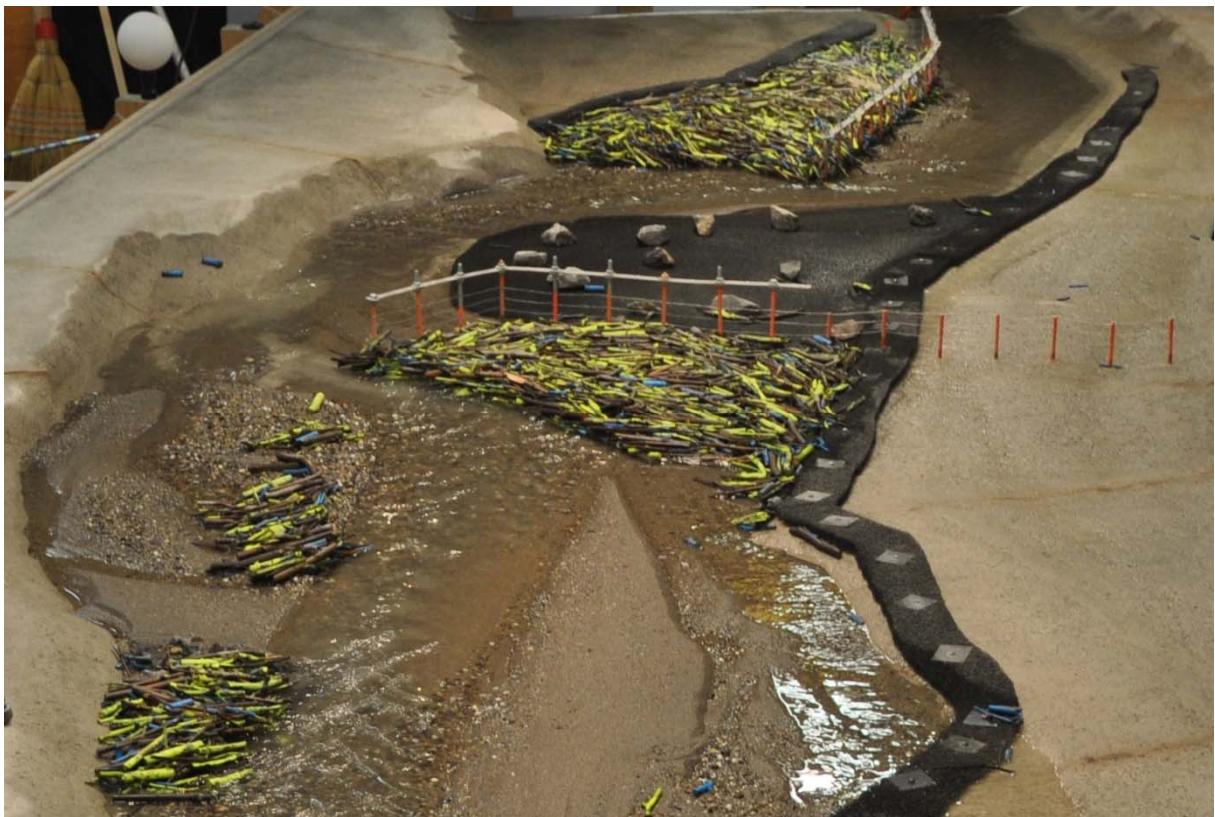


Fachstelle Wasserbau

3600305

08. Juni 2017



Technischer Bericht

Modellversuche

Holzrückhalt Zulg

Im Auftrag von
Gemeinde Steffisburg
Höchhusweg 5
3612 Steffisburg

Projektverfasser
Herzog Ingenieure AG
Dorfstrasse 10
3073 Gümligen

KONTROLLBLATT

Bauherrin	Gemeinde Steffisburg Höchhusweg 5 3613 Steffisburg
Titel	Technischer Bericht Modellversuche Holzrückhalt Zulg
Projekt	Zulg
Projekt Nr.	3600305
Dateiname	TechBericht_Holzrückhalt_Zulg.docx
Ablageort	\\hsr.ch\root\afe\ibu\projekte\Wasserbau\3600305_Zulg\06 Be- richte\3.0_Schlussbericht
System	Microsoft Word
Verteiler extern	6 1 Herzog Ingenieure AG, Dorfstrasse 10, 3073 Gümligen 1 Gemeinde Steffisburg, Höchhusweg 5, 3612 Steffisburg 1 Tiefbauamt des Kantons Bern, Oberingenieurkreis I, Schlossberg 20, 3602 Thun 1 Tiefbauamt des Kantons Bern, Oberingenieurkreis II, Schermen- weg 11, 3001 Bern, (Digital) 1 Bundesamt für Umwelt BAFU, Sektion Hochwasserschutz, Worblen- talstrasse 68, 3063 Ittigen 1 Amt für Wald KAWA, Region Voralpen, Schwand 2, 3110 Münsingen, (Digital)
Verteiler intern	4 1 Jürg Speerli 1 Severin Lees 1 Projekt / Archiv 1 Reserve
Original	Datum 01.06.2017 Verfasser Severin Lees, Projektingenieur Datum 08.06.2017 Überprüft Jürg Speerli, Projektleiter

KONTAKT

Jürg Speerli
Prof. Dr. sc. techn. / dipl. Bauing. ETH / SIA
HSR Hochschule für Technik Rapperswil
IBU Institut für Bau und Umwelt
Oberseeestrasse 10
8640 Rapperswil
Tel. +41 55 222 49 72
Mobile +41 79 328 39 30
E-Mail jspeerli@hsr.ch

Severin Lees
Bauingenieur BSc FHO
HSR Hochschule für Technik Rapperswil
IBU Institut für Bau und Umwelt
Oberseeestrasse 10
8640 Rapperswil
Tel. +41 55 222 41 55
Mobile +41 79 747 74 92
E-Mail slees@hsr.ch

Jürg Speerli
Projektleiter

Severin Lees
Projektingenieur

INHALT

1	ZUSAMMENFASSUNG	8
2	EINLEITUNG UND AUFTAG	10
2.1	VERANLASSUNG	10
2.2	KONZEPT	10
2.2.1	Querrechen im Gerinne.....	10
2.2.2	Schwemmholznetz	10
2.2.3	Selektiver Schwemmholzrückhalt	10
2.2.4	Strömungsparalleler Rechen.....	11
2.3	AUFTAG	11
2.4	ZIELSETZUNG DER HYDRAULISCHEN MODELLUNTERSUCHUNG	11
3	GRUNDLAGEN	12
3.1	SITUATION	12
3.2	HOCHWASSERABFLÜSSE	14
3.3	ABFLUSSGANGLINIEN	14
3.3.1	Bemessungsszenario: Gewitterereignis.....	14
3.3.2	Bemessungsszenario: langandauerndes Ereignis.....	14
3.4	FESTSTOFFTRANSPORT	15
3.4.1	Schwemmholz	15
3.4.2	Geschiebe	17
3.5	KORNVERTEILUNG SOHLE	18
4	HYDRAULISCHES MODELL	19
4.1	MODELLMASSSTAB	19
4.2	MODELL.....	20
5	VERSUCHSAUFBAU	21
5.1	PROJEKTZUSTAND	21
5.2	VERSUCHSNUMMERIERUNG.....	21
5.3	VERSUCHSSERIEN	21
6	VORVERSUCHE SYSTEMWAHL	23
6.1	SERIE A1	23
6.1.1	Problemstellung.....	23
6.1.2	Randbedingungen.....	23
6.1.3	Rechensystem 1 (A1_1.1_210S bis A1_1.4_210S).....	24
6.1.4	Rechensystem 2 (A1_2.1_210S bis A1_2.3_210S).....	25
6.1.5	Rechensystem 3 (A1_3.1_210S bis A1_3.2_210S).....	26
6.1.6	Rechensystem 4 (A1_4.1_210S bis A1_4.2_210S).....	27

6.1.7	Rechensystem 5 (A1_5.1_210S)	28
6.1.8	Rechensystem 6 (A1_6.1_210S bis A1_6.2_210S).....	29
6.1.9	Systemvergleich.....	30
6.1.10	Empfehlung Systemwahl.....	30
6.2	SERIE A2.....	31
6.2.1	Problemstellung.....	31
6.2.2	Randbedingungen.....	31
6.2.3	Versuch A2_0.1_210G	32
6.2.4	Versuch A2_0.2_210G	32
6.2.5	Versuch A2_0.3_210G	33
6.2.6	Versuch A2_0.4_210G	33
6.2.7	Versuch A2_0.5_210G	34
6.2.8	Versuch A2_0.6_210G	34
6.2.9	Versuch A2_0.7_210G	34
6.2.10	Versuch A2_1.1_210G	35
6.2.11	Zusammenfassung Versuchsserie A2	36
6.2.12	Folgerung Versuchsserie A2.....	37
7	SYSTEMOPTIMIERUNG	38
7.1	SERIE B2.....	38
7.1.1	Problemstellung.....	38
7.1.2	Randbedingungen.....	38
7.1.3	Versuch B2_1.1_210G	38
7.1.4	Versuch B2_1.2_210G	40
7.1.5	Versuch B2_2.1_210G	41
7.1.6	Versuch B2_2.2_210G	43
7.1.7	Versuch B2_2.3_210G	44
7.1.8	Versuch B2_3.1_210G	46
7.1.9	Versuch B2_3.2_210G	47
7.1.10	Versuch B2_3.3_210G bis B2_3.4_210G	49
7.1.11	Zusammenfassung Versuchsserie B2	49
7.1.12	Folgerung Versuchsserie B2.....	49
7.2	SERIE B3.....	50
7.2.1	Problemstellung.....	50
7.2.2	Versuch B3_1.1_119_142S	51
7.2.3	Versuch B3_1.2_119_142S und B3_1.3_119_142S	53
7.2.4	Zusammenfassung Versuchsserie B3	53
7.2.5	Folgerung Versuchsserie B3.....	54
7.3	SERIE B4.....	54
7.3.1	Problemstellung.....	54
7.3.2	Randbedingungen.....	54
7.3.3	Versuch B4_1.1_119_142S	55
7.4	SERIE B5.....	56
7.4.1	Problemstellung.....	56
7.4.2	Randbedingungen.....	56
7.4.3	Versuch B5_1.1_119_142S	56
7.5	SERIE B6.....	58
7.5.1	Veranlassung der Versuchsserie B6.....	58
7.5.2	Problemstellung.....	58

7.5.3	Randbedingung	58
7.5.4	Versuch B6_1.1_80÷210S	58
7.5.5	Versuch B6_2.1_80÷210S	59
7.5.6	Versuch B6_3.1_80÷150S	60
7.5.7	Versuch B6_4.1_80÷150S	62
7.5.8	Versuch B6_5.1_80÷150S	63
7.5.9	Zusammenfassung Versuchsserie B6	64
7.5.10	Folgerung Versuchsserie B6	64
7.6	SERIE B7	64
7.6.1	Problemstellung	64
7.6.2	Randbedingungen	64
7.6.3	Versuch B7_1.1_119_142S	65
7.6.4	Versuch B7_2.1_119_142S	67
7.7	SERIE B8	68
7.7.1	Veranlassung / Problemstellung der Serie B8	69
7.7.2	Randbedingungen	69
7.7.3	Versuch B8_1.1_80_210S	70
7.7.4	Versuch B8_1.2_210G	72
7.7.5	Versuch B8_1.3_119G	74
7.7.6	Versuch B8_2.1_119_142S	76
8	NACHWEISE	79
8.1	SERIE C4 UND C8	79
8.1.1	Problemstellung	79
8.1.2	Randbedingungen	79
8.1.3	Versuch C4_1.1_119G und C8_1.1_119G	80
8.1.4	Versuch C4_1.1_142G und C8_1.1_142G	83
8.1.5	Versuch C4_1.1_150G und C8_1.1_150G	86
8.1.6	Versuch C4_1.1_210G und C8_1.1_210G	88
8.1.7	Versuch C4_1.1_280G und C4_1.1_280G	90
8.1.8	Zusammenfassung Versuchsserie C4 und C8	92
8.1.9	Folgerung Versuchsserie C4 und C8	94
9	ÜBERLASTVERSUCHE	95
9.1	SERIE D8 UND D9	95
9.1.1	Problemstellung	95
9.1.2	Randbedingungen	95
9.1.3	Versuch D8_1.1_210G	95
9.1.4	Versuch D8_2.1_210G	97
9.1.5	Versuch D8_3.1_210G	98
9.1.6	Versuch D8_4.1_300Flutwelle	100
9.1.7	Versuch D9_1.1_210G	102
9.1.8	Versuch D9_1.2_210G	104
9.1.9	Zusammenfassung Versuchsserie D8 und D9	104
9.1.10	Folgerung Versuchsserie D8 und D9	104
10	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN	105
10.1	SCHLUSSFOLGERUNGEN	105
10.2	EMPFEHLUNGEN	105

10.2.1	Unterhalt.....	106
11	LITERATURVERZEICHNIS.....	107

ANHANG

1	MODELLBAU
2	MODELL
3	GESCHIEBEANALYSE
4	VERMESSUNG
5	GANGLINIEN
6 BIS 16	VERSUCHSDOKUMENTATION
17	LITERATURVERZEICHNIS

USB STICK

1.0	TECHNISCHER BERICHT ALS PDF
1.1	BILDER DES TECHNISCHEN BERICHTS
2.0	VERSUCHSDOKUMENTATION (FILME, LUFTAUFNAHMEN, SOHLENVERGLEICHE, GESCHIEBEBILANZ PLÄNE)
3.0	VERMESSUNG (PUNKTDATEIEN FELSAUFNAHME, WALDAUFNAHME ALS TXT-DATEI, PLÄNE)

1 ZUSAMMENFASSUNG

Das Institut für Bau und Umwelt (IBU) der HSR Hochschule für Technik Rapperswil untersuchte im Auftrag der Gemeinde Steffisburg Schwemmholtzrückhaltemassnahmen an der Zulg im Bereich Zulgboden. Mit dem Schwemmholtzrückhaltesystem sollen Holzmengen bis $2'000 \text{ m}^3$ fest (HQ_{100}) zurückgehalten werden können, wobei der Geschiebetransport möglichst wenig beeinflusst werden soll.

Zur Entwicklung eines optimalen Holzrückhaltesystems wurde ein Teil des Zulgboden in Form eines hydraulischen Modells im Massstab 1:45 nachgebaut und diverse Versuchsserien durchgeführt.

Mittels der Vorversuche zur Systemwahl wurden verschiedene Rechensysteme mittels stationären Abflüssen bestimmt. Infolge nicht definierter Schwemmholtzfrachten wurden die Vorversuche zur Systemwahl mit einer Holzfracht von $1'200 \text{ m}^3$ durchgeführt. Die Bestvariante besteht aus einem V-Rechen und einem flussabwärtsliegenden Parallelrechen. Der V-Rechen ist für die Systemsicherheit von massgebender Bedeutung, da er die Strömung unabhängig der Sohlenlage in den Parallelrechen lenkt.

Folgende Systemoptimierungen wurden anlässlich der durchgeführten Versuchen vorgenommen: Eine Buhne mit lenkender Funktion (QP M663) wurde oberhalb des V-Rechens eingebaut, um das Rückhaltevolumen des V-Rechens besser auszunutzen. Die Stababstände der Rechen wurden von 2.5 m auf 5 m vergrössert um die Bewirtschaftung der Rechen zu verbessern und die Baukosten zu minimieren. Dafür wurde der Rechen mit horizontalen Querseilen auf 2 m, 3 m, und 4 m über der Sohle ergänzt. Des Weiteren wurde festgestellt, dass die Strömungslage im Bereich der Öffnung des Parallelrechens durch einen Felsabtrag (M800 bis M825) optimiert werden muss. Da ohne Felsabtrag die Gefahr einer Querverklausung der Parallelrechenöffnung bestand. Des Weiteren wurden noch verschiedene Streichwehrvarianten, Felsanpassungen, Lenkelemente, Waldanpassungen sowie Rechengeometrien untersucht.

Mit den vorgenommenen Optimierungen wurde mit den Nachweisversuchen die Funktionalität des Holzrückhaltesystems nachgewiesen. Der Holzrückhalt lag über alle Nachweisversuche gesehen bei ausgezeichneten 80 bis 95 %. Da das potentielle Rückhaltevolumen abhängig von der Abflusshöhe ist, können auch deutlich grössere Schwemmholtzmengen als $2'000 \text{ m}^3$ (HQ_{100}) zurückgehalten werden. So konnten zum Beispiel bei einem HQ_{300} Gewitterereignis bis zu $3'600 \text{ m}^3$ Schwemmholtz mit diesem Rechensystem zurückgehalten werden.

Mit den Überlastversuchen wurde das Rechensystem auf verschiedene Arten auf seine Robustheit getestet. Die Versuche sind mittels HQ_{100} Gewitterganglinie und einer Schwemmholtzbeigabe von $2'000 \text{ m}^3$ durchgeführt worden. Es wurden die Querseile der Rechen weggelassen, eine Auflandung im Parallelrechen nachgebildet, die Buhne ausgebaut, das Gerinne an den rechten Hangfuss verlegt sowie eine Flutwelle mit einer Abflussspitze von $300 \text{ m}^3/\text{s}$ simuliert. Der Holzrückhalt betrug trotz diesen Änderungen zwischen 80 % und 95 % der Schwemmholtzbeigabe. Infolge der Einbauten (Rechen, Buhne) kommt es zu einer Reduktion des Geschiebetransports je nach Versuch zwischen 20 % und 40 % im Vergleich mit der jetzigen Situation.

Nach der Durchführung der Versuche werden folgende zusätzliche Optimierungen empfohlen: Der Fels im Bereich M800 bis M825 soll stärker abgetragen werden (Serie

B5), sodass die Hauptströmung in den hinteren Teil des Parallelrechens zielt. Dadurch kann die Verklausung der gesamten Rechenlänge mit der ersten Schwemmholzfracht verhindert werden. Zusätzlich soll durch den Felsabtrag erreicht werden, dass die Niederwasserrinne durch den Parallelrechen führt. Durch das Verlegen der Niederwasserrinne in den Parallelrechen werden Auflandungen im Parallelrechen bei normalen Abflussverhältnissen verhindert, sowie die Systemsicherheit verbessert. Des Weiteren sollen die Stababstände am Ende des Parallelrechens halbiert werden, um einen grösseren Schwemmholzaustrag mit der ersten Holzfracht zu verhindern.

2 EINLEITUNG UND AUFRAG

2.1 Veranlassung

Die grösste Gefährdung für Steffisburg durch die Zulg ist das Schwemmholt. Verschiedene Ereignisse in der jüngeren Vergangenheit haben gezeigt, dass das Schwemmholt flutwellenartig angeschwemmt werden kann. Beim Hochwasser vom 4. Juli 2012 schwoll die Zulg innerhalb von wenigen Sekunden von einem harmlosen Abfluss zu einem reissenden Wildfluss an. An der Front der Flutwelle wurde ein großer Schwemmholtteppich mittransportiert.

Mehrere Brücken überqueren die Zulg in Steffisburg, wodurch ein Verklausungsrisiko besteht. Schwemmholt, welches durch die Zulg in die Aare eingebracht wird, wirkt sich auch auf die Hochwassersicherheit im Mattequartier in der Stadt Bern aus.

Die wichtigste Massnahme zur Verbesserung der Hochwassersicherheit in Steffisburg ist ein Schwemmholtzrückhalt oberhalb des Siedlungsgebietes im Zulgboden. Ein solcher Schwemmholtzrückhalt wirkt sich auch positiv auf die Situation in Heimberg und insbesondere auch auf die Stadt Bern aus.

2.2 Konzept

Um die Hochwassersicherheit in Steffisburg und Heimberg massgeblich zu verbessern, ist es notwendig, Schwemmholt oberhalb des Siedlungsgebietes von Steffisburg zurückzuhalten. Des Weiteren weist die Zulg im Bereich des Siedlungsgebietes heute ein Geschiebedefizit auf, weshalb der Geschiebetrieb in der Zulg durch ein Schwemmholtzrückhaltebauwerk nicht wesentlich beeinträchtigt werden soll. Zudem würden dies Unterhaltskosten verursachen, welche nach Möglichkeit zu vermeiden sind.

2.2.1 Querrechen im Gerinne

Ein Rechen quer im Gerinne, sei er als V-Rechen oder schräggestellter Rechen ausgeführt, bewirkt durch den Rückhalt des Schwemmholzes einen Aufstau oberhalb der Rechenkonstruktion. Wodurch sehr viel Geschiebe oberhalb des Rechens zurückgehalten wird.

Der Schwemmholtzrückhalt bei einer solchen Querrechenkonstruktion ist gross. Hingegen können die gestellten Anforderungen hinsichtlich Geschiebetransport nicht erfüllt werden. Aus diesem Grund wird diese Rechenform verworfen.

2.2.2 Schwemmholtznetz

Schwemmholtznetze, welche quer im Gerinne aufgespannt werden, verhalten sich sehr ähnlich wie eine Querrechenkonstruktion. Aus diesem Grund muss auch diese Variante verworfen werden.

2.2.3 Selektiver Schwemmholtzrückhalt

Selektive Schwemmholtzrückhaltebauwerke wurden schon an verschiedenen Gewässer realisiert, z.B. Chirel im Diemtigtal, Minster oberhalb Unteriberg sowie Melchaa im Kanton Obwalden.

Dabei wird nur ein Teil der Gewässerbreite durch die Rechenkonstruktion verbaut. Im Falle einer Verklausung der Rechenkonstruktion kann so der Geschiebetransport wei-

terhin gewährleistet werden. Jedoch begünstigen diese verteilten Rechenkonstruktionen die Geschiebeablagerung, weshalb auch hier mit einer Reduktion der Geschiebeführung gerechnet werden muss.

Ein weiterer Nachteil ist, dass das Schwemmholt mit einem selektiven Rückhaltebauwerk nicht vollständig zurückgehalten werden kann und kaum überlastbar ist.

2.2.4 Strömungsparalleler Rechen

Diese Rechenform ist relativ neu und wurde an der Kleinen Emme bei Malters bereits einmal realisiert. Jedoch ist hier der Rechen nicht direkt im Gerinne angeordnet, sondern im Ausleitungsraum. Die Hauptströmung zum Rechenbauwerk erfolgt parallel und kann daher als Beispiel dienen.

Im Kanton Zürich ist an der Sihl ein strömungsparalleler Rechen im Bau. Entsprechende Modellversuche wurden an der VAW/ETHZ durchgeführt. Aufgrund von Literaturquellen kann bei einem strömungsparallelen Rechen mit einem relativ hohen Rückhaltegrad gerechnet werden, falls es die spezifische Situation erlaubt. Auch bei diesem Rechentyp wird der Geschiebetransport reduziert.

2.3 Auftrag

Das Institut für Bau und Umwelt (IBU) der HSR Hochschule für Technik Rapperswil untersuchte im Auftrag der Gemeinde Steffisburg die geplanten Schwemmholtzrückhaltemassnahmen an der Zulg im Bereich Zulgboden mittels eines hydraulischen Modells.

Mit Hilfe dieses hydraulischen Modells im Massstab 1:45 soll die Funktionalität der geplanten Massnahmen zur Verbesserung der Hochwassersicherheit an der Zulg sowie auch an der Aare untersucht und wo möglich optimiert werden.

2.4 Zielsetzung der hydraulischen Modelluntersuchung

Mit dieser hydraulischen Modelluntersuchung sind folgende Ziele zu erreichen, respektive folgende Fragen zu beantworten:

- Entscheidungsgrundlage für die Systemwahl: Vorversuche mit Untersuchung verschiedener Rückhaltesysteme. Empfehlung an die Bauherrschaft mit Bewertung mittels nachvollziehbaren Kriterien.
- Optimierung der Rechenanordnung in Bezug auf Holzrückhalt sowie auf die Trennung von Holz und Geschiebe für das gewählte System und für verschiedene Szenarien.
- Quantifizierung allfälliger Bauwerkskolke und Sohlenbewegungen im Einflussbereich des Rückhaltes.
- Quantifizierung des Einflusses auf den Durchtransport von Wasser und Geschiebe im Perimeter.
- Quantifizierung des Einflusses auf die Uferbereiche und die bestehenden Uferschutzbauwerke.
- Angabe der Abmessungen, Kolkiefen, Blockgrößen und für die definitive Projektgeometrie zuhanden der projektierenden Ingenieure.
- Quantifizierung von der Zuverlässigkeit der Wirkung der jeweiligen Massnahmen.
- Finale Nachweise der Projektgeometrie.
- Verhalten im Überlastfall (Reinwasser, Holz, Geschiebe).

3 GRUNDLAGEN

3.1 Situation

Die Zulg ist ein rund 23 km langes Gewässer, welches die Charakteristik eines Wildflusses aufweist. Sie ist ein stark geschiebe- und holzführender Wildfluss. Die Zulg wurde im Oberlauf mit Wildbachsperrern verbaut, im Mittellauf weist sie einen natürlichen Zustand auf und im Unterlauf, im Bereich Steffisburg ist sie kanalisiert und begradigt worden. Nordwestlich von Thun mündet sie bei Heimberg in die Aare.

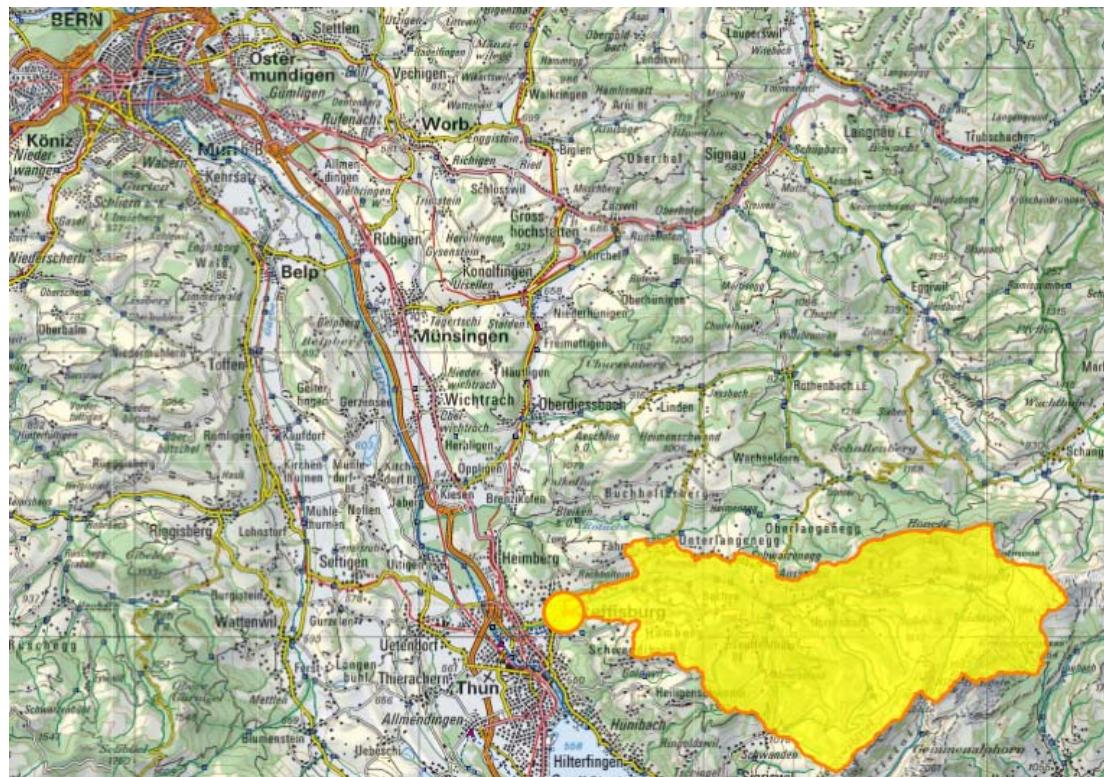


Abb. 3-1: Übersicht über das Einzugsgebiet der Zulg bei Steffisburg (gelb) sowie der Aarelauf von Thun bis Bern; [16].

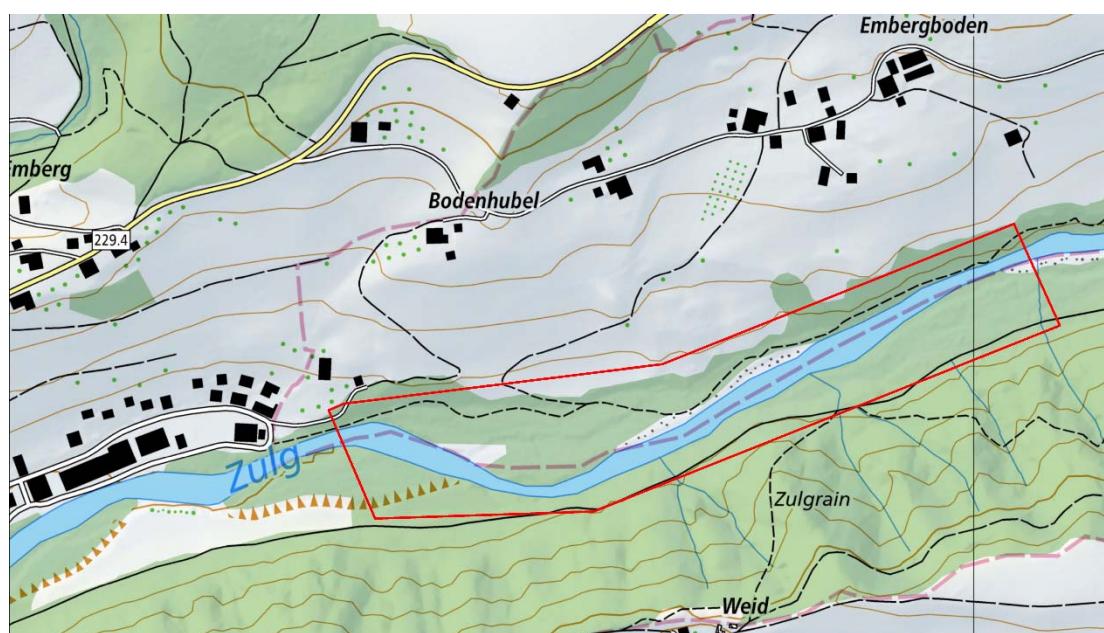


Abb. 3-2: Übersicht über ca. 800 m langen Modellperimeter (roter markiert).



Abb. 3-3: Zulg im Bereich des Modellperimeters (~M550), Blick gegen Fliessrichtung.



Abb. 3-4: Zulg im Bereich des Modellperimeters (~M550), Blick in Fliessrichtung.

3.2 Hochwasserabflüsse

Die massgebenden Abflussspitzen sind wie folgt gegeben:

Spitzenabflüsse	Gewitterereignis [m ³ /s]	Langzeitereignis [m ³ /s]
HQ ₃₀	150	Keine Angabe
HQ ₁₀₀	210	119
HQ ₃₀₀	280	142

Tab. 3-1: Massgebende Abflüsse der Bemessungsergebnisse [1].

3.3 Abflussganglinien

Als Grundlage für die Erstellung der Bemessungsszenarien werden die Abflussmessdaten [2] der Messstation Heimberg an der Zulg verwendet. Die kompletten Jahresabflussganglinien sowie die Herleitung der Bemessungshochwasser sind im Anhang zu finden.

3.3.1 Bemessungsszenario: Gewitterereignis

Für die Bemessungsszenarien von Gewitterereignissen wird das Hochwasser vom 04.07.2012 gewählt. Das Hochwasser vom 04.07.2012 weist eine Hochwasserspitze von 222 m³/s auf, was in etwa einem HQ₁₀₀ (210 m³/s) entspricht. Dieses Hochwassereignis zeigt die typische Charakteristik einer Abflussganglinie an der Zulg infolge eines Gewitterereignisses auf, siehe Abb. 3-5. Auf einen tiefen Basisabfluss folgt ein flutwellenartiger Anstieg der Zulg worauf ein langsam sinkender Abstieg folgt.

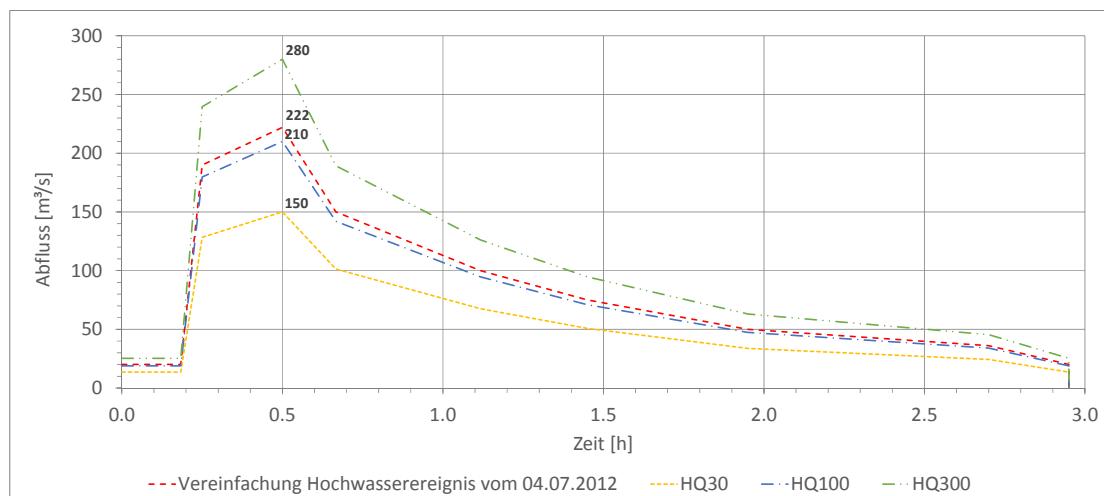
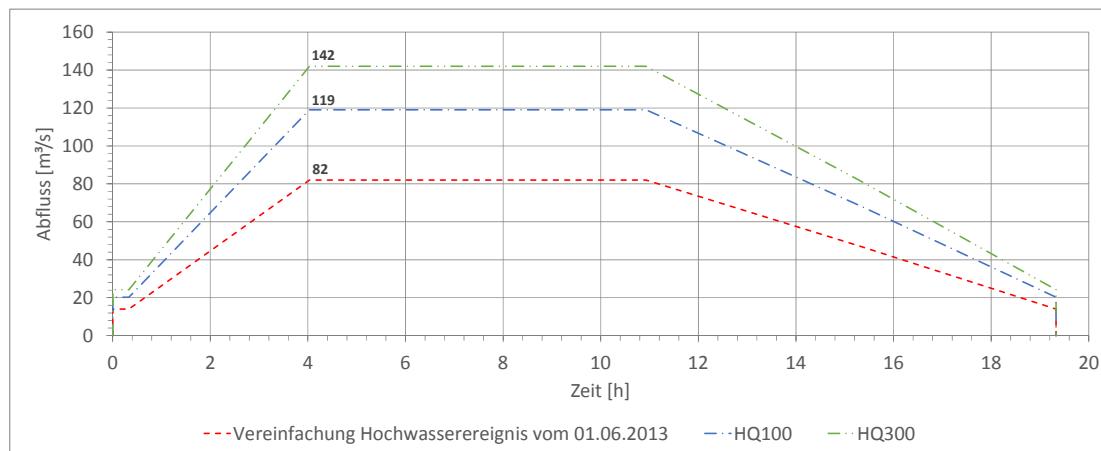


Abb. 3-5: Bemessungsszenarien HQ₃₀, HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀ aus dem Ereignis vom 04.07.2012.

3.3.2 Bemessungsszenario: langandauerndes Ereignis

Für die Bemessungsszenarien von langandauernden Ereignissen wird das Hochwasser vom 01.06.2013 verwendet. Dieses Hochwasser weist eine Abflussspitze von 82 m³/s auf (HQ₁₀₀ entspricht 119 m³/s). Hier fällt der Anstieg gegenüber dem Gewitterereignis deutlich flacher aus, der Spitzenabfluss erfolgt über eine längere Zeit bevor ein langsam sinkender Abstieg folgt, siehe Abb. 3-6.

Abb. 3-6: Bemessungsszenarien HQ₃₀, HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀ aus dem Ereignis vom 01.06.2013.

3.4 Feststofftransport

3.4.1 Schwemmholz

Das Schwemmholz an der Zulg besteht aus Grünholz, Totholz und Industrieholz. Das Grün- und Totholz besteht aus Baumstämmen, Wurzelstöcken, Ästen und Zweigen [3]. Laut Gabi Hunziker ist es schwierig eine Aussage bezüglich der genauen Schwemmholzzusammensetzung zu machen. Die Zusammensetzung kann je nach Ereignis und Teileinzugsgebiet variieren. Die grössten Stammabmessungen, welche bis nach Steffisburg gelangen, sind selten grösser als 5 m bis 6 m und haben einen maximalen Stammdurchmesser bis 0.6 m [4]. Bei den Hochwasserereignissen 2005 und 2015 an der Zulg bestand 50 % des Schwemmholzes aus Stammholz [5]. In der Tab. 3-2 sind die Schwemmholzzusammensetzungen der Grossereignisse 1987 und 2005 aufgeführt. Darin ist deutlich ersichtlich, dass der Grünholzanteil in den meisten Fällen am grössten ist.

Art Schwemmholz	Schweiz 2005 u. 1987	Goms 1987	Hochwasser 2005
Grünholz	50 bis 70 %	48 %	60 %
Totholz	10 bis 30 %	35 %	20 %
Industrieholz	< 20 %	17 %	20 %

Tab. 3-2: Schwemmholzverteilung bei Grossereignissen in der Schweiz [6] [7].

Für die Modellversuche wird das Industrieholz vernachlässigt. Ebenfalls ist der Unterschied zwischen Grün- und Totholz nicht relevant. Da Astholz gut weitergeleitet werden kann und keine grosse Verklausungsgefahr mit sich bringt, wird es in den Modellversuchen nicht nachgebildet. Für die Modellversuche wird nur Stammholz verwendet. Das Stammholz weist eine Länge zwischen 2 m und 6 m und einen Durchmesser zwischen 0.1 m und 0.6 m auf. Die Schwemmholzfrachten für die Bemessungshochwasser sind in der Tab. 3-3 aufgeführt. Der Umrechnungsfaktor von Festvolumen in Lockervolumen ist laut VAW zwischen 2 und 5 [7]. Laut Hunziker muss zur Abschätzung des Lockervolumens das Festvolumen mit einem Faktor 5 multipliziert werden [3]. Die Schwemmholzfrachten werden über die Anzahl Stämme der drei Stammfraktionen (2 m, 4 m und 6 m) aufgeteilt. Je 40 % aller Stämme haben eine

Länge von 2 m beziehungsweise 4 m. Die restlichen 20 % weisen eine Länge von 6 m auf.

Spitzenabflüsse	Gewitterereignis [m³]	Langzeitereignis [m³]
S ₃₀	800	800
S ₁₀₀	2'000	2'000
S ₃₀₀	4'000	4'000

Tab. 3-3: Schwemmholtvolumen (Festvolumen) wurde erst für die Versuchsserien B8, C8, D8 und D9 festgelegt [3].



Abb. 3-7: Schwemmholtablagerung im Zulgboden (Bereich M200).



Abb. 3-8: Schwemmholtablagerung im Zulgboden (Bereich M725).

3.4.2 Geschiebe

Die massgebenden Geschiebefrachten für die Gewitterganglinien werden mittels der Geschiebetransportfunktion bestimmt, siehe Abb. 3-9. Infolge grosser Geschiebeablagerungen bei den Gewitterganglinien wird entschieden, dass die Versuche bei den langandauernden Hochwasserereignissen mit einer reduzierten Geschiebetransportfunktion (50 %) durchgeführt werden, siehe Abb. 3-9.

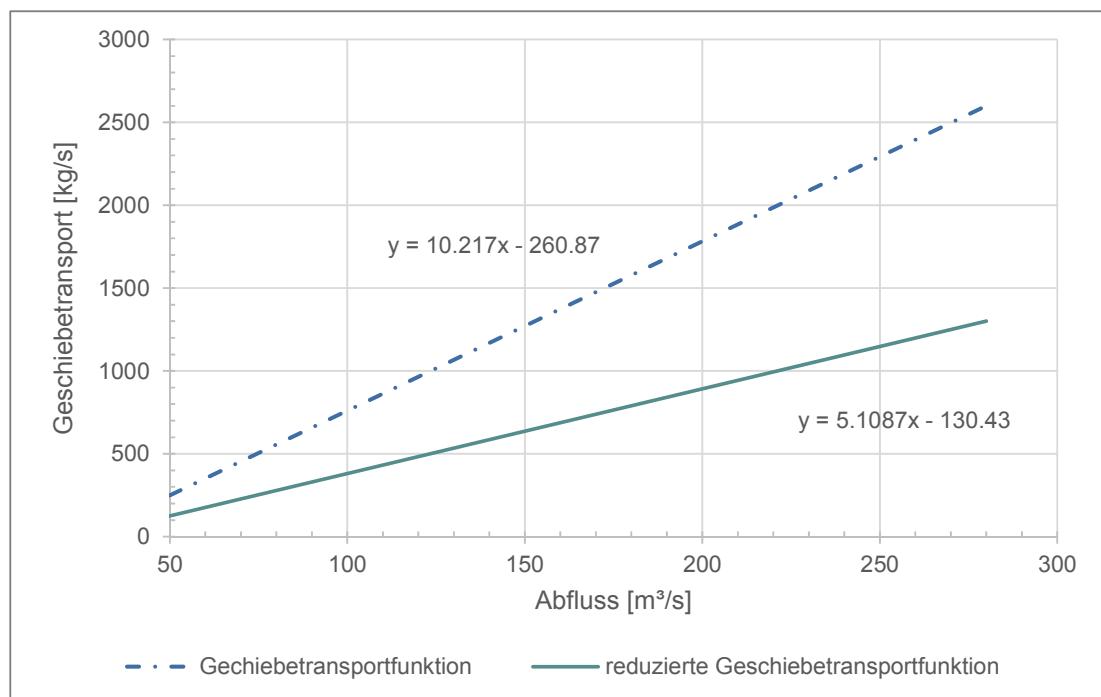


Abb. 3-9: Geschiebetransportfunktion am unteren Ende der Schlucht [8].

Aus den Geschiebetransportfunktionen und den vereinfachten Abflussganglinien werden die Geschiebefrachten für die Modellversuche ermittelt, siehe Tab. 3-4. Für die Umrechnung von Masse in Volumen wird mit der Schüttrohdichte (trocken) der Geschiebemischung von 1662 kg/m³ gerechnet.

Spitzenabflüsse	Gewitterereignis [m ³]	Langzeitereignis [m ³]
G ₃₀	1'900	Keine Angabe
G ₁₀₀	3'200	12'700
G ₃₀₀	5'000	16'300

Tab. 3-4: Für die Bemessungsergebnisse massgebenden Geschiebefrachten [9]. Die Volumenangaben der Langzeitereignisse sind um 50 % reduziert.

3.5 Kornverteilung Sohle

Die Modellmischung für die bewegliche Sohle wird aus mehreren Sandfraktionen zusammengemischt. Die angenommene Kornverteilung basiert auf Linienzahlanalysen sowie zweier Volumenproben, siehe Anhang. Dabei beträgt der Durchmesser des Größtkorns 360 mm und des Kleinstkorns 11 mm in Natur.

In einem hydraulischen Modell können nur Körner grösser als 0.25 mm hydraulisch korrekt nachgebildet werden. Bei kleineren Körnern treten im Modell andere Sohlenstrukturen (Riffel und Dünen) auf als in Natur, wodurch die Reibungsverhältnisse im Modell und Natur nicht mehr übereinstimmen. Im Weiteren gehen noch kleinere Körner in Schweben über. Das heisst, dass bei einem Massstab von 1:45 nur Körner grösser als 11 mm Durchmesser (Natur) korrekt nachgebildet werden können.

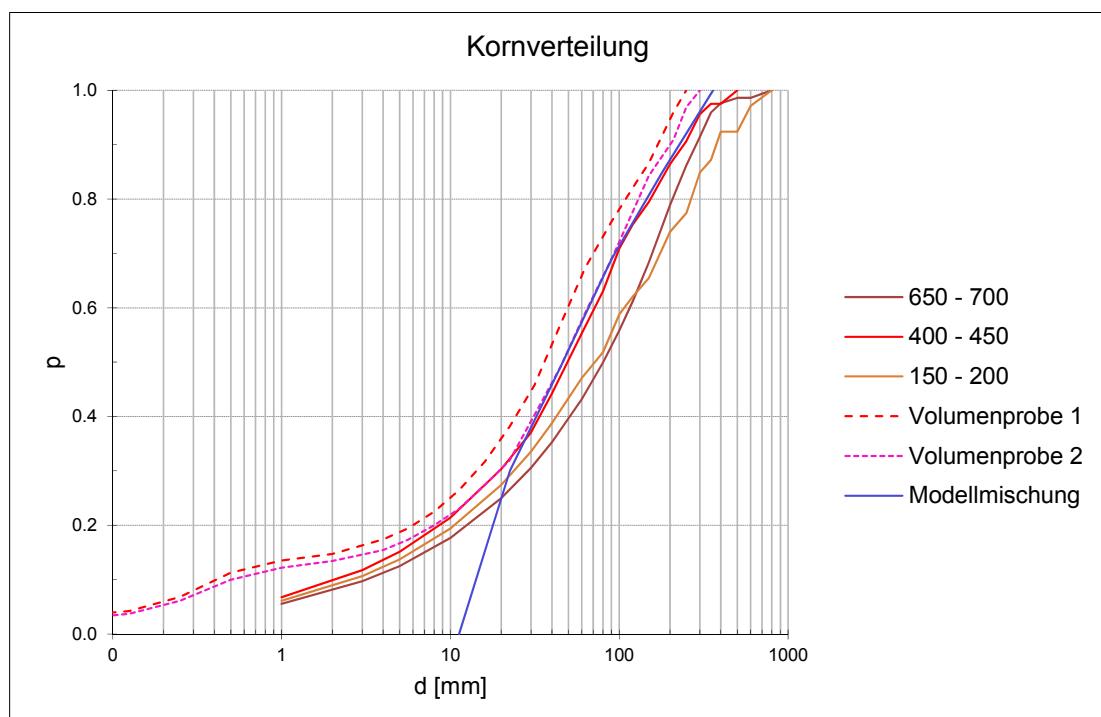


Abb. 3-10: Modellmischung im Vergleich zu den Volumenproben sowie zu den LZA im Bereich des Modellperimeters.

4 HYDRAULISCHES MODELL

4.1 Modellmassstab

Aufgrund des Pflichtenheftes vom 30.11.2015 und den vorhandenen Platzverhältnissen im Labor wurde der Modellmassstab auf 1:45 festgelegt. Der nachzubildende Modellausschnitt erstreckt sich in Natur über eine Länge von 750 m und über eine maximale Breite von 140 m. Zudem beinhaltet dieser Ausschnitt eine Höhendifferenz der Sohle von rund 10 m.

Modellähnlichkeiten

Das Froude'sche Ähnlichkeitsgesetz beruht darauf, dass das Verhältnis zwischen Trägheits- und Schwerkraft im Modell gleich gross ist wie in der Natur. Die Froude-Zahl stellt das Verhältnis zwischen Trägheits- und Schwerkraft dar.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$$

Fr = Froude-Zahl

g = Erdbeschleunigungskonstante (9.81 m/s^2)

v = charakteristische Geschwindigkeit, hier die Fliessgeschwindigkeit

h = charakteristische Länge, hier die Abflusstiefe

Für die Umrechnung der verschiedenen physikalischen Grössen wird vom Längenverhältnis des Modells ausgegangen. Beim hydraulischen Modell der Zulg beträgt der Modellmassstab 1:45 ($\lambda = 45$). Mit dem Ähnlichkeitsgesetz nach Froude können die übrigen physikalischen Grössen in Modell- und Naturwerte umgerechnet werden.

Physikalische Grösse	Umrechnungsformel	Faktor
Länge [m]	$L_N / L_M = \lambda$	45
Zeit [s]	$t_N / t_M = \lambda^{1/2}$	6.7
Geschwindigkeit [m/s]	$v_N / v_M = \lambda^{1/2}$	6.7
Abfluss [m^3/s]	$Q_N / Q_M = \lambda^{5/2}$	13'584
Transportrate [m^3/s]	$G_N / G_M = \lambda^{5/2}$	13'584
Rauigkeit [$\text{m}^{1/3}/\text{s}$]	$k_N / k_M = \lambda^{-1/6}$	0.53
Masse [kg]	$M_N / M_M = \lambda^3$	91'125

Tab. 4-1: Umrechnungsfaktoren nach Froude für verschiedene physikalische Grössen.

4.2 Modell

Detaillierte Pläne zu den Bauwerken und eine Fotodokumentation des Modellbaus sowie zu dem fertigen Modell sind im Anhang zu finden.



Abb. 4-1: Modellübersicht.

5 VERSUCHSAUFBAU

5.1 Projektzustand

Als Projektzustand wird jener Zustand beschrieben, welcher als Grundlage für alle Versuche dient, siehe Abb. 5-1. Der Waldrand des Auenwaldes sowie der bewaldete Bereich der Halbinsel zwischen M700 bis M850, werden mittels Filtermatten nachgebildet. Die bewegliche Sohle erstreckt sich über die gesamte Modelllänge und weist eine Tiefe von ca. 6.5 m auf.



Abb. 5-1: Projektzustand des Modellperimeters der Zulg.

5.2 Versuchsnummerierung

Die durchgeführten Versuche wurden nach folgendem Schema nummeriert:

Bsp.

A1_2.3_210S

A1_2.3_210S : **(A)** Serie A bis D

A1_2.3_210S : **(1)** Eigenschaften Sohle, Fels, Waldrand, Fragestellung

A1_2.3_210S : **(2)** Spezifikation der Versuchsserie bezüglich Einbauten

A1_2.3_210S : **(3)** Spezifikation der Versuchsserie bezüglich Wiederholungen

A1_2.3_210S : **(210)** Abflussspitze oder stationärer Abfluss in m³/s

A1_2.3_210S : **(S)** stationärer Abfluss (S), Ganglinie (G), Flutwelle (F)

5.3 Versuchsserien

In allen Versuchsserien sind die Schwemmholzmengen in Festvolumen (m³) angegeben. Am Anfang des Kapitels jeder Versuchsserie wird aufgezählt, welche Unterlagen, Dokumentationen im Anhang sowie im beigelegten USB-Stick zu finden sind.

Vorversuche Systemwahl: Serien A1 und A2

Systemoptimierung: Serien B2 bis B8

Nachweisversuche: Serien C4 und C8

Überlastversuche: Serien D8 und D9

Serie	Kurzbeschrieb
Serie A1	In der Serie A1 werden verschiedene Schwemmholzrückhaltesysteme für eine Schwemmholzmenge von 1200 m ³ (HQ ₁₀₀) untersucht.

Serie A2	In der Serie A2 werden Geschiebeversuche mit der HQ ₁₀₀ Gewitterganglinie durchgeführt. Dabei werden die Sohlenausgangslagen variiert und deren Einfluss auf den Geschiebetransport untersucht.
Serie B2	In der Serie B2 wird das Schwemmholtzrückhaltesystem „V-Rechen kombiniert mit Parallelrechen“ weiter untersucht. Dabei werden zusätzliche Lenkelemente (Buhne, Lenkrechen) sowie die optimale Anordnung aller Elemente untersucht.
Serie B3	In der Serie B3 wird das maximale Schwemmholtzvolumen bestimmt, welches mit dem grösstmöglichen Parallel- und V-Rechen zurückgehalten werden kann. Ebenfalls wird die Rechengeometrie (Stababstände, Querseile) optimiert.
Serie B4	Mit der Serie B4 wird untersucht, ob der Parallelrechen aus der Serie B3 mit der im Bereich des Parallelrechens neu vermessenen Waldgrenze und der daraus resultierenden Kürzung des Parallelrechens um einen Rechenstab immer noch funktioniert.
Serie B5	In der Serie B5 wird die Strömungslage im Parallelrechen mittels Felsabbau im Bereich M800 bis M825 in den flussabwärts liegenden Teil des Parallelrechens gelenkt, um Querverklausungen im Öffnungsbereich des Parallelrechens zu vermeiden.
Serie B6	In der Serie B6 wird der Geschiebetransport um den Parallelrechen optimiert. Dafür werden verschiedene Streichwehrgeometrien in die Öffnung des Parallelrechens eingebaut.
Serie B7	In der Serie B7 wird das maximale Schwemmholtzvolumen bestimmt, welches mit dem Parallelrechen und einem vorgesetzten Streichwehr zurückgehalten werden kann.
Serie B8	In der Serie B8 wird die Felsnase im Bereich M800 bis M825 angepasst, wodurch die Strömung Richtung der Rechenstäbe 225 und 226 des Parallelrechens gelenkt wird. Das Ziel ist es, den Geschiebetransport durch den Parallelrechen zu optimieren. Des Weiteren wird ein Teilstreichwehr zur Unterstützung des Geschiebetransports untersucht.
Serie C4 Serie C8	Der heutige Zustand des Zulgbodens wird mit der Serie C4 untersucht, um die Auswirkungen der finalen Geometrie der Serie C8 auf den Geschiebetransport zu ermitteln. Mit der Serie C8 wird die Funktionalität der finalen Geometrie (Buhne, Rechen und Felsanpassung) bezüglich des Schwemmholtzrückhaltes nachgewiesen.
Serie D8 Serie D9	Mit den Serien D8 und D9 soll die Robustheit des Schwemmholtzrückhaltesystems auf möglichst verschiedene Arten überprüft werden. Es werden fünf verschiedene Extremsituationen untersucht.

Tab. 5-1: Übersicht aller Versuchsserien (Serie A1 bis Serie D9).

6 VORVERSCHE SYSTEMWAHL

6.1 Serie A1

Für alle Versuche der Serie A1 des Schwemmholtzrückhaltes sind im Anhang Luftaufnahmen des Modelles vor und nach dem Versuch abgelegt. Ebenfalls liegen alle Versuche als Filmdatei auf dem USB Stick bei.

6.1.1 Problemstellung

Bei dieser Versuchsserie werden verschiedene Schwemmholtzrechensysteme untersucht. Anhand dieser Grundlage wird eine Vorauswahl getroffen, welche Systeme genauer untersucht werden sollen.

6.1.2 Randbedingungen

Für die Vorversuche zur Systemwahl wird die Sohle auf der ganzen Modelllänge beweglich eingebaut, dabei wird der anstehende Fels vernachlässigt. Der Waldrand entlang des Gerinnes wird mittels Filterschaummatten nachgebildet. Ebenfalls wird die bewaldete Halbinsel im Bereich M700 bis M850 mittels Filterschaummatten nachgebildet. Für die Systemwahl des Schwemmholtzrechens wird jeweils die Maximalmenge an Schwemmholtz von 1'200 m³ [3] beigegeben, was der Schwemmholtzmenge eines HQ₁₀₀ entspricht. Die Schwemmholtzmischung besteht aus drei Fraktionen (2 m, 4 m und 6 m Stämme mit Durchmessern von 0.2 m bis 0.6 m). Die Schwemmholtzbeigabe erfolgt in ein bis zwei Schüben als Schwemmholtzteppich. Der erste Schwemmholtzteppich wird beim Hochfahren der Pumpe auf den HQ₁₀₀ Abfluss von 210 m³/s beigegeben, siehe Abb. 6-2. Die zweite Schwemmholtzbeigabe erfolgt kurz nach dem ersten Schwemmholtzteppich bei einem Abfluss von 210 m³/s. Die Schwemmholtzrechenelemente weisen alle einen Achsabstand von knapp 2.5 m auf bei einem Stabdurchmesser von jeweils 0.36 m. Die Geschiebebeigabe erfolgt bei allen Versuchen entsprechend der Transportfunktion [8].



Abb. 6-1: Schwemmholtzmenge von 1200 m³ in drei Fraktionen aufgeteilt.



Abb. 6-2: Schwemmholtbeigabe von 1200 m³ in einem Schub.

6.1.3 Rechensystem 1 (A1_1.1_210S bis A1_1.4_210S) System

Dieses System beruht darauf, die vorhandene Gerinnegeometrie optimal auszunutzen. Für dieses System sind zwei grössere Rechenelemente notwendig. Der V-Rechen dient dabei nicht nur als Schwemmholtrückhalt sondern auch als wichtiges Element, um die Funktionalität des Parallelrechens zu gewährleisten und um ein Totalversagen des Rechensystems zu verhindern. Die Anordnung der zwei Rechen erfolgt im Bereich M700 bis M900, siehe Abb. 6-3. Die Ausführung des Parallelrechens kann mit oder ohne Streichwehr erfolgen. Mit dem Streichwehr soll eine bessere Trennschärfe zwischen Schwemmholtrückhalt und der Geschiebedurchleitung erreicht werden. Es ist jedoch für die Funktionalität des Parallelrechens nicht notwendig.



Abb. 6-3: Schwemmholtrückhaltesystem mit V-Rechen und Parallelrechen.

Beobachtungen

Es wurde beobachtet, dass der Parallelrechen bei grösseren Abflüssen besser anspringt als bei kleinen Abflüssen. Dabei spielt die Öffnung (geometrische Anordnung,

mit oder ohne Streichwehr, Kote des Streichwehrs) des Parallelrechens eine grosse Rolle.

Fazit

Mit dieser Rechenkombination lassen sich sehr grosse Schwemmholtmengen zurückhalten. Ein Totalversagen dieses Rechensystems infolge eines grösseren Uferanrisses im Bereich der Halbinsel kann mit dem V-Rechen ausgeschlossen werden. Die Funktionalität des Parallelrechens bei kleinen Abflüssen muss noch genauer überprüft und die Geometrie optimiert werden.

6.1.4 Rechensystem 2 (A1_2.1_210S bis A1_2.3_210S)

System

Dieses Rechensystem entspricht grundsätzlich dem Rechensystem 1. Dabei wurde dem V-Rechen auf der linken Seite ein Querrechenelement vorgeschaltet, sodass der V-Rechen besser angeströmt wird, siehe Abb. 6-4. Der Querrechen dient ebenfalls als Schwemmholtzrückhalt.



Abb. 6-4: Schwemmholtzrückhaltesystem mit Parallelrechen, V-Rechen und Querrechen.

Beobachtungen

Das im Querrechen zurückgehaltene Schwemmholtzvolumen ist stark von der Strömungslage abhängig. Jedoch wird durch den Querrechen der V-Rechen direkt angeströmt und dessen Rückhaltefunktion verbessert. Dagegen scheint die Kombination mit dem Querrechen und V-Rechen die Anströmung des Parallelrechens zu verschlechtern. Ebenfalls konnte beobachtet werden, dass die Sohlenkoten im Bereich des V- und des Parallelrechens grossen Einfluss auf die Strömungssituation und somit auf die Schwemmholtzablagerung haben.

Fazit

Mit diesem Rechensystem lassen sich extrem grosse Schwemmholtmengen zurückhalten. Die Wirkungsweise eines vorgelagerten Querrechens muss noch genauer untersucht und besser platziert werden, sodass es nicht zu einer Reduktion der Schwemmholtzablagerung im V-Rechen oder Parallelrechen kommt.

6.1.5 Rechensystem 3 (A1_3.1_210S bis A1_3.2_210S)

System

Das Rechensystem 3 besteht aus zwei V-Rechen mit je zwei dazugehörigen Querrechen, siehe Abb. 6-5. Der V-Rechen ist einerseits dazu da, Schwemmholt zurückzuhalten und andererseits lenkt er die Strömung in die Richtung der beiden seitlichen Querrechen.

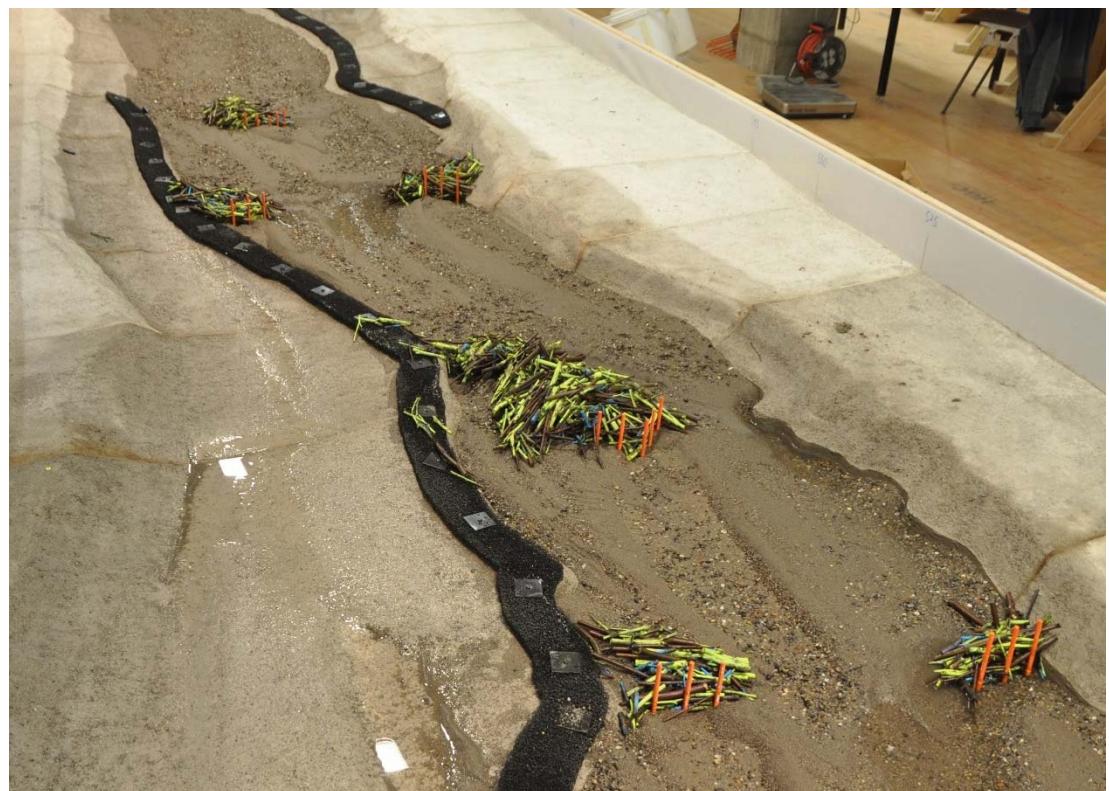


Abb. 6-5: Rechensystem 3 aus zwei V-Rechen mit jeweils zwei dazugehörigen Querrechen.

Beobachtung

Die gewünschte „Zopfströmung“ ist gut zu erkennen, unabhängig vom Abfluss. Jedoch variiert sie stark mit zunehmendem Schwemmholtaufstau. Die Verteilung der Rückhaltemenge auf die einzelnen Rechen ist nicht gleichmäßig. Dies kann aber mit einer optimalen Rechenanordnung und Anpassung der Abstände allenfalls noch verbessert werden.

Fazit

Ein kritischer Punkt bei diesem System ist, dass durch die Querrechenelemente auf der rechten Seite (am Auenwald angrenzend) die Belastung auf den Auenwald vergrössert wird. Wodurch die Gefahr steigt, dass grössere Bereiche des Auenwaldes abgetragen werden und dadurch das Rechensystem versagen kann. Das Rückhaltevolumen dieses Rechensystems bei der Zugabe von 1'200 m³ reicht nicht aus. Die einzelnen Elemente müssten daher vergrössert oder mit weiteren Elementen ergänzt werden. Der Platzbedarf wird unverhältnismässig gross.

6.1.6 Rechensystem 4 (A1_4.1_210S bis A1_4.2_210S)

System

Das Rechensystem 4 besteht aus je einem Rechen zur Lenkung der Strömung (auf der rechten Seite) und einem dazugehörigen V-Rechen im Bereich des anstehenden Fels auf der linken Seite, siehe Abb. 6-6.

Auch Buhnen sind als Lenkelemente in Betracht gezogen, erweisen sich aber als ineffizient bei hohen Abflüssen.



Abb. 6-6: Rechensystem 4 bestehend aus je zwei Rechen zur Strömungslenkung und zwei V-Rechen.

Beobachtung

Die Strömung wird nicht sehr stark umgelenkt durch die beiden Lenkrechen. Besonders der untere ist im Schatten des Terrassenvorsprungs ungünstig gelegen. Da sich aber beide V-Rechen an der „Kurvenaussenseite“ befinden, halten sie trotzdem relativ viel Schwemmholtz zurück. Ab einem gewissen Volumen wird die Strömung umgelenkt und es bleibt kein Schwemmholtz mehr hängen.

Fazit

Das System hält mit kleinen Rechen relativ viel Schwemmholtz zurück und lässt einen hohen Geschiebetrieb zu. Die Lage der Lenkrechen ist zu optimieren. Ebenfalls sind die Lenkrechen bis an den Hangfuss (Auenwald) zu verlängern (gilt auch bei den vorhergehenden Varianten), um ein Versagen des Systems infolge eines grösseren Uferanrisses zu unterbinden. Auch dürfen Lenk- und V-Rechen voraussichtlich noch weiter ins Hauptgerinne ragen, ohne dass sich viel Geschiebe ablagent.

6.1.7 Rechensystem 5 (A1_5.1_210S)

System

Das Rechensystem 5 besteht aus einem Querrechen über die gesamte Gerinnebreite, siehe Abb. 6-7.



Abb. 6-7: Querrechen über die ganze Gerinnebreite.

Beobachtungen

Der Querrechen hält ca. 92 % des anfallenden Schwemmhholzes zurück und weist damit den kleinsten Austrag aus dem Modell auf. Jedoch steigt der Wasserspiegel infolge der Verklausung oberhalb des Rechens stark, an was zu einem Zusammenbruch der Geschiebetransportkapazität führt. Durch den Aufstau infolge des verklausten Rechens wurde der Rechen links und rechts im Auenwaldbereich umströmt.

Fazit

Dieser Querrechen ist als einfachen und effektiven Schwemmholzrückhalt geeignet. Jedoch wird nicht nur beinahe das komplette Schwemmhholz sondern auch das Geschiebe zurückgehalten. Daher ist diese Variante nicht weiter zu verfolgen. Bei der Ausführung müsste darauf geachtet werden, dass der Rechen im Auenwald (links und rechts) bis an den Hangfuss ausgeführt wird, um ein Umströmen des Querrechens zu verhindern.

6.1.8 Rechensystem 6 (A1_6.1_210S bis A1_6.2_210S)

System

Das Rechensystem 6 besteht aus sechs einzelnen Querrechen, welche abwechselnd (links/rechts) angeordnet sind, siehe Abb. 6-8. Die Anordnung ist so gewählt, dass die Elemente als Gesamtsystem funktionieren sollen. Die Rechen wurden absichtlich nicht regelmässig verteilt.

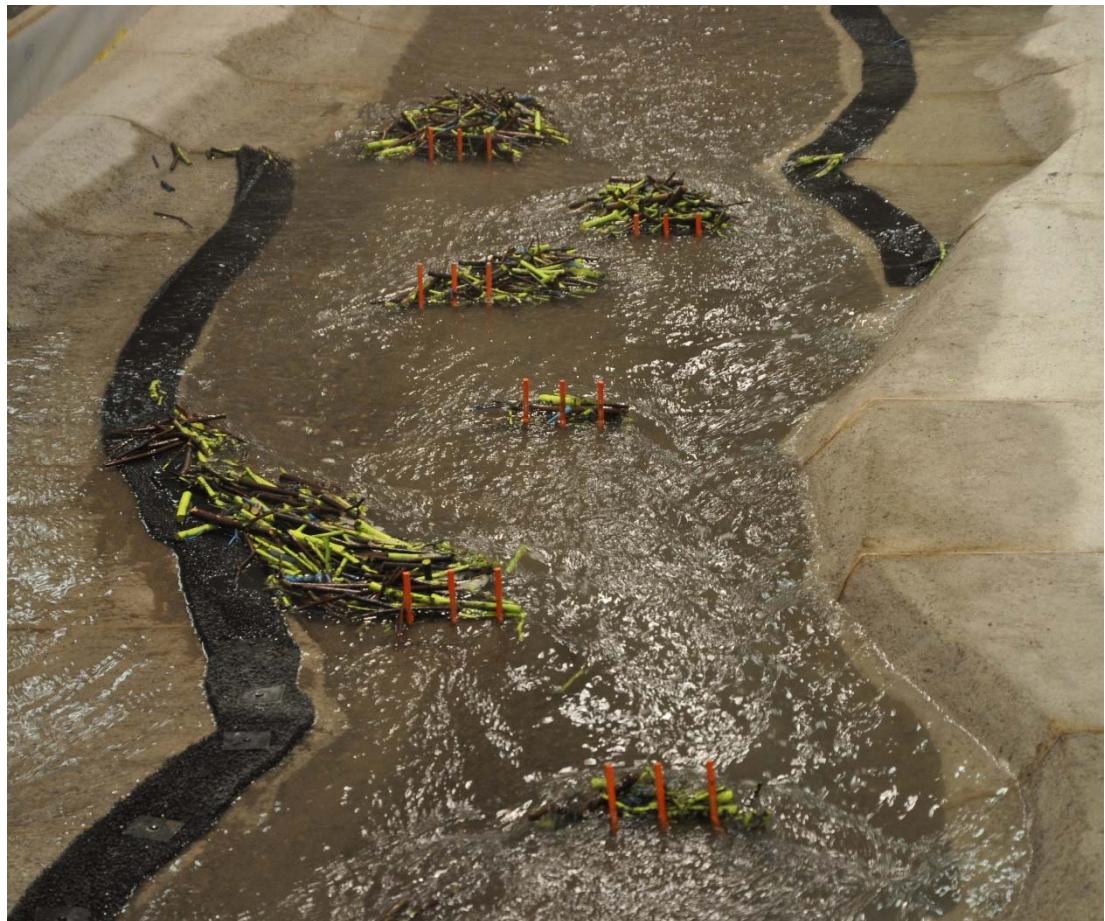


Abb. 6-8: Rechensystem 6 aus sechs Querelementen.

Beobachtungen

Der Rückhalt am einzelnen Element erscheint zufällig und ist stark abhängig vom jeweils oberstrom liegenden Rechen und dessen Verklausungsgrades. Das zweitunterste Element hat hauptsächlich in Kombination mit der Waldterrasse (Auenwald) funktioniert, was in Wirklichkeit keine Option sein darf. Es ist mit einem Versagen zu rechnen.

Fazit

Ein einzelnes Element inmitten der Strömung hat kein grosses Rückhaltepotsial. Die Unsicherheiten bezüglich Auenwald, grösseren Schwemmholzmengen (EHQ) und der immense Platzbedarf machen dieses System zu keiner valablen Alternative. Das System müsste im Auenaldbereich bis an den Hangfuss fortgesetzt werden, um ein Totalversagen ausschliessen zu können.

6.1.9 Systemvergleich

Für den Systemvergleich wurden bis auf das Rechensystem 5 (Querrechen über gesamte Sohle) mindestens zwei Versuche durchgeführt. Die Ergebnisse des Schwemmholtzrückhaltes beziehungsweise des Schwemmholtzaustrages der einzelnen Rechensysteme wurden gemittelt.

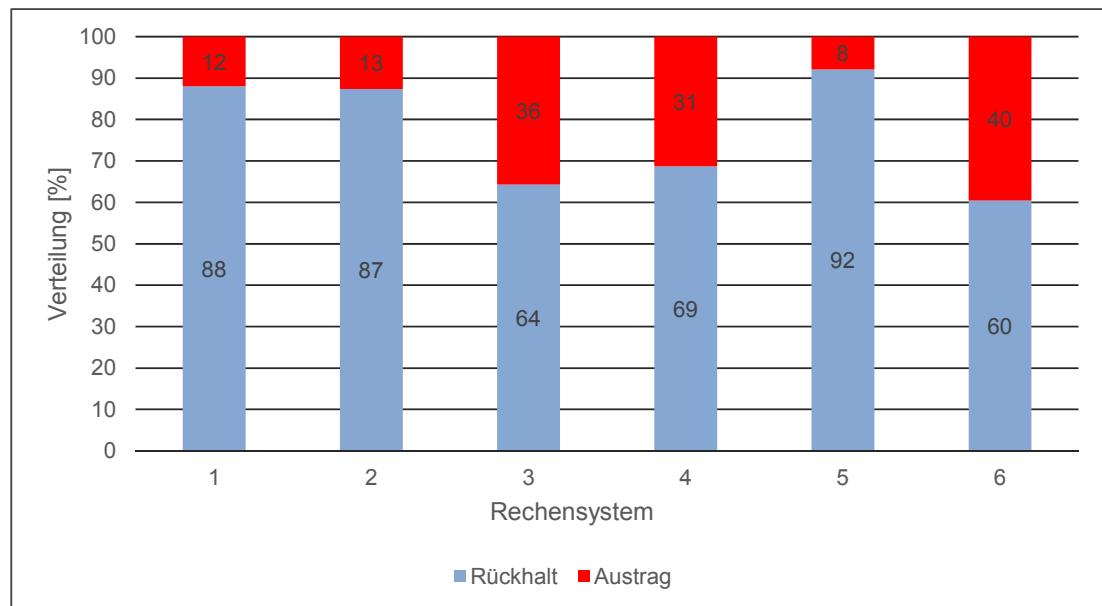


Abb. 6-9: Vergleich der Vorversuche zur Systemwahl.

6.1.10 Empfehlung Systemwahl

Aus den Vorversuchen der Systemwahl zeichnen sich zwei Favoriten ab. Einerseits eine Kombination aus einem Parallelrechen mit einem V-Rechen (Rechensystem 1 und 2) und andererseits eine Kombination aus Rechen zur Strömungslenkung kombiniert mit grösseren V-Rechen entlang des anstehenden Fels (Rechensystem 4). Jedoch muss bei beiden Systemen ein Teil- oder Totalversagen infolge grösseren Uferanrisse des Auenwaldes, mit einer Verlängerung der Rechen bis an den Hangfuss (rechtsseitig in Fließrichtung gesehen), verhindert werden.

6.2 Serie A2

Für alle Versuche der Serie A2 des Schwemmholtzrückhaltes sind im Anhang Luftaufnahmen des Modelles vor und nach dem Versuch, ein Plan (Situation) zur Modellübersicht, die Koordinaten zur Lage der Rechenstäbe sowie ein Sohlenvergleich abgelegt. Ebenfalls sind die Filme zu den Versuchen auf dem USB-Stick beigelegt.

6.2.1 Problemstellung

Mit der Serie A2 wird das Geschiebetransportverhalten im Modellperimeter untersucht. Dabei sollen Auflandungs-, Erosionsbereiche sowie Geschiebebilanzen ermittelt werden. Alle Versuche werden mit der HQ₁₀₀ Gewitterganglinie durchgeführt.

6.2.2 Randbedingungen

In der Versuchsserie A2 ist die Sohle auf der ganzen Modelllänge beweglich eingebaut. Im Bereich M725 bis M950 ist der Fels eingebaut, siehe Abb. 6-10. Als Grundlagen dafür dienten GPS Vermessungen des anstehenden Fels durch die HSR sowie eine geologische Felsuntersuchung der BIG AG [10]. Neben dem Fels wurde auch die Waldgrenze im Bereich M725 bis M800 neu vermessen und im Modell angepasst. Der Waldrand sowie die bewaldete Halbinsel im Bereich M750 bis M825 werden mittels Filtermatten nachgebildet. Die Geschiebebeigabe erfolgt bei allen Versuchen entsprechend der Transportfunktion. Bei einer Schüttrohdichte des Geschiebematerials (trocken) von 1'662 kg/m³ ergibt das ein Volumen von ca. 3'400 m³.



Abb. 6-10: Felseinbau im Bereich M725 bis M950.

6.2.3 **Versuch A2_0.1_210G**

Ausgangslage der Sohle

Die ungefähre Sohlenlage wird mittels Negativ des Querprofils eingebaut. Für eine möglichst natürliche Nachbildung wurde über den ganzen Modellperimeter eine Niederwasserrinne ausgebildet, siehe Luftaufnahmen im Anhang.

Beobachtungen

Der Geschiebeaustrag aus dem Modellperimeter setzt nach 25 min, zur Hochwasserspitze ($210 \text{ m}^3/\text{s}$), ein. Gesamthaft werden ca. 400 m^3 Geschiebe aus dem Modellperimeter ausgetragen. Die ausgebildete Niederwasserrinne wird mit Geschiebe verfüllt und es bildete sich ein neues Hauptgerinne, siehe Sohlenvergleich im Anhang. Entlang der linken Uferböschung (anstehender Fels) im Bereich M475 bis M675 erodiert die Sohle. Erst bei abklingendem Hochwasser bilden sich ansatzweise neue Niederwasserrinnen.

Fazit

Während des Hochwassers lagern sich grosse Geschiebemengen im Modellperimeter ab. Ebenfalls werden im Modellbereich grosse Geschiebemengen umgelagert. Die Geschiebetransportkapazität am unteren Ende der Schlucht ist grösser als im Bereich des Zulgboden.

6.2.4 **Versuch A2_0.2_210G**

Ausgangslage der Sohle

Im Modellbereich oberhalb M400 wird an der Sohle nach dem Versuch A2_0.1_210G keine Veränderung vorgenommen. Die entstandenen Auskolkungen entlang dem linken Ufer werden aufgefüllt. Die Niederwasserrinne unterhalb M450 wird wieder hergestellt und die Auflandungen werden entfernt. Mittels Gegenprofilen wird die Sohle in den Ausgangszustand gebracht.

Beobachtungen

Der Geschiebeaustrag aus dem Modellperimeter setzt nach 25 min, zur Hochwasserspitze ($210 \text{ m}^3/\text{s}$) ein. Gesamthaft werden ca. 500 m^3 Geschiebe aus dem Modellperimeter ausgetragen. Die im unteren Bereich des Modellperimeters ausgebildete Niederwasserrinne wird mit Geschiebe verfüllt. Die Auflandungen sind vor allem im breiten Gerinne (M650 bis M750 und M825 bis M925) ausgeprägt. Im oberen Bereich (M200 bis M300) und entlang des linken Ufers (M475 bis M675) erodiert die Sohle. Erst bei abklingendem Hochwasser bildet sich ansatzweise eine neue Niederwasserrinne.

Fazit

Während des Hochwasserereignisses lagern sich grosse Geschiebemengen im Modellperimeter ab. Im Modellbereich werden grosse Geschiebemengen umgelagert. Der Geschiebeaustrag ist leicht grösser wie beim Versuch A2_0.1_210G.

6.2.5 Versuch A2_0.3_210G

Ausgangslage der Sohle

Im Modellbereich oberhalb M650 werden nur die Sohlenerosionen entlang dem linken Ufer und im Modellzulauf aufgefüllt. Unterhalb M650 wird die Niederwasserrinne wieder nachgebildet und dabei die Auflandungen abgetragen, ansonsten werden nach dem Versuch A2_0.2_210G keine Veränderungen vorgenommen.

Beobachtungen

Der Geschiebeaustrag aus dem Modellperimeter setzt nach 25 min, zur Hochwasserspitze ($210 \text{ m}^3/\text{s}$) ein. Gesamthaft werden ca. $1'000 \text{ m}^3$ Geschiebe aus dem Modellperimeter ausgetragen. Die im unteren Bereich des Modellperimeters ausgebildete Niederwasserrinne wird mit Geschiebe verfüllt, siehe Sohlenvergleich im Anhang. Oberhalb M375 erodiert die Sohle auf der ganzen Breite. Entlang des Fels im Bereich M500 bis M550 bildet sich eine Erosionsrinne.

Fazit

Die vorhandene Niederwasserrinne hat einen Einfluss auf den Geschiebeaustrag. Je länger und deutlicher die Niederwasserrinne im Modellperimeter ausgebildet ist desto geringer ist der Geschiebeaustrag aus dem Modell. Woraus man schliessen kann, dass die Niederwasserrinne während des Hochwassers mit Geschiebe aufgefüllt wird, bevor grössere Geschiebemengen aus dem Modell ausgetragen werden. Mit abklingendem Hochwasser bildet sich eine neue Niederwasserrinne.

6.2.6 Versuch A2_0.4_210G

Ausgangslage der Sohle

Für den Versuch A2_0.4_210G wird die Sohle des Versuches A2_0.3_210G als Ausgangslage verwendet. Es werden keine Sohlenanpassungen vorgenommen.

Beobachtungen

Ein Geschiebeaustrag aus dem Modellperimeter setzt nach 25 min, zur Hochwasserspitze ($210 \text{ m}^3/\text{s}$) ein. Gesamthaft werden ca. $1'200 \text{ m}^3$ Geschiebe aus dem Modellperimeter ausgetragen. Infolge starker Auflandungen im Bereich M825 bis M925 steigt der Wasserspiegel deutlich an und es kommt zu Ausuferungen am linken Ufer im Bereich M875 sowie im rechten Uferbereich, siehe Abb. 6-11.



Abb. 6-11: Ausuferungen am linken und rechten Ufer während der Hochwasserspitze.

Fazit

Da die Geschiebeablagerungen aus dem Versuch A2_0.3_210G nicht entfernt wurden, steigt die Sohlenlage in grossen Bereichen des Modellperimeters an. Die Geschiebeumlagerungen infolge einer anfänglichen Niederwasserinne fallen weg, wodurch die Geschiebeablagerungen deutlich gleichmässiger über den Modellperimeter verteilt sind.

6.2.7 Versuch A2_0.5_210G

Ausgangslage der Sohle

Für den Versuch A2_0.5_210G wird die Sohle des Versuches A2_0.4_210G als Ausgangslage verwendet. Es werden keine Sohlenanpassungen vorgenommen.

Beobachtungen

Ein deutlicher Geschiebeaustrag aus dem Modellperimeter setzt nach 18 min (190 m³/s), vor der Hochwasserspitze, ein. Gesamthaft werden ca. 1'800 m³ Geschiebe ausgetragen. Durch die sich aufsummierenden Geschiebeablagerungen tritt im Bereich unterhalb M800 immer mehr Wasser über die Ufer.

Fazit

Der Grund für den früheren und deutlich stärker werdenden Geschiebeaustrag aus dem Modellperimeter sind die Geschiebeablagerungen im unteren Teil des Modells. Da die Sohlenkote des letzten Querprofils (M950) konstant bleibt (infolge Gerinneverengung) und die Geschiebeablagerung davor immer höher, werden nimmt das Sohlengefälle und somit die Geschiebetransportkapazität zu.

6.2.8 Versuch A2_0.6_210G

Ausgangslage der Sohle

Für den Versuch A2_0.6_210G wird die Sohle des Versuches A2_0.5_210G als Ausgangslage verwendet. Es werden keine Sohlenanpassungen vorgenommen.

Beobachtungen

Ein deutlicher Geschiebeaustrag aus dem Modellperimeter setzt nach 18 min (190 m³/s), vor der Hochwasserspitze, ein. Gesamthaft werden ca. 1'900 m³ Geschiebe ausgetragen. Die überflutete Fläche unterhalb M800 nimmt durch die Auflandungen im Gerinne nochmals zu. Die Strukturen im Gerinne verändern sich nur noch geringfügig.

Fazit

Der Geschiebeaustrag vergrössert sich im Vergleich zum vorhergehenden Versuch nicht mehr stark. Jedoch wird noch ein weiterer Versuch durchgeführt, um zu eruieren ob und wie sich der Geschiebeaustrag verändert.

6.2.9 Versuch A2_0.7_210G

Ausgangslage der Sohle

Für den Versuch A2_0.7_210G wird die Sohle des Versuches A2_0.6_210G als Ausgangslage verwendet. Es werden keine Sohlenanpassungen vorgenommen.

Beobachtungen

Ein deutlicher Geschiebeaustrag setzt nach 18 min ($190 \text{ m}^3/\text{s}$), vor der Hochwasserspitze, ein. Gesamthaft werden ca. $2'000 \text{ m}^3$ Geschiebe aus dem Modellperimeter ausgetragen. Die Waldfläche auf der linken Seite unterhalb M800 wird infolge Geschiebeablagerungen im Gerinne annähernd komplett überflutet, siehe Abb. 6-12.



Abb. 6-12: Ausuferungen am linken und rechten Ufer während der Hochwasserspitze.

Fazit

Der Geschiebeaustrag vergrössert sich im Vergleich zum vorhergehenden Versuch nicht mehr massgebend. Der maximale Geschiebeaustrag liegt bei einem HQ_{100} Gewitterereignis mit der Geschiebemischung 1 bei ca. $2'000 \text{ m}^3$.

6.2.10 Versuch A2_1.1_210G

Ausgangslage der Sohle

Für den Versuch A2_1.1_210G wird die Sohle des Versuches A2_0.7_210G als Ausgangslage verwendet. Es werden keine Sohlenanpassungen vorgenommen. Jedoch werden drei Rechenelemente eingebaut, siehe Abb. 6-13.



Abb. 6-13: Ausgangssohle mit eingebauten Rechen für den Versuch A2_1.1_210G.

Beobachtungen

Ein deutlicher Geschiebeaustrag setzt nach 20 min ($190 \text{ m}^3/\text{s}$), vor der Hochwasserspitze, ein. Gesamthaft werden ca. $1'300 \text{ m}^3$ Geschiebe aus dem Modellperimeter ausgetragen. Im Bereich der Rechenöffnungen des Parallelrechens sowie dem Rechen im Bereich M900 entstehen grosse Auskolkungen. Ebenfalls bewirken die Rechenelemente einen deutlichen Anstieg der Sohle im Bereich M700 bis zur Rechenöffnung des Parallelrechens, siehe Sohlenvergleich im Anhang. Somit haben die Rechenelemente im Vergleich zum Versuch A2_0.7_210G eine Reduktion des Geschiebeaustrages von ca. 30 % verursacht.

Die Schwemmhholzablagerung im Parallelrechen führt zu einer grösseren Belastung des angrenzenden Waldes. Das im Parallelrechen abgelagerte Schwemmhholz wird durch den Strömungsdruck in den Wald gedrückt, siehe Abb. 6-14.



Abb. 6-14: Schwemmhholzablagerungen nach Versuch A2_1.1_210G.

Fazit

Die Rechenelemente haben im Vergleich zum Versuch A2_0.7_210G eine Reduktion des Geschiebetriebs von 30 % verursacht. Die Ursache des Rückgangs der Geschiebetransportkapazität ist der Parallelrechen. Der Einfluss des V-Rechens auf den Geschiebetrieb scheint gering zu sein, da die Auflandungen zwischen Parallel- und V-Rechen am deutlichsten zugenommen haben.

6.2.11 Zusammenfassung Versuchsserie A2

Die Sohlenausgangslage für den Versuch A2_0.1_210G weist die deutlichste Niederwasserrinne auf. Für die Versuche A2_0.2_210G und A2_0.3_210G wird die Niederwasserrinne jeweils weniger ausgeprägt sowie nicht über den ganzen Modellperimeter eingebaut. Die darauffolgenden Versuche werden auf der Sohle des vorhergehenden Versuches durchgeführt. Der Einbau der drei Rechenelemente führte zu einem Rückgang des Geschiebeaustrages um ca. 30 % im Vergleich zum Versuch A2_0.7_210G.

Mit dieser Versuchsserie wird aufgezeigt, dass die Sohlenlage sowie die vorhandenen Strukturen des Gerinne (Niederwasserrinne und Sohle nach Grossereignis) einen sehr grossen Einfluss auf den Geschiebehaushalt im Modellperimeter haben. Desto

deutlicher sich Niederwasserrinnen vor einem Hochwasserereignis ausbilden umso grösser ist der Geschieberückhalt während eines Grossereignisses. Ebenfalls kommt es bei vorhandenen Niederwasserrinnen zu grösseren Geschiebeumlagerungen im Modellperimeter. Folgen mehrere Grossereignisse aufeinander, werden deutlich kleinere Geschiebemengen im Modellperimeter zurückgehalten, siehe Abb. 6-15 und die Auflandungen erfolgen gleichmässiger. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass der Bereich des Modellperimeters als Geschieberückhalt während eines Grossereignisses dient. Es ist davon auszugehen, dass die Geschiebetransportkapazität im Bereich des Zulgbodens deutlich kleiner ist als am unteren Ende der Schlucht.

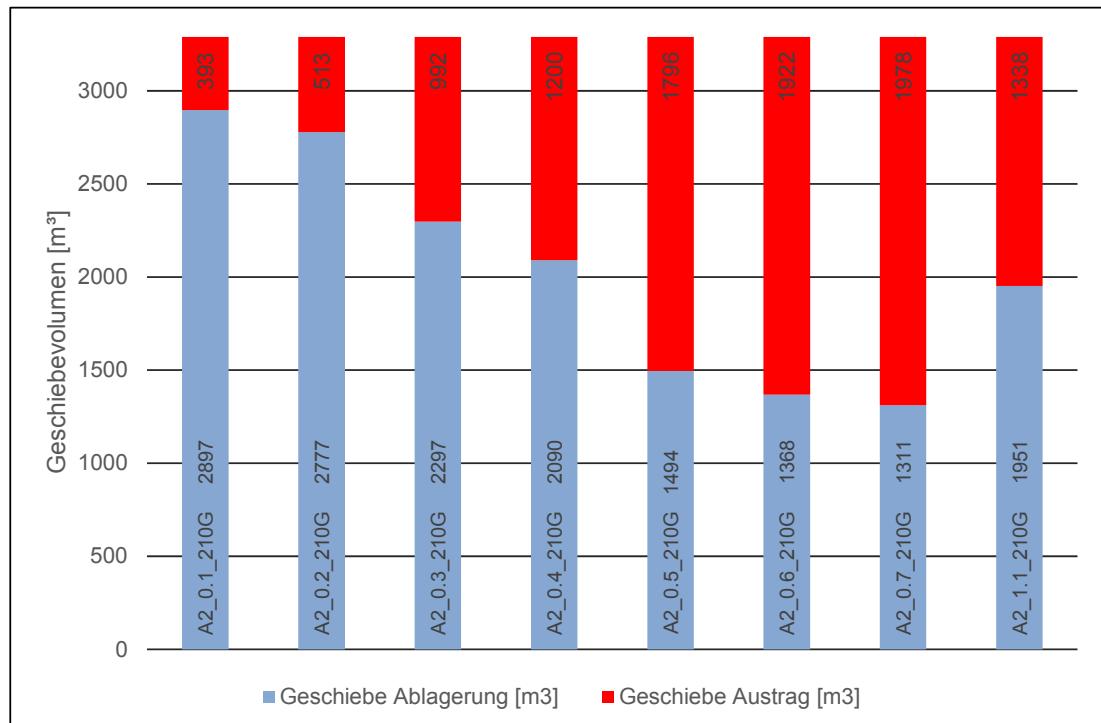


Abb. 6-15: Übersicht Geschiebeablagerungen und Geschiebeaustrag aus Modell.

6.2.12 Folgerung Versuchsserie A2

Für die Ermittlung der Geschiebetransportkapazität ist es entscheidend, dass die Sohleneausgangslage genügend genau eingebaut sowie reproduziert werden kann. Die Genauigkeit des Sohleneinbaus hat einen direkten Einfluss auf die Aussage zum Einfluss des Schwemmholzrechens auf die Geschiebetransportkapazität. Weiter ist zu sagen, dass der Modellbereich (Zulgboden) als temporärer Geschieberückhalt (Umlagerungsstrecke) bei grösseren Hochwasserereignissen dient. Das während des Hochwassers abgelagerte Geschiebe wird durch das abklingende Hochwasser sowie durch kleinere Abflüsse aus dem Modellbereich ausgetragen. Durch diese kleineren Abflüsse bilden sich Niederwasserrinnen aus.

7 SYSTEMOPTIMIERUNG

7.1 Serie B2

Für alle Versuche der Serie B2 des Holzrückhaltes sind im Anhang Luftaufnahmen des Modelles vor und nach dem Versuch, ein Plan (Situation) zur Modellübersicht (ohne Buhnen), die Koordinaten zur Lage der Rechenstäbe sowie ein Sohlenvergleich abgelegt. Ebenfalls sind die Filme zu den Versuchen auf dem USB-Stick beigelegt.

7.1.1 Problemstellung

In der Versuchsserie B2 werden verschiedene Lenkelemente zur besseren Nutzung des V-Rechens untersucht. Die Versuche werden mit der HQ₁₀₀ Gewitterganglinie durchgeführt.

7.1.2 Randbedingungen

Die Versuchsserie B2 weist dieselben Randbedingungen wie die Serie A2 auf. Die Sohle ist auf der ganzen Modelllänge beweglich eingebaut. Im Bereich M725 bis M950 wurde der Fels eingebaut, siehe Abb. 6-10. Als Grundlagen dafür dienten GPS Vermessungen des anstehenden Fels durch die HSR sowie eine geologische Felsuntersuchung der BIG AG [10]. Neben dem Fels wurde auch die Waldgrenze im Bereich M725 bis M800 neu vermessen und im Modell angepasst. Der Waldrand sowie die bewaldete Halbinsel im Bereich M750 bis M825 werden mittels Filtermatten nachgebildet. Die Geschiebebeigabe erfolgt bei allen Versuchen entsprechend der Transportfunktion. Bei einer Schüttrohdichte (trocken) von 1662 kg/m³ entspricht das einem Volumen von ca. 3400 m³. Die Schwemmholtzbeigabe von 1200 m³ erfolgt jeweils in zwei Schüben beim ansteigendem Abfluss vor der Hochwasserspitze.

7.1.3 Versuch B2_1.1_210G

Ausgangslage

Als Lenkelement dient bei diesem Versuch eine Buhne von 20 m Länge, 12 m Breite und 2.5 m Höhe. Die Buhne liegt auf dem QP M706, siehe Abb. 7-1.

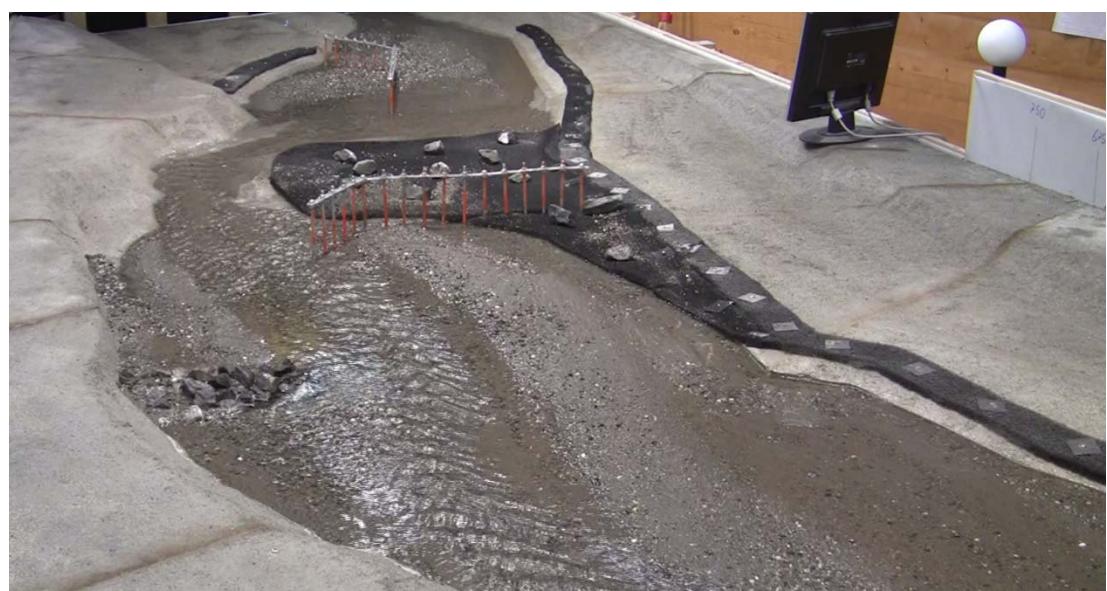


Abb. 7-1: Strömungslage vor dem Versuch. Die Strömung zielt Richtung linken Teil des V-Rechens.

Beobachtungen

Die lenkende Wirkung ist während des Hochwassers zu gering. Das Schwemmholt wird nur um die Buhnen spitze gelenkt und nicht in Richtung des V-Rechens, siehe Abb. 7-2. Jedoch wird der V-Rechen durch die Sohlenausgangslage, siehe Abb. 7-1 gut angeströmt und somit relativ gut ausgenutzt.



Abb. 7-2: Die lenkende Wirkung der Buhne während des Ereignisses ist zu gering.

Bei der Öffnung des Parallelrechens bildet sich bei den vordersten Rechenstäben eine Verklausung, welche ins Gerinne ragt. Das verklauste Holz löst sich nach der Hochwasserspitze und wird aus dem System getragen.

Element	Schwemmholtverteilung [% (m ³)]
Parallelrechen	43 (510)
V-Rechen	31 (370)
Buhne	4 (50)
Sonstige	7 (90)
Austrag	15 (180)

Tab. 7-1: Schwemmholtverteilung des Versuches B2_1.1_210G.

Fazit

Die Sohlenausgangslage im Bereich des V-Rechens ist massgebend, für einen grossen Schwemmholtzrückhalt im V-Rechen. Um die Strömung im Verlauf eines Gewitterereignisses mittels Buhne in den V-Rechen zu lenken, muss die Buhne deutlich länger ausgebildet werden. Durch die optimale Strömungsausgangslage vor dem Versuch werden grosse Schwemmholtzmengen im V-Rechen zurückgehalten.

7.1.4 Versuch B2_1.2_210G

Ausgangslage

Als Lenkelement dient bei diesem Versuch eine Buhne von 20 m Länge, 12 m Breite und 2.5 m Höhe. Die Buhne liegt auf dem QP M706, siehe Abb. 7-3. Die Sohle im Bereich M600 bis M750 weist vor dem Versuch eine Rinne auf, welche zwischen Buhne und V-Rechen verläuft, siehe Abb. 7-3.



Abb. 7-3: Strömungslage vor dem Versuch. Die Strömung zielt links am V-Rechen vorbei.

Beobachtungen

Durch diese Rinne hat die Buhne nur minimalen Einfluss auf die Strömung, wodurch der V-Rechen bei ansteigendem Hochwasser nicht angeströmt wird. Die Anströmung des V-Rechens nimmt nach der Hochwasserspitze zu.



Abb. 7-4: Strömungssituation bei ansteigendem Hochwasser (Zugabe 1. Schwemmholzpaket).

Durch die nicht entfernte Geschiebebeablagerung im Parallelrechen des Vorversuches, sowie der ungünstigen Strömungslage in der Öffnung des Parallelrechens, kommt es

zu einer Querverklausung der Öffnung des Parallelrechens. Durch die Schwemmholtablagerung in der Öffnung des Parallelrechens kommt es mit der zweiten Schwemmholtfracht zu einer kompletten Verklausung der Rechenöffnung, siehe Abb. 7-5. Durch diese Verklausung der Parallelrechenöffnung ist der Schwemmholtzastrag aus dem Modell erhöht.



Abb. 7-5: Verklauste Öffnung des Parallelrechens infolge zu hoher Sohlenlage sowie ungünstiger Strömungslage.

Element	Schwemmholtverteilung [% (m ³)]
Parallelrechen	63 (760)
V-Rechen	14 (170)
Buhne	4 (50)
Sonstige	1 (10)
Austrag	18 (210)

Tab. 7-2: Schwemmholtverteilung des Versuches B2_1.2_210G.

Fazit

Die lenkende Wirkung der Buhne ist zu gering und kommt erst nach der Hochwasserspitze infolge Geschiebeablagerungen zur Geltung. Da die Schwemmholtfrachten vor der Hochwasserspitze zugegeben werden, fällt der Schwemmholtzrückhalt im V-Rechen gering aus. Daher würden Schwemmholtfrachten, welche im abklingenden Ast des Hochwassers anfallen, eher im Parallelrechen zurückgehalten werden. Durch die Verfüllung der Niederwasserrinnen mit Geschiebe kommt es im Verlaufe eines Hochwassers zu einer Verbreiterung der Hauptströmung. Dies führt bei jedem Ereignis zu einer besseren Anströmung des V-Rechens. Zur Gewährleistung der Funktionalität des Parallelrechens müssen Geschiebeablagerungen im Rechen entfernt werden.

7.1.5 Versuch B2_2.1_210G

Ausgangslage

Als Lenkelement dient bei diesem Versuch eine Buhne von 11 m Länge, 11 m Breite und 2.5 m Höhe. Die Buhne liegt auf dem QP M663, siehe Abb. 7-6. Der Versuch

findet auf der Sohle des Versuchs B2_1.2_210G statt, jedoch wurden die Geschiebeablagerungen im Parallelrechen beseitigt.



Abb. 7-6: Strömungslage vor dem Versuch. Es ist keine deutliche Niederwasserrinne ersichtlich.

Beobachtungen

Die lenkende Wirkung der Buhne ist bei steigendem Wasser (vor Hochwasserspitze) zu gering um das Schwemmholz in den V-Rechen zu lenken. Unterhalb der Buhne bildet sich jedoch bei abklingendem Hochwasser eine Geschiebebank. Wodurch die Strömung in Richtung äusseres linkes Eck des V-Rechens gedrückt wird, siehe Abb. 7-7. Der Schwemmholzrückhalt im V-Rechen ist dennoch gut. Da ein Teil der Hauptströmung, auf Grund der Sohlenausgangslage, siehe Abb. 7-8 direkt in den V-Rechen zielt.



Abb. 7-7: Deutlich sichtbar ist die entstandene Geschiebebank im Strömungsschatten der Buhne.

Die Geschiebeablagerungen im Parallelrechen sind vor dem Versuch beseitigt worden, infolge dessen drückt die Strömung direkt in den Parallelrechen. Wodurch weniger Schwemmholt aus dem System ausgetragen wird.

Element	Schwemmholtverteilung [% (m ³)]
Parallelrechen	57 (680)
V-Rechen	21 (260)
Buhne	2 (30)
Sonstige	10 (110)
Austrag	10 (120)

Tab. 7-3: Schwemmholtverteilung des Versuches B2_2.1_210G.

Fazit

Die Buhne hat bei ansteigendem Hochwasser wenig Einfluss auf die Strömungslenkung. Jedoch entsteht im Strömungsschatten der Buhne eine Geschiebebank, welche die Hauptströmung Richtung äusseres linkes Eck des V-Rechen lenkt. Wenn sich diese Geschiebebank auch bei kleineren Hochwasser bildet und bei Niedrigwasser nicht abgetragen wird, erfüllt die Lenkbuhne ihre Aufgabe.

7.1.6 Versuch B2_2.2_210G

Ausgangslage

Als Lenkelement dient bei diesem Versuch eine Buhne von 11 m Länge, 11 m Breite und 2.5 m Höhe. Die Buhne liegt auf dem QP M663, siehe Abb. 7-8. Der Versuch findet auf der Sohle des Versuchs B2_2.1_210G statt.



Abb. 7-8: Strömungslage vor dem Versuch. Die Niederwasserrinne zielt auf den linken Teil des V-Rechens.

Beobachtungen

Durch die bei Versuch B2_2.1_210G entstandene Geschiebeablagerung hinter der Buhne zielt die Hauptströmung bereits von Beginn an Richtung V-Rechen, siehe Abb. 7-8 und Abb. 7-9. In Folge dessen ist die abgelagerte Schwemmholzmenge im V-Rechen, im Vergleich zu den vorhergehenden Versuchen, deutlich grösser.



Abb. 7-9: Die Strömung wird durch die Buhne und Kiesbank direkt in den V-Rechen gelenkt.

Element	Schwemmholzverteilung [% (m ³)]
Parallelrechen	50 (600)
V-Rechen	36 (430)
Buhne	2 (30)
Sonstige	3 (40)
Austrag	9 (100)

Tab. 7-4: Schwemmholzverteilung des Versuches B2_2.2_210G

Fazit

Die lenkende Wirkung der Kiesbank im Strömungsschatten der Buhne ist bei diesem Versuch massgebend für den grossen Schwemmholzrückhalt im V-Rechen. Die Frage ist nun, ob die Kiesbank im Strömungsschatten der Buhne bestehen bleibt.

7.1.7 Versuch B2_2.3_210G

Ausgangslage

Als Lenkelement dient bei diesem Versuch eine Buhne von 11 m Länge, 11 m Breite und 2.5 m Höhe. Die Buhne liegt auf dem QP M663, siehe Abb. 7-10. Die Sohle ist für den Versuch mittels Gegenprofilen neu eingebaut (Ausgangszustand) worden und

ca. 7 h bei einem Abfluss von $20 \text{ m}^3/\text{s}$ Abfluss zur Strukturbildung beschickt worden, siehe Abb. 7-10.



Abb. 7-10: Strömungslage vor dem Versuch. Die Niederwasserrinne zielt links am V-Rechen vorbei.

Beobachtungen

Die lenkende Wirkung der Buhne ist vor der Hochwasserspitze zu gering um das Schwemmmholz in den V-Rechen zu lenken. Erst bei abklingendem Hochwasser wird die Strömung in den V-Rechen gelenkt. Der Grund dafür ist eine grösere Geschiebebank, welche sich bei dem Versuch hinter der Buhne (flussabwärts) bildet, siehe Abb. 7-11.



Abb. 7-11: Die entstandene Geschiebebank im Strömungsschatten der Buhne ist deutlich sichtbar.

Element	Schwemmholtverteilung [% (m ³)]
Parallelrechen	63 (760)
V-Rechen	16 (190)
Buhne	4 (40)
Sonstige	2 (30)
Austrag	15 (180)

Tab. 7-5: Schwemmholtverteilung des Versuches B2_2.3_210G.

Fazit

Die lenkende Wirkung der Buhne ist nicht genügend stark um die Strömung in den V-Rechen zu lenken. Jedoch entsteht auch bei diesem Versuch eine Kiesbank im Strömungsschatten der Buhne, welche die Strömung in Richtung des V-Rechens lenkt.

7.1.8 Versuch B2_3.1_210G

Ausgangslage

Als Lenkelement dient bei diesem Versuch eine Buhne von 5 m Länge, 5 m Breite und 2.5 m Höhe kombiniert mit einer Insel von 10 m Länge, 10 m Breite und 2.5 m Höhe. Die Buhne liegt auf dem QP M663 und die Insel liegt auf dem QP M698 siehe Abb. 7-12. Die Geschiebeablagerungen vom Vorversuch wurden entfernt.



Abb. 7-12: Strömungslage vor dem Versuch. Die Niederwasserrinnen zielen links am V-Rechen vorbei.

Beobachtungen

Durch die der Insel vorgelagerte Buhne wird das Schwemmholt direkt auf die Insel gelenkt. Die Insel teilt die Hauptströmung und damit auch den Schwemmholtteppich auf. Jedoch ist die lenkende Wirkung der Insel zu gering um das Schwemmholt in den V-Rechen zu lenken, siehe Abb. 7-13.



Abb. 7-13: Durch die Insel wird die Strömung geteilt, jedoch nicht in den V-Rechen gelenkt.

Element	Schwemmholzverteilung [% (m³)]
Parallelrechen	57 (690)
V-Rechen	18 (210)
Insel	7 (90)
Sonstige	3 (40)
Austrag	15 (170)

Tab. 7-6: Schwemmholzverteilung des Versuches B2_3.1_210G.

Fazit

Die lenkende Wirkung der Kombination Buhne mit Insel ist zu gering, um die Hauptströmung in den V-Rechen zu lenken.

7.1.9 Versuch B2_3.2_210G

Ausgangslage

Als Lenkelement dient bei diesem Versuch eine Buhne von 5 m Länge, 5 m Breite und 2.5 m Höhe kombiniert mit einem Rechenelement (Länge 5 m) auf der Insel von 10 m Länge, 10 m Breite und 2.5 m Höhe. Die Buhne liegt auf dem QP M663 und die Insel liegt auf dem QP M698 siehe Abb. 7-14. Die Geschiebeablagerungen vom Vorversuch wurden entfernt.



Abb. 7-14: Strömungslage vor dem Versuch. Die Niederwasserrinnen zielen links am V-Rechen vorbei.

Beobachtungen

Die Buhne lenkt die Hauptströmung in Richtung der Insel mit Rechen. Durch die Insel wird die Hauptströmung aufgeteilt. Jedoch ist die lenkende Wirkung der Insel mit Rechen bei der ersten Schwemmholzfracht nicht genügend stark um die Strömung in den V-Rechen zu lenken. Bei der zweiten Schwemmholzbeigabe wird ein Teil des Schwemmholzes in den V-Rechen gelenkt.



Abb. 7-15: Durch die Insel wird die Strömung geteilt, jedoch nicht in den V-Rechen gelenkt.

Da im Parallelrechen die Aufladungen nicht genügend abgetragen wurden, landet das Schwemmholz der ersten Schwemmholzfracht kurzfristig auf der Kiesbank auf. Das Schwemmholz wird jedoch vom Strömungsdruck in den Parallelrechen gedrückt, sodass es nicht zu einer Verklausung der Öffnung kommt.

Element	Schwemmholtverteilung [% (m ³)]
Parallelrechen	40 (490)
V-Rechen	34 (410)
Insel	5 (60)
Sonstige	3 (30)
Austrag	18 (210)

Tab. 7-7: Schwemmholtverteilung des Versuches B2_3.2_210G.

Fazit

Die lenkende Wirkung der Kombination „Buhne mit Insel mit Rechen“ ist für die erste Schwemmholtfracht zu gering um den V-Rechen deutlich anzuströmen. Massgebend für einen grossen Schwemmholtrückhalt durch den V-Rechen ist die Lage der Niederwasserrinne beziehungsweise die Strömungslage im Bereich des V-Rechens vor dem Hochwasser.

7.1.10 Versuch B2_3.3_210G bis B2_3.4_210G

Versuchswiederholungen anlässlich Modellbesichtigungen.

Ausgangslage

Als Lenkelement dient bei diesem Versuch eine Buhne von 5 m Länge, 5 m Breite und 2.5 m Höhe kombiniert mit einem Rechenelement (Länge 5 m) auf der Insel von 10 m Länge, 10 m Breite und 2.5 m Höhe. Die Buhne liegt auf dem QP M663 und die Insel liegt auf dem QP M698 siehe Abb. 7-14.

Beobachtungen/Fazit

Die Versuche 3.3_210G und B2_3.4_210G ergaben keine neuen Erkenntnisse. Die Luftaufnahmen der Versuche sowie Filme sind dennoch im Anhang bez. USB Stick abgelegt.

7.1.11 Zusammenfassung Versuchsserie B2

Die Strömung kann für die erste Schwemmholtfracht mit keiner Variante genügend stark in den V-Rechen umgelenkt werden. Massgebend für einen erfolgreichen Holzrückhalt im V-Rechen ist die Lage der Niederwasserrinnen und der Kiesbänke vor einem Ereignis.

Die lenkenden Elemente kommen erst während des Hochwassers zur Geltung. Daher können Schwemmholtmengen im Bereich der Hochwasserspitze, sowie bei abklingendem Hochwasser eher in den V-Rechen gelenkt werden.

7.1.12 Folgerung Versuchsserie B2

Grundsätzlich besteht das Problem, dass die erste Schwemmholtfracht bei einem Gewitterereignis flutwellenartig auf einen Niederwasserabfluss folgt. Wodurch die lenkenden Elemente, je nach Lage der Niederwasserrinne, nicht angeströmt werden.

Folglich muss die erste grössere Schwemmholtfracht mit dem Parallelrechen zurückgehalten oder die Niederwasserrinne in Richtung des V-Rechens gelenkt werden.

Die Sohlenlage sowie die Lage der Kiesbänke sind massgebend für ein frühes Anspringen des V-Rechens. Demzufolge soll untersucht werden, ob die Lage des Gerinnes sowie der Kiesbänke mittels Lenkelementen stabilisiert werden können. Wodurch der V-Rechen bei der ersten Schwemmholtfracht besser ausgenutzt würde.

7.2

Serie B3

Für alle Versuche der Serie B3 des Holzrückhaltes sind im Anhang Luftaufnahmen des Modells nach dem Versuch, ein Plan (Situation) zur Modellübersicht und die Koordinaten zur Lage der Rechenstäbe abgelegt. Ebenfalls sind die Filme zu den Versuchen auf dem USB-Stick beigelegt.

7.2.1

Problemstellung

In der Versuchsserie B3 wird eine Verdoppelung des Rechenabstandes von 2.5 m auf 5 m untersucht. Dabei werden die Rechenstäbe mit Stahlseilen auf 2 m, 3 m sowie 4 m über Terrain verbunden. Durch die grösseren Stababstände soll die Räumung der Rechen nach einem Ereignis mittels grosser Maschinen verbessert und zusätzlich Kosten beim Rechenbau eingespart werden. Ebenfalls wird mit der Versuchsserie B3 den maximal möglichen Schwemmholtzrückhalt des Parallelrechens mittels stationären Abflüssen ermittelt.

Randbedingungen

Die Sohle ist auf der ganzen Modelllänge beweglich eingebaut. Im Bereich M725 bis M950 ist der Fels eingebaut. Als Grundlagen dafür dienten GPS Vermessungen des anstehenden Fels durch die HSR sowie eine geologische Felsuntersuchung der BIG AG [10]. Neben dem Fels wurde auch die Waldgrenze im Bereich M725 bis M800 neu vermessen und im Modell angepasst. Der Waldrand sowie die bewaldete Halbinsel im Bereich M750 bis M825 werden mittels Filtermatten nachgebildet. Die Geschiebebeigabe erfolgt bei dieser Versuchsserie reduziert (50% der Transportfunktion). Der Versuch erfolgt mit stationären Abflüssen der lang andauernden Ereignisse HQ₁₀₀ (119 m³/s) sowie HQ₃₀₀ (142 m³/s). Als erstes wird bei einem Abfluss von 119 m³/s eine Schwemmholtfracht beigegeben. Anschliessend erfolgen drei Schwemmholtfrachten bei einem Abfluss von 142 m³/s und die letzte Schwemmholtfracht bei einem Abfluss von 119 m³/s. Die totale Schwemmholtzbeigabe entspricht 3600 m³ (fest), wobei alle fünf Schwemmholtfrachten gleich gross sind (720 m³). Der Stababstand der Rechen beträgt 5 m. Zwischen den Rechenstäben werden auf einer Höhe von 2 m, 3 m und 4 m ab Terrain je ein Stahlseil gespannt, siehe Abb. 7-16. Ebenfalls wird der V-Rechen bis an den Hangfuss verlängert und der Parallelrechen auf seine maximale Grösse ausgebaut, siehe Abb. 7-16. Oberhalb des V-Rechens wird eine Lenkbuhne eingebaut, entsprechend dem Versuch B2_2.1_210G.



Abb. 7-16: Erweiterter Parallelrechen und bis an den Hangfuss verlängerter V-Rechen.

7.2.2 Versuch B3_1.1_119_142S

Ausgangslage

Als Lenkelement dient bei diesem Versuch eine Buhne von 11 m Länge, 11 m Breite und 2.5 m Höhe. Die Buhne liegt auf dem QP M663, siehe Abb. 7-10. Die Sohle ist für den Versuch mittels Gegenprofilen neu eingebaut (Ausgangszustand).

Beobachtungen

Das Rechensystem mit einem Stababstand von 5 m sowie den quergespannten Stahlseilen hält das Schwemmmholz gut zurück. Ebenfalls sind die Höhen der Stahlseile gut gewählt wie in der Abb. 7-17 zu sehen ist.



Abb. 7-17: Rechensystem mit einem Stababstand von 5 m sowie drei quer gespannten Stahlseilen.

Durch die erste Schwemmmholzfracht verklaust der Parallelrechen auf der gesamten Länge, siehe Abb. 7-18, dadurch wird bei den weiteren Schwemmmholzfrachten kein Schwemmmholz durch den Rechen weitergeleitet. Jedoch wird bis zur Verklausung des Parallelrechens Schwemmmholz aus dem Rechen ausgetragen. Die Schwemmmholzfrachten zwei bis vier werden zu einem grossen Teil im Parallelrechen aufgenommen. Die letzte Schwemmmholzfracht wird zum grössten Teil am Parallelrechen vorbeigeleitet, da kein Platz mehr im Rechen vorhanden ist, siehe Abb. 7-18 bis Abb. 7-22. Bei diesem Versuch wird im Parallelrechen gesamthaft 2'500 m³ Schwemmmholz zurückgehalten. Dabei weist die maximale Schwemmmholzablagerung im Eingangsbereich des Parallelrechens eine Höhe von 3.5 m bis 4.5 m auf. Im hinteren Bereich des Parallelrechens beträgt die Lagerungshöhe des Schwemmmholzes ca. 2 m. Im V-Rechen lagern sich nur geringe Schwemmmholzmengen ab, da der Rechen nicht direkt angeströmt wird und die Abflusstiefen auf der Kiesbank vor dem V-Rechen zu gering sind.

Die maximale Schwemmholtablagerung beträgt im V-Rechen ca. 2 m und im Bereich der Lenkbuhne ca. 3 m.



Abb. 7-18: Schwemmholtablagerung nach erster Schwemmholtfracht von 720 m^3 fest.



Abb. 7-19: Parallelrechen nach der zweiten Schwemmholtfracht von 720 m^3 fest.



Abb. 7-20: Parallelrechen nach der dritten Schwemmholtfracht von 720 m^3 fest.



Abb. 7-21: Parallelrechen nach der vierten Schwemmholtfracht von 720 m^3 fest.



Abb. 7-22: Parallelrechen nach der fünften Schwemmholtfracht von 720 m^3 fest.

Element	Schwemmholtverteilung [% (m ³)]
Parallelrechen	69 (2'483)
V-Rechen	7 (267)
Buhne	5 (172)
Sonstige	1 (24)
Austrag	18 (654)

Tab. 7-8: Schwemmholtverteilung des Versuches B3_1.1_119_142S.

Fazit

Die grösseren Stababstände des Schwemmholtrechens in Kombination mit den Stahlseilen ergibt keine Reduktion des Schwemmholtrückhaltes.

Der Parallelrechen weist bei diesem Versuch ein Rückhaltvolumen von ca. 2'500 m³ Schwemmholt auf. Es kommt schon bei kleineren Schwemmholtfrachten (720 m³) zu einer beinahe kompletten Verklausung der ganzen Rechenlänge. Trotz einer Verklausung der gesamten Rechenlänge zielt die Hauptströmung in den Parallelrechen, wodurch der Geschiebetrieb stark beeinflusst wird, was zu Geschiebeablagerungen im Parallelrechen führt. Die Hauptströmung wird erst infolge der kompletten Verfüllung des Parallelrechens um den Rechen gelenkt, wodurch der Geschiebetrieb deutlich weniger beeinträchtigt wird als bei einem halb vollen Rechen. Auch besteht die Gefahr, dass es im Bereich der Öffnung des Parallelrechens zu einer Verklausung kommt, bevor der Rechen vollständig gefüllt ist. Der Grund dafür ist die Lage der Hauptströmung, welche bei einem leeren oder nicht vollständig gefüllten Parallelrechen in die Richtung der vordersten Rechenstäbe zielt.

7.2.3 Versuch B3_1.2_119_142S und B3_1.3_119_142S

Versuchswiederholung anlässlich Modellbesichtigungen.

Ausgangslage

Als Lenkelement dient bei diesen Versuchen eine Buhne von 11 m Länge, 11 m Breite und 2.5 m Höhe. Die Buhne liegt auf dem QP M663, siehe Abb. 7-10. Die Sohle ist für den Versuch mittels Gegenprofilen neu eingebaut.

Beobachtungen/Fazit

Die Versuche B3_1.2_119_142S und B3_1.3_119_142S bestätigen die im Versuch B3_1.1_119_142S gemachten Beobachtungen. Die Luftaufnahmen der Versuche sowie die Filme sind im Anhang bez. USB Stick abgelegt.

7.2.4 Zusammenfassung Versuchsserie B3

Bei den drei durchgeführten Versuchen liegt die im Parallelrechen zurückgehaltene Schwemmholtmenge zwischen 2'400 m³ und 2'500 m³. Die Ablagerungshöhe des Schwemmholzes ist im Bereich der Rechenöffnung des Parallelrechens am grössten (3.5 bis 4.5 m) und nimmt flussabwärts ab (ca. 2 m). Es können keine grösseren

Schwemmholzausträge aus dem Parallelrechen infolge des grösseren Stababstandes von 5 m beobachtet werden.

7.2.5 Folgerung Versuchsserie B3

Grundsätzlich können mit dem Parallelrechen grosse Schwemmholzmengen zurückgehalten werden. Einige Punkte müssen jedoch noch genauer untersucht werden. Der Parallelrechen birgt die Gefahr, dass bei Ereignissen der Rechen beim Eintritt verklaust und somit nicht gefüllt wird. Wodurch die Strömung nicht um den Rechen gelenkt wird und der Parallelrechen als Geschieberückhalt wirkt. Ebenfalls dürfen die Unterhaltsarbeiten nicht vernachlässigt werden, die durch die Räumung der Geschiebeablagerungen im Parallelrechen entstehen können. Die Lage der Öffnung des Parallelrechens muss mittels genauer Feldaufnahmen des Waldbereichs optimiert werden. Auch soll die Gefahr einer Verklausung der Öffnung des Parallelrechens genauer untersucht werden. Allenfalls kann die Strömungslage mit einem Abtrag der Felsnase im Bereich der Rechenöffnung stärker in den Parallelrechen gelenkt werden, um die Verklausungsgefahr zu minimieren.

7.3 Serie B4

Für den Versuch der Serie B4 des Holzrückhaltes sind im Anhang eine Luftaufnahme des Modells vor und nach dem Versuch, ein Plan (Situation) zur Modellübersicht und die Koordinaten zur Lage der Rechenstäbe abgelegt. Ebenfalls liegen die Filme zu dem Versuch auf dem USB-Stick bei.

7.3.1 Problemstellung

Mit dem Versuch B4 wird untersucht, ob der Parallelrechen aus der Serie B3 mit der im Bereich des Parallelrechens neu vermessenen Waldgrenze, siehe Abb. 7-23, und der daraus resultierenden Kürzung des Parallelrechens um einen Rechenstab (5 m) immer noch funktioniert.

7.3.2 Randbedingungen

Der Versuchsablauf entspricht dem der Serie B3, siehe 7.2.1.



Abb. 7-23: Der neu vermessene und ergänzte Waldbereich ist im Modell grün eingezzeichnet.

7.3.3 Versuch B4_1.1_119_142S

Beobachtungen

Durch die Kürzung des Parallelrechens um 5 m wird ca. 2'100 m³ Schwemmholt (vorher zwischen 2'400 m³ und 2'500 m³) zurückgehalten. Ansonsten hat die Kürzung keine weiteren negativen Einflüsse auf den Schwemmholtzrückhalt. Die Ablagerungshöhe des Schwemmholzes ist im Bereich der Rechenöffnung des Parallelrechens am grössten (3.5 m bis 4 m) und nimmt flussabwärts (ca. 2 m bis 3 m) ab. Durch die Anströmung der vordersten Rechenstäbe des Parallelrechens kommt es während des Versuches zu einer Teilverklausung der Rechenöffnung, siehe Abb. 7-24.



Abb. 7-24: Infolge der Strömungslage, siehe roter Pfeil, kommt es im Bereich der Öffnung des Parallelrechens zu einer Teilverklausung bei der ersten Schwemmholtzfracht (roter Kreis).

Mit der vierten Schwemmholtzfracht kommt es zu einer kompletten Verklausung der Öffnung des Parallelrechens. Jedoch ist der Parallelrechen zu diesem Zeitpunkt beinahe vollständig gefüllt. Infolge der Strömungslage in den Parallelrechen kommt es zu grossen Geschiebeablagerungen im Parallelrechen.

Element	Schwemmholtzverteilung [% (m ³)]
Parallelrechen	58 (2'080)
V-Rechen	20 (730)
Buhne	2 (70)
Sonstige	3 (120)
Austrag	17 (600)

Tab. 7-9: Schwemmholtzverteilung des Versuches B4_1.1_119_142S.

Fazit

Die Strömungslage im Bereich der Öffnung des Parallelrechens birgt die Gefahr einer frühzeitigen Verklausung der Rechenöffnung, wodurch das System im Ereignisfall versagen könnte. Teilverklausungen der Rechenöffnung konnten schon im Versuch

B3_1.1_119_142S beobachtet werden. Bezuglich des Rückhaltevolumens ergibt die Kürzung des Parallelrechens eine leichte Reduktion. Das Schutzziel HQ₁₀₀, Rückhalt von 2'000 m³ Schwemmholt im Parallelrechen, wird dennoch erreicht. In einem weiteren Schritt soll nun die Strömungslage im Bereich des Parallelrechens weiter optimiert werden, um das Verklausen der Parallelrechenöffnung verhindern zu können.

7.4

Serie B5

Für den Versuch der Serie B5 des Holzrückhaltes sind im Anhang eine Luftaufnahme des Modells vor und nach dem Versuch, ein Plan (Situation) zur Modellübersicht und die Koordinaten zur Lage der Rechenstäbe abgelegt. Ebenfalls liegen die Filme zu dem Versuch auf dem USB-Stick bei.

7.4.1

Problemstellung

In der Serie B5 soll die Strömungslage im Bereich der Öffnung des Parallelrechens durch einen Felsabtrag optimiert werden.

7.4.2

Randbedingungen

Der Versuchsablauf entspricht dem der Serie B3, siehe Kapitel 7.2.



Abb. 7-25: Abtrag der Felsnase im Bereich M800 bis M825, zur Strömungsoptimierung.

7.4.3

Versuch B5_1.1_119_142S

Beobachtungen

Durch den Felsabtrag im Bereich M800 bis M825 wird die Strömung direkt in den Parallelrechen gelenkt. Wodurch der Rechen von hinten nach vorne aufgefüllt wird, siehe Abb. 7-26. Es kommt zu keinen Schwemmholtansammlungen im Bereich der Rechenöffnung des Parallelrechens, bevor dieser vollständig gefüllt ist. Durch die Strömungslage direkt in den Parallelrechen kommt es zu starken Auflandungen im Parallelrechen.



Abb. 7-26: Parallelrechen nach erster Schwemmholzfracht von 720 m³ fest.

Der Modellaustrag beträgt bei diesem Versuch ca. 430 m³ Schwemmholz fest, siehe Abb. 7-27 und Tab. 7-10.



Abb. 7-27: Schwemmholzablagerungen nach dem Modellversuch B5_1.1_119_142S.

Element	Schwemmholzverteilung [% (m ³)]
Parallelrechen	60 (2'160)
V-Rechen	20 (700)
Buhne	1 (50)
Sonstige	7 (260)
Austrag	12 (430)

Tab. 7-10: Schwemmholzverteilung des Versuches B5_1.1_119_142S.

Fazit

Durch den Felsabtrag kann die Gefahr einer Verklausung der Rechenöffnung stark reduziert werden. Die Problematik der Geschiebeablagerungen im Parallelrechen wird durch die neue Strömungssituation zusätzlich verschärft. Daher soll in einem weiteren Schritt untersucht werden, wie der Geschiebetransport um den Parallelrechen verbessert werden kann.

7.5 Serie B6

Für alle Versuche der Serie B6 des Holzrückhaltes Zulg sind im Anhang Pläne (Situation) zur Modellübersicht (Streichwehrvarianten) und die Koordinaten zur Lage der Rechenstäbe abgelegt. Ebenfalls liegen die Filme zu den Versuchen auf dem USB-Stick bei.

7.5.1 Veranlassung der Versuchsserie B6

In den Systemoptimierungsversuchen der Serien B3 bis B5 wurde deutlich aufgezeigt, dass durch den teilverklausten Parallelrechen der Geschiebetrieb stark beeinträchtigt wird. Infolge dessen wurde entschieden mit der Serie B6 einige Optimierungsvarianten bezüglich Verbesserung des Geschiebetransports durchzuführen.

7.5.2 Problemstellung

Der Geschiebetrieb soll optimiert werden ohne den Schwemmholtzrückhalt massgebend zu reduzieren. Dazu werden verschiedene Streichwehr Varianten untersucht. Grundsätzlich sollen kleinere Ereignisse um den Parallelrechen gelenkt werden und Schwemmholtzfrachten ab einem Abfluss von 100 m³/s (Annahme für Versuchsserie) sicher zurückgehalten werden.

7.5.3 Randbedingung

Alle Versuche werden mit stationären Abflüssen zwischen 80 und 210 m³/s durchgeführt. Die Beurteilung der Versuche erfolgt visuell.

7.5.4 Versuch B6_1.1_80÷210S

Die Lage des Streichwehrs wird so gewählt, dass der Abflusskorridor zwischen der bewaldeten Halbinsel und dem Streichwehr dem Abstand der Rechenstäbe des Parallelrechens und dem rechten Ufer entspricht, siehe Abb. 7-28. Das Streichwehr springt bei einem Abfluss von 80 m³/s an und weist eine Höhendifferenz von 0.9 m über die Länge von ca. 45 m auf. Die Koten des eingebauten Streichwehrs sind in der Abb. 7-28 aufgeführt. Im Bereich der Rechenstäbe des Parallelrechens wird Sohlenmaterial angehäuft, sodass kleine Abflüsse um den Rechen geleitet werden.

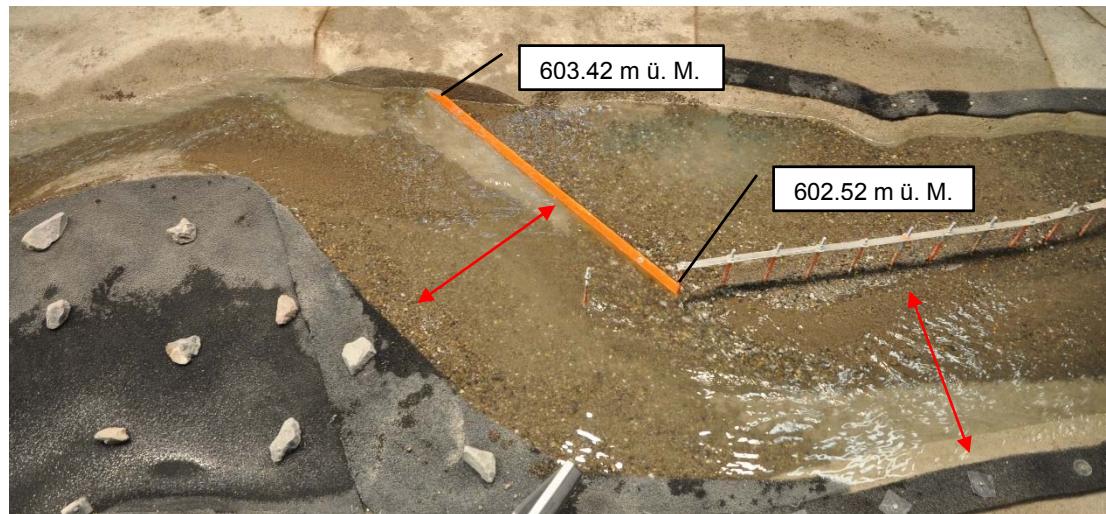


Abb. 7-28: Streichwehr vor dem Parallelrechen.

Zusammenfassung / Folgerung

Bei einem Abfluss von $80 \text{ m}^3/\text{s}$ wird das Streichwehr leicht überströmt. Der gesamte Geschiebetransport findet ausserhalb des Rechens statt. Bei einem Abfluss von $100 \text{ m}^3/\text{s}$ werden einzelne Stämme noch über das Streichwehr gespült. Kleinere zusammenhängende Schwemmholtfrachten gelangen nur zu einem geringen Teil in den Parallelrechen. Es bildet sich am vordersten Pfosten des Parallelrechens eine Verklausung. Erst bei einem Abfluss von $150 \text{ m}^3/\text{s}$ werden einzelne Stämme und kleinere Schwemmholtteppiche zuverlässig im Rechen abgelagert. Bei einem Abfluss von $210 \text{ m}^3/\text{s}$ funktioniert der Schwemmholtzrückhalt durch den Parallelrechen problemlos. Durch das Streichwehr wird das Geschiebe grössten Teils um den Parallelrechen geleitet. Erst bei grösseren Abflüssen kommt es am Ende des Streichwehrs zu einem geringen Geschiebeeintrag in den Bereich des Parallelrechens.

Durch das Streichwehr lassen sich grosse Geschiebeablagerungen im Parallelrechen verhindern. Die Überfallkante des Streichwehrs ist bei diesem Versuch zu hoch, so dass bei einem Abfluss bis $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ein sicherer Rückhalt grosser Schwemmholtfrachten nicht möglich ist. Durch den geringen Strömungsdruck im Parallelrechen wird das Schwemmholt weniger dicht gelagert, was zu einer Reduktion der Rechenkapazität führt.

7.5.5 Versuch B6_2.1_80÷210S

Die Lage des Streichwehrs wird gegenüber dem Versuch B6_1.1_80÷210S nicht verändert. Jedoch wird die Überfallkante des Streichwehrs parallel um 0.45 m gesenkt, siehe Koten in der Abb. 7-29.

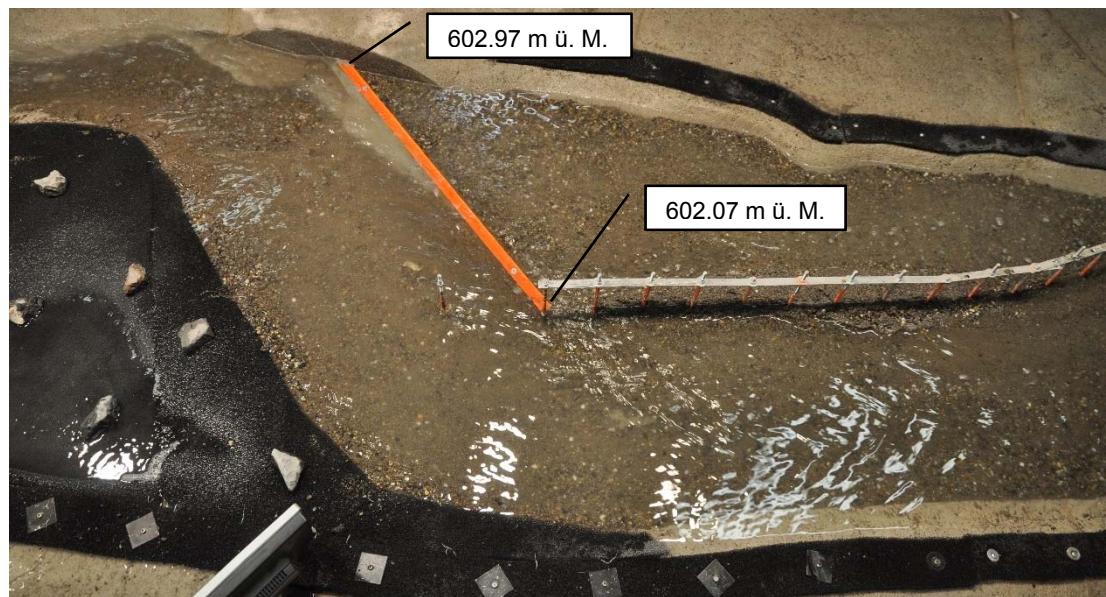


Abb. 7-29: Lage und Koten des Streichwehrs beim Versuch B6_2.1_80÷210S.

Zusammenfassung / Folgerung

Der Geschiebetransport findet bei Abflüssen bis $80 \text{ m}^3/\text{s}$ ausschliesslich ausserhalb des Parallelrechens statt. Jedoch liegt die Kante des Streichwehres (602.07 m ü. M.) zu tief, um den Geschiebetrieb bei grösseren Abflüssen um den Parallelrechen zu lenken. Bei einem Abfluss von $100 \text{ m}^3/\text{s}$ gelangen einzelne Stämme zuverlässig in den Parallelrechen. Erst bei einem Abfluss von $150 \text{ m}^3/\text{s}$ werden grössere Schwemmholzteppiche in den Parallelrechen geleitet.

Bezüglich des Geschiebetransportes um den Parallelrechen liegt das Ende des Streichwehres zu tief. Ab einem Abfluss von $80 \text{ m}^3/\text{s}$ lagern sich grössere Geschiebemengen im Parallelrechen ab. Das Streichwehr soll im oberen Bereich noch abgesenkt werden, um den Schwemmholzeintrag in den Parallelrechen zu verbessern.

7.5.6 Versuch B6_3.1_80÷150S

Das Streichwehr des Versuches B6_2.1_80÷210S wird um einen Drittel der Länge eingekürzt und abgewinkelt, siehe Abb. 7-30. Ebenfalls wird der Höhenunterschied des Streichwehrs im Vergleich zum Versuch B6_2.1_80÷210S halbiert, siehe Koten in Abb. 7-30. Durch das Abwinkeln des Streichwehrs soll der Geschiebeeintrag in den Parallelrechen verhindert werden und gleichzeitig der Geschiebetransport um und durch den Rechen (oberhalb des Streichwehrs) verbessert werden.

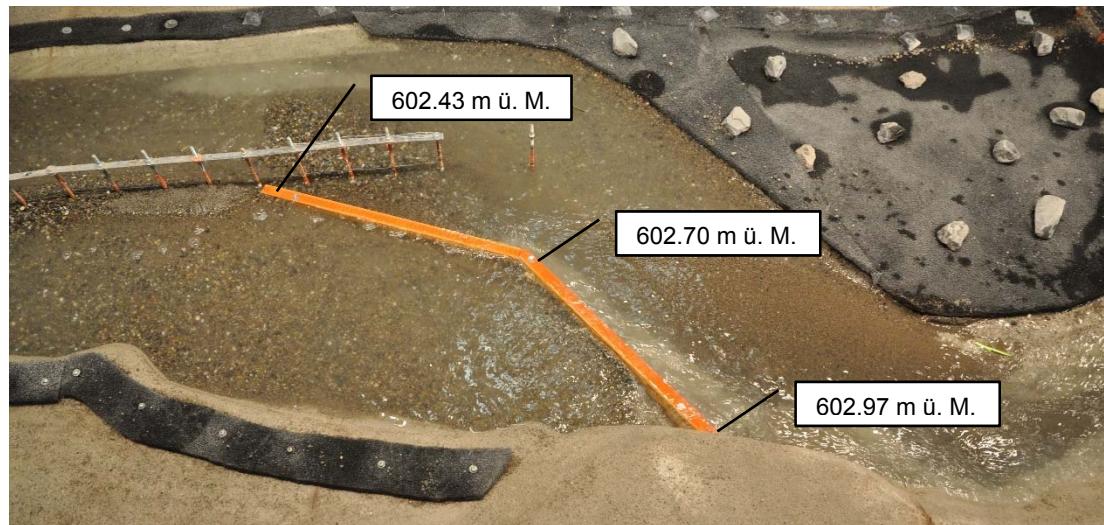


Abb. 7-30: Lage und Koten des Streichwehrs beim Versuch B6_3.1_80÷150S.

Zusammenfassung / Folgerung

Durch die abgewinkelte Form des Streichwehrs kann über die gesamte Versuchsdauer der Geschiebeeintrag in den Parallelrechen verhindert werden. Oberhalb des Streichwehrs wird im Bereich des Rechens nur Geschiebe transportiert, wenn der Rechen an dieser Stelle nicht verklaut ist. Das Geschiebe lagert sich ausserhalb des Parallelrechens ab, siehe Abb. 7-31.

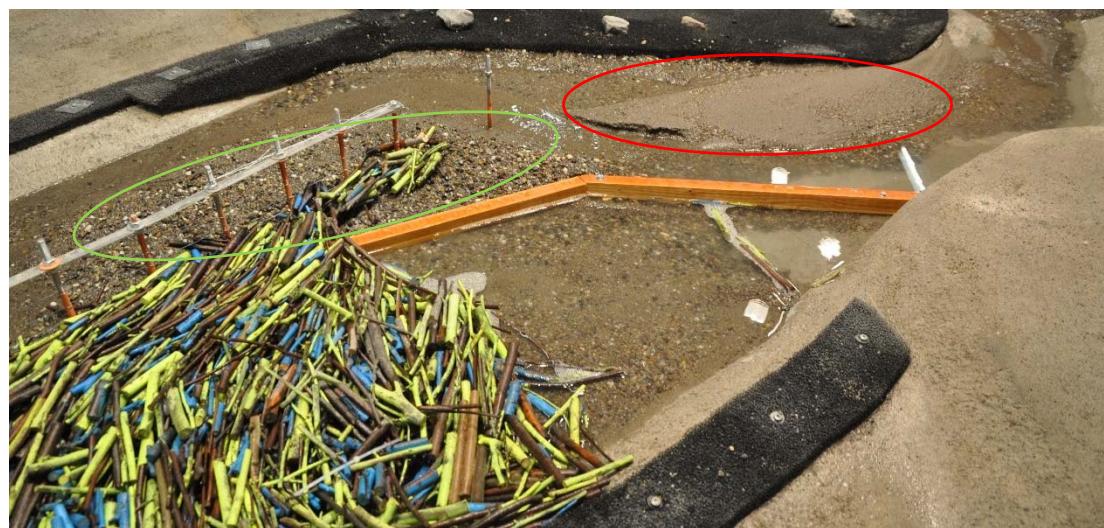


Abb. 7-31: Geschiebeablagerung (rot markiert) ausserhalb des Parallelrechens nach dem Versuch B6_3.1_80÷150S.

Einzelne Stämme (grün markiert) werden bei einem Abfluss von $80 \text{ m}^3/\text{s}$ entweder durch die Rechenstäbe oberhalb des Streichwehrs gelenkt oder lagern sich dort ab. Ab einem Abfluss von $100 \text{ m}^3/\text{s}$ werden einzelne Stämme zuverlässig im Parallelrechen abgelagert. Ab $150 \text{ m}^3/\text{s}$ gelangen grössere, zusammenhängende Schwemmholtfrachten in den Parallelrechen.

Prinzipiell kann das System mit dem abgewinkelten Streichwehr funktionieren, wenn das Schwemmholt zuverlässig über die flussaufwärts liegende Hälfte des Streichwehrs in den Parallelrechen gelangt. Die Höhe (602.97 m ü. M.) der Überfallkante im oberen Bereich des Streichwehres muss noch weiter angepasst werden, um einen

optimalen Schwemmholzeintrag in den Parallelrechen zu ermöglichen. Der Geschiebetransport kann mit dem abgewinkelten Streichwehr deutlich verbessert werden.

7.5.7 Versuch B6_4.1_80÷150S

In diesem Versuch wird der flussabwärts liegende, abgewinkelte Teil des Streichwehrs des Versuches B6_3.1_80÷150S weggelassen, siehe Abb. 7-32.

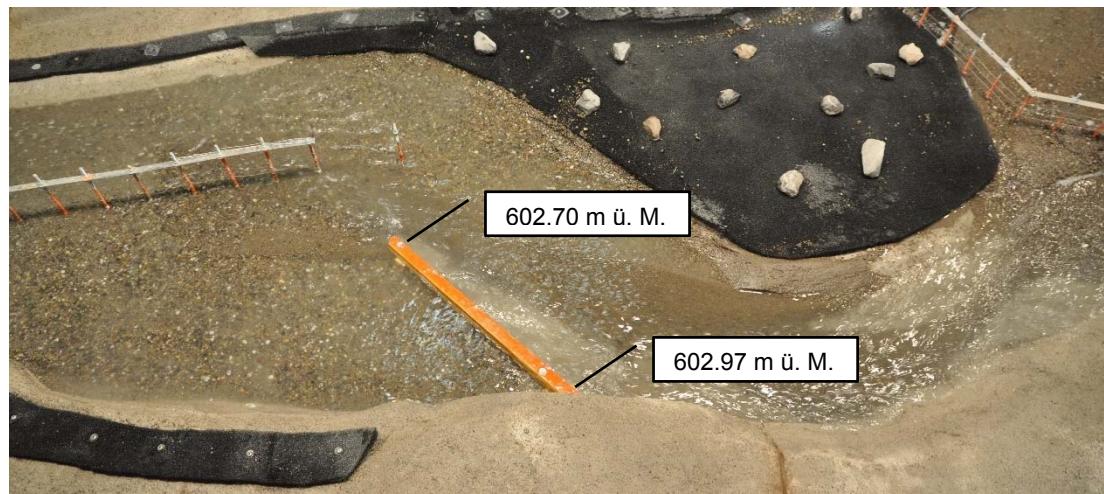


Abb. 7-32: Lage und Koten des Streichwehrs beim Versuch B6_4.1_80÷150S.

Zusammenfassung / Folgerung

Das Transport- sowie Ablagerungsverhalten des Schwemmholzes entspricht dem Versuch B6_3.1_80÷150S. Durch diese Streichwehrgeometrie kommt es zu deutlichen Geschiebeablagerungen im Parallelrechen, siehe Abb. 7-33 und zu einer Verschlechterung des Geschiebetransports um den Parallelrechen. Somit hat die Kürzung des Streichwehres keine positiven Aspekte.



Abb. 7-33: Deutliche Geschiebeablagerungen (rot markiert) im Bereich ohne Streichwehr.

7.5.8 Versuch B6_5.1_80÷150S

In diesem Versuch wird die Gerinnebreite im Bereich des Streichwehres reduziert, wodurch der Parallelrechen dieselbe Geometrie wie in der Serie B5 aufweist. Die Überfallkante des Streichwehres wird horizontal ausgebildet, siehe Abb. 7-34.

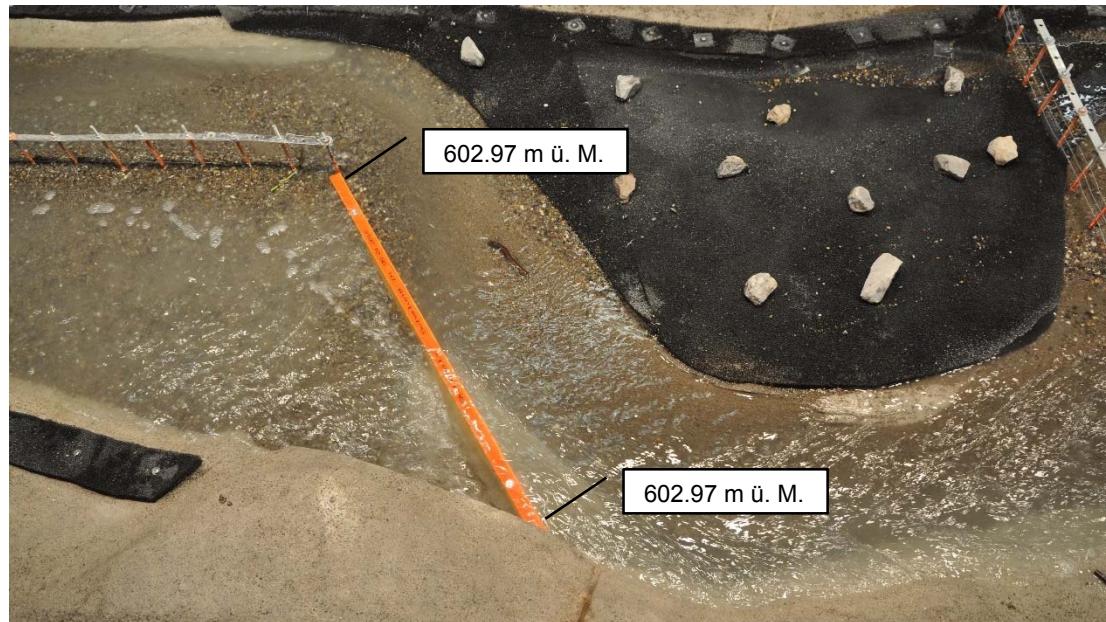


Abb. 7-34: Lage und Koten des Streichwehrs beim Versuch B6_5.1_80÷150S.

Zusammenfassung / Folgerung

Ab einem Abfluss von $80 \text{ m}^3/\text{s}$ werden einzelne Stämme im Parallelrechen abgelagert. Grössere Schwemmholzteppiche werden ab einem Abfluss von $100 \text{ m}^3/\text{s}$ zurückgehalten und grössere Geschiebeinträge in den Parallelrechen durch das Streichwehr verhindert. Das Geschiebe wird grösstenteils ausserhalb des Parallelrechens transportiert und abgelagert.



Abb. 7-35: Rot markiert sind die Geschiebeablagerungen ausserhalb des Parallelrechens.

Die Überfallkante des Streichwehres ist bezüglich eines sicheren Schwemmholzrückhaltes ab einem Abfluss von $100 \text{ m}^3/\text{s}$ optimal gewählt. Das Geschiebe wird deutlich besser um den Parallelrechen transportiert und weitergeleitet.

7.5.9 Zusammenfassung Versuchsserie B6

Durch den Einbau eines Streichwehres kann der Geschiebetransport deutlich verbessert und die Geschiebeablagerungen im Parallelrechen reduziert werden.

Durch die Engstelle oberhalb des Streichwehres erfolgt der Abfluss bei Hochwasser gemäss Modellversuche immer über den Fels. Dadurch ist die Lage der Überfallkante nicht von allfälligen Geschiebeablagerungen in diesem Bereich abhängig.

Damit der Parallelrechen funktioniert, müssen grössere Geschiebeablagerungen in dessen Bereich entfernt werden, wodurch die Funktionalität eines Streichwehres gewährleistet sein sollte.

7.5.10 Folgerung Versuchsserie B6

Um den Geschiebetransport möglichst wenig zu beeinflussen, ist ein Streichwehr zu empfehlen. Daher wird empfohlen die Variante Streichwehr auf deren Funktionalität und Wirkung mittels Ganglinien zu überprüfen.

7.6 Serie B7

Für alle Versuche der Serie B7 des Holzrückhaltes sind im Anhang Luftaufnahmen vom Zustand vor und nach dem Versuch, ein Plan (Situation) zur Modellübersicht und die Koordinaten zur Lage der Rechenstäbe abgelegt. Ebenfalls sind die Filme zu den Versuchen auf dem USB-Stick beigelegt.

7.6.1 Problemstellung

In der Serie B7 wird die Streichwehrgeometrie des Versuches B6_5.1_80_150S bezüglich Schwemmholzrückhaltevolumen im Parallelrechen untersucht.

7.6.2 Randbedingungen

Der Versuchsablauf entspricht dem der Serie B3 bis B5. Den Rechenstäben des Parallelrechens entlang wird Geschiebe aufgehäuft, sodass kleinere Abflüsse um den Parallelrechen geleitet werden können, siehe Abb. 7-36.



Abb. 7-36: Der Niederwasserabfluss um den Parallelrechen (Fließrichtung von links nach rechts).

7.6.3 Versuch B7_1.1_119_142S

Die Überfallkante des Streichwehres weist auf der gesamten Länge eine Kote von 602.97 m ü. M. auf.

Beobachtungen

Die erste Schwemmholtfracht bei einem Abfluss von $119 \text{ m}^3/\text{s}$ (HQ_{100}) gelangt nur zur Hälfte in den Parallelrechen. Die Überfallkante liegt für diesen Abfluss zu hoch. Ebenfalls bleibt eine grössere Schwemmholtzansammlung direkt hinter dem Streichwehr liegen, dies infolge zu geringer Wassertiefe und fehlenden Strömungsdruck auf der Geschiebebank, siehe Abb. 7-37.



Abb. 7-37: Schwemmholtzablagerung in der Öffnung des Parallelrechens.

Die Schwemmholtfrachten zwei bis vier bei einem Abfluss von $142 \text{ m}^3/\text{s}$ (HQ_{300}) können alle im Parallelrechen zurückgehalten werden. Die fünfte Schwemmholtfracht wieder bei einem Abfluss von $119 \text{ m}^3/\text{s}$, wird ebenfalls zu grossen Teilen durch den V-Rechen und den Parallelrechen zurückgehalten. Die Ablagerungshöhe des Schwemmholzes ist im Bereich der Rechenöffnung des Parallelrechens am grössten (3.1 m bis 3.6 m) und nimmt flussabwärts (ca. 1.8 m bis 2.7 m) ab. Im V-Rechen fallen die Ablagerungshöhen noch etwas geringer aus (1.5 m und 3 m). Auf der Kiesbank, welche durch die Lenkbuhne entsteht, kommt es ebenfalls zu Schwemmholtzablagerungen, siehe Abb. 7-38. Durch das Streichwehr wird über die gesamte Versuchsdauer kein Geschiebe in den Parallelrechen eingetragen. Der Geschiebetransport findet ausserhalb des Parallelrechens statt.

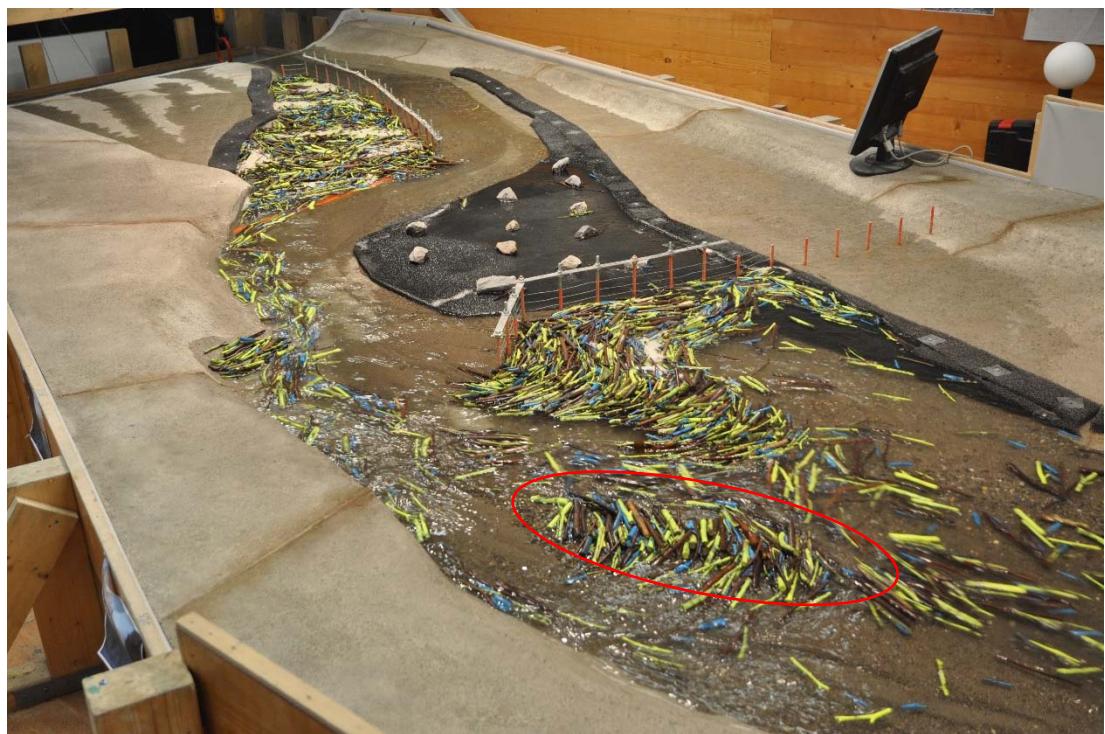


Abb. 7-38: Die Schwemmmholzablagerung auf der Kiesbank ist rot markiert. Aufnahme während dem Versuch.

Element	Schwemmmholzverteilung [% (m ³)]
Parallelrechen	56 (2'001)
V-Rechen	24 (873)
Buhne	2 (56)
Sonstige	6 (235)
Austrag	12 (434)

Tab. 7-11: Schwemmmholzverteilung des Versuches B7_1.1_119_142S

Fazit

Das System Parallelrechen mit vorgesetztem Streichwehr funktioniert bei einem Abfluss von 142 m³/s gut. Jedoch liegt die Überfallkante für den Abfluss von 119 m³/s noch zu hoch. Das Schwemmmholz gelangt nur teilweise in den Parallelrechen und es kommt zu Schwemmmholzablagerungen in der Öffnung des Parallelrechens. Das Geschiebe wird durch das Streichwehr um den Parallelrechen gelenkt.

7.6.4 Versuch B7_2.1_119_142S

Die Überfallkante des Streichwehres steigt in Fließrichtung an. Der tiefere Punkt stromaufwärts weist eine Höhe von 602.50 m ü. M. (Fels ca. 602.00 m ü. M.) und die Kote stromabwärts eine Höhe von 603.00 m ü. M. auf, siehe Abb. 7-39.



Abb. 7-39: Mit der Fließrichtung ansteigendes Streichwehr (Fließrichtung von links nach rechts).

Beobachtungen

Die erste Schwemmholtfracht bei einem Abfluss von 119 m³/s wird im Parallel- sowie im V-Rechen zurückgehalten. Der Schwemmholtteppich gelangt problemlos über das Streichwehr in den Parallelrechen. Die Schwemmholtfrachten zwei bis vier bei einem Abfluss von 142 m³/s werden auch in den Rechen zurückgehalten. Bei der fünften Schwemmholtfracht kommt es zu einem grösseren Austrag, da der V- sowie der Parallelrechen nicht mehr genügend Rückhaltekapazität aufweisen (Holzrückhalt etwa gleich wie in den vorhergehenden Versuchen). Durch das Streichwehr kann der Geschiebeeintrag in den Parallelrechen stark verringert werden. Des Weiteren wird der Geschiebetransport ausserhalb des Parallelrechens gesteigert.

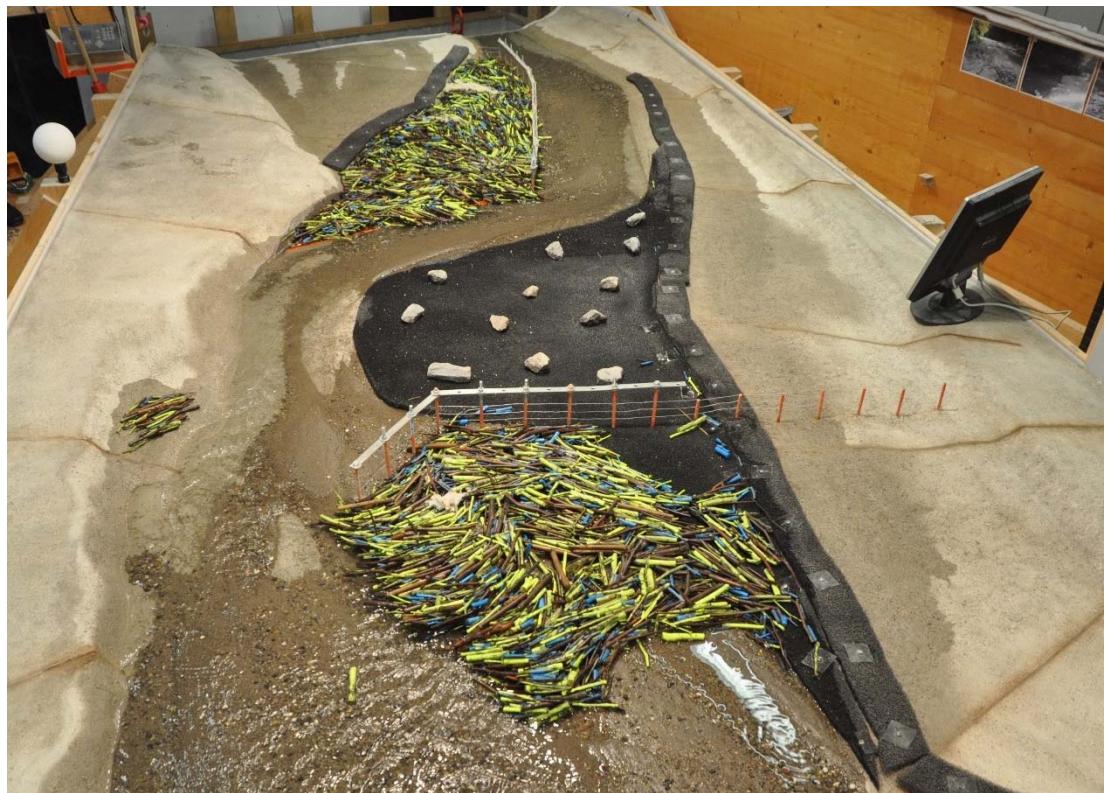


Abb. 7-40: Schwemmholtablagerungen im Rechen nach dem Versuch B7_2.1_119_142S.

Element	Schwemmholtverteilung [% (m ³)]
Parallelrechen	59 (2'130)
V-Rechen	22 (800)
Buhne	4 (140)
Sonstige	4 (130)
Austrag	11 (400)

Tab. 7-12: Schwemmholtverteilung des Versuches B7_2.1_119_142S.

Fazit

Durch das Streichwehr kann der Geschiebeeintrag in den Parallelrechen reduziert und der Geschiebetransport optimiert werden. Jedoch wird durch das Streichwehr der Strömungsdruck im Parallelrechen reduziert, wodurch das zurückgehaltene Schwemmholtvolumen abnimmt. Bei Schwemmholtfrachten mit kleinem Abfluss (z.B. Anschutz) besteht die Gefahr, dass das Schwemmholt nicht über das Streichwehr in den Parallelrechen gelangt.

7.7 Serie B8

Für die Versuche der Serie B8 des Holzrückhaltes sind im Anhang Luftaufnahmen vom Zustand vor und nach dem Versuch, zwei Pläne (Situation) zur Modellübersicht und die Koordinaten zur Lage der Rechenstäbe abgelegt. Ebenfalls sind die Filme zu den Versuchen auf dem USB-Stick beigelegt.

7.7.1 Veranlassung / Problemstellung der Serie B8

In der Sitzung vom 10.03.2017 wurde entschieden, dass die Variante Streichwehr für die Nachweisserie nicht weiter ausgearbeitet werden soll. Ein Streichwehr sei im Zulg-boden infolge der Sohlenschwankungen sowie aus morphologischen Gründen nicht optimal. Des Weiteren sei ein möglichst grosser Schwemmholzrückhalt erforderlich, auch wenn dadurch der Unterhalt (Baggerungen) des Systems grösser ausfällt. Das mit dem Anschutz anfallende Schwemmholz muss zurückgehalten werden, damit das Projekt von der Bevölkerung akzeptiert wird. Der Rückhalt wäre mit einem Streichwehr nicht garantiert. Ein Versuch mit einem Teilstreichwehr soll für eine allfällige, nachträgliche Geschiebeoptimierung durchgeführt werden.

Der Geschiebetrieb soll in der Nachweisserie mit der vorhandenen Felsnase um den Parallelrechen gelenkt werden. Dazu soll der Fels nur soweit abgetragen werden, dass die Strömung in die Mitte der Länge (Pfosten 225 und 226) des Parallelrechens gelenkt wird. In einem ersten Schritt wird die Strömungslenkung mittels stationären Abflüssen optimiert und danach die definitive Felsgeometrie durch zwei Ganglinien (HQ_{100} Gewitterereignis, HQ_{100} langandauerndes Ereignis) überprüft. Ebenfalls wird ein Versuch mit der definitiven Felsgeometrie und einem Teilstreichwehr für eine allfällige Optimierung durchgeführt.

7.7.2 Randbedingungen

Die Sohle ist auf der ganzen Modelllänge beweglich eingebaut. Im Bereich M725 bis M950 ist der Fels nachgebildet. Als Grundlagen dafür dienten GPS Vermessungen des anstehenden Fels durch die HSR sowie eine geologische Felsuntersuchung der BIG AG [10]. Die Waldgrenze ist im Bereich M727 bis M850 entsprechend der Serie B4 eingebaut. Der Waldrand sowie die bewaldete Halbinsel im Bereich M750 bis M825 werden mittels Filtermatten modelliert. Die Felsnase im Bereich M800 bis M825 wird so abgetragen, dass die Hauptströmung im Bereich der Mitte der Länge des Parallelrechens auf die Rechenstäbe auftrifft. Die Geschiebebeigabe erfolgt bei den Gewitterereignissen entsprechend der Transportfunktion. Bei den langandauernden Ereignissen erfolgt die Geschiebebeigabe reduziert (50 % der Transportfunktion). Alle Geschiebeangaben in Kubikmeter werden über das Gewicht des getrockneten Geschiebematerials mit einer Schüttrohdichte von $1'662 \text{ kg/m}^3$ bestimmt. Die Sohle wird vor jedem Versuch mittels Gegenprofil neu eingebaut. Daher ist die Ausgangslage für jeden Versuch gleich.



Abb. 7-41: Ausgangslage für die Serie B8.

7.7.3 Versuch B8_1.1_80_210S

Der Fels im Bereich M800 bis M825 wird so angepasst, dass die Strömung in die Mitte der Länge des Parallelrechens zielt.



Abb. 7-42: Die Mitte des Parallelrechens ist mit einem roten Punkt markiert.

Beobachtungen

Die Mitte des Parallelrechens ist in den Abb. 7-43 bis Abb. 7-46 mit einem roten Punkt markiert. Die Strömungslage bei $80 \text{ m}^3/\text{s}$ liegt leicht oberhalb der Mitte der Länge des Parallelrechens. Bei $120 \text{ m}^3/\text{s}$ liegt die Strömung direkt in der Mitte des Parallelrechens und bei $210 \text{ m}^3/\text{s}$ liegt sie eher darunter, siehe Abb. 7-43 bis Abb. 7-46.

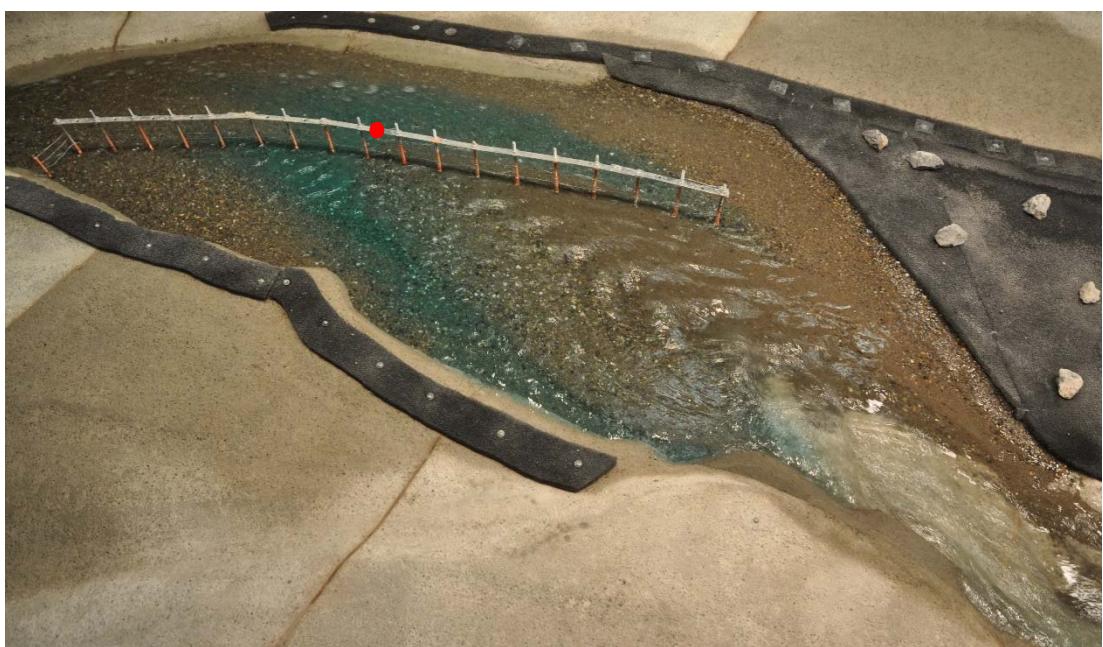


Abb. 7-43: Strömungslage leicht oberhalb der Mitte des Parallelrechens bei einem Abfluss von $80 \text{ m}^3/\text{s}$.



Abb. 7-44: Strömungslage bei einem Abfluss von $120 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Mitte des Parallelrechens ist mit einem roten Punkt markiert.



Abb. 7-45: Strömungslage bei einem Abfluss von $150 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Mitte des Parallelrechens ist mit einem roten Punkt markiert.



Abb. 7-46: Strömungslage bei einem Abfluss von $210 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Mitte des Parallelrechens ist mit einem roten Punkt markiert.

Fazit

Mit der Anpassung des Fels im Bereich M800 bis M825 kann die Strömung in die Mitte der Länge des Parallelrechens gelenkt werden. Bei kleinen Abflüssen ist die lenkende Wirkung des Fels etwas grösser, als bei grossen Abflüssen.

7.7.4 Versuch B8_1.2_210G

Der im Versuch B8_1.1_80_210S angepasste Fels wird in diesem Versuch mittels eines Gewitterereignisses (HQ_{100}) überprüft. Die Schwemmholzbeigabe ($2'000 \text{ m}^3$) bei den Gewitterereignissen erfolgt in drei Frachten. Die erste Schwemmholzfracht (Anschutz) weist immer ein Volumen von 300 m^3 auf. Die Beigabe der ersten Schwemmholzfracht erfolgt im Bereich der Lenkbuhne (QP M663). Beigegeben wird das Holz sobald es vom Abfluss transportiert werden kann (so früh wie möglich). Die Schwemmholzfrachten zwei und drei sind gleich gross (850 m^3). Die Beigaben erfolgen zur Abflussspitze ($210 \text{ m}^3/\text{s}$) und nach der Abflussspitze ($190 \text{ m}^3/\text{s}$).

Beobachtungen

Die erste Schwemmholzfracht (300 m^3) wird im Parallelrechen zurückgehalten. Dabei verteilt sich das Schwemmholz auf der gesamten Länge des Parallelrechens. Teilweise lösen sich die Verklausungen und Schwemmholz wird aus dem Parallelrechen ausgetragen, siehe Abb. 7-47.

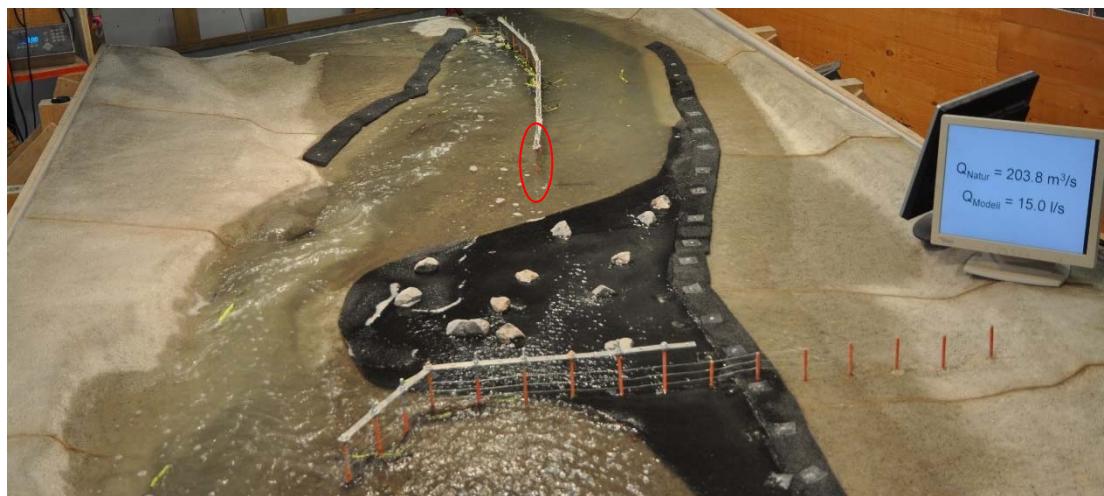


Abb. 7-47: Die Verklausungen im oberen Bereich des Parallelrechens werden vor der Hochwasserspitze aufgelöst und ausgetragen.

Die Schwemmholtfrachten zwei und drei (je 850 m^3) werden beinahe komplett im Parallel- sowie V-Rechen zurückgehalten. Der Geschiebetrieb erfolgt durch die nicht verklausten Rechenstäbe des Parallelrechens, siehe roter Pfeil in Abb. 7-48.



Abb. 7-48: Schwemmholtablagerungen bei abklingendem Hochwasser des Versuches B8_1.2_210G.

Element	Schwemmholtverteilung [% (m^3)]
Parallelrechen	61 (1'210)
V-Rechen	25 (510)
Buhne	7 (130)
Sonstige	1 (20)
Austrag	6 (130)

Tab. 7-13: Schwemmholtverteilung des Versuches B8_1.2_210G.

Fazit

Der Schwemmholzrückhalt durch den Parallelrechen funktioniert mit der neuen Felsgeometrie gut. Das Risiko einer Querverklausung in der Parallelrechenöffnung ist mit dieser Strömungslage minim. Es besteht jedoch die Gefahr, dass durch die Verklausung der gesamten Länge des Parallelrechens mit der ersten Schwemmholzfracht, der Geschiebetrieb reduziert wird.

7.7.5 Versuch B8_1.3_119G

Der im Versuch B8_1.1_80_210S angepasste Fels wird in diesem Versuch mittels langandauernden Ereignis (HQ_{100}) überprüft. Die Schwemmholzbeigabe ($2'000 \text{ m}^3$) bei den langandauernden Ereignissen erfolgt in fünf Frachten. Die erste Schwemmholzfracht (Anschutz) weist bei allen Ereignissen ein Volumen von 300 m^3 auf. Die Schwemmholzfrachten zwei bis fünf sind gleich gross (425 m^3). Die Beigaben erfolgen während der Hochwasserspitze ($119 \text{ m}^3/\text{s}$).

Beobachtungen

Die erste Schwemmholzfracht von 300 m^3 wird bei einem Abfluss von $50 \text{ m}^3/\text{s}$ beigegeben und zum grössten Teil im Parallelrechen zurückgehalten, siehe Abb. 7-49. Kleinere Schwemmholzmengen gelangen durch den Parallelrechen ins Unterwasser. Verantwortlich für den Schwemmholzaustrag aus dem Parallelrechen sind die letzten zwei Rechenstäbe, welche rechtwinklig zur Strömung stehen und den Anschluss an die Böschung bilden. Die Schwemmholzfrachten zwei bis fünf werden beinahe komplett zurückgehalten, siehe Abb. 7-50.



Abb. 7-49: Rückhalt der ersten Schwemmholzfracht (300 m^3) durch den Parallelrechen.



Abb. 7-50: Beinahe die gesamten 2000 m³ Schwemmmholz können durch den Parallelrechen und den V-Rechen zurückgehalten werden.

Element	Schwemmmholzverteilung [% (m ³)]
Parallelrechen	70 (1'410)
V-Rechen	15 (290)
Buhne	2 (30)
Sonstige	7 (140)
Austrag	6 (130)

Tab. 7-14: Schwemmmholzverteilung des Versuches B8_1.3_119G.

Ein sichtbarer Geschiebeaustrag setzt zur Hochwasserspitze ein. In der Öffnung des Parallelrechens kommt es zu massiven Auflandungen bis 2 m. Gesamthaft wird über die Versuchsdauer im Parallelrechen ca. 1'500 m³ Geschiebe abgelagert. Nach der letzten Schwemmmholzfracht findet der Geschiebetrieb um den Parallelrechen statt.

Fazit

Die Anpassung der Felsnase hat keinen negativen Einfluss auf den Schwemmmholzrückhalt. Es werden beinahe 94 % der Schwemmmholzfracht von 2'000 m³ zurückgehalten. Jedoch kommt es im Parallelrechen zu massiven Geschiebe Auflandungen bis 2 m. Das daraus resultierende Geschiebevolumen beträgt ca. 1'500 m³.

7.7.6 Versuch B8_2.1_119_142S

In diesem Versuch wird die Felsanpassung in Kombination mit einem Teilstreichwehr überprüft. Das Streichwehr weist eine horizontale Überfallkante mit einer Kote von 602.50 m ü. M. auf, siehe Abb. 7-51. Die Schwemmmholzbeigabe beträgt in diesem Versuch 3'600 m³.



Abb. 7-51: Teilstreichwehr über die halbe Öffnung des Parallelrechens.

Beobachtungen

Durch die Felsanpassung in Kombination mit dem Streichwehr wird die Strömung bei einem Abfluss von 119 m³/s zu stark um den Parallelrechen gelenkt. Wodurch die erste Schwemmmholzfracht nur teilweise über das Streichwehr in den Parallelrechen gelangt. Zusätzlich kommt es direkt hinter dem Streichwehr infolge des zu geringen Strömungsdrucks im Parallelrechen zu einer Schwemmmholzablagerung. Dies führt dazu, dass nachfolgendes Schwemmmholz um den Parallelrechen ins Unterwasser gelenkt wird, siehe Abb. 7-52. Damit bei diesem Versuch eine Aussage bezüglich der Funktionalität des Streichwehres mit einem Abfluss von 142 m³/s gemacht werden kann, wird die Schwemmmholzansammlung auf dem Streichwehr gelöst.



Abb. 7-52: Schwemmhholzablagerung auf dem Streichwehr verhindert den Rückhalt von weiteren Schwemmholtfrachten im Parallelrechen.

Die zweite Schwemmholtfracht (720 m^3) wird bei einem Abfluss von $142 \text{ m}^3/\text{s}$ komplett und die dritte zu einem grossen Teil im Parallelrechen zurückgehalten. Die vierte Schwemmholtfracht wird nur noch zur Hälfte zurückgehalten, da im Parallelrechen nicht mehr genügend Rückhalteraum vorhanden ist. Die fünfte Schwemmholtfracht, bei einem Abfluss von $119 \text{ m}^3/\text{s}$, wird gänzlich ausgetragen. Der Geschiebeeintrag in den Parallelrechen wird durch das Teilstreichwehr deutlich verringert. Zu einem leichten Geschiebeeintrag in den Parallelrechen kommt es im Bereich ohne Streichwehr.



Abb. 7-53: Schwemmholzrückhalt nach vier Schwemmholtfrachten des Versuches B8_2.1_119_142S.

Element	Schwemmholtverteilung [% (m ³)]
Parallelrechen	57 (2040)
V-Rechen	9 (340)
Buhne	1 (20)
Sonstige	3 (100)
Austrag	30 (1'100)

Tab. 7-15: Schwemmholtverteilung des Versuches B8_2.1_119_142S.

Fazit

Das Teilstreichwehr in Kombination mit dem angepassten Fels funktioniert erst ab einem Abfluss von 142 m³/s. Damit das Streichwehr bei kleineren Abflüssen funktioniert, muss das Streichwehr abgesenkt werden oder der Fels wieder stärker abgetragen werden (Serie B7).

8 NACHWEISE

8.1 Serie C4 und C8

Für die Versuche der Serie C4 und C8 des Holzrückhaltes sind im Anhang Luftaufnahmen vom Zustand vor und nach dem Versuch, sowie die Sohlenvergleiche, Pläne (Situation C4 und C8) zur Modellübersicht und die Koordinaten zur Lage der Rechenstäbe abgelegt. Ebenfalls sind die Filme zu den Versuchen auf dem USB-Stick beigefügt.

8.1.1 Problemstellung

Mit der Serie C8 wird die Funktionalität der finalen Geometrie (Buhne, Rechen und Felsanpassung) bezüglich des Schwemmholzrückhaltes nachgewiesen. Der heutige Zustand des Zulgbodens wird mit der Serie C4 untersucht, um die Auswirkungen der finalen Geometrie der Serie C8 auf den Geschiebetransport zu ermitteln.

8.1.2 Randbedingungen

Allgemein

Die Sohle ist auf der ganzen Modelllänge beweglich eingebaut. Im Bereich M725 bis M950 ist der Fels nachgebildet. Als Grundlagen dafür dienten GPS Vermessungen des anstehenden Fels durch die HSR sowie eine geologische Felsuntersuchung der BIG AG. Die Waldgrenze ist im Bereich M727 bis M850 entsprechend der Serie B4 eingebaut. Der Waldrand sowie die bewaldete Halbinsel im Bereich M750 bis M825 werden mittels Filtermatten modelliert. Die Felsnase im Bereich M800 bis M825 wird so abgetragen, dass die Hauptströmung im Bereich der Mitte der Länge des Parallelrechens auf die Rechenstäbe auftrifft. Die Geschiebebeigabe erfolgt bei den Gewitterereignissen (HQ_{30} , HQ_{100} , HQ_{300}) entsprechend der Transportfunktion. Bei den langandauernden Ereignissen (HQ_{100} , HQ_{300}) erfolgt die Geschiebebeigabe reduziert (50 % der Transportfunktion). Alle Geschiebeangaben in Kubikmeter werden über das Gewicht des getrockneten Gesiebematerials mit einer Schüttrohdichte von 1'662 kg/m³ bestimmt. Die Sohle wird vor jedem Versuch mittels Gegenprofil neu eingebaut. Daher ist die Ausgangslage für jeden Versuch gleich.

Serie C4

Für die Serie C4 wird die Felsnase im Bereich M800 bis M825 wieder eingebaut. Die Rechenstäbe werden bis auf die im Modell fest einbetonierten Rechenstäbe ausgebaut, siehe Abb. 8-1. Die Lenkbuhne ist ebenfalls ausgebaut.



Abb. 8-1: Ausgangslage für die Nachweissearie C4.

Serie C8

Die Schwemmholtfrachten für die Nachweisganglinien weisen folgende Volumen auf: 800 m³ (HQ₃₀), 2'000 m³ (HQ₁₀₀), 4'000 m³ (HQ₃₀₀). Die Schwemmholtbeigabe bei den Gewitterereignissen erfolgt in drei Frachten. Die erste Schwemmholtfracht (Anschutz) weist immer ein Volumen von 300 m³ auf. Die Beigabe der ersten Schwemmholtfracht erfolgt im Bereich der Lenkbuhne (QP M663). Beigegeben wird das Holz sobald es vom Abfluss transportiert werden kann (so früh wie möglich). Die Schwemmholtfrachten zwei und drei sind gleich gross (250 m³, 850 m³ respektive 1850 m³). Die Beigaben erfolgen zur Abflussspitze (150 m³/s, 210 m³/s und 280 m³/s) und nach der Abflussspitze (130 m³/s, 190 m³/s respektive 250 m³/s). Die Schwemmholtbeigabe bei den langandauernden Ereignissen erfolgt in fünf Frachten. Die erste Schwemmholtfracht (Anschutz) weist bei allen Ereignissen ein Volumen von 300 m³ auf. Die Schwemmholtfrachten zwei bis fünf sind gleich gross (425 m³ respektive 925 m³). Die Beigaben erfolgen während der Hochwasserspitze (119 m³/s respektive 142 m³/s).

Die finale Geometrie der Serie C8 beinhaltet die Lenkbuhne oberhalb des V-Rechens (QP M663, 11 m lang und 2.5 m hoch) sowie die Rechengeometrie der Versuchsserie B4. Die Felsnase im Bereich M800 bis M825 wird so abgetragen, dass die Hauptströmung im Bereich der Mitte der Länge des Parallelrechens auf die Rechenstäbe auftrifft.



Abb. 8-2: Ausgangslage für die Nachweissearie C8.

8.1.3 Versuch C4_1.1_119G und C8_1.1_119G

Beobachtungen C4_1.1_119G

Ein deutlicher Geschiebeaustrag aus dem Modellperimeter setzt nach ca. 4 Stunden, zur Hochwasserspitze ein, siehe Geschiebebilanz im Anhang. In den ersten 4 Stunden wird nur wenig Geschiebe aus der Sohle im Bereich der untersten 100 m ausgetragen. Gesamthaft werden bei diesem langandauernden Ereignis (HQ₁₀₀) 12'700 m³ Geschiebe beigegeben. Der Geschiebeaustrag aus dem Modellperimeter beträgt 5'750 m³, was in etwa 45 % der Geschiebebeigabe entspricht. Die Geschiebeablagerungen finden ausschliesslich im Bereich der Aufweitungen statt, siehe Abb. 8-3. Eine grosse Geschiebebank bildet sich im Bereich des geplanten Parallelrechens. Dieses Geschiebe ist auch im heutigen Zustand in Natur im Zulgboden zu beobachten. Während des abklingenden Hochwassers wird deutlich mehr Geschiebe ausgetragen, als in den ersten 4 Stunden des Versuches.

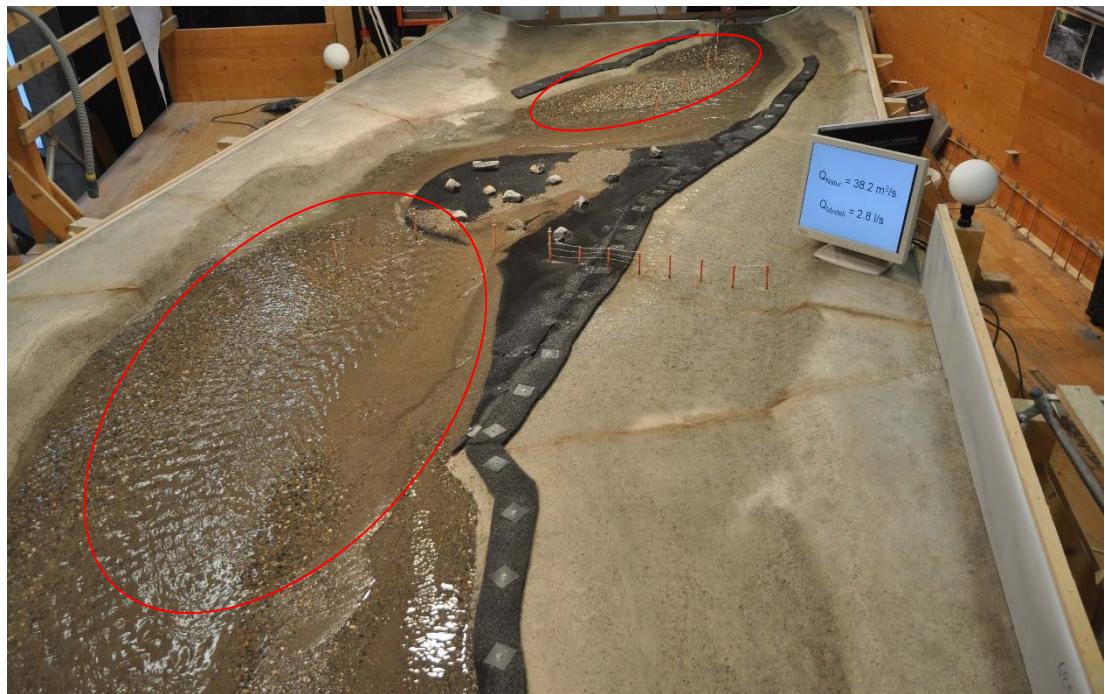


Abb. 8-3: Deutlich ersichtliche Geschiebeablagerungen im Bereich der Aufweiterungen (abklingendes Hochwasser).

Beobachtungen C8_1.1_119G

Die erste Schwemmholzfracht von 300 m^3 wird bei einem Abfluss von $62 \text{ m}^3/\text{s}$ beigegeben. Dadurch verklaust der Parallelrechen über die gesamte Länge. Zwischen den untersten zwei Stäben des Parallelrechens (quer zur Fließrichtung) kommt es vor der Verklausung zu einem grösseren Schwemmholzaustrag.



Abb. 8-4: Auf ganzer Länge verklauster Parallelrechen infolge der ersten Schwemmholzfracht.

Durch die Verklausung der gesamten Rechenlänge entstehen im Verlauf des Versuches grosse Geschiebeablagerungen bis 2 m im Parallelrechen. Die zweite Schwemmholzfracht wird komplett zurückgehalten und verteilt sich ebenfalls auf der gesamten Länge des Parallelrechens. Bei der dritten Schwemmholzfracht wird das erste Schwemmholz durch den V-Rechen zurückgehalten. Nach der dritten Schwemmholzfracht (nach ca. 7 Stunden) setzt ein deutlicher Geschiebeaustrag ein. Dabei wird das Geschiebe infolge der Felsnase, der Schwemmholzablagerung im Pa-

rallelrechen sowie der Auflandung bis 2 m in der Öffnung des Parallelrechens zu einem grossen Teil um den Parallelrechen gelenkt, siehe Abb. 8-5. Der Geschiebeaustrag flacht erst beim abklingenden Hochwasser leicht ab, siehe Geschiebebilanz im Anhang.



Abb. 8-5: Rot eingekreist ist der stark aufgelandete Bereich in der Öffnung des Parallelrechens.

Die Schwemmmholzfrachten vier und fünf werden beinahe komplett durch die beiden Rechen zurückgehalten. Gesamthaft werden von den 2'000 m³ Schwemmmholz 1'920 m³ zurückgehalten, was einem Rückhalt von 96 % entspricht. Die genaue Schwemmmholzverteilung ist in der Tab. 8-1 aufgeführt. Im Parallelrechen sind die Schwemmmholzablagerungen zwischen 1.8 m und 3.2 m und im V-Rechen zwischen 1.3 m und 2.3 m hoch.



Abb. 8-6: Schwemmmholz- und Geschiebeablagerungen nach dem Versuch C8_1.1_119G.

Element	Schwemmholtverteilung [% (m ³)]
Parallelrechen	61 (1'220)
V-Rechen	25 (500)
Buhne	4 (80)
Sonstige	6 (120)
Austrag	4 (80)

Tab. 8-1: Schwemmholtverteilung des Versuches C8_1.1_119G.

Während des Versuches werden 3'540 m³ Geschiebe, was in etwa 28 % der beigegebenen Geschiebemenge von 12'700 m³ entspricht, aus dem Modell ausgetragen. Im Parallelrechen betragen die Auflandungen ca. 1'500 m³.

Vergleich

Durch die Strömungslage der Geometrie in der Serie C8 im Parallelrechen kommt es durch die erste Schwemmholtfracht zu einer kompletten Verklausung der gesamten Rechenlänge. Im Vergleich mit dem Versuch C4_1.1_119G kommt es zu einer deutlichen Reduktion des Geschiebeaustages um 2'200 m³. Bei einem maximalen Austrag von 5'760 m³ im Versuch C4_1.1_119G entspricht dies einer Reduktion des Geschiebeaustages von 38 %. Beim Versuch C8_1.1_119G beginnt der Geschiebeaustag ca. 2.5 Stunden später, im Vergleich mit dem Versuch C4_1.1_119G.

8.1.4 Versuch C4_1.1_142G und C8_1.1_142G

Beobachtungen C4_1.1_142G

Bis zur Hochwasserspitze ist der Geschiebeaustag minim und besteht grösstenteils aus Sohlenmaterial der untersten 100 m des Modells. Zur Hochwasserspitze (4 Stunden nach Ganglinienstart) setzt ein deutlicher Geschiebeaustag aus dem Modell ein, siehe Geschiebebilanz im Anhang. Über die gesamte Versuchsdauer von 20 Stunden werden 8'750 m³ Geschiebe ausgetragen. Die ausgetragene Geschiebemenge beträgt 54 % der dem Modell beigegebenen Geschiebemenge von 16'300 m³. Im Verlauf des Versuches werden grosse Geschiebemengen im Modellperimeter abgelagert. Die Geschiebeablagerungen finden hauptsächlich im Bereich des Parallelrechens sowie direkt oberhalb des V-Rechens statt, siehe Abb. 8-7.



Abb. 8-7: Deutlich ersichtliche Geschiebeablagerungen in den aufgeweiteten Bereichen.

Trotz reduzierter Geschiebefunktion kommt es im Bereich des Modellperimeters zu grösseren Auflandungen. Jedoch ist deutlich ersichtlich, dass auch bei kleineren Abflüssen Geschiebe ausgetragen wird.

Beobachtungen C8_1.1_142G

Die erste Schwemmholtfracht von 300 m^3 wird bei einem Abfluss von $70 \text{ m}^3/\text{s}$ beigegeben und führt zu Verklausungen des Parallelrechens auf der gesamten Länge. Jedoch löst sich ein Grossteil des verklausten Schwemmholzes und wird aus dem Parallelrechen getragen. Zwischen den untersten zwei Stäben (quer zur Fliessrichtung) des Parallelrechens wird Schwemmholt aus dem Parallelrechen getragen. Infolge der Verklausung des Parallelrechens kommt es zu starken Auflandungen im Parallelrechen. Die maximalen Auflandungen im Parallelrechen betragen im Verlauf des Versuches ca. 2 m.



Abb. 8-8: Teilverklauster Parallelrechen nach der ersten Schwemmholtfracht von 300 m^3 fest.

Durch die Buhne oberhalb des Parallelrechens wird die Strömung vor der Hochwasserspitze Richtung V-Rechen gelenkt, wodurch die zweite Schwemmholtfracht von

925 m³ zu Beginn der Hochwasserspitze vom V-Rechen und dem Parallelrechen zurückgehalten wird. Mit dem Erreichen der Hochwasserspitze setzt ein deutlicher Geschiebeaustrag aus dem Modell ein, siehe Geschiebebilanz im Anhang. Ebenfalls ist in diesem Diagramm ersichtlich, dass nach jeder Schwemmholtfracht der Geschiebeaustrag kurzfristig zunimmt. Die dritte und vierte Schwemmholtfracht werden annähernd komplett zurückgehalten. Die fünfte Schwemmholtfracht wird nur noch teilweise zurückgehalten, da in den Rechen kein Platz mehr vorhanden ist. Die genaue Schwemmholtverteilung ist unten in der Tab. 8-2 ersichtlich. Im Parallelrechen sind die Schwemmholtablagerungen zwischen 1.8 m und 4.0 m und im V-Rechen zwischen 1.3 m und 3.2 m hoch. Gesamthaft werden von den beigegebenen 4'000 m³ Schwemmholt 3'170 m³ zurückgehalten, was einem Rückhalt von 79 % entspricht.

Element	Schwemmholtverteilung [% (m ³)]
Parallelrechen	46 (1'850)
V-Rechen	22 (890)
Buhne	3 (130)
Sonstige	8 (300)
Austrag	21 (830)

Tab. 8-2: Schwemmholtverteilung des Versuches C8_1.1_142G.



Abb. 8-9: Schwemmholt- sowie Geschiebeablagerungen beim abklingendem Hochwasser des Versuches C8_1.1_142G.

Über die Versuchsdauer von 20 Stunden werden 6'710 m³ Geschiebe aus dem Modell ausgetragen. Dies entspricht einem Austrag von 41 % der beigegebenen Geschiebemenge von 16'300 m³.

Vergleich

Durch die Strömungslage im Parallelrechen in der Serie C8 kommt es durch die erste Schwemmholzfracht beinahe zu einer kompletten Verklausung der gesamten Rechenlänge. Im Vergleich mit dem Versuch C4_1.1_119G kommt es zu einer deutlichen Reduktion des Geschiebeaustrages um 2'030 m³. Bei einem maximalen Austrag von 8'745 m³ im Versuch C4_1.1_119G entspricht dies einer Reduktion des Geschiebeaustrages von 23 %.

8.1.5 Versuch C4_1.1_150G und C8_1.1_150G

Beobachtungen C4_1.1_150G

Ein minimierer Geschiebeaustrag aus dem Modellperimeter setzt nach ca. 30 min nach Versuchsbeginn (gleichzeitig mit der Hochwasserspitze) ein. Gesamthaft werden bei diesem Gewitterereignis (HQ₃₀) 1'900 m³ Geschiebe beigegeben. Der Geschiebeaustrag beträgt lediglich 160 m³, was in etwa 9 % der Geschiebebeigabe entspricht. Das aus dem Modellperimeter ausgetragene Geschiebe wird aus dem Sohlenabschnitt M900 bis M950 erodiert. Die Geschiebeablagerungen finden ausschliesslich im Bereich der Aufweitungen statt.



Abb. 8-10: Rot markiert sind die Bereiche der erodierten Sohle im untersten Modellabschnitt.

Das beigegebene Geschiebe wird im Verlauf des dreistündigen Gewitterereignisses nicht durch den gesamten Modellperimeter transportiert. Das ausgetragene Geschiebe kommt aus der Sohle des unteren Modellbereiches. Somit ist für die ausgetragene Geschiebemenge hauptsächlich die Sohlenzusammensetzung im unteren Modellbereich massgebend.

Beobachtungen C8_1.1_150G

Die erste Schwemmholzfracht wird sobald sie vom Abfluss transportiert werden kann dem Modell beigegeben. Der Parallelrechen verklaust auf der ganzen Länge durch diese erste Schwemmholzfracht. Bis zur kompletten Verklausung des Parallelrechens kommt es zu einem deutlichen Schwemmholzaustrag zwischen den Rechenstäben. Der grösste Austrag erfolgt durch die letzten zwei Pfosten des Parallelrechens, welche rechtwinklig zur Strömung stehen. Die Schwemmholzfrachten zwei und drei (je 250 m³) werden beinahe gänzlich zurückgehalten. Im Parallelrechen sind die Schwemmholzablagerungen zwischen 2.2 m und 3.6 m hoch. Gesamthaft werden von den 800 m³ Schwemmholz 670 m³ zurückgehalten, was einem Rückhalt von 84 % entspricht. Die genaue Schwemmholzverteilung ist in der Tab. 8-3 ersichtlich.

Ein minimaler Geschiebeaustrag aus dem Modell ist ab der Hochwasserspitze ersichtlich. Jedoch wird das Geschiebe aus der Sohle im Bereich unterhalb des Parallelrechens erodiert. Das beigegebene Geschiebe lagert sich im Parallelrechen und im oberen Bereich des Modells ab, siehe Abb. 8-11. Der Geschiebeaustrag beträgt in diesem Versuch ca. 210 m³, was 11 % der beigegebenen Geschiebemenge (1'900 m³) entspricht.



Abb. 8-11: Geschiebe- und Schwemmholtablagerung im Parallelrechen. Die Geschiebeablagerung oberhalb und die erodierte Sohle unterhalb des Parallelrechens sind rot markiert.

Element	Schwemmholtverteilung [% (m ³)]
Parallelrechen	70 (560)
V-Rechen	10 (80)
Buhne	0 (0)
Sonstige	4 (30)
Austrag	16 (130)

Tab. 8-3: Schwemmholtverteilung des Versuches C8_1.1_150G.

Vergleich

Die anfallenden Geschiebemengen bei einem HQ₃₀ Gewitterereignis sind für den Geschiebetransport unterhalb des Modellperimeters nicht von Bedeutung. Das beigegebene Geschiebe wird im jetzigen Zustand (C4_1.1_150G) wie auch mit eingebauten und verklausten Rechen (C8_1.1_150G) im Modellperimeter zurückgehalten. Es kommt lediglich zu einem geringen Geschiebeaustrag, welcher im Bereich M900 bis M950 erodiert wird.

8.1.6 Versuch C4_1.1_210G und C8_1.1_210G

Beobachtungen C4_1.1_210G

Ein sichtbarer Geschiebeaustrag aus dem Modellperimeter setzt ca. 30 min nach Versuchsbeginn, bei der Hochwasserspitze, ein. Gesamthaft werden bei diesem Gewitterereignis (HQ_{100}) $3'200 \text{ m}^3$ Geschiebe beigegeben. Der Geschiebeaustrag beträgt 810 m^3 , was in etwa 25 % der Geschiebebeigabe entspricht.



Abb. 8-12: Entstehende Geschiebeablagerung im Bereich des geplanten Parallelrechens. Sowie erodierte Sohle im Abschnitt M900 bis M950 (rot).

Beobachtungen C8_1.1_210G

Die erste Schwemmholtfracht (300 m^3) wird nur teilweise im Parallelrechen zurückgehalten. Zahlreiche Stämme passieren den Rechen oder lösen sich nach einer ersten Verklausung wieder aus dem Rechen, siehe Abb. 8-13.



Abb. 8-13: Die Verklausungen im oberen Drittel (rot markiert) des Parallelrechens lösen sich bis zur Hochwasserspitze.

Die Schwemmholtfrachten zwei und drei (je 850 m^3) werden beinahe vollständig durch den V- und Parallelrechen zurückgehalten. Im Parallelrechen sind die Schwemmholtablagerungen zwischen 3.1 m und 4.1 m und im V-Rechen zwischen 2.2 m und 2.7 m hoch. Gesamthaft werden von den beigegebenen $2'000 \text{ m}^3$ Schwemmholt $1'800 \text{ m}^3$ zurückgehalten, was einem Rückhalt von 90 % entspricht. Die genaue Schwemmholtverteilung ist in der Tab. 8-4 und Abb. 8-15 ersichtlich. Kurz vor der Hochwasserspitze, 25 Minuten nach Ganglinienbeginn, startet ein deutlicher

Geschiebeaustrag aus dem Modell. Der Geschiebetrieb findet durch die nicht verklauten Rechenstäbe des Parallelrechens statt, siehe Abb. 8-14. Mit abklingendem Hochwasser erodiert die Sohle parallel zum Parallelrechen. Der Geschiebeaustrag aus dem Modellperimeter beträgt 600 m^3 , was in etwa 19 % der Geschiebebeigabe entspricht.

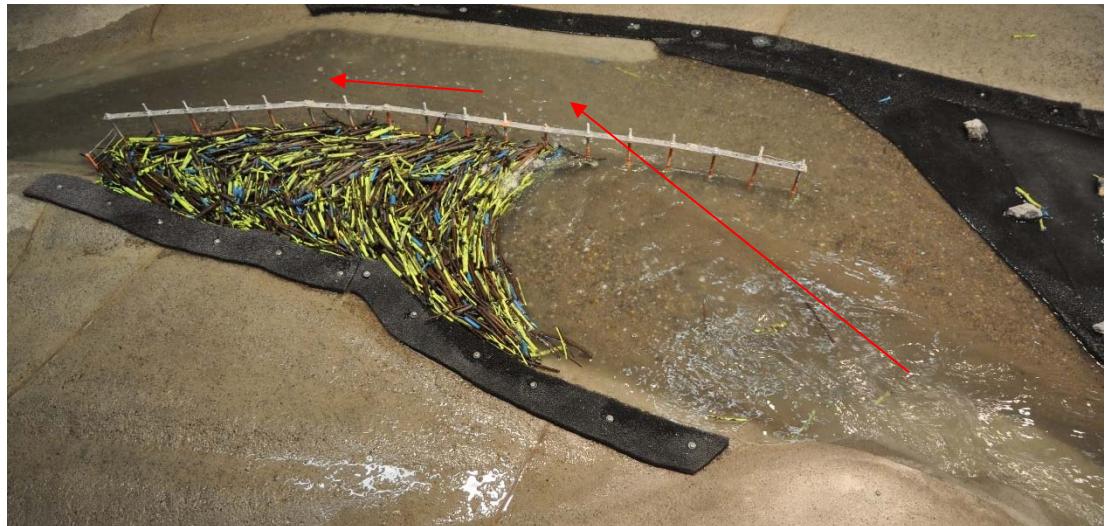


Abb. 8-14: Der Parallelrechen nach der Schwemmholtzbeigabe. Der Geschiebetrieb erfolgt durch die nicht verklauten Rechenstäbe im oberen Drittel des Parallelrechens (roter Pfeil).



Abb. 8-15: Geschiebe und Schwemmholtzablagerung nach dem Versuch C8_1.1_210G.

Element	Schwemmholtverteilung [% (m ³)]
Parallelrechen	59 (1'110)
V-Rechen	22 (520)
Buhne	4 (140)
Sonstige	4 (30)
Austrag	11 (200)

Tab. 8-4: Schwemmholtverteilung des Versuches C8_1.1_210G.

Vergleich

Durch die Einbauten im Versuch C8_1.1_210G kommt es zu einer Reduktion des Geschiebeaustrages um 210 m³, was einer Reduktion von 26 % im Vergleich zum Versuch C4_1.1_210G entspricht. Für den Fall, dass der Parallelrechen über die ganze Länge und Versuchsdauer verklaust bleibt, wird sich das negativ auf den Geschiebetransport auswirken.

8.1.7 Versuch C4_1.1_280G und C4_1.1_280G

Beobachtungen C4_1.1_280G

Ein deutlicher Geschiebeaustrag aus dem Modellperimeter setzt nach ca. 25 Minuten, kurz vor der Hochwasserspitze ein. Gesamthaft werden bei diesem Gewitterereignis (HQ₃₀₀) 5'000 m³ Geschiebe beigegeben. Der Geschiebeaustrag beträgt 1'210 m³, was 24 % der Geschiebebeigabe entspricht. Die Geschiebeablagerungen finden im Bereich der Aufweitungen statt, siehe Abb. 8-16.



Abb. 8-16: Geschiebeablagerungen im Bereich der Aufweitungen nach dem Versuch C4_1.1_280G.

Beobachtungen C8_1.1_280G

Die erste Schwemmholtfracht (300 m^3) wird, alsbald sie vom Abfluss transportiert werden kann, dem Modell beigegeben. Ein Grossteil der Schwemmholtfracht gelangt durch die Rechenstäbe ins Unterwasser. Massgebend für einen grossen Austrag aus dem Parallelrechen sind die letzten zwei Rechenstäbe, welche rechtwinklig zur Strömung liegen und somit die Lücke in Fliessrichtung gesehen deutlich grösser ist, siehe Abb. 8-17.



Abb. 8-17: Der Schwemmholtzastrag aus dem Parallelrechen findet grösstenteils durch die Öffnung zwischen den zwei letzten Stäben des Parallelrechens statt (rot markiert).

Die zweite und dritte Schwemmholtfracht (je $1'850 \text{ m}^3$) werden zu einem grossen Teil im V- und Parallelrechen zurückgehalten. Im Parallelrechen sind die Schwemmholtablagerungen zwischen 3.1 m und 5.0 m und im V-Rechen zwischen 2.2 m und 3.6 m hoch. Gesamthaft werden von den beigegebenen $4'000 \text{ m}^3$ Schwemmholt $3'575 \text{ m}^3$ zurückgehalten, was einem Rückhalt von 89 % entspricht. Die genaue Schwemmholtverteilung ist in der Tab. 8-5 sowie in der Abb. 8-18 ersichtlich. Ein deutlicher Geschiebeaustrag aus dem Modellperimeter startet nach 25 Minuten, kurz vor der Hochwasserspitze. Nach der Beigabe der Schwemmholtfrachten wird das Geschiebe um den Parallelrechen geleitet. Im Gerinne neben dem Parallelrechen kommt es in der Kurvenaussenseite zu einer Sohlenerosion bis auf den anstehenden Fels, siehe Abb. 8-18. Der Geschiebeaustrag aus dem Modellperimeter beträgt $1'000 \text{ m}^3$, was in etwa 20 % der Geschiebebeigabe entspricht.



Abb. 8-18: Schwemmholt- und Geschiebeablagerungen nach dem Versuch C8_1.1_280G sowie erodierte Sohle im Gerinne neben dem Parallelrechen (rot).

Element	Schwemmholtverteilung [% (m ³)]
Parallelrechen	60 (2'390)
V-Rechen	26 (1'050)
Buhne	2 (100)
Sonstige	1 (40)
Austrag	11 (420)

Tab. 8-5: Schwemmholtverteilung des Versuches C8_1.1_280G.

Vergleich

Der Geschiebetransport durch den Modellperimeter wird durch die Einbauten und das zurückgehaltene Schwemmholt im Versuch C8_1.1_280G um 18 % reduziert im Vergleich zum Versuch C4_1.1_280G.

8.1.8 Zusammenfassung Versuchsserie C4 und C8

Die Serie C4 hat gezeigt, dass während eines Hochwasserereignisses grosse Geschiebemengen im Modellperimeter abgelagert werden. Die Ablagerungen finden ausschliesslich im Bereich der Aufweitungen statt. Bei den Gewitterereignissen startet der Geschiebeaustrag aus dem Modellperimeter ca. 30 Minuten nach Versuchsbeginn, zur Hochwasserspitze. Infolge der geringen Abflüsse der langandauernden Ereignisse, startet der Geschiebeaustrag erst 4 Stunden nach Versuchsbeginn, ebenfalls zur Hochwasserspitze. Durch die Vereinfachung der Ganglinien wurde der abklingende Ast des Hochwassers deutlich eingekürzt, was den Geschiebeaustrag aus

dem Modell negativ beeinflusst. Da auch während dem abklingenden Hochwasserereignis, jeweils bis zum Versuchsende, ein Geschiebeaustrag beobachtet werden kann. Für eine bessere Vergleichbarkeit der Versuche wird vor jedem Versuch die Sohle mittels Gegenprofile neu eingebaut, wodurch z. B. auch Auflandungen im Strömungsschatten der Buhne jedes Mal entfernt werden. Die Versuchsserie A2 hat jedoch gezeigt, dass der Geschiebeaustrag deutlich höher ausfällt, wenn die Sohle des letzten Versuches als Ausgangslage verwendet wird. Des Weiteren muss berücksichtigt werden, dass aus modelltechnischen Gründen die Feinanteile (Korngrößen unter 11 mm) nicht nachgebildet werden können und dieselbe Modellmischung für alle Versuche verwendet wurde.

Durch die Einbauten in der Serie C8 kommt es, bis auf den HQ₃₀ Gewitterganglinienversuch, zu einer Reduktion des Geschiebeastrages zwischen 18 % und 38 %, siehe Tab. 8-6.

Ganglinie	Geschiebefracht	Geschiebeaustrag		Reduktion
		Serie C4	Serie C8	
[HQ (m ³ /s)]	[m ³]	[%]	[%]	[%]
HQ ₁₀₀ (119)	12'700	45	28	38
HQ ₃₀₀ (142)	16'300	54	41	23
HQ ₃₀ (150)	1'900	9	11	-31
HQ ₁₀₀ (210)	3'200	25	19	26
HQ ₃₀₀ (280)	5'000	24	20	18

Tab. 8-6: Geschiebefracht, Geschiebeaustrag sowie die Reduktion des Austrages zwischen den Serien C4 und C8.

Durch die Geometrie der Felsnase im Bereich M800 bis M825 in der Serie C8 kommt es durch die erste Schwemmholtfracht (Anschutz) von 300 m³ zu einer kompletten Verklausung der gesamten Länge des Parallelrechens. Durch die Verklausung wird der Parallelrechen weniger gut durchströmt, wodurch der Geschiebetrieb negativ beeinflusst wird. Ein weiterer Schwachpunkt des Parallelrechens sind die zwei letzten Rechenstäbe, welche rechtwinklig zur Strömung stehen und den Anschluss an die Böschung bilden. Bis die Öffnung verklaust, gelangen zwischen diesen Stäben grosse Schwemmholtzmengen ins Unterwasser. Der mögliche Schwemmholtzrückhalt ist vom Abfluss abhängig. Ein grosser Abfluss ist gleichbedeutend mit einer hohen Ablagerungshöhe in den Rechen, was das Rückhaltevolumen steigert. Der Rückhalt in der Serie C8 liegt zwischen 79 % und 96 % der beigegebenen Schwemmholtzmenge, siehe Tab. 8-7.

Ganglinie	Schwemmholtfracht	Schwemmholtzrückhalt
[HQ (m ³ /s)]	[m ³]	[% (m ³)]
HQ ₁₀₀ (119)	2'000	96 (1'920)
HQ ₃₀₀ (142)	4'000	79 (3'170)
HQ ₃₀ (150)	800	84 (670)
HQ ₁₀₀ (210)	2'000	90 (1'800)
HQ ₃₀₀ (280)	4'000	89 (3'575)

Tab. 8-7: Schwemmholtzrückhalt der Serie C8.

8.1.9 Folgerung Versuchsserie C4 und C8

Die Verklausung der gesamten Parallelrechenlänge durch die erste Schwemmholzfracht wirkt sich negativ auf den Geschiebetransport aus. Durch eine deutlichere Strömungslenkung in den hinteren Teil des Parallelrechens (Felsabtrag im Bereich M800 bis M825) kann diese Problematik entschärft werden. Des Weiteren soll der Stababstand des Parallelrechens im Bereich des Böschungsanschlusses halbiert werden, womit der Schwemmholzaustrag aus dem Rechen reduziert werden kann.

9 ÜBERLASTVERSUCHE

9.1 Serie D8 und D9

Für die Versuche der Serie D8 und D9 des Holzrückhaltes sind im Anhang Luftaufnahmen vom Zustand vor und nach den Versuchen abgelegt. Ebenfalls sind die Filme zu den Versuchen auf dem USB-Stick beigelegt.

9.1.1 Problemstellung

Mit den Überlastversuchen soll die Robustheit des Schwemmholtzrückhaltesystems auf möglichst verschiedene Arten überprüft werden. Es werden fünf verschiedene Extremsituationen untersucht.

9.1.2 Randbedingungen

Die Randbedingungen der Serie D8 und D9 entsprechen der Nachweisserie C8. Abweichungen von den Randbedingungen werden im Versuchsbeschrieb aufgeführt.

9.1.3 Versuch D8_1.1_210G

Mit dem Versuch D8_1.1_210G wird überprüft, ob die Schwemmholtzrechen auch ohne Querseile funktionieren.

Beobachtungen

Die erste Schwemmholtzfracht (300 m^3) führt zu einer kompletten Verklausung der gesamten Rechenlänge des Parallelrechens. Zwischen den letzten zwei Pfosten des Parallelrechens wird Schwemmholtz ausgetragen, siehe roter Kreis Abb. 9-1. Die Schwemmholtzfrachten zwei und drei (je 850 m^3) werden in den beiden Rechen zurückgehalten. Im Parallelrechen sind die Schwemmholtzablagerungen zwischen 3.2 m und 4.1 m und im V-Rechen zwischen 1.8 m und 3.2 m hoch. Gesamthaft werden von den beigegebenen $2'000 \text{ m}^3$ Schwemmholtz $1'850 \text{ m}^3$ zurückgehalten, was einem Rückhalt von 92 % entspricht. Die genaue Schwemmholtzverteilung ist in der Tab. 9-1 ersichtlich.



Abb. 9-1: Die Verklausungen im oberen Drittel (rot markiert) des Parallelrechens lösen sich bis zur Hochwasserspitze auf.



Abb. 9-2: Schwemmmholzablagerungen des Versuches D8_1.1_210G.

Element	Schwemmmholzverteilung [% (m³)]
Parallelrechen	61 (1'230)
V-Rechen	26 (520)
Buhne	3 (50)
Sonstige	3 (50)
Austrag	8 (150)

Tab. 9-1: Schwemmmholzverteilung des Versuches D8_1.1_210G.

Fazit

Das Weglassen der Querseile hat nicht zu einer Verschlechterung des Schwemmmholzrückhaltes geführt.

9.1.4 Versuch D8_2.1_210G

Mit dem Versuch D8_1.1_210G wird überprüft ob das Schwemmmholz im Parallelrechen trotz einer Geschiebeablagerung von 2 m zurückgehalten werden kann. Zu Auflandungen im Parallelrechen kann es durch ein noch nicht geräumtes Ereignis oder durch die Vernachlässigung des Unterhalts entstehen.



Abb. 9-3: Ausgangslage des Versuches D8_2.1_210G. Auflandung im Parallelrechen mit einer Höhe von 2 m.

Beobachtungen

Die erste Schwemmmholzfracht (300 m^3) wird infolge der Auflandung im Parallelrechen komplett ausgetragen. Die Schwemmmholzfrachten zwei und drei (je 850 m^3) können zu einem grossen Teil im V- sowie im Parallelrechen zurückgehalten werden. Jedoch kommt es infolge der Auflandung zu einer Teilverklausung der Rechenöffnung. Im Parallelrechen sind die Schwemmmholzablagerungen zwischen 1.4 m und 3.6 m und im V-Rechen zwischen 1.4 m und 2.7 m hoch. Gesamthaft werden von den beigegebenen $2'000 \text{ m}^3$ Schwemmmholz $1'630 \text{ m}^3$ zurückgehalten, was einem Rückhalt von 82 % entspricht. Die genaue Schwemmmholzverteilung ist in der Tab. 9-2 ersichtlich.



Abb. 9-4: Durch die Strömungslage, infolge der Auflandung, wird die Gefahr einer Querverklausung der Parallelrechenöffnung grösser.

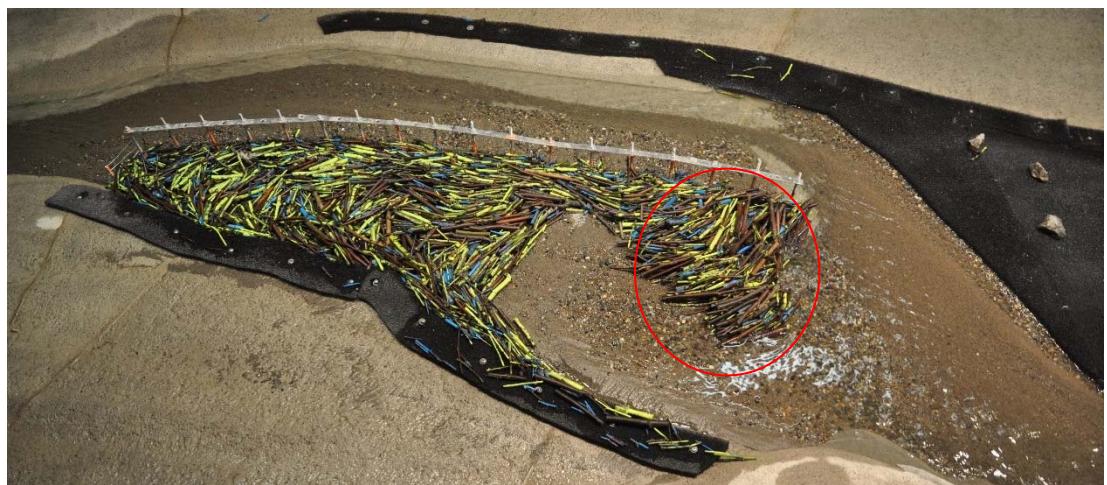


Abb. 9-5: Teilverklausung der Rechenöffnung infolge der Auflandung im Parallelrechen.

Element	Schwemmholtverteilung [% (m³)]
Parallelrechen	47 (950)
V-Rechen	31 (610)
Buhne	3 (50)
Sonstige	1 (20)
Austrag	18 (370)

Tab. 9-2: Schwemmholtverteilung des Versuches D8_2.1_210G.

Fazit

Die Auflandung im Parallelrechen führt dazu, dass die erste Schwemmholtfracht (Anschutz) nicht zurückgehalten werden kann. Infolge der deutlich weniger hohen Schwemmholtablagerungen wird das Rückhaltevolumen im Parallelrechen deutlich reduziert. Dennoch werden die Schwemmholtfrachten zwei und drei durch das Rechensystem zu einem grossen Teil zurückgehalten.

9.1.5 Versuch D8_3.1_210G

Im Versuch D8_3.1_210G ist die Buhne ausgebaut um zu überprüfen, ob die Schwemmholtfracht eines HQ₁₀₀ zurückgehalten werden kann.

Beobachtungen

Die erste Schwemmholtfracht (300 m³) wird grösstenteils im Parallelrechen zurückgehalten. Ebenfalls wird die zweite Schwemmholtfracht (850 m³) beinahe komplett im Parallelrechen zurückgehalten. Die dritte Schwemmholtfracht (850 m³) wird nur noch teilweise im Parallelrechen zurückgehalten. Durch die Schwemmholtablagerung im Parallelrechen sowie der gestützten Felsnase (Geometrie Serie C8) wird die Strömung Richtung Rechenöffnung gelenkt, was zu einem grösseren Schwemmholtaustrag führt, siehe Abb. 9-6.

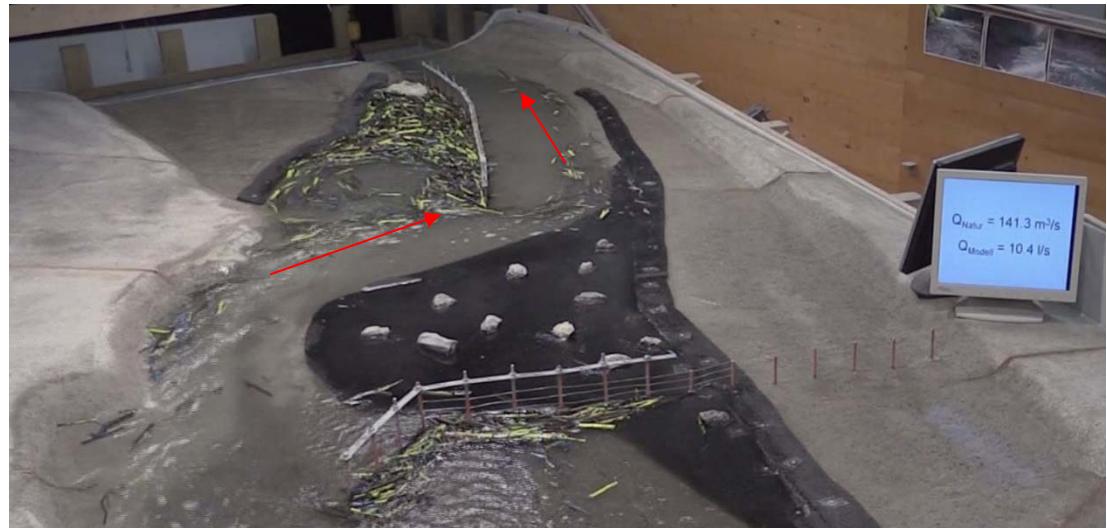


Abb. 9-6: Durch die Strömungslage im Bereich der Rechenöffnung wird das Rechenvolumen nicht ausgenutzt und es kommt zu einem grösseren Schwemmmholzaustrag.

Im Parallelrechen sind die Schwemmmholzablagerungen in etwa 1.4 m und im V-Rechen zwischen 3.2 m und 4.1 m hoch. Gesamthaft werden von den beigegebenen 2'000 m³ Schwemmmholz 1'650 m³ zurückgehalten, was einem Rückhalt von 82 % entspricht. Die genaue Schwemmmholzverteilung ist in der Tab. 9-3 ersichtlich.



Abb. 9-7: Ohne Buhne wird der V-Rechen deutlich weniger angeströmt, wodurch der Schwemmmholzrückhalt geringer ausfällt.

Element	Schwemmholtverteilung [% (m ³)]
Parallelrechen	75 (1'500)
V-Rechen	6 (110)
Sonstige	1 (30)
Austrag	18 (360)

Tab. 9-3: Schwemmholtverteilung des Versuches D8_3.1_210G.

Fazit

Ohne Buhne wird im V-Rechen deutlich weniger Schwemmholt zurückgehalten, wodurch die gesamte Bilanz des Schwemmholtrückhalts schlechter ausfällt.

9.1.6 Versuch D8_4.1_300Flutwelle

Mit dem Versuch D8_4.1_300F wird eine Flutwelle mit einer Abflussspitze von 300 m³/s und einer Schwemmholtfracht von 2'000 m³ untersucht. Ein solches Szenario kann infolge eines Aufstaus und plötzlichen Bruchs einer Verklausung in der Schlucht oberhalb des Zugbodens entstehen.

Zuerst wurde der Wasserpegel im Beruhigungsbecken bei einem stationären Abfluss von 300 m³/s ermittelt. Die gesamte Schwemmholtfracht wird in das trockene Gerinne eingebbracht. Im abgesenkten Beruhigungsbecken wird der Zufluss auf 300 m³/s eingestellt, bis zur zuerst ermittelten Kote aufgestaut und dann wird der Abfluss freigegeben.

Abb. 9-8: Die gesamte Schwemmholtfracht (2'000 m³) wird in das trockene Gerinne gelegt.

Beobachtungen

Die gesamte Schwemmholtmenge die in der Abb. 9-8 zu sehen ist, wird durch die Flutwelle mobilisiert, siehe Abb. 9-9. Die gestutzte Felsnase lenkt die Spitze der Flutwelle an der Öffnung des Parallelrechens vorbei. Mit zunehmendem Abfluss wird die Strömung stärker in den Parallelrechen gelenkt. Im Parallelrechen sind die Schwemmholtablagerungen zwischen 2.7 m und 4.1 m und im V-Rechen zwischen 2.7 m und 4.1 m hoch. Gesamthaft werden von den beigegebenen 2'000 m³ Schwemmholt 1'780 m³ zurückgehalten, was einem Rückhalt von 89 % entspricht. Die genaue Schwemmholtverteilung ist in der Tab. 9-4 ersichtlich.



Abb. 9-9: Flutwelle mit einer Abflussspitze von 300 m³/s und einer Schwemmholtfracht von 2000 m³.

Element	Schwemmholtverteilung [% (m ³)]
Parallelrechen	60 (1'190)
V-Rechen	17 (330)
Buhne	4 (90)
Sonstige	8 (170)
Austrag	11 (220)

Tab. 9-4: Schwemmholtverteilung des Versuches D8_4.1_300Flutwelle.

Fazit

Eine Flutwelle hat auf das Rückhaltesystem keine negativen Einflüsse. Mit einer stärker gestützten Felsnase im Bereich M800 bis M825 würde der Holzrückhalt noch besser ausfallen.

9.1.7 Versuch D9_1.1_210G

Für den Versuch D9_1.1_210G wird die gesamte rechte Waldterrasse bis an den Hangfuss entfernt und das Gerinne auf die rechte Seite verlagert, siehe Abb. 9-10



Abb. 9-10: Das Gerinne ist an den rechten Hangfuss verlagert und der Wald entfernt worden.

Beobachtungen

Die erste Holzfracht (300 m^3) verklaut die gesamte im Gerinne liegende Länge des V-Rechens. Ein Teil der ersten Holzfracht gelangt auf der linken Seite des Gerinnes durch den V-Rechen und wird im Parallelrechen zurückgehalten.



Abb. 9-11: Die erste Schwemmholtfracht wird beinahe komplett durch den V- und Parallelrechen zurückgehalten.

Durch die zweite Holzfracht (850 m^3) kommt es zu einem Aufstau oberhalb des V-Rechens, was zu einem linkseitigen umströmen des V-Rechens führt, siehe Abb. 9-12. Dadurch werden geringe Schwemmholtzmengen in den Parallelrechen weitergeleitet. Ein kleiner Teil der dritten Holzfracht wird ebenfalls linksseitig um den V-

Rechen geleitet und durch den Parallelrechen zurückgehalten. Durch den massiven Holzrückhalt im V-Rechen werden nur sehr geringe Geschiebemengen ausgetragen. Ein Grossteil des Geschiebes wird daher oberhalb des V-Rechens abgelagert. Im Parallelrechen sind die Schwemmholzablagerungen zwischen 1.4 m und 3.6 m und im V-Rechen zwischen 2.7 m und 4.1 m hoch. Gesamthaft werden von den beigegebenen 2'000 m³ Schwemmholz 1'930 m³ zurückgehalten, was einem Rückhalt von 97 % entspricht. Die genaue Schwemmholzverteilung ist in der Tab. 9-5 ersichtlich.



Abb. 9-12: Der V-Rechen wird trotz massiver Auflandung am linken Hangfuss nach dessen Verklausung linksseitig umströmt.

Element	Schwemmholzverteilung [% (m ³)]
Parallelrechen	15 (300)
V-Rechen	79 (1'580)
Sonstige	2 (50)
Austrag	3 (70)

Tab. 9-5: Schwemmholzverteilung des Versuches D9_1.1_210G.

Fazit

Durch den Abtrag der rechten Waldterrasse wird massiv mehr Schwemmholz im V-Rechen zurückgehalten, wodurch das Rückhaltepotential des Rechensystems deutlich gesteigert wird. Durch den massiven Holzrückhalt im V-Rechen kommt es zu grösseren Geschiebeablagerungen oberhalb des V-Rechens, infolge dessen wird sich die Hauptströmung wieder auf die linke Seite verlagern. Gesiebetechnisch bedeutet die Gerinneverlagerung an den rechten Hangfuss eine Verschlechterung, jedoch wird der Schwemmholzrückhalt verbessert.

9.1.8 Versuch D9_1.2_210G

Der Versuch D9_1.2_210G ist eine Wiederholung des Versuches D9_1.1_210G zur Vorführung an der Schlusssitzung zu den Modellversuchen Holzrückhalt Zulg vom 04.05.2017. Der Versuch brachte keine neuen Erkenntnisse.

9.1.9 Zusammenfassung Versuchsserie D8 und D9

Eine deutlich negative Einwirkung auf das Rechensystem haben Auflandungen im Parallelrechen sowie das Weglassen der Buhne oberhalb des Parallelrechens. Jedoch liegt der Holzrückhalt trotz Verschlechterung immer noch über 80 % der Holzfracht von 2'000 m³. Jedoch würden die Auswirkungen bei grösseren Holzfrachten deutlich negativer ausfallen. Da durch Auflandungen im Parallelrechen dessen Rückhaltevolumen verringert wird und durch das Weglassen der Buhne das Rückhaltevolumen des V-Rechen nicht ausgenutzt werden kann. Das Weglassen der Querseile, sowie ein Flutwellenereignis haben nicht zu einer Verschlechterung des Holzrückhaltes geführt. Die Verlagerung des Gerinne an den rechten Hangfuss führen zu einer Verbesserung des Holzrückhaltes, siehe Tab. 9-6.

Versuch	Schwemmholtzrückhalt	Delta zu C8_1.1_210G
[-]	[% (m ³)]	[%]
C8_1.1_210G	90 (1'800)	Reverenz 100 %
D8_1.1_210G (Querseile)	92 (1'850)	3
D8_2.1_210G (Auflandung)	82 (1'630)	-9
D8_3.1_210G (Buhne)	82 (1'640)	-9
D8_4.1_300F (Flutwelle)	89 (1'780)	-1
D9_1.1_210G (rechtsseitig)	97 (1'930)	7

Tab. 9-6: Vergleich der Überlastversuche mit dem Nachweisversuch C8_1.1_210G.

9.1.10 Folgerung Versuchsserie D8 und D9

Mit den Überlastversuchen wurde die Robustheit des Systems nachgewiesen. Es ist jedoch Wert darauf zu legen, dass Auflandungen im Parallelrechen entfernt werden, sowie dass die Buhne oberhalb des V-Rechens nach Ereignissen überprüft und wenn nötig instandgesetzt wird. Verlagerungen des Gerinnes im Bereich oberhalb und im Bereich des Rechensystems stellen für das Rechensystem bezüglich des Holzrückhaltes kein Problem dar. Die Querseile sollen für den Rückhalt von Ästen sowie kleineren Bäumen eingebaut werden. Mit dem Anschutz anfallendes Schwemmholtz (Äste und kleinere Bäume) muss zurückgehalten werden, damit das Projekt von der Bevölkerung akzeptiert wird.

10 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

In diesem Kapitel werden aufgrund der zuvor vorgestellten Versuchsergebnisse und Diskussionen Schlussfolgerungen gezogen. Auf diesen basieren die Empfehlungen für den Schwemmholtzrückhalt Zulg. Alle Schwemmholtzangaben erfolgen in Festmeter.

10.1 Schlussfolgerungen

Die Modellversuche haben gezeigt, dass bei einem HQ₃₀ Gewitterereignis ca. 85 % der Schwemmholtzfracht von 800 m³ zurückgehalten werden kann. Bei den HQ₁₀₀ Ereignissen (langandauerndes Ereignis, Gewitterereignis) liegt der Holzrückhalt zwischen 90 % und 95 %, bei einer Holzfracht von 2'000 m³. Der Geschiebetrieb wird durch das Rückhaltesystem um ca. 20 % bis 40 % reduziert. Der maximale Schwemmholtzrückhalt bei den HQ₃₀₀ Ereignissen (langandauerndes Ereignis, Gewitterereignis) liegt zwischen 80 und 90 %, wobei die Holzfracht ein Volumen von 4'000 m³ aufweist. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass je grösser die Abflüsse sind, desto höher sind die Schwemmholtzablagerungen in den Rechen und umso grössere Holzmengen können in den Rechen zurückgehalten werden. Mit den Überlastversuchen wurde das Rechensystem auf verschiedene Arten seine Robustheit getestet. Die Versuche sind mittels HQ₁₀₀ Gewitterganglinie und einer Schwemmholtzbeigabe von 2'000 m³ durchgeführt worden. Es wurden die Querseile der Rechen weggelassen, eine Auflandung im Parallelrechen simuliert, die Buhne ausgebaut, das Gerinne an den rechten Hangfuss verlegt sowie eine Flutwelle mit einer Abflussspitze von 300 m³/s simuliert. Der Holzrückhalt betrug trotz diesen Änderungen zwischen 80 % und 97 % der Schwemmholtzbeigabe. Mit den durchgeföhrten Überlastversuchen kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass das Rückhaltesystem sehr robust auf Veränderungen reagiert. Der Holzrückhalt durch den V- und Parallelrechen funktionieren nur als Tandem zuverlässig. Die Unterhaltsarbeiten dürfen nicht vernachlässigt werden.

10.2 Empfehlungen

Die Modellversuche haben gezeigt, dass das Rechensystem V-Rechen kombiniert mit einem Parallelrechen sowie einer Buhne oberhalb des V-Rechens die optimale Lösung darstellt. Bei der Ausführung dieses Rechensystems sollen folgende Optimierungen berücksichtigt werden. Eine optimale Ausnutzung des V-Rechens kann nur durch die Buhne oberhalb des V-Rechens erreicht werden. Die Buhne soll eine Länge von 10 m und eine Höhe von 2.5 m ab Sohle aufweisen und liegt auf dem QP 663. Die Kolkiefen oberhalb der Buhne weisen Tiefen bis 2.5 m auf, welche für die Fundation der Buhne berücksichtigt werden müssen. Der V-Rechen muss für die System-sicherheit bis an den Hangfuss ausgeführt werden. Ein rechtsseitiges Umströmen des V-Rechens im Bereich des Hangfuss muss mit den notwendigen Massnahmen verhindert werden. Die Stababstände des V- sowie Parallelrechen sollen 5 m betragen. Die Rechenstäbe werden auf einer Höhe von 2 m, 3 m, und 4 m über der Sohle mit ein Querseil verbunden. Des Weiteren soll die Felsnase im Bereich M800 bis M825 ganz abgetragen werden, so dass die Strömung in den hinteren Bereich des Parallelrechens zielt, siehe Serie B5. Diese Strömungslenkung in den Parallelrechen verhindert eine Querverklausung der Rechenöffnung und optimiert den Geschiebetrieb durch den Rechen. Weiter soll der Felsabtrag dafür sorgen, dass die Niederwasser-rinne durch den Parallelrechen geleitet wird. Die Verlegung des Gerinnes durch den Parallelrechen verhindert grössere Geschiebeablagerungen, reduziert dadurch die Unterhaltskosten und verbessert die Systemsicherheit.

Folgende weiter Massnahmen, ohne dass sie mittels Modellversuchen überprüft wurden, werden empfohlen: Im hinteren Teil des Parallelrechens (zwischen Stab 233 und 235) soll der Stababstand halbiert werden, damit der Schwemmholtzastrag in diesem Bereich minimiert werden kann. Die Schwemmholtzablagerungen erreichen bei den Gewitterereignissen HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀ im Parallelrechen das oberste Stahlseil (4 m über Sohlenausgangslage), wodurch keine Reserven vorhanden sind. Daher sollen die Rechenstäbe des Parallelrechens um einen Meter auf 5 m Länge verlängert werden, damit allfällige Anhebungen der Sohle (bis einen Meter) aufgefangen werden können. Ebenfalls soll die Böschung im Parallelrechen gesichert werden. Mit einer Verlängerung des Parallelrechens in den Wald soll ein umströmen über die Waldterrasse verhindert werden.

10.2.1 Unterhalt

Es muss gewährleistet sein, dass Auflandungen im Parallelrechen entfernt werden. Da infolge Auflandungen im Parallelrechen die gesamte erste Holzfracht (Anschutz) um den Rechen geleitet wird. Ebenfalls wird das Rückhaltevolumen infolge Auflandungen im Parallelrechen verkleinert. Die Sohlenkote im Parallelrechen soll tiefer oder mindestens dieselbe Höhe wie das Gerinne um den Parallelrechen aufweisen. In den Modellversuchen lag die Sohle im Bereich der Öffnung des Parallelrechens auf ca. 602 m ü. M. und am Ende des Parallelrechens einen Meter tiefer auf ca. 601 m ü. M. Die Schwemmholtzablagerungen erreichen bei den Gewitterereignissen HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀ im Parallelrechen das oberste Stahlseil (4 m über Sohlenausgangslage). Daher besteht die Gefahr, dass infolge einer Sohlenhebung im Zulgboden die Rechen überströmt werden. Die Ablagerungshöhe des Schwemmholtzes im V-Rechen fällt mit einer maximalen Auflandungshöhe im Rechenbereich von maximal 2.5 m deutlich geringer aus, wodurch eine Reserve von 1.5 m in der Höhe vorhanden ist. Für den Unterhalt ist es daher sinnvoll Fixpunkte an gewissen Rechenstäbe anzubringen, sodass deutlich ersichtlich ist, ob ein Geschiebeabtrag (Baggerungen) notwendig wird oder nicht. Des Weiteren ist eine regelmässige Überprüfung der Buhne oberhalb des V-Rechens notwendig. Da die Buhne einen massgebenden Anteil am Rückhalt im V-Rechen hat.

11 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Herzog Ingenieure AG, «Hochwasserschutz und Längsvernetzung Zulg, Holzrückhalt, Pflichtenheft Modellversuche», Gümlingen, 2015.
- [2] AWA Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern, Hydrometrische Daten, Zulg Heimberg A090, Zulg Chachelischwand A110 Gesamte Periode, Bern, 2016.
- [3] Hunziker Gefahrenmanagement, «Schwemmholz Zulg», Kerzers, 2016.
- [4] G. Hunziker, Interviewee, [Interview]. 12.08.2016.
- [5] Herzog Ingenieure AG, «Hochwasserschutz und Längsvernetzung Zulg, Technischer Bericht», Gümlingen, 2015.
- [6] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, «Hochwasser 2005 in der Schweiz, Synthesebericht zur Ereignisanalyse», Bern, 2008.
- [7] Daniela Lange, Gian Reto Bezzola, «Mitteilung 188, Schwemmholz und Lösungsansätze», VAW Vesuchsanstalt für Wasserbau, Zürich, 2006.
- [8] Flussbau AG, geo7 Geowissenschaftliches Büro, «Gefahrenkarte Steffisburg», Bern, 2009.
- [9] Hochschule für Technik Rapperswil, Institut für Bau und Umwelt, «Offerte, Modellversuche Holzrückhalt Zulg», Rapperswil, 2016.
- [10] B-I-G Büro für Ingenieurgeologie AG, «Steffisburg - Untersuchung Felsoberfläche», Gümligen, 2016.
- [11] BSL Baustofflabor AG, «Untersuchungen von Gesteinskörnungen», Uetendorf, 2016.
- [12] Hunziker Gefahrenmanagement, «Hochwasser vom 7. Juni 2015 in der Zulg, Ereignisdokumentation», Kerzers, 2015.
- [13] Flussbau AG, Hunziker Gefahrenmanagement, «Hochwasser vom 4.Juli 2012 in der Zulg», Bern, 2012.
- [14] Herzog Ingenieure AG, Hochwasserschutz und Längsvernetzung Zulg, Situation 1:2'000, Gümlingen, 2015.

- [15] Herzog Ingenieure AG, DGM_Bereich_Holzrechen, Gümlingen, 2016.
- [16] «map.geo.admin.ch» Schweizerische Eidgenossenschaft, [Online]. Available: <https://map.geo.admin.ch>. [Zugriff am 08 08 2016].
- [17] R. Fehr, Einfache Bestimmung der Korngrössenverteilung von Geschiebematerial mit Hilfe der Linienzahlanalyse, Zürich: Schweizer Ingenieur und Architekt, 1987.
- [18] Herzog Ingenieure AG, «Hochwasserschutz und Längsvernetzung Zulg, Geschiebehaushalt», Gümlingen, 2015.