

Technische Universität Graz
Dekanat für Bauingenieurwissenschaften
Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

Die Entwicklung einer Fischaufstiegshilfe beim Kraftwerk Jajce I

Masterarbeit
von
Bojan MILASINOVIC

Vorgelegt zur Erlangung des
akademischen Grades eines Master
der Studienrichtung Bauingenieurwissenschaften

Graz, im Jänner 2014

Betreuer der Diplomarbeit:
Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Helmut KNOBLAUCH

.....

Eid (Ehrenwörtliche Erklärung)

Ich erkläre an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Ich versichere, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin oder einem Beurteiler) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Graz, im Jänner 2014

.....

Danksagung

Mein Dank für das Gelingen dieser Arbeit gilt an der ersten Stelle meinem Betreuer Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Helmut Knoblauch, welcher mich durch seine Begeisterung für das Projekt „Die Entwicklung einer Fischaufstiegshilfe beim Kraftwerk Jajce I“ zum Schreiben ermutigt hat. Außerdem hat er sehr viel Zeit für die Beratung, Besprechungen und Korrektur aufgewendet.

Ein weiterer Dank geht an Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerald Zenz für Ermöglichung der Besichtigung des Projektortes mittels erlebnisreicher Exkursion durch Bosnien und Herzegowina.

Bedanken möchte ich mich auch bei meinem Vater, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Zoran Milasinovic, welcher mich während der Studienzeit kontinuierlich mit seiner Kraft, Energie und Wissen begleitete.

Meine weiblichen Fans Mutter, Verlobte und Schwester haben bei meinem Erfolg ebenso kräftig mitgewirkt und dafür möchte ich ihnen einen Dank aussprechen.

Kurzfassung

Das Thema meiner Masterarbeit ist „Die Entwicklung einer Fischaufstiegshilfe beim Kraftwerk Jajce I“. Das Bundesministerium für Land - , Wasser - und Forstwirtschaft des Staates BiH erteilte ein Bescheid, der sich auf die Bewilligung für die Nutzung des Wassers für das Kraftwerk Jajce I bezieht. Um diese Bewilligung zu bekommen muss ein minimaler Durchfluss über die Wasserfälle in der Stadt Jajce von mindestens 3,0 m³/s gegeben sein.

Durch hydraulische Berechnungen und Messungen vor Ort habe ich festgestellt, dass dieser angegebene Durchfluss nicht zu Erreichen war. Grund dafür war der Rohrdurchlass, der zwischen den großen und den kleinen See liegt. Gemessen sind hier ca. 2,4 m³/s, es fehlen noch 0,6 m³/s, um das biologischen Minimum zu erreichen. Um das zu erzielen stelle ich in meiner Arbeit drei verschiedene Fischaufstiegshilfen dar. Damit würde das Land Bosnien und Herzegowina eine erste Fischaufstiegshilfe errichten und gleichzeitig eine Problemlösung des Durchflusses von 3 m³/s erhalten.

Alle drei Varianten der Fischaufstiegsanlagen wurden hydraulisch und konstruktiv berechnet. Das führt zu unterschiedliche Ergebnissen. Zwei von drei Varianten entsprechen einem Naturfischpass und eine von drei einem technischen Fischpass. Bei allen drei erreichte ich den Durchfluss von jeweils 0,6 m³/s, der Platzbedarf bereitete jedoch ein Problem. Aus diesem Grund ist die Variante drei „Schlitzpass (Vertical – Slot – Pass)“ optimal, da sie fast alle Kriterien erfüllt. Diese Variante wird als Durchführungsvariante vorgeschlagen.

Ich konnte mit dieser Masterarbeit die in der Theorie erworbenen Kenntnisse in die Praxis umsetzen.

Abstract

The topic of my Master's degree paper is „The Fishway Project for the Jajce 1 Hydro Power Plant”. The Federal Ministry of Agriculture, Water Management and Forestry has issued a Permit to Take Water (PTTW) from the Great Lake (Veliko jezero) for the operation of the Jajce Hydro Power Plant. To obtain a PTTW, the minimum water flow rate of the Pliva River through the town of Jajce and over the waterfall should not be less than 3,0 m³/s.

Having made on-the-spot hydraulic calculations and measurements, I have reached a conclusion that the specified flow rate cannot be achieved through the outlet pipe, which is located between the Great and Little Lake (Veliko i Malo jezero), and designed for the purpose. The measurement of the water flow rate was 2,4 m³/s, which means that 0,6 m³/s was missing in order to meet the requirement of the PTTW.

As a solution to the problem and within my Master's degree paper, I've considered three different fishways with a flow rate of 0,6 m³/s, which is the first such project in Bosnia and Herzegovina.

The hydraulic and structural calculations, all three variants, have led to various solutions. Two of the three variants correspond to the natural fishway and one to a technically designed fishway. In all three variants, a flow of 0,6 m³/s has been provided.

Spatial positioning or integration of the fishway between the existing buildings represented a major problem. The third variant, that is, “Vertical – Slot Fish Pass” is an optimal solution because it fulfills almost all necessary criteria; therefore, the variant is proposed for implementation.

Within the Master's degree paper I have endeavored to put theoretical and practical knowledge, gained during my studies, into practice.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	10
1.1	Aufgabenstellung	10
2.	Beschreibung Kraftwerk Jajce I	13
2.1	Einlaufbauwerk großen See	14
2.2	Absperrbauwerk	14
2.3	Entlastungsanlage Zuleitungsgerinne	17
2.4	Maschinenhaus und Verteilungsanlage	18
2.5	Die historischen Mühlen	19
2.6	Entlastungsorgane Wasserkraftwerk Jajce I	20
2.7	Die Fischarten der beiden Plivaseen	21
3.	Rohrdurchlass zwischen oberem und unterem See	22
3.1	Projektierung des Rohrdurchlasses	22
3.2	Hydraulische Berechnung des Rohrdurchlasses	23
3.3	Berechnung des Durchflusses	23
3.3.1	Charakteristik des Rohrdurchlasses	23
3.3.2	Formverluste beim Eintritt	24
3.3.3	Formverluste beim Rechen	24
3.3.4	Formverluste bei der Klappe	25
3.3.5	Reibungsverluste im Rohr	25
3.3.6	Berechnung des Durchflusses	25
4.	Durchflussmessungen Rohrdurchlass und Gerinne	29
4.1	Allgemeines	29
4.2	Messkampagne 25.08.2009	29
4.3	Messkampagne 10.09.2009	31
4.4	Messkampagne 23.03.2010	32
4.5	Messergebnisse	33
5.	Fischaufstiegshilfe (FAH)	35
5.1	Allgemeines	35
5.2	Raugerinne mit Beckenstruktur	36
5.2.1	Allgemeines	36

5.2.2	Vorteile und Nachteile	38
5.3	Raugerinne mit Störsteinen	39
5.3.1	Allgemeines	39
5.3.2	Vorteile und Nachteile	41
5.4	Schlitzpass (Vertical – Slot – Pass).....	42
5.4.1	Allgemeines	42
5.4.2	Vorteile und Nachteile	44
5.5	Parameter für Fischarten.....	45
6.	Hydraulik	46
6.1	Allgemeines.....	46
6.2	Raugerinne mit Beckenstruktur	46
6.2.1	Allgemeines	46
6.2.2	Bemessung.....	47
6.2.3	Berechnung Raugerinne mit Beckenstruktur Jajce I	50
6.2.4	Kontrolle Bemessung – Raugerinne mit Beckenstruktur	54
6.2.5	Ergebnisse hydraulische Berechnung – Raugerinne mit Beckenstruktur 55	
6.2.6	Stabilität – Raugerinne mit Beckenstruktur	57
6.2.6.1	Allgemeines.....	57
6.2.6.2	Stabilität des Sohlenmaterials – Berechnung.....	58
6.3	Raugerinne mit Störsteinen	60
6.3.1	Allgemeines	60
6.3.2	Bemessung.....	60
6.3.3	Berechnung Raugerinne mit Störsteinen Jajce I	64
6.3.4	Kontrolle hydraulische Bemessung	69
6.3.5	Ergebnisse hydraulische Berechnung – Raugerinne mit Störsteinen ...	72
6.3.6	Stabilität einzelner Störsteine	74
6.3.7	Berechnung - Stabilität einzelner Störsteine	76
6.4	Schlitzpass (Vertical – Slot – Pass).....	78
6.4.1	Allgemeines	78
6.4.2	Bemessung.....	79
6.4.3	Berechnung Schlitzpass Jajce I.....	81
6.4.4	Ergebnisse hydraulische Berechnung – Schlitzpass.....	84
7.	Variantenstudium.....	86

8.	Beispielhafter Vergleich – Wasserkraftwerk Gössendorf	88
8.1	Allgemeines	88
8.2	Fischaufstiegshilfe Wasserkraftwerk Gössendorf	89
8.2.1	Schlitzpass „Vertical – Slot – Pass“:	89
8.2.2	Natürlicher Beckenpass:	91
9.	Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	93
	Literaturverzeichnis	96
	Abbildungsverzeichnis	98
	Tabellenverzeichnis	101
	Anhang	102

1. Einleitung

Das Bundesministerium für das Land -, Wasser - und Forstwirtschaft der Republik Bosnien und Herzegowina hat auf den Antrag der öffentlichen Gesellschaft „Elektroenergiewirtschaft Kroatische Gemeinschaft Herceg-Bosna d.d. Mostar“ für die Ausstellung der wasserwirtschaftlichen Bewilligung für die Nutzung des Wassers im Betrieb KW Jajce I am 20. April 2006 einen Bescheid erteilt.

Die Voraussetzung für die wasserwirtschaftliche Bewilligung war die Einhaltung eines min. Durchflusses bei den Wasserfällen in der Stadt Jajce von 3,0 m³/s. Um dies zu erfüllen, wurde im Bescheid der Bau einer Fischaufstiegshilfe vorgeschlagen. Das wäre die erste Fischaufstiegshilfe in Bosnien und Herzegowina und würde gleichzeitig die Lösung des Problems darstellen, das sich auf den minimalen Durchfluss bezieht.

1.1 Aufgabenstellung

Der große und kleine See Pliva sind durch den Fluss Pliva entstanden. Die Pliva ist ein linker Nebenfluss des Flusses Vrbas in der Stadt Jajce. Die Seen liegen im Flusstal der Pliva zwischen der Stadt Jajce und dem kleinen Ortsgebiet Jezero neben der Bundesstraße Jajce – Bihac (Abbildung 2). Der Wasserspiegel des großen Sees liegt auf einer Kote von 424,00 m.ü.A, hat eine Länge von 3,3 km, eine durchschnittliche Breite von 400,00 m und eine maximale Breite von 700,00 m. Die maximale Seetiefe beträgt ca. 36,00m.



Abbildung 1: Großer Pliva See

Der große See wurde durch Absperrbauwerk geschaffen. Deren Sanierung und Nivellierung wurde mittels Betonschwellen durchgeführt. Die Betonschwellen haben mehrere kleine Öffnungen, die für die Wasserabgabe in den kleinen See (Badesee) zuständig sind. Die Hochwasserentlastung befindet sich auf der rechten Seite des Abschlussbauwerkes und hat eine Segmentklappe.

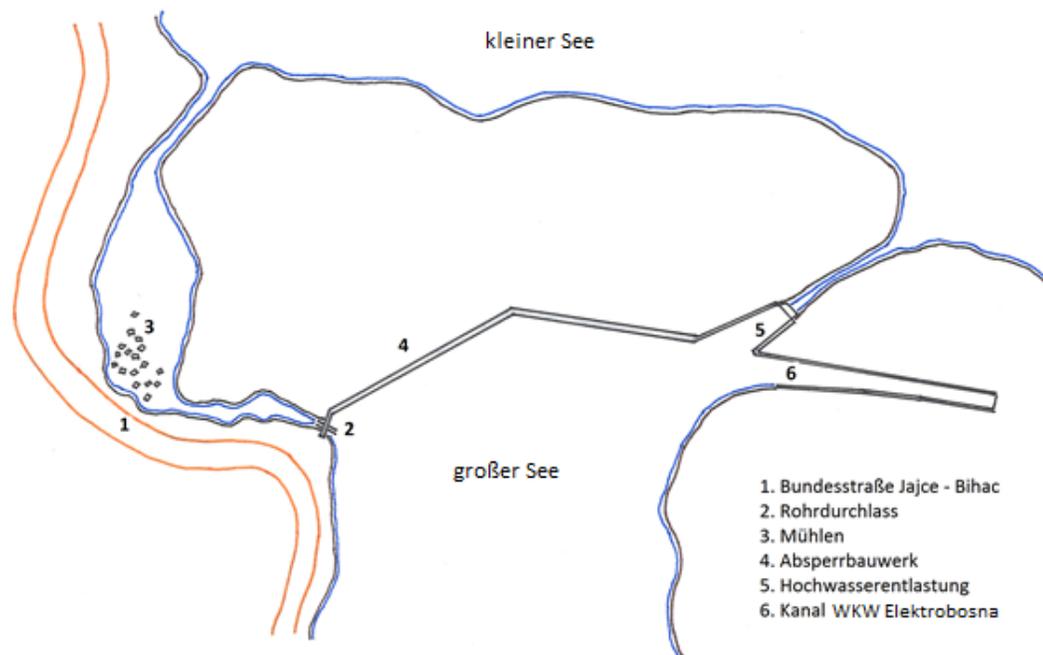


Abbildung 2: Lageplan mit Darstellung der Betriebsorgane

In die Betonschwelle wurde ein Rohrdurchlass mit einer Drosselklappe (Abbildung 8) gebaut. Man plante für diesen Rohrdurchlass einen Durchfluss von $3,00 \text{ m}^3/\text{s}$. Dies würde einem biologischen Minimum des Abflusses entsprechen. Messungen haben aber gezeigt, dass der Durchfluss von $3,00 \text{ m}^3/\text{s}$ nicht gegeben ist.

Durch die hydraulische Berechnung wurde festgestellt, dass der Hauptgrund des Problems, was den Durchfluss betrifft, gerade die Drosselklappe ist, bzw. die durch diesen hervorgerufenen Verluste. Eine der Lösungen des Problems bestand in der Entfernung der Drosselklappe. Von dieser Lösung musste man jedoch absehen, da der Rohrdurchlass in diesem Fall „frei“ wäre und somit keine Möglichkeit besteht, den Durchfluss zu regulieren. Dies verursacht große technische Probleme, was den operativen Teil betrifft. Größere Durchflüsse auf

den Rohrdurchlass würden dann eine Zerstörung von Mühlen verursachen, die eine wichtige kulturelle und funktionelle Rolle im Nationalpark BiH spielen. Man hat die Funktion der Mühlen auch mit einem kleineren Abfluss als $3,0 \text{ m}^3/\text{s}$ gewährleistet.

Eine zusätzliche Wassermenge von $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ abzulassen, ist theoretisch über die Hochwasserentlastung möglich. Aber die Dimensionen der Segmentklappe erlauben keine exakte Steuerung der Abflussmenge.

Mit dieser Arbeit wird die Lösung des Problems durch eine Fischaufstiegshilfe vorgestellt. Die Arbeit beinhaltet eine hydraulische und eine konstruktive Berechnung.

2. Beschreibung Kraftwerk Jajce I

Das Wasserkraftwerk Jajce I wurde in zwei Anläufen konzipiert. Der erste Versuch startete 1946, im Rahmen dessen vorgeschlagen wurde, dass das Einlaufbauwerk zu den Turbinen am linken Ufer des kleinen Sees angeordnet wird. Damit würde der Wasserspiegel im kleinen See für 7,65 m höher. Der Wasserspiegel des kleinen Sees wäre dann auf dem gleichen Niveau wie der Wasserspiegel des großen Sees. Der Bau wurden 1949 abgebrochen. Der zweite Versuch startete 1952. Hier wurde beschlossen, dass die natürliche Umwelt der Seen nicht verändert werden dürfe. Das Einlaufbauwerk zu den Turbinen wurde auf der rechten Seite des großen Sees angeordnet. Der Bau auf der linken Seite war aufgrund ungünstiger geologischer und topographischer Bedingungen nicht möglich. In diesem Fall war es grundsätzlich nicht möglich, das Einlaufbauwerk komplett unterirdisch platzieren. Zudem befinden sich auch Kalkgebirge in größeren Tiefen. Mit dem Bau des Einlaufwerkes beim großen See konnte ein Bau einer Talsperre vermieden und die Natur + Kultur (Mühlen) geschützt werden. Somit gilt dies aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht als optimale Lösung. Die Triebwasserleitung ist auf der rechten Seite des kleinen Sees geführt und reicht bis zum Fluss Vrbas, 8,00 km flussabwärts von der Stadt Jajce, wo sich das Maschinenhaus befindet.

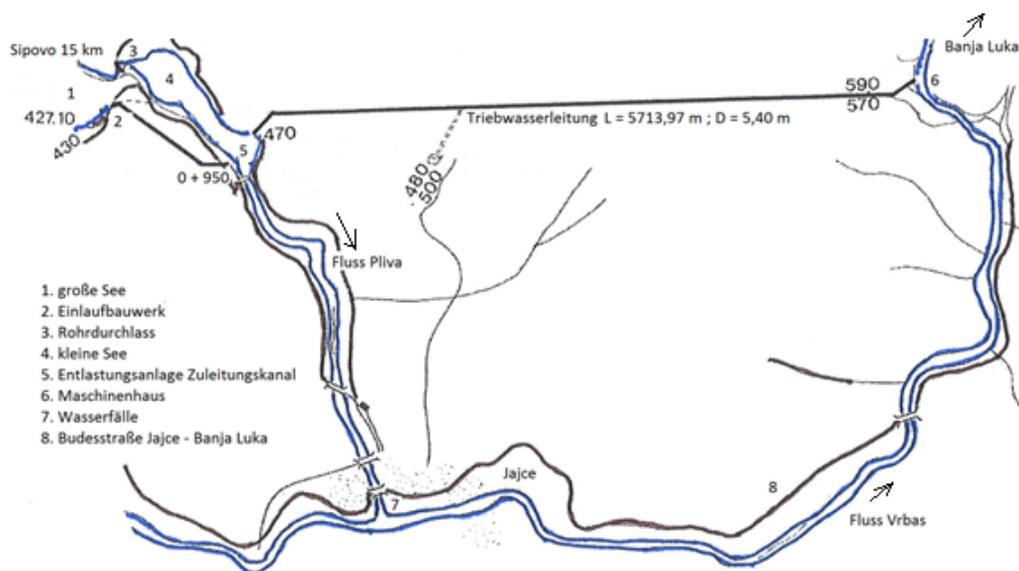


Abbildung 3: Lageplan des Projektgebietes

2.1 Einlaufbauwerk großen See

Das Einlaufbauwerk zu den Turbinen (Abbildung 3) liegt unterirdisch in einem Kalkgebirgsmassiv. Für dessen Bau ist charakteristisch, dass die Arbeit unter dem (konstanten) Wasserstand im großen See durchgeführt werden musste. Aufgrund des alten Wasserkraftwerks Elektrobosna konnte der Wasserstand nicht gesenkt werden, da der Antrieb von WK Elektrobosna nicht unterbrochen werden durfte. Durch diese Art des Baus des Einlaufbauwerkes wurde die Natur des großen Sees vollständig geschützt und bewahrt.

2.2 Absperrbauwerk

Eine vom Gletscher geformte, natürliche Moräne bildet das Abschlussbauwerk für den großen See, der sich bis zum kleinen Ort Jezero erstreckt. Die Tiefe des großen Sees beträgt bis zu 36,00m. Die Krone der natürlichen Moräne wurde durch eine Betonschwelle begradigt (Abbildung 4). Die Betonschwelle wurde bereits 1895 gebaut, aufgrund des alten WK Elektrobosna.



Abbildung 4: Betonschwelle

Die Hochwasserentlastung befindet sich auf der rechten Seite des Abschlussbauwerkes und hat eine Segmentklappe, die durch eine Hand – und

Fernbedienung gesteuert werden kann. (Abbildung 5, Abbildung 6). Diese verfügt über eine Kapazität von $50,00 \text{ m}^3/\text{s}$.



Abbildung 5: Hochwasserentlastung großer See



Abbildung 6: Hochwasserentlastung mit der Segmentklappe

Auf der natürlichen Moräne liegt eine spezieller Rohrdurchlass zwischen dem großen und dem kleinen See, um mit $3,00 \text{ m}^3/\text{s}$ Wasser für Mühlen neben dem See und Wasserfälle in der Stadt Jajce zu versorgen (Abbildung 7). Der

Rohrdurchlass hat einen Durchmesser von 1000 mm und wurde mit einer Drosselklappe als Steuerung gebaut (Abbildung 8).



Abbildung 7: Der Rohrdurchlass $D= 1000$ mm



Abbildung 8: Drosselklappe / Rohrdurchlass

Die Betonschwellen beinhalten mehrere kleine Öffnungen, die für eine Wasserabgabe in den kleinen See (Badesee) zuständig sind (Abbildung 9).



Abbildung 9: Kleine Öffnungen

2.3 Entlastungsanlage Zuleitungserinne

Die Entlastungsanlage des Zuleitungserinn ist bei Stationierung 0 + 950 (Abbildung 3) angeordnet und führt in den kleinen See. Die Steuerung erfolgt über eine Segmentklappe. Die Kapazität beträgt max 135 m³/s, wenn er allein arbeitet, und 97 m³/s, wenn das Wasserkraftwerk in Betrieb ist (Abbildung 10). Zur Energieumwandlung wurde ein Tosbecken ausgeführt.



Abbildung 10: Entlastungsanlage Zuleitungserinne

2.4 Maschinenhaus und Verteilungsanlage

Das Maschinenhaus und die 110-kV Schaltanlage sind unterirdisch im Kalksteinmassiv der Schlucht des Flusses Vrbas 8 km stromabwärts von Jajce platziert. Die 110-kV Anlage konnte etwa 500 m entfernt platziert werden, man hat allerdings wegen der Kabellänge und der teilweise ausgeführten Ausgrabung im Jahre 1947 auf die Platzierung verzichtet. Bei der Errichtung der Anlage wurde das Maschinenhaus in vier Teile aufgeteilt: Montageplateau, Maschinenraum mit 2 Teilen und Steuerungsanlage. Im Maschinenhaus befinden sich zwei Aggregate mit den folgenden Merkmalen:

- Ausbaudurchfluss für eine Turbine: $Q_i = 37\text{m}^3/\text{s}$; Gesamt: $Q_i = 74\text{m}^3/\text{s}$
- Installierte Leistung für zwei Francis Turbinen 300 U/min; $N = 23,088$ MW; Gesamt: $N = 46,176$ MW
- Zwei Generatoren: jeweils 30 MW; Gesamt: 60 MW
- Jahresarbeit 233 GWh

2.5 Die historischen Mühlen

Historische Mühlen liegen im Fluss Pliva und sind 5 km vom Zentrum Jajce entfernt (Abbildung 11). Diese sind schon im Mittelalter gebaut worden und existieren heute noch immer. Es sind 20 Mühlen, die genau an dem Absperrbauwerk zwischen großen und kleinen See. Sie schaffen ein schönes Naturambiente und beweisen die große handwerkliche Meisterschaft dieser Zeit (15. Jahrhundert).

Auf Grund der Natur Geschichte, Architektur, Geologie und Wissenschaft ist im Jahr 2009 das Kulturgebiet Plivska Jezera inklusive Mühlenkomplex zum Nationalpark von Bosnien und Herzegowina Verkündigt worden.

Die Mühlen gehören auch zur industriellen Architektur, da Sie für die Mehlproduktion genutzt wurden. Die Benutzung der Mühlen wurde nicht mit Geld bezahlt, sondern man hat ein Zehntel der Mehlmenge einbehalten. Die Inhaber waren sehr reich. Jede Familie im Dorf hat einen bestimmten Tag für das Mehlmahlen gehabt. Diese Ordnung war streng definiert und wurde von den Einwohnern akzeptiert. Heute sind alle Mühlen saniert und fünf davon sind auch funktionsfähig.

Neben den Wasserfällen von Jajce sind die Mühlen der für Touristen zweitbeliebteste Ort.



Abbildung 11: Historische Mühlen

2.6 Entlastungsorgane Wasserkraftwerk Jajce I

Tabelle 1: Kapazität von Entlastungsorganen

Entlastungsorgane:	Durchfluss Q [m ³ /s]:
Hochwasserentlastung (mit Segmentklappe)	50,00 m ³ /s
Rohrdurchlass (mit Drosselklappe)	3,00 m ³ /s
Entlastungsanlage Zuleitungsgerinne (mit Segmentklappe)	97,00 m ³ /s
Installierter Durchfluss für 2 Turbinen (je 37 m ³ /s)	2 * 37 = 74,00 m ³ /s
Gesamte Kapazität der Entlastungsorgane:	224,00 m³/s

Es ist zu betonen, dass die maximalen Durchflüsse des Flusses Pliva durch die Stadt Jajce mit $HQ_{100} = 220 \text{ m}^3/\text{s}$ und $HQ_{1000} = 285 \text{ m}^3/\text{s}$ angegeben werden. Die Gesamte Kapazität der Entlastungsorgane der KW - Anlage beträgt $224,00 \text{ m}^3/\text{s}$, was weniger als HQ_{1000} ist. Es bedeutet, dass das Wasser im Falle eines HQ_{1000} über das Absperrbauwerk fließt. Auf diese Situation wird hingewiesen, sie wird jedoch nicht weiter kommentiert.

Der mittlere Jahresabfluss beträgt $38,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Aber besonders wichtig ist die Tatsache, dass im Fluss Pliva hauptsächlich (97 % jährlich) nur $3,00 \text{ m}^3/\text{s}$ fließen. Dies ist der Mindestabfluss, bedingt durch den Betrieb des WKW Jajce I. Die Abbildung 12 zeigt den Wasserfall bei einem Abfluss von $160 \text{ m}^3/\text{s}$ im April 2004.



Abbildung 12: Wasserfall bei einem Abfluss von $160 \text{ m}^3/\text{s}$, April 2004

2.7 Die Fischarten der beiden Plivaseen

Die Fischarten in dem großen und kleinen Pliva See sind identisch. Bekannt sind neun verschiedene Arten aus drei Familien. In der Forellenfamilie dominiert die Regenbogenforelle, was die Karpfenfamilie betrifft sind das Döbel, Giebel, Schneider und Plötze. Die Werte in der Tabelle 2 stelle die Ergebnisse Untersuchung dar. Die Massenangaben beziehen sich nur auf die Untersuchungsergebnisse.

Tabelle 2: Die Fischarten der Plivaseen ([15] S.15)

Numm.	Fischarten	Anzahl der einzelnen Arten	X Masse [gr]	Gesamtmasse [kg]	%
1.	Regenbogenforelle	85	122	10,30	13,99
2.	Bachforelle	67	141	9,37	12,68
3.	Seesaibling	23	120	2,69	3,64
4.	Europäische Äsche	30	120	3,53	4,78
5.	Döbel	102	128	12,99	17,59
6.	Giebel	85	132	11,30	15,29
7.	Karpfen	30	422	12,67	17,15
8.	Rotauge (Plötze)	57	128	7,32	9,9
9.	Schneider	75	50	3,69	5,00
Summe:		546		73,90	100

3. Rohrdurchlass zwischen oberem und unterem See

3.1 Projektierung des Rohrdurchlasses

Der Rohrdurchlass, in der natürlichen Moräne des Großen Sees, ist als ein komplexes Objekt (Abbildung 13) projektiert, welches zum einen die Wasserversorgung der „Wassermühlen“ (Oberrohr auf Abbildung 13) ermöglicht. Sowie die Wasserzufuhr zum Wasserkraftwerk Sipovo (Unterrohr auf Abbildung 13) gewährleistet. Das Wasserkraftwerk Sipovo wurde nicht realisiert, so dass das untere Rohr dauerhaft durch eine Betonkappe versiegelt wurde und nur das obere Rohr mit einem Durchmesser von 1000 mm, Länge von 5,10 m und mit einer Drosselklappe in Gebrauch steht. Obwohl der Rohrdurchlass nach dem Projektentwurf hydraulisch „frei“ entworfen wurde, ist er nicht so ausgelegt.

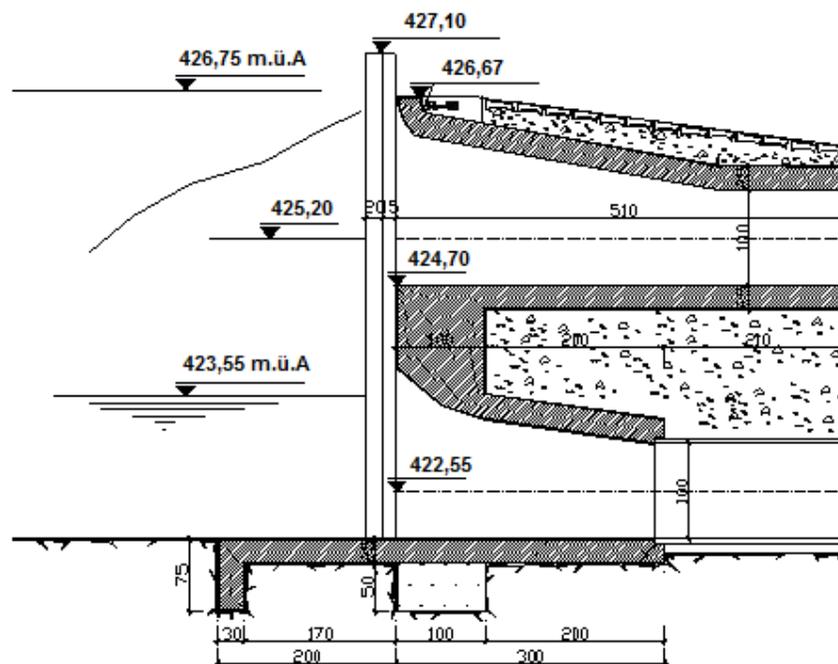


Abbildung 13: Technische Lösung des Rohrdurchlasses

3.2 Hydraulische Berechnung des Rohrdurchlasses

Der Rohrdurchlass ist als ein einfaches Rohr mit dem Durchmesser 1000 mm ausgelegt, mit einem Rechen am Eingang und mit einer Drosselklappe in der Mitte (Abbildung 14).

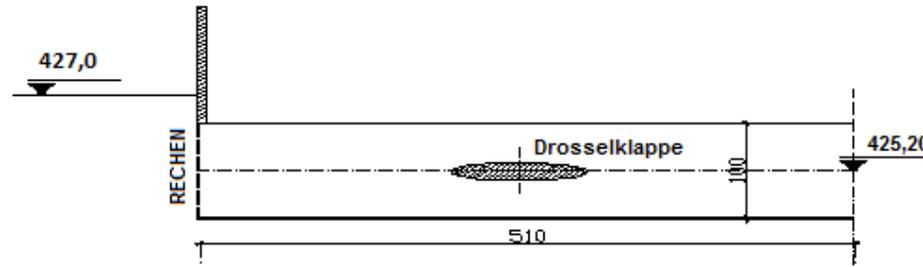


Abbildung 14: Schematische Darstellung des Baubestandes vom Rohrdurchlass

3.3 Berechnung des Durchflusses

3.3.1 Charakteristik des Rohrdurchlasses

- Gesamtlänge des Rohrdurchlasses:

$$L = 5,10 \text{ m}$$

- Dimension:

$$\text{Kreis} \rightarrow D = 1,0 \text{ m}$$

- Wandrauigkeitsmaß k [mm] ([2], S.82):

$$\text{Stahl Rohre, mäßig verrostet: } k = 0,4 \text{ mm}$$

- Fläche des Querschnitts:

$$A = D^2 * \frac{\pi}{4} = 1,0^2 * \frac{\pi}{4} = 0,785 \text{ m}^2 \rightarrow A = 0,785 \text{ m}^2$$

- max Kote des Wasserspiegels 427,00 m.ü.A

$$\text{max}H_{\text{Brutto}} = 427,00 - 425,20 = 1,8 \text{ m} \rightarrow \text{max}H_{\text{Brutto}} = 1,8 \text{ m}$$

3.3.2 Formverluste beim Eintritt

Lit.: [2], S.85

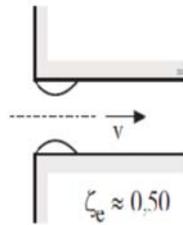


Abbildung 15: Verlustbeiwert beim Eintritt

Verlustbeiwert: $\xi_e = 0,50 [-]$

3.3.3 Formverluste beim Rechen

Lit.: [2], S.85

Verlustbeiwert: $\xi_R = \beta * \left(\frac{d}{a}\right)^{4/3} * \sin \alpha$

α – Neigungswinkel des Rechens

d – Stabdicke

a – Lichter Stababstand

β – Formbeiwert des Stabes

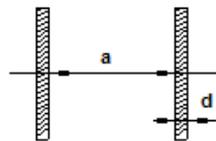


Abbildung 16: Rechen

$\beta = 2,42 [-]$; $\frac{d}{a} = 0,1 [-]$; $\alpha = 90^\circ$

$\xi_R = \beta * \left(\frac{d}{a}\right)^{4/3} * \sin \alpha = 2,42 * (0,1)^{4/3} * \sin 90 = 0,11 \rightarrow \xi_R = 0,11 [-]$

3.3.4 Formverluste bei der Klappe

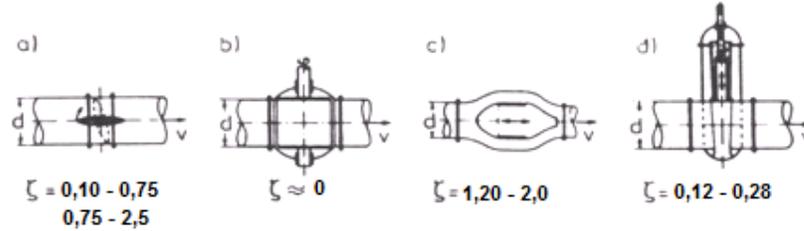


Abbildung 17: Verlustbeiwert verschiedener Armaturen: a.) Drosselklappe, b.) Kugelschieber, c.) Ringschieber, d.) Flachschieber ([1], S.98)

Verlustbeiwert Drosselklappe: $\xi_D = 0,10 - 0,75 ; 0,75 - 2,5 [-]$ ([15] S.17)

3.3.5 Reibungsverluste im Rohr

Lit.: [15], S.17

Länge: $L = 5,10 \text{ m}$

Durchmesser: $D = 1000 \text{ mm}$

Widerstandszahl: $\lambda = 0,02 [-]$

Verlustbeiwert durch Rohrreibung: $\lambda * \frac{L}{D} = 0,02 * \frac{5,10}{1,0} = 0,102 [-]$

3.3.6 Berechnung des Durchflusses

Da die Drosselklappencharakteristiken unbekannt sind, und dabei in der Literatur die Wertbreite der Verlustbeiwerte groß ist, wird die Berechnung der Verluste mit drei unterschiedliche Werten durchgeführt. $\xi_D = 0,1 [-]$; $\xi_D = 0,35 [-]$; $\xi_D = 2,5 [-]$

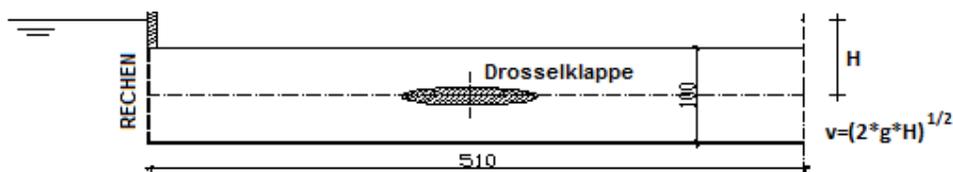


Abbildung 18: Rohrdurchlass

1. Berechnung mit Verlustbeiwert Drosselklappe: $\xi_D = 0,1 [-]$

Verlustbeiwert Eintritt: $\xi_e = 0,50 [-]$

Verlustbeiwert Rechen: $\xi_R = 0,11 [-]$

Verlustbeiwert Drosselklappe: $\xi_D = 0,10 [-]$

Verlustbeiwert durch Rohrreibung: $\lambda * \frac{L}{D} = 0,102 [-]$

Geschwindigkeit im Auslaufbereich:

$$v = \sqrt{\frac{H_{\text{Brutto}} * 2g}{1 + \xi_e + \xi_R + \xi_D + \lambda * \frac{L}{D}}} = \sqrt{\frac{1,8 * 2 * 9,81}{1 + 0,50 + 0,11 + 0,10 + 0,102}} = 4,41$$

$$\rightarrow v = 4,41 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Fläche: $A = 0,785 \text{ m}^2$

Durchfluss: $Q = v * A = 4,41 * 0,785 = 3,46 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \rightarrow Q = 3,46 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

2. Berechnung mit Verlustbeiwert Drosselklappe: $\xi_D = 0,35 [-]$

Verlustbeiwert Eintritt: $\xi_e = 0,50 [-]$

Verlustbeiwert Rechen: $\xi_R = 0,11 [-]$

Verlustbeiwert Drosselklappe: $\xi_D = 0,35 [-]$

Verlustbeiwert durch Rohrreibung: $\lambda * \frac{L}{D} = 0,102 [-]$

Geschwindigkeit im Auslaufbereich:

$$v = \sqrt{\frac{H_{\text{Brutto}} * 2g}{1 + \xi_e + \xi_R + \xi_D + \lambda * \frac{L}{D}}} = \sqrt{\frac{1,8 * 2 * 9,81}{1 + 0,50 + 0,11 + 0,35 + 0,102}} = 4,13$$

$$\rightarrow v = 4,13 \frac{m}{s}$$

$$\text{Fläche: } A = 0,785 \text{ m}^2$$

$$\text{Durchfluss: } Q = v * A = 4,13 * 0,785 = 3,24 \frac{m^3}{s} \rightarrow Q = 3,24 \frac{m^3}{s}$$

3. Berechnung mit Verlustbeiwert Drosselklappe: $\xi_D = 2,5 [-]$

$$\text{Verlustbeiwert Eintritt: } \xi_e = 0,50 [-]$$

$$\text{Verlustbeiwert Rechen: } \xi_R = 0,11 [-]$$

$$\text{Verlustbeiwert Drosselklappe: } \xi_D = 2,5 [-]$$

$$\text{Verlustbeiwert durch Rohrreibung: } \lambda * \frac{L}{D} = 0,102 [-]$$

Geschwindigkeit im Auslaufbereich:

$$v = \sqrt{\frac{H_{\text{Brutto}} * 2g}{1 + \xi_e + \xi_R + \xi_D + \lambda * \frac{L}{D}}} = \sqrt{\frac{1,8 * 2 * 9,81}{1 + 0,50 + 0,11 + 2,5 + 0,102}} = 2,89$$

$$\rightarrow v = 2,89 \frac{m}{s}$$

$$\text{Fläche: } A = 0,785 \text{ m}^2$$

$$\text{Durchfluss: } Q = v * A = 2,89 * 0,785 = 2,27 \frac{m^3}{s} \rightarrow Q = 2,27 \frac{m^3}{s}$$

4. Berechnung ohne Verlustbeiwert von Rechen und Drosselklappe

$$\text{Verlustbeiwert Eintritt: } \xi_e = 0,50 [-]$$

$$\text{Verlustbeiwert durch Rohrreibung: } \lambda * \frac{L}{D} = 0,102 [-]$$

Geschwindigkeit im Auslaufbereich:

$$v = \sqrt{\frac{H_{\text{Brutto}} * 2g}{1 + \xi_e + \lambda * \frac{L}{D}}} = \sqrt{\frac{1,8 * 2 * 9,81}{1 + 0,50 + 0,102}} = 4,69$$

$$\rightarrow v = 4,69 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Fläche: } A = 0,785 \text{ m}^2$$

$$\text{Durchfluss: } Q = v * A = 4,69 * 0,785 = 3,68 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \rightarrow Q = 3,68 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Tabelle 3: Berechnete Rohrdurchlassdurchflüsse

ROHRDURCHLASSDURCHFLÜSSE	
1. mit Verlustbeiwert Drosselklappe $\xi_D = 0,1$ [-]	Q = 3,46 m ³ /s
2. mit Verlustbeiwert Drosselklappe $\xi_D = 0,35$ [-]	Q = 3,24 m ³ /s
3. mit Verlustbeiwert Drosselklappe $\xi_D = 2,5$ [-]	Q = 2,27 m ³ /s
4. ohne Verlustbeiwert (Rechen und Drosselklappe)	Q = 3,68 m ³ /s

Ergebnis: Ein Durchfluss von 2,27 m³/s entspricht annähernd den Werten, die bei der Messung am 10.09.2009 (Tabelle 4) erhalten wurden.

4. Durchflussmessungen Rohrdurchlass und Gerinne

4.1 Allgemeines

In diesem Kapitel wurden drei Messkampagnen beschrieben. Die Messungen der ersten Messkampagne (25.08.2009) wurden mit dem hydrometrischen Messflügel Marke „SEBA“ an zwei verschiedenen Orten durchgeführt.

Die zweite Messkampagne (10.09.2009) ist mittels hydrometrische Messungen an zwei verschiedenen Orten ausführt worden.

Was die dritte Messkampagne (23.03.2010) betrifft: diese wurde mit dem gleichen Messflügel wie die erste ausgeführt, aber nur an einem Ort „Pegelmessstelle Jozika“.

Vor der Durchführung aller drei Messkampagnen wurde eine entsprechende Profilvorbereitung vorgenommen (Entfernen von größeren und kleineren Gegenständen aus dem Flussbett).

4.2 Messkampagne 25.08.2009

Die Messungen wurden am 25.08.2009 von HIS (Institut für Hydrotechnik Sarajevo) durchgeführt.

Zur Messung des Wasserdurchflusses des Flusses Pliva wurde das Standardmessverfahren mittels hydrometrischer Flügel verwendet. Es wurde hydrometrischer Messflügel Marke „SEBA“ genutzt. Die Messungen wurden an zwei verschiedenen Orten durchgeführt und zwar:

- Das Messprofil 1 wurde unmittelbar vor der Verkehrsbrücke flussaufwärts über den Fluss Pliva in Jajce ausgewählt (Abbildung 19).



Abbildung 19: Messprofil 1 unmittelbar vor der Verkehrsbrücke flussaufwärts über den Fluss Pliva in Jajce

- Das Messprofil 2 wurde unmittelbar flussabwärts vom Rohrdurchlass aus dem großen See und flussaufwärts von der Wassermühle auf dem Fluss Pliva (Abbildung 20) ausgewählt.



Abbildung 20: Messprofil 2 unmittelbar flussabwärts vom Rohrdurchlass des großen Sees

Die entsprechende Vorbereitung des Messprofils 1 in Bezug auf das Messprofil (Säuberung von Müll, Kleingewächs, etc.) wurde durchgeführt. Die Messung im Messprofil 2 erfolgte bei drei separaten Profilen bzw. an Stromabzweigen in Richtung der Wassermühlen (Abbildung 20). Dies wurde getan, um den

hydraulisch ungleichförmigen Strömungsabschnitt zu vermeiden, der sich unmittelbar stromabwärts des Rohrdurchlasses bildet. Auf diese Weise wird durch die Messung die gesamte Wassermenge, die aus dem See abgelassen wird, erfasst. Die Summe der Durchflüsse in den drei separaten Profilen stellt den Durchfluss dar, der von dem großen See abgelassen wird.

4.3 Messkampagne 10.09.2009

Die Messungen wurden am 10.09.2009 durch das FHMZ (Hydrometeorologische Institut der Föderation BiH) und durch die AVP Sava (Agentur für den Wasserbereich Sava) durchgeführt.

Die hydrometrischen Messungen wurden vom hydrologischen Team AVP Sava und FHMZ am Profil des Rohrdurchlasses aus dem See durchgeführt (Abbildung 20), sowie am Profil stromaufwärts vom Wasserfall, unter der Fußgängerbrücke (Abbildung 21). Sie wurden zum Ziele der Wirksamkeitüberprüfung der bereits durchgeführten Messungen vom 25.08.2009 vorgenommen und zwar am Profil des Rohrdurchlasses des Sees. Bei der Arbeit auf dem Gelände vom 10.09.2009 wurde festgestellt, dass die Einlassprofile des Ablasses aus dem See, der Rechen am Rohreinlass und der Kanal am Ausgang der Ableitung gereinigt wurden, was offensichtliche günstigere Strömungsverhältnisse schaffte, welche sich dann auch in den Messergebnissen widerspiegelten.



Abbildung 21: Messprofil vom Wasserfall flussaufwärts, unterhalb der Fussgängerbrücke

4.4 Messkampagne 23.03.2010

Die Messungen wurden am 23.03.2010 von HIS (Institut für Hydrotechnik, Sarajevo) durchgeführt.

Zur Feststellung des Abflusses, im Fluss der Pliva, wurde das Standard – Messverfahren mittels hydrometrischer Flügel der Marke „SEBA“ verwendet. Die Messung wurde an der Pegelmessstelle Jozika (Abbildung 22) des Flusses Pliva durchgeführt. Es wurde die entsprechende Profilvorbereitung für die Messung in Form der Reinigung der Gegenstände aus dem Flussbett (kleinere Stücke von Müll, etwa Kleingewächs u.ä.) vorgenommen.



Abbildung 22: Pegelmessstelle Jozika

4.5 Messergebnisse

Zur übersichtlichen Darstellung der Messungen sind die Ergebnisse in Tabelle 4, in der gleichen Reihenfolge, in der sie ausgeführt sind angezeigt. Die Ergebnisse der Messungen am Rohrablass des Großen Sees und unmittelbar stromabwärts sind in blau angegeben.

Tabelle 4: Gemessene Durchflüsse

Messkampagne	Messprofil	Zeit der Messungen	Kote des Wasserspiegels [m.ü.A]	Wasserstand im Fluss Pliva [cm]	Durchfluss [m ³ /s]	Institution	
25.08.2009 sonnig und warm	Profil 1. – Flussaufwärts von der Straßenbrücke in Jajce	11:30 - 12:30			1,853	Institut für Hydrotechnik, Sarajevo	
	Profil 2. - Flussabwärts vom Rohrdurchlass	13:00 - 13:40	426,58		0,768		1,821
		13:40 - 14:10	426,64		0,567		
		14:10 - 14:45	426,65		0,486		
10.09.2009	Profil 2. – Flussaufwärts der Wasserfälle, unter der Fußgängerbrücke		427,00		2,71	FHMZ	
					2,734	AVP Sava	
	<i>Profil 1. - Flussabwärts vom Rohrdurchlass</i>		<i>427,00</i>		<i>2,302</i>	<i>FHMZ</i>	
					<i>2,112</i>	<i>AVP Sava</i>	
23.03.2010 Nachmittag Regen mit kleiner Intensität	Pegel- messstelle Jozika	12:40	426,54	48	1,817	Institut für Hydrotechnik, Sarajevo	
		14:05	426,54	53	3,232		
		15:55	426,54	58	5,075		

Legende: AVP Sava (Agentur für den Wasserbereich Sava); FHMZ (Hydrometeorologische Institut der Föderation BiH)

Die durchgeführten Messungen des Durchflusses (Tabelle 4) beim Rohrdurchlass am großen See haben gezeigt, dass eine Ableitung von $3,0 \text{ m}^3/\text{s}$ durch diesen Rohrdurchlass nicht möglich ist.

Durch die hydraulische Berechnung (Kapitel 3.3) wurde festgestellt, dass der Hauptgrund des Problems, was den Durchfluss betrifft, gerade die Drosselklappe ist, bzw. die Verluste durch diesen.

Als Dauerlösung wird zusätzlich zum Rohrdurchlass eine Fischaufstiegsanlage vorgeschlagen, mit einem Abfluss von $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$. In den folgende Kapiteln (5 und 6) werden drei verschiedene Arten einer Fischaufstiegsanlage beschrieben und berechnet.

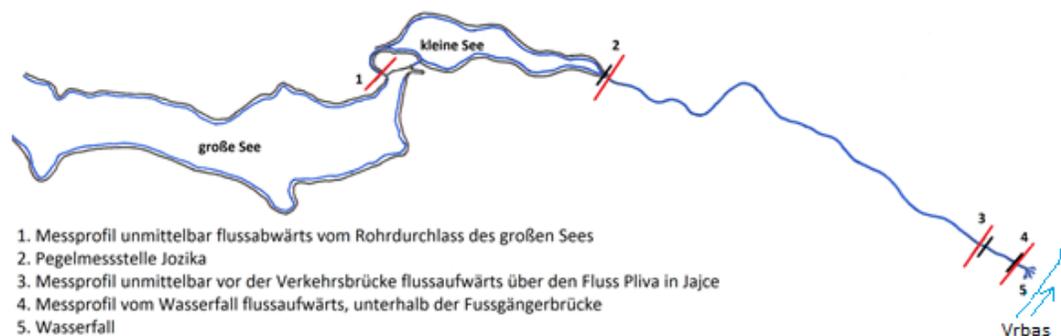


Abbildung 23: Lageplan mit Darstellung aller Messprofile

5. Fischaufstiegshilfe (FAH)

5.1 Allgemeines

Generell sind FAHs bauliche Einrichtungen, die dem vorhandenen Fischbestand und/oder anderen aquatischen Lebewesen (Benthosorganismen) die Überwindung eines künstlich geschaffenen Hindernisses in Richtung flussauf ermöglichen (JUNGWIRTH und PELIKAN 1989). Dazu muss Wasser über das Querbauwerk bzw. um das Querbauwerk in einer Weise herum geführt werden, dass dabei abiotische Bedingungen eingehalten werden, die den wanderwilligen Fischen bzw. Gewässerorganismen die Auffindbarkeit der FAH und eine möglichst stress-, verletzungs- und verzögerungsfreie Passage der FAH ermöglichen. Die wichtigsten bekannten Parameter, die für den Bau und Betrieb funktionsfähiger Anlage Relevanz haben sind:

- Dimensionen einer FAH
- Erprobte FAH Typen
- Auffindbarkeit
- Durchwanderbarkeit
- Funktionsdauer einer FAH im Jahresverlauf
- Betriebssicherheit
- Störfallvorsorge

Weiterführende Literatur: ([8], S. 19) ; (JENS 1982; BELL 1990; GEBLER 1991; JÄGER 1994; CLAY 1995; JÄGER 2002; LARINIER et al. 2002; DUMONT et al. 2005; JÄGER 2007; JÄGER 2007; DWA 2009; JÄGER et al. 2010)

5.2 Raugerinne mit Beckenstruktur

5.2.1 Allgemeines

Für die Auslegung von Raugerinnen mit Beckenstruktur gelten grundsätzlich die Bemessungswerte für beckenartige Fischpässe für die jeweilige Fließgewässerzone bzw. Fischfauna. Insbesondere bei der Schlitzweite müssen die größeren baulichen und betrieblichen Abweichungen bei der Verwendung natürlicher Materialien berücksichtigt werden.

Den Fischen stehen in Raugerinnen mit Beckenstrukturen im Vergleich zu den anderen Raugerinnen mehr Ruhezeiten zur Verfügung. Die maximale Geschwindigkeit tritt in den Engstellen bzw. unterhalb der Engstelle auf. Es bildet sich ein Strömungsstrahl innerhalb des Beckenvolumens aus, in dem die Geschwindigkeit mit zunehmender Länge abgebaut wird. Außerhalb des Strahls herrschen bei richtiger Dimensionierung des Beckens erheblich niedrigere Geschwindigkeiten. Die Strömungsbedingungen, insbesondere die räumliche Verteilung hoher und niedriger Fließgeschwindigkeiten, unterscheiden sich daher von Raugerinnen ohne Beckenstruktur. Durch die zwischen den Becken angeordneten Barrieren können auch bei Verwendung natürlicher Materialien große Wassertiefen erreicht werden.

Raugerinne mit Beckenstruktur gelten heute als bevorzugte Bauform. In den Becken können ausreichend große Wassertiefen und dadurch geringe Leistungsdichten (Kapitel 6.2.2) realisiert werden, so dass die Bemessungswerte sicher eingehalten werden können. Die Becken bieten den Fischen Ruhemöglichkeiten, so dass eine hohe Schwimmleistung nur zur Passage der Engstellen zwischen den Becken erforderlich ist. Auf diese Weise werden beckenartige Raugerinne den physiologischen Anforderungen besser gerecht als die anderen Bauformen (bei gleichem Gefälle des Fischpasses). Wichtig ist, dass die Schlitzweiten ausreichend groß dimensioniert werden, um einer Verklauung durch Treibgut vorzubeugen.

Lit.: [3], S. A-34



Abbildung 24: Raugerinne mit Beckenstruktur im Bau- Riegel aus großen Wasserbausteinen, raue Sohle mit filterstabilem Aufbau (Betzdorf/Sieg, Rheinland-Pfalz) ([3], S. A-35)



Abbildung 25: Raugerinne-Beckenpass Schneidemühle/Godendorfer Mühlenbach ([4]; S. 14)

5.2.2 Vorteile und Nachteile

Vorteile:

- geringerer Platzbedarf als bei Sohlengleiten (größeres Längsgefälle)

(Anmerkung: Sohlenbauwerke: Dies sind über die gesamte Gewässerbreite geführte, meist flach geneigte Bauwerke zur Überwindung eines Höhenunterschiedes in der Gewässersohle. Bei Gefällen von 1:3 bis 1:10 spricht man von Sohlenrampen, bei kleineren Gefällen von 1:20 bis 1:30 von Sohlengleiten.)
- geringerer Wasserbedarf als bei Sohlengleiten (weniger Wasserverluste)
- Durchwanderbarkeit für Wirbellose bei richtiger Bauweise (durchgängiges Sohlsubstrat) gegeben.

Nachteile:

- im Vergleich zur Sohlengleite weniger naturraumtypisches Erscheinungsbild (entspricht eher Mittelgebirgsbach)
- im Vergleich zur Sohlengleite größere Störanfälligkeit (Verstopfungsgefahr bei nur einer Lücke oder wenigen Lücken)
- bei stärker schwankenden OW-Ständen spezielles Einlaufbauwerk erforderlich
- hohe Anforderungen an fachgerechte bauliche Ausführung der Riegel, geringfügige Ungenauigkeiten führen schnell zu Funktionseinschränkungen, Probelauf unbedingt nötig

Lit.: [4], S. 14

5.3 Raugerinne mit Störsteinen

5.3.1 Allgemeines

Die Wanderung der Fische findet zwischen den Störsteinen statt, auch wenn diese bei höheren Abflüssen überströmt werden. Die geometrische Auslegung erfolgt hinsichtlich der lichten Abstände zwischen den Störsteinen und der Fließtiefe, um den Fischen ausreichend Platz für ihre Bewegungen sowie Ruhezononen zu bieten. Für den lichten Abstand zwischen den Störsteinen kann bei Steindurchmessern eine Breite von 60 bis 80 cm angesetzt werden.

Lichter Abstand in Fließrichtung: $a_{x, \text{licht}} \geq \text{Länge der größten relevanten Fische}$

Quer zur Fließrichtung $a_{y, \text{licht}}$ sollten 90% des Wertes von a_x nicht unterschritten werden.

Die Engstellen sind wesentlicher Teil des Wanderkorridors, hier gilt es die maximale mittlere Geschwindigkeit im Wanderkorridor einzuhalten. Es ist anzumerken, dass die hydraulischen Bemessungswerte für Raugerinne mit Störsteinen in der aktuellen Diskussion noch nicht endgültig festgelegt sind. Möglicherweise können bei derzeit angegebenen Leistungsdichten um 25 bis 50% höhere Werte zugelassen werden.

Zur hydraulischen Berechnung von Raugerinnen mit Störsteinen liegt eine neue Veröffentlichung vor (KRÜGER & HEIMERL 2007). Die Anwendung dieses Verfahrens zeigt, dass bei den zu fordernden Steinabständen geringere Gefälle zur Gewährleistung der hydraulischen Parameter erforderlich sind und dass in Raugerinnen Störsteine nur einen sehr eingeschränkten Anwendungsbereich haben.

Lit.: [3], S. A-33



Abbildung 26: Sohlgleite mit Störsteinen, Wehr Bad Sülze/Recknitz ([4], S. 12)



Abbildung 27: Raugerinne mit Störsteinen bei der Wasserkraftanlage in Reichenbach (Bauunternehmen Himmelsbach) ([4], S. 12)

5.3.2 Vorteile und Nachteile

Vorteile:

- ökologisch günstige Variante mit relativ naturraum typischen Erscheinungsbild
- relativ geringe Störanfälligkeit, geringer Wartungsaufwand (Störsteine so groß wählen, dass Manipulation nicht möglich ist)

Nachteile:

- begrenzte Einsatzmöglichkeiten, da bei geringen Abflüssen Trockenfallen bzw. Wasserverluste durch Versickerung auftreten können (erhöhter Wasserbedarf)
- relativ großer Platzbedarf (geringes Längsgefälle)
- hohe Anforderungen an fachgerechte bauliche Ausführung; geringfügige Ungenauigkeiten bei Anordnung der Störsteine führen schnell zu Funktionseinschränkungen, Probelauf unbedingt nötig

Lit.: [4], 2009, S. 12

5.4 Schlitzpass (Vertical – Slot – Pass)

5.4.1 Allgemeines

Der Vertical – Slot – oder Schlitz – Pass ist ein Beckenpass, dessen Trennwände ein oder zwei vertikale Schlitze aufweisen. Durch die Ausbildung dieser Schlitze stellt sich eine mäandrierende Strömung ein, die den Fischen eine gute Orientierung erlaubt, dennoch aber Ruhebereiche in den Becken bietet.

Die Dimensionen des Vertical – Slot – Passes sind nicht frei wählbar, sondern orientieren sich an hydraulischen Versuchen (vgl. DVWK 1996). Nur so ist die Ausbildung der typischen Strömungsverhältnisse gewährleistet. Zur Vermeidung eines Wechselsprungs sind bestimmte Becken- und Schlitztiefen erforderlich. Vorteilhaft gegenüber dem Beckenpass sind die bessere Verträglichkeit für schwankende Oberwasserspiegel und die geringere Verstopfungsgefahr der Schlitze.

Schlitzpässe können in gestreckter Linienführung, aber auch gewandelt ausgeführt werden. In den abwinkelnden Becken ist dabei besonderes auf die korrekte Ausbildung des Strömungsbildes zu achten, gegebenenfalls sind diese Becken größer zu dimensionieren.

Darüber hinaus ist es möglich, Schlitzpässe mit versetzten Becken auszuführen, wodurch eine platzsparende Bauweise erreicht wird (Abbildung 28, Abbildung 29).

Lit.: [3], S. A-42



Abbildung 28: Links: Vertical-Slot-Pass Klinkelsche Mühle in Gießen (Hessen), Rechts: Vertical-Slot-Pass Hohmühle (Hessen), ([3], S. A-42)



Abbildung 29: Kompakte Ausführung eines Schlitzpass ähnlichen Beckenpasses (Heiligenrode, Brandenburg), ([3], S. A-43)

5.4.2 Vorteile und Nachteile

Vorteile:

- geringerer Platzbedarf als naturnahe Bauweisen (größeres Längsgefälle)
- geringerer Wasserbedarf als bei naturnahen Bauweisen (keine Wasserverluste)
- relativ unempfindlich gegenüber schwankenden OW – Ständen
- durchgängiges Sohlsubstrat im Bereich der Schlitze
- Fische können bevorzugte Wassertiefe für Passage wählen

Nachteile:

- technisches Erscheinungsbild, z.T. naturfremde Baustoffe (Beton, Stahl)
- relativ hoher Wartungsaufwand (Verstopfungsgefahr aber geringer als bei technischen Beckenpässen)
- Anfälligkeit für Kurzschlussströmungen

([4], S. 16)

5.5 Parameter für Fischarten

In der Tabelle 5 kann man erkennen, welche Fische welche Anforderungen benötigen. Die Anforderungen sind hier als Leistungsdichte, max. Fließgeschwindigkeit, zulässige Absturzhöhe, min. Wassertiefe und min. Schlitzbreite für drei verschiedene Varianten dargestellt. Die in Tabelle 5 angegebenen Werte stammen aus folgenden Lit: [3].

Tabelle 5: Parameter für Fischarten

Fischarten:	Leistungsdichte $P_{D,Bem} [W/m^3]$			max. Fließgeschwindigkeit $v_{max} [m/s]$		zulässige Absturzhöhe $\Delta h_{Bem} [m]$	min. Wassertiefe $h_{eff,Bem} [m]$	min. Schlitzbreite $s_{min} [m]$
	I	II	III	II	III	I, III	I, II, III	I, II, III
Regenbogenforelle	200	250	225	1,60	1,90	0,18	0,30	0,15
Bachforelle	200	250	225	1,60	1,90	0,18	0,30	0,15
Äsche	180	225	200	1,50	1,80	0,15	0,40	0,15
Döbel	180	225	200	1,50	1,80	0,15	0,40	0,20
Karpfen	90	140	150	1,20	1,40	0,09	0,60	0,38
Plötze	180	225	200	1,50	1,80	0,13	0,40	0,13

Legende: I – Raugerinne mit Beckenstruktur

II – Raugerinne mit Störsteinen

III – Schlitzpass (Vertical – Slot – Pass)

6. Hydraulik

6.1 Allgemeines

Im Kapitel 6 werden zuerst drei verschiedene Varianten von Fischaufstiegshilfen im Überblick dargestellt. Es handelt sich um die Varianten:

1. Raugerinne mit Beckenstruktur
2. Raugerinne mit Störsteinen
3. Schlitzpass (Vertical – Slot – Pass)

Danach sind Bemessungen, Berechnungen und Kontrollen der hydraulischen Bemessungen für die einzelnen Varianten durchgeführt worden. Am Ende beinhaltet jede Variante eine Tabelle mit maßgebenden Parametern und eine Tabelle der maßgebenden Fischarten mit Wanderungsmöglichkeit.

6.2 Raugerinne mit Beckenstruktur

6.2.1 Allgemeines

Der Raugerinne – Beckenpass kann auch als die naturgemäße Ausführung des Technischen Beckenpasses mit Schlitzöffnungen verstanden werden.

Die Becken werden durch Riegel aus großen, schlanken Bruchsteinen gebildet, die in einer geschütteten Sohle oder in Beton verankert sind. Sie können versetzt eingebaut werden, um ein möglichst vielfältiges Strömungsbild zu erzielen. Wegen der Ungleichmäßigkeit der Natursteine ist jedoch aus hydraulischer Sicht eine Mindestöffnung von 20 cm zu empfehlen. Die Hauptöffnungen sind von Becken zu Becken versetzt anzuordnen, um einen hydraulischen Kurzschluss zu vermeiden und den Energieabbau in jedem Becken zu erzwingen.

h_o [m] – oberwasserseitige Wassertiefe

w [m] – Schwellenhöhe

Der Faktor f erfasst Spaltverluste, die immer auftreten und zu berücksichtigen sind. Für f kann abgeschätzt werden ([5], S. 161):

$f = 1,05 \div 1,1$ – Steine mit geraden Bruchflächen, gut aneinander gefügt

$f = 1,15 \div 1,25$ – runde Steine oder bei sehr unregelmäßigen Bruchkanten

Für den Überfallbeiwert μ können je nach Ausbildung der Schwelle und verwendetem Steinmaterial die Werte verwendet werden ([5], S. 161):

$\mu \approx 0,65$ – scharfkantige Steine, gebrochenes Material

$\mu \approx 0,7$ – abgerundete Steine, z. B. Feldsteine/Findlinge

Der Rückstaubeiwert σ berücksichtigt den Einfluss des Unterwasserstandes $h_2 = h_u - w$ und kann aus Abbildung 31 entnommen werden.

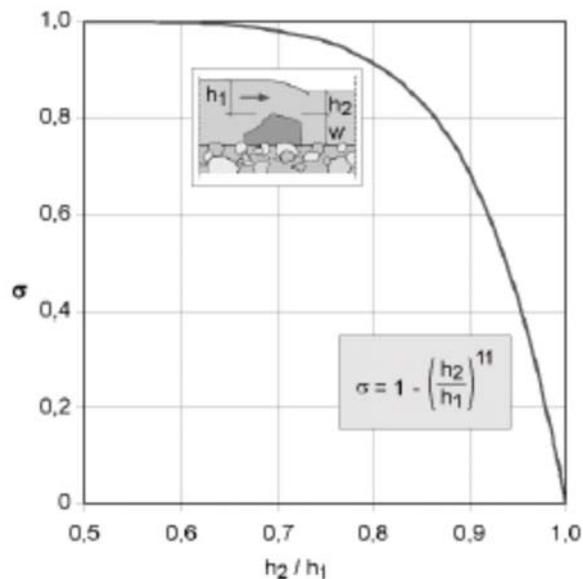


Abbildung 31: Rückstaubeiwert σ ([5], S.162)

Die an den Riegeln bzw. kurz unterhalb auftretenden maximalen Fließgeschwindigkeiten werden durch die Wasserspiegeldifferenz Δh bestimmt ([5], S. 162):

$$v_{max} = \sqrt{2 * g * \Delta h} \left[\frac{m}{s} \right]$$

Die Beckengröße zwischen den Riegeln und die Wassertiefe müssen eine turbulenzarme Strömung in den Becken gewährleisten, um aufsteigenden Fischen genügend Ruhezeiten zu bieten.

In das Wasservolumen von Fischaufstiegsanlagen wird eine Leistung eingetragen, die vom Abfluss und dem Wasserspiegelgefälle abhängt, mit dem das Wasser in das betrachtete Volumen eintritt. Dividiert man diese Leistung durch das spezifische Wasservolumen, so ergibt sich die spezifische Leistungsdichte.

Die Leistungsdichte bei der Energiedissipation kann nach der v.a. Formel berechnet werden ([5], S. 110, 162):

$$p_D = \frac{\rho_W * g * \Delta h * Q}{b_m * h_m * I_w} = \frac{\rho_W * g * \Delta h * Q}{A * I_w} \left[\frac{W}{m^3} \right]$$

mit

h_m [m] – *mittlere Wassertiefe in den Becken*

b_m [m] – *mittlere Beckenbreite*

A [m²] – *Beckenquerschnitt, berechnet mit h_m und b_m*

I_w [m²] – *lichte Beckenlänge, $I_w \approx I_b - d_s$*

6.2.3 Berechnung Raugerinne mit Beckenstruktur Jajce I

Die größeren Arten der autochthonen Fischfauna des Standorts sind Regenbogenforelle, Bachforelle, Seesaibling, Europäische Äsche, Döbel, Giebel, Karpfen, Plötze, Schneider. Die Anlage ist geometrisch für den Karpfen als größte vorkommende Fischart zu bemessen.

$$\text{minimaler } Q = Q_{30} = 0,3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

(Q_{30} Abfluss eines Gewässers, der an 30 Tagen im Jahr unterschritten wird)

$$\text{maximaler } Q = Q_{330} = 0,6 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

(Q_{330} Abfluss eines Gewässers, der an 330 Tagen im Jahr unterschritten wird)

Der Bemessungswert für die zulässige Absturzhöhe beträgt ([5], Tabelle 39, S. 160):

$$\Delta h_{Bem} = 0,09 \text{ m}$$

Der Karpfen benötigt aufgrund seiner hochrückigen Körperform in den Becken des Raugerinnes ein Wasserstand von ([5], Tabelle 40, S. 160):

$$h_{u,Bem} = 0,60 \text{ m} = h_{u,Q30}$$

Die Wassertiefe vor dem Steinriegel ist:

$$h_{o,Q30} = h_{u,Q30} + \Delta h = 0,60 + 0,09 = 0,69 \text{ m} \rightarrow h_{o,Q30} = 0,69 \text{ m}$$

Maximale Fließgeschwindigkeit unterhalb der Steinriegel:

$$v_{max} = \sqrt{2 * g * \Delta h} = \sqrt{2 * 9,81 * 0,09} = 1,33 \text{ m/s} \rightarrow v_{max} = 1,33 \text{ m/s}$$

Minimale Schlitzbreite ([5], Tabelle 18, S. 102):

$$S_{min} = 0,38 \text{ m}$$

Die Steinriegel bestehen aus großen Feldsteinen $d_s = 1,0 \text{ m}$. Die Durchlassöffnungen werden mit kleinen Steine teilweise geschlossen, sollen aber mindestens mit einem Wasserpolster von $h_{s,min} = 0,5 \text{ m}$ ([5], Tabelle 40, S. 160) überströmt werden. Kleine Steine $d_s = 0,5 \text{ m}$, sollen in die Sohle eingebunden werden, dass sie um $w = ca. 0,19 \text{ m}$ über die Sohle hinausragen.

Überfallhöhe bei *minmale*m $Q = Q_{30} = 0,3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$:

$$h_{1,Q30} = h_{o,Q30} - w = 0,69 - 0,19 = 0,5 \text{ m} \rightarrow \mathbf{h_{1,Q30} = 0,5 \text{ m}}$$

Unterwasserseitige Fließtiefe über der Grundschwelle:

$$h_{2,Q30} = h_{u,Q30} - w = 0,60 - 0,19 = 0,41 \text{ m} \rightarrow \mathbf{h_{2,Q30} = 0,41 \text{ m}}$$

Der Faktor f ([5], S. 161):

$$f = 1,20 [-] - \text{runden Steinen oder bei sehr unregelmäßigen Bruchkanten}$$

Überfallbeiwert μ ([5], S. 161):

$$\mu \approx 0,65 [-] - \text{scharfkantige Steine, gebrochenes Material}$$

Der Rückstaubeiwert σ :

$$\sigma = 1 - \left(\frac{h_{2,Q30}}{h_{1,Q30}} \right)^{11} = 1 - \left(\frac{0,41}{0,5} \right)^{11} = 0,887 \rightarrow \sigma = 0,89 [-]$$

Erforderliche Breite der Öffnung (Schlitzbreite):

$$b_s = \frac{Q_{30}}{\frac{2}{3} * \mu * \sigma * f * \sqrt{2 * g} * h_{1,Q30}^{3/2}} = \frac{0,3}{\frac{2}{3} * 0,65 * 0,89 * 1,20 * \sqrt{19,62} * 0,5^{3/2}}$$

$$\mathbf{b_s = 0,41 \text{ m} > S_{min} = 0,38 \text{ m}}$$

Die Durchlassöffnungen werden abwechselnd links und rechts angeordnet, um eine möglichst vollständige Energiedissipation in den Becken zu erfassen.

Die hohen Steine neben der Durchlassöffnung werden so versetzt, dass der Riegel dort 0,75 m hoch ist und die Steine bei $Q_{30} = 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ ca 5 cm herauschauen. Große Steine sind ca. 0,25 m in die Sohle eingebunden.

Die Gesamtbreite des Riegels ergibt sich durch den geforderten Abfluss von 0,6 m^3/s bei Q_{330} und kann wie o.a. berechnet werden, wobei lediglich die Gliederung der Steinschwelle sowie unterschiedliche Rückstaubeiwerte zu beachten sind. Bei $Q_{330} = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ sollen nur um 0,17 m höhere Oberwasserstände auftreten.

Die Überfallhöhe bei einem um 17 cm höheren Oberwasserstand:

$$h_1 = h_{1,Q_{30}} + 0,17 = 0,5 + 0,17 = 0,67 \text{ m} \rightarrow \mathbf{h_1 = 0,67 \text{ m}}$$

Unterwasserseitige Fließtiefe über der Grundschwelle bei gleich bleibender Wasserspiegeldifferenz:

$$h_2 = h_{2,Q_{30}} + 0,17 = 0,41 + 0,17 = 0,58 \text{ m} \rightarrow \mathbf{h_2 = 0,58 \text{ m}}$$

Der Rückstaubeiwert σ :

$$\sigma = 1 - \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^{11} = 1 - \left(\frac{0,58}{0,67}\right)^{11} = 0,795 \rightarrow \sigma = 0,80 [-]$$

Die hohen Bereiche des Riegels werden mit $h_{1,Riegel} = 0,12 \text{ m}$ überströmt und sind mit:

$$h_{2,Riegel} = h_{1,Riegel} - \Delta h = 0,12 - 0,09 = 0,03 \text{ m} \rightarrow h_{2,Riegel} = 0,03 \text{ m}$$

$$\sigma = 1 - \left(\frac{h_{2,Riegel}}{h_{1,Riegel}}\right)^{11} = 1 - \left(\frac{0,03}{0,12}\right)^{11} = 0,999 \rightarrow \sigma \approx 1,0 \text{ nicht rückstaubeinflusst.}$$

In der Niedrigwasseröffnung fließen:

$$Q_{NW} = \frac{2}{3} * \mu * \sigma * f * b_s * \sqrt{2 * g} * h_1^{3/2}$$

$$\frac{2}{3} * 0,65 * 0,80 * 1,2 * 0,41 * \sqrt{19,62} * 0,67^{3/2} = 0,42 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \rightarrow Q_{NW} = 0,42 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Um den restlichen Abfluss von

$$Q_{Riegel} = Q_{330} - Q_{NW} = 0,6 - 0,42 = 0,18 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow \mathbf{Q_{Riegel} = 0,18 \text{ m}^3/\text{s}}$$

abzuführen, muss der hohe Riegel

$$b_R = \frac{Q_{Riegel}}{\frac{2}{3} * \mu * \sigma * f * \sqrt{2 * g} * h_{1,Riegel}^{3/2}} = \frac{0,18}{\frac{2}{3} * 0,65 * 1,0 * 1,20 * \sqrt{19,62} * 0,12^{3/2}}$$

$\mathbf{b_R = 1,90 \text{ m}}$ breit werden.

Gesamte Breite des Riegels:

$$b_{ges} = b_R + b_s = 1,90 + 0,41 = 2,31 \text{ m} \rightarrow \mathbf{b_{ges} = 2,31 \text{ m}}$$

Geplant ist ein rechteckförmiger Gerinnequerschnitt. Die lichte Beckenlänge muss die aus fischökologischer Sicht erforderliche Mindestlänge von $I_W = 3,0 \text{ m}$ erfüllen ([5], Tabelle 40, S. 160). Maßgeblich ist hier der Abfluss $Q_{330} = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ und die Leistungsdichte $p_{D,Bem} = 90 \text{ W}/\text{m}^3$ ([5], Tabelle 39, S. 160).

Lichte Beckenlänge:

$$I_W = \frac{\rho_W * g * \Delta h * Q}{p_{D,Bem} * A} = \frac{1000 * 9,81 * 0,09 * 0,6}{90 * 2,31 * 0,815} = 3,1 \text{ m} \rightarrow \mathbf{I_W = 3,1 \text{ m}}$$

Bei 1,0 m hohen Steinen ist eine Dicke der Steine von mindestens 0,6 m erforderlich.

Systemabstand der Steinriegel:

$$I_b = I_W + \text{Dicke der Steine} = 3,1 + 0,6 = 3,7 \text{ m} \rightarrow \mathbf{I_b = 3,7 \text{ m}}$$

Zur Kontrolle wird die Leistungsdichte bei der Energiedissipation mit $Q_{30} = 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ berechnet.

$$p_D = \frac{\rho_W * g * \Delta h * Q}{A * I_W} = \frac{1000 * 9,81 * 0,09 * 0,3}{3,1 * 2,31 * 0,645} = 57,3 \text{ W}/\text{m}^3 \rightarrow \mathbf{p_D = 57,3 \text{ W}/\text{m}^3}$$

$\mathbf{p_D = 57,3 \text{ W}/\text{m}^3}$ deutlich kleiner als der Bemessungswert $\mathbf{p_{D,Bem} = 90 \text{ W}/\text{m}^3}$

Das Gefälle der Rampe:

$$I = \frac{\Delta h}{I_b} = \frac{0,09}{3,7} = 0,024 \rightarrow I = 2,4 \%$$

6.2.4 Kontrolle Bemessung – Raugerinne mit Beckenstruktur

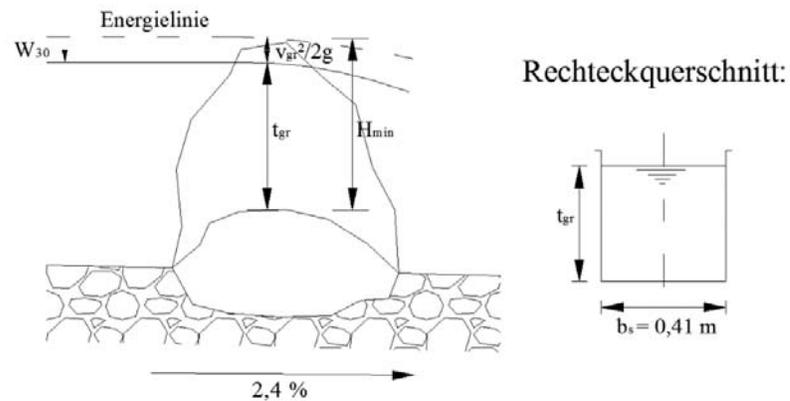


Abbildung 32: Skizze zum Überfall und zum Rechteckquerschnitt

$\min Q = 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ – minimaler Durchfluss

$b_s = 0,41 \text{ m}$ – Breite des Querschnittes

Grenztiefe:

$$t_{gr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b_s^2 * g}} = \sqrt[3]{\frac{0,3^2}{0,41^2 * 9,81}} = 0,379 \text{ m} \rightarrow t_{gr} = 0,38 \text{ m}$$

Minimale Energiehöhe:

$$H_{min} = \frac{3}{2} * t_{gr} = \frac{3}{2} * 0,38 = 0,57 \text{ m} \rightarrow H_{min} = 0,57 \text{ m}$$

Kontrolle Poleni:

$\mu \approx 0,65 [-]$ – Überfallbeiwert: scharfkantige Steine, gebrochenes Material

$$Q = \frac{2}{3} * \mu * b_s * \sqrt{2 * g} * H_{min}^{3/2} = \frac{2}{3} * 0,65 * 0,41 * \sqrt{2 * 9,81} * 0,57^{3/2} = 0,33 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 0,33 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \approx \min Q = 0,3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

6.2.5 Ergebnisse hydraulische Berechnung – Raugerinne mit Beckenstruktur

Tabelle 6: Gesamtergebnisse von Raugerinne mit Beckenstruktur

I RAUGERINNE MIT BECKENSTRUKTUR (Kaulbarsch-Flunder-Region; Karpfen)	
Differenz zwischen Ober - und Unterwasser	$\Delta h = 7,65 \text{ m}$
Gesamtlänge	$L = 315 \text{ m}$
Wasserspiegeldifferenz zwischen jeweils zwei Becken	$\Delta h_{\text{bem}} = 0,09 \text{ m}$
Breite des Riegels	$b_{\text{ges}} = 2,31 \text{ m}$
Systemabstand der Steinriegel (Länge des Beckens)	$l_b = 3,70 \text{ m}$
Gefälle der Rampe	$I = 2,4 \%$
Abfluss	min $Q = 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$; max $Q = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabelle 7: Fischarten mit Wandermöglichkeiten; Variante I Raugerinne mit Beckenstruktur

FISCHARTEN								
Regenbogenforelle	Bachforelle	Seesaibling	Äsche	Döbel	Giebel	Karpfen	Rotaugen (Plötze)	Schneider
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

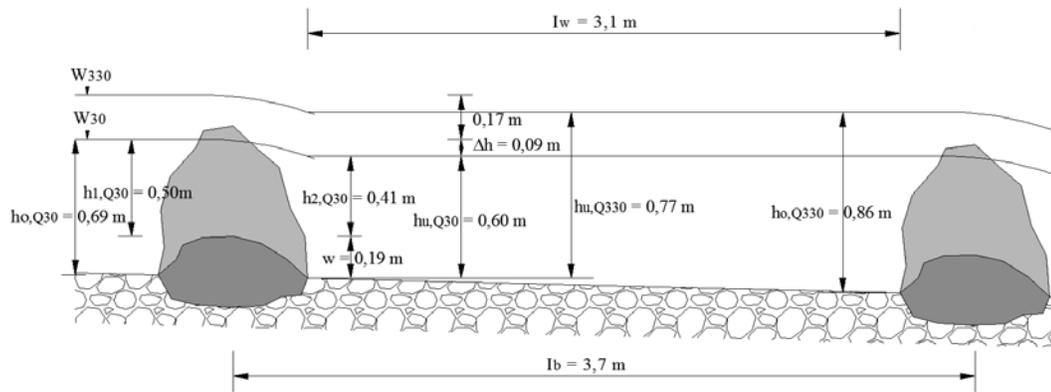


Abbildung 33: Längsschnitt Raugerinne mit Beckenstruktur

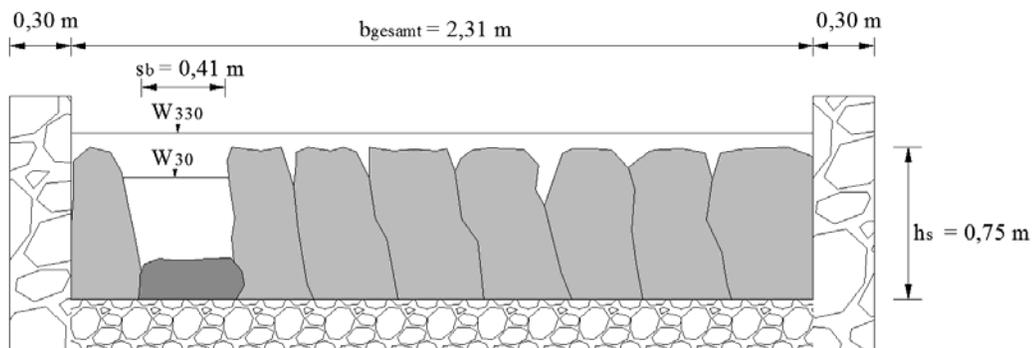


Abbildung 34: Querschnitt Raugerinne mit Beckenstruktur

6.2.6 Stabilität – Raugerinne mit Beckenstruktur

6.2.6.1 Allgemeines

Den hydraulischen Verhältnissen für Raugerinne mit Störsteinen oder Beckenstrukturen entsprechen die Verhältnisse in natürlichen Gebirgsflüssen mit Pool-Riffle-Strukturen, da der Höhenunterschied ebenfalls durch eine Rampe mit großen Steinen gebildet wird, zwischen denen sich Becken ausbilden, die mit Steinmaterial geringerer Größe gefüllt sind. Für diese Strukturen gibt Palt (2001) folgendes Stabilitätskriterium an ([5], S. 166):

$$q_{krit} = 0,093 * \sqrt{g} * \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}} * d_{65}^{3/2} * I^{-1,25} \left[\frac{m^3}{s * m} \right]$$

$$\rho_s \left[\frac{kg}{m^3} \right] - \text{Dichte des Steines}$$

$$\rho_w \left[\frac{kg}{m^3} \right] - \text{Dichte von Wasser}$$

$$d_{65} [m] - \text{Korndurchmesser bei 65 Masseprozent Siebdurchgang}$$

$$I [-] - \text{Gefälle}$$

Mit d_{65} wird ursprünglich das gesamte Deckschichtmaterial $d_{65,ges}$, also einschließlich der großen Riegelsteine charakterisiert. Eine Analyse der von Palt (2001) angegebenen Kornverteilungskurven zeigt aber, dass die obere Klassengrenze des Beckenfüllmaterials $d_{s,max}$ etwa dem 1,5-fachen Wert von $d_{65,ges}$ entspricht. Der mittlere Steindurchmesser des Beckenfüllmaterials $d_{m,Becken}$ ist etwa halb so groß wie d_{65} . Weiterhin sollte ein Sicherheitszuschlag von 30% bei kantigem Sohlenmaterial und von 40% bei rundkörnigem Sohlenmaterial angesetzt werden ([5], S. 166):

$$q_{zul} = (0,7 \text{ bis } 0,6) * q_{krit} \left[\frac{m^3}{s * m} \right]$$

$$q_{zul} = s * 0,263 * \sqrt{g} * \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}} * d_{m,Becken}^{3/2} * I^{-1,25} \left[\frac{m^3}{s * m} \right]$$

oder

$$q_{zul} = s * 0,05 * \sqrt{g} * \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}} * d_{s,Becken}^{3/2} * I^{-1,25} \left[\frac{m^3}{s * m} \right]$$

mit

$s = 0,7 [-]$ – Sicherheitszuschlag für kantiges Material

$s = 0,6 [-]$ – Sicherheitszuschlag für rundkörniges Material

([5], S. 166)

6.2.6.2 Stabilität des Sohlenmaterials – Berechnung

In diesem Fall muss die Stabilität des Sohlenmaterials für einen Abfluss von $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ nachgewiesen werden.

Die Wassertiefe vor dem Steinriegel ist $h_0 = 0,86 \text{ m}$ (Abbildung 33)

Maßgeblich ist der Teilabfluss in der Durchlassöffnung von $Q_{NW} = 0,42 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

Einer $0,41 \text{ m}$ breiten Durchlassöffnung entspricht ein spezifischer Abfluss von:

$$q_{vorh} = \frac{0,42}{0,41} = 1,024 \frac{\text{m}^3}{\text{s} * \text{m}} \rightarrow q_{vorh} = 1,0 \frac{\text{m}^3}{\text{s} * \text{m}}$$

Das Gefälle der Rampe ist $0,024 \rightarrow 2,4 \%$

Sicherheitszuschlag für kantiges Material $s = 0,7 [-]$

Dichte des Steines, Kalkstein: $\rho_s = 2700 \text{ kg}/\text{m}^3$

Erforderlicher Steindurchmesser:

$$d_{s,Becken} = \left(\frac{q_{vorh}}{0,05 * s * \sqrt{g} * \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} * I^{-1,25}}} \right)^{2/3}$$

$$\left(\frac{1,0}{0,05 * 0,7 * \sqrt{9,81} * \sqrt{\frac{2700 - 1000}{1000} * 0,024^{-1,25}}} \right)^{2/3} = 0,164 \text{ m}$$

$$\rightarrow d_{s,Becken} = 0,164 \text{ m} = 164 \text{ mm}$$

$$d_{m,Becken} = \left(\frac{q_{vorh}}{0,263 * s * \sqrt{g} * \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} * I^{-1,25}}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\left(\frac{1,0}{0,263 * 0,7 * \sqrt{9,81} * \sqrt{\frac{2700 - 1000}{1000} * 0,024^{-1,25}}} \right)^{2/3} = 0,054 \text{ m}$$

$$\rightarrow d_{m,Becken} = 0,054 \text{ m} = 54 \text{ mm}$$

Annahme: Schüttsteinklasse - WBS (Wasserbausteine) CP 63/180 mm

6.3 Raugerinne mit Störsteinen

6.3.1 Allgemeines

Falls bei flächigen Raugerinnen die Bemessungswerte mit der Rauheit der Sohle und dem gegebenen oder angestrebten Gefälle nicht eingehalten werden, können große solitäre Störsteine zusätzlich auf dem Raugerinne angeordnet werden. Die Störsteine werden in einem bestimmten Rastermaß gesetzt, das jedoch nur in gewissem Umfang variieren darf. Zusammen mit den unregelmäßigen Konturen der quader- oder säulenförmigen Steine entsteht ein abwechslungsreiches Strömungsbild ([5], S. 147).

6.3.2 Bemessung

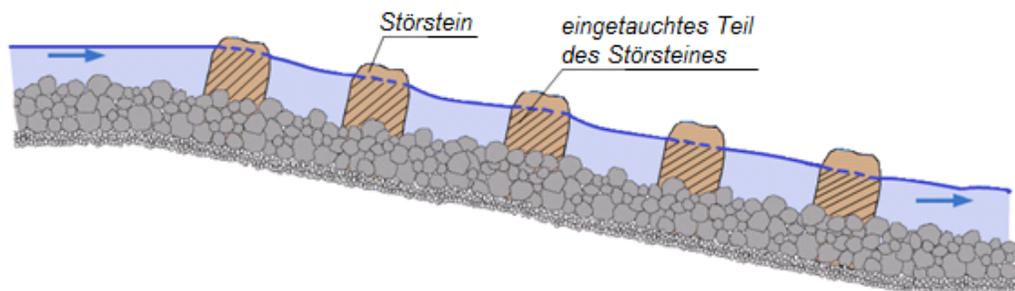


Abbildung 35: Raugerinne mit Störsteinen

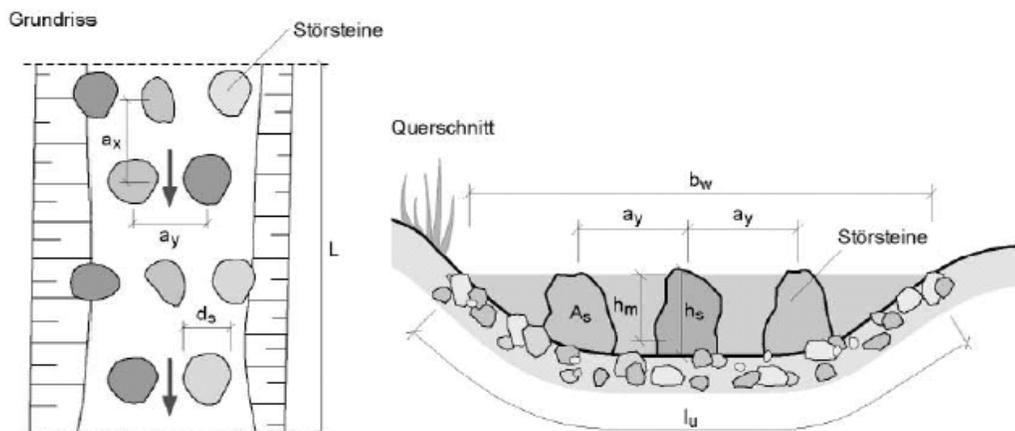


Abbildung 36: Definition der Dimensionen bei Raugerinne mit Störsteinen ([5], S. 149)

Bei Raugerinnen, die mit Störsteinen gemäß Abbildung 36 versehen sind, wird der Einfluss der Sohlenrauheit vom Fließwiderstand der Störsteine überlagert. Der Widerstandsbeiwert kann nach folgender Formel berechnet werden (Krüger & Heimerl 2007) ([5], S. 151):

$$\lambda = \frac{\lambda_s + \lambda_o * (1 - \varepsilon_o)}{1 - \varepsilon_v} [-] - \text{Widerstandsbeiwert}$$

mit

$$\varepsilon_v = \frac{\sum V_s}{V_{ges}} [-] - \text{Volumenverhältnis}$$

V_{ges} [m³] – Gesamtvolumen des Gerinneabschnittes mit Störsteinen

$\sum V_s$ [m³] – Summe eingetauchtes Volumen der Störsteine

$$\varepsilon_o = \frac{\sum A_{o,s}}{A_{o,ges}} [-] - \text{Flächenverhältnis}$$

$\sum A_{o,s}$ [m²] – Summe der Grundfläche der Störsteine

$A_{o,ges} = I_U * L$ [m²] – Fläche des betrachteten Gerinneabschnittes

I_U [m] – benetzter Gerinneumfang

L [m] – Länge des Gerinneabschnittes

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_o}} = -2 * \log \left(\frac{\frac{k_s}{4 * r_{hy}}}{3,71} \right) [-] - \text{Widerstandsbeiwert Sohlenrauheit}$$

$$k_s = \frac{d_{max}}{2} [mm] - \text{Sohlenrauheit}$$

d_{max} [mm] – max. Durchmesser des Sohlenmaterials (Schüttsteine)

$$r_{hy} = \frac{A_F}{I_U} [m] - \text{hydraulischer Radius}$$

A_F [m²] – Fließfläche

$$\lambda_S = 4 * c_w * \beta * \frac{\sum A_S}{A_{0,ges}} [-] - \text{Widerstandsbeiwert der Störsteine}$$

$$A_S = d_s * h^* [m^2]$$

A_S ist die angeströmte Fläche der Störsteine, wobei für h^* bei umströmten Steinen die mittlere Wassertiefe h_m und bei überströmten Steinen die Steinhöhe h_s einzusetzen ist ([5], S. 151).

Der Widerstandsbeiwert c_w der Störsteine hat folgende Werte ([5], S. 151):

$$c_w = 1,0 [-] - \text{zylinderförmige und runde Störsteine}$$

$$c_w = 1,2 [-] - \text{quaderförmige und kantige Störsteine}$$

Durch den Beiwert β [-] wird berücksichtigt, dass die Störsteine teilweise mit deutlich größerer Geschwindigkeit als mit der mittleren Fließgeschwindigkeit v_m angeströmt werden. Formel für die Berechnung des Anströmbeiwertes β ([5], S. 151):

$$\beta = \left(k * \frac{a_y}{a_y - d_s} \right)^2 * F_V + \frac{2 * g * I_0 * a_x}{v_m^2} [-] \text{ bei umströmten Störsteinen}$$

$$\beta = \left(k * \frac{A_{F,ges}}{A_{F,ges} - \sum A_S} \right)^2 * F_V + \frac{2 * g * I_0 * a_x}{v_m^2} [-] \text{ bei überströmten Störsteinen}$$

a_x und a_y bezeichnen den Abstand der Störsteine in Fließrichtung bzw. quer zur Fließrichtung.

Korrekturbeiwert k , der sowohl Strahlablösungen, Schwerewellen und Aufwallungen vor dem Störstein erfasst; es können in Auswertung von Laborversuchen folgende Werte angegeben werden ([5], S. 152):

$$k = 0,5 [-] - \text{für umströmte quaderförmige und kantige Störsteine}$$

$$k = 0,6 [-] - \text{für umströmte zylinderförmige (runde) Störsteine}$$

$$k = 0,8 [-] - \text{für überströmte Störsteine}$$

Durch den Faktor F_V wird berücksichtigt, dass Störsteine nur teilweise angeströmt werden. Der Faktor F_V für den Verdeckungsgrad der Störsteine ist definiert durch die Gleichung (Abbildung 37) $F_V = \frac{a_1}{d_s} [-]$:

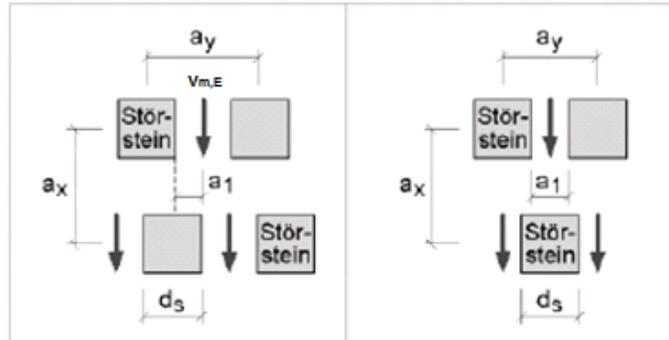


Abbildung 37: Skizze zur Definition der Faktoren F_V (Verdeckungsgrad) ([5], S.152)

Für die Fischpassierbarkeit sind die Fließgeschwindigkeiten in den Engstellen zwischen den Steinen maßgeblich (Abbildung 37).

$$v_{m,E} = \frac{v_m * A_{ges}}{A_{ges} - \sum A_S} \left[\frac{m}{s} \right]$$

$A_{ges} [m^2]$ – unverbauter Fließquerschnitt (ohne Störsteine)

$\sum A_S [m^2]$ – Summe der angeströmten Steinflächen

Diese Gleichung ist nur iterativ lösbar, da hier auch die mittlere Fließgeschwindigkeit v_m eingeht.

Die Gültigkeit des angegebenen Berechnungsverfahrens muss auf folgenden Bereich begrenzt werden ([5], S. 152):

Gefälle $\rightarrow I_0 = 1$ bis 5,6 %

Abstände der Störsteine $\rightarrow \frac{a_x}{d_s} = 1,5$ bis 5 ; $\frac{a_y}{d_s} = 1,5$ bis 5

Fließtiefen $\rightarrow \frac{h_m}{d_s} < 1,66$ und $\frac{h_m}{k_s} > 2$

6.3.3 Berechnung Raugerinne mit Störsteinen Jajce I

An der Wasserkraftanlage Jajce I wird als eine Möglichkeit einer Fischaufstiegsanlage ein Raugerinne mit Störsteinen entworfen. Der Durchfluss beträgt $Q = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Anlage befindet sich in der Unteren Forellenregion.

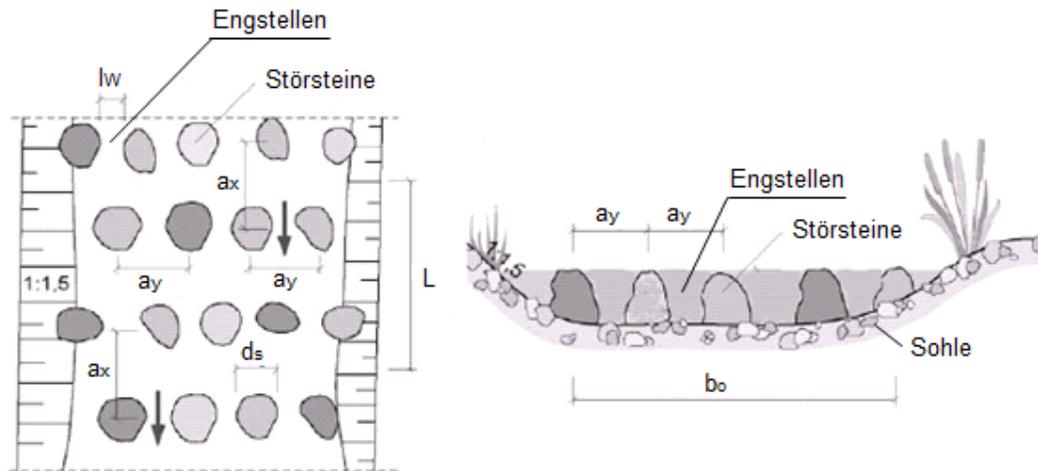


Abbildung 38: Raugerinne mit Störsteinen – Dimensionen

Die Parameter:

$v_{max} = 1,6 \text{ m/s}$ maximale Fließgeschwindigkeit in Engstellen (abhängig von Fließgewässerzone: Untere Forellenregion) ([5], Tabelle 23, S. 109)

$v_{m,E,Bem} = 1,3 \text{ m/s}$ zulässige mittlere Fließgeschwindigkeit in den Engstellen (abhängig von Fließgewässerzone: Untere Forellenregion) ([5], Tabelle 35, S. 150)

$p_{D,Bem} = 250 \text{ W/m}^3$ zulässige Leistungsdichte (abhängig von Fließgewässerzone: Untere Forellenregion) ([5], Tabelle 35, S. 150)

$h_{eff,Bem} = 0,3 \text{ m}$ minimale Wassertiefe unterhalb der Engstelle (abhängig von der relevanten Fischart: Bachforelle) ([5], Tabelle 36, S. 151)

$(2 * a_x - d_s) = 1,5 \text{ m}$ minimaler lichter Steinabstand in Fließrichtung (abhängig von der relevanten Fischart: Bachforelle) ([5], Tabelle 36, S. 151)

$(a_y - d_s) > 0,25 \text{ m}$ minimaler lichter Steinabstand quer zur Fließrichtung (abhängig von der relevanten Fischart: Bachforelle) ([5], Tabelle 36, S. 151)

Nach mehreren Proberechnungen ergeben sich folgende Lösungen:

- Annahme: Gefälle $I = 0,03 = 3 \%$
- Steingröße: $d_s = 0,70 \text{ m}$, runde Steine, Findlinge, ca. $0,3 \text{ m}$ in Sohle eingebunden
- Lichter Steinabstand quer zur Fließrichtung: gewählt $a_y - d_s = 0,40 > 0,25 \rightarrow a_y = 1,10 \text{ m} = 1,57 * d_s$
- Lichter Steinabstand in Fließrichtung: gewählt $2 * a_x - d_s = 1,90 > 1,5 \rightarrow a_x = 1,30 \text{ m} = 1,86 * d_s$
- Sohlenmaterial: Schüttsteine $d = 300 \text{ mm}$
- Sohlenrauheit: $k_s = \frac{d_{max}}{2} = 150 \text{ mm} \rightarrow k_s = 150 \text{ mm} = 0,15 \text{ m}$
- Trapezquerschnitt mit $b_{so} = 4,4 \text{ m}$ und Böschungsneig. 1: 1,5 $\rightarrow m = 1,5$
- versetzte Steinanordnung, 9 Störsteine auf $2 * a_x = 2,6 \text{ m}$
- Bei einer für den Fischeufstieg nutzbaren Wassertiefe von $h_{eff} = 0,3 \text{ m}$ ist die hydraulisch wirksame Wassertiefe $h_{m,Bem}$ (Abbildung 39):

Biologisch ist die Wassertiefe über den Spitzen der Rauheit relevant (h_{eff}).
Hydraulisch ist die mittlere Fließtiefe h_m maßgebend.

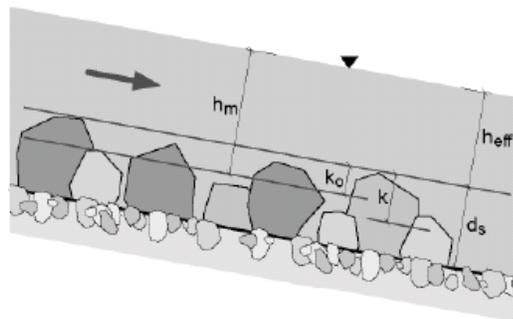


Abbildung 39: Definition der lokalen Fließtiefe bei Raugerinnen ([5], S.132)

$$h_m = h + \frac{k_s}{3} = 0,35 \text{ m} \rightarrow \mathbf{h_m = 0,35 \text{ m}}$$

Damit können die geometrischen Werte für einen $L = 2 * a_x = 2,6 \text{ m}$ (Abbildung 43) langen Gerinneabschnitt berechnet werden:

hydraulischer Radius:

$$r_{hy} = \frac{A_F}{I_U} = \frac{1,72}{5,66} = 0,304 \text{ m} \rightarrow r_{hy} = 0,31 \text{ m}$$

$$A_F = b_0 * h_m + m * h_m^2 = 4,4 * 0,35 + 1,5 * 0,35^2 = 1,72 \text{ m}^2$$

$$I_U = b_0 + 2 * h_m * (1 + m^2)^{\frac{1}{2}} = 4,4 + 2 * 0,35 * (1 + 1,5^2)^{1/2} = 5,66 \text{ m}$$

Sohlenwiderstandsbeiwert:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_0}} = -2 * \log\left(\frac{\frac{k_s}{4 * r_{hy}}}{3,71}\right) = -2 * \log\left(\frac{0,15}{4 * 0,31}\right) = 2,958 [-] \rightarrow \lambda_0 = 0,1143 [-]$$

Angeströmte Fläche der Störsteine: es wird angenommen, dass die angeströmte Fläche ca. 90 % der eines idealen Zylinders beträgt.

$$\sum A_S = n * d_s * h * 0,9 = 9 * 0,70 * 0,35 * 0,9 = 1,984 \text{ m}^2 \rightarrow \sum A_S = 1,98 \text{ m}^2$$

Volumenverhältnis:

$$\varepsilon_V = \frac{\sum V_S}{V_{ges}} = \frac{n * \frac{\pi}{4} * d_s^2 * h * 0,9}{A_F * 2 * a_x} = \frac{9 * \frac{\pi}{4} * 0,70^2 * 0,35 * 0,9}{1,72 * 2 * 1,3} = 0,243 [-]$$

$$\rightarrow \varepsilon_V = 0,24 [-]$$

Flächenverhältnis:

$$\varepsilon_O = \frac{\sum A_{O,S}}{A_{O,ges}} = \frac{n * \frac{\pi}{4} * d_s^2}{I_U * L} = \frac{9 * \frac{\pi}{4} * 0,70^2}{5,66 * 2,6} = 0,235 [-] \rightarrow \varepsilon_O = 0,24 [-]$$

Für eine ähnliche Störsteinkonfiguration wird zunächst ein Anströmbeiwert $\beta_0 = 3,8$ angenommen, der als Startwert für die Iteration benutzt wird ([5], Tabelle 38, Skizze V S. 153).

Widerstandsbeiwert:

$$c_w = 1,0 [-] - \text{zylinderförmige und runde Störsteine}$$

Widerstandsbeiwert der Störsteine:

$$\lambda_s = 4 * c_w * \beta * \frac{\sum A_s}{A_{0,ges}} = 4 * 1,0 * 3,8 * \frac{1,98}{14,72} = 2,049 [-] \rightarrow \lambda_s = 2,05 [-]$$

Widerstandsbeiwert:

$$\lambda = \frac{\lambda_s + \lambda_0 * (1 - \varepsilon_0)}{1 - \varepsilon_v} = \frac{2,05 + 0,1143 * (1 - 0,24)}{1 - 0,243} = 2,823 [-] \rightarrow \lambda = 2,82 [-]$$

Mittlere Fließgeschwindigkeit:

$$v_{m,1} = \sqrt{\frac{8 * g}{\lambda} * r_{hy} * I} = \sqrt{\frac{8 * 9,81}{2,82} * 0,31 * 0,03} = 0,504 \frac{m}{s} \rightarrow v_{m,1} = 0,50 \frac{m}{s}$$

Aufgrund der abweichenden Störsteinform und – Konfiguration wird der Anströmbeiwert β iterativ weiter verbessert. Dabei muss mit der mittleren Fließgeschwindigkeit $v_{m,1}$ der Beiwert β_{n+1} korrigiert werden, um mit diesem dann wiederum $v_{m,n+1}$ erneut zu berechnen. Dies ist so lange zu wiederholen, bis sich die β -Beiwert nicht mehr verändern.

Faktor F_V (siehe Seite 63):

$$F_V = \frac{a_1}{d_s} = \frac{a_y - d_s}{d_s} = \frac{1,1 - 0,7}{0,7} = 0,57 [-] \rightarrow F_V = 0,6 [-]$$

Korrekturbeiwert k :

$$k = 0,6 [-] - \text{für umströmte zylinderförmige (runde) Störsteine}$$

Endergebnis:

$$v_{m,n-1} = 0,39 \text{ m/s}$$

$$\beta = \left(k * \frac{a_y}{a_y - d_s} \right)^2 * F_V + \frac{2 * g * I_O * a_x}{v_m^2}$$

$$\left(0,6 * \frac{1,1}{1,1 - 0,7} \right)^2 * 0,6 + \frac{2 * 9,81 * 0,03 * 1,30}{0,39^2} = 6,586 [-] \rightarrow \beta = 6,6 [-]$$

$$\lambda_S = 4 * c_W * \beta * \frac{\sum A_S}{A_{O,ges}} = 4 * 1,0 * 6,6 * \frac{1,98}{14,72} = 3,551 [-] \rightarrow \lambda_S = 3,55 [-]$$

$$\lambda = \frac{\lambda_S + \lambda_O * (1 - \varepsilon_O)}{1 - \varepsilon_V} = \frac{3,55 + 0,1143 * (1 - 0,24)}{1 - 0,243} = 4,810 [-] \rightarrow \lambda = 4,81 [-]$$

$$v_{m,1} = \sqrt{\frac{8 * g}{\lambda} * r_{hy} * I} = \sqrt{\frac{8 * 9,81}{4,81} * 0,31 * 0,03} = 0,389 \frac{\text{m}}{\text{s}} \rightarrow v_{m,1} = 0,39 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Mittlere Fließgeschwindigkeit in der Engstelle:

$$v_{m,E} = \frac{v_m * A_F}{A_F - n_{quer} * A_S} = \frac{0,39 * 1,72}{1,72 - 5 * 0,7 * 0,35 * 0,9} = 1,086 \frac{\text{m}}{\text{s}} \rightarrow v_{m,E} = 1,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_{m,E} = 1,1 \frac{\text{m}}{\text{s}} < v_{m,E,Bem} = 1,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Durchfluss:

$$Q = v_{m,1} * A_F = 0,39 * 1,72 = 0,65 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \rightarrow Q = 0,65 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \approx 0,6 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Nachweis des Abflusszustandes auf dem Raugerinne:

- Froudezahl im unverbauten Querschnitt

$$F_r = \frac{v_m}{\sqrt{g * h_m}} = \frac{0,39}{\sqrt{9,81 * 0,35}} = 0,210$$

$$\rightarrow F_r = 0,21 < 1,0 \text{ strömender Abfluss}$$

- Froudezahl in den Engstellen zwischen den Störsteinen

$$F_r = \frac{v_{m,E}}{\sqrt{g * h_m}} = \frac{1,1}{\sqrt{9,81 * 0,35}} = 0,59$$

→ $F_r = 0,60 < 1,0$ strömender Abfluss

Ermittlung der Leistungsdichte bei der Energiedissipation mit $Q = 0,65 \text{ m}^3/\text{s}$:

$$p_D = \frac{\rho_w * g * \Delta h * Q}{V_{Netto}} = \frac{1000 * 9,81 * 0,08 * 0,65}{3,38} = 150,9 \frac{W}{m^3} \rightarrow p_D = 150,9 \frac{W}{m^3}$$

$$p_D = 151 \frac{W}{m^3} < p_{D,Bem} = 270 \frac{W}{m^3}$$

- Wasserspiegeldifferenz zwischen Rampen:

$$\Delta h = I * L = 0,03 * 2,6 = 0,078 \text{ m} \rightarrow \Delta h = 0,08 \text{ m}$$

- Nettovolumen des Wasserkörpers ohne Störsteine:

$$V_{Netto} = A_F * L - \sum V_S = 1,72 * 2,6 - 1,09 = 3,38 \text{ m}^3 \rightarrow V_{netto} = 3,38 \text{ m}^3$$

6.3.4 Kontrolle hydraulische Bemessung

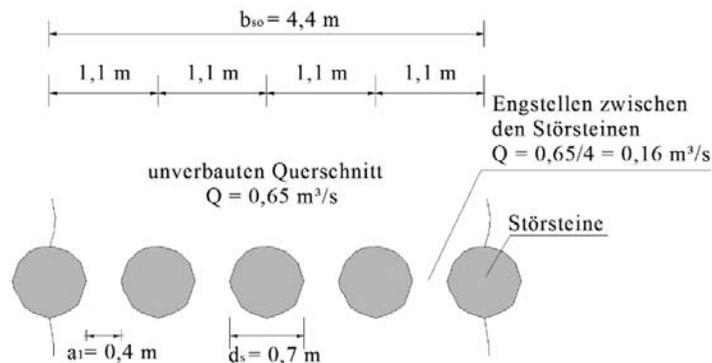


Abbildung 40: Draufsicht auf den unverbauten Querschnitt und die Engstellen zwischen den Störsteinen

$$Q = 0,65 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} - \text{Durchfluss}$$

Fließformel (Manning – Strickler):

$$v = k_s * I^{1/2} * R^{2/3} - \text{Fließgeschwindigkeit}$$

$$k_s \left[\frac{m^{1/3}}{s} \right] - \text{Stricklerbeiwert}$$

$$R = \frac{A}{U} [m] - \text{hydraulischer Radius}$$

$A [m^2]$ – durchflossene Fläche

$U [m]$ – benetzter Umfang

$I [-]$ – Sohlgefälle

Berechnung Normalabfluss mit:

$$v_n = \frac{Q}{b_{so} * t_n} \text{ und } v_n = k_s * I^{1/2} * R^{2/3}$$

$$\frac{Q}{b_{so} * t_n} = k_s * I^{1/2} * R^{2/3}$$

k_s – Stricklerbeiwert, aus der Formel für den λ Widerstandsbeiwert:

$$I = \frac{v^2}{k_s^2 * R^{4/3}} ; I = \lambda * \frac{1}{D} * \frac{v^2}{2g} ; D = 4R \rightarrow \text{breite, offene Gerinne}$$

$$\frac{v^2}{k_s^2 * R^{4/3}} = \lambda * \frac{1}{D} * \frac{v^2}{2g} \rightarrow \lambda = 124,6 * \frac{\left(\frac{1}{k_s}\right)^2}{\sqrt[3]{4 * R}}$$

$$\lambda = 124,6 * \frac{\left(\frac{1}{k_s}\right)^2}{\sqrt[3]{4 * R}}$$

mit Widerstandsbeiwert $\lambda = 4,81 [-]$ und hydraulischem Radius $R = 0,31 m$

$$4,81 = 124,6 * \frac{\left(\frac{1}{k_s}\right)^2}{\sqrt[3]{4 * 0,31}} \rightarrow k_s = 4,91 \frac{m^{1/3}}{s} \rightarrow \text{extrem rau}$$

$b_{so} = 4,4 m$ – Breite des Gerinnes

$$\frac{0,65}{4,4 * t_n} = 4,91 * 0,031^{1/2} * \left(\frac{4,4 * t_n}{2 * t_n + 4,4}\right)^{2/3} \rightarrow t_n = 0,37 m ; v_n = 0,40 m/s$$

Froudezahl:

$$F_r = \frac{v_n}{\sqrt{g * t_n}} = \frac{0,40}{\sqrt{9,81 * 0,37}} = 0,21$$

→ $F_r = 0,21 < 1,0$ strömender Abfluss

Grenztiefe:

$$Q = \frac{0,65}{4} = 0,16 \frac{m^3}{s} - \text{Durchfluss in den Engstellen zwischen den Störsteinen}$$

$a_1 = 0,40 \text{ m}$ – Breite des Querschnittes

$$t_{gr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{a_1^2 * g}} = \sqrt[3]{\frac{0,16^2}{0,40^2 * 9,81}} = 0,25 \text{ m} \rightarrow t_{gr} = 0,25 \text{ m}$$

$t_n = 0,37 \text{ m} > t_{gr} = 0,25 \text{ m} \rightarrow$ strömender Abfluss

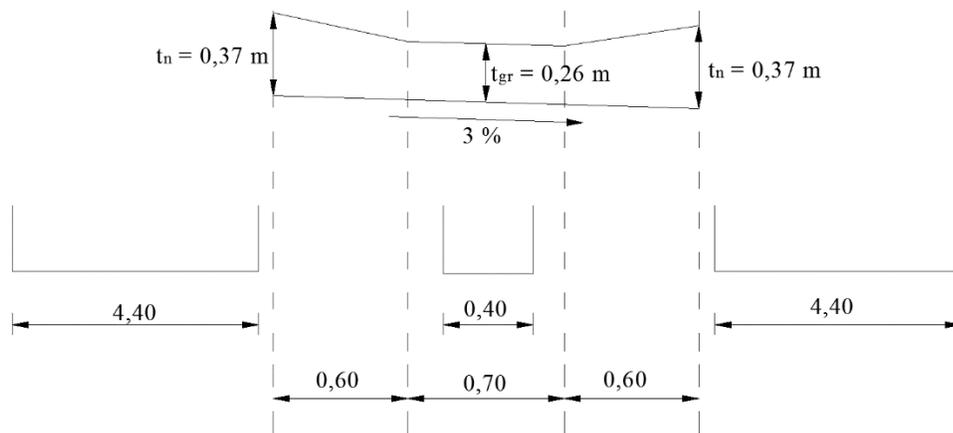


Abbildung 41: Skizze Normalabflusstiefe und Grenztiefe

6.3.5 Ergebnisse hydraulische Berechnung – Raugerinne mit Störsteinen

Tabelle 8: Gesamtergebnisse von Raugerinne mit Störsteinen

II RAUGERINNE MIT STÖRSTEINEN (Untere Forellenregion; Bachforelle)	
Differenz zwischen Ober - und Unterwasser	$\Delta h = 7,65 \text{ m}$
Gesamtlänge	$L = 255 \text{ m}$
Wasserspiegeldifferenz zwischen einzelnen Becken	$\Delta h_{\text{bem}} = 0,08 \text{ m}$
Trapezquerschnitt, Böschungsneigung 1:1,5	$b_{\text{so}} = 4,4 \text{ m}$
versetzte Steinanordnung (Länge zwischen Rampen)	$L = 2,60 \text{ m}$
Gefälle der Rampe	$I = 3,0 \%$
Abfluss	$Q = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabelle 9: Fischarten mit Wandermöglichkeiten; Variante II Raugerinne mit Störsteinen

FISCHARTEN								
Regenbogenforelle	Bachforelle	Seesaibling	Äsche	Döbel	Giebel	Karpfen	Rotaugen (Plötze)	Schneider
✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗

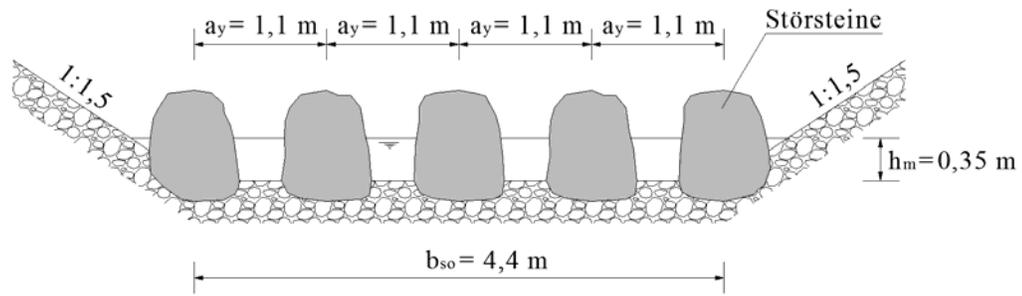


Abbildung 42: Querschnitt von Raugerinne mit Störsteinen

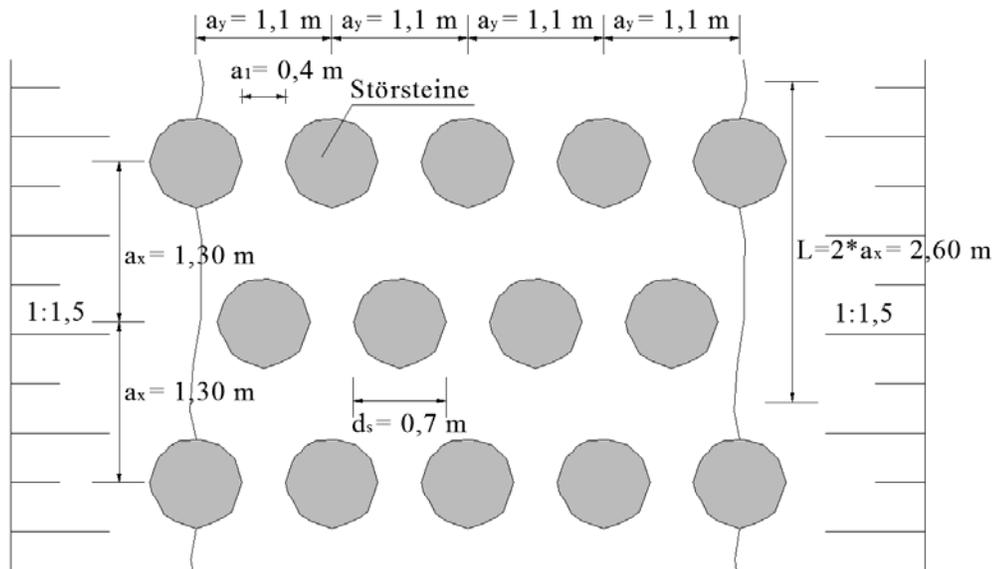


Abbildung 43: Anordnung der Störsteine und deren Dimensionen

6.3.6 Stabilität einzelner Störsteine

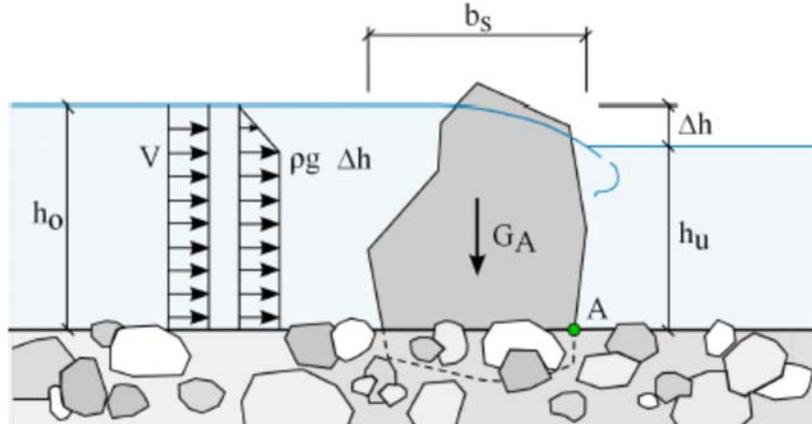


Abbildung 44: Zur Standsicherheit einzelner Störsteine ([5], S.156)

Die Standsicherheit des Einzelsteines wird in Anlehnung an die Tragfähigkeitsnachweise der DIN 4084 als Auslastungsgrad f angegeben, welcher sich aus der Summe der Momente um den Punkt A unter Ansatz von Partialsicherheitsbeiwerten berechnet ([5], S. 156)

Der Auslastungsgrad f kann nach folgender Formel berechnet

$$f = \frac{\gamma_G * M_G}{\gamma_V * M_V + \gamma_h * M_h}$$

und muss kleiner als 1 sein: $f < 1$

$\gamma_G = 0,8 [-]$; $\gamma_V = 1,5 [-]$; $\gamma_h = 1,3 [-]$ – Partialsicherheitsbeiwerte

$$M_G = G_A * \frac{b_s}{2} \text{ [KNm]} \text{ – Moment infolge der Gewichte}$$

G_A – Gewicht des Steines unter Auftrieb

$$M_V = \frac{1}{2} * \rho_w * C_w * A_s * v^2 * \frac{h_0}{2} \text{ [KNm]}$$

– Moment infolge der Kräfte aus Fließgeschwindigkeiten

Widerstandsbeiwert von Störkörpern:

$$c_W = 1,0 [-] - \text{runde Steine}$$

$$c_W = 1,2 [-] - \text{kantige, quaderförmige Steine}$$

Angeströmte Fläche der Störsteine:

$$A_S = \frac{\pi}{4} * d_s^2 * 0,9 [m^2]$$

$h_o [m]$ – Die Wassertiefe vor dem Stein

v ist die maximale Fließgeschwindigkeit $v = \sqrt{2 * g * \Delta h} \left[\frac{m}{s} \right]$ bei Steinschwellen, oder die maximale Fließgeschwindigkeit in den Engstellen von Störsteine $v_{m,E}$.

$$\rho_W = 1000 \frac{kg}{m^3} - \text{Dichte von Wasser}$$

$$\rho_s \left[\frac{kg}{m^3} \right] - \text{Dichte des Steines}$$

Mit dieser Dichte $(\rho_s - \rho_W) = (2700 - 1000) = 1700 \text{ kg/m}^3$ kann das Steingewicht unter Auftrieb berechnet werden.

Vereinfachung $\Delta h^2 \approx 0$ (mit vereinfachter hydrostatischer Druckfigur):

$$M_h = \Delta h * \rho_W * g * \frac{h_o}{2} [KNm] - \text{Moment infolge der Kräfte aus Wasserdruck}$$

$\Delta h [m]$ – Wasserspiegeldifferenz zwischen Rampen

6.3.7 Berechnung - Stabilität einzelner Störsteine

Müsste die Stabilität einzelner Störsteine für einen Abfluss von 0,65 m³/s nachgewiesen werden.

Moment infolge der Gewichte:

$$M_G = G_A * \frac{b_s}{2} = 1,80 * \frac{0,4}{2} = 0,36 \text{ KNm} \rightarrow \mathbf{M_G = 0,36 \text{ KNm}}$$

Gewicht des Steines unter Auftrieb:

$$G_A = (\rho_s - \rho_w) * g * V_s = 1700 * 9,81 * 0,108 = 1801,1 \text{ N} \rightarrow \mathbf{G_A = 1,80 \text{ KN}}$$

Dichte des Steines unter Auftrieb:

$$(\rho_s - \rho_w) = (2700 - 1000) = 1700 \text{ kg/m}^3$$

Angeströmte Volumen der Störsteine:

$$V_s = \frac{\pi}{4} * d_s^2 * h_o * 0,9 = \frac{\pi}{4} * 0,7^2 * 0,35 * 0,9 = 0,1077 \text{ m}^3 \rightarrow \mathbf{V_s = 0,108 \text{ m}^3}$$

Breite der Durchflussöffnung:

$$b_s = 0,4 \text{ m}$$

Die Wassertiefe vor dem Stein:

$$h_o = 0,35 \text{ m}$$

Moment infolge der Kräfte aus Fließgeschwindigkeiten:

$$M_V = \frac{1}{2} * \rho_w * C_W * A_s * v^2 * \frac{h_o}{2} = \frac{1}{2} * 1000 * 1 * 0,35 * 1,6^2 * \frac{0,35}{2} = 78,4 \text{ Nm}$$

$$\rightarrow \mathbf{M_V = 0,0784 \text{ KNm}}$$

Dichte des Wassers:

$$\rho_w = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Widerstandsbeiwert von Störsteine (runde Steine):

$$C_W = 1,0 [-]$$

Angeströmte Fläche der Störsteine:

$$A_S = \frac{\pi}{4} * d_S^2 * 0,9 = \frac{\pi}{4} * 0,7^2 * 0,9 = 0,346 \text{ m}^2 \rightarrow A_S = \mathbf{0,35 \text{ m}^2}$$

maximale Fließgeschwindigkeit in Engstellen:

$$v_{max} = 1,6 \text{ m/s}$$

Moment infolge der Kräfte aus dem Wasserdruck:

$$M_h = \Delta h * \rho_W * g * \frac{h_0}{2} = 0,08 * 1000 * 9,81 * \frac{0,35}{2} = 137,34 \text{ Nm}$$

$$\rightarrow M_h = \mathbf{0,137 \text{ KNm}}$$

Wasserspiegeldifferenz zwischen Rampen:

$$\Delta h = 0,08 \text{ m}$$

Der Auslastungsgrad f :

$$f = \frac{\gamma_G * M_G}{\gamma_V * M_V + \gamma_h * M_h} = \frac{0,8 * 0,36}{1,5 * 0,0784 + 1,3 * 0,137} = 0,97 [-]$$

$$\rightarrow f = \mathbf{0,97 < 1,0}$$

Partialsicherheitsbeiwerte:

$$\gamma_G = 0,8 [-]; \gamma_V = 1,5 [-]; \gamma_h = 1,3 [-]$$

6.4 Schlitzpass (Vertical – Slot – Pass)

6.4.1 Allgemeines

Der Schlitzpass oder Vertical – Slot – Pass ist eine in Nordamerika entwickelte Bauweise, die dort seit Mitte des 1940er Jahre vielfach angewandt wird (Clay 1961, Bell 1973, Rajaratnam et al. 1986). Seit Mitte der 1980er Jahre findet diese Bauart auch in Europa verstärkt Anwendung.

Der Schlitzpass ist eine Variante der beckenartigen Fischaufstiegsanlagen, bei der die Trennwände durch über die gesamte Höhe reichende, vertikale Schlitze gekennzeichnet sind (Abbildung 45) ([5], S. 207)

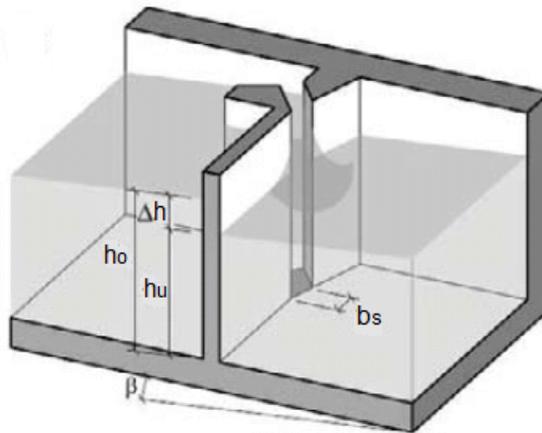


Abbildung 45: Abmessungen und Bezeichnungen beim Schlitzpass mit einem Schlitzelement ([5], S.194)

Alle nachfolgenden Aussagen zu Wassertiefen und damit Wasserständen beziehen sich stets auf das mittlere Niveau unterhalb der Spitzen des Sohlensubstrates gemäß Abbildung 46. Die nachfolgend beschriebenen Berechnungsverfahren setzen voraus, dass es in den Becken zu einer vollständigen Dissipation der eingetragenen kinetischen Energie kommt und der Schlitzelement nicht direkt durch den Strahl des oberhalb liegenden Schlitzelement angeströmt wird ([5], S. 207).

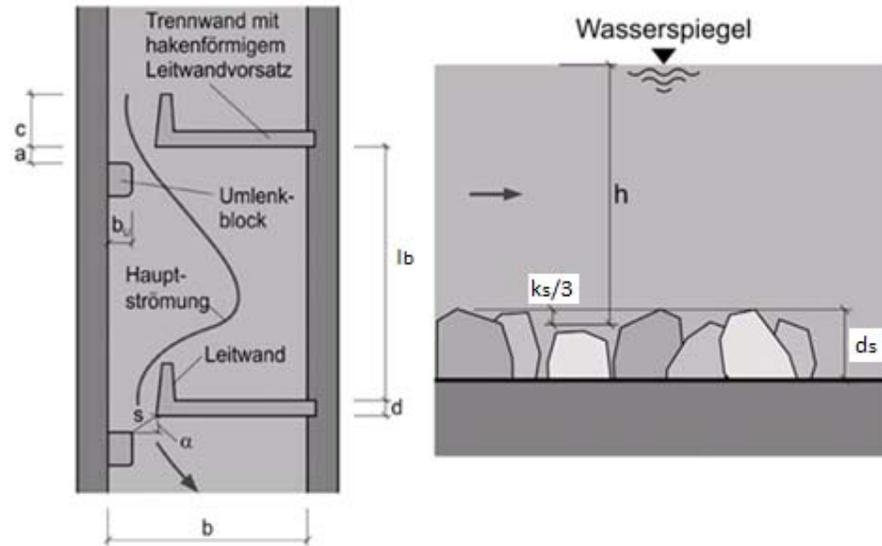


Abbildung 46: Abmessungen und Bezeichnungen beim Schlitzpass mit einem Schlitz (Grundriss); und Skizze zur Definition der Wassertiefe h ([5], S.208, 210)

6.4.2 Bemessung

Nachzuweisen sind:

- Wassertiefen
- Fließgeschwindigkeiten im Schlitz
- Abflüsse
- Leistungsdichte bei der Energieumwandlung in den Becken

bei allen maßgebenden Betriebszuständen.

Die Wassertiefe im Schlitzpass unterhalb einer Trennwand, bezogen auf das mittlere Niveau des Sohlensubstrates, muss so groß gewählt werden, dass es im Schlitz nicht zum schießenden Abfluss kommt. Die Bedingung muss erfüllt werden:

$$h_u > h_{gr} \text{ oder } v_{max} > v_{gr}; h_u > 0,67 * h_o; h_o > 3 * \Delta h \text{ (Abbildung 45)}$$

mit Grenztiefe $h_{gr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g * s^2}}$ und Grenzgeschwindigkeit $v_{gr} = \sqrt{2 * h_{gr}}$

Maximale Fließgeschwindigkeit unterhalb des Schlitzes:

$$v_{max} = \sqrt{2 * g * \Delta h} \left[\frac{m}{s} \right]$$

Mindestwassertiefe ist ca. $h_{u,UW} = 0,5 \text{ m}$

Die erforderliche Anzahl der Becken n berechnet sich aus der Gleichung:

$$n = \frac{h_{ges}}{\Delta h} - 1 \text{ [-]}$$

Δh [m] – der Grenzwert für die Wasserspiegeldifferenz

Die Abflüsse in Schlitzpässen werden von den Wassertiefen und der Wasserspiegeldifferenz an den Schlitzöffnungen bestimmt ([5], S. 212):

$$Q = \frac{2}{3} * \mu_r * s * \sqrt{2 * g} * h_o^{3/2} \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad \text{mit:}$$

$$\mu_r = 0,6 * \left[1 - 0,8 * \left[\frac{h_u}{h_o} \right]^{7,5} \right] \text{ [-]} \text{ - Überfallbeiwert; Gültig nur wenn } \frac{h_u}{h_o} < 0,98$$

s [m] – Schlitzbreite

h_o [m] – oberwasserseitige Wassertiefe

h_u [m] – unterwasserseitige Wassertiefe

Die Leistungsdichte berechnet sich nach der Gleichung ([5], S. 213):

$$p_D = \frac{\rho_W * g * Q * \Delta h}{I_b * h_m * b_b} = \frac{\rho_W * g * Q * \Delta h}{(I_B - d) * h_m * b_b} \left[\frac{W}{m^3} \right] \quad \text{mit:}$$

I_B [m] – Gesamtlänge der Becken

I_b [m] – Innenlänge der Becken

h_m [m] – mittlere Wassertiefe der Becken, $h_m = h_u + \Delta h/2$

b [m] – Breite der Becken

d [m] – Dicke der Trennwand

6.4.3 Berechnung Schlitzpass Jajce I

An der Wasserkraftanlage Jajce I in der Äschenregion wird als eine Variante einer FAH ein Schlitzpass projektiert. Die Fischaufstiegshilfe wird für Arten wie Äsche, Döbel, Plötze etc. konzipiert. Über die Fischaufstiegsanlage müssen mindestens $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ abgegeben werden. Der Oberwasserstand liegt auf dem Niveau $426,90 \text{ m.ü.A}$ und der Unterwasserstand auf dem Niveau $419,25 \text{ m.ü.A}$

Für die Äschenregion beträgt der Grenzwert für die spezifische Leistungsdichte (Beckenbauweise) ([5], Tabelle 25, S. 111):

$$p_{D,grenz} = 200 \text{ W/m}^3$$

Für die Äschenregion ($\Delta h_{gesamt} = 6\text{m bis } 9\text{m}$) beträgt der Grenzwert für die Fließgeschwindigkeit im Schlitz ([5], Tabelle 43, S. 197):

$$v_{grenz} = 1,8 \text{ m/s}$$

$$\rightarrow \Delta h_{grenz} = \frac{v_{grenz}^2}{2 * g} = \frac{1,8^2}{2 * 9,81} = 0,165 \text{ m} \rightarrow \Delta h_{grenz} = 0,17\text{m}$$

Für den Bemessungswert ergibt Fließgeschwindigkeiten im Schlitz sich eine:

$$v_{bem} = S_b * S_v * v_{grenz} = 0,95 * 0,95 * 1,8 = 1,62 \frac{\text{m}}{\text{s}} \rightarrow v_{bem} = 1,62 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Sicherheitsbeiwerte: $S_b = 0,95$ und $S_v = 0,95$ ([5], S. 196)

$$\rightarrow \Delta h_{bem} = \frac{v_{bem}^2}{2 * g} = \frac{1,62^2}{2 * 9,81} = 0,135 \text{ m} \rightarrow \Delta h_{bem} = 0,14 \text{ m}$$

Für den geforderten Abfluss von $Q = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ wird eine Schlitzweite von $s = 0,40 \text{ m}$ (Annahme) benötigt wird.

Lichte Beckenlänge:

$$I_b = 8,33 * s = 8,33 * 0,4 = 3,33 \text{ m} \rightarrow \mathbf{I_b = 3,33 \text{ m}}$$

Systemabstand der Zwischenwände:

$$d = 0,1 \text{ m} \rightarrow \text{die Trennwanddicke}$$

$$I_B = I_b + d = 3,33 + 0,1 = 3,43 \text{ m} \rightarrow \mathbf{I_B = 3,43 \text{ m}}$$

Beckenbreite:

$$b_b = I_b * \frac{3}{4} = 3,33 * \frac{3}{4} = 2,49 \text{ m} \rightarrow \mathbf{b_b = 2,5 \text{ m}}$$

maximale Differenz zwischen Ober- und Unterwasser:

$$h_{ges} = 426,90 - 419,25 = 7,65 \text{ m} \rightarrow \mathbf{h_{ges} = 7,65 \text{ m}}$$

Beckenzahl:

$$n = \frac{h_{ges}}{\Delta h} - 1 = \frac{7,65}{0,14} - 1 = 53,6 \rightarrow \mathbf{n \approx 54}$$

Die Gesamtlänge des Passes (mit 1,0 m lang gewählten Vor- und Nachkammer):

$$I_{ges} = n * (I_b + d) + 2 * 1,0 = 54 * (3,33 + 0,10) + 2 * 1,0 = 187,2 \text{ m}$$

$$\rightarrow \mathbf{I_{ges} = 187,2 \text{ m}}$$

Die Becken habe eine $d_s = 0,30 \text{ m}$ dicke Substratauflage.

Minimale Wassertiefe in der Fischaufstiegsanlage:

$$\text{gewählt: } \mathbf{h_{min} = 1,0 \text{ m}}$$

Einlaufhöhe:

$$\text{min OW} - h_{min} - \Delta h = 426,90 - 1,0 - 0,14 = 425,76 \text{ m. ü. A}$$

Sohlenhöhe am Auslauf:

$$\min UW - h_{min} = 419,25 - 1,0 = 418,25 \text{ m. ü. A}$$

Die maximale Fließgeschwindigkeit im Bereich der Schlitz:

$$v_{max} = \sqrt{2 * g * \Delta h} = \sqrt{2 * 9,81 * 0,14} = 1,61 \frac{m}{s} \rightarrow v_{max} = \mathbf{1,61 \text{ m/s}}$$

$$v_{max} = \mathbf{1,61 \frac{m}{s}} < v_{bem} = \mathbf{1,62 \frac{m}{s}}$$

unterwasserseitige Wassertiefe:

$$h_u = \mathbf{1,0 \text{ m}}$$

oberwasserseitige Wassertiefe:

$$h_o = h_u + \Delta h = 1,0 + 0,14 = 1,14 \text{ m} \rightarrow h_o = \mathbf{1,14 \text{ m}}$$

Überfallbeiwert:

$$\mu_r = 0,6 * \left[1 - 0,8 * \left[\frac{h_u}{h_o} \right]^{7,5} \right] = 0,6 * \left[1 - 0,8 * \left[\frac{1,0}{1,14} \right]^{7,5} \right] = 0,42 \rightarrow \mu_r = \mathbf{0,42 [-]}$$

Abfluss im Schlitzpass:

$$Q = \frac{2}{3} * \mu_r * s * \sqrt{2 * g} * h_o^{3/2} = \frac{2}{3} * 0,42 * 0,4 * \sqrt{2 * 9,81} * 1,14^{3/2} = \mathbf{0,60 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$\rightarrow \mathbf{Q = 0,60 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Leistungsdichte:

$$p_D = \frac{\rho_W * g * Q * \Delta h}{I_b * h_m * b} = \frac{1000 * 9,81 * 0,6 * 0,14}{3,33 * 1,07 * 2,5} = 92,5 \frac{W}{m^3} \rightarrow p_D = \mathbf{93 \frac{W}{m^3}}$$

$$h_m = h_u + \frac{\Delta h}{2} = 1,0 + \frac{0,14}{2} = 1,07 \text{ m} \rightarrow h_m = \mathbf{1,07 \text{ m}}$$

$$p_D = \mathbf{93 \frac{W}{m^3}} < p_{D,bem} = \mathbf{200 \frac{W}{m^3}}$$

Die Bedingungen:

$$h_u > h_{gr} \text{ oder } v_{max} > v_{gr}; h_u > 0,67 * h_o; h_o > 3 * \Delta h$$

$$h_{gr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g * s^2}} = \sqrt[3]{\frac{0,6^2}{9,81 * 0,4^2}} = 0,61 \text{ m} \rightarrow h_{gr} = 0,61 \text{ m}$$

$$v_{gr} = \sqrt{2 * h_{gr}} = \sqrt{2 * 0,61} = 1,106 \frac{\text{m}}{\text{s}} \rightarrow v_{gr} = 1,11 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$h_u > h_{gr} \rightarrow 1,0 \text{ m} > 0,61 \text{ m}$$

$$v_{max} > v_{gr} \rightarrow 1,62 \frac{\text{m}}{\text{s}} > 1,11 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$h_u > 0,67 * h_o \rightarrow 1,0 \text{ m} > 0,76 \text{ m}$$

$$h_o > 3 * \Delta h \rightarrow 1,14 \text{ m} > 0,42 \text{ m}$$

6.4.4 Ergebnisse hydraulische Berechnung – Schlitzpass

Tabelle 10: Gesamtergebnisse von Schlitzpass

III SCHLITZPASS „VERTICAL-SLOT-PASS“ (Äschenregion)	
Differenz zwischen Ober - und Unterwasser	$\Delta h = 7,65 \text{ m}$
Gesamtlänge	$L = 187,2 \text{ m}$
Wasserspiegeldifferenz zwischen den einzelnen Becken	$\Delta h_{bem} = 0,14 \text{ m}$
Beckenbreite	$b_b = 2,5 \text{ m}$
Systemabstand der Zwischenwände (Länge des Beckens)	$l_B = 3,43 \text{ m}$
Gefälle der Rampe	$I = 4,1 \%$
Abfluss	$Q = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabelle 11: Fischarten mit Wanderungsmöglichkeiten; Variante III Schlitzpass

FISCHARTEN								
Regenbogenforelle	Bachforelle	Seesaibling	Äsche	Döbel	Giebel	Karpfen	Rotauge (Plötze)	Schneider
✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X

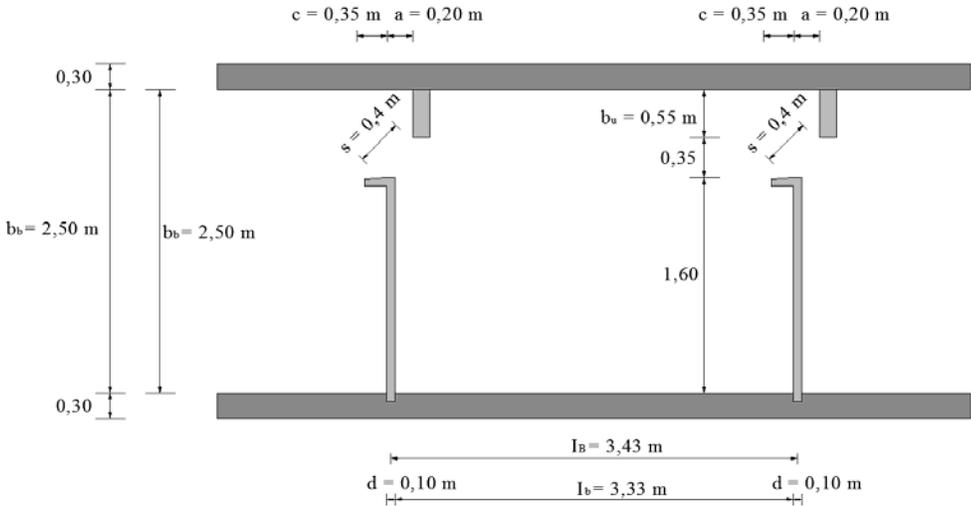


Abbildung 47: Anordnung der Trennwände und deren Dimensionen

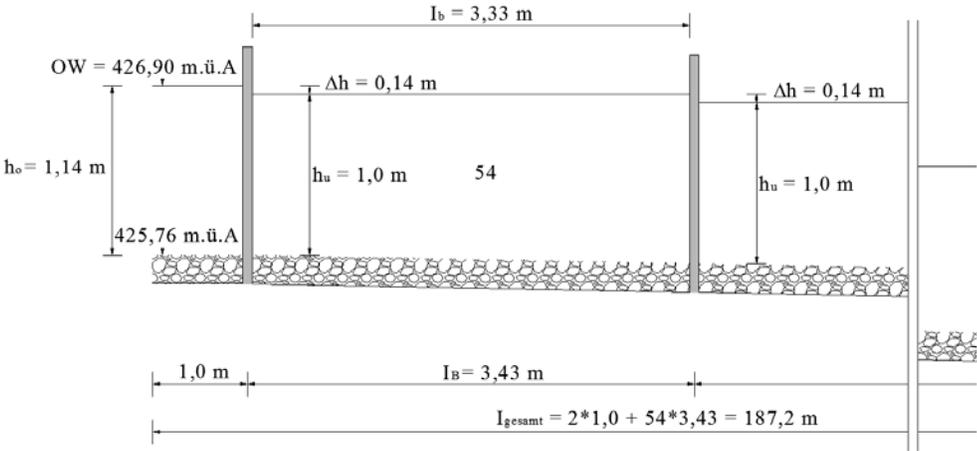


Abbildung 48: Längsschnitt von Schlitzpass Jajce I

7. Variantenstudium

In dem Kapitel 7 sind drei Varianten im Vergleich zu verschiedenen Kriterien dargestellt. Hier handelt es sich um die Varianten:

1. Raugerinne mit Beckenstruktur
2. Raugerinne mit Störsteinen
3. Schlitzpass (Vertical – Slot – Pass)

Maßgebende Parameter:

- Platzbedarf
- naturraumtypisches Erscheinungsbild
- Wandermöglichkeit unterschiedlicher Fischarten
- minimaler Wasserbedarf $Q_{\min} = 0,60 \text{ m}^3/\text{s}$

In der Tabelle 12 ist dargestellt, welche Variante bei welchen Kriterien Vorteile (✓) oder Nachteile (✗) hat. Das Ergebnis des Parametervergleichs ist im Ausführungsvorschlag zusammengefasst.

Tabelle 12: Variantenstudium FAH Jajce I

KRITERIEN	VARIANTEN		
	Raug./Beckenstr. I	Raug./Störsteinen II	Schlitzpass III
<i>Platzbedarf:</i>	L = 315 m, größer als bei Variante I und II X	L = 255 m, größer als bei Variante III X	L = 187 m, kürzer als Variante I und II ✓
<i>naturraumtypisches Erscheinungsbild:</i>	weniger im Vergleich zur Variante II X ✓	nahezu im Vergleich zu Variante I und II ✓	technisches Erscheinungsbild (Beton, Stahl) X
<i>Wanderungsmöglichkeit unterschiedlicher Fischarten</i>	für alle Arten möglich ✓	nur drei Arten können wandern (Regenbogenforelle, Bachforelle, Seesaibling) X	nur drei Arten können nicht wandern (Karpfen, Plötze, Schneider) X ✓
<i>minimaler Wasserbedarf Q = 0,60 m³/s</i>	Q = 0,60 m³/s ✓	Q = 0,65 m³/s ✓	Q = 0,60 m³/s ✓
Ausführungsvorschlag:	nicht möglich, auf Grund des Platzbedarfs	nicht möglich, auf Grund des Platzbedarfs und Wanderungsmöglichkeit, da nur drei Arten wandern können	Variante entspricht fast allen Kriterien, vor allem dem Platzbedarf

Aufgrund der untersuchten Kriterien ist die Variante III – Schlitzpass (Vertical – Slot – Pass) als optimale Variante dargestellt, da sie fast allen Kriterien, vor allem dem Platzbedarf entspricht. Die Varianten I und II werden v.a. auf Grund des großen Platzbedarfs nicht zur Ausführung vorgeschlagen.

8. Beispielhafter Vergleich – Wasserkraftwerk Gössendorf

8.1 Allgemeines

Das VERBUND – Kraftwerk Gössendorf ist ein Laufkraftwerk an der Mur in der Gemeinde Gössendorf. Es wurde 2012 in Betrieb genommen und erzeugt den Jahresstrombedarf von etwa 23.000 Haushalten.

Das Kraftwerk staut die Mur 11,2 m hoch auf und hat einen maximalen Durchfluss von 200 m³/s. Im Krafthaus sind 2 Kaplan – Rohrturbinen mit einer Leistung von 18 MW installiert, die pro Jahr 88,60 GWh Strom erzeugen.

Die Gemeinde Gössendorf befindet sich südlich der steirischen Landeshauptstadt Graz und nur wenige Kilometer nördlich des Kraftwerks Kalsdorf. Das Kraftwerk Gössendorf liefert jährlich knapp 89 Mio. Kilowattstunden Strom, deckt damit den Bedarf von mehr als 23000 Haushalten([19]).



Abbildung 49: Laufkraftwerk Gössendorf

Die Wasserkraftwerkanlage Gössendorf wurde auf Grund ähnlicher Parameter als beispielhafter Vergleich verwendet.

Fallhöhen, Abfluss der Fischaufstiegshilfe (FAH):

	<i>WKW Jajce I</i>	<i>WKW Gössendorf</i>
Differenz (Ober – Unterwasser) Δh [m]:	7,65 m	11,2 m
Abfluss FAH Q_{\min} [m^3/s]:	0,6 m^3/s	0,7 m^3/s

Schlitzpassdimensionen des WKW:

	<i>WKW Jajce I</i>	<i>WKW Gössendorf</i>
Beckenlänge l_B [cm]:	343 cm	420 cm
Beckenbreite b_b [cm]:	250 cm	200 cm
Wasserspiegeldifferenz Δh [cm]:	14 cm	15 cm
Schlitzbreite s [m]:	40 cm	35 cm
Anzahl n :	53	38 Vertical – Slot – Pass 45 natürliche Becken

8.2 Fischaufstiegshilfe Wasserkraftwerk Gössendorf

Die Fischaufstiegshilfe besteht aus einem natürlichen Beckenpass und einem Schlitzpass als direkte Umgehungsmöglichkeit des Kraftwerks.

8.2.1 Schlitzpass „Vertical – Slot – Pass“:

- Durchfluss $Q = 0,7 \text{ m}^3/\text{s}$
- 38 Becken
- Beckenlänge $l_B = 420 \text{ cm}$
- Beckenbreite $b_b = 200 \text{ cm}$
- Wasserspiegeldifferenz $\Delta h = 15 \text{ cm}$

- Schlitzbreite: $s = 35 \text{ cm}$



Abbildung 50: Schlitzpass WKW Gössendorf - Anschluss oben



Abbildung 51: Schlitzpass WKW Gössendorf - Anschluss unten

8.2.2 *Natürlicher Beckenpass:*

- Durchfluss $Q = 0,7 \text{ m}^3/\text{s}$
- 45 Becken
- Beckenlänge $l_b = 450 \text{ cm}$
- Sohlbreite $b_{so} = 225 \text{ cm}$
- Wasserspiegeldifferenz $\Delta h = 15 \text{ cm}$
- Erforderliche Breite der Öffnung $b_s = 90 \text{ cm}$



Abbildung 52: *Natürlicher Beckenpass WKW Gössendorf – Übergang vom Schlitzpass*



Abbildung 53: Natürlicher Beckenpass WKW Gössendorf - in der Mitte



Abbildung 54: Natürlicher Beckenpass WKW Gössendorf – Anschluss zu dem Fluss Mura

9. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Das Thema meiner Masterarbeit ist „Die Entwicklung einer Fischaufstiegshilfe beim Kraftwerk Jajce I“. Diese Arbeit beinhaltet neun Kapitel:

1. Einleitung
2. Beschreibung Kraftwerk Jajce I
3. Rohrdurchlass zwischen oberem und unterem See
4. Durchflussmessungen Rohrdurchlass und Gerinne
5. Fischaufstiegshilfe (FAH)
6. Hydraulik
7. Variantenstudium
8. Vergleich WKW Jajce I – WKW Gössendorf
9. Zusammenfassung

Das Bundesministerium für das Land -, Wasser - und Forstwirtschaft der Republik Bosnien und Herzegowina hat auf den Antrag der öffentlichen Gesellschaft „Elektroenergiewirtschaft Kroatische Gemeinschaft Herceg-Bosna d.d. Mostar“ für die Ausstellung der wasserwirtschaftlichen Bewilligung für die Nutzung des Wassers im Betrieb KW Jajce I am 20. April 2006 einen Bescheid erteilt.

Die Voraussetzung für die wasserwirtschaftliche Bewilligung war die Einhaltung eines min. Durchflusses bei den Wasserfällen in der Stadt Jajce von $3,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Um dies zu erfüllen, wurde im Bescheid der Bau einer Fischaufstiegshilfe vorgeschlagen. Das wäre die erste Fischaufstiegshilfe in Bosnien und Herzegowina und würde gleichzeitig die Lösung des Problems darstellen, das sich auf den minimalen Durchfluss bezieht.

Im zweiten Kapitel ist die technische Konfiguration des Wasserkraftwerkes Jajce I angegeben und beschrieben. Auch in diesem Kapitel sind historische

Mühlen und neun Fischarten, die sich in dem großen und in den kleinen See befinden, dargestellt.

In weiterer Folge wurde durch hydraulische Berechnungen und Messungen vor Ort festgestellt, dass der angegebener min. Durchfluss ($3,0 \text{ m}^3/\text{s}$) nicht zu erreichen ist. Grund dafür ist der Rohrdurchlass, der zwischen dem großen und dem kleinen See liegt. Gemessen und berechnet sind hier ca. $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$, es fehlen noch ca. $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$, um das biologische Minimum zu erreichen. Die Messungen beinhalten drei Messkampagnen, die vom „Institut für Hydrotechnik Sarajevo“, „Hydrometeorologische Institut der Föderation BiH“ und „Agentur für den Wasserbereich Sava“ zwischen 2009 – 2010 durchgeführt wurden.

Als nächstes sind drei Fischaufstiegshilfe (FAH) im Überblick beschrieben. Hier wird über Raugerinne mit Beckenstruktur (I), Raugerinne mit Störsteinen (II) und Schlitzpass (Vertical – Slot – Pass) (III) und deren Vorteile und Nachteile gesprochen.

Der sechste Kapitel ist auf mehrere Unterthemen aufgeteilt, die für diese Arbeit von großer Bedeutung sind. Hier handelt es sich um wichtige Bemessungen, Berechnungen und Kontrollen der hydraulischen Bemessungen der einzelnen Varianten. Am Ende beinhaltet jede Variante eine Tabelle mit maßgebenden Parametern und eine Tabelle der Fischarten mit Wandlungsmöglichkeit.

Weiters werden Varianten in Bezug auf verschiedene Kriterien dargestellt. Als Kriterien dienen Platzbedarf, naturraumtypisches Erscheinungsbild, Wandlungsmöglichkeit unterschiedlicher Fischarten und minimaler Wasserbedarf ($Q = 0,60 \text{ m}^3/\text{s}$). Alle drei Varianten haben das Kriterium des min. Abflusses von $0,60 \text{ m}^3/\text{s}$ erreicht, aber in allen anderen Kriterien haben sich Unterschiede gezeigt. Auf Grund der untersuchten Kriterien ist die Variante III – Schlitzpass (Vertical Slot Pass) als optimale Variante dargestellt, da sie fast allen Kriterien, vor allem dem Platzbedarf ($L = 187 \text{ m}$) entspricht. Variante I ($L = 315 \text{ m}$) und II ($L = 255 \text{ m}$) konnten auf Grund des großen Platzbedarfs nicht als Ausführungsvorschlag genommen werden. Eine wichtige Rolle spielt auch die Wandlungsmöglichkeit unterschiedlicher Fischarten, wobei in der Variante I

alle neun Arten diese Möglichkeit haben. Bei den Varianten II und III besteht diese Möglichkeit nicht.

Abschließend wurde der Vergleich zwischen dem Wasserkraftwerk Gössendorf und Jajce I gemacht, da mehrere Parameter (Beckenlänge, Beckenbreite, Wasserspiegeldifferenz, Schlitzbreite, etc.) einander entsprechen.

Literaturverzeichnis

- [1] Ralph C.M. Schröder, Ulriche Zanke; Technische Hydraulik: Kompendium für den Wasserbau
- [2] Skriptum Hydraulik, VU TUG, 2007/08
- [3] Wasserkraftnutzung und Wasserrahmenrichtlinie, Anhang 2 bis 4, Umweltbundesamt, 2011
- [4] Bewertung von Fischaufstiegsanlagen in Mecklenburg – Vorpommern, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, 2009
- [5] Merkblatt DWA –M 509 Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung, Februar 2010
- [6] Sohlstabilität auf Rampen in Riegelbauweise, Bachelor Thesis von Romana Kirschner, LuFG Wasserwirtschaft und Wasserbau FB D – Abteilung Bauingenieurwesen Bergische Universität Wuppertal, September 2011
- [7] Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen, Lebensministerium, Wien, December 2012
- [8] Grundlagen für einen österreichischen Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen (FAHs), Lebensministerium, März 2011
- [9] Die Fischwanderhilfen der AHP, Verbund Austrian Hydro Power, Auflage Mai 2008
- [10] Bericht zum Fischaufstieg beim KW Reichenbau bei DOMAT / EMS, Dr. Marcel Michel, Juni 2009
- [11] Fischaufstiegshilfen, - Eine Übersicht -, Enderle Beratung, 10 / 2005
- [12] Vertical – Slot – Fischpass mit staffelbarem Abfluss: Eine Möglichkeit zur Optimierung von technischen Fischaufstiegshilfen, Gerald Zauner, Clemens Ratschan, Jürgen Eberstaller, Peter Pinka, 2005
- [13] Grundlagen und Anforderungen zur Herstellung der flussaufwärts gerichteten Durchgängigkeit, Staatlichen Umweltamt Suhl, 2002 bis 2007

- [14] Fisch Passes in Context of „NATURAL“ Regulation of Small Watercourses, Miodrag JOVANOVIĆ, University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, 2011
- [15] Idejno rjesenje za osiguranje protoka od 3,0 m³/s na vodopadu u Jajcu, Prof.dr.sc. Zoran Milasinovic, Prof.dr.sc. Mladen Glibic, 2010
- [16] Regulacija reka – recna hidraulika i morfologija, drugo izmenjeno i dopunjeno izdanje, Jovanovic M., Gradjevinski fakultet, Beograd 2008
- [17] Zakon o vodama, Sluzbene novine Federacije BiH, Predsjedavajući Doma Naroda Parlamenta Federacije BiH: Slavko Matic, Predsjedavajući Predstavnickog Doma Parlamenta Federacije BiH: Muhamed Ibrahimovic
- [18] Zakon o slatkovodnom ribarstvu, Sluzbene novine Federacije BiH, Predsjedavajući Doma Naroda Parlamenta Federacije BiH: Slavko Matic, Predsjedavajući Predstavnickog Doma Parlamenta Federacije BiH: Muhamed Ibrahimovic
- [19] VERBUND Hydro Power AG, Energie Steiermark (www.verbund.com)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Großer Pliva See	10
Abbildung 2: Lageplan mit Darstellung der Betriebsorgane	11
Abbildung 3: Lageplan des Projektgebietes	13
Abbildung 4: Betonschwelle.....	14
Abbildung 5: Hochwasserentlastung großer See	15
Abbildung 6: Hochwasserentlastung mit der Segmentklappe	15
Abbildung 7: Der Rohrdurchlass D= 1000 mm.....	16
Abbildung 8: Drosselklappe / Rohrdurchlass.....	16
Abbildung 9: Kleine Öffnungen	17
Abbildung 10: Entlastungsanlage Zuleitungsgerinne	17
Abbildung 11: Historische Mühlen	19
Abbildung 12: Wasserfall bei einem Abfluss von 160 m ³ /s, April 2004	20
Abbildung 13: Technische Lösung des Rohrdurchlasses	22
Abbildung 14: Schematische Darstellung des Baubestandes vom Rohrdurchlass.....	23
Abbildung 15: Verlustbeiwert beim Eintritt.....	24
Abbildung 16: Rechen.....	24
Abbildung 17: Verlustbeiwert verschiedener Armaturen: a.) Drosselklappe, b.) Kugelschieber, c.) Ringschieber, d.) Flachschieber ([1], S.98).....	25
Abbildung 18: Rohrdurchlass.....	25
Abbildung 19: Messprofil 1 unmittelbar vor der Verkehrsbrücke flussaufwärts über den Fluss Pliva in Jajce.....	30
Abbildung 20: Messprofil 2 unmittelbar flussabwärts vom Rohrdurchlass des großen Sees	30
Abbildung 21: Messprofil vom Wasserfall flussaufwärts, unterhalb der Fussgängerbrücke.....	31

Abbildung 22: Pegelmessstelle Jozika	32
Abbildung 23: Lageplan mit Darstellung aller Messprofile	34
Abbildung 24: Raugerinne mit Beckenstruktur im Bau- Riegel aus großen Wasserbausteinen, raue Sohle mit filterstabilem Aufbau (Betzdorf/Sieg, Rheinland-Pfalz) ([3], S. A-35).....	37
Abbildung 25: Raugerinne-Beckenpass Schneidemühle/Godendorfer Mühlenbach ([4]; S. 14)	37
Abbildung 26: Sohlengleite mit Störsteinen, Wehr Bad Sülze/Recknitz ([4], S. 12).....	40
Abbildung 27: Raugerinne mit Störsteinen bei der Wasserkraftanlage in Reichenbach (Bauunternehmen Himmelsbach) ([4], S. 12)	40
Abbildung 28: Links: Vertical-Slot-Pass Klinkelsche Mühle in Gießen (Hessen), Rechts: Vertical-Slot-Pass Hohmühle (Hessen), ([3], S. A-42).....	43
Abbildung 29: Kompakte Ausführung eines Schlitzpass ähnlichen Beckenpasses (Heiligenrode, Brandenburg), ([3], S. A-43).....	43
Abbildung 30: Hydraulische Berechnung von Steinschwellen ([5], S.161)	47
Abbildung 31: Rückstaubeiwert σ ([5], S.162)	48
Abbildung 32: Skizze zum Überfall und zum Rechteckquerschnitt	54
Abbildung 33: Längsschnitt Raugerinne mit Beckenstruktur	56
Abbildung 34: Querschnitt Raugerinne mit Beckenstruktur.....	56
Abbildung 35: Raugerinne mit Störsteinen	60
Abbildung 36: Definition der Dimensionen bei Raugerinne mit Störsteine ([5], S.149)	60
Abbildung 37: Skizze zur Definition der Faktors F_v (Verdeckungsgrad) ([5], S.152)	63
Abbildung 38: Raugerinne mit Störsteinen – Dimensionen.....	64
Abbildung 39: Definition der lokalen Fließtiefe bei Raugerinnen ([5], S.132)..	65

Abbildung 40: Draufsicht auf den unverbauten Querschnitt und die Engstellen zwischen den Störsteinen.....	69
Abbildung 41: Skizze Normalabflusstiefe und Grenztiefe.....	71
Abbildung 42: Querschnitt von Raugerinne mit Störsteinen.....	73
Abbildung 43: Anordnung der Störsteine und deren Dimensionen	73
Abbildung 44: Zur Standsicherheit einzelner Störsteine ([5], S.156)	74
Abbildung 45: Abmessungen und Bezeichnungen beim Schlitzpass mit einem Schlitz ([5], S.194)	78
Abbildung 46: Abmessungen und Bezeichnungen beim Schlitzpass mit einem Schlitz (Grundriss); und Skizze zur Definition der Wassertiefe h ([5], S.208, 210).....	79
Abbildung 47: Anordnung der Trennwände und deren Dimensionen	85
Abbildung 48: Längsschnitt von Schlitzpass Jajce I	85
Abbildung 49: Laufkraftwerk Gössendorf.....	88
Abbildung 50: Schlitzpass WKW Gössendorf - Anschluss oben.....	90
Abbildung 51: Schlitzpass WKW Gössendorf - Anschluss unten.....	90
Abbildung 52: Natürlicher Beckenpass WKW Gössendorf – Übergang vom Schlitzpass.....	91
Abbildung 53: Natürlicher Beckenpass WKW Gössendorf - in der Mitte	92
Abbildung 54: Natürlicher Beckenpass WKW Gössendorf – Anschluss zu dem Fluss Mura	92

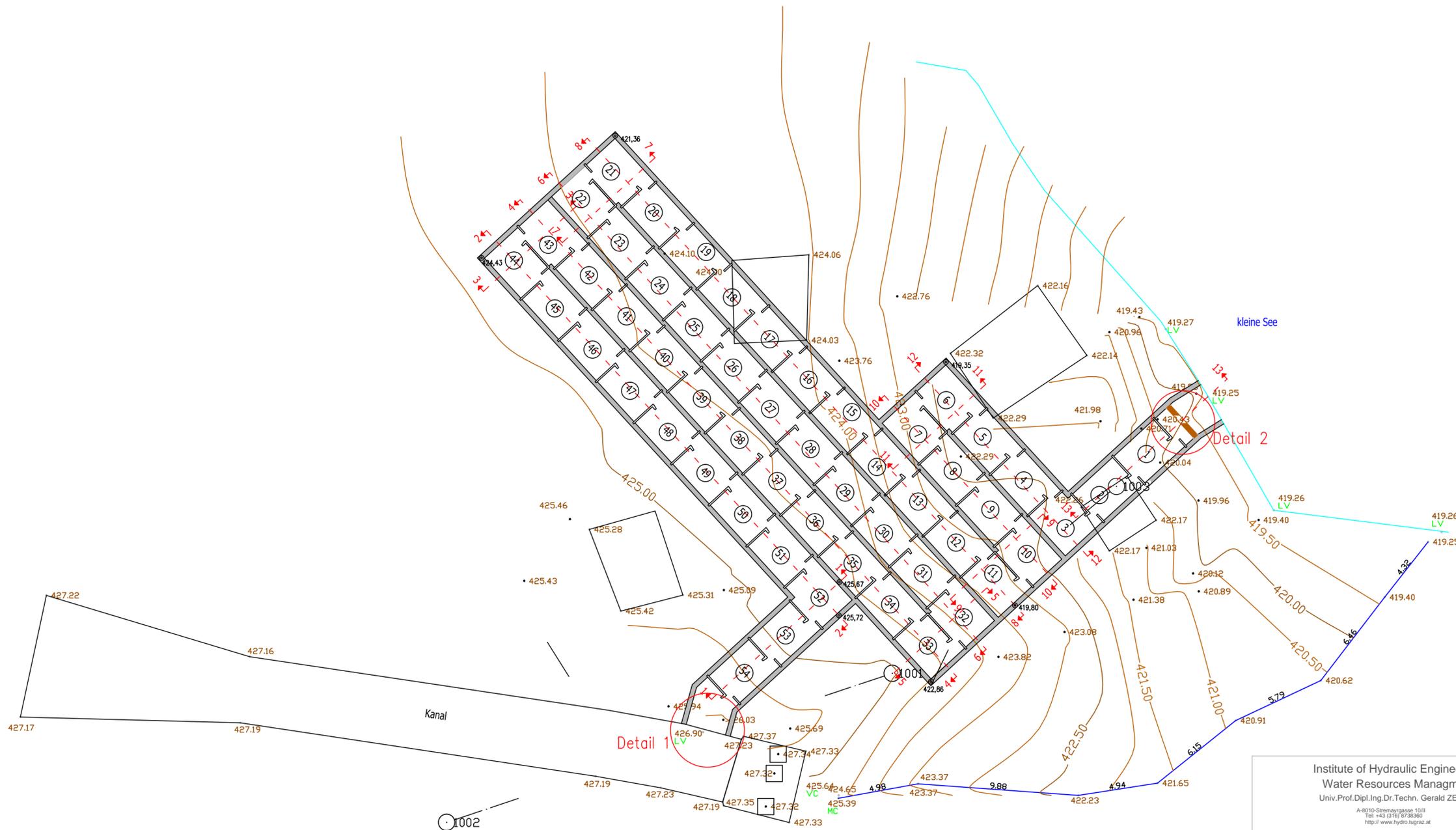
Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kapazität von Entlastungsorganen	20
Tabelle 2: Die Fischarten der Plivaseen ([15] S.15)	21
Tabelle 3: Berechnete Rohrdurchlassdurchflüsse	28
Tabelle 4: Gemessene Durchflüsse.....	33
Tabelle 5: Parameter für Fischarten	45
Tabelle 6: Gesamtergebnisse von Raugerinne mit Beckenstruktur	55
Tabelle 7: Fischarten mit Wandermöglichkeiten; Variante I Raugerinne mit Beckenstruktur	55
Tabelle 8: Gesamtergebnisse von Raugerinne mit Störsteinen	72
Tabelle 9: Fischarten mit Wandermöglichkeiten; Variante II Raugerinne mit Störsteinen.....	72
Tabelle 10: Gesamtergebnisse von Schlitzpass.....	84
Tabelle 11: Fischarten mit Wandermöglichkeiten; Variante III Schlitzpass	85
Tabelle 12: Variantenstudium FAH Jajce I	87

Anhang

1. Lageplan Schlitzpass Jajce I ; M 1:200
2. Längsschnitt, Draufsicht 1 – 1 ; M 1:50
3. Längsschnitt, Draufsicht 2 – 2 ; M 1:50
4. Längsschnitt, Draufsicht 3 – 3 ; M 1:50
5. Längsschnitt, Draufsicht 4 – 4 ; M 1:50
6. Längsschnitt, Draufsicht 5 – 5 ; M 1:50
7. Längsschnitt, Draufsicht 6 – 6 ; M 1:50
8. Längsschnitt, Draufsicht 7 – 7 ; M 1:50
9. Längsschnitt, Draufsicht 8 – 8 ; M 1:50
10. Längsschnitt, Draufsicht 9 – 9 ; M 1:50
11. Längsschnitt, Draufsicht 10 – 10 ; M 1:50
12. Längsschnitt, Draufsicht 11 – 11 ; M 1:50
13. Längsschnitt, Draufsicht 12 – 12 ; M 1:50
14. Längsschnitt, Draufsicht 13 – 13 ; M 1:50
15. Detail 1, 2 (Revisionsverschluss) ; M 1:50

Lageplan Fischaufstiegshilfe Schlitzpass Jajce I

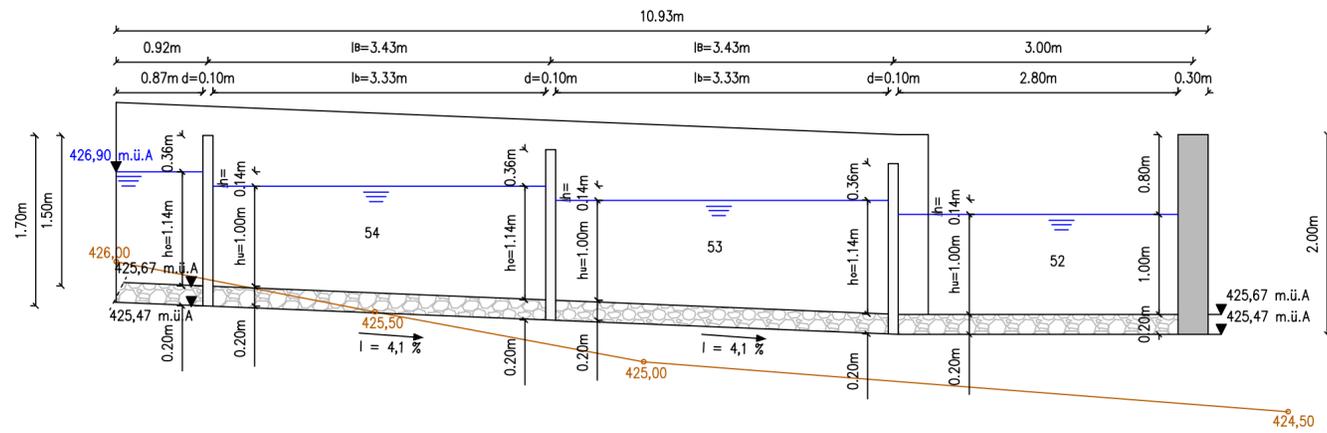


Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.Techn. Gerald ZENZ <small>A-8010-Stremayrgasse 10/II Tel: +43 (316) 8738360 http://www.hydro.tugraz.at</small>		 Graz University of Technology
Project: Fischaufstiegshilfe - Schlitzpass Jajce I		
Drawing: Lageplan Schlitzpass Jajce I	Drawing Number: 1	
Operators: Bojan MILASINOVIC	Date: 15.12.2013.	
	Page Size: A2	
Support: Ass.-Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Helmut KNOBLAUCH	Scale: 1:200	

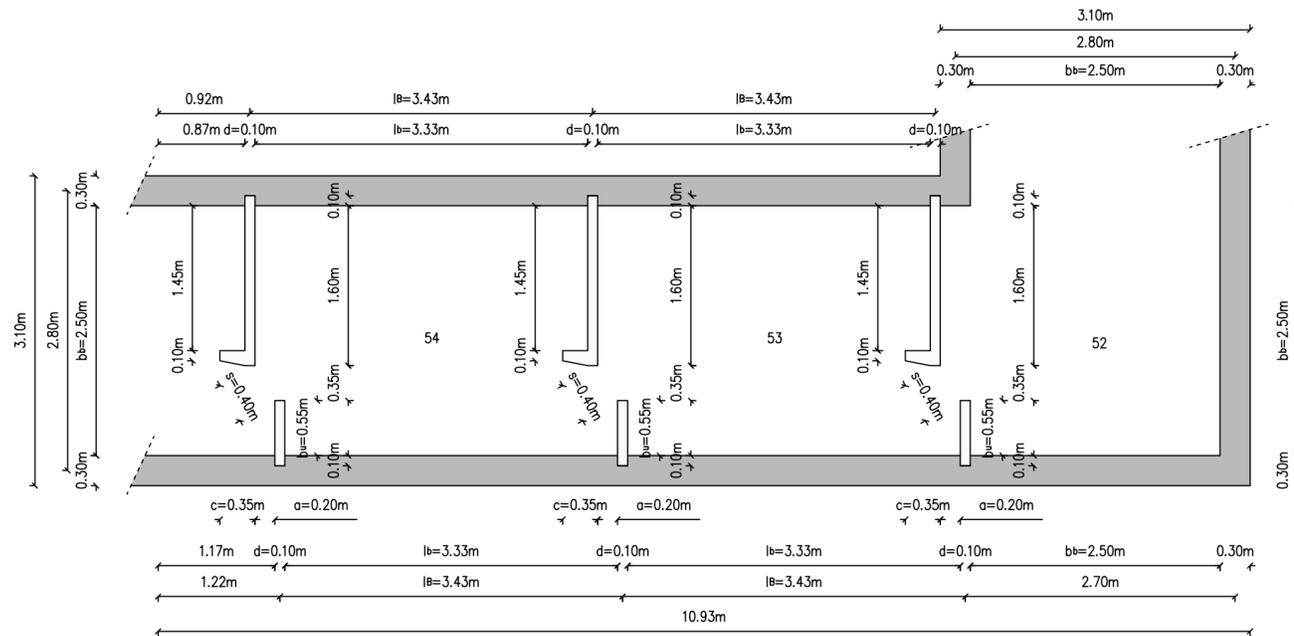
VON EINEM AUTODESK-SCHULUNGSPRODUKT ERSTELLT

VON EINEM AUTODESK-SCHULUNGSPRODUKT ERSTELLT

Längsschnitt 1-1 (54-52)



Draufsicht 1-1 (54-52)



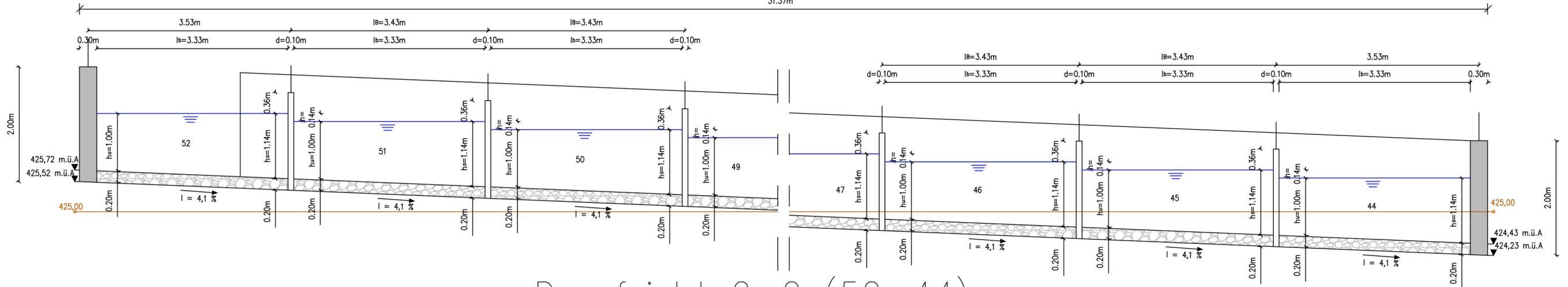
Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.Techn. Gerald ZENZ <small>A-8010-Stremmgasse 10/II Tel: +43 (316) 8738360 http://www.hydro.tugraz.at</small>		 TU Graz Graz University of Technology
Project: Fischeaufstiegshilfe - Schlitzpass Jajce I		
Drawing: Längsschnitt, Draufsicht 1-1	Drawing Number: 2	
Operators: Bojan MILASINOVIC	Date: 15.12.2013.	
	Page Size: A2	
Support: Ass.-Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Helmut KNOBLAUCH	Scale: 1:50	

VON EINEM AUTODESK-SCHULUNGSPRODUKT ERSTELLT

VON EINEM AUTODESK-SCHULUNGSPRODUKT ERSTELLT

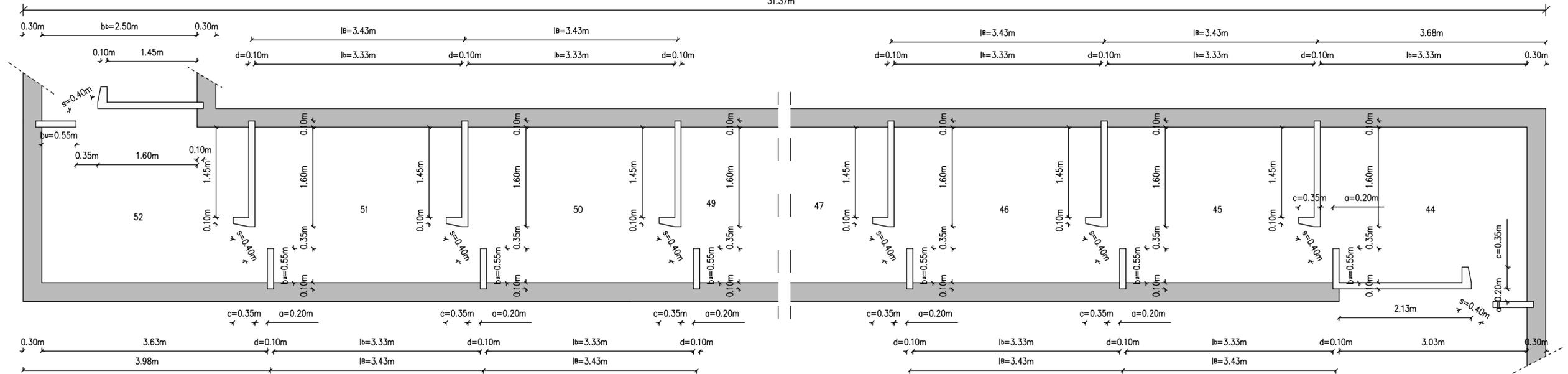
Längsschnitt 2-2 (52-44)

31.37m



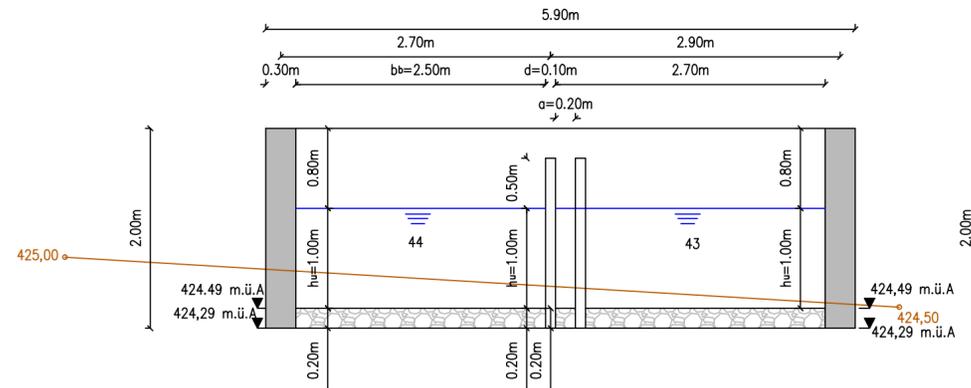
Draufsicht 2-2 (52-44)

31.37m

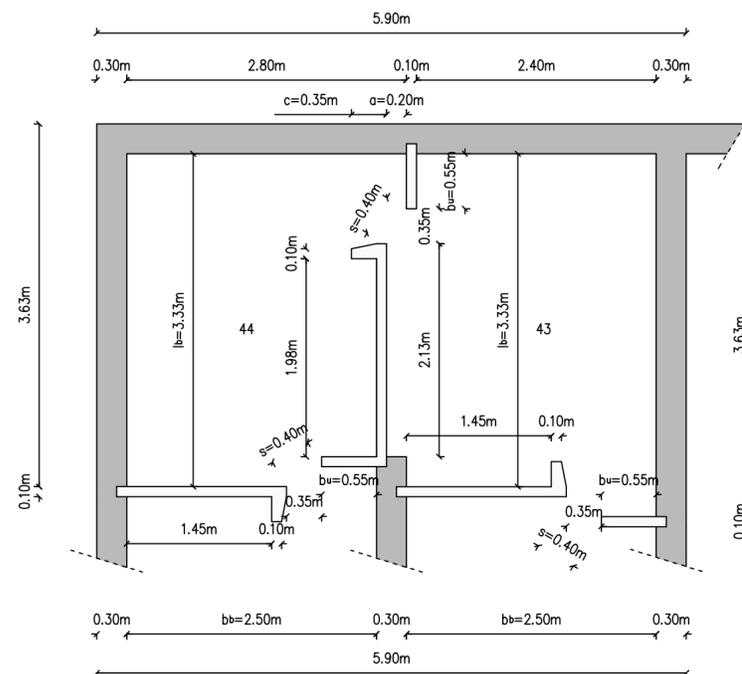


Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.Techn. Gerald ZENZ <small>A-8010-Stremayrgasse 10/II Tel: +43 (316) 8738360 http://www.hydro.tugraz.at</small>		 Graz University of Technology
Project: Fischeaufstiegshilfe - Schlitzpass Jajce I		
Drawing: Längsschnitt, Draufsicht 2-2	Drawing Number: 3	
Operators: Bojan MILASINOVIC	Date: 15.12.2013.	
Support: Ass.-Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Helmut KNOBLAUCH	Page Size: A2	
	Scale: 1:50	

Längsschnitt 3-3 (44-43)



Draufsicht 3-3 (44-43)

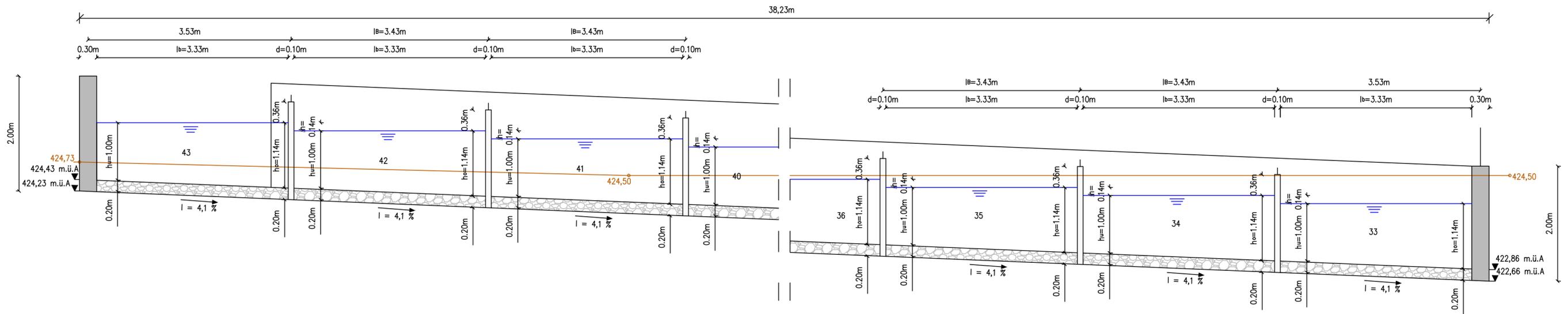


Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.Techn. Gerald ZENZ <small>A-8010-Stremayrgasse 10/II Tel: +43 (316) 8738360 http://www.hydro.tugraz.at</small>		 TU Graz Graz University of Technology	
Project: Fischeaufstiegshilfe - Schlitzpass Jajce I			
Drawing: Längsschnitt, Draufsicht 3-3		Drawing Number: 4	
Operators: Bojan MILASINOVIC		Date: 15.12.2013.	
		Page Size: A2	
Support: Ass.-Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Helmut KNOBLAUCH		Scale: 1:50	

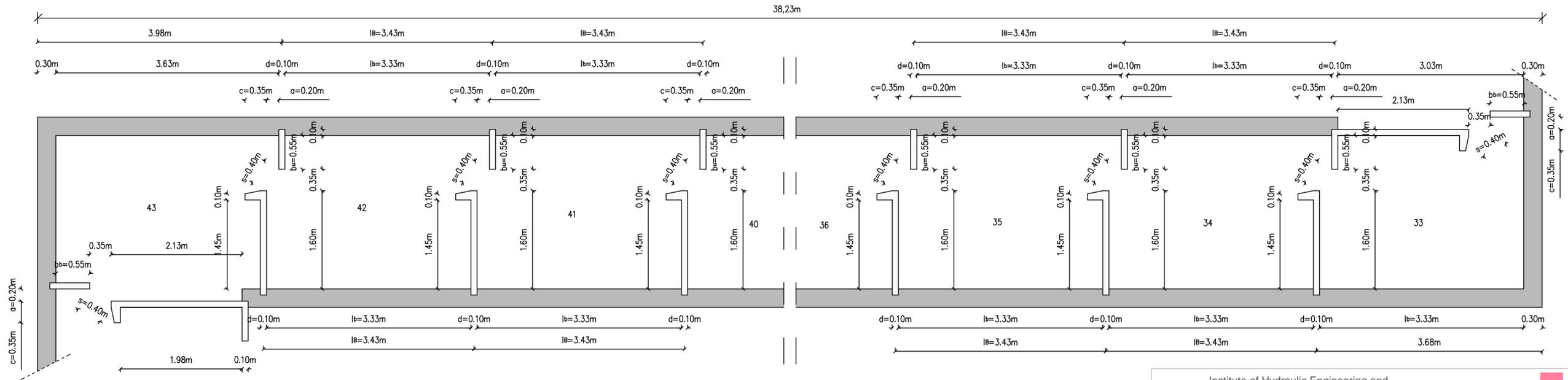
VON EINEM AUTODESK-SCHULUNGSPRODUKT ERSTELLT

VON EINEM AUTODESK-SCHULUNGSPRODUKT ERSTELLT

Längsschnitt 4-4 (43-33)



Draufsicht 4-4 (43-33)

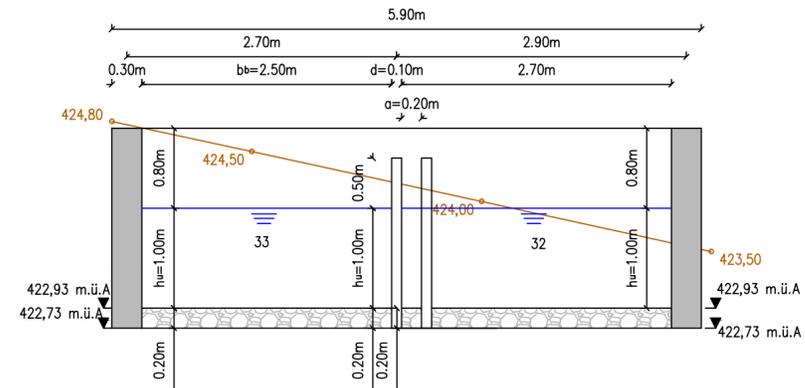


Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.Techn. Gerald ZENZ <small>A-8010-Stremmgasse 10/II Tel: +43 (316) 8738360 http://www.hydro.tugraz.at</small>		 Graz University of Technology
Project: Fischeaufstiegshilfe - Schlitzpass Jajce I		
Drawing: Längsschnitt, Draufsicht 4-4	Drawing Number: 5	
Operators: Bojan MILASINOVIC	Date: 15.12.2013.	
Support: Ass.-Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Helmut KNOBLAUCH	Page Size: A2	
	Scale: 1:50	

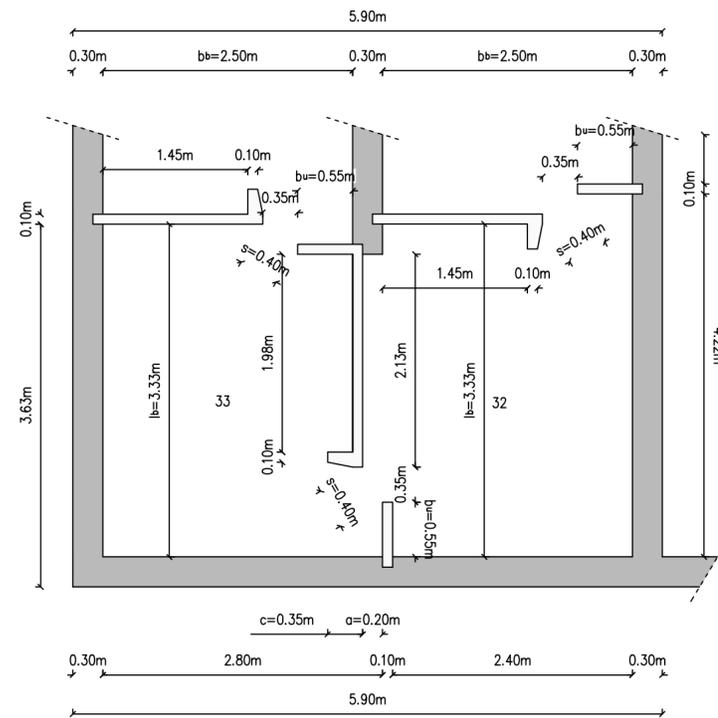
VON EINEM AUTODESK-SCHULUNGSPRODUKT ERSTELLT

VON EINEM AUTODESK-SCHULUNGSPRODUKT ERSTELLT

Längsschnitt 5-5 (33-32)



Draufsicht 5-5 (33-32)

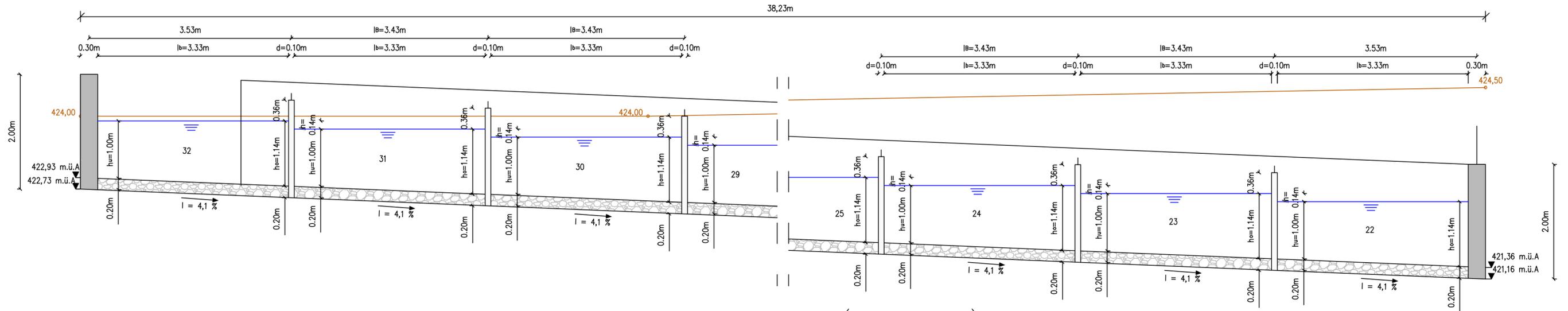


Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.Techn. Gerald ZENZ <small>A-8010-Stremayrgasse 10/II Tel: +43 (316) 8738360 http://www.hydro.tugraz.at</small>		 TU Graz Graz University of Technology	
Project: Fischeaufstiegshilfe - Schlitzpass Jajce I			
Drawing: Längsschnitt, Draufsicht 5-5		Drawing Number: 6	
Operators: Bojan MILASINOVIC		Date: 15.12.2013.	
		Page Size: A2	
Support: Ass.-Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Helmut KNOBLAUCH		Scale: 1:50	

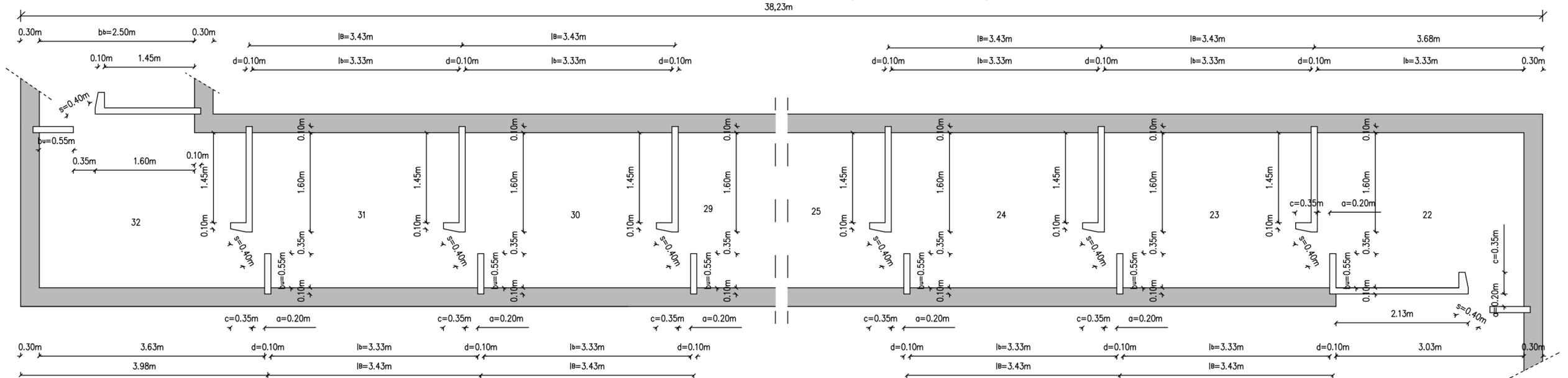
VON EINEM AUTODESK-SCHULUNGSPRODUKT ERSTELLT

VON EINEM AUTODESK-SCHULUNGSPRODUKT ERSTELLT

Längsschnitt 6-6 (32-22)

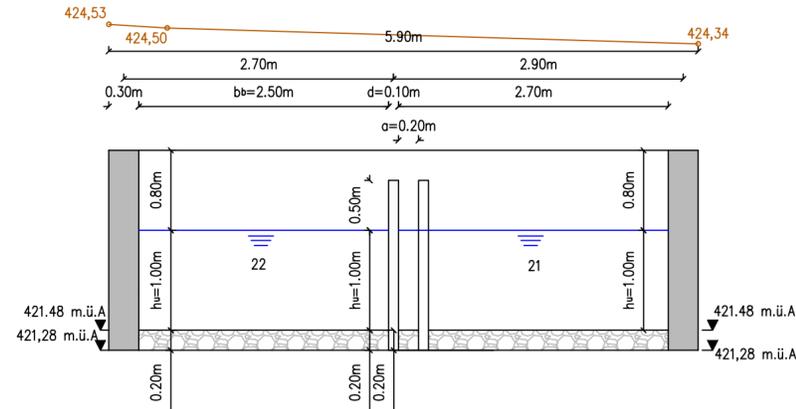


Draufsicht 6-6 (32-22)

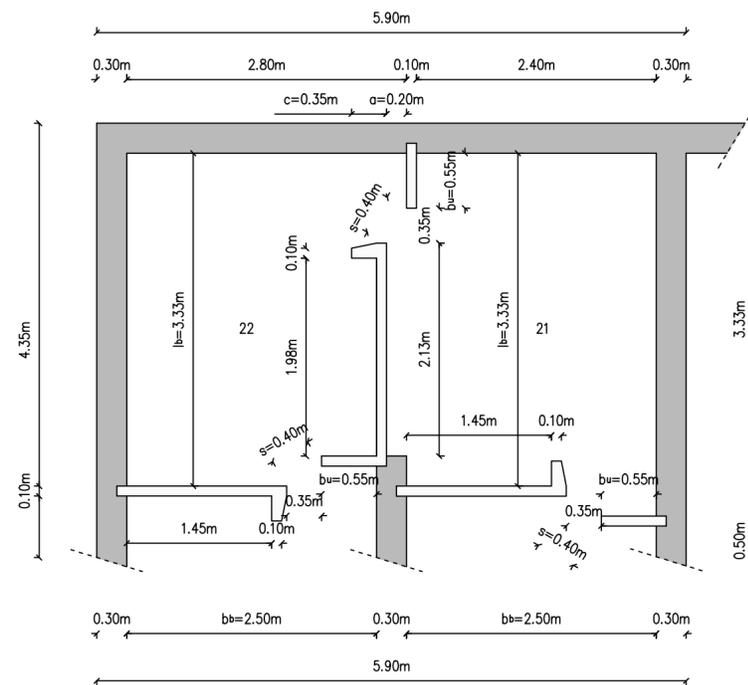


Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.Techn. Gerald ZENZ <small>A-8010-Stremmgasse 10/II Tel: +43 (316) 8738360 http://www.hydro.tugraz.at</small>		 Graz University of Technology
Project: Fischeaufstiegshilfe - Schlitzpass Jajce I		
Drawing: Längsschnitt, Draufsicht 6-6	Drawing Number: 7	
Operators: Bojan MILASINOVIC	Date: 15.12.2013.	
Support: Ass.-Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Helmut KNOBLAUCH	Page Size: A2	
		Scale: 1:50

Längsschnitt 7-7 (22-21)



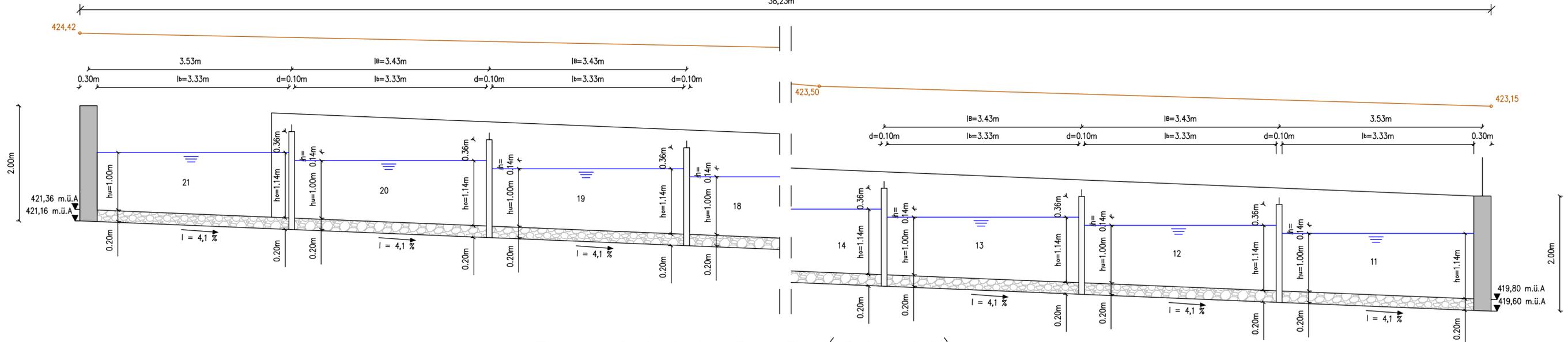
Draufsicht 7-7 (22-21)



Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.Techn. Gerald ZENZ <small>A-8010-Stremmgasse 10/II Tel: +43 (316) 8738360 http://www.hydro.tugraz.at</small>		 TU Graz Graz University of Technology	
Project: Fischeaufstiegshilfe - Schlitzpass Jajce I			
Drawing: Längsschnitt, Draufsicht 7-7		Drawing Number: 8	
Operators: Bojan MILASINOVIC		Date: 15.12.2013.	
		Page Size: A2	
Support: Ass.-Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Helmut KNOBLAUCH		Scale: 1:50	

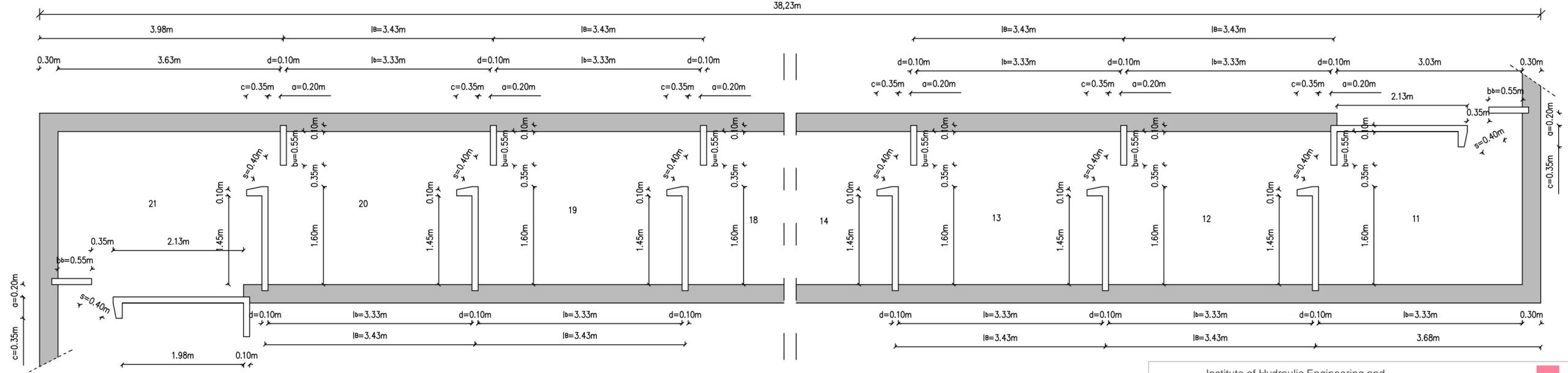
Längsschnitt 8-8 (21-11)

38,23m



Draufsicht 8-8 (21-11)

38,23m

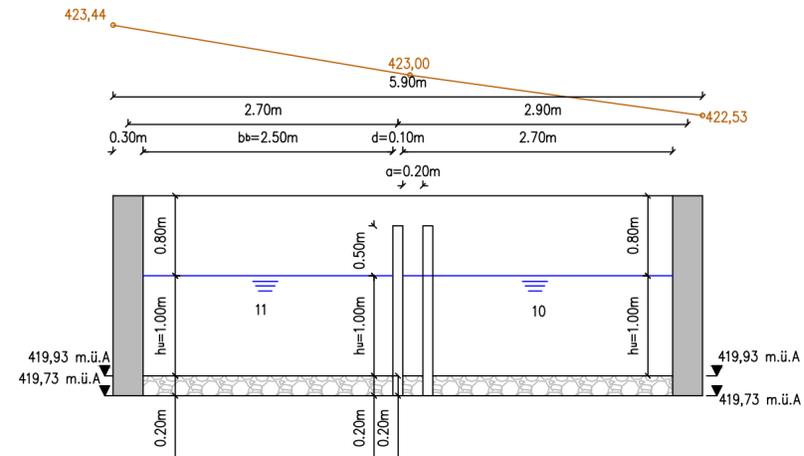


Institute of Hydraulic Engineering and
Water Resources Management
Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.Techn. Gerald ZENZ
A-8010-Stremayrgasse 10/II
Tel: +43 (316) 8738360
http://www.hydro.tugraz.at

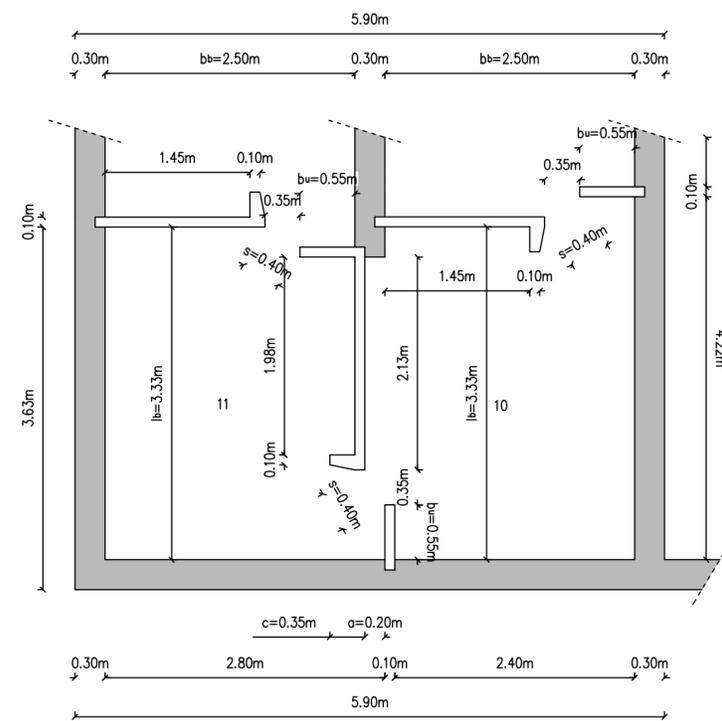


Project: Fischaufstiegshilfe - Schlitzpass Jajce I	
Drawing: Längsschnitt, Draufsicht 8-8	Drawing Number: 9
Operators: Bojan MILASINOVIC	Date: 15.12.2013.
	Page Size: A2
Support: Ass.-Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Helmut KNOBLAUCH	Scale: 1:50

Längsschnitt 9-9 (11-10)



Draufsicht 9-9 (11-10)

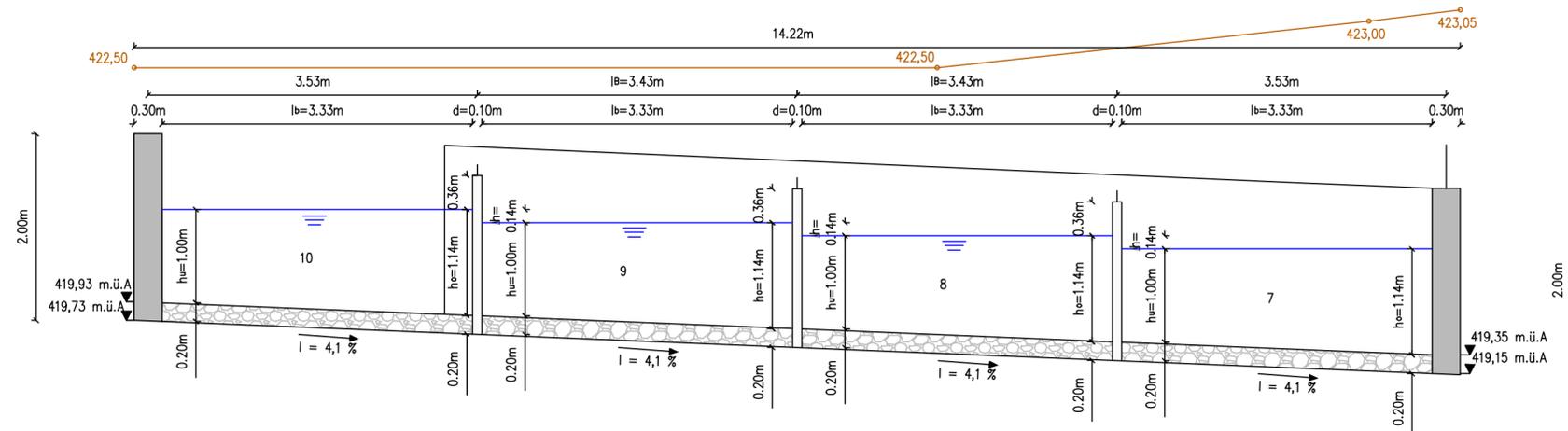


Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.Techn. Gerald ZENZ <small>A-8010-Stremmgasse 10/II Tel: +43 (316) 8738360 http://www.hydro.tugraz.at</small>		 TU Graz Graz University of Technology
Project: Fischeufstiegshilfe - Schlitzpass Jajce I		
Drawing: Längsschnitt, Draufsicht 9-9	Drawing Number: 10	
Operators: Bojan MILASINOVIC	Date: 15.12.2013.	
		Page Size: A2
Support: Ass.-Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Helmut KNOBLAUCH	Scale: 1:50	

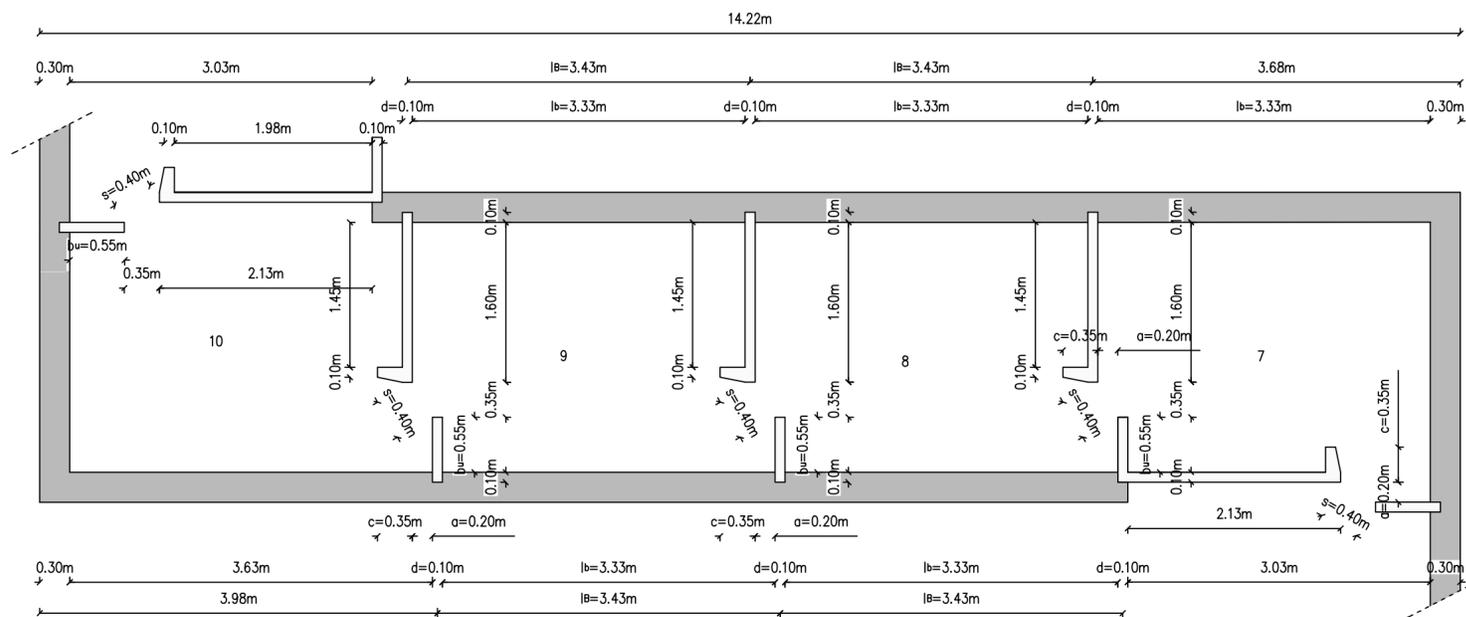
VON EINEM AUTODESK-SCHULUNGSPRODUKT ERSTELLT

VON EINEM AUTODESK-SCHULUNGSPRODUKT ERSTELLT

Längsschnitt 10-10 (10-7)



Draufsicht 10-10 (10-7)

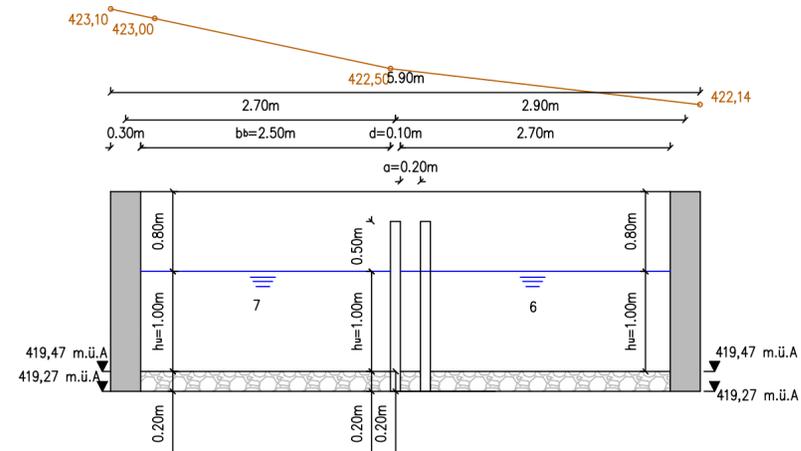


Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.Techn. Gerald ZENZ <small>A-8010-Stremayrgasse 10/II Tel: +43 (316) 8738360 http://www.hydro.tugraz.at</small>		 TU Graz Graz University of Technology
Project: Fischaufstiegshilfe - Schlitzpass Jajce I		
Drawing: Längsschnitt, Draufsicht 10-10	Drawing Number: 11	
Operators: Bojan MILASINOVIC	Date: 15.12.2013.	
	Page Size: A2	
Support: Ass.-Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Helmut KNOBLAUCH	Scale: 1:50	

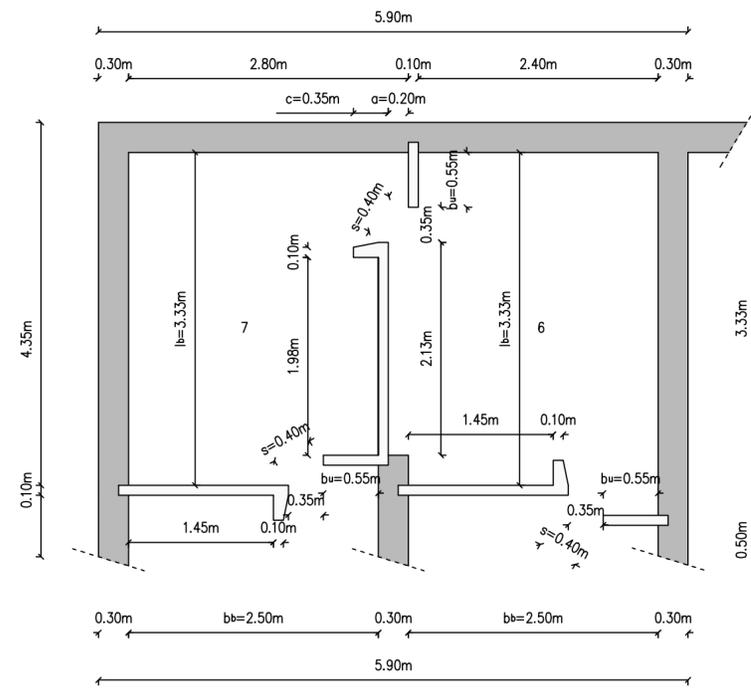
VON EINEM AUTODESK-SCHULUNGSPRODUKT ERSTELLT

VON EINEM AUTODESK-SCHULUNGSPRODUKT ERSTELLT

Längsschnitt 11-11 (7-6)

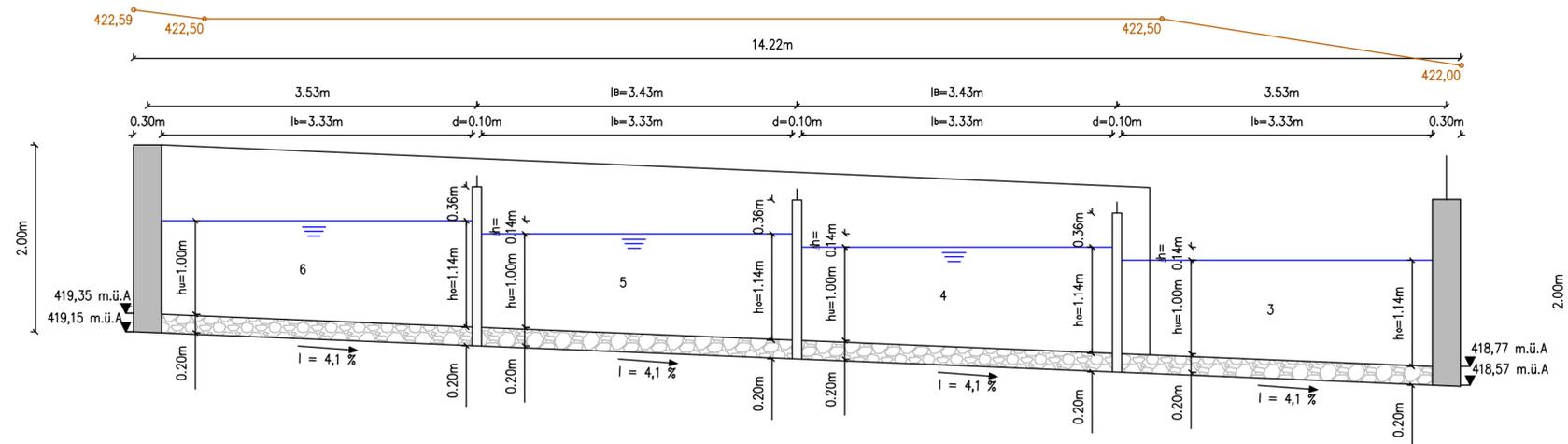


Draufsicht 11-11 (7-6)

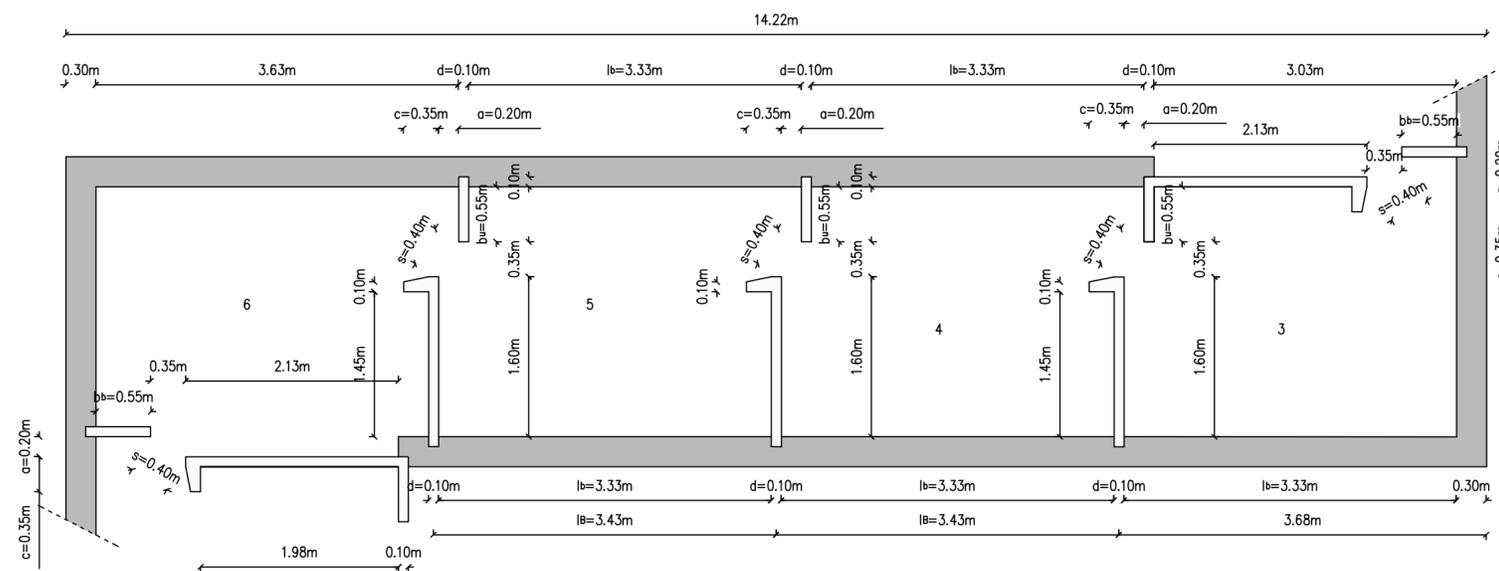


Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.Techn. Gerald ZENZ <small>A-8010-Stremayrgasse 10/II Tel: +43 (316) 8738360 http://www.hydro.tugraz.at</small>		 TU Graz Graz University of Technology	
Project: Fischeaufstiegshilfe - Schlitzpass Jajce I			
Drawing: Längsschnitt, Draufsicht 11-11		Drawing Number: 12	
Operators: Bojan MILASINOVIC		Date: 15.12.2013.	
		Page Size: A2	
Support: Ass.-Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Helmut KNOBLAUCH		Scale: 1:50	

Längsschnitt 12-12 (6-3)



Draufsicht 12-12 (6-3)

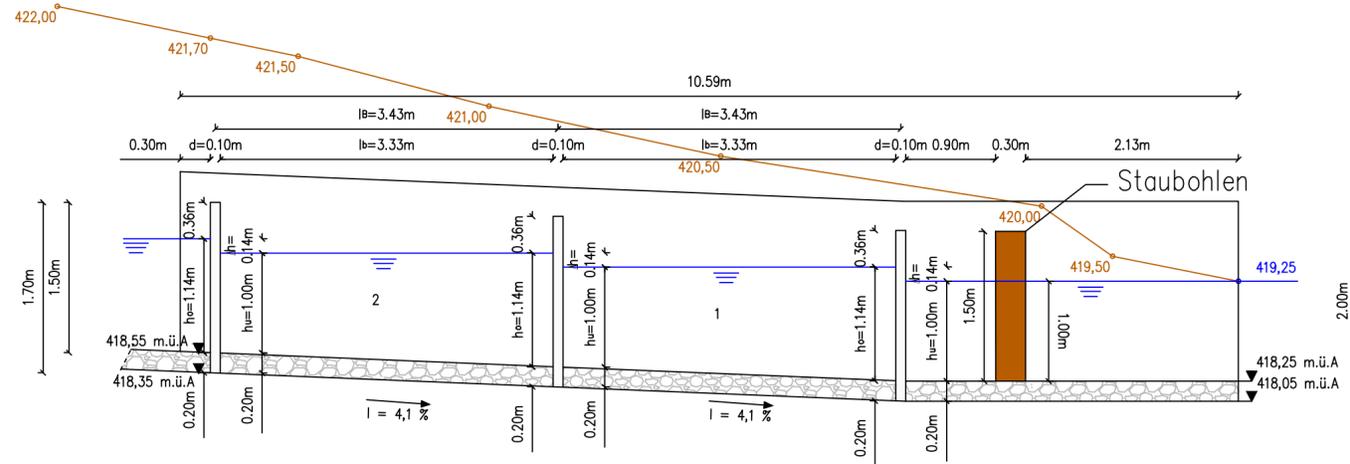


Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.Techn. Gerald ZENZ <small>A-8010-Stremaygasse 10/II Tel: +43 (316) 8738360 http://www.hydro.tugraz.at</small>		 TU Graz Graz University of Technology
Project: Fischeaufstiegshilfe - Schlitzpass Jajce I		
Drawing: Längsschnitt, Draufsicht 12-12	Drawing Number: 13	
Operators: Bojan MILASINOVIC	Date: 15.12.2013.	
	Page Size: A2	
Support: Ass.-Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Helmut KNOBLAUCH	Scale: 1:50	

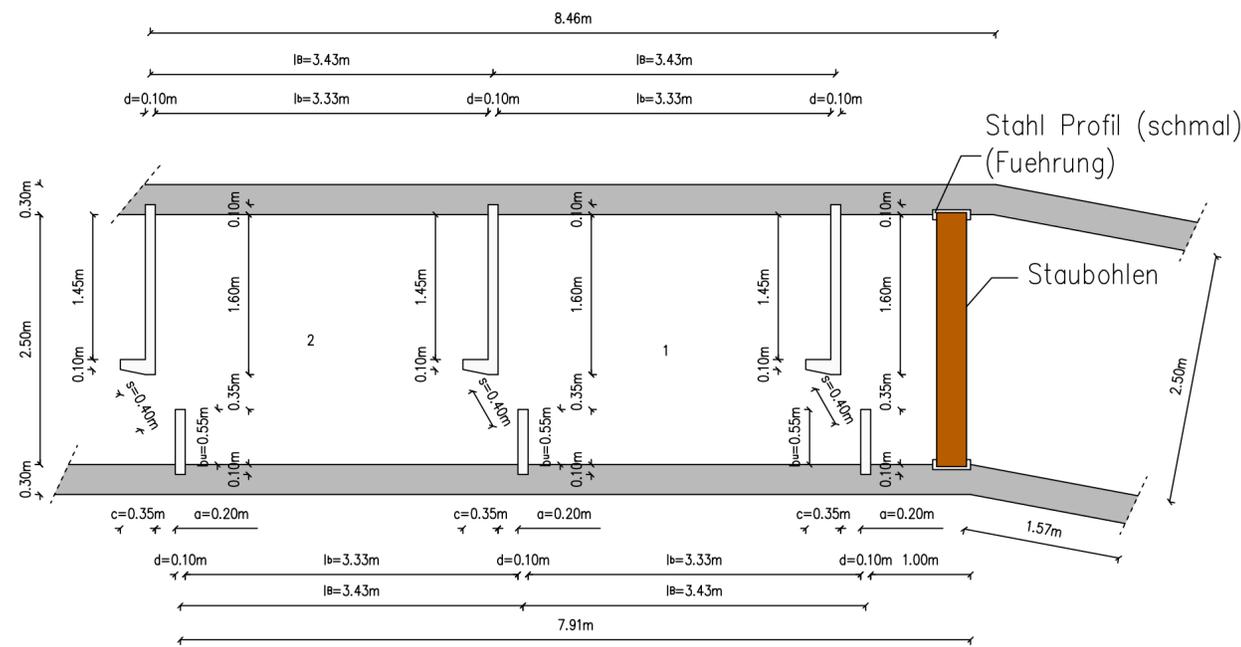
VON EINEM AUTODESK-SCHULUNGSPRODUKT ERSTELLT

VON EINEM AUTODESK-SCHULUNGSPRODUKT ERSTELLT

Längsschnitt 13-13 (2-1)



Draufsicht 13-13 (2-1)

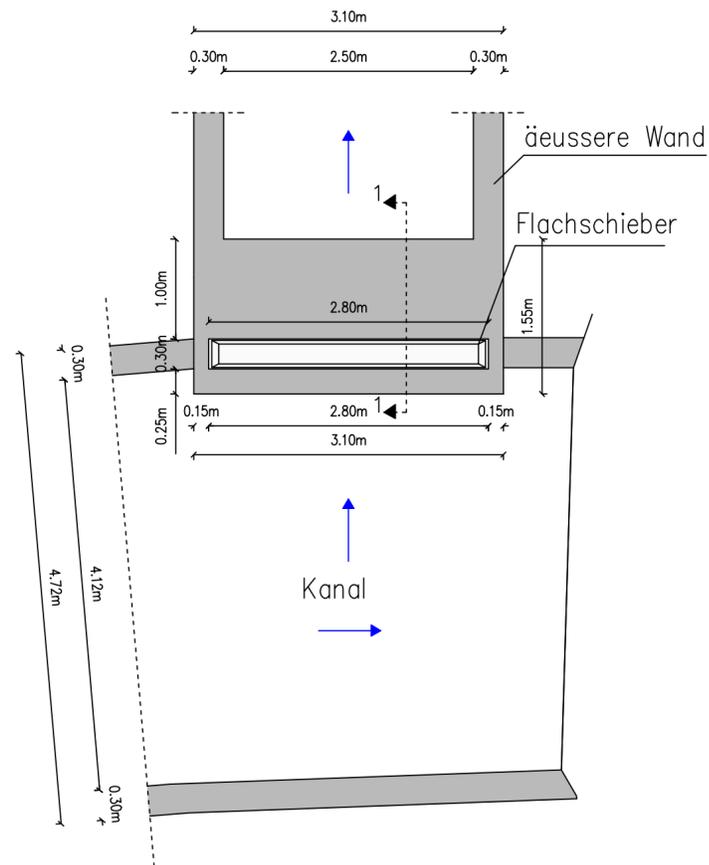


Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.Techn. Gerald ZENZ <small>A-8010-Stremayrgasse 10/II Tel: +43 (316) 8738360 http://www.hydro.tugraz.at</small>		 TU Graz Graz University of Technology
Project: Fischeaufstiegshilfe - Schlitzpass Jajce I		
Drawing: Längsschnitt, Draufsicht 13-13		Drawing Number: 14
Operators: Bojan MILASINOVIC		Date: 15.12.2013.
		Page Size: A2
Support: Ass.-Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Helmut KNOBLAUCH		Scale: 1:50

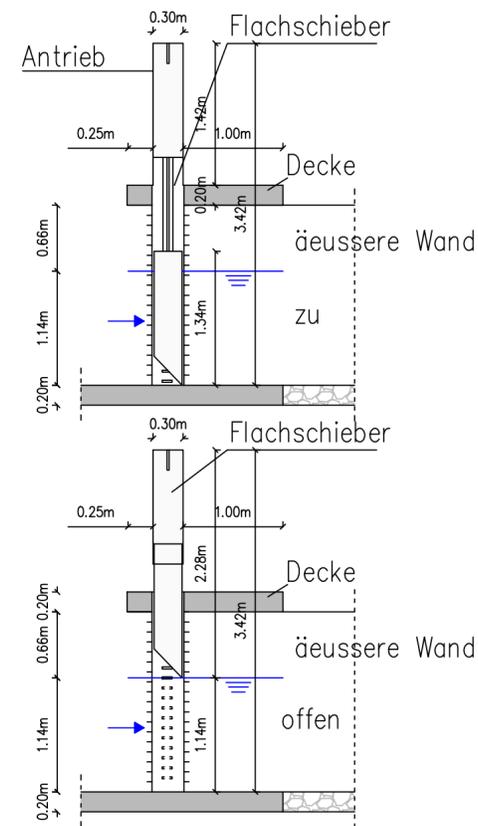
Detail 1 Revisionsverschluss Flachschieber

Detail 2 Revisionsverschluss Staubohlen

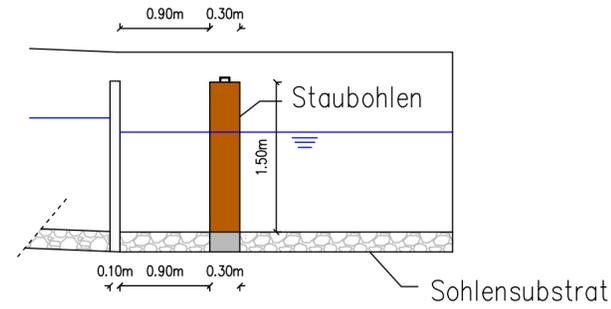
Draufsicht



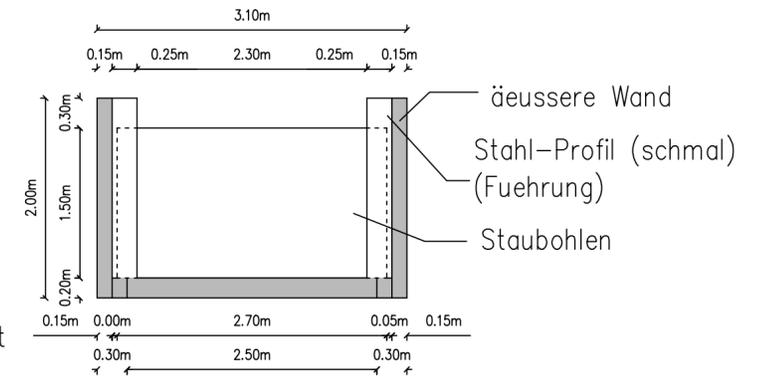
Querschnitt 1-1



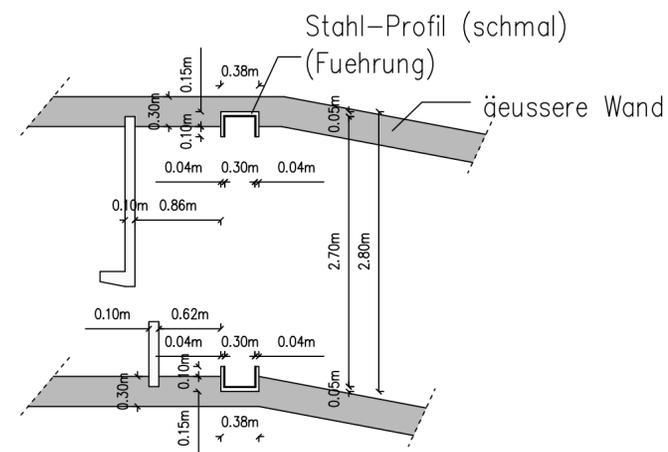
Längsschnitt



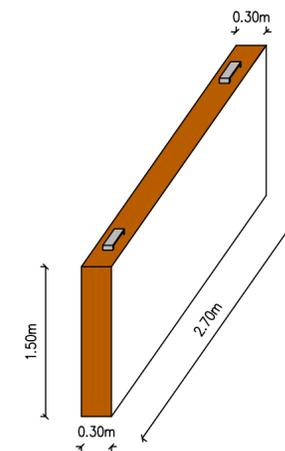
Querschnitt



Draufsicht



Staubohlen



Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.Techn. Gerald ZENZ <small>A-8010-Stremayrgasse 10/II Tel: +43 (316) 8738360 http://www.hydro.tugraz.at</small>		 TU Graz Graz University of Technology
Project: Fischeaufstiegshilfe - Schlitzpass Jajce I		
Drawing: Detail 1, 2 (Revisionsverschluss)	Drawing Number: 15	
Operators: Bojan MILASINOVIC	Date: 15.12.2013.	
	Page Size: A2	
Support: Ass.-Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Helmut KNOBLAUCH	Scale: 1:50	