung im Mai 2007 (MENDE, et al., 2009)



Abbildung 7-44: Optimierte neue Pendelrampe mit bogenförmigen, in der Böschung verankerten Riegeln im September 2009 (MENDE, et al., 2009)

### **7.8.1 Auswirkungen**

Die hier zusammengefassten Auswirkungen beziehen sich sowohl auf die gewonnenen Erkenntnisse des Monitoring bezüglich der Erstausführung, als auch auf die Ergebnisse des optimierten Neueinbaus der Pendelrampe.

#### **Fließgeschwindigkeit/Sohlmorphologie**

Dadurch, dass keine Sicherung zwischen den Riegeln erfolgte, konnten sich vielfältige Sohlstrukturen mit ausgeprägten Kolken und damit guten Fischeinständen ausbilden. Je nach Abfluss sind diese Sohlenstrukturen dynamisch und sorgen dadurch für eine hochwertige Sohlmorphologie, die natürlichen dynamischen Veränderungen des Bachbetts nahekommt. Abbildung 7-45 zeigt einen linksseitig vertieften Riegel und die anschließende Kolkbildung mit Ablagerungen. Gut zu erkennen ist die unterschiedliche Fließgeschwindigkeitsverteilung im Becken. Es bildeten sich Stillwasserzonen aus. Bei höheren Abflüssen kam es infolge der Ausbildung von Spiralströmungen an den Uferbereichen zu verringerten Fließgeschwindigkeiten (MENDE, et al., 2009).



Abbildung 7-45: Bogenförmiger linksseitig vertiefter Riegel mit anschließender Kolkbildung und Ablagerungen (MENDE, et al., 2009)

### **Strömung**

Durch die Riegelanordnung und den pendelnden Stromstrich konnte eine große Strömungsvielfalt erzeugt werden. Wie erwähnt kam es bei höheren Abflüssen zur Ausbildung von Spiralströmungen. Diese konnten allerdings in weiterer Folge nicht zum gewünschten Verzicht auf harte Ufersicherungen mit Blocksteinen in Kombination mit Jutegewebe als Erosionsschutz beitragen. Die Ufer konnten nur lokal mit Buschlagen in Kombination mit standortgerechten Sträuchern weich gesichert werden, da sie auch nach Einbau der Pendelrampe aufgrund der stark beengten Platzverhältnisse sehr steil ausgeführt werden mussten (vgl. MENDE, et al., 2009).

### **Ökologie**

Erfahrungen ein Jahr nach der Umsetzung zeigten, dass durch die vorhandene Längsvernetzung sowie der Riegelanordnung in Kombination mit angeschwemmtem Totholz die Ausbildung einer dynamischen Sohlstruktur und eines vielfältigen Strömungsbildes entstanden sind, wodurch Gewässerorganismen gute Lebensbedingungen geboten werden. Mit der zumindest teilweise weichen Ufersicherung durch standorttypische Sträucher in Kombination

mit Buschlagen wurde neben der Stabilisierung auch die Beschattung der ufernahen Bereiche ermöglicht und somit die Rampe zusätzlich ökologisch aufgewertet (vgl. MENDE, et al., 2009).

Die Auswirkungen der Pendelrampe auf die Ökologie im betrachteten Gewässerabschnitt sind durchwegs günstig. Die biologische Durchgängigkeit kann durch gezielte Anpassungen an die Gewässereigenschaften erreicht und verbessert werden. Somit ist die Pendelrampe am Scherlibach als ökologisch hochwertige flussbauliche Maßnahme zu betrachten, die den Anforderungen an den modernen naturnahen Flussbau gerecht wird.

### **Hochwasser**

Da wie erwähnt die Erstaufführung der Pendelrampe am Scherlibach keine ausreichende Hochwasserbeständigkeit aufweisen konnte, wurden für den Neubau wichtige Erkenntnisse gewonnen, mit der man auch auf die generelle Gestaltung einer Pendelrampe Rückschlüsse ziehen kann.

Analysen einer umfangreichen Videodokumentation der Beschädigungen durch Hochwasserereignisse im Juli und August 2007 ergaben, dass der Abfluss im Oberwasser der Rampe bereits schießend erfolgte. Als Folge bildete sich ein ausgeprägter Wechselsprung mit einem Wasserspiegelanstieg von etwa einem Meter am Beginn der Pendelrampe aus, der zu einer starken Sohlen- und Uferbelastung führte. Dadurch wurden der neu erstellte Blocksatz am linken Ufer und das anstehende Material teilweise erodiert. Der Zulaufbereich der Pendelrampe ist daher bei größeren Abflüssen durch den Übergang von Schießen zu Strömen hinsichtlich der Rampenstabilität als kritisch zu betrachten. Deshalb mussten Maßnahmen zur Verhinderung der Ausbildung eines Wechselsprungs auf der eigentlichen Rampe umgesetzt werden. Mithilfe von Abflussmodellierungen für ein  $HQ_{100}$  von  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  wurden Rauheitselemente (drei Blocksteinriegel mit einer Höhe von ca. 20 cm über der mittleren Sohle und einem Abstand von 2 m) als eine deutliche Verbesserung der Strömungsbedingungen im Zulauf erachtet. Der sich dadurch ergebende Wasserspiegelanstieg infolge der Rauheitswirkung wurde durch eine Gewässeraufweitung um bis zu 2 m kompensiert (siehe Abbildung 7-46). Des Weiteren war der Mündungsbereich in die Sense ein wichtiger Bereich hinsichtlich der Sohlmorphologie und den Fließgeschwindigkeiten. Durch eine lokale Verengung des Querschnitts wurde der Abfluss gebündelt und mit einer Optimierung der biologischen Durchgängigkeit eine ‚Deltabildung‘ mit verringerten Fließgeschwindigkeiten und Geschiebeablagerungen als Folge verhindert (MENDE, et al., 2009).



Abbildung 7-46: Blocksteinriegel als Rauheitselemente zur Verringerung der Fließgeschwindigkeit im Zulaufbereich zur Pendelrampe inklusive linksufriger Verbreiterung (MENDE, et al., 2009)



Abbildung 7-47: Gestaltung des Mündungsbereiches in die Sense (MENDE, et al., 2009)

Der Zulauf- und Mündungsbereich der Pendelrampe stellen also bezüglich der Beständigkeit bei größeren Abflüssen sensible Bereiche dar, die jedoch mit einer gezielten Anpassung an die individuellen Gegebenheiten und Strömungsverhältnisse mit einer ausreichenden Hochwasserbeständigkeit umgesetzt werden können.

## 7.9 Pendelrampe Große Tulln, Leitsberg, Niederösterreich

Für die Pendelrampe in Leitsberg wurde im Auftrag des Wasserverbands Große Tulln im Wege der WA3 – Abteilung Wasserbau, Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, durch ezb – Eberstaller Zauner Büros, im Jahr 2012 ein ökologisches Monitoring durchgeführt. In diesem Projekt werden die Ergebnisse hinsichtlich der fischökologischen Funktionsfähigkeit der Rampe erläutert. Das Projekt wird nicht mit einer eigenen Matrix bewertet, da sich die Ergebnisse auf die ökologischen Auswirkungen beschränken. Die Erkenntnisse fließen jedoch in die Gesamtbeurteilungen der Pendelrampe ein.

### Ausgangssituation und Lage

Der betroffene Gewässerabschnitt weist einen unbefriedigenden ökologischen Zustand auf. Durch Regulierungsmaßnahmen an der Großen Tulln und des Laabenbachs sind flusstypische Strukturen und damit Lebensräume für Fische selten. Dies wird durch die schlechte Bewertung der fischökologischen Verhältnisse deutlich, die vor allem durch hydromorphologische Belastungen beeinflusst werden. Im betreffenden Flussabschnitt sind die charakteristischen Abflussdaten mit MNQ = 100 l/s und MQ = 450 l/s bei einem Einzugsgebiet von ca. 75 km<sup>2</sup> (Hydrografisches Jahrbuch, 1993). Das flusstypische Gefälle beträgt ca. 6 ‰, die mittlere Flussbreite 6-8 m, womit der Abschnitt dem Hyporhithral zuzuordnen ist. (ezb - Eberstaller Zauner Büros, 2013)

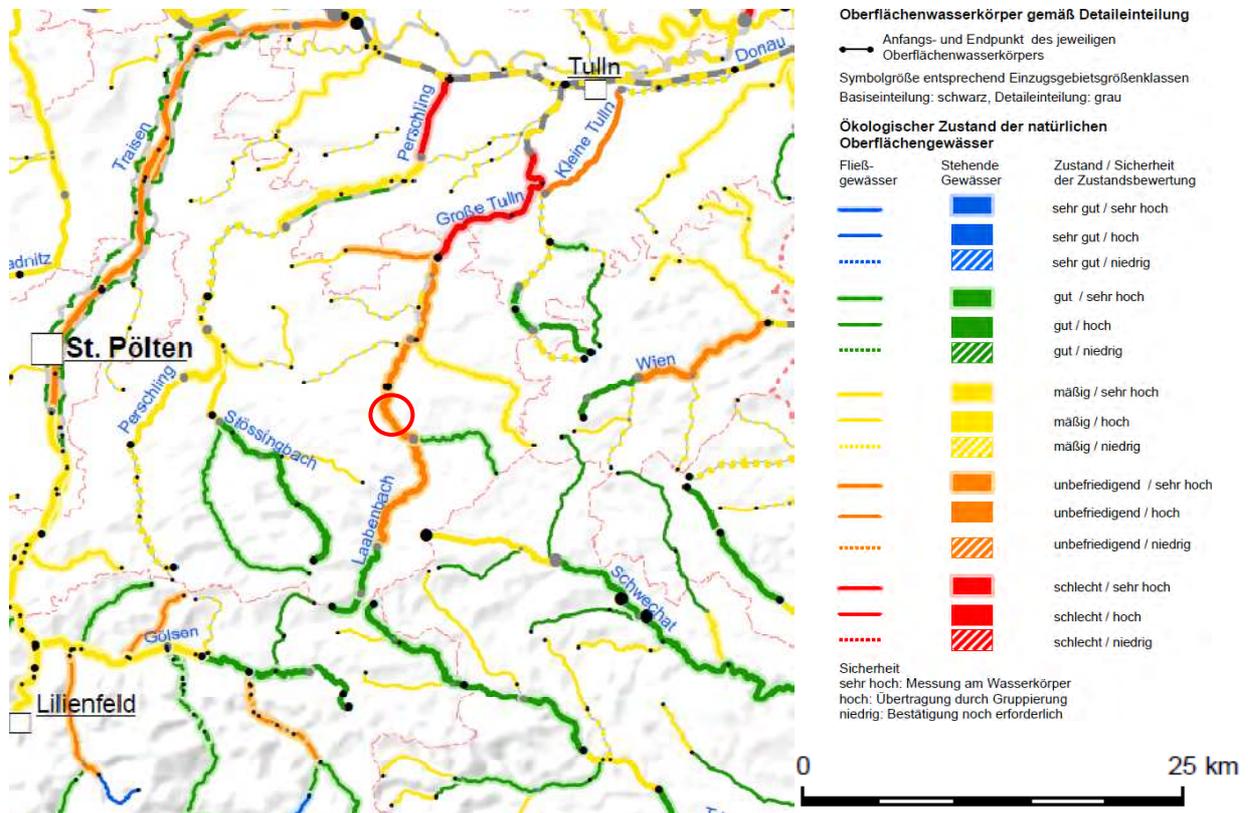


Abbildung 7-48: Lage der Pendelrampe und ökologischer Zustand des Laabenbachs (BMLFUW, 2009)

## **Ziel**

Im Sinne der gesetzlichen Erfordernisse der EU-WRRL war im Zuge der Sanierung einer Wehranlage in Leitsberg am Laabenbach das Ziel, diese durch die Errichtung einer Pendelrampe im Jahre 2011 fischpassierbar zu machen.

## **Umfang der Maßnahme**

Die errichtete Pendelrampe hat 18 Schwellen und eine Gesamtlänge von 114 m. Sie überbrückt durch 15 Schwellen mit einer maximalen Wasserspiegeldifferenz von 15 cm eine Höhendifferenz von 2,2 m. Mit zwei weiteren Schwellen ohne Überfall (auf ca. 10 m Länge) erfolgt die Sohlstabilisierung im Unterwasser. Am Beginn der Rampe wurde nach Vorgabe von OTMAR GROBER eine Anrampung mit einer aufgelösten Steinanordnung auf 6 m Länge angeordnet. Mit zwei Schwellen auf gleichem Niveau ist in der Mitte der Rampe ein Beruhigungsbecken ohne Gefälle angeordnet. Die Länge der Rampe beträgt 98 m (Gesamtlänge weniger der Länge der Sohlstabilisierung des Unterwassers und der Anrampung am Beginn), wodurch sich ein mittleres Gefälle von 1:45 ergibt (ezb - Eberstaller Zauner Büros, 2013).



Abbildung 7-49: Pendelrampe bei Niederwasser mit Blick flussab der Brücke Leitsberg (ezb - Eberstaller Zauner Büros, 2013)

Die Dimensionierung der Becken erfolgte neben Kriterien der Standsicherheit mit Anpassung an die hydraulischen Anforderungen der Fischökologie. Bei einer vorgesehenen Mindestkolkentiefe von 80 cm ergibt sich bei kleineren Becken, mit 10 m Breite und 5 m Länge, selbst bei erhöhten Mittelwasserabflüssen noch ein geringerer Wert für die Energiedissipation, als der für diese Fischregion vorgesehene maximale Bemessungswert von 120 W/m<sup>3</sup> (siehe Kapitel 6.3). Zusätzlich müssen die Beckendimensionen eine Mindestfließgeschwindigkeit von 0,3 m/s gewährleisten können (siehe auch Kapitel 7.7.1). Auch die Bemessung der Wanderkorridore wurde an die Anforderungen der größtenbestimmenden Fischart und den Bemessungskriterien für naturnahe Beckenpässe vorgenommen. Diesbezüglich sollen die Schlitze eine Breite von 30 cm und eine Minimaltiefe von 38 cm aufweisen. Die Querriegel wurden daraufhin mit einer Breite von 10 – 15 m und einer Überhöhung an den Ufern mit ca. 15 cm ausgeführt. Dadurch ergibt sich eine mittlere Querneigung von ca. 1,2 % (ezb - Eberstaller Zauner Büros, 2013).

### **Monitoring**

Das ökologische Monitoring wurde an vier unterschiedlichen Abschnitten durchgeführt. Strecke 1 ist der obere Teil der Pendelrampe, Strecke 2 unmittelbar flussab der Rampe, Strecke 3 ca. 700 m flussab und Strecke 4 liegt im Unterwasser einer nicht fischpassierbaren Sohlschwelle. Dadurch soll der Fischbestand in der Rampe selbst und im Vergleich zum Gewässer flussab, sowie das Aufstiegspotential im Unterwasser dokumentiert werden. Dabei wurde mittels Elektrobefischungen<sup>1</sup> der Fischbestand ermittelt. Die Fische werden durch ein Gleichstromfeld betäubt, gekeschert und gehältert, um so die Artzugehörigkeit sowie die Abmessungen festzustellen. Anschließend werden die Fische wieder zurückgesetzt.

Des Weiteren wurde ein Reusenmonitoring oberhalb des letzten Beckens der Pendelrampe durchgeführt. Dadurch kann der Fischaufstieg erhoben werden. Durch ein dynamisches Fischwehr, das auch bei intensiven Hochwasserspitzen fischdicht bleibt, werden die Fische im Reusenkasten gefangen. Nach der Ermittlung der gewünschten Fischdaten (bis zu einmal täglich) werden die Fische wieder entlassen. Die Reuse wurde im Frühjahr 2012 in vier Intervallen, und im Herbst 2012 in zwei Intervallen betrieben (ezb - Eberstaller Zauner Büros, 2013).

---

<sup>1</sup> Gemäß der Arbeitsanweisung Fließgewässer – A1 Qualitätselement Fische (BMLFUW, 2009) der Richtlinie 1/2002 des Österreichischen Fischereiverbands Mindestanforderungen bei quantitativen Fischbestandserhebungen in Fließgewässern (Woschitz & Honsig-Erlenburg, 2002) bzw. der Europäischen Norm prEN 14011 (CEN 2000).

## 7.9.1 Auswirkungen

Die Bewertung erfolgte entsprechend der Richtlinie „RL 1/2003 zur Bewertung von Fischmigrationshilfen der Fachgruppe Fischereisachverständige beim Österreichischen Fischereiverband „Mindestanforderung bei der Überprüfung von Fischmigrationshilfen (FMH) und Bewertung der Funktionsfähigkeit.“ Für die Durchgängigkeit der Rampe sind demnach folgende Kriterien maßgebend (vgl. ezb - Eberstaller Zauner Büros, 2013):

- qualitativer Fischaufstieg (Artenspektrum, Entwicklungsstadien)
- Quantitativer Fischaufstieg (Anteil aufsteigender Arten bzw. Individuen)
  - Mittelstreckenwanderer (z.B. Äsche, Nase, Barbe,..)
  - Kurzstreckenwanderer (z.B. Bachforelle, Koppe, Aitel, Schleie, Schmerle,..)
- Fischabstieg
- Lebensraumeignung

Die Einzelkriterien werden zuerst allein nach einer 5- stufigen Skala als Maßstab der Abweichung von einem Referenzzustand bewertet:

Tabelle 7-2: Bewertungsskala Fischaufstieg (ezb - Eberstaller Zauner Büros, 2013)

I	voll funktionsfähig	≤ 1,50
II	funktionsfähig	1,51 – 2,50
III	eingeschränkt funktionsfähig	2,51 – 3,50
IV	wenig funktionsfähig	3,51 – 4,50
V	nicht funktionsfähig	> 4,50

Bei der Gesamtbewertung der Pendelrampe (arithmetische Mittelwertbildung aus den Einzelbewertungen) hat sich ergeben, dass diese mit einem Wert von 1,0 aus fischökologischer Betrachtung als voll funktionsfähig anzusehen ist (siehe Tabelle 7-3).<sup>2</sup>

Tabelle 7-3: Bewertung der Durchgängigkeit der Pendelrampe (ezb - Eberstaller Zauner Büros, 2013)

	Bewertung
Qualitativer Fischaufstieg	1,0
Quantitativer Fischaufstieg Mittelstreckenwanderer	Nicht relevant
Quantitativer Fischaufstieg Kurzstreckenwanderer	1,0
Fischabstieg	1,0
Habitateignung	1,0
<b>Gesamtbewertung</b>	<b>1,0</b>

<sup>2</sup> Grundsätzlich sind im Laabenbach in diesem Abschnitt keine Mittelstreckenwanderer wie z.B. Nase und Barbe beheimatet.

Nach Richtlinie 1/2003, Fachgruppe Fischerei Sachverständige beim Österreichischen Fischereiverband, ergeben sich für die volle Funktionsfähigkeit von Fischmigrationshilfen folgende Verhältnisse, die damit auch auf die Pendelrampe übertragbar sind (ezb - Eberstaller Zauner Büros, 2013):

Tabelle 7-4: Bewertungsschema Funktionsfähigkeit von Fischmigrationshilfen (ezb - Eberstaller Zauner Büros, 2013)

Funktionsfähigkeit		Fischaufstieg qualitativ	Fischaufstieg quantitativ	
			Mittelstreckenwanderer	Kurzstreckenwanderer
I	Voll funktionsfähig	alle Arten und Entwicklungsstadien (juvenil/adult) können aufsteigen	allen oder fast allen aufstiegswilligen Individuen häufiger Arten ist der Aufstieg möglich	allen oder fast allen aufstiegswilligen Individuen häufiger Arten ist der Aufstieg möglich

Funktionsfähigkeit		Fischabstieg (gesamter Gewässerquerschnitt)	Habitateignung
I	Voll funktionsfähig	alle Arten und Entwicklungsstadien können jederzeit, auch in quantitativer Hinsicht uneingeschränkt aktiv absteigen	die Besiedlung entspricht (nahezu) der Lebensgemeinschaft des Gewässers, für die meisten Arten ist auch die Reproduktion möglich

## 8 Ziel/Auswirkung – Matrix

In diesem Kapitel werden die einzelnen Komponenten der Ziel/Auswirkung - Matrix definiert. Des Weiteren wird die Methodik der Matrix erläutert und mit einem Anwendungsbeispiel veranschaulicht.

### 8.1 Zielgruppen und Einzelziele

Wie bereits in Kapitel 2.1 beschrieben, existieren im Zuge der EU-WRRL Qualitätskomponenten für die Einstufung des ökologischen Zustands von Fließgewässern. Die in der Matrix gewählten Ziele sind unter Berücksichtigung dieser Komponenten gewählt. Jedes Ziel hat vier Einzelziele, die wichtige Faktoren für eine wirksame und effektive Umsetzung einer naturnahen flussbaulichen Maßnahme sind (Tabelle 8-1).

Tabelle 8-1: Zielgruppen der Ziel/Auswirkung-Matrix

Hydraulik				Hydromorphologie			
Strömungslenkung	Strömungsdiversität	Sedimenttransport	Massenimpulsaustausch	Sohlstrukturierung	Uferstabilisierung/strukturierung	Tiefenvarianz	naturnahe Ausbildung
Umwelt/Ökologie				Projektkosten			
naturnahe Diversität und Abundanz Flora	naturnahe Diversität und Abundanz Fauna	ökologische Durchgängigkeit	Erholungswert	Aufwand/Errichtung	Wartung/Unterhalt	Material	Zeit

Für das Ziel ‚Projektkosten‘ sind hier nicht die Einzelziele angeführt, sondern die wirtschaftlichen Auswirkungen (Kostenfaktoren), die die Projektkosten maßgebend beeinflussen (siehe Kapitel 8.5.4 und Kapitel 8.6.8).

## 8.2 Wirkungsgruppen und Auswirkungen

Durch die Wahl der Auswirkungen sollen wichtige Aspekte des naturnahen Flussbaus nach dem Prinzip des Instream River Training zur Bewertung einer Maßnahme einfließen. Es sind sieben Wirkungsgruppen und 17 Auswirkungen festgelegt (siehe Tabelle 8-2).

Tabelle 8-2: Wirkungsgruppen und Auswirkungen der Ziel/Auswirkung - Matrix

<b>Wirkungsgruppe</b>	<b>Auswirkung</b>
Hydraulik	Variabilität der Fließgeschwindigkeit Spiralströmung/Sekundärströmung
Sohle	Durchlässigkeit des Flussbettes Dynamik der Sohlenstruktur Verbauungsgrad und -art der Sohle Kolke/Becken Anlandungen Geschiebesortierung/Korngrößenverteilung
Ufer	Uferentlastung Dynamik des Uferbereiches Verbauungsgrad und -art des Uferbereichs
Hochwasser	Effektivität bei Hochwasser Beständigkeit
Landschaft	Eingliederung in das Landschaftsbild
Vegetation	Entwicklung der Pflanzengesellschaften
Fische	Fischbestände Habitate

Die Definition und Erläuterung der Ziele und Auswirkungen erfolgt in Kapitel 8.5. Nachfolgende leere Ziel/Auswirkung – Matrix zeigt die jeweilige Anordnung der Ziel- und Wirkungsgruppen. Die Erläuterung der Anwendung und der Methodik erfolgt in den folgenden Kapiteln.

Tabelle 8-3: Ziel/Auswirkung-Matrix

Projekt:	Wirkungsgruppe		Auswirkung/Ausbildung	Projektziele			Σ
	1,2,3 = Stärke des Wirkungszusammenhangs	Veränderungsgrad		Hydraulik	Hydromorphologie	Ökologie/Umwelt	
	Hydraulik		Variabilität der Fließgeschwindigkeit Spiralströmung/Sekundärströmung	Strömunglenkung Strömungsdiversität Sedimenttransport Massen - Impulsaustausch	Sohlstrukturierung Uferstabilisierung/strukturierung Tiefenvarianz naturnaher Ausbildung	naturnaher Diversität und Abundanz Flora naturnaher Diversität und Abundanz Fauna ökologische Durchgängigkeit Erfolgswert	
	Sohle		Durchlässigkeit des Flussbettes Dynamik der Sohlenstruktur Verbauungsgrad und -art der Sohle Kolke Anlandungen Geschiebesortierung/Korngrößenverteilung				
	Ufer		Uferentlastung Dynamik des Uferbereiches Verbauungsgrad und -art des Uferbereiches				
	Hochwasser		Effektivität bei Hochwasser Beständigkeit				
	Landschaft		Eingliederung in das Landschaftsbild				
	Vegetation		Entwicklung der Pflanzengesellschaften				
	Fische		Fischbestände Habitate				
			Σ Einzelziele				
			Σ Zielgruppe				

### 8.3 Anwendung

Die Anwendung der Matrix erfolgt einerseits durch Festlegung eines Veränderungsgrades der Auswirkungen, und andererseits durch Bestimmung der Stärke des Wirkungszusammenhangs zwischen den Auswirkungen und den Einzelzielen. Dadurch kann mit der Matrix gezeigt werden, welche Auswirkungen sich durch die jeweilige Maßnahme ergeben und durch welche Wirkungsweise die Ziele jeweils umgesetzt werden. Gleichzeitig werden die Zusammenhänge der einzelnen Ziel- und Wirkungsgruppen deutlich.

#### Veränderungsgrad

Für die Anwendung der Matrix wird zuerst ein Veränderungsgrad für jede einzelne Auswirkung festgelegt. Dadurch wird die Veränderung, die sich durch eine Maßnahme ergibt, im Vergleich zum Ausgangszustand bewertet. Der Veränderungsgrad kann durch folgende 4x4-Matrix ermittelt werden:

Tabelle 8-4: Matrix zur Ermittlung des Veränderungsgrades

	1	2	3	4	
1	0	1	2	3	Ausgangszust.
2	-1	0	1	2	
3	-2	-1	0	1	
4	-3	-2	-1	0	
	nach Maßnahme				

Es wird der Ausgangszustand (vertikal), sowie der Zustand nach der Maßnahme (horizontal) jeweils mit einem Wert von 1 - 4 (aufsteigend je nach Stärke der Ausprägung) bewertet. Der Veränderungsgrad ergibt sich dann durch das Eintragen der Werte in die Matrix. Er ist positiv, wenn der Wert für den Zustand nach der Maßnahme höher ist als der für den Ausgangszustand. Ein negativer Veränderungsgrad ergibt sich im umgekehrten Fall. Ein Veränderungsgrad von 0 steht für keine Veränderung.

Tabelle 8-5: Definition des Veränderungsgrades

<b>Veränderungsgrad</b>						
-1	-2	-3	0	1	2	3
extrem negativ	stark negativ	mäßig negativ	keine Veränderung	mäßig positiv	stark positiv	extrem positiv

Herrscht beispielsweise im Ausgangszustand ein ausgeprägt monotones Fließgeschwindigkeitsbild vor, so wäre die Ausbildung der ‚Variabilität der Fließgeschwindigkeit‘ mit 1 zu bewerten. Wird durch die Maßnahme die Variabilität stark erhöht, wird der Wert 4 vergeben. Der Veränderungsgrad ergibt sich dann durch die 4x4 – Matrix mit 3. Die Maßnahme hat dann nach Definition des Veränderungsgrades eine extrem positive Auswirkung auf die Variabilität der Fließgeschwindigkeit. Nach dem Festlegen des Veränderungsgrades für jede Auswirkung wird dieser in die Ziel/Auswirkung – Matrix eingetragen.

### **Wirkungszusammenhang**

Nach dem Eintragen des Veränderungsgrades wird der Wirkungszusammenhang zwischen den Auswirkungen und den Einzelzielen festgelegt und ebenfalls in die Ziel/Auswirkung - Matrix eingetragen. Dabei wird die Stärke des Wirkungszusammenhangs durch die Werte 1, 2 und 3 gekennzeichnet (1 = schwächster, 3 = stärkster Wirkungszusammenhang).

Hierbei bedeutet beispielsweise ein Wirkungszusammenhang der Stärke 3, dass eine Auswirkung von maßgebendem Einfluss zur Erreichung eines Einzelziels ist (z.B. trägt die ausgeprägte Entstehung von Spiralströmungen maßgebend zur Erreichung des Einzelzieles ‚Strömungsdiversität‘ bei). Besteht kein Wirkungszusammenhang, wird kein Wert vergeben (z.B. trägt eine positive Auswirkung der Maßnahme bezüglich der Fischbestände im Gewässerabschnitt nicht zur Erreichung der Einzelzieles ‚Strömunglenkung‘ bei).

### **8.3.1 Methodik**

Die Methodik der Matrix beruht auf dem Multiplizieren des Veränderungsgrades mit dem jeweiligen Wert für den Wirkungszusammenhang. Dadurch ergibt sich ein Wert für jede Auswirkung, sowie ein Wert pro Einzelziel. Die Werte der Einzelziele werden wiederum pro Zielgruppe aufaddiert (siehe auch Anwendungsbeispiel in Kapitel 8.4). Je höher also der Veränderungsgrad einer Auswirkung, desto stärker wird diese in der Matrix gewichtet. Es können so diejenigen Ziele herausgestellt werden, die von der Maßnahme durch deren Wirkungsweise und Gestaltung, und somit entsprechend ihrer Auswirkungen, am Effektivsten umgesetzt werden können.

Die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit der jeweiligen Maßnahme kann durch eine Gegenüberstellung der maßgebenden Kostenfaktoren mit denen einer Alternative erfolgen. Eine Alternative kann eine vergleichbare flussbauliche Maßnahme sein (z.B. Iowa Vanes, Sohlengleiten oder –rampen, siehe Kapitel 3.2 und 6.1), oder keine Durchführung der Maßnahme. Durch letztere ergeben sich die Kosten je nach Problemstellung beispielsweise durch Baggerungen nach Hochwasserereignissen oder regelmäßige künstliche Uferkorrekturen durch Geschiebeentnahme. Dazu kann die Matrix um ein weiteres Ziel ‚Projektkosten‘ erweitert werden (siehe Kapitel 8.1 und Anhang, Tabelle 15-13). Die wirtschaftlichen Faktoren können dann durch eine weitere Wirkungsgruppe ‚Wirtschaft‘ (siehe Kapitel 8.6.8), berücksichtigt werden.

Zu beachten ist, dass der Veränderungsgrad für die Wirkungsgruppe ‚Wirtschaft‘ als Gewichtung bezüglich der Alternative zu betrachten ist. Eine hohe Gewichtung bedeutet dabei eine entsprechend günstige Auswirkung im Vergleich zur definierten Alternative. Durch eine hohe Gewichtung ergibt sich auch ein hoher Wert für die Projektkosten in der Matrix. Dieser bedeutet nicht, dass hohe Projektkosten entstehen, sondern ist als gute Zielerreichung bezüg-

lich der Wirtschaftlichkeit im Vergleich mit der jeweiligen Alternative zu verstehen. Wäre die Maßnahme im Vergleich zur Alternative kostenneutral, ergibt sich ein Wert von Null für das Einzelziel ‚Projektkosten‘.

Die Zielgruppen und die jeweiligen Einzelziele, sowie die Wirkungsgruppen und Auswirkungen sind an die vorhandenen Daten der Projekte in Kapitel 7 angepasst. Da das jeweilige Monitoring der Projekte mit teilweise unterschiedlich gesetzten Schwerpunkten und durch verschiedene Methoden erfolgte, ergibt sich auch ein verschieden großer Umfang an zu bewertenden Ergebnissen sowie unterschiedliche Genauigkeiten hinsichtlich der Auswirkungen und Erkenntnisse. Bei erhöhter Genauigkeit und größerem Umfang der Daten wäre auch eine Anpassung der Matrix, beispielsweise durch eine genauere Abstufung des Veränderungsgrades oder der Stärke des Wirkungszusammenhangs, möglich. Die Matrix kann zudem durch den Anwender mit zusätzlichen Wirkungsgruppen bzw. einzelnen Auswirkungen erweitert werden, um die Prognose zu spezifizieren und besondere Gegebenheiten eines Gewässerabschnitts genauer zu berücksichtigen.

### 8.4 Anwendungsbeispiel

Um die Methodik der Matrix zu veranschaulichen, wird ein Anwendungsbeispiel mit den Variablen  $y_1$  bis  $y_{17}$  (= Veränderungsgrade) und  $x_{1_i}$  bis  $x_{12_i}$  (= Wirkungszusammenhänge) erläutert (siehe Tabelle 8-6).

Der Wert für die Auswirkung ‚Variabilität der Fließgeschwindigkeit‘ (A1 in Tabelle 8-6) - sowie analog dazu die Summen aller Auswirkungen (A2 bis A17) - wird dann durch folgende Formel berechnet:

$$Auswirkung_1 = y_1 * (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_{12}) \tag{8.1}$$

Die Summe des Einzelzieles ‚Strömungslenkung‘ (E1 in Tabelle 8-6) - sowie analog dazu die Summen aller Einzelziele (E2 bis E12) - errechnet sich wie folgt:

$$Einzelziel_1 = (y_1 * x_1) + (y_2 * x_{1_2}) + (y_3 * x_{1_3}) + \dots + (y_{17} * x_{1_{17}}) \tag{8.2}$$

Die Summe der Zielgruppe ‚Hydraulik‘ (Z1 in Tabelle 8-6) - sowie analog dazu die Summen der beiden anderen Zielgruppen (Z2 und Z3) - ergibt sich dann durch die Summe ihrer Einzelziele:

$$Zielgruppe_1 = (E1 + E2 + E3 + E4) \tag{8.3}$$

Tabelle 8-6: Matrix mit Variablen für Anwendungsbeispiel

Projekt:		Projektziele													
i,2,3 = Stärke des Wirkungszusammenhangs		Veränderungsgrad	Hydraulik				Hydromorphologie				Ökologie/Umwelt				Σ
			Strömungslenkung	Strömungsdiversität	Sedimenttransport	Massen - Impulsaustausch	Sohlstrukturierung	Uferstabilisierung/strukturierung	Tiefenvarianz	naturnahe Ausbildung	naturnahe Diversität und Abundanz Flora	naturnahe Diversität und Abundanz Fauna	ökologische Durchgängigkeit	Erholungswert	
Wirkungsgruppe	Auswirkung/Ausbildung		x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	A1
Hydraulik	Variabilität der Fließgeschwindigkeit	y1	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	A1
	Spiralströmung/Sekundärströmung	y2	x12	x22	x32	x42	x52	x62	x72	.....	.....	.....	.....	x122	A2
Sohle	Durchlässigkeit des Flussbettes	y3	x13	x23	.....	.....									A3
	Dynamik der Sohlenstruktur	y4	x14	:											A4
	Verbauungsgrad und -art der Sohle	y5	x15	:											A5
	Kolke	y6	x16												A6
	Anlandungen	y7	x17												A7
	Geschiebesortierung/Korngrößenverteilung	y8	:												A8
Ufer	Uferentlastung	y9	:												A9
	Dynamik des Uferbereiches	y10	:												A10
	Verbauungsgrad und -art des Uferbereichs	y11	:												A11
Hochwasser	Effektivität bei Hochwasser	y12	:												A12
	Beständigkeit	y13	:												A13
Landschaft	Eingliederung in das Landschaftsbild	y14	:												A14
Vegetation	Entwicklung der Pflanzengesellschaften	y15	:												A15
Fische	Fischbestände	y16	:												A16
	Habitats	y17	x117												A17
		Σ Einzelziele	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	
		Σ Zielgruppe	Z1				Z2				Z3				

## **8.5 Definition der Ziele und Auswirkungen**

In diesem Abschnitt werden die in den Kapiteln 8.1 und 8.2 vorgestellten Ziel- und Wirkungsgruppen sowie deren jeweilige Einzelziele und Auswirkungen erläutert und definiert. Dadurch sollen die Wirkungszusammenhänge und ausschlaggebende Faktoren verdeutlicht werden.

### **8.5.1 Hydraulik**

Die Zielgruppe Hydraulik enthält vier Einzelziele. Diese betreffen die Strömungsverhältnisse, den Massen-Impulsaustausch und den Geschiebetransport.

#### **Strömungslenkung**

Die Strömungslenkung ist ein elementares Ziel des Instream River Trainings (siehe Kapitel 3), womit weitere Ziele wie die Uferentlastung und die gezielte Herbeiführung von Anlandungs- und Abtragzonen im Fluss erreicht werden können. Eine langfristig zielführende und auch bei höheren Abflüssen hinsichtlich der jeweiligen Zielsetzung effektive Strömungslenkung ist entscheidend.

#### **Strömungsdiversität**

Die Differenziertheit der Strömung ist ein entscheidender Faktor für das Ökosystem eines Gewässers und damit entscheidend für die Entwicklung und den Erhalt von Flora und Fauna. Dabei sind die Ausbildung von Spiralströmungen, Rückstrom- und Stillwasserzonen sowie eine unterschiedliche Struktur des Wasserspiegelbildes bei mittleren Wasserständen ausschlaggebend. Die räumliche Differenziertheit der Strömung kann als Anzeichen für die bei allen Wasserständen hydraulisch, sedimentologisch und biologisch wirksame Gliederung und strukturelle Differenziertheit des Gewässerbettes betrachtet werden. Die Struktur des Gewässerbettes ist hinsichtlich des Sohlsubstrats und der sohlennahen Strömung für das gesamte Benthos und die Fischfauna von maßgebendem Einfluss auf die Breite des Biotopspektrums und des potentiellen biologischen Artenspektrums. Durch vielfältige Strömungsverhältnisse wird zudem der Sauerstoffeintrag gefördert und es bilden sich unterschiedliche Temperaturverhältnisse aus. Somit werden auch die physikalisch-chemischen Komponenten eines Fließgewässers beeinflusst (MEIER, 2012).

#### **Sedimenttransport**

Sedimente in Flüssen können auf zwei Arten transportiert werden. Entweder als Schwebstoff oder als Geschiebetransport. Ob ein bestimmtes Korn als Schwebstoff oder als Geschiebe transportiert wird, ist abhängig von den Korneigenschaften und der Hydraulik eines Gewässers. Dabei ist der Sedimenttransport eine Interaktion verschiedener, komplizierter Prozesse. Einwirkende Komponenten sind die Gerinnemorphologie sowie die hydrologischen und hydraulischen Charakteristika eines Gewässers. Die Wechselwirkung dieser Komponenten bildet letztendlich die Charakteristik eines Flussabschnitts hinsichtlich des Feststofftransports.

Sohlformen stellen in der Flussmorphologie wichtige Erscheinungsformen dar, die als Transportkörper den Sedimenttransport wesentlich beeinflussen. Viele Gewässer haben einen beeinträchtigten Geschiebetransport. Dadurch ergibt sich ein Ungleichgewicht und in weiterer Folge Sohlenerosion oder Anlandungstendenzen. Um durch eine flussbauliche Maßnahme nicht noch eine weitere Beeinträchtigung der natürlichen Transportkapazität zu schaffen, ist die Ermöglichung eines Geschiebetransports, der der geomorphologischen Charakteristik des Gewässers entspricht, ein wichtiges Ziel zur erfolgreichen Umsetzung einer naturnahen flussbaulichen Maßnahme (TUROWSKI, 2011).

### **Massen-Impulsaustausch**

Durch einen Massen-Impulsaustausch wird kinetische Energie durch Reibung an der Flusssohle, Turbulenz, Wasserwirbelbildung, Erosionsvorgänge sowie durch den Geschiebetransport umgewandelt (vgl. MOLNAR, et al., 2011). Je nach flussbaulicher Maßnahme ergibt sich dadurch eine unterschiedliche Ausbildung der Sohlmorphologie, der Fließgeschwindigkeitsverteilung und der Strömungsverhältnisse. In vielen Flussabschnitten hat dies Auswirkungen auf die ökologische Durchgängigkeit und die Ablagerung eingetragener Sedimente. Durch eine Verringerung der Fließgeschwindigkeit kann die Gewässersohle stabilisiert und die ökologische Durchgängigkeit verbessert werden. Bei der Überwindung von Gefällstufen ist die Energiedissipation des Wassers ein wichtiger Faktor (siehe Kapitel 6.3).

## **8.5.2 Hydromorphologie**

Durch den Begriff „Hydromorphologie“ ist die Gesamtheit der strukturellen Gegebenheiten im und am Gewässer umfasst. Dies beinhaltet die eigentliche Gewässermorphologie, flussbauliche Maßnahmen, das Abflussverhalten in seiner räumlichen und zeitlichen Ausdehnung sowie die Beschaffenheit des angrenzenden Umlands (Bebauungen, Landnutzung, Vegetation) (vgl. BUWAL, 1998). In der Matrix werden vier wesentliche Bestandteile der Hydromorphologie behandelt.

### **Sohlstrukturierung**

In natürlichen Gewässern bilden sich sohlmorphologische Strukturen durch Sohlveränderungen im Hochwasserfall. Bei gegebener Bewegungsmöglichkeit des Gewässers wird so durch das vorhandene Energieniveau (Abfluss, Feststofftransport) die Sohlmorphologie ausgebildet. Nach Eingriffen in Gewässer ist diese Möglichkeit oft nicht mehr gegeben. Im Zusammenhang mit der Ziel/Auswirkung – Matrix wird für das Einzelziel ‚Sohlstrukturierung‘ die Möglichkeit verstanden, durch eine flussbauliche Maßnahme dynamische Prozesse und eine Verbesserung der Sohlstruktur herbeizuführen. Im besten Fall ist diese von der gleichen bzw. einer vergleichbaren Beschaffenheit wie die Sohlstruktur in einem unveränderten Abschnitt ähnlicher Verhältnisse, oder bei Abwesenheit störender Einflüsse. Durch eine große

Vielfalt an Strukturen der Sohle ergibt sich auch eine vielfältige Biozönose und unterschiedliche hydraulische Bedingungen (Fließtiefe, Fließgeschwindigkeit), die verschiedene Habitatstrukturen entstehen lassen.

### **Uferstabilisierung/strukturierung**

Da mit den meisten flussbaulichen Maßnahmen eine Uferstabilisierung und -strukturierung einher gehen, oder dies primäres Ziel ist, muss beachtet werden, dass die Ufer auch nach dem Eingriff ihre wichtige Funktion für die Gewässerökologie - insbesondere für die Uferfauna und die Ufervegetation - behalten. Uferzonen stellen einen Land/Wasser-Übergang dar, und sind damit sowohl für den terrestrischen als auch für den aquatischen Lebensraum von besonderer Bedeutung. Wichtig ist der Stoffaustausch zwischen Gewässer und Land, wodurch die laterale Vernetzung gewährleistet wird. Durch den Eintrag von Falllaub durch Ufergehölze wird der Stoffhaushalt von Gewässern mitbestimmt. Maßgebend ist neben der Stabilisierung eine gewässergerechte Beschaffenheit des Ufers bezüglich Material, Bewuchs und Struktur (vgl. WOOLSEY, et al., 2008; JUNGWIRTH, 2006).

### **Tiefenvarianz**

Mit einer ausgeprägten Tiefenvarianz geht die Variabilität verschiedener hydraulischer Parameter wie Abflusstiefe, Fließgeschwindigkeit oder Wasserspiegelbreite einher. Die flussökologische Qualität ist von dieser Variabilität maßgeblich abhängig. Die Entwicklung von unterschiedlichen Habitaten für wassergebundene Lebewesen wird durch eine ausgeprägte Tiefenvarianz gefördert. Laut JUNGWIRTH (2006) ist belegt, dass Fließgewässer mit variablen Tiefen- und Breitenverhältnissen im Vergleich zu strukturarmen Abschnitten durchwegs höhere Fischartenzahlen und Diversität der Fischbestände aufweisen. Ein naturnaher Flussquerschnitt ist durch verschiedene Tiefen gekennzeichnet, die sich durch Kolke, Bänke (lokale Sedimentablagerungen, die bei Niederwasser nicht überströmt werden), Flachwasserbereiche und die Ausbildung von Becken und Schnellen ergeben. Eine je Flussgebietszone typische Ausbildung der Tiefenvarianz ist anzustreben. So ist z.B. die Bildung von Stufen-Becken-Sequenzen eine natürliche Sohlensausbildung in steilen Gewässern (siehe Kapitel 6.1).

### **Naturnahe Ausbildung**

Ziel ist es, mit der jeweiligen flussbaulichen Maßnahme die ursprünglichen Verhältnisse des Flusssystems zu beachten und zu verbessern. Bei der Wahl des Baumaterials, dem Verbauungsgrad der Sohle und der Ufer sowie der Ausbildung der maßgebenden hydraulischen Parameter ist darauf zu achten, dass eine ortstypische Entwicklung der hydromorphologischen und ökologischen Parameter möglich ist. Zur Beurteilung dieser kann auf Referenzgewässerstrecken Bezug genommen werden, die nicht durch anthropogene Eingriffe beeinflusst sind und dadurch die natürlichen Entwicklungsmöglichkeiten und typischen Ausstat-

tungsmerkmale des zu betrachtenden Fließgewässers weitestgehend erhalten geblieben sind.

### **8.5.3 Ökologie/Umwelt**

Die Einzelziele der Zielgruppe Ökologie sind die Verbesserung der Lebensbedingungen von Flora und Fauna durch den Eingriff, sowie die Gewährleistung der ökologischen Durchgängigkeit der flussbaulichen Maßnahme und damit einen angemessenen Erholungswert durch die Umwelt im Gewässerabschnitt zu schaffen.

#### **Naturnahe Diversität und Abundanz Flora**

Ein vielfältiger Bestand und eine hohe Populationsdichte der Flora sind in vielerlei Hinsicht wünschenswert. Durch die Vielfalt von Pflanzenarten ergeben sich gute Lebensbedingungen für die Fauna und das gesamte Ökosystem. Der in Kapitel 8.5.2 beschriebene Stoffaustausch zwischen Gewässer und Land kann nur mit einer ausgeprägten Ufervegetation funktionieren. Ziel ist es, die Maßnahme so zu verwirklichen, dass naturnahe Bedingungen für die ortstypische Flora vorhanden sind. Der Verbauungsgrad und die Beschaffenheit der Ufer sollte eine Entwicklung von Pflanzengesellschaften ermöglichen. Dies ist auch deshalb förderlich für das Flussökosystem, da sich durch die Vegetation im Uferbereich des Flusses Beschattungsbereiche bilden, durch welche die Wassertemperatur beeinflusst wird. Für manche Fischarten wie die Bachforelle sind niedrigere Wassertemperaturen ausschlaggebende Bedingungen für den Lebens- und Fortpflanzungsraum (JUNGWIRTH, 2006).

#### **Naturnahe Diversität und Abundanz Fauna**

Die Diversität und Abundanz der Fauna in einem Gewässersystem hängt von mehreren Faktoren ab. Die hydraulischen Parameter Fließtiefe, Geschwindigkeitsverteilung und Strömungsdiversität sowie die Durchlässigkeit der Sohle und deren Struktur sind für die Ausbildung und Entwicklung einer vielfältigen Fauna maßgebend. Beim Eingriff in ein Flussökosystem ist daher ein ökologisches Ziel, den Erhalt bzw. die Entwicklung von standortgerechten wassergebundenen Lebewesen durch die Aufwertung des aquatischen Habitats zu fördern. Je nach Fischregion sind unterschiedlichen Anforderungen gerecht zu werden.

#### **Ökologische Durchgängigkeit**

Überall im Gewässer findet ein ständiger auf- und abwärts gerichteter Austausch von Organismen statt. Viele Fischarten suchen zum Laichen, Überwintern oder zur Nahrungsaufnahme jeweils verschiedene Orte in einem Gewässersystem auf. Auch Wirbellose sind auf eine uneingeschränkte Auf- und Abwanderung angewiesen. Durchgängigkeitsstörungen haben daher einen großen Einfluss auf die Ausbreitung von Wassertieren im Fließgewässerlängsverlauf (vgl. BUWAL, 1998). Durch eine entsprechende Dimensionierung der Maßnahme sind auch hier die jeweiligen Anforderungen der Fischregion zu beachten (siehe auch Kapitel

6.3). Ist die ökologische Durchgängigkeit nicht vorhanden, wie beispielsweise durch Absturzbauwerke, bringt dies eine Kontinuumsunterbrechung mit sich. Dies wirkt auch einschränkend auf die Sohdynamik. Die Wiederherstellung bzw. Verbesserung der ökologischen Durchgängigkeit ist daher ein elementares Ziel einer naturnahen flussbaulichen Maßnahme.

### **Erholungswert**

Um durch einen Eingriff auch den Erholungswert zu steigern, ist darauf zu achten, dass Nutzungsmöglichkeiten für Erholung und Freizeit erhalten oder geschaffen werden. Eine intakte Flora und Fauna, die durch einen gelungenen Eingriff entstehen oder erhalten werden kann, sind für das Landschaftsbild und Freizeitaktivitäten wie Angeln oder Wandern wichtige Bedingungen. Je vielfältiger die Nutzungsmöglichkeiten, und je ausgeprägter die Naturnähe eines Gewässerabschnittes, desto größer ist der Erholungswert.

### **8.5.4 Projektkosten**

Das wirtschaftliche Ziel einer flussbaulichen Maßnahme ist es, durch ein geeignetes Verfahren die Gesamtprojektkosten gering zu halten. Dazu zählen die Errichtung, die Kosten für Unterhaltung und Wartung nach dem Einbau, die Materialkosten sowie die benötigte Zeit für den Einbau und Unterhalt. Die Erreichung geringer Projektkosten hat Einfluss auf die Akzeptanz bei Beteiligten und der Bevölkerung. Je höher die Akzeptanz für die jeweilige Maßnahme, umso leichter wird in Zukunft mit einer Umsetzbarkeit gleicher oder ähnlicher Projekte in derselben Region zu rechnen sein. Das Ziel ‚Projektkosten‘ ist in der erweiterten Ziel/Auswirkung – Matrix (siehe Tabelle 15-13, Anhang) enthalten. Die bestimmenden Kostenfaktoren sind in Abschnitt 8.6.8 beschrieben.

## **8.6 Auswirkungen**

Die nachfolgend beschriebenen Auswirkungen bilden sich je nach Maßnahme unterschiedlich stark aus und ergeben verschiedene Wirkungszusammenhänge. Sie sind in 7 Wirkungsgruppen gegliedert.

### **8.6.1 Wirkungsgruppe Hydraulik**

Die Wirkungsgruppe Hydraulik und deren einzelne Auswirkungen sind anhand der in den vorangegangenen Kapiteln behandelten hydraulischen Wirkungsweisen der Maßnahmen des Instream River Training und unter Berücksichtigung der Qualitätskomponenten der EU-WRRL festgelegt worden.

#### **Fließgeschwindigkeitsverteilung**

Die Fließgeschwindigkeitsverteilung ist ein essentieller Parameter hinsichtlich der Habitatausstattung für Benthos- und Fischarten. Durch die Verteilung der Fließgeschwindigkeit wird der Geschiebehalt (Geschiebetransportkapazität) direkt beeinflusst und damit auch die Verfügbarkeit unterschiedlicher Habitats, sowie die Struktur und Funktionalität der aquatischen Flora und Fauna (WOOLSEY, et al., 2008; JUNGWIRTH, 2006). Je nach Zielsetzung der Maßnahme kann eine bestimmte Fließgeschwindigkeitsverteilung erwünscht sein (siehe Kapitel 4.3, 5.3 und 6.3).

#### **Sekundärströmung/Spiralströmung**

Sekundärströmungen sowie durch deren gezielte Induzierung die Ausbildung von Spiralströmungen, sind Grundelemente für die hydraulische Wirkungsweise des Instream River Trainings. Deren effektive Ausbildung in Abhängigkeit der jeweiligen Abflusshöhe und der speziellen Gegebenheiten eines Flussabschnitts ist je Zielsetzung eine wichtige Voraussetzung. Eine erfolgreiche Maßnahme, und damit je nach Gestaltungselement die Erreichung der Ziele der Strömungslenkung, der Uferstabilisierung, der Strömungsdiversität und des Massen-Impulsaustausches stehen mit der Induzierung von Sekundärströmungen sowie Spiralströmungen in direktem Zusammenhang (siehe Kapitel 3).

## **8.6.2 Wirkungsgruppe Sohle**

Die Wirkungsgruppe Sohle ist die größte Wirkungsgruppe. Sie beinhaltet sechs Auswirkungen, die in engem Zusammenhang stehen. Die Sohle kann gewissermaßen als die Identität eines Flusses bezeichnet werden, da sich daraus wichtige Faktoren zur Beurteilung des Zustands und zur Untersuchung des Gewässers ableiten lassen.

### **Durchlässigkeit des Flussbettes**

Eine gute Durchlässigkeit des Flussbettes, d.h. eine starke vertikale Vernetzung Fluss/Grundwasser ist vor allem in voralpinen Schwemm- und Schotterebenen für das Makrozoobenthos erwünscht. Dadurch wird vor allem die wichtige Infiltration von Flusswasser ins Grundwasser ermöglicht. So kann auch dem Ziel der EU-WRRL, einen guten mengenmäßigen Zustand der Grundwasserkörper zu gewährleisten, entsprochen werden. Der Zustand des Grundwasserkörpers kann sich auf die Qualität der damit verbundenen Oberflächengewässer und Landökosysteme auswirken (WOOLSEY, et al., 2008).

### **Dynamik der Sohlenstruktur**

Eine flussbauliche Maßnahme sollte eine dynamische Entwicklung der Sohlenstruktur ermöglichen und fördern, durch welche sich - wie für ein natürliches Gewässer typisch - im Hochwasserfall morphologische Strukturen immer wieder neu ausbilden. Deren Veränderung mit der Zeit ist ein Indikator für die morphologische Dynamik des Gewässers und für die Regenerationsfähigkeit des Ökosystems. Zusätzlich werden Prozesse wie die innere Kolmation, durch welchen bei der Infiltration von Wasser in die Gewässersohle Schwebstoffpartikel ausfiltriert werden und dabei den Porenraum der Gewässersohle verstopfen, verringert bzw. aufgehoben. Dadurch entsteht eine Verfestigung des Substrats, was zu einer Reduktion der Sauerstoffzufuhr in der Gewässersohle führt und verschiedene ökologische Prozesse stark beeinträchtigt werden. Bei einer dynamischen Sohlstruktur wird die Gewässersohle bei Hochwasserabfluss aufgerissen und bewegt. So werden die abgelagerten Feinpartikel weggeschwemmt (vgl. WOOLSEY, et al., 2008).

### **Verbauungsgrad und - art der Sohle**

Wird die Sohle flächenhaft verbaut, bewirkt dies einen schwerwiegenden Eingriff in die ökologische Funktionsfähigkeit eines Gewässers. Die vorher genannten Auswirkungen werden dadurch beeinträchtigt, und der lebenswichtige Übergangsbereich von Fluss- und Grundwasser (Hyporheal) geht dadurch verloren. Bei einer naturnahen flussbaulichen Maßnahme sollte die Verbauung und damit der Eingriff so gering wie möglich gehalten werden. Dabei sind die verwendeten Materialien sowie die verbaute Fläche ausschlaggebend. Es soll weiterhin die Geschiebeumlagerung, sowie die vertikale Vernetzung und somit eine naturnahe Ausbildung ermöglicht werden ( vgl. WOOLSEY, et al., 2008).

### **Kolke**

Zu natürlichen Formen von Sohlstrukturen gehören Kolke und Becken. Kolke sind lokale Erosionsformen in der Sohle, die durch Sekundärströmungen und Wirbel oder durch Abstürze gebildet werden. Becken sind größere Kolklöcher im Anschluss an eine Stufe. Je nach Typ des Fließgewässers und dessen Gefälle sind verschiedene Abfolgen und Ausbildungen der Formen möglich. So können Furten und Kolke zusammen eine Furt-Kolk-Sequenz („riffle-pool-sequence“) bei flacheren Gewässern (Gefälle  $J < 3 \%$ ) bilden, und sich Stufen-Becken-Sequenzen („step-pool-sequences“) in steileren Gewässern (Gefälle  $J > 1 \%$ ) ausbilden. Ein vielfältiges Vorhandensein von unterschiedlichen Ausbildungen von Kolken und Becken begünstigt die Ausbildung von Fischhabitaten und kommt einer naturnahen Ausbildung nahe ( vgl. WOOLSEY, et al., 2008).

### **Anlandungen**

Die Bildung und der Abtrag von Anlandungen sind speziell in einer Flusskrümmung wichtig. Wie in Kapitel 4.4.1 erwähnt, kommt es am Innenufer einer Flusskrümmung zu Anlandungen. Durch eine erfolgreiche Strömungsmodifizierung der flussbaulichen Maßnahme wird erzielt, diese abzutragen und am Außenufer Anlandungen zu bilden. Dadurch wird das Ufer entlastet und kann naturnah stabilisiert werden. Die gezielte Herbeiführung bzw. Verhinderung von Anlandungen sollte durch eine flussbauliche Maßnahme nach dem Prinzip des Instream River Training ermöglicht werden.

### **Geschiebesortierung/Korngrößenverteilung**

Durch wechselnde Abflussbedingungen ergeben sich unterschiedliche Umlagerungsprozesse des Sohlsubstrats, was an der Korngrößenverteilung erkennbar ist. Heterogene Substratverhältnisse spiegeln bei intaktem Geschiebehaushalt die Morphologie der Sohle und die Vielfalt an Habitaten wider. Bei einer relativ gleichmäßigen Verteilung aller Substratklassen liegt eine gute Fließgeschwindigkeitsverteilung und Strömungsdiversität vor, durch welche sich vielfältige Sohlstrukturen und damit gute Lebensbedingungen ergeben (vgl. WIRTZ, 2004).

### **8.6.3 Wirkungsgruppe Ufer**

Die Beschaffenheit des Ufers und der direkt an das Gewässer angrenzende Bereiche hat für die Gewässerökologie eine zentrale Bedeutung. Insbesondere gilt dies für die Ufervegetation und die Wassertiere, die diesen Bereich als Lebensraum vorziehen. Der Stoffhaushalt des Gewässers wird bei Vorhandensein von Ufervegetation und -gehölze durch Eintrag von Falllaub und dem Stoffaustausch bei Hochwasserabfluss und Überflutungen mitbestimmt. Gleichzeitig wird die Wassertemperatur durch Beschattung des Gewässers reduziert (siehe Kapitel 8.5.3).

#### **Uferentlastung**

Die Uferentlastung als anzustrebende Auswirkung einer naturnahen Maßnahme ist wichtig um das Ziel der naturnahen Uferstabilisierung und -strukturierung zu gewährleisten. Dabei ist die erfolgreiche Strömunglenkung sowie die Bildung von Anlandungen und strömungsberuhigten Zonen ausschlaggebend.

#### **Dynamik des Uferbereiches**

Die Veränderung der Uferstruktur mit der Zeit ist ein Indikator für die morphologische Dynamik des Gewässers und für die Regenerationsfähigkeit des Ökosystems. Das Ufer bietet Habitate für spezialisierte Lebewesen an Land und im Wasser (Vögel, Reptilien, Amphibien, Fische) und erfüllt dadurch eine wichtige Funktion bei der Vernetzung von terrestrischem und aquatischem Ökosystem. Wichtig bei der Umsetzung einer Naturnahen Maßnahme ist es daher, die Dynamik des Uferbereiches zu erhalten. Dies geht mit einer effektiven Strömunglenkung einher, die die Ufer entlastet und im besten Fall den harten Verbau vermeidbar macht (vgl. WOOLSEY, et al., 2008).

#### **Verbauungsgrad- und art des Uferbereiches**

Die Verbauung des Uferbereiches und speziell des Böschungfußes verhindert das Ausbilden von Schutz- und Lebensbereichen für verschiedenste Arten von Wasser – aber auch Landtieren. Neben den fehlenden Unterstandsmöglichkeiten werden die Wechselwirkungen mit dem Grundwasser gestört. Der Verbauungsgrad des Uferbereichs sollte daher gering sein. Bei der Notwendigkeit einer zusätzlichen Sicherung der Ufer sollte dies durch eine biogene maschinelle Ufersicherung erfolgen (vgl. BUWAL, 1998).

### **8.6.4 Wirkungsgruppe Hochwasser**

Die Wirkungsgruppe Hochwasser beinhaltet die beiden Auswirkungen ‚Effektivität bei Hochwasser‘ und ‚Beständigkeit‘. Damit werden die Effektivität der hydraulischen Wirkungsweise und die Beständigkeit der Bauweise der Maßnahme bei Hochwasserabflüssen in Betracht gezogen.

#### **Effektivität bei Hochwasser**

Die Effektivität bei Hochwasser soll in diesem Zusammenhang das Erreichen der gesetzten Ziele einer Maßnahme im Hochwasserfall durch die hydraulische bedeuten. Die definierten Ziele können je nach Maßnahme z.B. spezielle Geschiebeverlagerungen, Uferentlastung sowie Schutz- und Retentionswirkung sein.

#### **Beständigkeit**

Die Effektivität bei Hochwasser setzt die Beständigkeit bei Hochwasser voraus. Dabei ist der entscheidende Faktor die Bauweise. Welcher jährliche Hochwasserabfluss maßgebend ist, ist abhängig von der Zielsetzung der Maßnahme und den speziellen Gegebenheiten des Gewässers.

### **8.6.5 Wirkungsgruppe Landschaft**

Die Wirkungsgruppe Landschaft umfasst nur eine Auswirkung. Diese soll die Auswirkungen auf die Landschaft in zusammenfassender Weise enthalten, da der Schwerpunkt der Matrix auf den hydraulischen und ökomorphologischen Auswirkungen liegt. Die Matrix kann jedoch auch hier durch spezifische Auswirkungen ergänzt werden, um die Prognose zu spezifizieren.

#### **Eingliederung in das Landschaftsbild**

Bei einer naturnahen Maßnahme sollte sich dessen Gesamterscheinung gut in das vorherrschende Landschaftsbild eingliedern. Dabei sind als ästhetische Auswirkungen unter anderen das variable Strömungsbild, eine breite Fließgeschwindigkeitsverteilung sowie eine naturnahe Uferstruktur zu nennen. Die Beurteilung ist jedoch stark vom jeweiligen Standort abhängig und besitzt einen gewissen subjektiven Charakter.

### **8.6.6 Wirkungsgruppe Vegetation**

Das Vorkommen und die Häufigkeit von auentypischen Pflanzenarten sind Indikatoren für die Dynamik eines Flusslaufes.

#### **Entwicklung der Pflanzengesellschaften**

Zunahmen der Wuchshöhen von Pflanzen sowie die Beständigkeit und Vergrößerung der Vielfalt von Pflanzengesellschaften in den gewässernahen Bereichen durch die Maßnahme sind Anzeichen für eine gute Zielerreichung des Einzelziels der hohen Diversität und Abundanz der Flora. Desweiteren wird auf die positiven Auswirkungen auf die gewässertypspezifische Fauna in Kapitel 8.5.3 verwiesen.

### **8.6.7 Wirkungsgruppe Fische**

Weitere Indikatoren für ein intaktes flussökologisches System sind der Aufbau und die Zusammensetzung einer Gemeinschaft von Fischarten. Aus der Diversität einer Fischgemeinschaft lässt sich erkennen, wie weit das beobachtete Artengefüge den standort- bzw. gewässertypischen Gegebenheiten entspricht (vgl. WOOLSEY, et al., 2008). Mit der Wirkungsgruppe Fische sollen auch die Auswirkungen auf das Benthos verstanden werden. Auch hier sei vermerkt, dass die Matrix noch spezifiziert werden kann.

#### **Fischpopulationen**

Nehmen die Fischpopulationen im Zuge einer naturnahen Maßnahme zu, hat sich eine verbesserte Flussökologie entwickelt.

#### **Unterstände und Habitate**

Die Habitat- und Unterstandverfügbarkeit ist ein ausschlaggebender Faktor für die Fische in einem Gewässer. Bilden sich durch die Maßnahme eine für verschiedenste Habitatbedingungen günstige Sohlenstruktur aus, können sich Fischpopulationen entwickeln. Die gewünschte Ausbildung von Unterständen und Habitaten ist nicht nur auf jene, die für die Erfordernisse von Fischen wichtig sind, beschränkt. Ein intaktes flussökologisches System bietet auch für Kleinstlebewesen den notwendigen Lebensraum.

### **8.6.8 Wirkungsgruppe Wirtschaft**

Mit dieser Wirkungsgruppe können die ökonomischen Auswirkungen sowie deren Wirkungszusammenhänge durch die Ziel/Auswirkung – Matrix mit der Erweiterung der Projektkosten berücksichtigt werden. Dabei ist der Veränderungsgrad für diese Wirkungsgruppe als Gewichtung zu verstehen, die im Vergleich mit einer flussbaulichen Alternative bzw. der Entscheidung, keine Maßnahme umzusetzen, gewählt werden soll (siehe Kapitel 8.3.1).

#### **Aufwand/Errichtung**

Ist der Aufwand für den Einbau der Maßnahme gering, fallen auch die Errichtungskosten dementsprechend gering aus. Dabei sind die benötigten Gerätschaften, die Anzahl an Mit- und Facharbeitern, die Komplexität der Maßnahme sowie mögliche Erfordernisse wie das zwischenzeitliche Umleiten des Flusses oder die Trockenlegung des Flussbettes maßgebend. Die Art und Weise sowie die Dauer der Errichtung hat wiederum Einfluss auf die Belastung des Flusssystems. Dies wirkt sich auf den Umfang von zusätzlichen Kosten beispielsweise für Fischereientschädigungen aus.

#### **Wartung/Unterhalt**

Die Notwendigkeit bzw. das Ausmaß von Wartungs- und Unterhaltsarbeiten sind von der Bauweise der Maßnahme abhängig. Bei hoher Beständigkeit und Effektivität z.B. bei Hochwasserereignissen können die Kosten für Wartung und Unterhalt gering gehalten werden. Kann durch die Maßnahme günstige Auswirkungen bezüglich des Geschiebehaushalts und damit des Uferschutzes bzw. Stabilisierung der Gewässersohle erreicht werden, können Geschiebeentnahmen und Baggerungen reduziert werden oder zur Gänze entfallen.

#### **Material/Bauweise**

Die Wahl des Materials und dessen benötigte Menge wirken sich direkt auf die Projektkosten aus. Ziel des naturnahen Flussbaues ist es, Materialien zu verwenden, die an das flussspezifische Sohlsubstrat angepasst sind. Das Material und die Komplexität der Bauweise stehen dabei im Zusammenhang mit dem Aufwand und der Errichtung sowie mit dem Faktor Zeit.

#### **Zeit**

Mit einer kurzen Dauer des Einbaus können auch die Kosten gering gehalten werden. Zudem wirkt sich ein kurzer Einbau positiv auf die Akzeptanz der Maßnahme auf. Eine mögliche Beeinträchtigung der Erholungs- und Freizeitnutzung des betroffenen Abschnittes hängt sowohl von der Dauer des Einbaus als auch von der Dauer bis zur Wiederherstellung oder Verbesserung der jeweiligen Nutzbarkeit, bzw. bis zum Erreichen des gewünschten Zustands und damit vom gesamten Umfang einer Maßnahme ab.

## 9 Auswertung

Die in Kapitel 7 vorgestellten flussbaulichen Projekte nach dem Prinzip des Instream River Training wurden mit Anwendung der Ziel/Auswirkung-Matrix (siehe Kapitel 8) ausgewertet. Dabei sind die verschiedenen Projekte zuerst einzeln ausgewertet worden, um dann für das jeweilige Strukturelement durch die Bildung des arithmetischen Mittels der Ergebnisse, eine Gesamtauswertung zu erhalten. Die Wirkungszusammenhänge der einzelnen Matrizen wurden teilweise auf spezielle Gegebenheiten der Flussabschnitte angepasst. Dadurch soll eine von den Projektzielen und den räumlichen Unterschieden unabhängige, und damit aussagekräftigere Prognose ermöglicht werden.

Da für die Auswertung der flussbaulichen Projekte mit der durch die Projektkosten erweiterte Matrix (siehe Anhang, Tabelle 15-13) eine genaue Definition einer Alternative notwendig ist, wurde jeweils die Matrix ohne die Berücksichtigung der Projektkosten herangezogen. Eine ökonomische Bewertung der Strukturelemente des Instream River Training erfolgt in Abschnitt 9.5.

In weiterer Folge werden die Gesamtauswertungen der Pendelrampe, des Strömungstrichters und der Sohlgrundlenkbuhnen erläutert. Des Weiteren wird eine Gegenüberstellung der Strukturelemente hinsichtlich der Zielerreichung und den Einsatzmöglichkeiten gegeben. Die Auswertungen der einzelnen Projekte befinden sich im Anhang.

## 9.1 Sohlgrundlenkbuhnen

Tabelle 9-1 gibt eine Übersicht der Zielerreichung der Sohlgrundlenkbuhnen. Es wird ersichtlich, dass durch eine flussbauliche Maßnahme mit dem Einbau von Sohlgrundlenkbuhnen eine sehr effiziente Strömungslenkung sowie eine gute Uferstabilisierung und –strukturierung erreicht werden kann. Zudem kann eine naturnahe Diversität und Abundanz der Fauna gewährleistet werden.

Tabelle 9-1: Übersicht Zielerreichung Sohlgrundlenkbuhnen

### Übersicht Zielerreichung Sohlgrundlenkbuhnen

Hydraulik				Hydromorphologie				Ökologie			
Strömungslenkung	Strömungsdiversität	Sedimenttransport	Massen-Impulsaustausch	Sohlstrukturierung	Uferstabilisierung/strukturierung	Tiefenvarianz	naturnahe Ausbildung	naturnahe Diversität und Abundanz Flora	naturnahe Diversität und Abundanz Fauna	ökologische Durchgängigkeit	Erholungswert
57	43	53	51	44	54	43	52	26	67	48	50
204				193				190			

-  = Maximalwert Einzelziel in Zielgruppe  
 = Maximalwert Zielgruppe

Die Erreichung dieser Einzelziele steht in engem Zusammenhang mit den maßgebenden Auswirkungen aus Tabelle 9-2. Die hydraulischen Ziele können durch die Sohlgrundlenkbuhnen relativ betrachtet am effektivsten umgesetzt werden. Da in zwei der drei vorgestellten Projekte das primäre Ziel die Uferentlastung und –strukturierung durch die Strömungslenkung ist, ergaben sich diesbezüglich hohe positive Veränderungsgrade (siehe Tabelle 15-1, Tabelle 15-2 und Tabelle 15-3, Anhang).

Die Auswirkungen der Sohlgrundlenkbuhnen auf die Hydraulik haben mit allen hydraulischen und hydromorphologischen Einzelzielen einen engen Wirkungszusammenhang (siehe Tabelle 9-3). Durch die Methodik der Ziel/Auswirkung- Matrix ergibt sich so der höchste Wert für die Zielgruppe Hydraulik. Eine gute Zielerreichung hat sich zudem für das Einzelziel Sedi-

menttransport ergeben. Dies zeigt auch die Einsatzmöglichkeit von Sohlgrundlenkbuhnen zur Verbesserung des Geschiebetransports, wie dies bei der Maßnahme in der Mürz flussab des Kraftwerks Trieb der Fall ist (siehe Kapitel 7.2).

Bei der Betrachtung der maßgebenden Auswirkungen wird ersichtlich, dass die Wirkungsgruppen Hydraulik und Sohle ausschlaggebend sind. Durch die Induzierung von Sekundärströmungen werden Spiralströmungen ausgebildet, die eine wirkungsvolle Strömunglenkung ermöglichen und zu einem guten Massen-Impulsaustausch beitragen. Zusammen mit der großen Variabilität der Fließgeschwindigkeit ergibt sich die Bildung von Kolken und Anlandungen. Diese können je nach Gegebenheiten eines Flussabschnitts durch spezielle Anordnungen der Sohlgrundlenkbuhnen gezielt lokal hervorgerufen bzw. verhindert werden. Dadurch bilden sich eine dynamische Sohlenstruktur und wertvolle Unterstände und Habitate für Fische und Kleinstlebewesen aus, wodurch der Gewässerabschnitt ökologisch aufgewertet wird. Durch die Strömunglenkung werden zudem die Ufer entlastet und die Möglichkeit gegeben, diese gewässerspezifisch zu strukturieren. Auch kann je nach Ziel der Maßnahme eine ausreichende Effektivität bei Hochwasser gewährleistet werden.

Tabelle 9-2: Übersicht der maßgebenden Auswirkungen der Sohlgrundlenkbuhnen

### Übersicht der maßgebenden Auswirkungen

Hydraulik	Variabilität der Fließgeschwindigkeit	<b>83</b>
Hydraulik	Spiralströmung/Sekundärströmung	<b>58</b>
Sohle	Kolke	<b>70</b>
Sohle	Anlandungen	<b>80</b>
Sohle	Dynamik der Sohlenstruktur	<b>42</b>
Hochwasser	Effektivität bei Hochwasser	<b>31</b>

Tabelle 9-3 zeigt die Gesamtauswertung der Pendelrampe mit der Ziel/Auswirkung-Matrix. Grau hinterlegt sind die ausschlaggebenden Zusammenhänge, die sich zwischen den Auswirkungen und den Einzelzielen ergeben haben. Zusätzlich sind jeweils diejenigen Einzelziele und Auswirkungen markiert, für die sich die höchsten Werte ergeben haben.

Tabelle 9-3: Gesamtauswertung Sohlgrundlenkbuhnen

Sohlgrundlenkbuhnen		Ziele										Σ	
		Hydraulik			Hydromorphologie			Ökologie					
Wirkungsgruppe	Auswirkung/Ausbildung	Strömungslenkung	Strömungsdiversität	Sedimenttransport	Massen - Impulsaustausch	Sohlstrukturierung	Uferstabilisierung/strukturierung	Tiefenvarianz	naturnahe Ausbildung	naturnahe Diversität und Abundanz Flora	naturnahe Diversität und Abundanz Fauna	ökologische Durchgängigkeit	Erholungswert
		Hydraulik	Variabilität der Fließgeschwindigkeit Spiralströmung/Sekundärströmung	3	3	2	2	2	2	2	2	1	3
3	3			2	3	2	3	3	1	1	1	1	1
Sohle	Durchlässigkeit des Flussbettes Dynamik der Sohlenstruktur Verbauungsgrad und -art der Sohle Kolke Anlandungen Geschiebesortierung/Korngrößenverteilung	2	2	3	2	2	2	3	2	2	2	2	2
		2	2	2	2	2	2	2	1	3	3	2	2
		3	2	2	2	2	1	3	2	3	3	2	2
		3	2	2	2	3	3	3	2	3	3	2	1
		1	3	3	1	2	2	1	2	3	3	2	1
Ufer	Uferentlastung Dynamik des Uferbereiches Verbauungsgrad und -art des Uferbereichs	1	1	2	1	1	3	3	2	3	2	1	2
		3	2	2	2	3	3	2	2	3	2	2	2
		3	2	1	1	1	3	1	2	3	2	1	2
Hochwasser	Effektivität bei Hochwasser	3	2	2	3	1	2	2	2	2	2	2	31
Landschaft	Beständigkeit	3	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	19
		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7
Vegetation	Eingliederung in das Landschaftsbild Entwicklung der Pflanzengesellschaften	1	1	1	1	1	2	3	3	3	1	1	3
		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22
Fische	Fischbestände Unterstände und Habitate	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3
		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	20
Σ Einzelziele		57	43	53	51	44	54	43	52	26	67	48	50
Σ Zielgruppe		204			193			190					

### 9.1.1 Resümee

Sohlgrundlenkbuhnen gewährleisten vor allem eine sehr gute Erreichung der hydraulischen Ziele gemäß der Definition in Abschnitt 8.5. Dadurch wird dem Qualitätsziel der EU-WRRL hinsichtlich der hydromorphologischen Komponenten und insbesondere der Bedingungen für den Wasserhaushalt eines Fließgewässers (siehe Abschnitt 2.1) entsprochen. Da die Strömungslenkung - bei richtiger Dimensionierung der Sohlgrundlenkbuhnen und Anpassung an die Gegebenheiten des Gewässerabschnitts - auch bei höheren Abflüssen gewährleistet werden kann, ist ein harter Verbau der Ufer nicht notwendig. Die Struktur der Uferzone kann sich dynamisch und gewässerspezifisch ausbilden. Die Möglichkeit der Beschattung durch Ufervegetation hat zusammen mit der erhöhten Strömungsdiversität auch hinsichtlich des Sauerstoffhaushalts sowie der Temperatur- und Nährstoffverhältnisse im Gewässerabschnitt positive Auswirkungen. Das Projekt im Ellikerbach (siehe Kapitel 7.1) verdeutlicht, dass auch in sehr kleinen Fließgewässern eine erfolgreiche Strömungslenkung umsetzbar ist. Dies ermöglicht den Einsatz von Sohlgrundlenkbuhnen zum Uferschutz und der strukturellen Aufwertung der Gewässersohle auch bei beengten Platzverhältnissen wie beispielsweise in urbanen Gebieten.

Auch den biologischen Komponenten für die Einstufung des ökologischen Potentials eines Fließgewässers gemäß der EU-WRRL kann durch eine flussbauliche Maßnahme mit dem Einbau von Sohlgrundlenkbuhnen hinsichtlich der Zusammensetzung und Abundanz der benthischen wirbellosen Fauna und der Fischfauna entsprochen werden. Durch die naturnahe Ausbildung der Hydromorphologie und einer ausgeprägten Tiefenvarianz sowie einer großen Variabilität der Fließgeschwindigkeitsverteilung ergeben sich gute Lebensbedingungen für die gesamte Gewässerfauna.

Da im Monitoring der einzelnen Projekte die Schwerpunkte jeweils unterschiedlich gesetzt wurden, sind hinsichtlich der Auswirkungen auf die Flora im Gewässerabschnitt keine aussagekräftigen Ergebnisse dokumentiert. Aufgrund der wirkungsvollen Uferentlastung durch die Strömungslenkung und der Möglichkeit, die Ufer weitestgehend unverbaut zu belassen, sowie wartungsbedingte Eingriffe zu reduzieren, können jedoch Rückschlüsse auf eine für die ufernahe Vegetation günstige Uferstrukturierung gezogen werden.

Hinsichtlich der Hochwasserbeständigkeit konnten keine eindeutigen Erkenntnisse gewonnen werden. Wiesen die Sohlgrundlenkbuhnen in der Taverna (siehe Kapitel 7.3.1) eine hohe Beständigkeit bei einem  $HQ_{30}$  auf, wurden im Projekt in der Mürz die Einbauten bei einem  $HQ_{25}$  teilweise beschädigt. Die Stabilität der Sohlgrundlenkbuhnen ist aufgrund der Bauweise beschränkt. Die eingesetzten Blocksteine sind in der Größe und damit auch im Gewicht aufgrund der limitierten Kapazität der Transportfahrzeuge begrenzt. Der Einsatz von Sohlgrundlenkbuhnen ist dadurch auf kleinere bis mittelgroße Flüsse ( $FLOZ < 6$ ) zu fokussieren.

## 9.2 Strömungstrichter

Bei der Analyse der Projekte aus den Kapiteln 7.4, 7.5 und 7.6 hat sich folgende Zielerreichung für eine flussbauliche Maßnahme mit einem Strömungstrichter ergeben:

Tabelle 9-4: Übersicht Zielerreichung Strömungstrichter

### Übersicht Zielerreichung Strömungstrichter

Hydraulik				Hydromorphologie				Ökologie/Umwelt			
Strömungslenkung	Strömungsdiversität	Sedimenttransport	Massen-Impulsaustausch	Sohlstrukturierung	Uferstabilisierung/strukturierung	Tiefenvarianz	naturnahe Ausbildung	naturnahe Diversität und Abundanz Flora	naturnahe Diversität und Abundanz Fauna	ökologische Durchgängigkeit	Erholungswert
53	46	59	44	53	57	47	57	26	75	58	61
202				214				220			

- = Maximalwert des Einzelzieles
- = Maximalwert der Zielgruppe

Für die Zielgruppe Ökologie/Umwelt ergab sich der höchste Gesamtwert. Die jeweils höchsten Werte pro Zielgruppe haben sich für die Erreichung einer naturnahen Diversität und Abundanz der Fauna, der Uferstabilisierung sowie des Sedimenttransportes ergeben. Ein sehr hoher Wert hat sich zudem für das Einzelziel der naturnahen Ausbildung der Hydromorphologie ergeben. Auch die hydraulischen Ziele können mit dem Strömungstrichter gut umgesetzt werden. Zudem kann ein hoher Erholungswert des Gewässerabschnitts erzielt werden.

Die Wirkungsgruppen der maßgebenden Auswirkungen zur Zielerreichung sind die Hydraulik, die Sohle und das Ufer (siehe Tabelle 9-5). Dabei ist vor allem die Variabilität der Fließgeschwindigkeit bestimmend. Im Unterschied zum Ausgangszustand ergab sich bei jedem Projekt eine deutlich variablere Fließgeschwindigkeit. Deshalb wurde der Veränderungsgrad diesbezüglich hoch bewertet (siehe Anhang, Tabelle 15-4, Tabelle 15-5 und Tabelle 15-6).

Es ergeben sich mit allen Einzelzielen Wirkungszusammenhänge, welche hauptsächlich mit den Zielgruppen Hydraulik und Hydromorphologie einen hohen Grad haben.

Tabelle 9-5: Übersicht der maßgebenden Auswirkungen des Strömungstrichters

### Übersicht der maßgebende Auswirkungen

Hydraulik	Variabilität der Fließgeschwindigkeit	<b>81</b>
Hydraulik	Spiralströmung/Sekundärströmung	<b>55</b>
Sohle	Kolke	<b>77</b>
Sohle	Anlandungen	<b>51</b>
Sohle	Geschiebesortierung/Korngrößenverteilung	<b>49</b>
Ufer	Dynamik des Uferbereichs	<b>40</b>

Die Tiefenvarianz ist stark ausgeprägt und bleibt auch noch einige Meter flussab des Trichters erhalten. Die Kolkbildung entspricht bei einem deklinanten Strömungstrichter grundsätzlich dem in Kapitel 5 erläuterten Schema. Die Ufer können durch die hydraulischen Verhältnisse entlastet werden. Zusammen mit den durch die Spiralströmungen günstigen Geschiebeverlagerungen ergibt sich eine hohe Dynamik des Uferbereichs. Außerdem gelingt durch den Strömungstrichter eine sehr gute Geschiebesortierung, die in engem Zusammenhang mit der variablen Fließgeschwindigkeitsverteilung steht. Durch die Verkleinerung des Querschnitts im Trichterbereich kann zusammen mit den erhöhten Fließgeschwindigkeiten der Sedimenttransport deutlich verbessert werden.

In Tabelle 9-6 sind die bestimmenden Wirkungszusammenhänge in der Gesamtauswertung des Strömungstrichters zu sehen.

Tabelle 9-6: Gesamtauswertung Strömungstrichter

Strömungstrichter Gesamt		Ziele										Σ	
		Hydraulik/Wirkung			Ökomorphologie			Umwelt/Ökologie					
Wirkungsgruppe	Auswirkung/Ausbildung	Strömungslenkung	Strömungsdiversität	Sedimenttransport	Massen - Impulsaustausch	Sohlstrukturierung	Uferstabilisierung/strukturierung	Tiefenvarianz	naturnahe Ausbildung	naturnahe Diversität und Abundanz Flora	naturnahe Diversität und Abundanz Fauna	ökologische Durchgängigkeit	Erholungswert
1,2,3 = Stärke des Wirkungszusammenhangs													
Hydraulik	<b>Variabilität der Fließgeschwindigkeit</b> Spiralströmung/Sekundärströmung	3	3	3	2	2	3	3	2	1	1	3	1
Sohle	Durchlässigkeit des Flussbettes	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	1
	<b>Dynamik der Sohlenstruktur</b>	3	2	3	2	2	2	2	1	3	3	2	2
	Verbauungsgrad und -art der Sohle	3	2	3	2	3	2	2	2	3	3	2	2
	Kolke	2	2	3	1	3	2	3	2	3	3	3	1
Ufer	Anlandungen	1	3	3	2	3	3	3	1	3	3	2	1
	<b>Geschiebesortierung/Korngrößenverteilung</b>	3	3	3	2	3	2	3	2	1	2	2	1
Hochwasser	Uferentlastung	1	2	3	1	2	3	3	2	1	2	2	2
	Dynamik des Uferbereiches	2	2	2	2	3	2	2	2	2	3	1	2
	Verbauungsgrad und -art des Uferbereichs	3	2	2	2	1	2	2	2	2	3	1	2
Landschaft	Effektivität bei Hochwasser	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2
	Beständigkeit	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vegetation	<b>Eingliederung in das Landschaftsbild</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Fische	Entwicklung der Pflanzengesellschaften	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Fischbestände	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Unterstände und Habitate</b>		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Σ Einzelziele		53	46	59	44	53	57	47	57	26	75	58	61
Σ Zielgruppe		202			214			220					

### 9.2.1 Resümee

Der Strömungstrichter kann mit geringem Aufwand vor allem in Gewässerabschnitten mit geradem Verlauf die Strukturvielfalt deutlich erhöhen und die Flussökologie aufwerten. Dabei ist durch die sich ausbildende Fließgeschwindigkeitsverteilung eine deutliche Verbesserung des Sedimenttransports möglich. Es ergibt sich wie auch für die Sohlgrundlenkbuhnen die Einsatzmöglichkeit für das lokale Geschiebemanagement. Durch die Verlagerung der Hauptströmung in Gewässermitte können sich darüber hinaus je nach Bauweise und Abflussverhalten unterschiedliche strömungsberuhigte Bereiche ausbilden. Dadurch können die Ufer beidseitig entlastet und gute Lebensbedingungen für die Gewässerfauna geschaffen werden. Hervorzuheben ist dabei die ausgeprägte Substratsortierung, die sich durch die Rückstromzonen und die Strömungsschatten unmittelbar hinter den Blocksteinen ergeben.

Der Einbau von Strömungstrichtern kann auch in größeren Flüssen mit Breiten von bis zu 40 m eine gute Zielerreichung gewährleisten. Die Ufer können auch bei höheren Abflüssen entlastet werden. Der Verbauungsgrad der Ufer kann minimiert werden, wodurch sich eine dynamische Uferstruktur und damit günstige Verhältnisse für die Ufervegetation ergeben.

In den vorgestellten Projekten erfolgte der Einbau des Strömungstrichters nach Flusskrümmungen in Kombination mit Sohlgrundlenkbuhnen. In diesen Fällen wurde im Vorfeld die Strömunglenkung in der Krümmung maßgebend durch die Buhnen beeinflusst. Die Wirkung des Strömungstrichters hinsichtlich der Strömunglenkung in Flusskrümmungen, kann somit nicht beurteilt werden. Mit dem alleinigen Einbau eines Strömungstrichters ist eine effektive Strömunglenkung daher hauptsächlich in geraden Flussabschnitten zu erreichen. Dort kann eine lokale Aufwertung strukturschwacher Gewässerstrecken hinsichtlich grundlegender Qualitätskomponenten der EU-WRRL gewährleistet werden. Im Vergleich zum Ausgangszustand ist mit einer klaren Steigerung des Erholungswertes im betroffenen Gewässerabschnitt zu rechnen. In Flüssen mit einem ausgeprägt mäandrierendem Verlauf ist die Kombination von Sohlgrundlenkbuhnen in Krümmungen, zusammen mit einem Strömungstrichter im anschließenden geraden Abschnitt, eine wirkungsvolle Maßnahme um eine effektive Strömunglenkung zu erzielen und die Eigendynamik des Flusses zielführend zu beeinflussen.

Hinsichtlich der verschiedenen Bauweisen (deklinant, inklinat, siehe Kapitel 5.2), konnte festgestellt werden, dass sich die erläuterte Sohlstrukturierung nur bei der deklinanten Bauweise ausgebildet hatte. Die Kolkbildung in Trichtermitteln, wie sie bei der inklinanten Bauweise erwartet wird, konnte im Beobachtungszeitraum der Maßnahme in der Kainach (Kapitel 7.6) nicht nachgewiesen werden. Da jedoch nur ein zeitlich beschränktes Monitoring einer einzelnen Maßnahme für die Beurteilung herangezogen wurde, kann auf die grundsätzliche Auswirkung eines inklinanten Strömungstrichters auf die Sohlmorphologie nicht abgeleitet werden.

### 9.3 Pendelrampe

Für die Bewertung der Pendelrampe wurde die Pendelrampe im Stübmingbach (Kapitel 7.7) und die Pendelrampe im Scherlibach (Kapitel 7.8) herangezogen. Die Erkenntnisse über die Pendelrampe bei Leitsberg (Kapitel 7.9) wurden bei der Bildung der Veränderungsgrade und Wirkungszusammenhänge beachtet.

Bei der Auswertung hat sich ergeben, dass mit der Pendelrampe vor allem eine sehr gute naturnahe Diversität und Abundanz der Fauna, sowie eine erhebliche Verbesserung der ökologischen Durchgängigkeit erreicht wird. Zudem werden ein sehr guter Massen-Impulsaustausch und eine naturnahe Ausbildung der Hydromorphologie geschaffen. Die hohen Gesamtwerte für die Zielgruppen Hydromorphologie und Ökologie ergeben sich durch die günstigen Auswirkungen hinsichtlich der Wirkungsgruppe Sohle.

Tabelle 9-7: Übersicht Zielerreichung Pendelrampe

#### Übersicht Zielerreichung Pendelrampe

Hydraulik				Hydromorphologie				Ökologie			
Strömunglenkung	Strömungsdiversität	Sedimenttransport	<b>Massen-Impulsaustausch</b>	Sohlstrukturierung	Uferstabilisierung/strukturierung	Tiefenvarianz	<b>naturnahe Ausbildung</b>	naturnahe Diversität und Abundanz Flora	<b>naturnahe Diversität und Abundanz Fauna</b>	ökologische Durchgängigkeit	Erholungswert
42	39	49	54	53	43	55	69	22	73	69	53
183				219				217			

- = Maximalwert des Einzelzieles
- = Maximalwert der Zielgruppe

Die Strukturierung und Stabilisierung der Sohle ist auf die Ausbildung einer dynamischen Sohlstruktur ähnlich der einer natürlichen ‚step-pool-sequence‘ (siehe Kapitel 8.6.2) zurückzuführen. Die ausgeprägte Kolk- und Beckenbildung gewährleistet eine hohe Tiefenvarianz

und eine vielfältige Habitatverfügbarkeit und sorgt so für eine gute Diversität und Abundanz der Fauna.

Die für die Zielerreichung maßgebenden Auswirkungen sind in Tabelle 9-8 dargestellt. Die Pendelrampe erreicht durch den mäanderförmigen Stromstrich eine hohe Variabilität der Fließgeschwindigkeit und durch die ausgeprägte Tiefenvarianz vielfältige Strömungsmuster.

Tabelle 9-8: Übersicht der maßgebenden Auswirkungen der Pendelrampe

### Übersicht der maßgebende Auswirkungen

Hydraulik	Variabilität der Fließgeschwindigkeit	<b>76</b>
Sohle	Dynamik der Sohlenstruktur	<b>66</b>
Sohle	Kolke	<b>58</b>
Sohle	Geschiebesortierung/Korngrößenverteilung	<b>74</b>
Fische	Unterstände und Habitate	<b>36</b>

Die oben genannte Strukturierung der Sohle ähnlich einer ‚step-pool-sequence‘ ist auch für den hohen Wert des Massen-Impulsaustausches ausschlaggebend. Durch die Dynamik der Sohlenstruktur werden bei höheren Abflüssen die Sedimente umgelagert. Zusammen mit der Ausbildung von Spiralströmungen ergibt sich eine hohe Energiedissipation. Bei niedrigeren Abflüssen erfolgt der Massen-Impulsaustausch durch den verlängerten Fließweg. Durch die spezielle Anordnung der Riegel und die Ausbildung von Beckenstrukturen mit ausgeprägten Kolken und einer großen Variabilität der Fließgeschwindigkeit wird das Geschiebe gut sortiert. In den Becken ergeben sich zudem Stillwasserzonen sowie wertvolle Unterstände und Habitate für Fische und Kleinstlebewesen. Diese Bedingungen begünstigen die ökologische Durchgängigkeit. Im Vergleich zum Ausgangszustand kann durch die Pendelrampe auch der Sedimenttransport wiederhergestellt bzw. verbessert werden. Es besteht ein enger Wirkungszusammenhang zwischen den Zielen der Hydromorphologie und Ökologie mit der Wirkungsgruppe Sohle (siehe Tabelle 9-9). Ein hoher Wert hat sich deshalb auch für das Einzelziel Sohlstrukturierung ergeben.

Hinsichtlich des Ziels der Uferstabilisierung und –strukturierung ergeben sich verhältnismäßig geringe Werte, da das primäre Ziel der Pendelrampe in den ausgewerteten Projekten nicht der Uferschutz war. Auf eine partielle Ufersicherung konnte auch bedingt durch die Bauweise der Pendelrampe nicht verzichtet werden. Somit ergaben sich bei der Wirkungsgruppe Ufer geringere Veränderungsgrade (siehe Anhang, Tabelle 15-7 und Tabelle 15-8).

Tabelle 9-9: Gesamtauswertung Pendelrampe

Wirkungsgruppe		Ziele										Σ	
		Hydraulik			Hydromorphologie			Ökologie/Umwelt					
I,2,3 = Stärke des Wirkungszusammenhangs		Strömunglenkung	Strömungsdiversität	Sedimenttransport	Massen - Impulsaustausch	Sohlstrukturierung	Uferstabilisierung/strukturierung	Tiefenvarianz	naturnahe Ausbildung	naturnahe Diversität und Abundanz Flora	naturnahe Diversität und Abundanz Fauna	ökologische Durchgängigkeit	Erholungswert
Hydraulik	Auswirkung/Ausbildung	3	2	3	3	2	2	3	3	1	3	3	2
	<b>Variabilität der Fließgeschwindigkeit</b>	3	3	1	2	2	3	2	1	1	1	3	2
	Spiralströmung/Sekundärströmung												
Sohle	Durchlässigkeit des Flussbettes	1	2	3	3	2	3	1	2		2	3	15
	<b>Dynamik der Sohlenstruktur</b>	2	2	2	3	2	2	3	2		3	2	66
	Verbauungsgrad und -art der Sohle	1	2	2	3	3	2	3	2		2	3	41
	<b>Kolke/Becken</b>	2	2	2	3	3	1	3	2		3	3	58
	Anlandungen	2	2	2	3	3	1	3	2		3	3	24
	<b>Geschiebesortierung/Korngrößenverteilung</b>	2	3	3	2	3	3	3	3		3	3	74
Ufer	Uferentlastung				1	3	3			3	2	2	11
	Dynamik des Uferbereiches	1	2	2	2	1	3	2	2	2	2	1	26
	Verbauungsgrad und -art des Uferbereiches		2	2		1	3	2	2	2	2	1	24
Hochwasser	Effektivität bei Hochwasser	3	3	3	3	3	3	2					19
	Beständigkeit	3	3	2	2	1	2	2		1			33
Landschaft	Eingliederung in das Landschaftsbild												12
Vegetation	Entwicklung der Pflanzengesellschaften						2		3	3	1	1	30
Fische	Fischbestände								3	3	3	3	36
	<b>Unterstände und Habitate</b>								3	3	3	3	36
Σ Einzelziele		42	39	49	54	53	43	55	69	22	73	69	53
Σ Zielgruppe		<b>183</b>										<b>219</b>	
												<b>217</b>	

### 9.3.1 Resümee

Durch den Einbau von Pendelrampen lassen sich Flussabschnitte hinsichtlich wichtiger hydromorphologischer und ökologischer Komponenten aufwerten. Vor allem das Ersetzen von Gefällsstufen und Abstürzen in kleineren Flüssen und Mittelläufen ( $FLOZ < 6$ ) kann entsprechend dem rechtlichen Rahmen sowie den Anforderungen an den naturnahen Flussbau verwirklicht werden. Eine weitere Einsatzmöglichkeit besteht bei der Stabilisierung und Renaturierung von anthropogen beeinflussten Gebirgsflüssen, bei welchen sich die erwähnte ‚step-pool-sequence‘ nicht natürlich ausbilden konnte.

Mit der Schaffung von Wanderkorridoren durch die geneigten Riegel und durch die Möglichkeit, die Dimensionen der Becken speziell an die jeweiligen Gegebenheiten eines Flussabschnitts anzupassen, kann den Anforderungen der gewässerspezifischen Fauna gerecht werden. Durch den hohen Massen-Impulsaustausch und der naturnahen hydromorphologischen Strukturierung kann die ökologische Durchgängigkeit wiederhergestellt und verbessert werden. Es werden wertvolle Unterstände und Habitate geschaffen, welche zusammen mit den hydraulischen Verhältnissen auf der Rampe die Lebensbedingungen der Fauna im Gewässerabschnitt deutlich verbessern. Es ergibt sich zudem eine äußerst dynamische Sohlstruktur und bezüglich dem Ausgangszustand eine klare Begünstigung des Geschiebehaushalts.

Hervorzuheben ist auch der hohe Erholungswert, der sich durch den Einbau einer Pendelrampe betreffend der Eingliederung in das Landschaftsbild und der Aufwertung der gesamten Umwelt des Flussabschnittes ergibt. Aufgrund der günstigen Auswirkungen auf die Wasserqualität wird zusätzlich zur Erreichung der physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten der EU-WRRL beigetragen.

Da die Ufer durch die Bauweise der Pendelrampe partiell verbaut werden müssen, kann sich die Vegetation im Uferbereich nicht gänzlich natürlich ausbilden. In den vorgestellten Projekten ist der teilweise hohe Verbauungsgrad der Ufer jedoch auch mit den limitierten Platzverhältnissen begründet.

Hinsichtlich der Hochwasserbeständigkeit ist anzumerken, dass bei großen Abflüssen die Stabilität der Pendelrampe, wie auch bei herkömmlichen Rampentypen, im Ober- und Unterwasserbereich gefährdet ist. Daher ist jeweils ein Energiehöhenvergleich hinsichtlich der sich ausbildenden Abflussverhältnisse, wie von SINDELAR (2011) empfohlen, durchzuführen. Die Entscheidung für die Notwendigkeit einer Ober- und Unterwassersicherung bzw. deren Gestaltung ist von den speziellen Gegebenheiten des Gewässers abhängig. Eine Aufweitung bzw. Einengung des Querschnitts in Kombination mit dem Einbringen von weiteren Rauheitselementen kann die Abflussverhältnisse zielführend beeinflussen.

EZB (2013) gibt zudem an, dass die Niederwasserrinne durch die dynamische Umlagerung des Geschiebes teilweise verfüllt wurde bzw. die einzelnen Durchlässe verlegt wurden. Eine Aufhöhung der Querriegel zur dauerhaften Gewährleistung einer ausgeprägten Niederwasserrinne wird daher empfohlen.

## 9.4 Diskussion und Gegenüberstellung der Strukturelemente

In diesem Kapitel wird eine Gegenüberstellung der Strukturelemente hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten und der Erreichung der Ziele gegeben. Anzumerken ist, dass die Vergleichbarkeit der Strukturelemente des Instream River Training aufgrund der unterschiedlichen Schwerpunkte der Zielsetzung grundsätzlich erschwert ist.

Da die Gegebenheiten der jeweiligen Flussabschnitte teilweise stark differieren, sind für einen direkten Vergleich der Ergebnisse der Matrix unterschiedliche Auslegungen einzelner Auswirkungen und Einzelziele notwendig. Auf eine zusätzliche Gewichtung dieser in der Matrix, um dies zu berücksichtigen, wurde jedoch verzichtet, da durch die Ziel/Auswirkung – Matrix die verschiedenen Gegebenheiten der Flussabschnitte für einen direkten Vergleich nicht hinreichend ausgeglichen werden können.

Beispielsweise ist die Erreichung der ökologischen Durchgängigkeit für die Pendelrampe eine Voraussetzung, während sie bei Maßnahmen mit dem Einbau von Sohlgrundlenkbuhnen und Strömungstrichtern schon im Ausgangszustand weitestgehend gegeben war. Des Weiteren muss das Einzelziel der Uferstabilisierung/strukturierung je nach Strukturelement in einem unterschiedlichen Zusammenhang betrachtet werden. Bei Sohlgrundlenkbuhnen und Strömungstrichtern ist die Uferstabilisierung ein primäres Ziel, während dies bei der Pendelrampe eine untergeordnete Rolle einnimmt. Das Ziel des Massen-Impulsaustausches ist wiederum - im Vergleich zu den Sohlgrundlenkbuhnen und dem Strömungstrichter - bei der Pendelrampe als ein vorrangiges Ziel aufzufassen. Außerdem ist die Durchgängigkeit des Flussbettes je nach Maßnahme unterschiedlich zu interpretieren. Für die Projekte mit Strömungstrichtern und Sohlgrundlenkbuhnen wurde der Veränderungsgrad jeweils mit 0 = keine Veränderung gesetzt (siehe Anhang, Tabelle 15-1 bis Tabelle 15-6). Dies erfolgte, da für diese Projekte diesbezüglich keine Erkenntnisse vorhanden sind. Für die Pendelrampe ergibt sich hinsichtlich der Durchgängigkeit des Flussbettes teilweise ein Konflikt hinsichtlich den Anforderungen der Fischdurchgängigkeit und den Anforderungen der Hydromorphologie. Die Notwendigkeit der vertikalen Vernetzung und damit der Infiltration von Flusswasser ins Grundwasser (siehe Kapitel 8.6.2), steht der für die Passierbarkeit möglicherweise nicht ausreichende Abfluss bei Niederwasser durch die Versickerung in der Rampe gegenüber. Für die Auswertung der Pendelrampe durch die Ziel/Auswirkung – Matrix wurde jedoch jeweils ein positiver Veränderungsgrad angegeben. Im Vergleich zum Ausgangszustand ist die Entwicklung der Durchgängigkeit des Flussbettes durch den Einbau der Pendelrampe in den vorgestellten Projekten hinsichtlich beider Gesichtspunkte als positiv zu erachten.

Zudem sei angemerkt, dass unterschiedliche bzw. unzureichende Erkenntnisse über die Entwicklung der betreffenden Flora des jeweiligen Projektes keine ausreichend genaue Einschätzung mit der Ziel/Auswirkung – Matrix zuließen.

Durch die folgende Tabelle wird eine Gegenüberstellung der Strukturelemente hinsichtlich der jeweiligen Zielerreichung und der Einsatzmöglichkeiten gegeben. Deutlich wird, dass durch alle Strukturelemente des Instream River Training eine deutliche Verbesserung des aquatischen Habitats gewährleistet werden kann.

Tabelle 9-10: Übersicht Zielerreichung und Einsatzmöglichkeiten der Strukturelemente des Instream River Training

Maßnahme	Erreichung der Projektziele	Einsatzmöglichkeiten
Pendelrampe	Ökologische Durchgängigkeit Massen-Impulsaustausch Naturnahe Hydromorphologie Naturnahe Diversität und Abundanz Fauna	Überbrückung von Gefällsstufen; Ersetzen von Abstürzen Wiederherstellung/Verbesserung der ökol. Durchgängigkeit Stabilisierung von Gebirgsflüssen Hochwasserschutz
Strömungstrichter	Sedimenttransport Naturnahe Diversität und Abundanz Fauna Uferstabilisierung/strukturierung Strömunglenkung	In gerade Gewässerabschnitten sowie nach Kraftwerken Flüsse bis zu 40 m Breite Uferschutz, Hochwasserschutz Geschiebemanagement
Sohlgrundlenkbuhnen	Strömunglenkung Uferstabilisierung/strukturierung Naturnahe Diversität und Abundanz Fauna Sedimenttransport	In Flusskrümmungen sowie nach Kraftwerken Flüsse bis zu 40 m Breite Uferschutz, Hochwasserschutz Geschiebemanagement

Darüber hinaus kann die Pendelrampe laut PFÖRTNER (2007) auch in flacheren Tieflandflüssen, deren natürlicher Verlauf mäandrierend wäre, als eine geeignete Maßnahme zur Überbrückung von Gefällstufen betrachtet werden. Im Unterschied zum Einbau in Gebirgsbächen können durch unterschiedliche Abstände der Sohlgurte, mit sonst unveränderten Absturzhöhen, ein sanfterer Wechsel im Gefälle hervorgerufen werden. So kann die Pendelrampe auch auf die Gegebenheiten eines Tieflandflusses angepasst werden.

Eine sehr gute Möglichkeit zur Erreichung mehrerer hier aufgeführter Ziele ist wie erwähnt die Kombination eines Strömungstrichters mit dem Einbau von Sohlgrundlenkbuhnen. Dadurch können, wie in Kapitel 9.2 beschrieben, die Ufer in Flusskrümmungen als auch in darauf folgenden geraden Strecken entlastet werden, sowie der Flussabschnitt hinsichtlich der ökologischen und hydromorphologischen Belange aufgewertet werden. Da die Bauweisen beider Strukturelemente hinsichtlich des Materials und der Art der Errichtung sehr ähnlich sind, ist diese Kombination auch bezüglich des Aufwands und der Art der Errichtung als günstig zu betrachten.

Welche Maßnahme letztendlich am effektivsten umgesetzt werden kann hängt neben der Zielsetzung von zusätzlichen Faktoren ab. Dabei sind die rechtlichen Aspekte, die verfügbare Fläche, die Möglichkeit der Umgestaltung des Gewässers und dessen natürliche Gegebenheiten, sowie die Wirtschaftlichkeit zu nennen.

## 9.5 Ökonomische Bewertung

Eine ökonomische Bewertung der einzelnen Maßnahmen kann durch den Vergleich von Kosten erfolgen. Dabei können die Kosten des Einbaus der Strukturelemente mit den Kosten einer alternativen Maßnahme oder einer Lösung ohne einen Einbau gegenübergestellt werden. Nicht berücksichtigt werden Kosten für die Planung und Vorbereitung.

### Sohlgrundlenkbuhnen

Die Kosten für einen Einbau setzen sich aus Stein- und Pflasterungsarbeiten (Bruchsteine liefern und versetzen), Regiearbeiten (LKW, Bagger) sowie zusätzlichen Kosten (z.B. Fische-reientschädigungen) zusammen.

Im beschriebenen Projekt unterhalb des Kraftwerks Trieb (Kapitel 7.2), wurde vor der Errichtung der Sohlgrundlenkbuhnen im Unterwasser des Kraftwerks ca. alle drei Jahre eine Geschieberäumung notwendig. Die Gesamtkosten für den Einbau der Sohlgrundlenkbuhnen beliefen sich auf 24.000 €. Bei einem Vergleich mit den Kosten der Geschiebebaggerungen über einen Zeitraum von 15 Jahren (5 Räumungen alle 3 Jahre = 70.000 €), wurde eine Kostenersparnis von 46.000 € ermittelt. Durch die Situation unterhalb des Kraftwerks Trieb ergaben sich durch den Buhneneinbau aufgrund der Erhaltung der geplanten und genehmigten energetisch nutzbaren Fallhöhe zudem ein Leistungsgewinn von 400.000 kWh/Jahr, was 5-6 % der Jahresarbeit entspricht (FRIEDRICH, 2008).

Beim Projekt der Sohlgrundlenkbuhnen in der Taverna (Kapitel 7.3) ergaben sich laut WERDENBERG (2012) durch den Einbau der Sohlgrundlenkbuhnen im Vergleich zu klassischem Längsverbau mit Natursteinblöcken Kosteneinsparungen von ca. 30 – 50 %. Durch die effektive Strömunglenkung werden weniger Natursteinblöcke benötigt als bei einem Längsverbau der Ufer. In dem Projekt konnte letztendlich gänzlich auf einen Längsverbau verzichtet werden. Der Einbau von Sohlgrundlenkbuhnen kann daher als zeitsparende flussbauliche Maßnahme mit einem guten Kosten-Nutzen-Verhältnis betrachtet werden.

### Strömungstrichter

Hinsichtlich des Strömungstrichters liegen keine direkten Kostenrechnungen vor. Das Baumaterial, die Größe des Eingriffs, sowie die Effizienz ist jeweils mit Sohlgrundlenkbuhnen vergleichbar. Dadurch kann mit einem ähnlichen Kosten-Nutzen-Verhältnis gerechnet werden. Auch kann der Einbau als zeitsparend betrachtet werden. Für die Errichtung des Strömungstrichters in der Mur bei St. Stefan ob Leoben fielen beispielsweise lediglich 30 Baggerstunden an (PETSCHNIK, et al., 2009).

## **Pendelrampe**

Im Vergleich zu herkömmlichen Rampentypen fallen die Bau- und Unterhaltskosten für die Pendelrampe im Regelfall geringer aus. Ausschlaggebend ist unter anderem eine im Vergleich geringere Rampenlänge für die Überbrückung eines Höhenunterschiedes, die durch die besondere Riegelanordnung und damit der Fließwegverlängerung in der Rampe möglich ist. Dadurch werden weniger Baumaterialien benötigt. Zudem besteht bei der Errichtung der Pendelrampe keine Notwendigkeit einer trockenen Baugrube. Zusätzlich kann durch die günstigen hydraulischen Verhältnisse bei höheren Abflüssen der Uferschutz geringer dimensioniert werden, wodurch weiteres Material eingespart werden kann. Ein bedeutender Kostenfaktor stellen außerdem die Kolkchutzmaßnahmen und Nachbettsicherungen bei erosionsgefährdeter Gewässersohle dar. Da die Pendelrampe in aufgelöster Bauweise (siehe Kapitel 6.1) errichtet wird, und in der Regel keine oder kürzere Nachbettsicherungen notwendig sind, ergeben sich weitere Kostenersparnisse.

Bei einer Gegenüberstellung von Massenermittlungen und Baukosten für die Pendelrampe im Stübmingbach (siehe Kapitel 7.7), mit zwei hinsichtlich der Gegebenheiten des Flussabschnitts vergleichbaren Projekten mit Sohlgleiten (Rodenberger Aue, Wehranlage Benniehausen), sind die Unterschiede bezüglich der Rampenlänge sowie der Ufer- und Kolkchutzmaßnahmen offensichtlich. Die benötigte Masse an Blocksteinen betrug für die Pendelrampe im Stübmingbach 340 t, während für die Sohlgleiten 1300 t und 800 t verbaut wurden. Dadurch ergaben sich auch geringere Baukosten von 17.200 € (Pendelrampe) im Vergleich zu ca. 38.900 € (Rodenberger Aue) und 40.000 € (Benniehausen). Darüber hinaus können durch die Anordnung der Riegel die Beckenstrukturen der Eigendynamik überlassen werden, wodurch geringere Unterhaltskosten anfallen. Die Erfordernis einer sorgfältigen Planung sowie von viel Erfahrung bei der Umsetzung, bei der das Setzen der Blocksteine kontinuierlich kontrolliert werden muss, wird durch kürzere Bauzeiten ausgeglichen und kann daher als kostenneutral betrachtet werden (PFÖRTNER, 2007).

Im Vergleich zu einem Verbleib einer unpassierbaren Gefällsstufe kann durch den Einbau einer Pendelrampe mit einem verbesserten Hochwasserschutz und einem gesteigerten Erholungswert gerechnet werden. Zusätzlich ergibt sich auf längere Sicht aufgrund der geringeren Unterhaltskosten ein gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis.

Eine um die Projektkosten (Kapitel 8.5.4 und 8.6.8) erweiterte Ziel/Auswirkung – Matrix befindet sich im Anhang (Tabelle 15-13). Dadurch soll zusätzlich eine Abschätzung der ökonomischen Auswirkungen vorgenommen werden können.

## 10 Zusammenfassung und Ausblick

Da die Strukturelemente des Instream River Training noch in der Entwicklung sind, kommen dem Prozessverständnis und den Wirkungszusammenhängen große Bedeutung zu. Mit der Erarbeitung eines einfachen Bewertungssystems mithilfe einer Ziel/Auswirkung – Matrix wurden die maßgebenden Wirkungszusammenhänge zwischen der Zielerreichung und den Auswirkungen der jeweiligen Maßnahme dargestellt. Als Orientierung dienten dabei die Qualitätskriterien der EU-WRRL zur Erreichung eines guten ökologischen Zustands. Es wurde ersichtlich, dass sich durch die drei grundlegenden Strukturelemente Sohlgrundlenkbühne, Strömungstrichter und Pendelrampe, sowie in gewissen Fällen durch deren Kombination, ein weites Feld an Einsatzmöglichkeiten ergibt.

Um die Umsetzung flussbaulicher Maßnahmen nach dem Prinzip des Instream River Training zu erleichtern und die Prognosefähigkeit zu verbessern, wurde für jedes Strukturelement der Vorschlag einer Matrix mit vordefinierten Wirkungszusammenhängen erstellt (siehe Anhang, Tabelle 15-9, 15-10 und 15-11). Dadurch soll es im Vorfeld ermöglicht werden, die Auswirkungen des Eingriffs abzuschätzen, sowie die Zielerreichung der Maßnahme zu optimieren. Mit weiterer Erforschung und durch ausführliches Monitoring, sowie dem Ausarbeiten von Bemessungsansätzen, kann die Ziel/Auswirkung – Matrix noch weiterentwickelt werden. Eine Anpassung kann durch den Anwender mit der Möglichkeit von zusätzlichen Spezifizierungen einzelner Wirkungsgruppen der Matrix erfolgen.

Durch flussbauliche Maßnahmen nach dem Prinzip des Instream River Training kann mit geringfügigen Eingriffen in ein Flusssystem den Anforderungen des modernen naturnahen Flussbaus und des in der Arbeit definierten rechtlichen Rahmens entsprochen werden. Die hydraulischen Wirkungsweisen können anhand der Projektanalyse als effektiv und zielführend beurteilt werden. Das Prinzip, sich der Strömung als Ursache vieler Problemstellungen im Flussbau anzunehmen, sowie die naturnahe Bauweise der Strukturelemente, hat ausschließlich günstige Auswirkungen auf die Flussökologie, die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme, die hydraulischen Verhältnisse, und die gesamte Hydromorphologie eines Gewässerabschnitts. Somit kann der Forderung der EU-WRRL, einen guten ökologischen Zustand der Fließgewässer zu erreichen bzw. zu erhalten, nachgekommen werden. Darüber hinaus bieten sich Einsatzmöglichkeiten bei beengten Platzverhältnissen an, wie sie in einer Kulturlandschaft häufig anzutreffen sind. Gerade im Hinblick des Konfliktfeldes zwischen schutzwasserbaulichen und gewässerökologischen Anforderungen, lassen sich mit dem Prinzip des Instream River Training kostengünstige und effektive Maßnahmen realisieren.

Abschließend lässt sich sagen, dass der Flussbau nach dem Prinzip des Instream River Training in Zukunft an Bedeutung zunehmen wird. Das Fehlen geeigneter Dimensionierungsgrundlagen für die Strukturelemente kann die Genehmigung zur Umsetzung jedoch gefährden (vgl. MENDE, 2006). Daher ist das Erforschen und die Weiterentwicklung des Instream River Training zur Optimierung der flussbaulichen Maßnahmen wünschenswert.

## 11 Literaturverzeichnis

- ALEXANDERSSON, Olof. 1994.** *Lebendes Wasser - Über Viktor Schaubberger und eine neue Technik unsere Welt zu retten, 2. Auflage.* Stockholm, Schweden : Ennsthaler, A-4402 Steyr, 1994. ISBN 3 85068377 X.
- BADURA, H, SINDELAR, C und GROBER, O. 2006.** Planung, Bau und Monitoring eines Strömungstrichters an der Mur. *Schriftenreihe der Wasserwirtschaft.* Wasserbausymposium Graz, TU Graz, 2006, Bde. 2, Seiten 348-356.
- Basler & Hofmann West AG . 2013.** *Erfolgskontrolle Lenkbuhnen an der Taverna.* Zollikofen, Murten, Schweiz : s.n., 2013.
- BBL, Baubezirksleitung BRUCK/MUR. 2006.** *Technischer Bericht Marktgemeinde St. Michael und St. Stefan o.L. Erhaltungskleinmaßnahme 2006.* Bruck an der Mur : s.n., 2006.
- BBL, Baubezirksleitung BRUCK/MUR, Ref. Wasserbau. 2006.** *Technischer Bericht HW-Schutzmaßnahmen mit ökologischen Ertüchtigungen am Stübmingbach.* 2006.
- BMLFUW. 2014.** *EU-Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG, Österreichischer Bericht der Ist-Bestandsanalyse 2013.* Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Sektion VII Wasser. Wien : s.n., 2014.
- BMLFUW. 2012.** Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen (FAHs). *lebensministerium.at.* [Online] 2012. [Zitat vom: 15. 03 2014.]  
[http://www.lebensministerium.at/wasser/wasser-oesterreich/plan\\_gewaesser\\_ngp/massnahmenprogramme/leitfaden\\_fah.html](http://www.lebensministerium.at/wasser/wasser-oesterreich/plan_gewaesser_ngp/massnahmenprogramme/leitfaden_fah.html).
- BMLFUW. 2009.** Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan-NGP 2009. [Hrsg.] Umwelt und Wasserwirtschaft, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft. Wien : s.n., 2009.
- BUWAL. 1998.** Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer: Modul-Stufen-Konzept. *Mitteilungen zum Gewässerschutz BUWAL, Bern.* 1998, Nr. 26.
- COATS, C. 1994.** *Naturenergien verstehen und nutzen: Viktor Schaubbergers geniale Erfindungen, 1. Auflage.* Düsseldorf : Omega-Verlag, Bongart Meier GBR, 1994. ISBN 3-930243-14-8.
- DVWK. 1996.** DVWK-Merkblatt 238/1996 Fischaufstiegsanlagen - Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. [Hrsg.] Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK). Bonn : s.n., 1996.
- ezb - Eberstaller Zauner Büros. 2013.** *Ökologisches Monitoring der Pendelrampe Große Tulln - Leitsberg.* Wien : Wasserverband Große Tulln, WA3 Abteilung Wasserbau, Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, 2013.
- FRIEDRICH, J. 2008.** Naturmessungen über die Funktionsweise von Buhnen an der Mürz, Diplomarbeit. Technische Universität Graz, Fakultät für Bauingenieurwissenschaften, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft : s.n., 2008.

- GLÜH, Kerstin. 2005.** Abschätzung der Auswirkung von Sohlgrundlenkbuhnen und Strömungstrichter auf Hydraulik, Morphologie und Fischbestand. TU Braunschweig, Leichtweiss-Institut für Wasserbau, Abteilung Wasserbau : s.n., 2005. Studienarbeit.
- GROBER, O. 2011.** "Flüsse verstehen". *Vom Wasser berührt - Das Hansgrohe Wassersymposium 2011*. 2011.
- HABERSACK, H. 2011.** Unterlagen zur VU 816.311 Konstruktiver Wasserbau und Flussgebietsmanagement. Universität für Bodenkultur Wien, Wien : s.n., 2011. S. Kapitel 4.
- 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 der Technischen Universität München. [Hrsg.] Prof. Peter Rutschmann. München : s.n., Mai 2008. Druck und Einband: Meissner Druck GmbH, Oberaudorf. ISBN 978-3-940476-074.
- HAGEMANN, A. 2006.** Abschätzung der Auswirkungen einer Wasserschnecke auf Hydraulik, Morphologie und Fischbestand, Studienarbeit. Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Abteilung Wasserbau, TU Braunschweig : s.n., 2006.
- HENNING, D. 2005.** Beschreibung und hydraulische Bemessung einer Sohlengleite im Zusammenhang mit dem naturnahen Ausbau eines Flusslaufes, Studienarbeit. Wuppertal: Bergische Universität Wuppertal, LuFG Wasserwirtschaft und Wasserbau, 2005.
- HINTERSTOISSER, N. 2013.** Krampen/Neuberg:Trift, Hochwasser 1937, FF Krampen, Forstpersonal 1936, Hinteralpe. 2013.
- HUBER, U und MENDE, M. 2011.** IUB Engineering. *Ursachenorientierter Flussbau - Instream River Training*. [Online] 2011. [Zitat vom: 22. 5 2013.] [http://www.iub-ag.ch/fileadmin/media/pdf/publikationen/Instream\\_River\\_Training\\_Mende\\_IUB.pdf](http://www.iub-ag.ch/fileadmin/media/pdf/publikationen/Instream_River_Training_Mende_IUB.pdf).
- HÜTTE, M. 2000.** "Ökologie und Wasserbau - Ökologische Grundlagen von Gewässerverbauung und Wasserkraftnutzung". Berlin : Parey Buchverlag im Blackwell Wissenschaftsverlag, 2000.
- JUNGWIRTH, M. 2006.** Hydrobiologie I. Wien : Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement, Universität für Bodenkultur Wien, 2006.
- KÜHNER, W. 2003.** Sohlschubspannung und Bettbildung in Flusskrümmungen unter Beachtung alpiner Gefällsverhältnisse, Dissertation. Leopold-Franzens-Universität-Innsbruck, Fakultät für Bauingenieurwesen und Architektur : s.n., 2003.
- LANG, T und SCHAIPP, B. 2006.** Rampen für Gewässer im teriären Hügelland. *flussmeister.de*. [Online] 2006. [Zitat vom: 15. 2 2014.] <http://www.flussmeister.de/archiv/pdf/47.pdf>.
- LARINIER, M. 2007.** Nature-like fish passes. [Hrsg.] Abteilung 13 Naturschutz, Referat 13/04 Gewässerschutz Land Salzburg. Salzburg : s.n., 2007. Bde. in der Reihe Datensammlung Gewässerschutz, Thema Fischpässe, Komponente 13/3.

- LfU. 2000.** Anlagen zur Herstellung der Durchgängigkeit von Fließgewässern - Raue Rampen und Verbindungsgewässer. [Hrsg.] Landesanstalt für Umweltschutz Baden Württemberg. *Gewässerökologie*. 2000, 63.
- MECKEL, H. 1978.** Spiralströmung und Sedimentbewegung in Fluss- und Kanalkrümmungen. *Wasserwirtschaft*. 1978, 68, S. 287-294.
- MEIER, K. 2012.** Fließgewässerinformationssystem. *fisdt.de*. [Online] 20. März 2012. [Zitat vom: 13. Mai 2013.] [http://fisdt.de/wrrl/page/strukturen/strukparameter\\_4\\_1.htm](http://fisdt.de/wrrl/page/strukturen/strukparameter_4_1.htm).
- MENDE, M und GASSMANN, E. 2009.** Pendelrampen-Funtionsweise und Erfahrungen. *Ingenieurbiologie/Genie Biologique*. Heft 03 , 2009, S. 26-36.
- MENDE, M und KATINKA, K. 2011.** Leichtweiß Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig, Bauingenieurwesen. [Online] 2011. [Zitat vom: 26. 02 2014.] <http://www.lwi.tu-bs.de/waba/w-deutsch/w-forschung-aktuell.htm#Wiese>.
- MENDE, M. 2005.** "Sohlnahe Querbauwerke zur naturnahen Fließgewässerregulierung". *Schriftreihe zur Wasserwirtschaft*. 2005, Nr. 43. 7. JuWi Treffen.
- MENDE, M. 2006.** Lenbuhnen: Eine kostengünstige und naturnahe Methode zur Aufwertung von Fließgewässern. In: *Tagungsband zum gemeinsamen Institutskolloquium der TU Braunschweig und HS Magdeburg-Stendal (FH) Kostengünstige Bausteine zur Umsetzung der EU-WRRL*. 2006, S. 22-26.
- MENDE, M. und C.SINDELAR. 2010.** "Instream River Training: Lenkbuhnen und Pendelrampen". 2010. Wallgau : s.n., 2010. Bde. Beitrag zum 15. Gemeinschafts-Symposium der Wasserbau-Institute TU München, TU Graz und ETH Zürich.
- MENDE, M. und SINDELAR, C. 2012.** Instream River Training - Naturnaher Flussbau mit minimalem Materialeinsatz. [Hrsg.] DWA. *Wasserwirtschaft*. 2012, Nr. 10, S. 537-543.
- MEYENBURG, Irene. 2007.** Einfluss der Anordnung und Geometrie von Lenkbuhnen auf ihre hydraulische Wirkung. Technische Universität Braunschweig, Leichtweiss-Institut für Wasserbau Abteilung, Abteilung Wasserbau : s.n., 2007. Diplomarbeit.
- MOLNAR, P, et al. 2011.** Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. *Gchiebehaushalt in Fließgewässern, Stufen-Becken-Morphologie in Wildbächen*. [Online] 2011. [Zitat vom: 15. 01 2014.] [http://www.wsl.ch/dienstleistungen/veranstaltungen/veranstaltungskalender/geschiebe-transport/pdf/09\\_Molnar\\_P.pdf](http://www.wsl.ch/dienstleistungen/veranstaltungen/veranstaltungskalender/geschiebe-transport/pdf/09_Molnar_P.pdf).
- NACHTNEBEL, H.P. 2013.** Wasserwirtschaftliche Planungsmethoden - EU Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), Studienunterlagen zur Vorlesung Hydrologie und Wasserwirtschaftliche Planung. Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiver Wasserbau, Wien : s.n., 2013.
- ODGAARD, A. J. 2005.** Iowa Vanes - An inexpensive sediment management strategy. *IHR Hydroscience & Engineering*. [Online] 2005. <<http://www.ihr.uiowa.edu/projects/iowaVanes/>>.
- ODGAARD, A.J. und WANG, Y. 1991.** Sediment management with submerged vanes. 1. Theory. 1991, Bde. J. Hydr. Engng., ASCE, 117 (3).

- ORTNER, S.:** 2007. "Auswirkungen von gekrümmten Leitwerken auf Strömungsfeld und Sohle". Technische Universität Graz : s.n., 2007. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft.
- PATT, H., JÜRGING, P. und KRAUS, W.:** 2009. "*Naturnaher Wasserbau - Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern*". Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 2009.
- PAVLOV, D.S.** 1989. Structures assisting the migrations of non-salmonid fish: USSR. [Hrsg.] Food and Agriculture Organization of the United Nations. *FAO Fisheries Technical Paper*. 1989, 308.
- PETSCHNIK, T. und MAURER, D.:** 2009. "Analyse einer flussbaulichen Maßnahme nach Schaubberger". [Bakkalaureatsarbeit]. Wien : s.n., 2009. Universität für Bodenkultur Wien.
- PFÖRTNER, S.** 2007. Planung einer Pendelrampe in der Schunter, Studienarbeit. Braunschweig : TU Braunschweig, LWI, Abt. Wasserbau, 2007.
- PINTER, K, UNFER, G und WIESNER, C.** 2009. *Fischbestandserhebung der Mur im Bereich St. Michael*. Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement : s.n., 2009.
- RAUBER, Klaus.** 2013. Implosion. *www.implosion-ev.de*. [Online] Januar 2013. [Zitat vom: 2. Mai 2013.] <http://www.implosion-ev.de/html/holzschwemmanlagen.html>.
- ROLKER, I.** 2004. Vergleich einer "Pendelrampe" mit konventionellen Bauweisen rauer Rampen, Diplomarbeit. Braunschweig : TU Braunschweig, LWI, Abt. Wasserbau, 2004.
- ROSGEN, D. L.** 2011. The Cross Vanes, W-Weir and J-Hook Vane Structures...Their Description, Design and Application for Stream Stabilization and River Restoration. *wildlandhydrology.com*. [Online] 2011. [Zitat vom: 13. 06 2013.] <http://www.wildlandhydrology.com/assets/cross-vane.pdf>.
- ROZOVSKII, I.L.** 1963. *Flow of Water in Bends of Open Channels*". [Übers.] Israel Program for Scientific Translations Y.Prushansky. Kiew, 1957 : Academy of Sciences of the U.S.S.R, 1963.
- SCHADE, H. und KUNZ, E.** 2007. "*Strömungslehre*". Berlin : Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, 2007. S. 105.
- SCHAUBERGER, V.** 2009. *Das Wesen des Wassers, Originaltexte, herausgegeben und kommentiert von Jörg Schaubberger*. Baden und München : AT Verlag, 2009. ISBN 978-3-03800-272-7.
- SCHAUBERGER, V.** 1929. *Einbau zur Wildbachverbauung und Flussregulierung*. 113487 Österreich, Purkersdorf, 15. 1 1929.
- SCHAUBERGER, V.** 1930. Temperatur und Wasserbewegung. 1930, Bd. Sonderdruck aus „Die Wasserwirtschaft“, Heft 24.
- SCHAUBERGER, V.** 1933. *Wasserführung in Rohren und Gerinnen*. 134543 Österreich, 15. 04 1933.

- SCHAUBERGER, W. 1973.** Räumlich gekrümmte Sohlrampen, eine naturnahe Gestaltung von Gefällsstufen im Flussbau. *landesmuseum.at*. [Online] 1973. [Zitat vom: 15. 2 2014.] [http://www.landmuseum.at/pdf\\_frei\\_remote/nat\\_land\\_1965\\_1\\_0009-0011.pdf](http://www.landmuseum.at/pdf_frei_remote/nat_land_1965_1_0009-0011.pdf).
- SINDELAR, C. 2011.** Design of a Meandering Ramp, Dissertation. Graz : Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Fakultät für Bauingenieurwissenschaften, TU Graz, 2011.
- SINDELAR, C. 2011.** "*Die Pendelrampe*". Johannes Haslauer, Videoproduktion; [www.haslauer.tv](http://www.haslauer.tv), 2011. Mit Unterstützung des Lebensministeriums und des Landes Niederösterreich.
- SINDELAR, C. 2005/4.** "Ökologisch intakte Flusslandschaften und Hochwasserschutz - ein Widerspruch?". [Hrsg.] Pastoralamt der Diözese Linz. *Interesse*. 2005/4.
- SINDELAR, C. und MENDE, M. 2009.** "Lenkbuhnen zur Strukturierung und Stabilisierung von Fließgewässern". [Hrsg.] Vieweg + Teubner Verlag. *Wasserwirtschaft, Heft 1-2/2009*. 2009, S. S.70-75.
- STEIN, C.J. 1989.** Mäandrierende Fließgewässer mit überströmten Vorländern - Experimentelle Untersuchung und numerische Simulation, Dissertation. [Hrsg.] RWTH Aachen Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft. *Mitteilungen*. 1989, Heft 76.
- STEPHAN, U. 2010.** Dimensionierung von Rampen-Organismendurchgängigkeit, Fischaufstieg. *Bundesamt für Wasserwirtschaft*. [Online] 2010. [Zitat vom: 1. 4 2014.] [http://www.baw-wb.at/cms/dmdocuments/kurs09/2\\_Organismendurchgaengigkeit.pdf](http://www.baw-wb.at/cms/dmdocuments/kurs09/2_Organismendurchgaengigkeit.pdf).
- STROBL, T. und ZUNIC, F. 2006.** "Wasserbau: aktuelle Grundlagen - Neue Entwicklungen. Berlin Wiesbaden : Springer-Verlag, 2006.
- TU GRAZ. 2014.** Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft TU Graz 2014. [Online] 2014. [Zitat vom: 22. 5 2013.] [http://portal.tugraz.at/portal/page/portal/TU\\_Graz/Einrichtungen/Institute/Homepages/i2130/forschung/forschung\\_aktuell/forschung\\_Pendelrampe](http://portal.tugraz.at/portal/page/portal/TU_Graz/Einrichtungen/Institute/Homepages/i2130/forschung/forschung_aktuell/forschung_Pendelrampe).
- TUROWSKI, J. M. 2011.** Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL. *Geschlechtstransport*. [Online] 2011. [Zitat vom: 15. 01 2014.] [http://www.wsl.ch/info/mitarbeitende/turowski/download/Bedload\\_transport\\_1.pdf](http://www.wsl.ch/info/mitarbeitende/turowski/download/Bedload_transport_1.pdf).
- ULLMANN, M, et al. 2009.** *Modellversuch Aufgelöste Rampen, Ökologie und Hydraulik - Endbericht*. s.l. : Amt der Oberösterreichischen Landesregierung/Oberflächengewässerwirtschaft, 2009.
- WERDENBERG, N., MEILE, T. und STEINER, R. 2012.** "Strömungslenkung an der unteren Taverna-Neue Wege im naturnahen Wasserbau". *Aqua & Gas, Fachzeitschrift für Gas, Wasser und Abwasser des SVGW*. 2012, Nr. 4.

- WIRTZ, C. 2004.** Hydromorphologische und morphodynamische Analyse von Bühnenfeldern der unteren Mittelelbe im Hinblick auf eine ökologische Gewässerunterhaltung. *Dissertation*. Berlin : Fachbereich Geowissenschaften der Freien Universität Berlin, 2004.
- WITTMANN, H und BÖSS, P. 1938.** *Die Berechnung der Wasserbewegung in gekrümmten Flussstrecken mittels Potentialtheorie und ihre Überprüfung durch Modellversuche*. Berlin : Springer, 1938.
- WOOLSEY, S, et al. 2008.** Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fließgewässerrevitalisierungen. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ. 116 pp. *Integrales Gewässermanagement-Erkenntnisse aus dem Rhone-Thur-Projekt*. [Online] 09. 05 2008. [Zitat vom: 2. 06 2013.] <http://www.rivermanagement.ch/erfolgskontr/>.

## 12 Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 2-1:</b> Risikoverteilung der Oberflächenwasserkörper in Österreich - Überblicksdarstellung mit Vergleich der drei Risikostufen (BMLFUW, 2014) .....	6
<b>Abb. 3-1:</b> links: Schwemmanlage Neuberg (RAUBER, 2013); rechts: Triftsteg im Einschnitt nach Mürzüberquerung (HINTERSTOISSER, 2013) .....	9
<b>Abb. 3-2:</b> Ausschnitt aus der österreichischen Patentschrift Nr. 134543: Wasserführung in Rohren und Gerinnen (SCHAUBERGER, 1933).....	9
<b>Abb. 3-3:</b> links: Drallkurven in der Holzschwemmanlag (aus ALEXANDERSSON, 1994); rechts: Ausschnitt aus der österr. Patentschrift Nr.113487 ‚Einbau zur Wildbachverbauung und Flussregulierung‘ (SCHAUBERGER, 1929).....	10
<b>Abb. 3-4:</b> Einbau von Iowa Vanes in den Wapsipinicon River bei Niedrigwasser im Sommer 1988 (links), Ufer des gleichen Flussabschnitts des Wapsipinicon River 2 Jahre nach Einbau bei Niedrigwasser 1990 (rechts); (MENDE, 2005; aus ODGAARD, 2005).....	11
<b>Abb. 4-1:</b> vereinfachter Aufbau einer Buhne (HABERSACK, 2011) .....	13
<b>Abb. 4-2:</b> Aufbau einer inklinanten Sohlgrundbuhne (BBL, 2006) .....	14
<b>Abb. 4-3:</b> Querschnitt Sohlgrundlenkbuhne (GROBER, 2011) .....	15
<b>Abb. 4-4:</b> Schematische Isotachendarstellung eines geraden Gewässerabschnitts ohne (links) und mit inklinanter Lenkbuhne (rechts); $V_4$ =höchste Geschwindigkeit, $V_1$ =niedrigste Geschwindigkeit; (SINDELAR, et al., 2009), verändert.....	16
<b>Abb. 4-5:</b> Verteilung der Fließgeschwindigkeit in geradem Flussabschnitt .....	17
<b>Abb. 4-6:</b> Verteilung der Fließgeschwindigkeit in einem Gewässerbogen (HÜTTE, 2000) ..	17
<b>Abbildung 4-7:</b> Sekundärströmung in einer Flusskrümmung (HAFNER, 2008) .....	18
<b>Abb. 4-8:</b> Prozesse in einer Flusskrümmung (HAFNER, 2008), verändert .....	19
<b>Abb. 4-9:</b> Krümmungsinduzierte (rot) und durch Lenkbuhnen induzierte (blau) Sekundärströmungen in einem Gerinnebogen, Ansicht in Fließrichtung (schematisch) (MEYENBURG, 2007) .....	20
<b>Abb. 4-10:</b> Querschnitt und mögliche Anordnung inklinanter Sohlgrundlenkbuhnen in einer Flusskrümmung und Verlagerung des Talweges und Ausgleich des Querprofils ( (MEYENBURG, 2007) .....	21
<b>Abb. 5-1:</b> Hydraulik und Sohlenmorphologie bei Stromungstrichtern: a) deklinante und.....	23
<b>Abb. 6-1:</b> Einteilung der Sohlenbauwerke nach DIN 4047, Teil 5 .....	24
<b>Abbildung 6-2:</b> Absturz nach DIN 4047, Teil 5 bzw. DIN 19661, Teil 2, aus (PFÖRTNER, 2007) .....	25
<b>Abb. 6-3:</b> links: Abmessungen der "Schauberger Rampe"; rechts oben: Absturz im Almfluss 1951; rechts unten: Erste „Schauberger Rampe“ im Almfluss in Bad Wimsbach 1954; aus (SCHAUBERGER, 1973) zitiert in (SINDELAR, 2011).....	25
<b>Abb. 6-4:</b> Sohlengleite nach DIN 4047, Teil 5; aus (PFÖRTNER, 2007) .....	26

<b>Abb. 6-5:</b> Schematische Darstellung einer Pendelrampe bei Niedrig- und Mittelwasserabfluss .....	27
<b>Abb. 6-6:</b> Maßstäbliches Schema Pendelrampe, Grundriss (oben), Längenschnitt in Flussachse (unten),.....	28
<b>Abb. 6-7:</b> Rampengeometrie: Grundriss und Schnitte - Höhenlagen der Riegel (SINDELAR, 2011).....	30
<b>Abb. 6-8:</b> Mäandrierender Stromstrich (blau) durch zwei hintereinander angeordnete Riegel einer Pendelrampe bei Niedrigwasser (PFÖRTNER, 2007), verändert.....	31
<b>Abb. 6-9:</b> Tumbling Flow (TU GRAZ, 2014) .....	32
<b>Abb. 6-10:</b> Schema Becken einer Pendelrampe (STEPHAN, 2010), verändert.....	32
<b>Abb. 6-11:</b> Rapid Flow (TU GRAZ, 2014).....	33
<b>Abb. 6-12:</b> Schematische Darstellung der hydraulischen Wirkung einer Pendelrampe bei starker Überströmung (oben: Querschnitt, unten: Lageplanausschnitt) (MENDE, et al., 2009) .....	34
<b>Abb. 7-1:</b> Lage der flussbaulichen Maßnahmen und ökologischer Zustand der natürlichen Oberflächengewässer (BMLFUW, 2009) .....	35
<b>Abb. 7-3:</b> Ausgangssituation Ellikerbach (MENDE, et al., 2012) .....	36
<b>Abb. 7-2:</b> Lageplan Ellikerbach (GIS-ZH, Kanton Zürich).....	36
<b>Abbildung 7-4:</b> Situation zwei Monate nach Einbau von Lenkbuhnen aus Blocksteinen (MENDE, et al., 2012) .....	38
<b>Abb. 7-5:</b> visualisierte Oberflächenströmung bei erhöhtem Abfluss (MENDE, et al., 2012)	39
<b>Abb. 7-6:</b> Lageplan Sohlgrundlenkbuhnen in der Mürz bei KW Trieb (BMLFUW, 2009)....	40
<b>Abb. 7-7:</b> Buhnensituation flussab KW Trieb (FRIEDRICH, 2008) .....	41
<b>Abb. 7-8:</b> Sohldarstellung vor dem Einbau (oben), 11 Monate (mitte) und 15 Monate (unten) nach dem Einbau (FRIEDRICH, 2008).....	43
<b>Abb. 7-9:</b> Fließgeschwindigkeitsverteilung flussab des KW Trieb; Messung am 23.07.2007 (oben) und am 12.11.2007 (unten) (FRIEDRICH, 2008).....	44
<b>Abb. 7-10:</b> Verlauf der Taverna (blau eingefärbt) und Sohlgrundlenkbuhnenprojekt (rotes Kästchen). Ausschnitt aus Landeskarte (Swisstopo); (Basler & Hofmann West AG , 2013) .	46
<b>Abb. 7-11:</b> Perimeter Erfolgskontrolle Lenkbuhnen (Basler & Hofmann West AG , 2013) .	47
<b>Abb. 7-12:</b> Perimeter Erfolgskontrolle mit Lokalisation der Querprofile 1-6 und Kontrollstrecke ohne Lenk-buhnen (rot) (Basler & Hofmann West AG , 2013).....	48
<b>Abb. 7-13:</b> Resultat Vermessung Fläche F vom 03.06.2013 (V=Lenkbuhne; W=Wurzelstock); Blick gegen Fließrichtung (Basler & Hofmann West AG , 2013).....	49

<b>Abb. 7-14:</b> Bereich F mit eingezeichneter durchgehender Tiefzone und Sedimentationsbereiche (1 bis 4 = Standorte Sedimentproben); (Basler & Hofmann West AG , 2013).....	49
<b>Abb. 7-15:</b> Vergleich der Strömung bei Niederwasser (links) und Hochwasser (rechts); (Basler & Hofmann West AG , 2013).....	50
<b>Abb. 7-16:</b> Strömungsberuhigung am Prallufer (Basler & Hofmann West AG , 2013) .....	50
<b>Abb. 7-17:</b> Gerinneabschnitt mit Lenkbuhnen. a) Daten der Gerinnevermessung b) Strömung bei einem Hochwasserabfluss (ca. 15 m <sup>3</sup> /s) c) Gerinne nach Hochwasserabfluss (ca. 30 m <sup>3</sup> /s) (Basler & Hofmann West AG , 2013) .....	51
<b>Abb. 7-18:</b> Gerinneabschnitt ohne Lenkbuhnen. a) Daten der Gerinnevermessung b) Strömung bei einem Hochwasserabfluss (ca. 15 m <sup>3</sup> /s) c) Gerinne nach Hochwasserabfluss (ca. 30 m <sup>3</sup> /s); (zur besseren Vergleichbarkeit sind die Abbildung der unteren Kontrollstrecke spiegelverkehrt); (Basler & Hofmann West AG , 2013).....	52
<b>Abb. 7-19:</b> Lageplan Strömungstrichter und Leitelemente in der Mur bei St. Stefan ob Leoben (BMLFUW, 2009).....	53
Abbildung 7-20: Elemente der Maßnahme in der Mur bei St. Stefan ob Leoben (PETSCHNIK, et al., 2009).....	54
<b>Abb. 7-21:</b> Grundriss- Plan mit Lage der Profile (PETSCHNIK, et al., 2009) .....	55
<b>Abb. 7-22:</b> Geschwindigkeitsverteilung im Trichterauslauf (SINDELAR, et al., 2009).....	56
<b>Abb. 7-23:</b> Sohlenmorphologie im Bereich des Strömungstrichters a) vor und b) nach dem Einbau im August 2007 (SINDELAR, et al., 2009) .....	57
<b>Abb. 7-24:</b> Lageplan Strömungstrichter bei Gusswerk (BMLFUW, 2009).....	59
<b>Abb. 7-25:</b> Skizze des Strömungstrichters (GLÜH, 2005), verändert .....	60
<b>Abb. 7-26:</b> Strömungstrichter in der Salza bei Gusswerk (ORTNER, 2007) .....	60
<b>Abb. 7-27:</b> Fließgeschwindigkeitsverteilung im Bereich des Strömungstrichters (GLÜH, 2005).....	61
<b>Abb. 7-28:</b> Strömungstrichter vom rechten Ufer aus mit deutlich erkennbarer Geschiebesortierung .....	62
<b>Abb. 7-29:</b> Wirbelbildung und unterschiedliche Struktur des Wasserspiegelbildes durch die Blocksteinreihe (MENDE, et al., 2011) .....	63
<b>Abb. 7-30:</b> Lageplan des Strömungstrichters in der Kainach (BMLFUW, 2009) .....	64
<b>Abb. 7-31:</b> Geometrie und Koordinaten des Strömungstrichters (ORTNER, 2007) .....	65
<b>Abb. 7-32:</b> Lageplan und Anordnung der Buhnen und des Trichters (ORTNER, 2007) .....	66
<b>Abb. 7-33:</b> Geschwindigkeitsprofil im QS 9 mit/ohne Strömungstrichter (ORTNER, 2007) ..	67
<b>Abb. 7-34:</b> Stromstrichlenkung in Gewässermittle und Ausbildung vielfältiger Wasserspiegelstrukturen .....	68
<b>Abb. 7-35:</b> Lage der Pendelrampe im Stübmingbach (BMLFUW, 2009) .....	70

<b>Abb. 7-36:</b> Planungsskizze der Pendelrampe am Stübmingbach (fälschliche FLKM – Angaben) nach Baubezirksleitung Bruck a.d.Mur, 2002 (PETSCHNIK, et al., 2009) .....	72
<b>Abb. 7-37:</b> Gemessene mittlere Fließgeschwindigkeiten innerhalb der Pendelrampe am Stübmingbach (Baubezirksleitung Brck a. d. Mur, 2004 aus ROLKER, 2004) .....	73
<b>Abb. 7-38:</b> Grundriss (oben) und Längenschnitt der Pendelrampe, 2-fach überhöht (unten) .....	74
<b>Abb. 7-39:</b> links: Grundriss der Pendelrampe mit Kornklassenverteilung; rechts: mit eingezeichneten Sohlen-höhen (MENDE, et al., 2010).....	75
<b>Abb. 7-40:</b> Substratsortierung der 4. Riegel-Becken-Einheit im Dezember 2009 (MENDE, et al., 2010) .....	75
<b>Abb. 7-41:</b> Pendelrampe bei Schmelzwasserabfluss im März 2010 (MENDE, et al., 2010) .....	76
<b>Abb. 7-42:</b> Lageplan der Pendelrampe im Scherlibach (Regio GIS Berner Oberland).....	79
<b>Abb. 7-43:</b> Erstausführung der Pendelrampe unmittelbar nach Fertigstellung im Mai 2007 (MENDE, et al., 2009) .....	81
<b>Abb. 7-44:</b> Optimierte neue Pendelrampe mit bogenförmigen, in der Böschung verankerten Riegeln im September 2009 (MENDE, et al., 2009).....	82
<b>Abb. 7-45:</b> Bogenförmiger linksseitig vertiefter Riegel mit anschließender Kolkbildung und Ablagerungen (MENDE, et al., 2009) .....	83
<b>Abb. 7-46:</b> Blocksteinriegel als Rauheitselemente zur Verringerung der Fließgeschwindigkeit im Zulaufbereich zur Pendelrampe inklusive linksufriger Verbreiterung (MENDE, et al., 2009) .....	85
<b>Abb. 7-47:</b> Gestaltung des Mündungsbereiches in die Sense (MENDE, et al., 2009).....	85
<b>Abb. 7-48:</b> Lage der Pendelrampe und ökologischer Zustand des Laabenbachs (BMLFUW, 2009).....	86
<b>Abb. 7-49:</b> Pendelrampe bei Niederwasser mit Blick flussab der Brücke Leitsberg (ezb - Eberstaller Zauner Büros, 2013).....	87
<b>Abb. 15-1:</b> Schema der Bauweise einer Schneckenbuhne mit Astlagensicherung der Ufer (GROBER, 2011), verändert.....	142
<b>Abb. 15-2:</b> Strömungsverhältnisse bei Mittelwasserabfluss; Blick in Fließrichtung (HUBER, et al., 2011) .....	143
<b>Abb. 15-4:</b> Schneckenbuhne und zusätzliche Elemente; Blick entgegen Fließrichtung ...	144
<b>Abb. 15-3:</b> Strömungsverhältnisse bei Hochwasser; Blick in Fließrichtung (HUBER, et al., 2011).....	144

## 13 Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 2-1:</b> Fünf Stufen des ökologischen Zustands (EU-WRRL).....	4
Tabelle 6-1: Bezeichnungen der Achsen der quaderförmigen Wasserbausteine (SINDELAR, 2011).....	29
<b>Tab. 6-2:</b> Rampengeometrie (SINDELAR, 2011).....	30
Tabelle 7-1: Vergleich der Erstauführung mit der neuen Pendelrampe (MENDE, et al., 2009).....	81
<b>Tab. 7-2:</b> Bewertungsskala Fischaufstieg (ezb - Eberstaller Zauner Büros, 2013).....	89
<b>Tab. 7-3:</b> Bewertung der Durchgängigkeit der Pendelrampe (ezb - Eberstaller Zauner Büros, 2013).....	89
<b>Tab. 7-4:</b> Bewertungsschema Funktionsfähigkeit von Fischmigrationshilfen (ezb - Eberstaller Zauner Büros, 2013) .....	90
<b>Tab. 8-1:</b> Zielgruppen der Ziel/Auswirkung-Matrix .....	91
<b>Tab. 8-2:</b> Wirkungsgruppen und Auswirkungen der Ziel/Auswirkung - Matrix .....	92
<b>Tab. 8-3:</b> Ziel/Auswirkung-Matrix.....	93
<b>Tab. 8-4:</b> Matrix zur Ermittlung des Veränderungsgrades.....	94
<b>Tab. 8-5:</b> Definition des Veränderungsgrades .....	94
<b>Tab. 8-6:</b> Matrix mit Variablen für Anwendungsbeispiel.....	97
<b>Tab. 9-1:</b> Übersicht Zielerreichung Sohlgrundlenkbuhnen.....	111
<b>Tab. 9-2:</b> Übersicht der maßgebenden Auswirkungen der Sohlgrundlenkbuhnen .....	112
<b>Tab. 9-3:</b> Gesamtauswertung Sohlgrundlenkbuhnen .....	113
<b>Tab. 9-4:</b> Übersicht Zielerreichung Strömungstrichter .....	115
<b>Tab. 9-5:</b> Übersicht der maßgebenden Auswirkungen des Strömungstrichters .....	116
<b>Tab. 9-6:</b> Gesamtauswertung Strömungstrichter .....	117
<b>Tab. 9-7:</b> Übersicht Zielerreichung Pendelrampe .....	119
<b>Tab. 9-8:</b> Übersicht der maßgebenden Auswirkungen der Pendelrampe .....	120
<b>Tab. 9-9:</b> Gesamtauswertung Pendelrampe.....	121
<b>Tab. 9-10:</b> Übersicht Zielerreichung und Einsatzmöglichkeiten der Strukturelemente des Instream River Training .....	125
<b>Tab. 15-1:</b> Ziel/Auswirkung – Matrix: Sohlgrundlenkbuhnen Ellikerbach.....	146
<b>Tab. 15-2:</b> Ziel/Auswirkung – Matrix: Sohlgrundlenkbuhnen Mürz .....	147
<b>Tab. 15-3:</b> Ziel/Auswirkung – Matrix: Sohlgrundlenkbuhnen Taverna .....	148

<b>Tab. 15-4:</b> Ziel/Auswirkung – Matrix: Strömungstrichter St. Stefan ob Leoben .....	149
<b>Tab. 15-5:</b> Ziel/Auswirkung - Matrix: Strömungstrichter Kainach .....	150
<b>Tab. 15-6:</b> Ziel/Auswirkung - Matrix: Strömungstrichter Gusswerk .....	151
<b>Tab. 15-7:</b> Ziel/Auswirkung - Matrix: Pendelrampe Stübmingbach.....	152
<b>Tab. 15-8:</b> Ziel/Auswirkung - Matrix: Pendelrampe Scherlibach .....	153
<b>Tab. 15-9:</b> Ziel/Auswirkung – Matrix: Vorschlag für Wirkungszusammenhänge bei Sohlgrundlenkbuhnen.....	154
<b>Tab. 15-10:</b> Ziel/Auswirkung - Matrix: Vorschlag für Wirkungszusammenhänge bei Strömungstrichtern .....	154
<b>Tab. 15-11:</b> Ziel/Auswirkung - Matrix: Vorschlag für Wirkungszusammenhänge bei Pendelrampen.....	154
<b>Tab.15-12:</b> Leere Ziel/Auswirkung - Matrix.....	154
<b>Tab. 15-13:</b> Leere Ziel/Auswirkung - Matrix mit Projektziel ‚Projektkosten‘ .....	154

## 14 Formelverzeichnis

Formel 6.1: Energiedissipation im Becken einer Pendelrampe.....	32
Formel 8.1: Berechnung des Wertes einer Auswirkung der Ziel/Auswirkung – Matrix.....	97
Formel 8.2: Berechnung des Wertes eines Einzelzieles der Ziel/Auswirkung – Matrix.....	97
Formel 8.3: Berechnung des Wertes einer Zielgruppe der Ziel/Auswirkung – Matrix.....	97



Am Suhrenknie (Fluss Suhre, Kanton Luzern, Schweiz), bei der ein Uferanriss eine Schneckenform aufweist, und die Ufersicherung mit konventionellem Ansatz mit einer Steinverbauung am Prallufer einem  $HQ_{100}$  nicht Stand halten konnte, wurde zwei Schneckenbuhnen eingebaut. Diese wurden mit geringer Querneigung zum Innenufer angeordnet, der Uferverbau erfolgte soweit möglich mit biogener maschineller Ufersicherung. Dabei wurden 2 oder mehrere Astlagen horizontal verschränkt maschinell eingebaut. Diese Art der Ufersicherung bewirkt zusätzlich eine Verwirbelung im Wasser vor dem eigentlichen Ufer, wodurch die Vegetation geschützt aufwachsen und mit der Zeit die Schutzfunktion selbst übernehmen kann. Bei Mittelwasserabfluss ergibt sich nach Einbau eine Hauptströmung nahe dem Innenufer, am Prallufer entsteht eine bei konventionellen Bauweisen unübliche Widerwasserzone, bei der sich der Hauptströmung entgegengesetzt verlaufende Strömungen ausbilden (siehe Abbildung 15-2) (HUBER, et al., 2011).



Abbildung 15-2: Strömungsverhältnisse bei Mittelwasserabfluss; Blick in Fließrichtung (HUBER, et al., 2011)

Bei Hochwasserabfluss wird die Energie durch die Wirbelbildung in Gewässermitte abgebaut und entlastet dadurch das Ufer (siehe Abbildung 15-3). Die Schneckenbuhne wurde, wie auch in manchen Maßnahmen mit Strömungstrichtern, mit flussauf angeordneten Lenkelementen ergänzt (siehe Abbildung 14-4). Dabei wird eine Anregung der Wirbelbildung geschaffen. Ein Schließelement verhindert die Unterkolkung der Schneckenbuhne. Desweiteren verhindert ein Uferschutz am Innenufer unmittelbar nach der Schneckenbuhne vor allem bei Niedrigwasser eine Unterspülung dieses Uferbereichs. Die Strömunglenkung erfolgt auch durch den Gegenbogen, der die Hauptströmung in Gewässermitte leitet, und bei

Hochwasser das Außenufer schützt. Je nach Wasserführung wird der Stromstrich entweder in Flussmitte oder an das Innenufer gelenkt (HUBER, et al., 2011; HAGEMANN, 2006).



Abbildung 15-3: Strömungsverhältnisse bei Hochwasser; Blick in Fließrichtung (HUBER, et al., 2011)

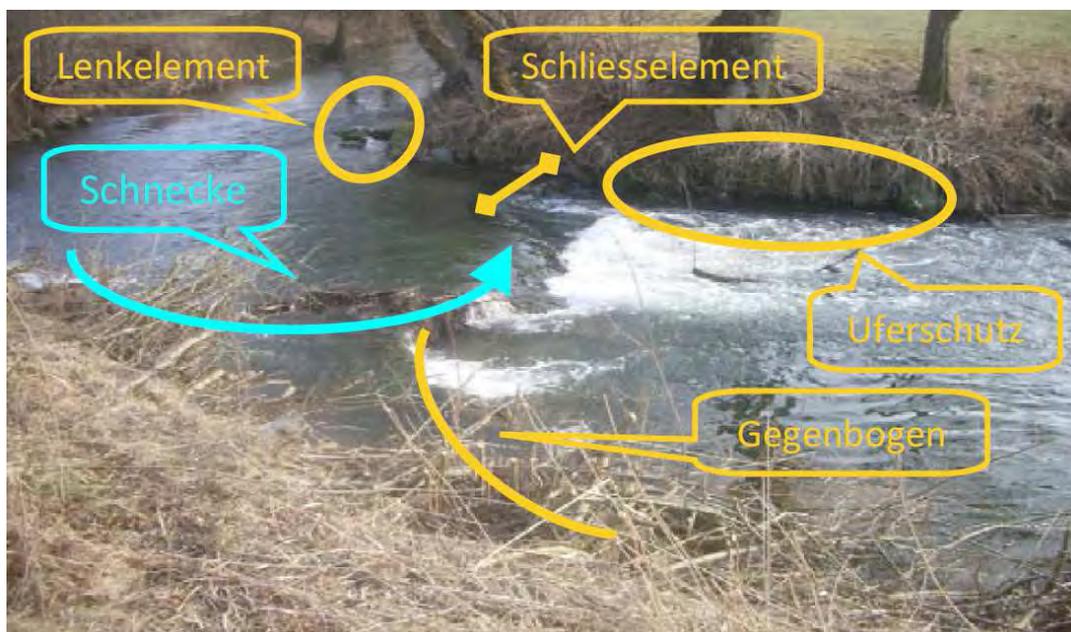


Abbildung 15-4: Schneckenbühne und zusätzliche Elemente; Blick entgegen Fließrichtung (HUBER, et al., 2011)

Ein Monitoring der fischökologischen Auswirkungen, wobei ein Kontrollfischgang durch den kantonalen Fischereiaufseher im November 2010 ergab, dass sich vor allem große und mittlere Forellen überall im Strömungsschatten der Schneckenbuhnen aufhielten. Daran ist zu erkennen, dass Schneckenbuhnen geeignete Lebensräume der Fische bilden und eine gewünschte Strömungsdiversität entsteht. Die Erfahrungen der Maßnahme am Suhrenknie zeigen zudem eine Kosteneinsparung von 30.000 Schweizer Franken gegenüber einer konventionellen Lösung (HUBER, et al., 2011).

Anhand dieses Beispiels am Suhrenknie und weiterer positiver Erfahrungen von Maßnahmen des Instream River Trainings mit dem Einbau von Schneckenbuhnen durch WERDENBERG (2012) sowie HAGEMANN (2006) ist auch dieses Gestaltungselement bezüglich der ökologischen Auswirkungen sowie der wirtschaftlichen Vorteile, eine geeignete naturnahe flussbauliche Maßnahme. Weitere Untersuchungen und Praxisbeispiele bringen auch für Schneckenbuhnen wertvolle Erkenntnisse und sollten daher weiter verfolgt werden.

## 15.2 Ziel/Auswirkung - Matrizen

Tabelle 15-1: Ziel/Auswirkung – Matrix: Sohlgrundlenkbuhnen Ellikerbach

Projekt: I,2,3 = Stärke des Wirkungszusammenhangs	Wirkungsgruppe	Auswirkung/Ausbildung	Projektziele						Σ					
			Hydraulik			Hydromorphologie				Umwelt/Ökologie				
		Veränderungsgrad	Strömungsenkung	Strömungsdiversität	Sedimenttransport	Massen - Impulsaustausch	Sohlstukturierung	Uferstabilisierung/strukturierung	Tiefenvarianz	naturnahe Ausbildung	naturnahe Diversität und Abundanz Flora	naturnahe Diversität und Abundanz Fauna	ökologische Durchgängigkeit	Erholungswert
	Hydraulik		3	3	2	2	2	2	2	2	1	3	3	1
		0	3	3	2	3	2	3	3	2	2	2	2	1
	Sohle		2	2	3	2	2	2	3	2	2	3	2	42
		1	2	2	2	2	2	2	2	1	3	3	2	18
		3	3	3	2	2	2	1	3	2	3	3	2	69
		3	3	2	2	2	3	3	3	2	3	3	2	78
		1	1	3	3	1	2	2	1	2	3	2	2	19
	Ufer		3		2	2	3	3			3	2	2	30
		1	1	2	2	2	3	3	2	2	3	2	2	17
		2	1	2	1	1	1	3	1	2	3	2	2	38
	Hochwasser		2	3	2	3	1	2						26
		2	3	2	2	2	1	2						20
	Landschaft													6
	Vegetation			1				2	3	3	3	1	3	28
	Fische								3	3	3	3	3	36
		3							3	3	3	3	3	36
		3	57	44	45	48	41	57	44	58	30	74	55	57
			Σ Einzelziele			Σ Einzelziele			Σ Einzelziele			Σ Einzelziele		
			194			200			216			Σ Zielgruppe		

Tabelle 15-2: Ziel/Auswirkung – Matrix: Sohlgrundlenkbuhnen Mürz

Projekt: Sohlgrundlenkbuhnen Mürz	Projektziele						Σ								
	Hydraulik		Hydromorphologie		Umwelt/Ökologie										
Wirkungsgruppe	Auswirkung/Ausbildung		Veränderungsgrad		Erholungswert										
	Auswirkung/Ausbildung		Veränderungsgrad		Erholungswert										
Hydraulik	Strömunglenkung	3	3	3	3	3	1	90							
	Strömungsdiversität	3	3	2	3	3	3	40							
	Sedimenttransport	3	3	3	3	3	3	0							
	Massen - Impulsaustausch	3	3	3	3	3	3	44							
	Uferstabilisierung/strukturierung	2	2	2	2	2	2	17							
Sohle	Durchlässigkeit des Flussbettes	0	2	2	2	2	2	72							
	Dynamik der Sohlenstruktur	2	2	2	2	2	2	81							
	Verbauungsgrad und -art der Sohle	1	2	2	2	2	2	18							
	Kolke	3	3	3	3	3	3	9							
Ufer	Anlandungen	3	3	3	3	3	3	17							
	Geschiebesortierung/Korngrößenverteilung	1	3	3	3	3	3	17							
	Uferentlastung	1	1	1	1	1	1	17							
Hochwasser	Dynamik des Uferbereiches	1	1	1	1	1	1	28							
	Verbauungsgrad und -art des Uferbereichs	1	1	1	1	1	1	10							
Landschaft	Effektivität bei Hochwasser	2	2	2	2	2	2	6							
	Beständigkeit	1	1	1	1	1	1	13							
Vegetation	Eingliederung in das Landschaftsbild	2	2	2	2	2	2	12							
	Entwicklung der Pflanzengesellschaften	1	1	1	1	1	1	12							
Fische	Fischbestände	1	1	1	1	1	1	12							
	Unterstände und Habitate	1	1	1	1	1	1	12							
Σ Einzelziele		49	37	50	47	42	40	41	16	53	38	33			
Σ Zielgruppe		183						163						140	

Tabelle 15-3: Ziel/Auswirkung – Matrix: Sohlgrundlenkbuhnen Taverna

Projekt: <b>Sohlgrundlenkbuhnen Taverna</b>	Projektziele										Σ											
	Wirkungsgruppe		Auswirkung/Ausbildung		Hydraulik			Ökomorphologie		Umwelt/Ökologie												
I.2.3 = Stärke des Wirkungszusammenhangs																						
Hydraulik				Veränderungsgrad	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	81
					3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	66
Sohle				0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0
					2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	40
					2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	34
					3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	69
					3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	81
					3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	57
Ufer				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	33
					2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	34
					2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	34
Hochwasser				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	39
					3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	27
Landschaft				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	9
Vegetation				2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	26
Fische				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
				2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24
				Σ Einzelziele	64	49	64	59	50	64	46	56	31	74	50	59						
				Σ Zielgruppe	236			216			214											

Tabelle 15-4: Ziel/Auswirkung – Matrix: Strömungstrichter St. Stefan ob Leoben

Projekt: Strömungstrichter St Stefan ob Leoben	Wirkungsgruppe		Hydraulik			Ökomorphologie			Umwelt/Ökologie			Σ		
	Auswirkung/Ausbildung	Veränderungsgrad	Strömunglenkung	Strömungsdiversität	Sedimenttransport	Massen - Impulsaustausch	Sohlstrukturierung	Uferstabilisierung/strukturierung	Tiefenvarianz	naturnahe Ausbildung	naturnahe Diversität und Abundanz Flora		naturnahe Diversität und Abundanz Fauna	ökologische Durchgängigkeit
1,2,3 = Stärke des Wirkungszusammenhangs	Variabilität der Fließgeschwindigkeit Spiralströmung/Sekundärströmung	3	3	3	2	2	3	2	3	2	1	2	3	1
		2	3	3	2	2	2	3	3	1	1	1	1	1
Sohle	Durchlässigkeit des Flussbettes Dynamik der Sohlenstruktur Verbauungsgrad und -art der Sohle Kolke Anlandungen Geschiebesortierung/Korngrößenverteilung	1	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	1
		2	2	2	2	2	2	1	3	2	2	3	2	1
		2	3	2	2	3	2	2	2	2	1	3	3	2
		3	3	2	1	3	1	3	2	3	2	3	3	1
		3	2	2	1	3	1	3	1	3	1	3	2	1
		2	1	3	2	3	2	3	3	3	2	1	1	2
Ufer	Uferentlastung Dynamik des Uferbereiches Verbauungsgrad und -art des Uferbereiches	2	2	2	1	2	3	3	2	2	1	2	2	2
		2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	3	1	2
Hochwasser	Effektivität bei Hochwasser Beständigkeit	2	2	2	3	3	1	2	2	2	2	2	2	2
		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Landschaft	Eingliederung in das Landschaftsbild	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Vegetation	Entwicklung der Pflanzengesellschaften	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Fische	Fischbestände Unterstände und Habitate	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Σ Einzelziele		52	45	61	40	56	58	49	60	20	80	62	64	
Σ Zielgruppe		198											223	226



Tabelle 15-6: Ziel/Auswirkung - Matrix: Strömungstrichter Gusswerk

Projekt: <b>Strömungstrichter Gusswerk</b>	Projektziele					Σ							
	Hydraulik	Ökomorphologie	Umwelt/Ökologie		Erholungswert								
I,2,3 = Stärke des Wirkungszusammenhangs	Veränderungsgrad	Strömungsenkung	3	3	3	3	1	1	1	78			
		Strömungsdiversität	3	3	2	2	2	2	2	2	63		
		Sedimenttransport	3	2	2	2	2	2	2	2	0		
	Sohle	Veränderungsgrad	Strömungsenkung	2	2	2	2	2	2	2	42		
			Strömungsdiversität	3	2	2	2	2	2	2	44		
			Sedimenttransport	3	2	2	2	2	2	2	78		
			Uferstabilisierung/strukturierung	3	2	2	2	2	2	2	44		
			Tiefenvarianz	2	2	2	2	2	2	2	44		
			naturnahe Ausbildung	2	2	2	2	2	2	2	63		
	Ufer	Veränderungsgrad	Uferentlastung	2	2	2	2	2	2	2	24		
			Dynamik des Uferbereiches	3	2	2	2	2	2	2	54		
			Verbauungsgrad und -art des Uferbereiches	1	1	1	1	1	1	1	19		
	Hochwasser	Veränderungsgrad	Effektivität bei Hochwasser	2	2	2	2	2	2	2	26		
			Beständigkeit	2	2	2	2	2	2	2	16		
	Landschaft	Veränderungsgrad	Eingliederung in das Landschaftsbild	3	3	3	3	3	3	3	12		
Entwicklung der Pflanzengesellschaften			1	1	1	1	1	1	1	14			
Fische	Veränderungsgrad	Fischbestände	3	3	3	3	3	3	3	36			
		Unterstände und Habitate	3	3	3	3	3	3	3	36			
Σ Einzelziele		55	49	61	48	51	57	49	58	27	74	59	61
Σ Zielgruppe		213		215		221							

Tabelle 15-7: Ziel/Auswirkung - Matrix: Pendelrampe Stübmingbach

Projekt: <b>Pendelrampe Stübmingbach</b>	Projektziele				Σ		
	Hydraulik	Ökomorphologie	Umwelt/Ökologie				
I,2,3 = Stärke des Wirkungszusammenhangs	Auswirkung/Ausbildung						
	Hydraulik	Veränderungsgrad	3	3	3	2	90
		Strömunglenkung	3	3	3	2	38
	Sohle	Strömungsdiversität	3	3	3	2	20
		Sedimenttransport	3	3	3	2	66
		Massen - Impulsaustausch	3	3	3	2	42
		Uferstabilisierung/strukturierung	3	3	3	2	46
		Tiefenvarianz	3	3	3	2	24
		naturnahe Ausbildung	3	3	3	2	75
	Ufer	Uferentlastung	1	3	3	2	11
		Dynamik des Uferbereiches	2	3	2	2	34
	Hochwasser	Verbauungsgrad und -art des Uferbereichs	2	3	2	2	32
		Effektivität bei Hochwasser	1	3	3	2	19
	Landschaft	Beständigkeit	2	3	3	2	26
	Vegetation	Eingliederung in das Landschaftsbild	3	3	3	3	12
Fische	Entwicklung der Pflanzengesellschaften	3	3	3	3	45	
	Fischbestände	3	3	3	3	36	
	Unterstände und Habitate	3	3	3	3	36	
	Σ Einzelziele	43	39	50	55	187	
	Σ Zielgruppe	230			235		



Tabelle 15-9: Ziel/Auswirkung – Matrix: Vorschlag für Wirkungszusammenhänge bei Sohlgrundlenkbuhnen

Sohlgrundlenkbuhnen		Ziele																
		Hydraulik			Hydromorphologie				Ökologie/Umwelt									
Wirkungsgruppe	Auswirkung/Ausbildung	Veränderungsgrad																
		Strömungsenkung	Strömungsdiversität	Sedimenttransport	Massen - Impulsaustausch	Sohlstrukturierung	Uferstabilisierung/strukturierung	Tiefenvarianz	naturnahe Ausbildung	naturnahe Diversität und Abundanz Flora	naturnahe Diversität und Abundanz Fauna	ökologische Durchgängigkeit	Erholungswert					
Hydraulik	Variabilität der Fließgeschwindigkeit	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	
	Spiralströmung/Sekundärströmung	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Sohle	Durchlässigkeit des Flussbettes	2	2	3	2	2	2	2	2	2	3	1	2	2	2	2	2	2
	Dynamik der Sohlenstruktur	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Verbauungsgrad und -art der Sohle	3	3	2	2	2	2	2	2	1	3	3	2	3	3	3	3	3
	Kolke	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3
	Anlandungen	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3
Ufer	Geschiebesortierung/Korngrößenverteilung	1	3	3	1	2	2	2	2	2	1	2	2	3	3	3	3	3
	Uferentlastung																	
	Dynamik des Uferbereiches	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3
Hochwasser	Verbauungsgrad und -art des Uferbereiches	3	2	1	3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Effektivität bei Hochwasser	3	2	3	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Landschaft	Beständigkeit	3	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Eingliederung in das Landschaftsbild																	
Vegetation	Entwicklung der Pflanzengesellschaften		1															
	Fischbestände																	
Fische	Unterstände und Habitate																	
		Σ Einzelziele																
		Σ Zielgruppe																

Tabelle 15-10: Ziel/Auswirkung - Matrix: Vorschlag für Wirkungszusammenhänge bei Strömungstrichtern

Strömungstrichter		Ziele												
		Hydraulik			Hydromorphologie			Ökologie/Umwelt						
Wirkungsgruppe	Auswirkung/Ausbildung	Veränderungsgrad												
		Strömungslenkung	Strömungsdiversität	Sedimenttransport	Massen - Impulsaustausch	Sohlstrukturierung	Uferstabilisierung/strukturierung	Tiefenvarianz	naturnahe Ausbildung	naturnahe Diversität und Abundanz Flora	naturnahe Diversität und Abundanz Fauna	ökologische Durchgängigkeit	Erholungswert	
1,2,3 = Stärke des Wirkungszusammenhangs														
Hydraulik	Variabilität der Fließgeschwindigkeit Spiralströmung/Sekundärströmung	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
Sohle	Durchlässigkeit des Flussbettes	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
	Dynamik der Sohlenstruktur	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Verbauungsgrad und -art der Sohle	3	2	3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1
	Kolke	2	2	3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1
	Anlandungen	1	3	3	2	3	3	3	2	2	2	2	2	1
Ufer	Geschiebesortierung/Korngrößenverteilung	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
	Uferentlastung	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Dynamik des Uferbereiches	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Hochwasser	Verbauungsgrad und -art des Uferbereichs	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Effektivität bei Hochwasser	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Landschaft	Beständigkeit	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Eingliederung in das Landschaftsbild	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vegetation	Entwicklung der Pflanzengesellschaften	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Fischbestände	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Fische	Unterstände und Habitate	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		Σ Einzelziele												
		Σ Zielgruppe												





Tabelle 15-13: Leere Ziel/Auswirkung - Matrix mit Projektziel ‚Projektkosten‘

Projekt:	Wirkungsgruppe		Auswirkung/Ausbildung	Projektziele				Σ
	1,2,3 = Stärke des Wirkungszusammenhangs	Veränderungsgrad		Hydraulik	Hydromorphologie	Ökologie/Umwelt	Projektkosten	
Hydraulik		Veränderungsgrad	Variabilität der Fließgeschwindigkeit Spiralströmung/Sekundärströmung	Strömungsenkung	Sohlstukturierung	naturnahe Flora naturnahe Diversität und Abundanz	Erholungswert	
Sohle			Durchlässigkeit des Flussbettes Dynamik der Sohlenstruktur Verbauungsgrad und -art der Sohle Kolke Anlandungen Geschiebesortierung/Korngrößenverteilung	Strömungsdiversität	Uferstabilisierung/strukturierung	naturnahe Diversität und Abundanz Fauna ökologische Durchgängigkeit		
Ufer			Uferentlastung Dynamik des Uferbereiches Verbauungsgrad und -art des Uferbereiches	Sedimenttransport	Tiefenvarianz			
Hochwasser			Effektivität bei Hochwasser Beständigkeit	Massen - Impulsaustausch	naturnahe Ausbildung			
Landschaft			Eingliederung in das Landschaftsbild					
Vegetation			Entwicklung der Pflanzengesellschaften					
Fische			Fischbestände Habitats					
Wirtschaft*			Aufwand/Errichtung Wartung/Unterhalt Material/Bauweise Zeit					
								Σ Einzelziele
								Σ Zielgruppe

\* Für die Wirkungsgruppe Wirtschaft ist der Veränderungsgrad als Gewichtung im Vergleich zu einer definierten Alternative verstehen