



**Universität für Bodenkultur Wien**  
Department Bautechnik und Naturgefahren  
Institut für Alpine Naturgefahren (IAN)

Peter Jordan Str. 82  
A-1190 WIEN

Tel.: +43-1-47654-4350  
Fax: +43-1-47654-4390



## Endbericht

Physikalische Modellierung zur Optimierung von flexiblen  
Murbarrieren am Beispiel Trattenbach



Im Auftrag:

**Österreichischen Bundesbahnen AG**  
**Infrastruktur**



Wien, Juni 2014









## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>SPERRENKONSTRUKTION</b> .....	<b>3</b>
2.1	Räumungskonzept .....	3
<b>3</b>	<b>UNTERSUCHUNGSGEBIET</b> .....	<b>5</b>
3.1	Einzugsgebietscharakteristika.....	5
3.2	Geologie.....	7
3.3	Derzeitiger Verbauungszustand .....	8
<b>4</b>	<b>BEMESSUNGSABFLUSS</b> .....	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>SKALIERUNG</b> .....	<b>11</b>
5.1	Ähnlichkeitsprinzip .....	11
5.2	Versuchswesen/ Modellgesetze .....	12
<b>6</b>	<b>METHODIK</b> .....	<b>14</b>
6.1	Szenarienbildung .....	14
6.1.1	Versuchsdurchläufe Murgang .....	14
6.1.2	Versuchsdurchläufe fluviatiler Feststofftransport.....	15
6.2	Versuchsmischung.....	16
6.2.1	Versuchsdurchläufe Murgang .....	16
6.2.2	Versuchsdurchläufe fluviatiler Feststofftransport.....	21
6.3	Versuchsaufbau .....	23
6.3.1	Versuchsdurchläufe Murgang .....	23
6.3.2	Versuchsdurchläufe fluviatiler Feststofftransport.....	27
6.3.3	Wildholzrechnen .....	29
6.4	Messtechnik .....	29
6.4.1	Laser .....	29
6.4.2	Ultraschallsensor .....	30
6.4.3	Laserscan.....	30



6.4.4	Druckmessblock.....	30
6.4.5	Messeinrichtung zur Ankerkraftermittlung .....	32
6.4.6	HighSpeed Kamera.....	34
6.4.7	Videoaufzeichnung .....	34
6.4.8	Datenanalyse.....	34
6.5	Signalanalyse.....	35
6.6	Versuchsablauf .....	35
6.6.1	Versuchsdurchläufe Murgang .....	35
6.6.2	Versuchsdurchläufe fluviatiler Feststofftransport.....	36
6.7	Versuchsübersicht.....	37
<b>7</b>	<b>ERGEBNISSE.....</b>	<b>38</b>
7.1	Visuelle Beobachtungen .....	38
7.1.1	Murversuche Druckmessblock .....	38
7.1.2	Murversuche Netzsperr.....	40
7.1.3	Geschiebeversuche .....	40
7.2	Eingangshydrograph .....	41
7.3	Frontgeschwindigkeiten .....	42
7.4	Ergebnisse Druckmessblock.....	45
7.4.1	Maximalkräfte am Sperrenkörper .....	45
7.4.2	Maximaldrücke am Sperrenkörper .....	45
7.5	Ergebnisse Ankerkräfte.....	47
7.5.1	Vorspannung .....	51
7.5.2	Theoretischer Nachweis.....	53
7.6	Ergebnisse Durchflussöffnung .....	55
7.6.1	Murgang .....	55
7.6.2	Fluviatiler Feststofftransport.....	58
7.7	Ergebnisse Wildholzrechen.....	58
<b>8</b>	<b>INTERPRETATION.....</b>	<b>70</b>



8.1	Depositionsverhalten.....	70
8.1.1	Murgang .....	70
8.1.2	Fluviatiler Feststofftransport .....	70
8.2	Frontgeschwindigkeiten .....	79
8.3	Eingangshydrograph .....	79
8.4	Maximalkräfte am Sperrenkörper .....	80
8.5	Maximaldrücke am Sperrenkörper .....	81
8.6	Ankerkräfte.....	82
8.6.1	Kräfteverteilung .....	82
8.6.2	Theoretischer Nachweis .....	82
8.7	Durchflussöffnung .....	83
8.7.1	Murgang .....	83
8.7.2	Fluviatiler Feststofftransport .....	85
8.8	Wildholzrechen.....	85
<b>9</b>	<b>RESÜMEE .....</b>	<b>88</b>
<b>10</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>90</b>
<b>11</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>93</b>
<b>12</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>95</b>





# 1 Einleitung

Der Trattenbach ist ein Wildbach im Gemeindegebiet Taxenbach, der durch seinen starken Geschiebetransport und seiner Murfähigkeit gekennzeichnet ist. Kurz vor seiner Mündung in die Salzach kreuzt dieser zwei Gleise der Österreichischen Bundesbahnen (Strecke Salzburg – Wörgl).

In einem neugeplanten Verbauungsprojekt/Sanierungsprojekt des Unterlaufs sollten hier statt den derzeitigen drei Konsolidierungssperren aus dem Jahre 1962-1969 zwei neue Schutzbauwerke errichtet werden. Die Bauwerksfunktionen der neuen Sperren sollten zum einen der Retention von fluviatilen Feststofftransport und zum anderen der Retention bzw. Energieumwandlung von murartigen Feststofftransport/Murgang dienen. Um diese gewünschten Funktionen zu erfüllen, wurde von dem Ziviltechnikerbüro dlp GmbH ein Schutzkonzept mit einem Sortierwerk und einem vorgelagerten Bauwerk zum Schutz vor Muren erstellt.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit Konstruktion, Optimierung und Ausführung eines alternativen Murbauwerks.

***Als allgemeine Konstruktionsregel für Retentionssperren ist zu beachten, dass der Verlandungsraum mit einem Weg zu erschließen ist, der eine maschinelle Freimachung (Räumung) nach dem Ereignis ermöglicht. (ONR 24802, 2011)***

Durch einen oft unzugänglichen Standort eines energieumwandelten und retentierenden Schutzbauwerks ist die Räumung bzw. die Erstellung eines Räumweges in das Ablagerungsgebiet nur schwer und meist kostenintensiv möglich. Diesen Sachverhalt weist das Projektgebiet auf.

Die Überlegung geht dahin, eine Alternative zum konventionellen Murbrecher zu finden, um die Sperre ohne Bringungsweg räumen zu können. Dies könnte von der Luftseite der Sperre aus stattfinden. Um dieses Konzept zu verwirklichen wird eine ausreichend breite Öffnung im Bauwerk benötigt, damit mit verschiedenen Räumgeräten in das Ablagerungsgebiet vorgedrungen werden kann.



Um die Öffnung während eines möglichen Ereignisses zu schließen wird eine flexible Barriere (Murnetz) verwendet.

Um die Kräfte und Drücke für die Verankerung der Netze, das Verhalten bei Geschiebetransport mit Wildholz und den optimalen Standort eines Wildholzrechens zu untersuchen, wurde an der Universität für Bodenkultur in Wien, im Labor des Instituts für Alpine Naturgefahren, eine exakte Nachbildung des Unterlaufs, (hm 2,50-hm 3,60) im Maßstab 1:30, erstellt.

Jenes Modell wird für verschiedenste physikalische Modellversuche verwendet.



## 2 Sperrenkonstruktion

Für den Unterlauf des Trattenbachs ist ein Sperrentyp gesucht, welcher sich von der Luftseite der Sperre, durch eine Öffnungen im Sperrenkörper, räumen lässt bzw. mit LKW befahrbar ist. Dies setzt eine minimale Öffnungsbreite von 4m voraus.

Daher wurde in Zusammenarbeit mit dem Ziviltechnikerbüro dlp GmbH am Institut ein „Netzsperrtyp“ für diese Gegebenheiten entwickelt. Da eine Schlitzbreite von 4m für einen konventionellen Murbrecher zu breit wäre, geht die Überlegung dahin, die Durchgängigkeit des Schlitzes mit einem Murnetz zu verringern. Als Grundlage wurde eine kronenoffene Sperre mit Vorfeldwangen und Vorsperre gewählt.

Durch die Vorsperre kann sich eine geplante Grundverlandung im Sperrenbereich einstellen, daher kann von einer theoretischen Durchflusshöhe unter der Netzkante ausgegangen werden. Die Netzkonstruktion wird mit Hilfe von sechs Tragseilen abgespannt. Diese werden an der Luftseite der Sperre in Wangen verankert.

Das Retentionsvolumen der geplanten Sperre wurde von dem Ziviltechnikerbüro dlp GmbH mit 11.000m<sup>3</sup> bis 14.000m<sup>3</sup> errechnet.

Bei der Planung wurde das Augenmerk auf die Öffnung der Tragseile, bei Vollbelastung nach einem Ereignis, gelegt. Daher wurde das Netz und die Tragseilanker an der Luftseite der Sperre installiert, um eine sichere Installationsebene zu schaffen.

### 2.1 Räumungskonzept

Um eine Öffnung des Netzes nach einem Ereignis zu gewährleisten, wurde mit Hilfe von Trumer Schutzbauten ein Konzept entworfen. Dieses Konzept geht dahin, dass mit einem Bagger und einem vorher installierten Stahlseil ein Scherbolzen entfernt wird und sich dadurch das Netz aus den Verankerungen am Bauwerk löst. Dies kann für jedes einzelne Tragseil eigens durchgeführt werden. Das Netz kann daher stufenweise geöffnet und portioniert entleert werden.



### 3 Untersuchungsgebiet

Das vorliegende Untersuchungsgebiet des Trattenbachs befindet sich in der Salzburger Marktgemeinde Taxenbach (Katastralgemeinden Taxenbach 57212 und Eschenau 57205). Der Trattenbach ist ein nördlicher Zubringer der Salzach bei Flusskilometer 147,222. Mit einer Einzugsgebietsgröße von 17,74 km<sup>2</sup> unterteilt sich der Trattenbach in mehrere Zubringer. Als wesentliche Zubringer können der Foisbach und der Maderbach genannt werden. (Abbildung 3)

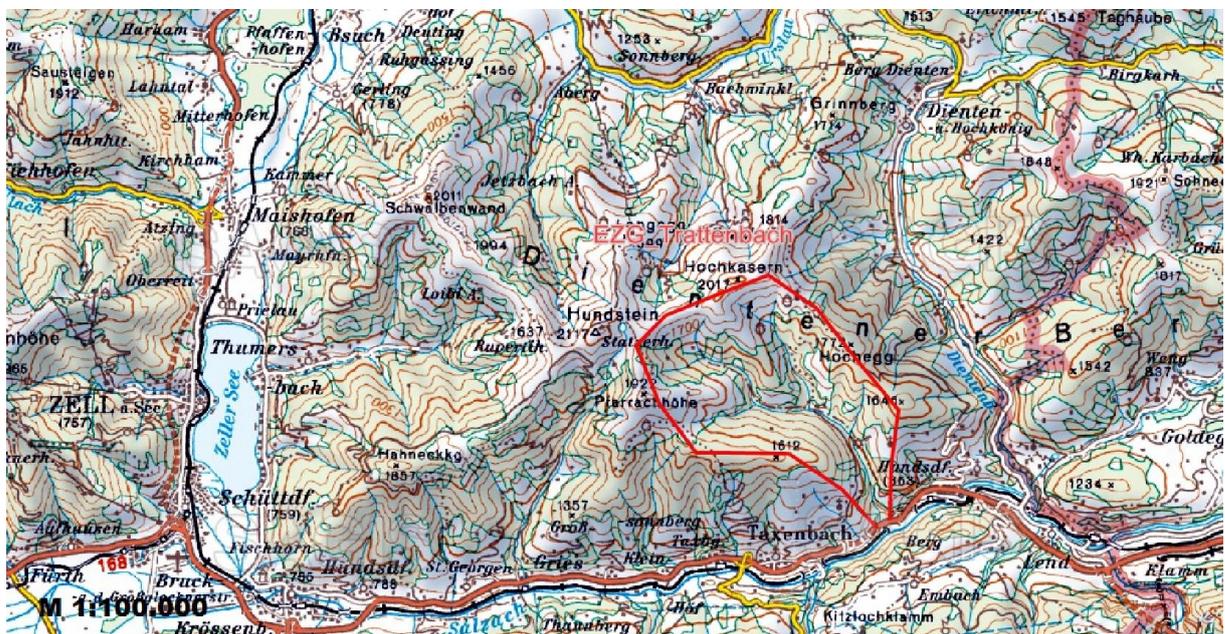


Abbildung 2: ÖK-Übersicht (Quelle: Sagis, Maßstab 1:100.000)

#### 3.1 Einzugsgebietscharakteristika

Während der Trattenbach-Unterlauf, der Trattenbach-Oberlauf und die namenlosen Zubringer tendenziell hohe Neigungsverhältnisse aufweisen, sind der Trattenbach-Mittellauf sowie Teilbereiche des Mader- und Foisbachs durch generell flachere Neigungsverhältnisse geprägt. Zur Ereignischronik des Trattenbachs können die Hochwasserereignisse, mit Geschiebetransport bis zur Mündung, aus den Jahren 1951, 1961, 1989, 2000, 2002 und das Ereignis im Juni 2013 erwähnt werden. Das



Wildholzpotezial des Trattenbachs kann auf die Schluchtstrecken des Bereiches Trattenbach-Unterlauf eingeschränkt werden. (Rauscher, 2013)

Durch die geringen Neigungsverhältnisse im Mittelauf des Trattenbachs kann eine Mure aus den oberen Teilen bis in den Mündungsbereich ausgeschlossen werden. Der Mittelauf kann daher für den weiteren Verlauf des Projektes als Umlagerungsstrecke definiert werden (siehe 6.1 Szenarienbildung).

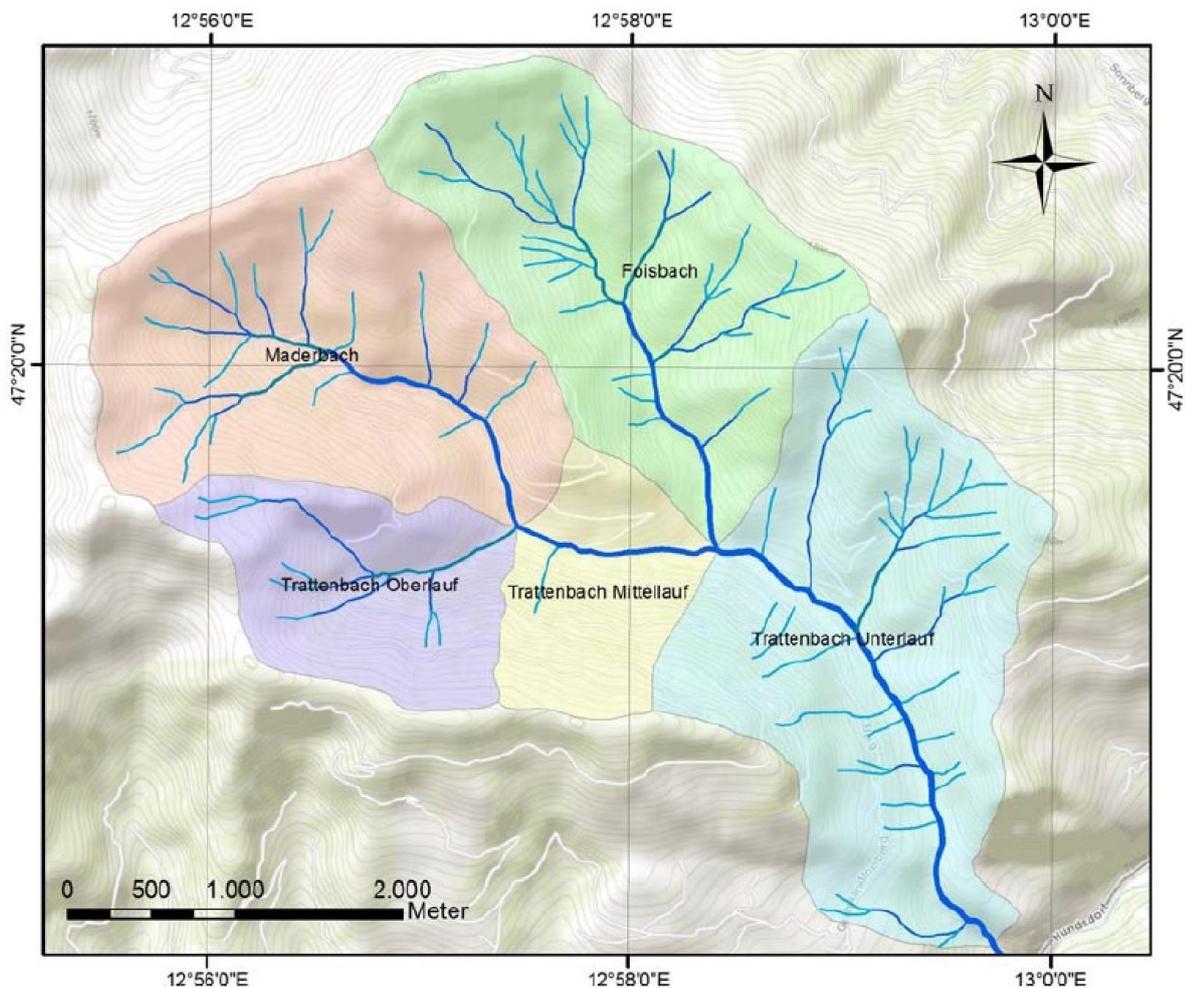


Abbildung 3: Einzugsgebiet mit den einzelnen Teilbereichen (Quelle: Rauscher R, 2013)

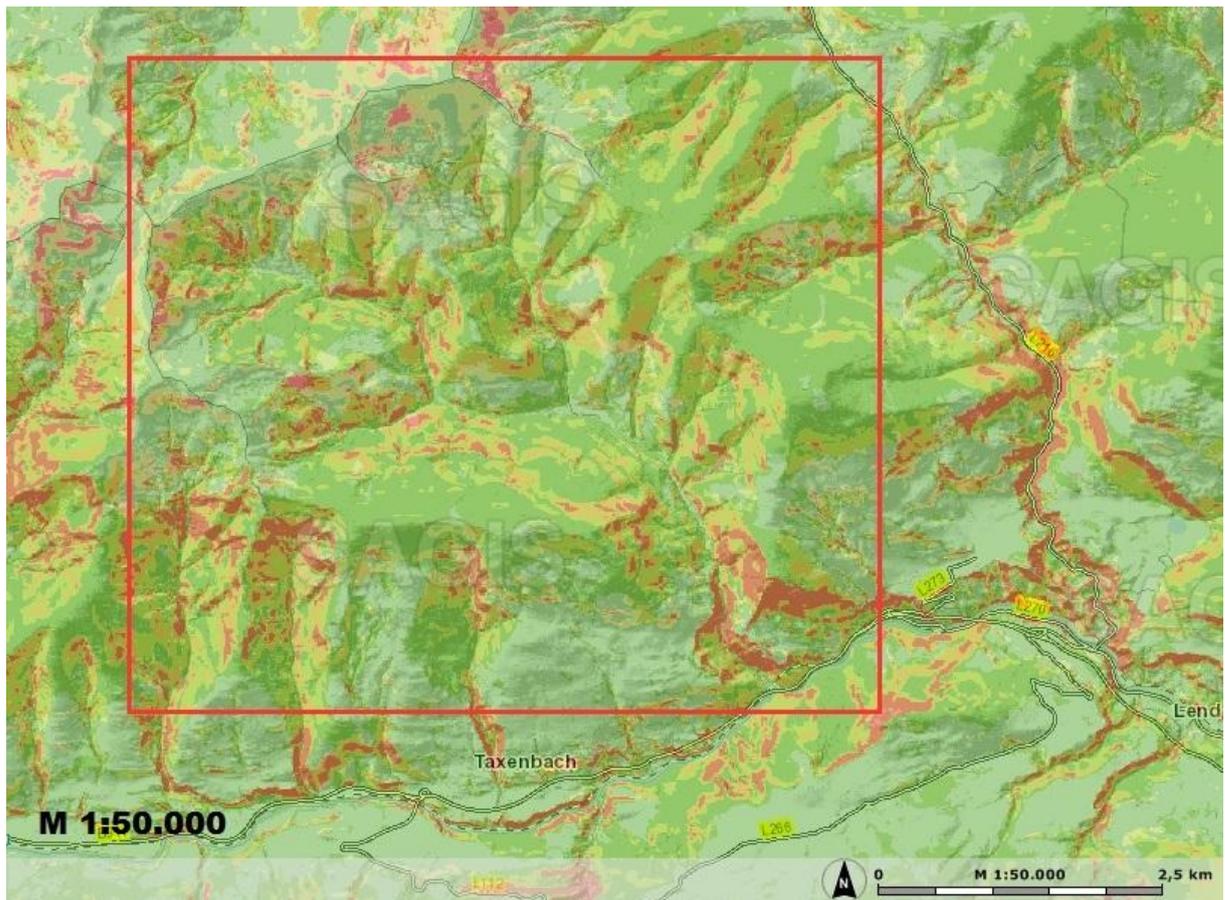


Abbildung 4: Neigungsverhältnisse (Quelle Sagis, Maßstab 1:50.000)

### 3.2 Geologie

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Ostalpin der Grauwackenzone. Tonschiefer kann als vorherrschende Gesteinsart genannt werden (Pinzgauer Phyllit). In den oberen Teilen des Einzugsgebietes können auch Grünschiefer vermehrt vorkommen. (Abbildung 5)

Das gesamte Einzugsgebiet des Trattenbachs, sowie auch das unmittelbare Grabenumfeld sind seit jeher für deren Massenbewegungen bekannt. (Rauscher, 2013)

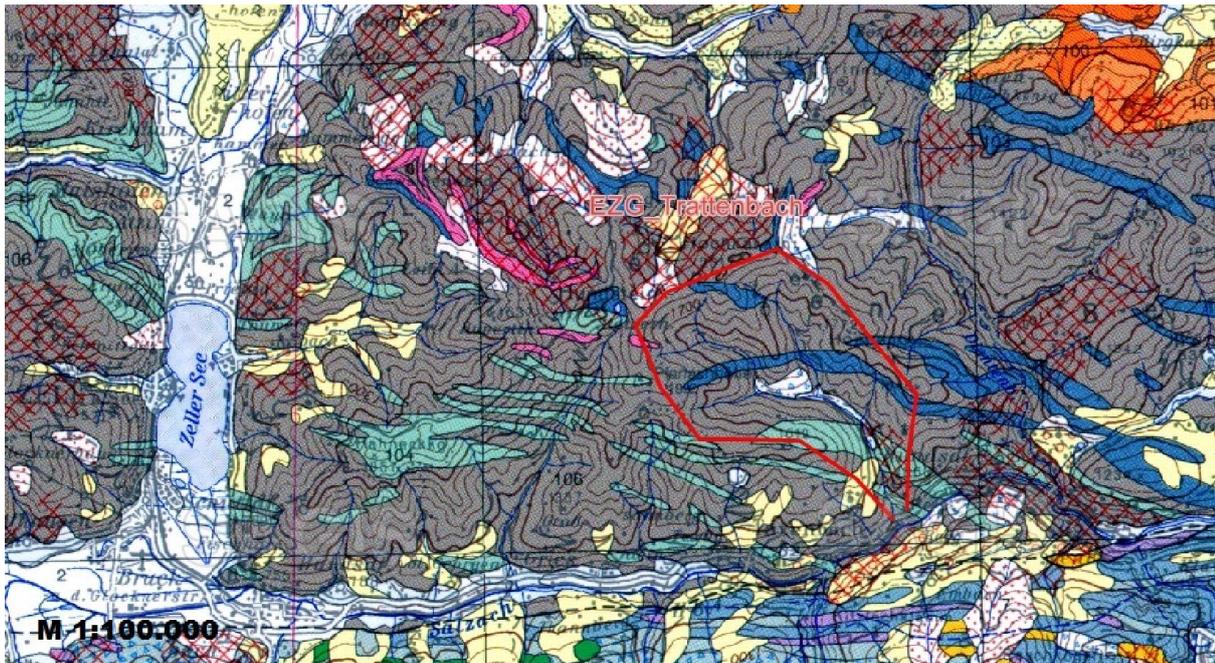


Abbildung 5: Geologische Karte (Quelle: Sagis, Maßstab 1:100.000)

### 3.3 Derzeitiger Verbauungszustand

Tabelle 1: Verbauungszustand (Rauscher, 2013)

Schutzbauwerk	Anzahl	Standort	Anmerkung
Konsolidierungssperre	3	Unterlauf	Bj.: 1962, 1969
Konsolidierungssperre	1	Mündung Maderbach	Vollgefüllter Ablagerungsbereich
Dammbauwerk	1	Oberhalb Ziegelhütte	Gewisse Rückhaltfunktion
Längsverbauung	1	Unterlauf/ Mündung	Bj.: 1962
Längsverbauung	1	Sägewerksgelände Harlander	Steinsätze



## 4 Bemessungsabfluss

Unter Verwendung eines N-A Modells konnte Angelmaier G. (2013) in seinem hydrologischen Gutachten einen Bemessungsabfluss für das Projektgebiet berechnen. Unter der Annahme einer mittleren Vorbefeuchtung konnten synthetische Basisbemessungswerte (=Reinwasser ohne Geschiebe) berechnet werden. Bei einer unterstellten Dauerstufe von 180min. Die Abflusswerte für die gängigen Jährlichkeiten sind in der Tabelle 2 und in Abbildung 6 unterhalb angeführt.

Tabelle 2: Bemessungsabflüsse und Frachten (Angelmaier, 2013)

		HQ 10	HQ 30	HQ 100
<b>Abfluss</b>	[m <sup>3</sup> /s]	33,6	51,0	72,0
<b>Fracht</b>	[m <sup>3</sup> ]	311.000	475.300	675.000

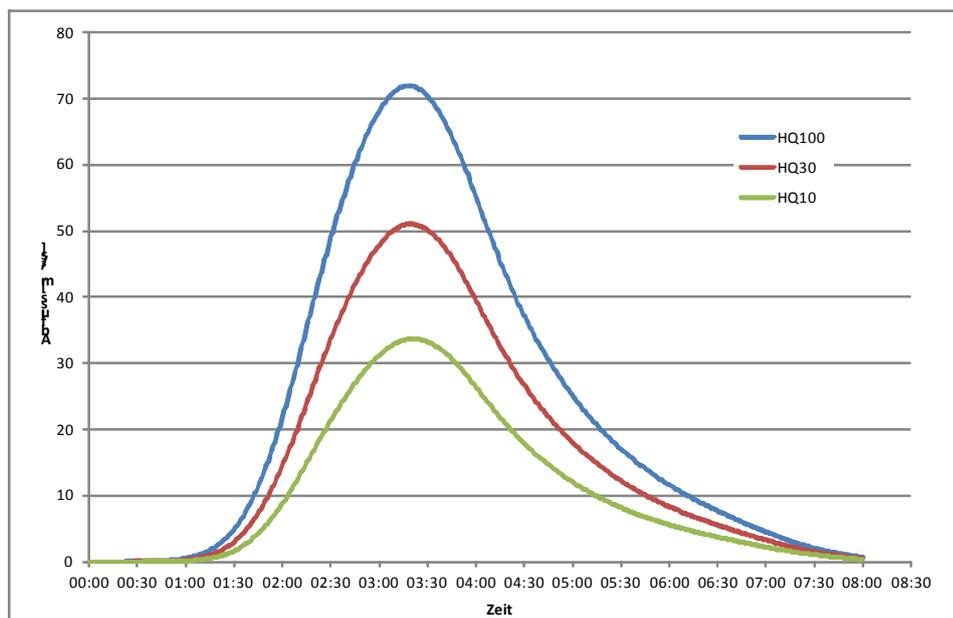


Abbildung 6: Bemessungshydrographen (Angelmaier, 2013)

Der Bemessungsabfluss wird für weitere Bemessungen von Schutzbauwerken am Standort dieser herangezogen.

Für die Berücksichtigung der mitgeführten Feststoffe kann ein prozessspezifischer Zuschlag zum Reinwasser multipliziert werden. (ONR 24802, 2013)



$$BHQ_{wg} = BHQ_w \times IF$$

Formel 1

Der dimensionslose Intensitätsfaktor IF kann je nach Leitprozess aus der Tabelle 3 bestimmt werden.

Tabelle 3: Intensitätsfaktor (ONR 24802, 2011)

Prozess	Intensitätsfaktor IF
Hochwasser	1,00 bis 1,05
Fluviatiler Feststofftransport	1,05 bis 1,40
Murartiger Feststofftransport	1,40 bis 3,50
Murgang	>3,50

Im Projektgebiet wird als Leitprozess der murartige Feststofftransport von Angelmaier festgelegt. Es wurde daher ein Intensitätsfaktor von 2,0 gewählt.

$$BHQ_{wg100} = 72 \frac{m^3}{s} \times 2,0 = 144 \frac{m^3}{s}$$

Formel 2

Daher kann von einem maximalen Abfluss (Reinwasser + Geschiebe) von 144 m<sup>3</sup>/s ausgegangen werden. (Angelmaier, 2013)



## 5 Skalierung

### 5.1 Ähnlichkeitsprinzip

Um im wasserbaulichen Versuchswesen gezielte Fragestellungen zu beantworten und einen Bezug zwischen Natur und Modell herstellen zu können müssen folgende drei Modellgesetze als Grundlage herangezogen werden (Kobus, 1984)

- Geometrische Ähnlichkeit
- Kinematische Ähnlichkeit
- Dynamische Ähnlichkeit

**Geometrische Ähnlichkeit:** Dabei stehen die Längen aus dem Modell in einem bestimmten Verhältnis zu jenen aus der Natur. Der Zusammenhang lässt sich dabei über die Maßstabszahl  $\lambda$  ausdrücken.

$$\lambda = L_n/L_m$$

Formel 3

**Kinematische Ähnlichkeit:** In der Natur, sowie im Modell stehen korrespondierende Zeitintervalle in einem bestimmten Zusammenhang. Sie werden über das Verhältnis, dem Zeitmaßstab ausgedrückt.

**Dynamische Ähnlichkeit:** Durch die Kräftemaßstabszahl lassen sich Kräfte, die in der Natur und im Modell auftreten und einander entsprechen, in einem konstanten Verhältnis ausdrücken. Dabei muss als Bedingung gelten, dass in der Natur aber auch im Modell, die resultierenden Kräfte auf ein Flüssigkeitsteilchen die gleiche Richtung aufweisen

Grundsätzlich kann jedoch bei physikalischen Modellversuchen keine vollständige Ähnlichkeit zu der Bauausführung in der Wirklichkeit erzielt werden. Die physikalischen Grundgrößen wie die Dichte des Wassers oder die Erdbeschleunigung sind natürlich im maßstäblich verkleinerten Modell gleich,



allerdings können nur jeweils zwei in der Natur wirkende Kräftearten, wie beispielsweise die Trägheit und die Schwerkraft, im selben Maßstab von der Natur auf das Modell übertragen werden. Zumeist sind auch bei den hydraulischen Modellversuchen nicht alle Erscheinungsformen der Strömung von Interesse, sondern man konzentriert sich nur auf gewisse Teilaspekte, wie etwa die Anströmung des Bauwerkes oder die Geschwindigkeitsverteilung. (STROBL, ZUNIC, 2006)

## 5.2 Versuchswesen/ Modellgesetze

Da keine umfassenden Ansätze zur Modellierung und Skalierung von Murgängen bestehen, werden hier kurz die Ansätze der Reinwasserhydraulik betrachtet. Generell kommen bei Strömungen mit freier Oberfläche die beiden Modellgesetze von Reynolds (Formel 3) und Froude (Formel 4) zur Anwendung. Um mit dem Modell ein möglichst reales Ereignis nachzubilden, müssen diese Gesetze eingehalten werden.

$$Re = \frac{\rho * v * l}{\eta}$$

Formel 4

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g * l}}$$

Formel 5

Wird jedoch im Modellversuch dasselbe Fluid wie in der Natur verwendet, so lassen sich unmöglich beide obigen Modellgesetze gleichzeitig erfüllen. Um die freie Wasseroberfläche korrekt abzubilden, muss das Froude'sche Gesetz eingehalten werden. Dadurch ist die Reynoldszahl im Modell kleiner als in der Natur, der Einfluss der Zähigkeit ist demnach im Modell größer als in der Natur. Dieser Effekt kann durch eine unmaßstäbliche Rauigkeit des Modells kompensiert werden. Gemäß der Darcy-Schwarzbach – Gleichung muss das Modell hydraulisch glatter sein als der Prototyp. (Weber, 2004)



Im vorliegendem Projekt wird, wie in der Arbeit von Weber (2004), eine Skalierung nach Froude als Anhaltspunkt herangezogen.

Tabelle 4: Skalierungsfaktoren nach Froude und Reynolds (Frostick et. al, 2011)

	<b>Einheit</b>	<b>Froude</b>	<b>Reynolds</b>
<b>Länge</b>	[m]	$\lambda$	$\lambda$
<b>Fläche</b>	[m <sup>2</sup> ]	$\lambda^2$	$\lambda^2$
<b>Volumen</b>	[m <sup>3</sup> ]	$\lambda^3$	$\lambda^3$
<b>Zeit</b>	[s]	$\lambda^{0,5}$	$\lambda^2$
<b>Geschwindigkeiten</b>	[m/s]	$\lambda^{0,5}$	$\lambda^{-1}$
<b>Abfluss</b>	[m <sup>3</sup> /s]	$\lambda^{5/2}$	$\lambda$
<b>Kraft</b>	[N]	$\lambda^3$	$\lambda^3$
<b>Druck</b>	[N/m <sup>2</sup> ]	$\lambda$	$\lambda^{-2}$

Laut Weber (2004) ist die Herleitung der Ähnlichkeitsbedingungen für Murgänge sehr schwierig. Dies insbesondere darum, weil die genauen physikalischen Vorgänge beim Niedergang eines Murganges noch nicht vollständig geklärt sind. Dadurch sind noch nicht alle involvierten Kräfte bekannt.



## 6 Methodik

### 6.1 Szenarienbildung

#### 6.1.1 Versuchsdurchläufe Murgang

Für die Erstellung eines möglichen Szenarios für ein Murereignis, im Untersuchungsgebiet, wurde das Gutachten von Rauscher R. (2013) verwendet. Durch die darin erstellte Geschiebebilanz konnte ein mögliches Murvolumen bestimmt werden.

Tabelle 5: Geschiebebilanz Trattenbach und Zubringer (Rauscher R., 2013)

Gesamtgeschiebebilanz Trattenbach und Zubringer											
Gerinneabschnitt	Gesamtkubatur [m³]	mobilisierbare Kubatur [m³]	mobilisierbare Kubatur pro Gerinneabschnitt			Dispositonsklasse [m³]					
						1A	1B	2	3	4	
Trattenbach-Unterlauf	16147,50	10402,25	21891,75			1000,00	6212,50		2829,75	360,00	
Trattenbach-Mittellauf	14255,00	7354,00				1575,00	3399,00				2380,00
Trattenbach-Oberlauf	8822,50	4135,50				721,50	725,00			2313,00	376,00
Foisbach	6733,75	4568,81		9834,44		1260,00	1180,00	210,00	1843,81	75,00	
Maderbach	8464,88	5265,63				1658,50	3168,75	309,50			128,88
Zubringer 1	6953,13	3561,26			13111,31	550,00		375,00	2120,63	515,63	
Zubringer 2	6438,25	2920,75				1108,50		346,50	990,00	475,75	
Zubringer 3	3661,50	3661,50					97,50		3150,00	414,00	
Zubringer 4	1824,50	819,50				132,50			495,00	192,00	
Zubringer 5	3150,00	1039,50								1039,50	
Zubringer 6	3360,00	1108,80								1108,80	
<b>GESAMT:</b>	<b>79811,01</b>	<b>44837,50</b>	<b>21891,75</b>	<b>9834,44</b>	<b>13111,31</b>	<b>8006,00</b>	<b>14782,75</b>	<b>1241,00</b>	<b>13742,19</b>	<b>7065,56</b>	
desolate Geschiebesperre	13125,00	13125,00	bei Sperrenbruch punktueller Einstoss von 13125 m³ im Trattenbach-Mittellauf								
<b>SZENARIO SPERRENBRUCH</b>	<b>92936,01</b>	<b>57962,50</b>									

Da sich im Bereich Trattenbach-Mittellauf die Gerinneneigung stark verringert, wurde hier eine Umlagerungsstrecke definiert und daher der Mittellauf und Oberlauf für den Murgang nicht miteinbezogen. Ebenso werden der Foisbach und der Maderbach im Szenario nicht berücksichtigt. Für das gewählte Ereignis wurden die mobilisierbaren Kubaturen des Unterlaufs und das Mittel eines Zubringers herangezogen. Daraus ergibt sich ein Murgangvolumen von 13.000m³. (siehe Tabelle 6)



Als Rahmenbedingung für die unterstellte Kornverteilung wurden ein  $d_{max}$  von 100cm und ein  $d_{90}$  von 25cm definiert. (siehe 6.2 Versuchsmischung)

Tabelle 6: Murgangsszenario

<b>Szenario Murgang Trattenbach</b>			
<b>Bereich</b>	<b>mob. Kubatur [m<sup>3</sup>]</b>	<b>Bereich</b>	<b>mob. Kubatur [m<sup>3</sup>]</b>
<b>Trattenbach - Unterlauf</b>	<b>10402,25</b>	Zubringer 1	3561,26
		Zubringer 2	2920,75
		Zubringer 3	3661,50
		Zubringer 4	819,50
		Zubringer 5	1039,50
		Zubringer 6	1108,80
		<b>Zubringer Mittel</b>	<b>2185,22</b>
<b>Summe Unterlauf + Zubringer Mittel [m<sup>3</sup>]</b>			<b>12587,47</b>
<b>Murgang Szenario [m<sup>3</sup>]</b>			<b>13000,00</b>
<b>Murgang Szenario Labor 1/30 [m<sup>3</sup>]</b>			<b>0,48</b>

### 6.1.2 Versuchsdurchläufe fluvialer Feststofftransport

Zur Erstellung eines Geschiebetransportszenarios wurde die von Angelmaier G. (2013) erstellte Abflussganglinie verwendet. Des Weiteren wurde eine Geschiebefracht von 13.000 m<sup>3</sup> dem Hydrographen unterstellt.

Für die weitere Verwendung der Daten musste die Abflussganglinie in Zeitschritten abgestuft werden.

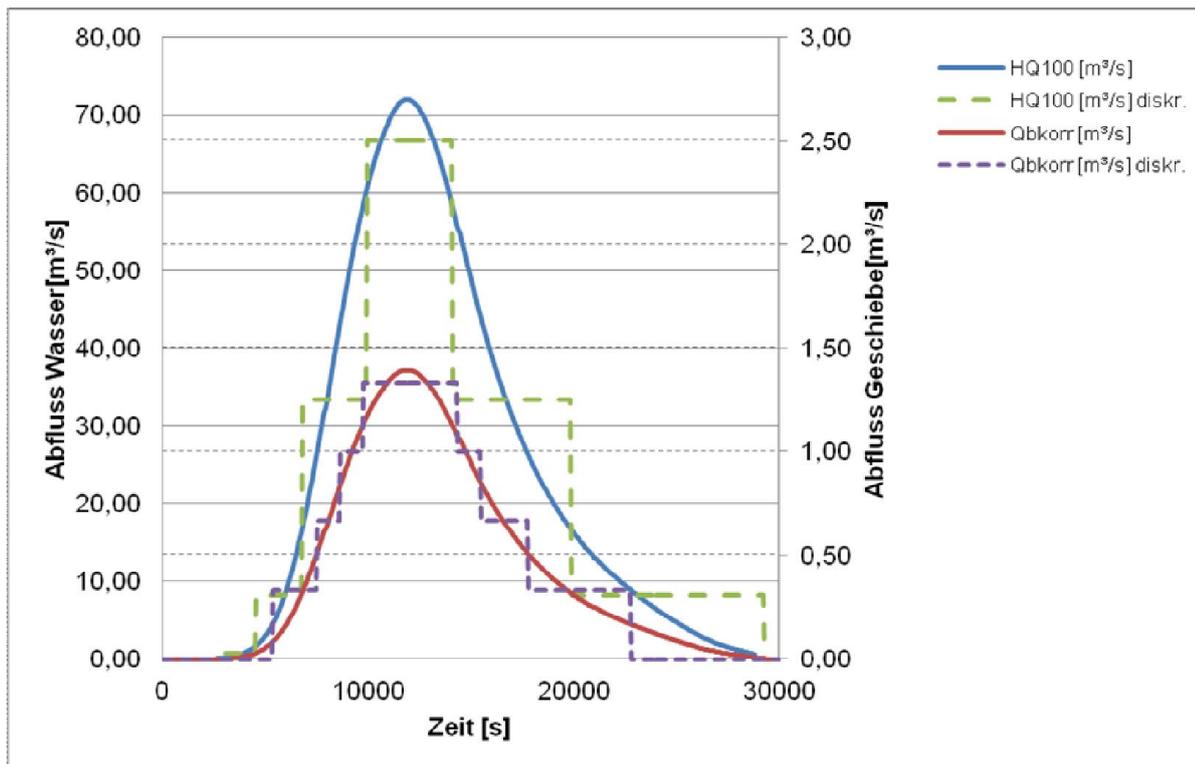


Abbildung 7: Geschiebetransportszenario

## 6.2 Versuchsmischung

### 6.2.1 Versuchsdurchläufe Murgang

Für die Modellversuche wurde eine möglichst bachähnliche Materialmischung zusammengestellt. Die Sieblinie wurde mittels Proben aus dem Untersuchungsgebiet und einer wildbachtypischen Linienzahlanalyse (IAN) erstellt. Die Siebanalysen der gewonnenen Geschiebeprobe wurden vom Institut für Geotechnik an der Universität für Bodenkultur durchgeführt. Danach erfolgte eine starre Zusammenlegung der Sieblinie mit der Linienzahlanalyse. Die dadurch entstandene Sieblinie wurde auf den gewünschten Modellmaßstab (1/30) skaliert. Die Modellmurmischung wurde mittels der in Abbildung 9 angeführten Fragmenten der skalierten Sieblinie angepasst. So konnte ein Mischungsverhältnis (Gewichts%) erstellt werden (siehe Tabelle 7).

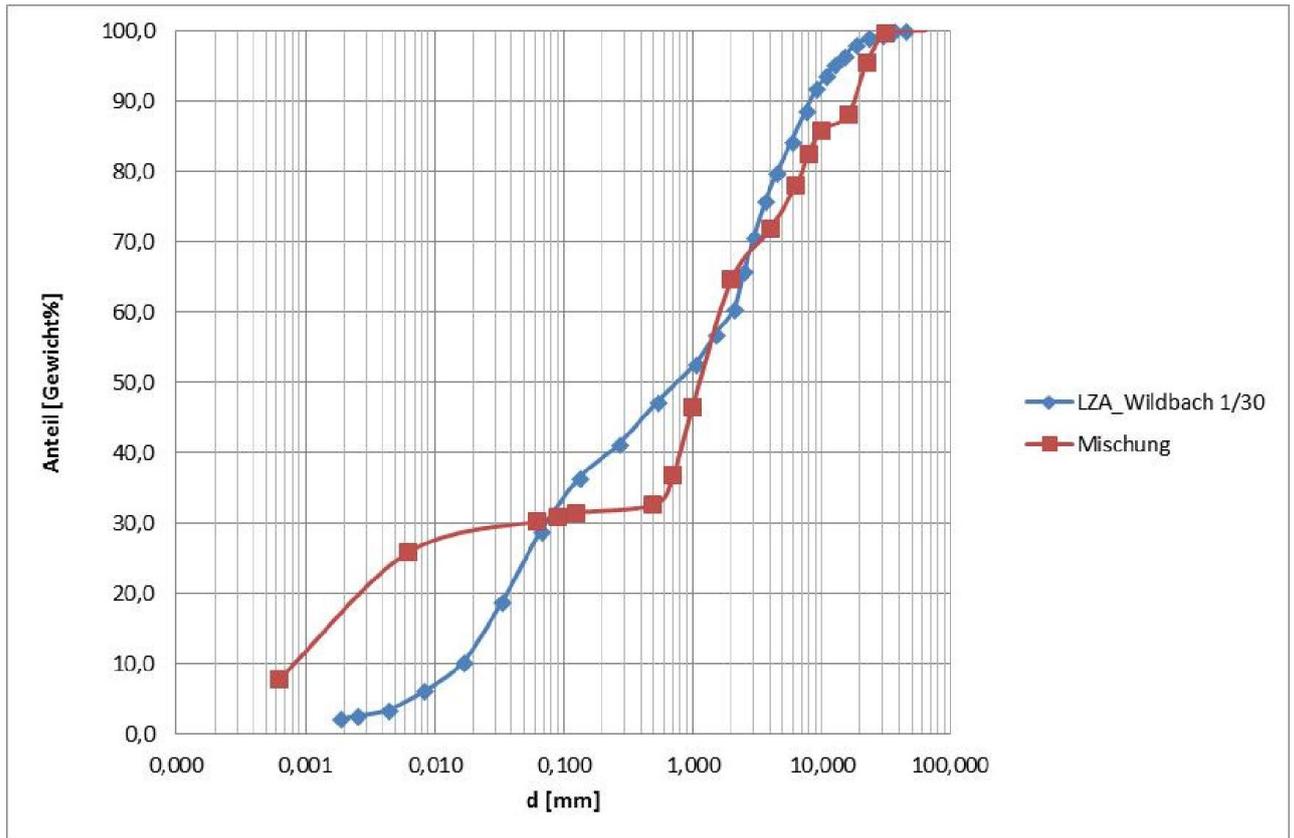


Abbildung 8: Kornverteilung der skalierten Sieblinie und der Murmischung für die Laborversuche

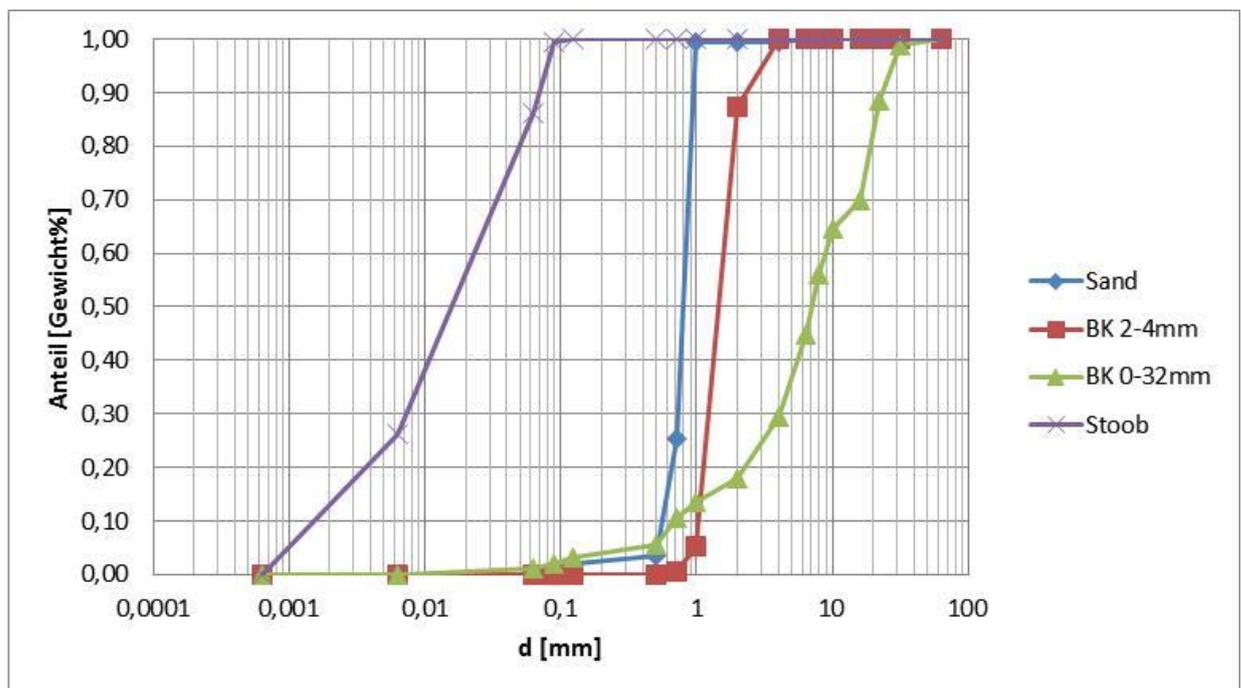


Abbildung 9: Sieblinien der verwendeten Komponenten für die Murmischung



Tabelle 7:           prozentuelle (Gewichts%) Anteile der Feststoffe für die Versuchsmischung - Murgang

	<b>Anteile [Gewichts %]</b>
<b>Sand</b>	10
<b>BK 2-4mm</b>	20
<b>BK 0-32mm</b>	40
<b>Stoob</b>	30
<b>Summe</b>	100

Tabelle 8:           Kennwerte Kornverteilung Modell/Natur

	<b>Modellmischung [mm]</b>	<b>Natur [mm]</b>
d50	1,20	23,85
d90	17,73	246,32
d99	30,37	724,13

Für den viskosen Teil der Murmischung wurde ein Ton aus der Gemeinde Stoob in Burgenland verwendet. Dieser Ton wurde vom Institut für Angewandte Geologie analysiert. (Ottner, 2010) Die Korngrößenverteilung wurde mittels einer Kombination aus Naßsiebung der Fraktion  $>20\mu\text{m}$  und automatischer Sedimentationsanalyse ermittelt. Das Ergebnis ist in Form einer Kornsummenkurve in Abbildung 10 dargestellt.

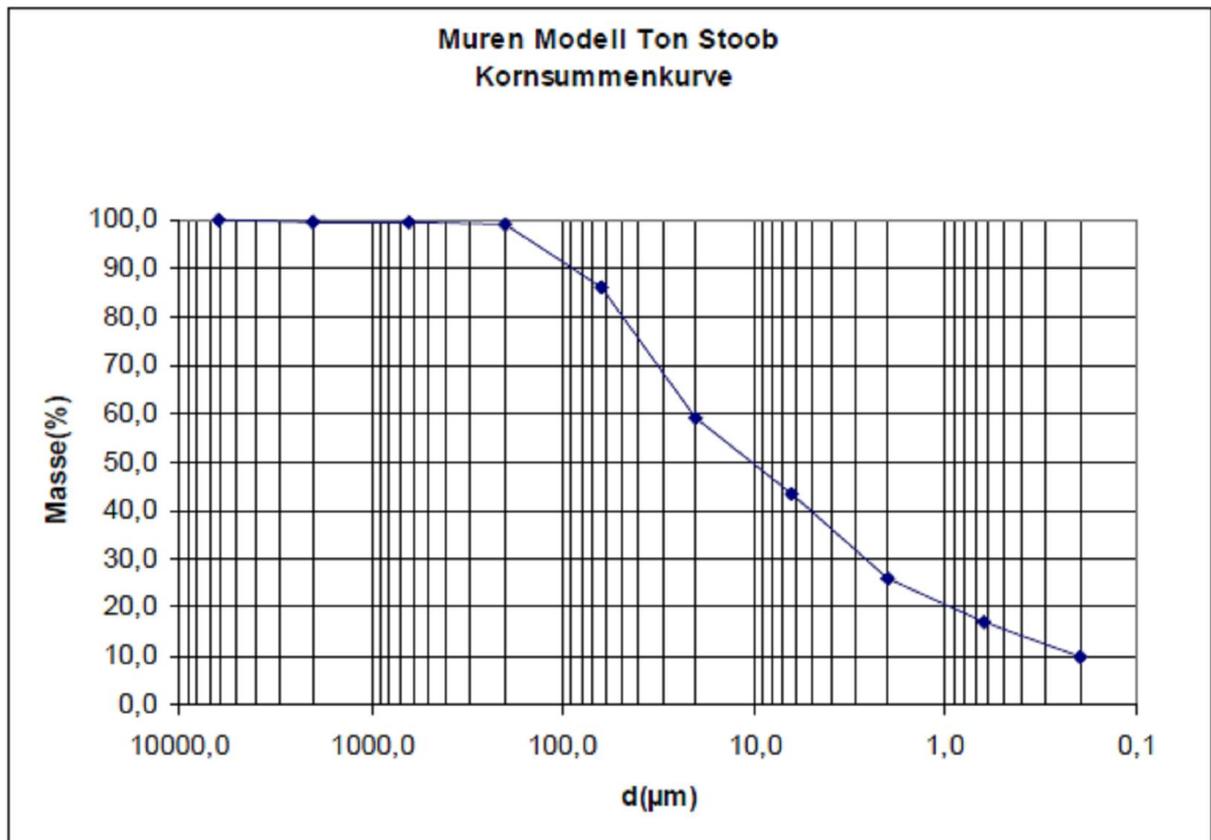


Abbildung 10: Kornsummenkurve von Ton Stoob

Weiters sind in Tabelle 9 die Ergebnisse der granulometrischen Analyse in Massen% angeführt.

Tabelle 9: Prozentuelle Anteile der Korngrößen im Ton Stoob

Lab. Nr.	Proben Bezeichn.	Kies	Sand	Schluff	Ton	Median [µm]
10880	Stoob	0,5	13,4	60,0	26,1	10

Das Versuchsmaterial der Murversuche wird nach jedem Versuch erneut verwendet. Vor jedem Versuch wird eine Materialprobe für die Bestimmung der Dichte und des Wassergehalts (Tabelle 10) entnommen und analysiert.

Jegliche Entmischung durch selektiven Materialverlust wird in den weiteren Auswertungen nicht berücksichtigt.

Weiters wird vor jedem Versuch der Materialstand im Startbehälter gemessen, um eine Auskunft über das Materialvolumen im Startbehältnis zu bekommen.



Bei größerem Materialverlust wurde neu gemischtes Material dazugegeben. Dies erfolgte zwischen MV\_006 und MV\_007. Alle Werte sind in Tabelle 10 aufgelistet.

Tabelle 10: Übersicht Versuchskenndaten (Dichte, Wassergehalt und Startvolumen)

Versuch ID	Datum	Dichte	Wassergehalt		Volumen	Druckhöhe
			[kg/m <sup>3</sup> ]	[gewichts%]		
MV000	05.03.2014	2152,3	27,60	59,40	0,53	1,57
MV001	06.03.2014	2272,4	38,59	87,70	0,46	1,48
MV002	10.03.2014	2275,7	23,20	52,79	0,47	1,49
MV003	11.03.2014	2185,9	21,25	46,46	0,46	1,48
MV004	12.03.2014	2270,3	20,09	45,61	0,45	1,47
MV005	18.03.2014	2214,1	21,78	48,23	0,43	1,45
MV006	19.03.2014	2231,4	21,56	48,10	0,43	1,44
MV007	20.03.2014	2286,5	21,37	48,87	0,47	1,50
MV008	25.03.2014	2196,1	23,95	52,60	0,47	1,49
MV009	26.03.2014	2224,9	22,96	51,08	0,47	1,49
MV010	09.04.2014	2231,4	21,66	48,34	0,47	1,49
MV011	15.04.2014	2201,2	22,08	48,60	0,47	1,50
MV012	16.04.2014	2219,5	21,73	48,22	0,47	1,49
MV013	17.04.2014	2245,4	21,52	48,31	0,46	1,48
MV014	22.04.2014	2246,1	20,97	47,09	0,45	1,47
MV015	23.04.2014	2265,8	20,94	47,45	0,45	1,47
MV016	23.04.2014	2278,9	22,09	50,34	0,45	1,47
MV017	05.05.2014	2197,8	22,92	50,38	0,43	1,44
MV018	06.05.2014	2229,2	24,13	53,78	0,44	1,46
MV019	06.05.2014	2203,2	22,52	49,61	0,42	1,43
MV020	07.05.2014	2211,9	23,25	51,42	0,40	1,41

In Abbildung 11 ist die Zusammensetzung der Versuchsmischung in Gewichtsprozent abgebildet.

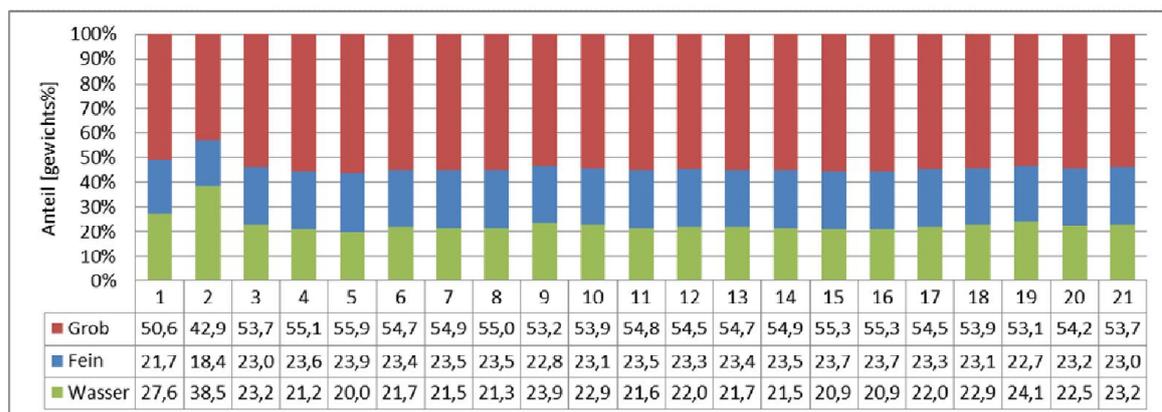
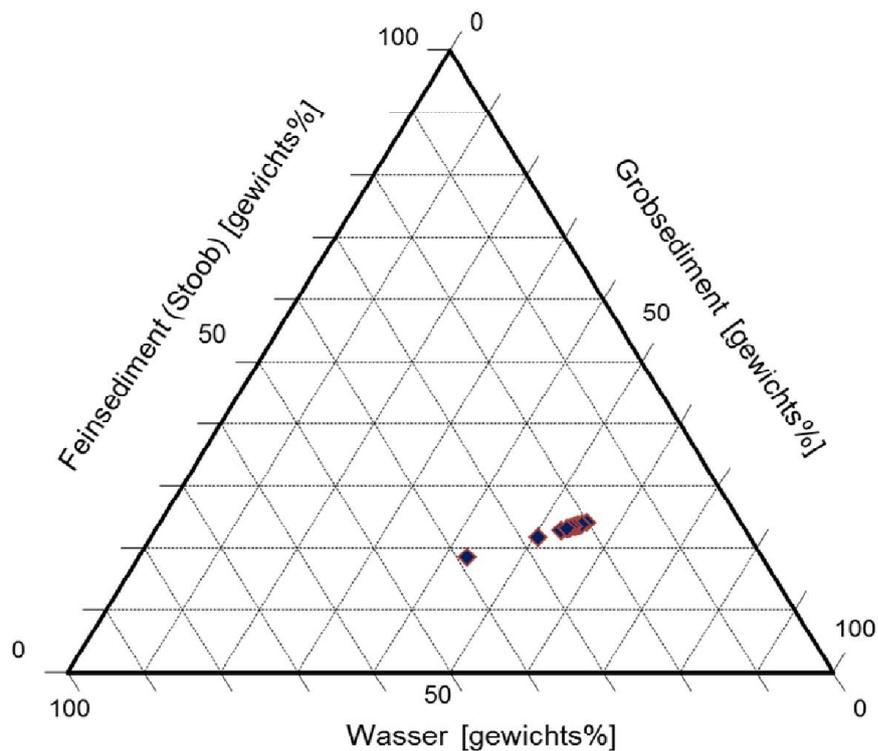


Abbildung 11: Versuchsmischung-Zusammensetzung

### 6.2.2 Versuchsdurchläufe fluviatiler Feststofftransport

Für die Erstellung der Modellkornverteilung für die Geschiebetransportversuche wurden die gleichen Korngrößenanalysen wie in den Murversuchen verwendet. Jedoch wurden alle Korngrößen unter einem Durchmesser von 0,063mm nicht berücksichtigt.

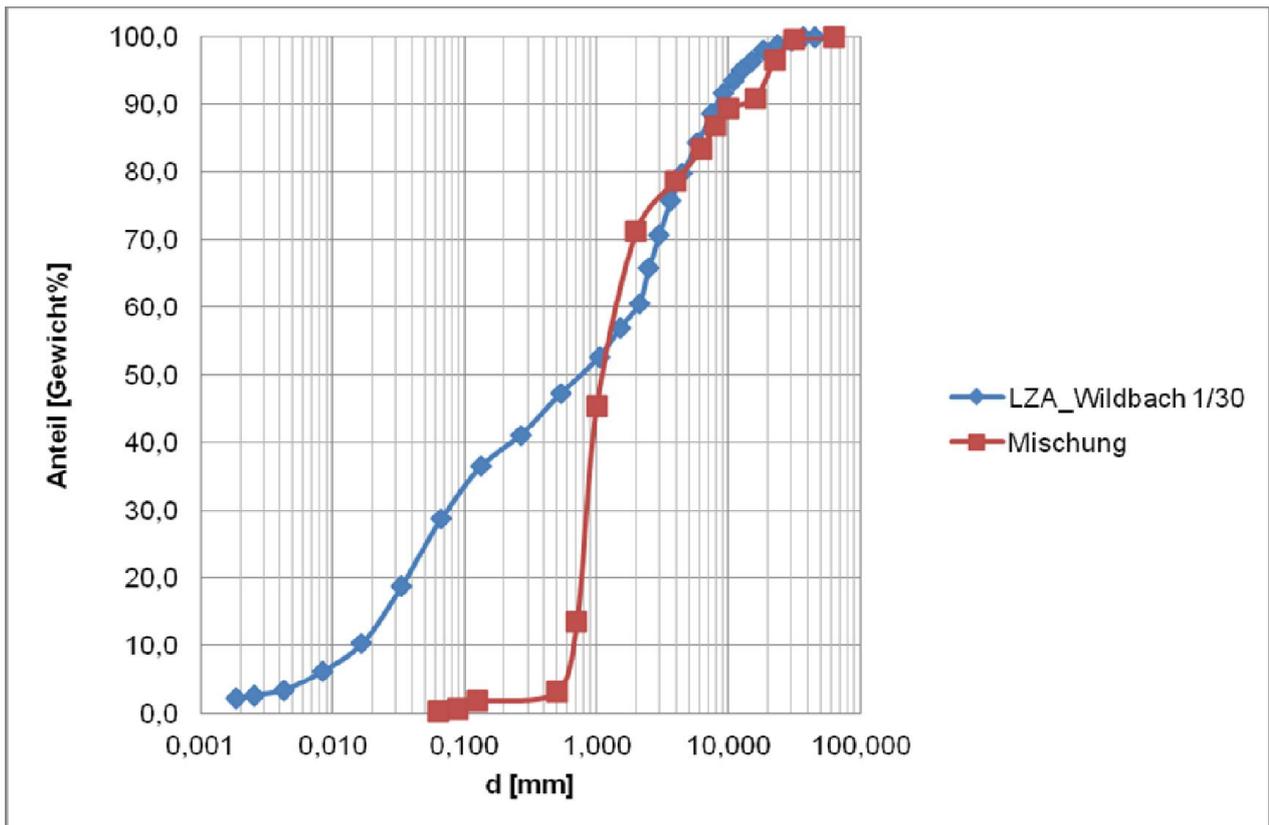


Abbildung 12: Kornverteilung der skalierten Sieblinie und der Geschiebemischung für die Laborversuche

Tabelle 11: prozentuelle (Gewichts%) Anteile der Feststoffe für die Versuchsmischung - Geschiebe

	<b>Anteile [Gewichts %]</b>
<b>Sand</b>	40
<b>BK 2-4mm</b>	30
<b>BK 0-32mm</b>	30
<b>Summe</b>	100



## **6.3 Versuchsaufbau**

### **6.3.1 Versuchsdurchläufe Murgang**

Die Modellversuche wurden im Versuchslabor des Instituts für Alpine Naturgefahren durchgeführt. Das gesamte Modell kann zur besseren Gliederung in folgende Teilbereiche unterteilt werden:

- **Startbehälter**
- **Mischstrecke**
- **Geländemodell**
- **Sperrenmodelle**
- **Auffangbehälter**

Als Startbehälter wurde ein 500l Betonkübel der Firma HMT verwendet. Die Auslauföffnung hat eine Querschnittsfläche von 220cm<sup>2</sup> und die maximale Stauhöhe des Behältnisses beträgt 160cm. Der Öffnungsmechanismus wurde, um eine Dichtheit des Kübels zu gewährleisten, mittels einer Gummiabdichtung modifiziert. Um die Turbulenzen, die durch den Fall aus dem Startbehälter entstehen, zu dämpfen wurde vor dem eigentlichen Modell eine Mischstrecke installiert. In dieser Strecke kann sich die Mure entwickeln. Weiters wurde diese verwendet um den Eintrittshydrograph zu bestimmen. Die Neigung der Mischstrecke beträgt 12° bei einer Querschnittsbreite von 0,4m und einer Lauflänge von 1,5m. Das eigentliche Modell wurde im Maßstab 1:30 dem Unterlauf des Trattenbachs nachgebildet. Für die Erstellung der maßstabgetreuen Nachbildung wurden 17 Querprofile, mithilfe des Programmes AutoCAD Civil3D, aus einem digitalen Geländemodell erstellt. Jene Profile wurden auf 9mm DOKA-Schalungsplatten übertragen und ausgeschnitten. Als Füllmaterial zwischen den Profilen wurden 10cm starke XPS Platten verwendet. Jene Platten wurden mithilfe einer Brennschnur dem Gelände bzw. den Querprofilen angepasst. Die Oberflächengestaltung des Modells erfolgte mittels Mauermörtel. In die geglättete Oberfläche wurde vor Trocknung eine zuvor erstellte Sohlrauigkeitsmischung integriert. Jene Rauigkeit wurde mittels vor Ort



entnommenen Proben angepasst. Um die gesamte Oberfläche abzudichten wurde das Modell mit PU-Lack, Epoxidharz und Silikon versiegelt. Für die Murversuche wurden zwei verschiedene Sperrenmodelle verwendet. Zum einen wurde bei den ersten Versuchen MV\_000 bis MV\_009 ein Druckmessblock mittels einer DOKA-Schalungsplatte an den Sperrenstandort fixiert. Zum anderen wurde für die Messungen der Ankerkräfte der Tragseile (MV\_010 bis MV\_020) ein Sperrenmodell mit entsprechender Messtechnik am Institut konzipiert. Für den Auffang des gesamten Murmaterials wurden zwei Behälter mit einem Volumen von je 300l verwendet.

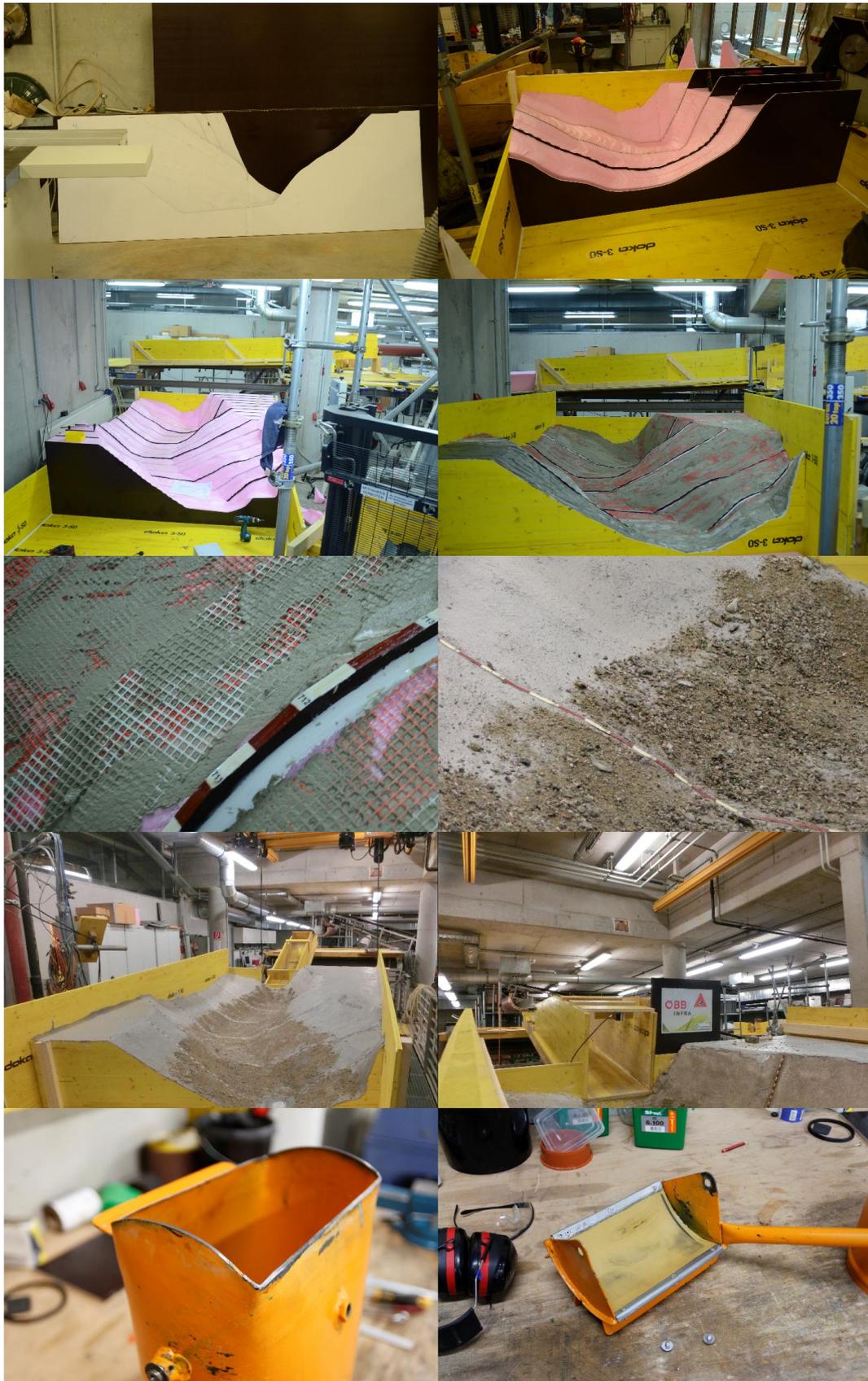


Abbildung 13: Arbeitsfortschritt Modellbau

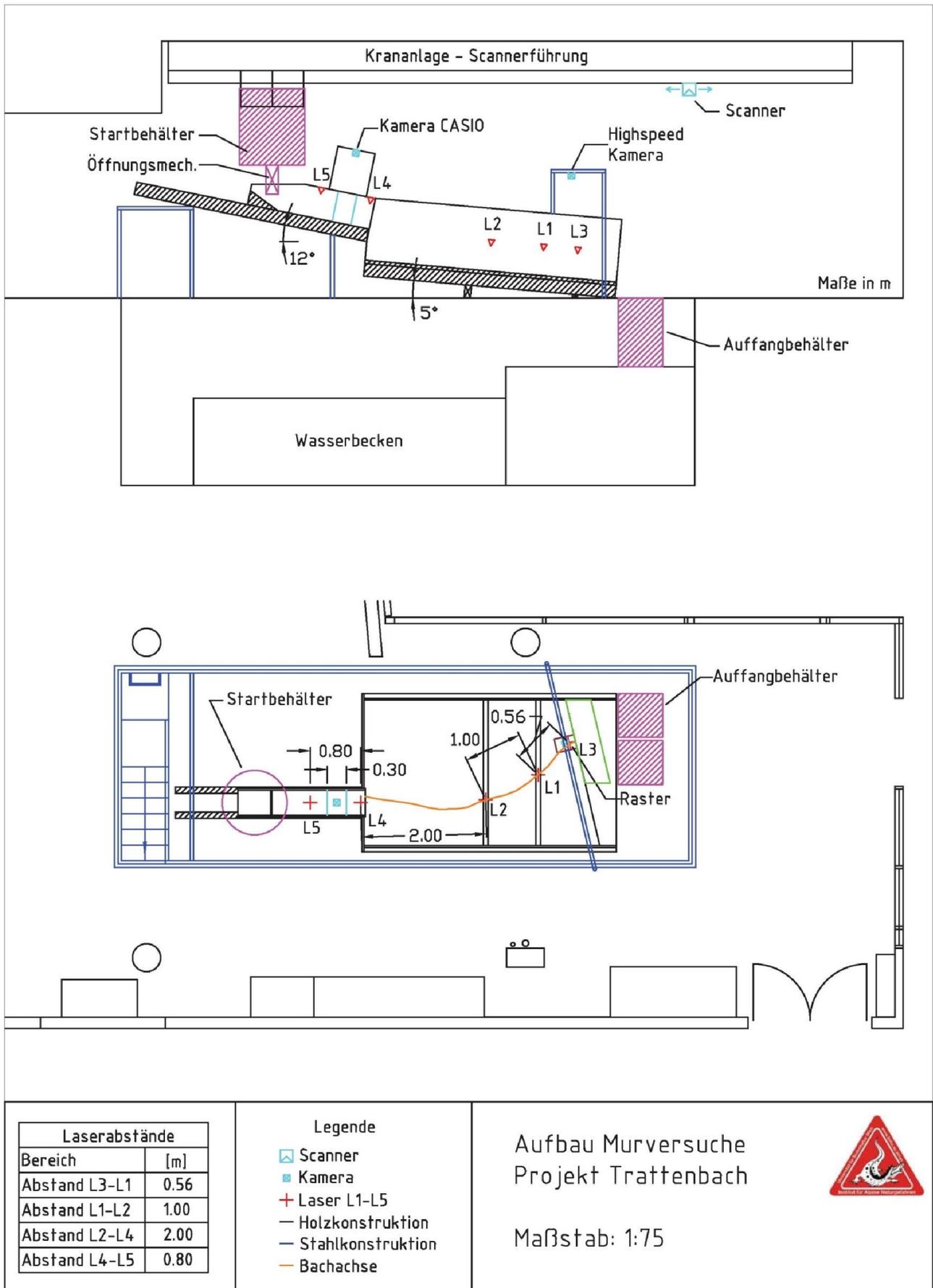


Abbildung 14: Laborplan Murgang (Versuchsaufbau Druckmessblock)



Bei allen Netzsperrren-Murversuchen (MV\_010 bis MV-020) wurden die gleichen Laserabstände verwendet. Es wurde nur die Position der Highspeed Kamera verändert.

### **6.3.2 Versuchsdurchläufe fluviatiler Feststofftransport**

Zur Durchführung der Versuche mit Geschiebetransport wurde der Modellablauf geändert. Es wurden alle Lasermessungen gegen Ultraschallsensoren ausgewechselt. Weiters wurde das Einlaufgerinne nach hinten verlängert um eine Verbindung mit der stationären Wasserpumpe und dem Geschiebeförderband herzustellen. Die Neigung des Einlaufgerinnes wurde auf  $7,9^\circ$  reduziert. Um die Einlaufgeschwindigkeit in das Modell zu verringern wurden im Zuflussgerinne zwei Umlenkholzer angebracht.

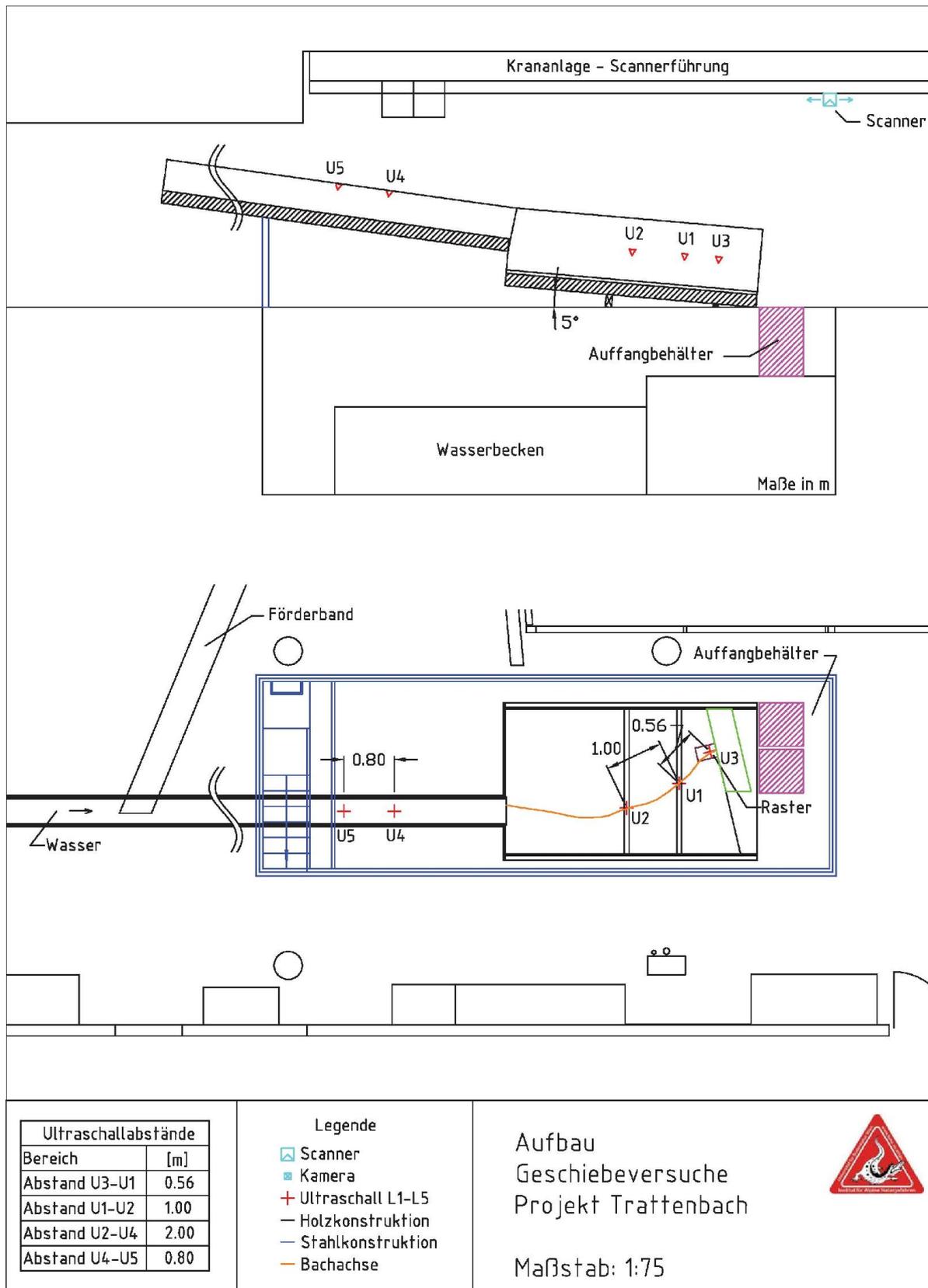


Abbildung 15: Laborplan Geschiebe (Versuchsaufbau Netzsperr)



### 6.3.3 Wildholzrechen

Zur bestmöglichen Nachbildung von verschiedenen Wildholzrechentypen wurde eine Konstruktion am Institut erstellt. Diese besteht aus einer doppelagigen Holzkonstruktion. Bohrungen in den Platten nehmen die von oben durchgesteckten „Rechenstäbe“ auf. Somit sind diese in der Höhe variabel und können an jeder beliebigen Position im Modell eingebaut werden, ohne den Abfluss durch unnötige Konstruktionen an der Sohle des Gerinnes zu behindern. Der Rechen wird an zwei Querbalken über dem Modell befestigt. Durch diese Konstruktion können verschiedenste Positionen für die zwei Rechentypen im Modellversuch untersucht werden.

Als Rechenstäbe werden Hartplastikstäbe aus Nylon mit einem Durchmesser von 3 cm verwendet. Dies entspricht einer Breite von etwa einem Meter in der Natur. Der Stababstand, lichte Weite zwischen den Stäben, beträgt 10 cm (Natur 3m).



Abbildung 16: Wildholzrechenkonstruktion (links gerader Rechen; rechts V-förmiger Rechen)

## 6.4 Messtechnik

### 6.4.1 Laser

Es wurden insgesamt 5 Laser für die Messung der Abflusshöhe verwendet. Davon wurden 3 Laser im Modellbereich und 2 Stück in der Mischrinne eingebaut. Mittels der Laser der Firma Baumer Holding AG wurde die Distanz zum Abflussmedium



gemessen. Im Modell wurden Punkt- und Strichlaser verwendet. Beide Laser beziehen sich auf das Prinzip des Triangulationsverfahrens.

#### **6.4.2 Ultraschallsensor**

Im Laufe der Geschiebeversuche wurden 5 Ultraschallsensoren für die Pegelmessung verwendet. Das Prinzip der Ultraschalltechnik beruht auf einer Laufzeitmessung einzelner Ultraschallpakete. Über die Differenz der Laufzeit können Rückschlüsse auf die Entfernung einer bestimmten Objektes gezogen werden.

#### **6.4.3 Laserscan**

Nach jedem Versuch wurde die Depositionsfläche mit einem Laserscanner der Firma SICK gescannt und daraus ein digitales Geländemodell erstellt. Jener Scanner wird mittels einer Deckenführungsschiene über das Modell geführt.

#### **6.4.4 Druckmessblock**

Diese Messeinrichtung für Anpralldrücke wurde am Institut für Alpine Naturgefahren von Scheidl et al. (2012) konstruiert und getestet. Mit dieser Druckmesseinrichtung können Murdrücke mittels Druckmessstreifen (in jeder Zelle) aufgezeichnet werden. Die beanschlagte Platte mit den Abmessungen von 0,16m x 0,24m besteht aus 24 quadratischen Messzellen (0,04m x 0,04m). Daraus ergibt sich eine totale Belastungsfläche von 0,0384m<sup>2</sup>. Die Druckmessplatte wurde mittels einer DOKA Platte an der Sperrenposition befestigt und mit dem gesamten Murstoß belastet. Es wurde der gesamte Murstoß aufgehalten und nichts an dem Block vorbeigeführt. Der Druckmessblock wurde bei der Erstellung in Stufen von 1KN von 0-4 KN getestet.

Weiters wurde der Druckmessblock vor der Verwendung für das aktuelle Projekt nochmals mit geeichten Gewichten im Labor feinjustiert.

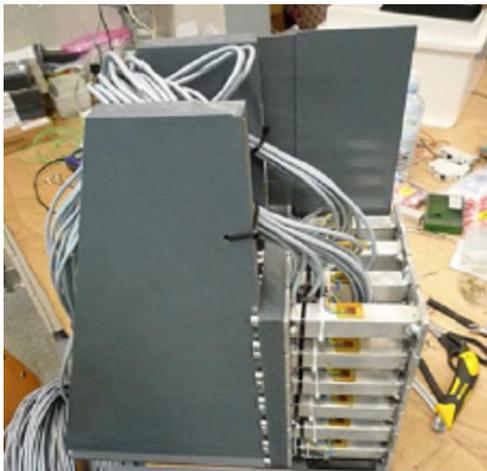
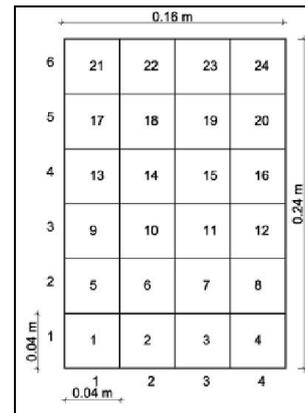


Abbildung 17: Druckmessblock (Konstruktion IAN)

In Abbildung 18 ist die Aufzeichnung einer Messzelle (Zelle1) im Versuch MV\_001 ersichtlich.

Für die weitere Verarbeitung der Werte wurden zwei Datensets aufgestellt. Datenset (1) (grüne Linie) sind jene Daten welche mit dem Nyquist Shannon Abtasttheorem (siehe 6.5 Signalanalyse) gefiltert wurden. Die gemittelte blaue Linie ist Datenset (2) und wurde mit einem Medianfilter von 300Hz gebildet.

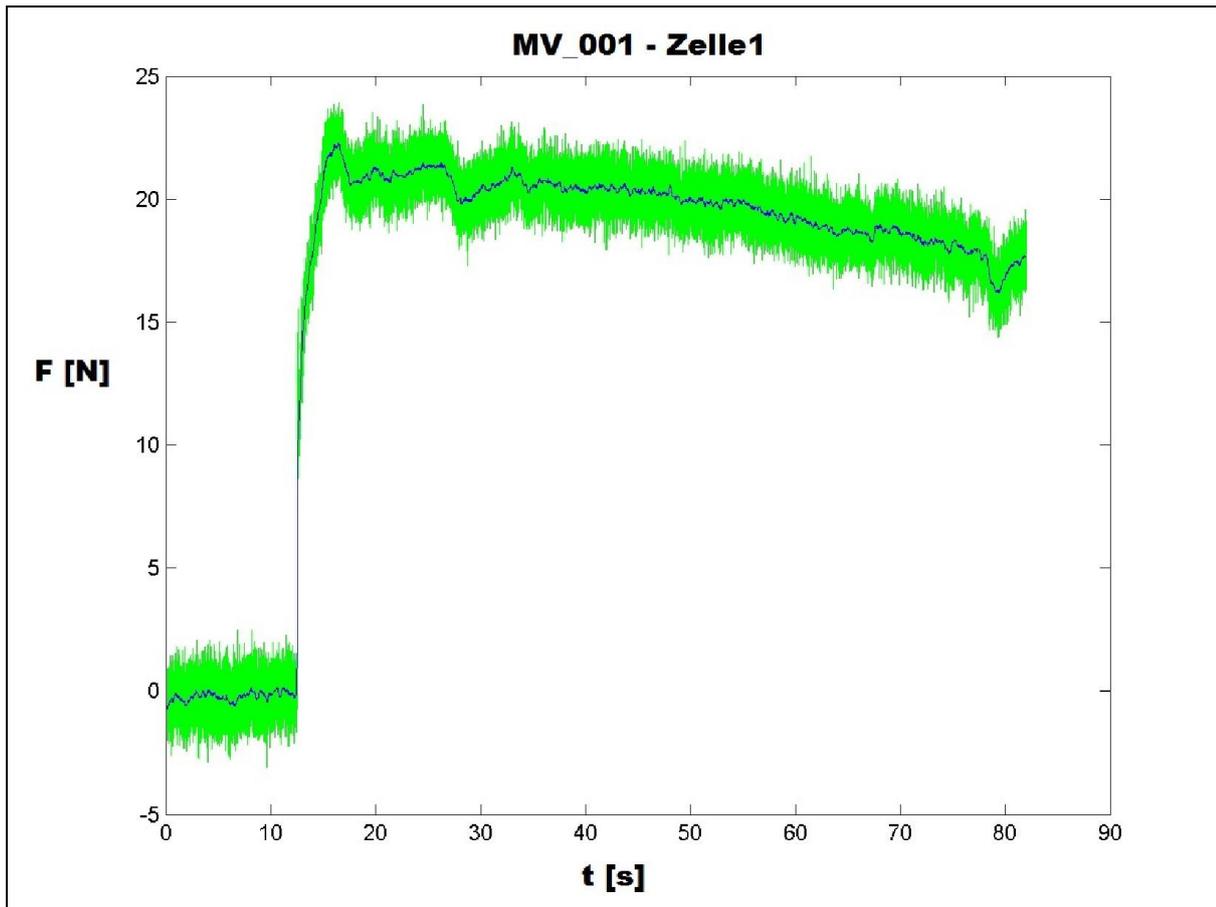


Abbildung 18: Beispiel für einen Kräfteverlauf über die Zeit (MV\_001 – Zelle1)

#### 6.4.5 Messeinrichtung zur Ankerkraftermittlung

Für die Ermittlung der Ankerkraft der Tragseile des Netzes wurde am Institut im Rahmen des Projekts eine Messeinrichtung konstruiert. Zur Messung wurden Biegestabwägezellen (20kg und 50kg) der Firma HBM verwendet. Als Stützelement wurde hierfür eine Modellsperre aus Kunststoffplatten erstellt.

Die erstellte Modellsperre wurde mittels einer DOKA-Schalungsplatte an dem Modell, in gleicher Position wie dem Druckmessblock, befestigt.



Abbildung 19: Messeinrichtung Netzsperr Ankerkraft mit Messtechnik HBM (Konstruktion IAN)

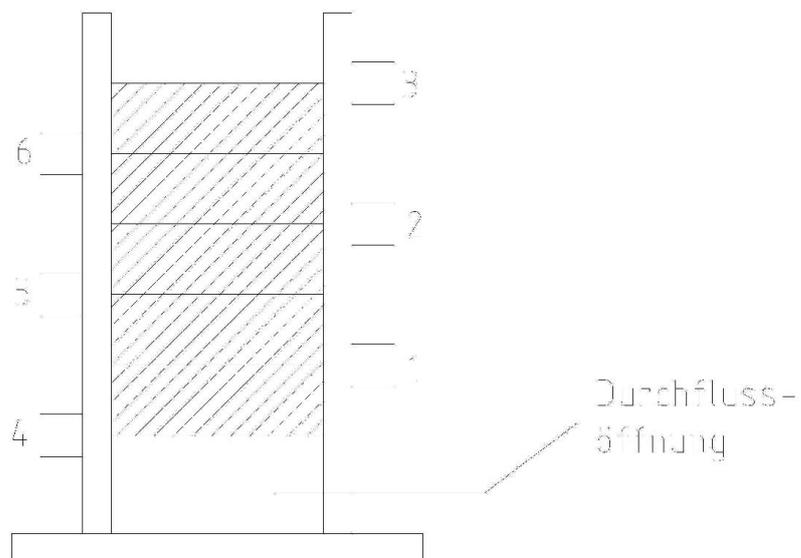


Abbildung 20: Schematische Skizze –Netzsperrmesseinrichtung



Mit den Biegestabwägezellen kann die Normalkomponente der Zugkraft aufgezeichnet werden.

Als Modellvorspannung der Tragseile wurde eine Zugkraft von 1kg je Tragseil verwendet.

#### 6.4.6 HighSpeed Kamera

Für die Messung der Frontgeschwindigkeit des Murganges, direkt vor dem Aufprall, wurde eine HighSpeed Kamera der Firma Optronis verwendet. An der Bachsohle unter der Kamera wurde ein selbsterstellter Zentimeterraster für die Verifizierung der Wegkomponente installiert. Für weitere Analysen der Videos wurde das Programm TimeBenche 2.3.21 verwendet.



Abbildung 21: Aufnahme der HighSpeed Kamera

#### 6.4.7 Videoaufzeichnung

Um eine Dokumentation der gesamten Versuche zu gewährleisten wurden rund um das Modell mehrere Kameras positioniert.

#### 6.4.8 Datenanalyse

Alle frequenzbezogenen Messungen wurden mit 1,2 kHz aufgezeichnet und mittels des MGCplus Dataloggers der Firma HBM gespeichert. Für die Visualisierung und der weiteren Verarbeitung wurden die Softwareprogramme Catman, Matlab und Excel genutzt.



## 6.5 Signalanalyse

Um die Rohdaten von den Messeinrichtungen Druckmessblock und Netzsperrung mit einer Frequenz von 1,2kHz zu filtern wurde das Nyquist-Shannon Abtasttheorem verwendet.

Das Nyquist-Shannon-Abtasttheorem ist ein grundlegendes Theorem der Nachrichtentechnik, Signalverarbeitung und Informationstheorie. Das Abtasttheorem besagt, dass ein auf  $f_{\max}$  bandbegrenztetes Signal mit einer Frequenz von mindestens  $2 \cdot f_{\max}$  abgetastet werden muss, damit man es aus dem zeitdiskreten Signal wieder exakt rekonstruieren kann. Die exakte Rekonstruktion ist dabei nur theoretisch möglich, da hierzu eine unendliche Anzahl an Abtastpunkten nötig wäre. (Wikipedia, 01.04.2014)

In unserem Fall bedeutet dies:

$$f_{\text{scan}} > 2f_{\text{max}}$$

$$1200\text{Hz} > 2 \cdot 600\text{Hz}$$

Formel 6

## 6.6 Versuchsablauf

### 6.6.1 Versuchsdurchläufe Murgang

Der Versuchsablauf kann in drei Schritten unterteilt werden.

- Aufbereitung des Versuchsmaterials
- Montage und Kalibrierung der Messtechnik
- Reinigung

Vor jedem Versuch wird das Material mit einem Stabmixer aufgerührt und homogen durchmischt. Danach erfolgt die Abfüllung in den Startbehälter. Im Startbehälter wird eine Probe für die Dichte und Wassergehaltsbestimmung entnommen. Um einer



Entmischung im Startbehälter vorzubeugen wird dieser Schritt erst kurz vor dem Versuchsstart und erst nach Abschluss aller anderen Vorbereitungen durchgeführt.

Nach der Füllung des Startbehälters wurde dieser in die Startposition am Modellende befördert. Da es für die Reinigung des Modells und den Laserscan nötig ist die gesamte Messtechnik im Modell zu entfernen, muss diese vor jedem Versuch erneut montiert und eingestellt werden.

Nach Ablauf des Versuchs wird das gesamte Modell gescannt um die Depositionen zu dokumentieren. Wenn der Scan abgeschlossen ist kann die Reinigung des Modells beginnen.

Die Reinigung erfolgt in zwei Schritten. Als erstes wird der Bachlauf von den groben Ablagerungen befreit. Mithilfe eines Gartenschlauchs wird das Modell nun von allen anderen Depositionen gesäubert. Um den Wassergehalt nicht zu steigern werden bevor die Auffangbehältnisse getauscht. Um die Sedimente der Feinsäuberung nicht zu verlieren wird nach einem Tag das Wasser der Waschung vom Sediment durch Absetzung getrennt und dem andern Material wieder zugegeben.

### **6.6.2 Versuchsdurchläufe fluvialer Feststofftransport**

Als Unterschied zu den Versuchen-Murgang musste das Versuchsmaterial nicht vor jeden Versuch aufbereitet werden. Das Material wird vor jedem Versuch in den Startbehälter am Fuße des Förderbands gekippt und dort zur Verfügung gestellt.

Je nach Versuch muss die Wildholzrechenkonstruktion positioniert werden oder umgestellt werden.

Nach dem eigentlichen Versuchsdurchlauf werden alle Messeinrichtungen im Bereich des Laserscans entfernt.

Nach dem Scannen erfolgt eine Reinigung des Modelles mithilfe einer Reinwasserspülung durch das Modell.



## 6.7 Versuchsübersicht

Allgemein wurden alle Versuche mit einem Buchstaben/Zahlen Code versehen. Für die Murversuche wurde das Kürzel MV und eine fortlaufende Nummer vergeben. Dasselbe Konzept wurde für die Geschiebe- (GV) und Reinwasserversuche (RV) angewandt.

Tabelle 12: Versuchsübersicht

<b>Versuch ID</b>	<b>Datum</b>	<b>Anmerkung</b>
MV000	05.03.2014	Druckmessblock
MV001	06.03.2014	Druckmessblock
MV002	10.03.2014	Druckmessblock
MV003	11.03.2014	Druckmessblock
MV004	12.03.2014	Druckmessblock
MV005	18.03.2014	Druckmessblock
MV006	19.03.2014	Druckmessblock
MV007	20.03.2014	Druckmessblock
MV008	25.03.2014	Druckmessblock
MV009	26.03.2014	Druckmessblock
MV010	09.04.2014	Seilsperre; Öffnungshöhe 0,087m
MV011	15.04.2014	Seilsperre; Öffnungshöhe 0,087m
MV012	16.04.2014	Seilsperre; Öffnungshöhe 0,087m
MV013	17.04.2014	Seilsperre; Öffnungshöhe 0,087m
MV014	22.04.2014	Seilsperre; Öffnungshöhe 0,060m
MV015	23.04.2014	Seilsperre; Öffnungshöhe 0,060m
MV016	23.04.2014	Seilsperre; Öffnungshöhe 0,060m
MV017	05.05.2014	Seilsperre; Öffnungshöhe 0,060m
MV018	06.05.2014	Seilsperre; Öffnungshöhe 0,033m
MV019	06.05.2014	Seilsperre; keine Öffnung
MV020	07.05.2014	Seilsperre; Öffnungshöhe 0,033m
RV_001	27.03.2014	Reinwasserversuch mit Druckmessblock
GV_001	20.05.2014	Öffnungshöhe 0,087m
GV_002	21.05.2014	Öffnungshöhe 0,087m, mit Rechen
GV_003	22.05.2014	Öffnungshöhe 0,060m
GV_004	22.05.2014	Öffnungshöhe 0,060m, mit Rechen
GV_005	23.05.2014	Öffnungshöhe 0,033m
GV_006	26.05.2014	Öffnungshöhe 0,033m, mit Rechen
GV_007	27.05.2014	Öffnungshöhe 0,033m, ohne Wildholz
GV_008	28.05.2014	Öffnungshöhe 0,087m

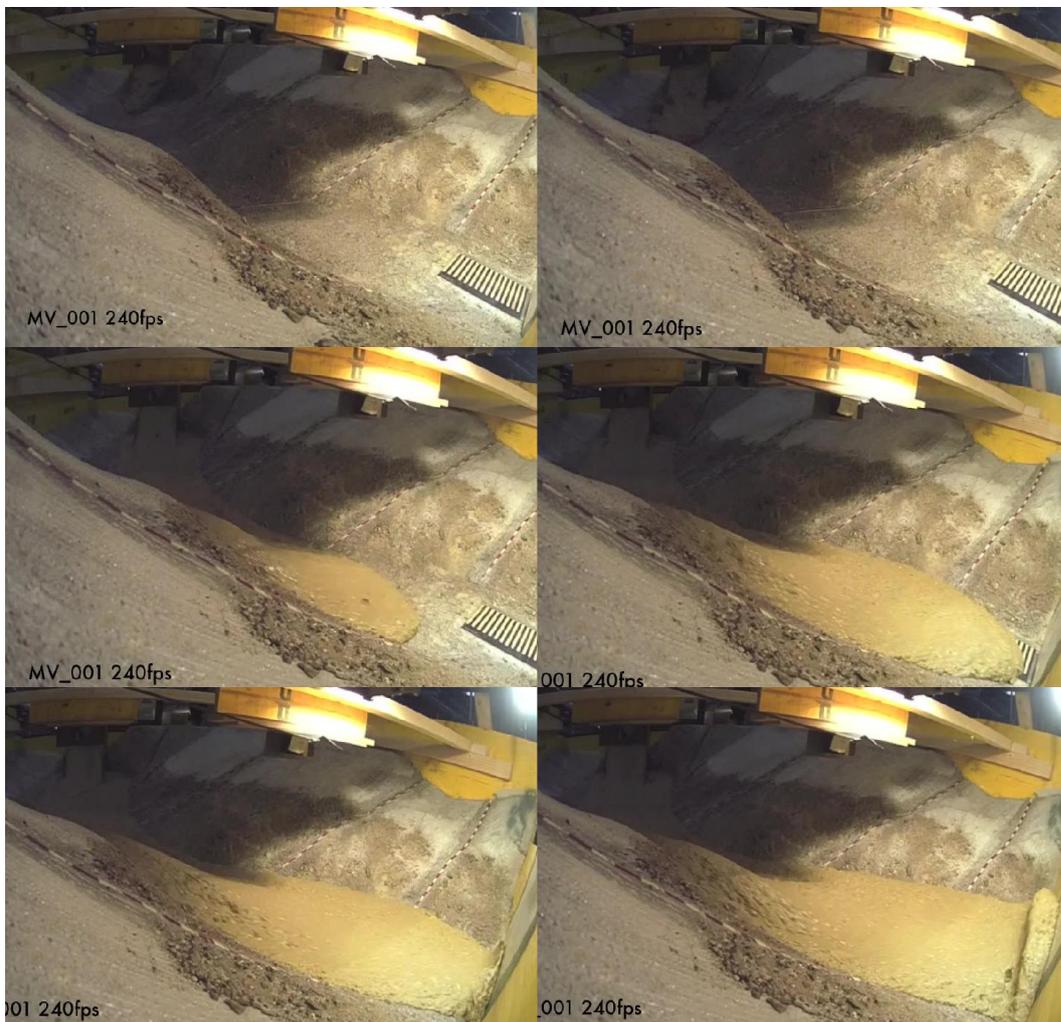


## 7 Ergebnisse

### 7.1 Visuelle Beobachtungen

#### 7.1.1 Murversuche Druckmessblock

Bei jedem Versuch wurde der Murgang mit verschiedenen Videokameras aufgezeichnet und visuell vor Ort beobachtet. Hierbei konnten typische Murgangseigenschaften erkannt werden.



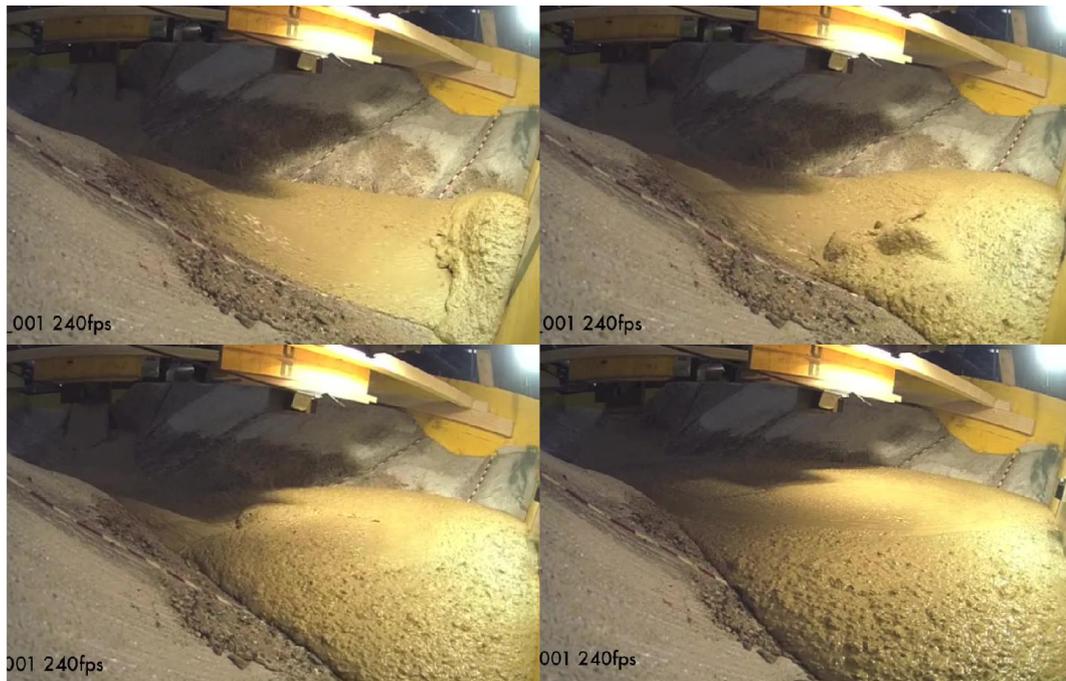


Abbildung 22: Zeitraffer MV\_001

Durch die hohen Geschwindigkeiten im Bereich der Mischrinne und dem Niveauunterschied kommt es im Überfallsbereich von der Mischrinne in das Modell (Wasserfall) zu einem vollkommenden Überfall. Im Modell konnte sich eine Murfront mit bis zu 10cm (MV\_005) Abflusshöhe ausbilden. Weiters konnte durch die Krümmung des Bachverlaufs im orographisch rechten Bereich eine deutlich sichtbare Kurvenüberhöhung beobachtet werden.



Abbildung 23: Kurvenüberhöhung (Bsp. MV\_008)

Im Bereich des Sperrkörpers zeigt sich, dass es wegen dem Aufprall im unteren Bereich und des ständig nachkommenden Materials zu einer vertikal nach oben gerichteten Walze kommt. Weiters konnte beobachtet werden, dass sich das



nachkommende Material unter diese Walze drückt und es im oberen Bereich des Sperrenkörpers zu keinem direkten Anprall kommt.

### **7.1.2 Murversuche Netzsperr**

Die Versuche MV\_10 bis MV\_20 können grob in zwei Sparten unterteilt werden. Jene Versuche bei denen eine Dosierung und eine darauffolgende Entleerung stattfand, und jene bei denen eine sofortige Verklausung des Basisdurchflusses und eine komplette Retention eintrat.

Bei jenen Versuchen mit Dosierwirkung konnte eine Verfüllung bis zur Sperrenkrone beobachtet werden. Jedoch konnte sich danach der Stauraum bis auf bodennahe Schichten komplett entleeren.

Im Laufe der Versuchsdurchläufe kam es immer wieder zu einer Überströmung der Sperrenkrone, da die Sperre wegen der basalen Netzhöhenverkleinerung kontinuierlich nach unten versetzt wurde. Dieses wurde in den letzteren Versuchen durch einen Balken verhindert. Jenen Unterschied wurde bei der weiteren Auswertung nicht weiter berücksichtigt.

### **7.1.3 Geschiebeversuche**

Im Laufe der Versuchsdurchläufe wurden Versuche mit und ohne Wildholzrechen und ein Versuch (GV\_007) ohne Wildholz durchgeführt. Durch den Wildholzrechen konnten in den Versuchen das Wildholz zurückgehalten und so eine Verklausung am Sperrenkörper verringert werden.

Der erste Versuch eine Wildholzrechenkonstruktion einzubauen wurde in GV\_002 durchgeführt. Jene Konstruktion konnte kein Wildholz zurückhalten. Dies ist auch in den nachfolgenden Abbildungen zu erkennen. Die Ablagerung des Versuches GV\_002 unterscheidet sich kaum von jenen welche ohne Wildholzrechen durchgeführt wurden.

Im Versuch GV\_007 wurde kein Wildholz zugegeben. Dadurch kam es im Bereich des Sperrenkörpers zu einem leichten Rückstau und danach zur kompletten Spülung des Retentionsraumes.



Abbildung 24: Ablagerungsverhalten nach Versuchsbeendigung von GV\_001 bis GV\_008 (v. oben links nach unten rechts)

## 7.2 Eingangshydrograph

Um eine Information über den Abfluss im Modell zu erlangen, wurde in Höhe des Lasers Nr.4 (Überfall Mischrinne in Modell) ein Modellhydrograph erstellt. In jenem Hydrograph wird die Frontgeschwindigkeit als konstant über die Zeit und dem Querschnitt angenommen. Die Durchflussfläche ergibt sich über die fix



angenommene Gerinnebreite der Mischstrecke mit 40cm (Natura 12m) und der Abflusshöhenmessung des Lasers.

Tabelle 13: Datengrundlage von Hydrograph am Beispiel MV\_009 (Natura)

Zeit [s]	Abflusshöhe [m]	Gerinnebreite [m]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	v Front [m/s]	Q <sub>max</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Fracht [m <sup>3</sup> ]
0	0	12	0	0	0	968,0
4,4	2,3	12	27,3	16,2	441,8	
60,8	0	12	0	0	0	12462,9
					<b>Summe</b>	<b>13430,9</b>

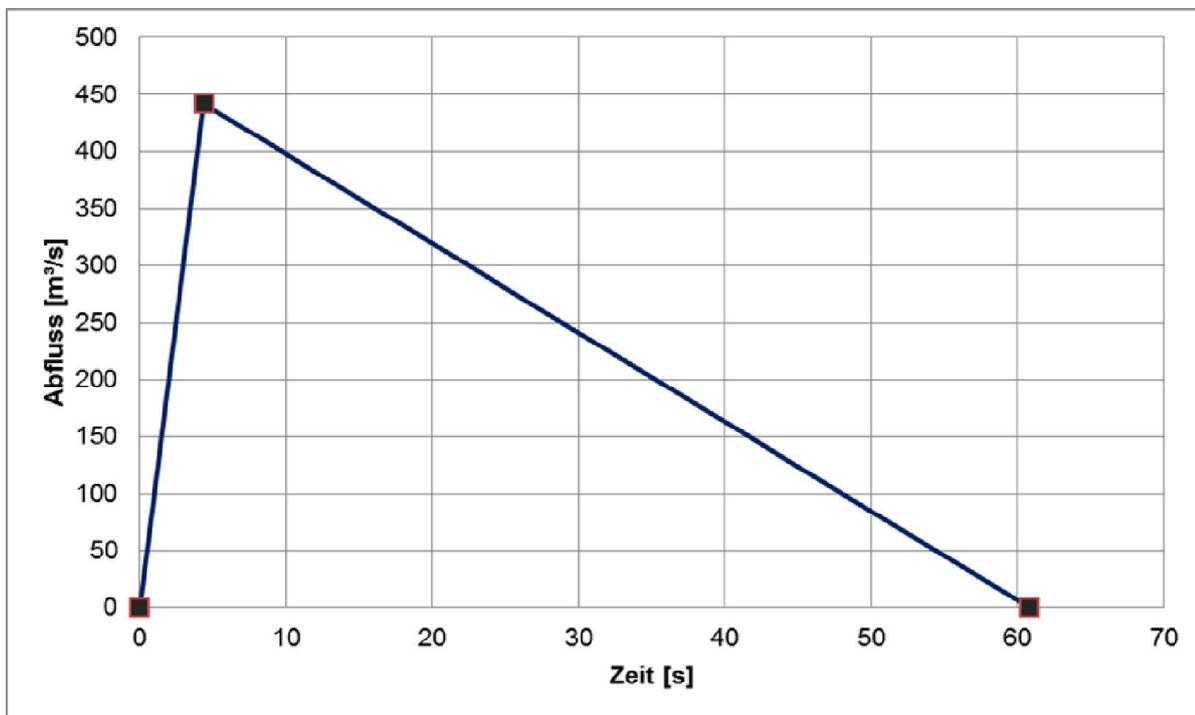


Abbildung 25: Hydrograph am Beispiel MV\_009 (Natura)

### 7.3 Frontgeschwindigkeiten

Die Frontgeschwindigkeit des fließenden Mediums wurde auf zwei verschiedene Arten aufgezeichnet. Zum einen mithilfe von Lasermessungen und zum anderen wurden die Aufzeichnung einer Highspeed Kamera verwendet.



Tabelle 14: Übersicht Frontgeschwindigkeiten Modell

VersuchsID	Datum	Highspeed Kamera	Laser	
			L2-L1 (Modell)	L5-L4 (Mischrinne)
v_Front [m/s]				
MV_000	05.03.2014	1,09	-	-
MV_001	06.03.2014	1,36	1,01	2,29
MV_002	10.03.2014	1,62	1,19	2,50
MV_003	11.03.2014	1,43	1,20	2,22
MV_004	12.03.2014	1,14	1,23	2,29
MV_005	18.03.2014	0,91	0,85	2,00
MV_006	19.03.2014	1,05	1,02	2,29
MV_007	20.03.2014	1,59	1,14	2,29
MV_008	25.03.2014	1,16	1,05	2,16
MV_009	26.03.2014	1,12	1,18	2,96
MV_010	09.04.2014	0,84	0,82	2,35
MV_011	15.04.2014	1,58	1,11	2,96
MV_012	16.04.2014	1,29	1,09	2,86
MV_013	17.04.2014	1,38	1,11	2,76
MV_014	22.04.2014	1,65	1,02	3,00
MV_015	23.04.2014	1,49	1,10	2,58
MV_016	23.04.2014	1,32	1,00	2,67
MV_017	05.05.2014	1,50	0,95	-
MV_018	06.05.2014	1,80	1,09	2,58
MV_019	06.05.2014	1,24	1,03	2,67
MV_020	07.05.2014	1,32	1,04	2,86
RV_001	27.03.2014	0,00	1,81	3,69

Tabelle 15: Übersicht Frontgeschwindigkeiten Natur

VersuchsID	Datum	Highspeed Kamera	Laser	
			L2-L1 (Modell)	L5-L4 (Mischrinne)
v_Front [m/s]				
MV_000	05.03.2014	6,00	-	-
MV_001	06.03.2014	7,42	5,53	12,52
MV_002	10.03.2014	8,88	6,52	13,69
MV_003	11.03.2014	7,83	6,60	12,17
MV_004	12.03.2014	6,23	6,76	12,52
MV_005	18.03.2014	4,98	4,68	10,95
MV_006	19.03.2014	5,74	5,59	12,52
MV_007	20.03.2014	8,72	6,22	12,52
MV_008	25.03.2014	6,35	5,77	11,84
MV_009	26.03.2014	6,12	6,44	16,23



MV_010	09.04.2014	4,59	4,49	12,89
MV_011	15.04.2014	8,64	6,09	16,23
MV_012	16.04.2014	7,09	5,95	15,65
MV_013	17.04.2014	7,58	6,09	15,11
MV_014	22.04.2014	9,06	5,59	16,41
MV_015	23.04.2014	8,15	6,02	14,13
MV_016	23.04.2014	7,20	5,48	14,61
MV_017	05.05.2014	8,23	5,22	-
MV_018	06.05.2014	9,88	5,95	14,13
MV_019	06.05.2014	6,78	5,65	14,61
MV_020	07.05.2014	7,20	5,71	15,65
RV_001	27.03.2014	0,00	9,94	20,19

Durch die Hochrechnung der im Modell gemessenen Geschwindigkeiten, auf die in Natura eintretenden Geschwindigkeiten, kann ein Vergleich mit den gängigen Literaturwerten angestellt werden.

Zusammengefasst kann von einer mittleren Prozessgeschwindigkeit vor dem Aufprall auf den Sperrkörper von 7,27 m/s ausgegangen werden.

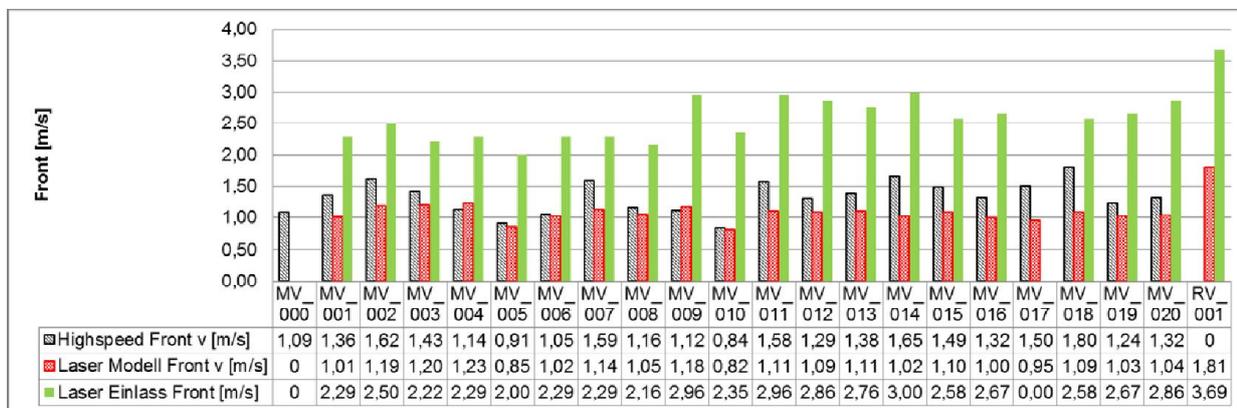


Abbildung 26: Zusammenfassung Frontgeschwindigkeiten Modell



## 7.4 Ergebnisse Druckmessblock

### 7.4.1 Maximalkräfte am Sperrenkörper

Um eine Abschätzung der einwirkenden Kräfte am Sperrenkörper zu erhalten, wurden für jede Zelle und Versuch die Maximalkräfte herausgefiltert. Danach wurde für jede horizontale Reihe die am höchsten belastete Zelle weiterverwendet. Die Beziehung mit der Höhe ist in Abbildung 27 ersichtlich.

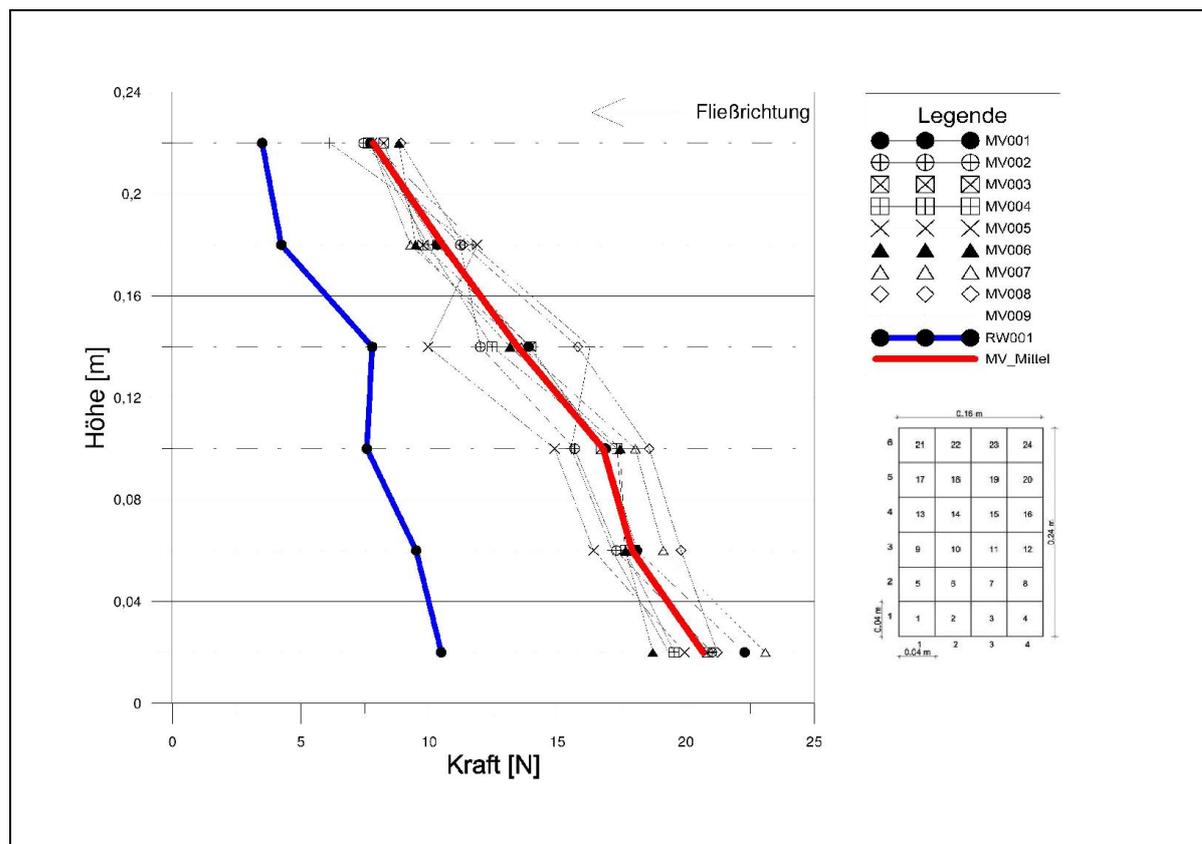


Abbildung 27: Maximalkräfte pro horizontale Reihe im Modell (rot-Mittel aller Mauerversuche; blau-Reinwasserversuch)

Der in rot gehaltene Graph zeigt das Mittel der Maximalkräfte aller neun Mauerversuche. Für weitere Auswertungen und Überlegungen wurde ein Reinwasserversuch RV\_001 (blauer Graph) durchgeführt.

### 7.4.2 Maximaldrücke am Sperrenkörper

Für die Veranschaulichung der gemessenen Werte wird ein Vergleich mit der gängigen Norm ONR 24801 hergestellt.





Tabelle 16: Hochskalierte Parameter aus Versuchsreihe (MV\_001 bis MV\_009)

	Natura		
	v Front [m/s]	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	max. Kraft [KN]
MV_001	7,42	2272,43	601,74
MV_002	8,88	2275,68	567,29
MV_003	7,83	2185,95	562,39
MV_004	6,23	2270,27	527,45
MV_005	4,98	2214,05	538,74
MV_006	5,74	2231,35	505,20
MV_007	8,72	2286,49	623,80
MV_008	6,35	2196,11	572,98
MV_009	6,12	2224,86	521,86

Tabelle 17: Druck lt. ONR und lt. Druckblockauswertung

	Natura			
	ONR			Versuch
	Pdyn [KN/m <sup>2</sup> ]	Pstat [KN/m <sup>2</sup> ]	Pgesamt [KN/m <sup>2</sup> ]	Pgesamt [KN/m <sup>2</sup> ]
MV_001	125,18	256,36	381,54	417,87
MV_002	179,53	256,73	436,26	393,95
MV_003	133,95	246,61	380,56	390,55
MV_004	88,21	256,12	344,33	366,28
MV_005	54,89	249,78	304,67	374,13
MV_006	73,62	251,73	325,35	350,83
MV_007	173,87	257,95	431,82	433,19
MV_008	88,58	247,75	336,33	397,90
MV_009	83,33	251,00	334,33	362,40

## 7.5 Ergebnisse Ankerkräfte

Für die Bestimmung der einwirkenden Kräfte in den Tragseilen wurden 11 Versuche durchgeführt. Die Messungen erfolgten bei einer Tragseilvorspannung von 1kg.

In Tabelle 18 sind alle Messwerte und errechneten Einwirkungen der durchgeführten Versuche aufgelistet. Als Messung max [kg] werden jene Werte aufgelistet welche sich als maximale Belastung bei den Versuchsdurchläufen gezeigt haben. Jener Wert pro Durchlauf wurde für alle weiteren Berechnungen und Analysen verwendet.



Tabelle 18: Messergebnisse Versuche Netzsperr

	Messung max [kg]	Messung [KN]	Geschwindigkeit Kamera [m/s]	Geschwindigkeit [m/s]	Einwirkung [N]	Einwirkung [KN]
	Modell	Natur	Modell	Natur	Modell	Natur
<b>MV_010</b>	5,323	1437,2	0,839	4,594	12,816	346,0
<b>MV_011</b>	6,981	1884,9	1,578	8,643	17,323	467,7
<b>MV_012</b>	7,314	1974,8	1,294	7,087	18,228	492,2
<b>MV_013</b>	7,962	2149,7	1,384	7,581	19,990	539,7
<b>MV_014</b>	8,520	2300,4	1,653	9,056	21,506	580,7
<b>MV_015</b>	8,325	2247,8	1,488	8,150	20,976	566,4
<b>MV_016</b>	6,198	1673,5	1,315	7,203	15,194	410,2
<b>MV_017</b>	8,468	2286,4	1,503	8,231	21,365	576,9
<b>MV_018</b>	10,143	2738,6	1,803	9,878	25,918	699,8
<b>MV_019</b>	7,107	1918,9	1,238	6,779	17,665	477,0
<b>MV_020</b>	9,519	2570,1	1,315	7,203	24,222	654,0

Die Maximalkräfte wurden bei MV\_010 bis MV\_17 (d.h. jene Versuche mit Dosierungsfunktion) immer im Bereich Tragseil 1 (zweites Tragseil von unten) aufgezeichnet. Bei der Retention des Murganges (MV\_018-MV\_020) konnte keine so exakte Abgrenzung getroffen werden. Hier wurden die beiden unteren Tragseile am meisten belastet. (Tragseil 4 und 1)

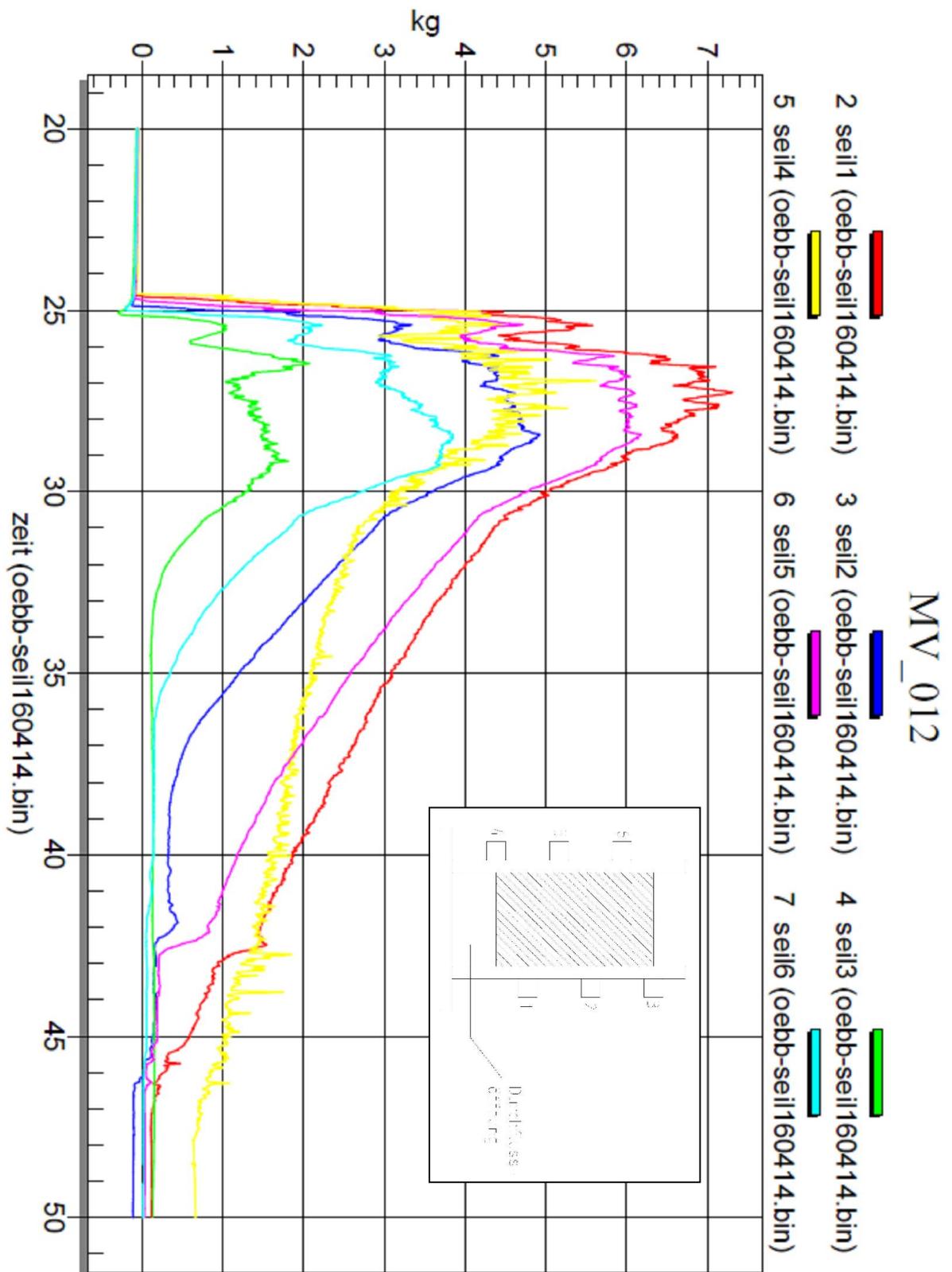


Abbildung 29: Messung Seilkräfte Bsp. MV\_012

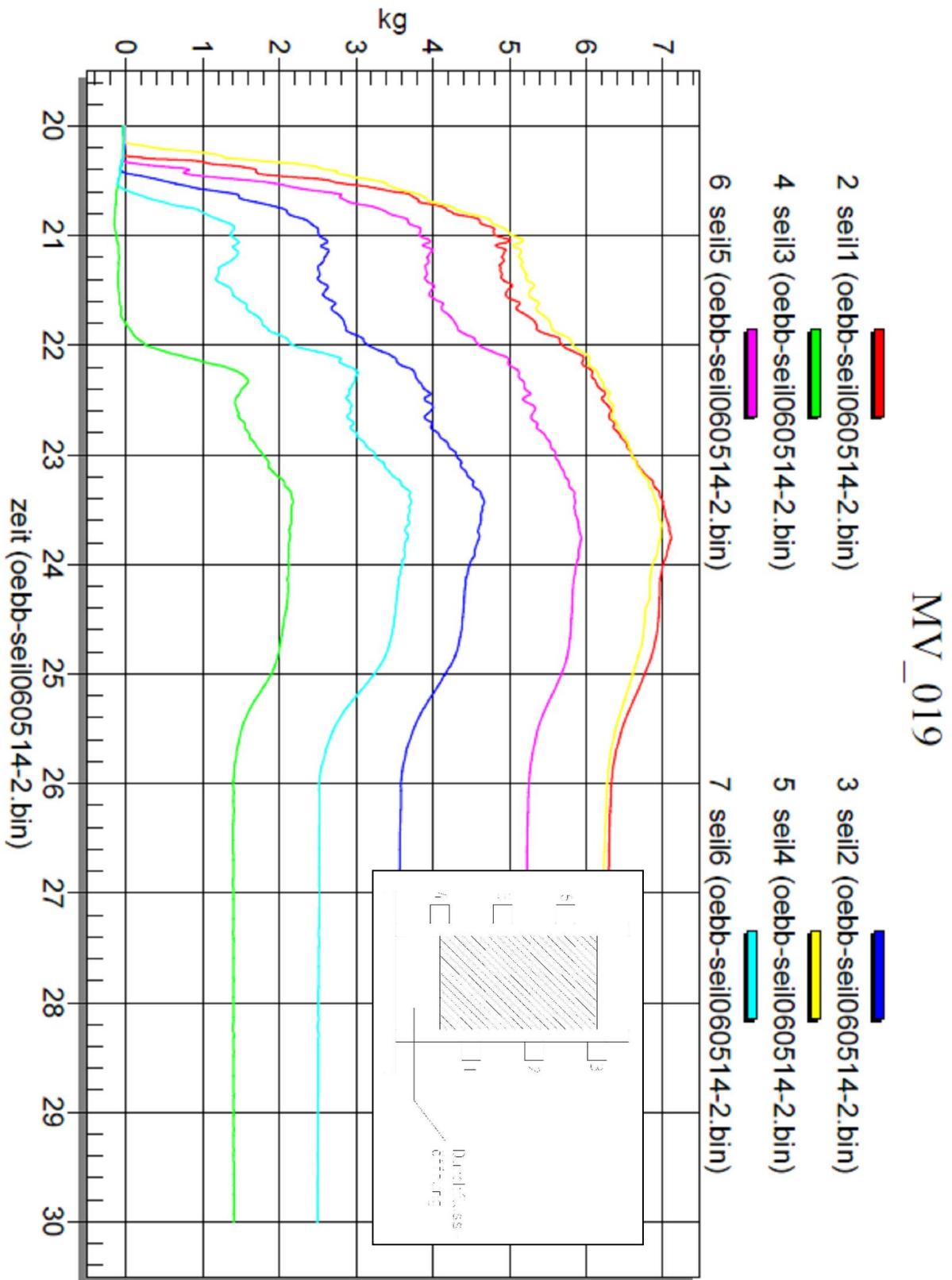


Abbildung 30: Messung Seilkräfte Bsp. MV\_019



### 7.5.1 Vorspannung

Alle Versuche wurden mit einer Tragseilvorspannung von 1000g durchgeführt. Im Laufe der Laborversuche wurde mittels geeichten Einwirkungen der Einfluss der Vorspannung und der daraus resultierenden Auslenkung untersucht. Für diese Untersuchungen wurden weiter zwei Vorspannungen gewählt (500g und 250g).

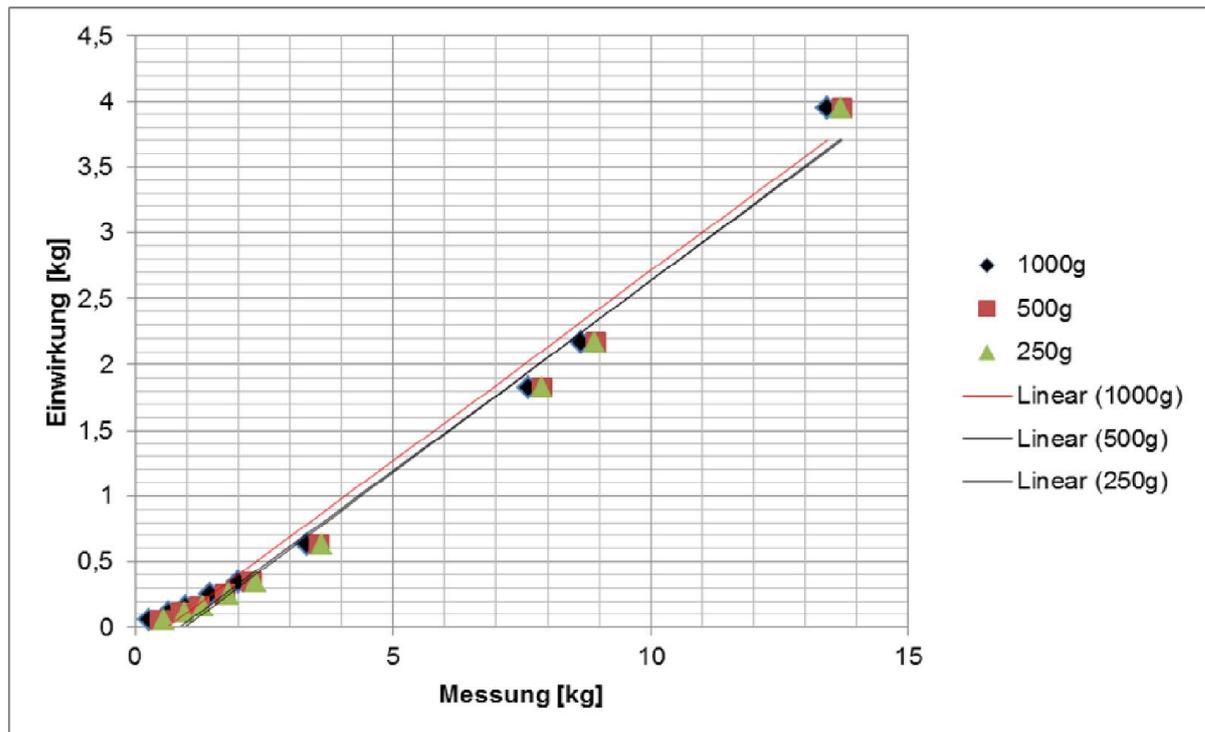


Abbildung 31: Zusammenhang von der Einwirkung [kg] zur Messung [kg] je Vorspannung

Es konnte ein linearer Zusammenhang zwischen Einwirkung und Messung mit einem Bestimmtheitsmaß über 95% erreicht werden. Durch die geringen Unterschiede der Vorspannungsvariation konnte dieser Faktor als nichtig erklärt werden. Eine Messung ohne vorherige Spannung im Seil konnte nicht durchgeführt werden, da hier von keiner standardisierten Ausgangslage gestartet werden konnte.



Tabelle 19: Tabellenwerte von Abbildung 31

Vorspannung [g]	Bestimmtheitsmaß [-]	$y=kx+d$
1000	$R^2 = 0,9867$	$y = 0,2894x - 0,1792$
500	$R^2 = 0,9865$	$y = 0,2881x - 0,2463$
250	$R^2 = 0,9869$	$y = 0,291x - 0,2726$

Durch diese Zusammenhänge konnte auf eine Mureinwirkung auf das belastete Tragseil zurückgeschlossen werden.

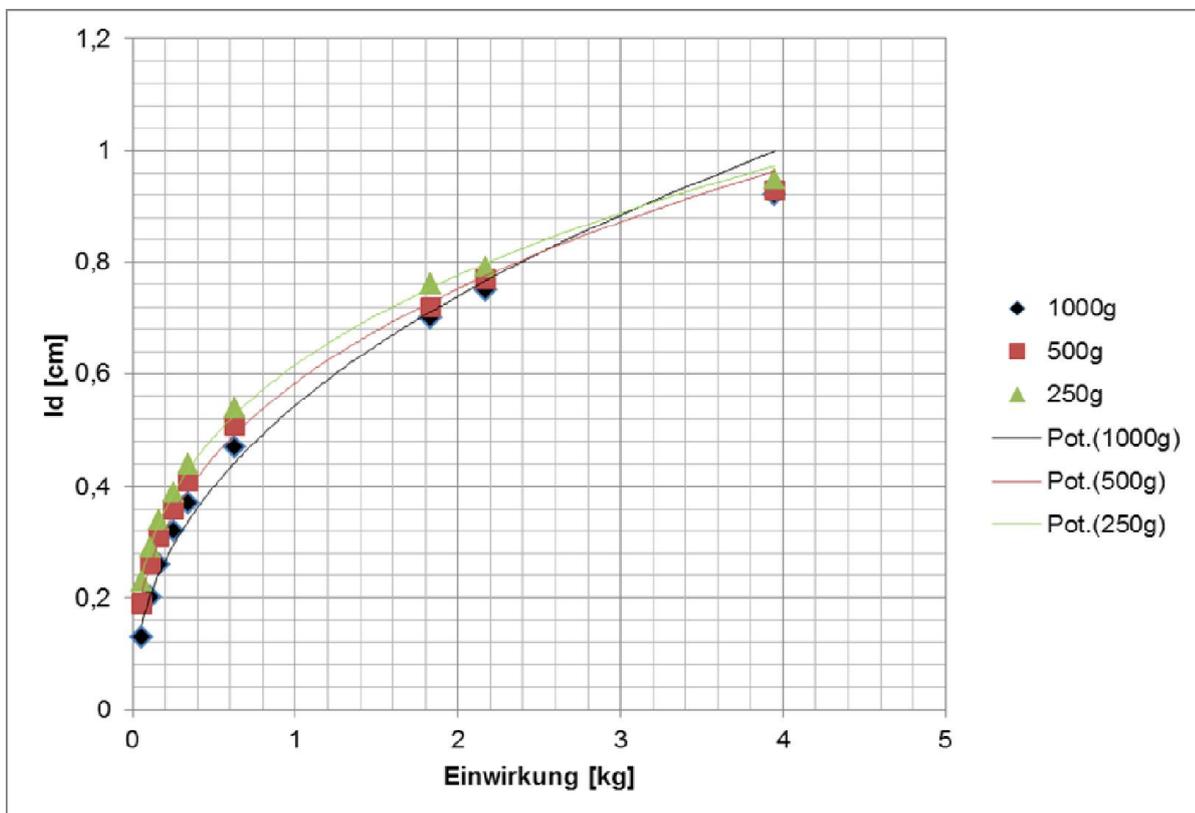


Abbildung 32: Zusammenhang von Durchhang [cm] und Einwirkung [kg] je Vorspannung

Weiters wurde ein Zusammenhang zwischen der Einwirkung und der Auslenkung des Seiles bei verschiedenen Vorspannungen gezeigt. Hier konnte ein starker Zusammenhang, welcher auf das Dehnverhalten des Modelltragseiles zurückzuführen ist, gefunden werden.



## 7.5.2 Theoretischer Nachweis

Um einen Vergleichswert für die auftretenden Kräfte in den Tragseilen zu bekommen wurden diese mit der Errechnung nach dem Kettenlinienprinzip versucht. In dieser mathematischen Kurvenbeschreibung wurde die Einwirkungsseite durch die Murgangskomponente modifiziert.

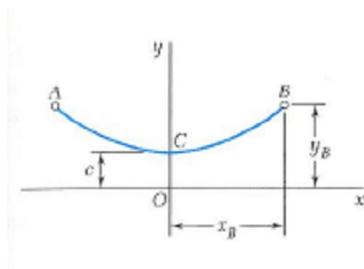


Abbildung 33: Beschreibung Kettenlinienprinzip

Die Koordinaten von Punkt B sind folgend festgelegt:

$$x_B = 200 \text{ [cm]}; y_B = \text{Durchhang} + c$$

Formel 7

Als Gleichung zur Beschreibung der Kurve des ausgelenkten Seiles wird Formel 8 verwendet.

$$y = c * \cosh \frac{x_B}{c}$$

Formel 8

Wenn die obigen Koordinaten von  $x_B$  und  $y_B$  in die Formel eingesetzt werden ergibt sich folgende Gleichung:

$$\text{Durchhang} + c = c * \cosh \frac{x_B}{c} \rightarrow \frac{\text{Durchhang}}{c} + 1 = \cosh \frac{x_B}{c}$$

Formel 9



Für die Ermittlung des Faktors c wurde dieser über Iteration berechnet.

Tabelle 20: Ermittlung von c (MV\_010)

c	xb/c	yb/c	yb/c+1	cosh xb/c
500	0,40	0,04	1,0367	1,0811
800	0,25	0,02	1,0230	1,0314
900	0,22	0,02	1,0204	1,0248
1000	0,20	0,02	1,0184	1,0201
1097	0,18	0,02	1,0167	1,0167

Um die maximalen Kräfte im Seil zu errechnen wurden Formel 10 angewandt.

$$T_{max} = TB = \frac{\text{Einwirkung}}{\text{Länge}} * yB$$

Formel 10

Als Länge wird die Schlitzbreite von 4 m verwendet.

Tabelle 21: Werte – Berechnung Kettenlinienprinzip

	Einwirkung [KN]	Durchhang [cm]	Tmax		Delta [KN]	Delta [%]
			Messung [KN]	Nachweis [KN]		
<b>MV_010</b>	346,0	18,37	1437,2	964,9	472,3	32,9
<b>MV_011</b>	467,7	20,98	1884,9	1141,2	743,7	39,5
<b>MV_012</b>	492,2	21,46	1974,8	1176,8	798,0	40,4
<b>MV_013</b>	539,7	22,36	2149,7	1244,5	905,2	42,1
<b>MV_014</b>	580,7	23,09	2300,4	1296,5	1003,9	43,6
<b>MV_015</b>	566,4	22,84	2247,8	1276,9	970,8	43,2
<b>MV_016</b>	410,2	19,80	1673,5	1061,3	612,1	36,6
<b>MV_017</b>	576,9	23,02	2286,4	1293,6	992,7	43,4
<b>MV_018</b>	699,8	25,08	2738,6	1447,0	1291,6	47,2
<b>MV_019</b>	477,0	21,17	1918,9	1156,8	762,1	39,7
<b>MV_020</b>	654,0	24,34	2570,1	1388,7	1181,5	46,0



## 7.6 Ergebnisse Durchflussöffnung

Im Laufe der Versuchsdurchführung wurden drei verschiedenen Öffnungshöhen und ein Versuch mit keiner Öffnung im unteren Bereich (MV\_019) untersucht.

Tabelle 22: Übersicht Basisöffnung MV\_010 bis MV\_020

	Öffnungshöhe Modell [m]	Öffnungshöhe Natur [m]	Öffnungsfläche Modell [m <sup>2</sup> ]	Öffnungsfläche Natur [m <sup>2</sup> ]
<b>MV_010</b>	0,087	2,6	0,0116	10,4
<b>MV_011</b>	0,087	2,6	0,0116	10,4
<b>MV_012</b>	0,087	2,6	0,0116	10,4
<b>MV_013</b>	0,087	2,6	0,0116	10,4
<b>MV_014</b>	0,060	1,8	0,0080	7,2
<b>MV_015</b>	0,060	1,8	0,0080	7,2
<b>MV_016</b>	0,060	1,8	0,0080	7,2
<b>MV_017</b>	0,060	1,8	0,0080	7,2
<b>MV_018</b>	0,033	1	0,0044	4
<b>MV_019</b>	0,000	0	0,0000	0
<b>MV_020</b>	0,033	1	0,0044	4

### 7.6.1 Murgang

Bei den Öffnungshöhen 2,6m und 1,8m kam es im Laufe der Versuchsdurchläufe zu keiner Verklauung. Daher wirkte die Sperre dosierend und es wurde ein Großteil des Murganges geschwächt abgegeben.

Bei den Versuchen MV\_018 bis MV\_020 kam es zu einer sofortigen Verklauung des Basisdurchflusses und daher wurde der gesamte Murgang retentiert.

Es ist jedoch zu erwähnen, dass sämtliche Versuche ohne Wildholz durchgeführt wurden.

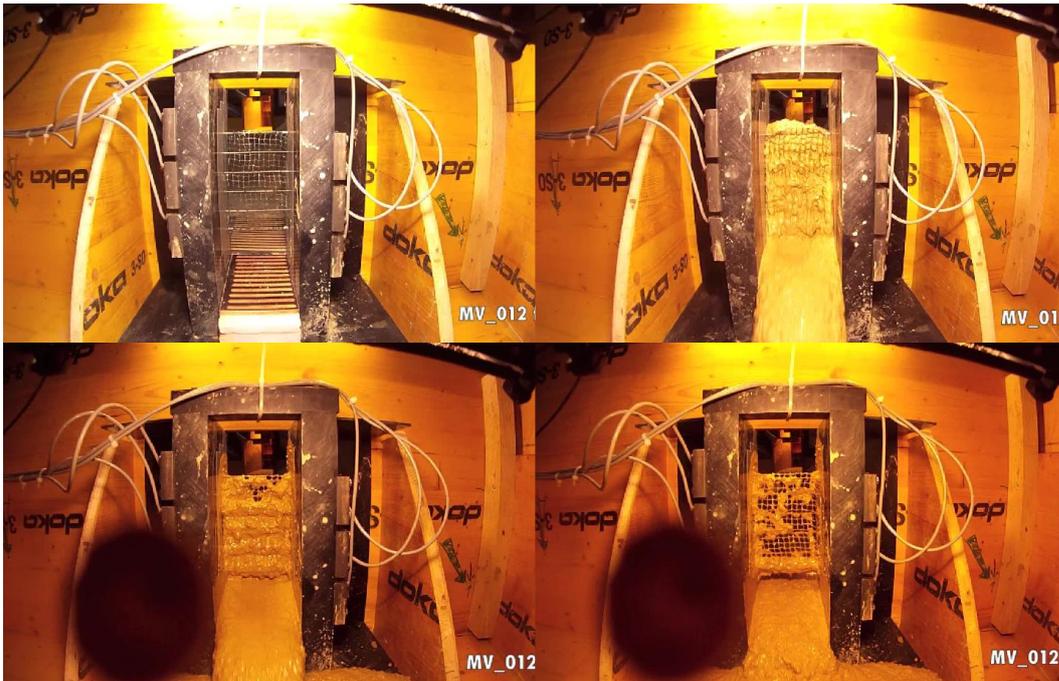


Abbildung 34: Netzbereich MV\_12 – Öffnungshöhe 0,087m

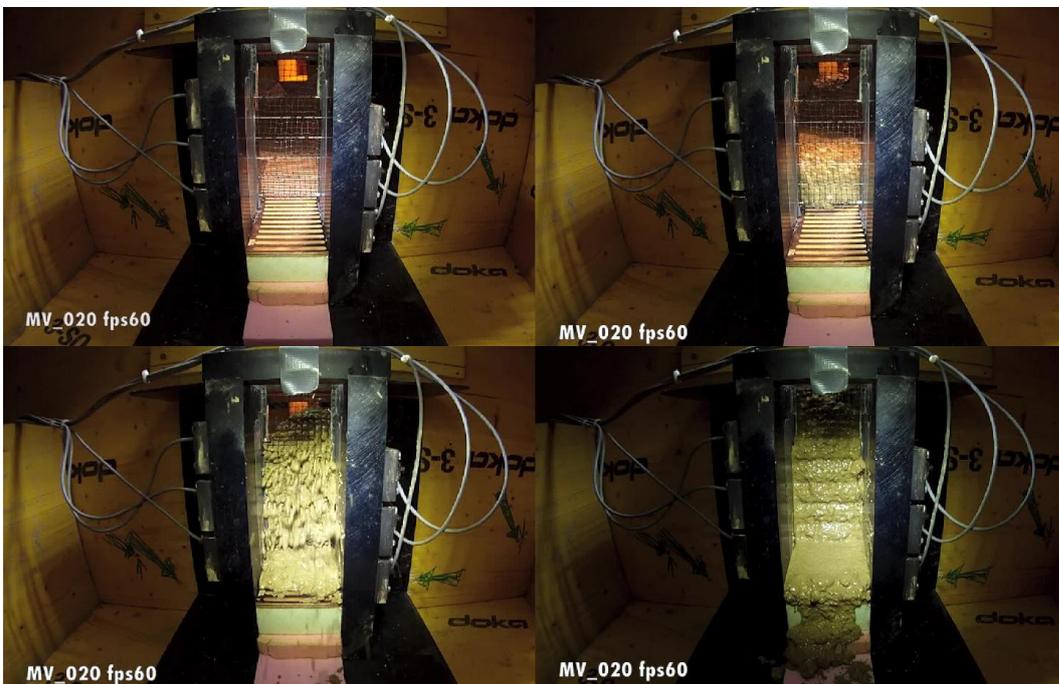


Abbildung 35: Netzbereich MV\_020 – Öffnungshöhe 0,033m



Tabelle 23: Dosierungszeit

	Zeit [s]		delta t Modell [s]	delta t Natur [s]	Öffnung Modell[m]	Öffnung Natur [m]
	Anstieg	Ablagerung (Höhe 75mm)				
MV_010	-	-	-	-	0,087	2,61
MV_011	29,25	62,31	33,06	181,08	0,087	2,61
MV_012	25,44	59,79	34,35	188,14	0,087	2,61
MV_013	24,3	57,65	33,35	182,67	0,087	2,61
<b>Mittel</b>			<b>33,5</b>	<b>183,9</b>		
MV_014	12,15	50,22	38,07	208,52	0,06	1,8
MV_015	19,22	54,25	35,03	191,87	0,06	1,8
MV_016	-	-	-	-	0,06	1,8
MV_017	29,61	67,64	38,03	208,30	0,06	1,8
<b>Mittel</b>			<b>37,0</b>	<b>202,8</b>		

Die in Tabelle 23 aufgelistete Dosierungszeit zeigt einen mittleren Zeitversatz von 33,5s bei der Öffnungshöhe 0,087m und von 37s bei einer Höhe von 0,06m. Dieser Dosiereffekt kann auch Anhand des Pegelverlaufes des Laser Nr. 3 gezeigt werden. Hier ist der schwallartige Anstieg zu Beginn und danach eine kontinuierlich gedämpfter Abfluss gut ersichtlich.

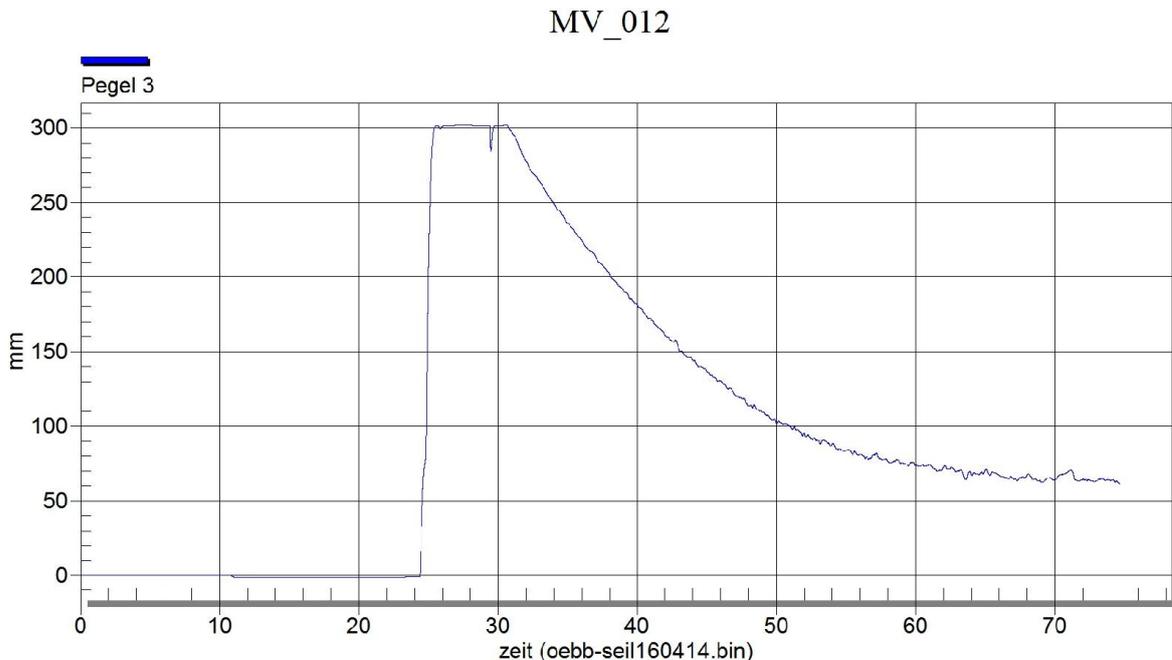


Abbildung 36: Pegel 3 (vor Sperrkörper) MV\_012



### **7.6.2 Fluvialer Feststofftransport**

Im Laufe der Versuchsdurchläufe GV\_001 bis GV\_008 wurden erneut die drei unterschiedlichen Basisöffnungen untersucht. Hierfür wurden für jede Höhe Versuche mit und ohne Wildholzrechen durchgeführt (Übersicht siehe Tabelle 12).

Im Versuch GV\_07 wurde ein Durchgang ohne Wildholz erprobt. Hier wurde die geringste basale Öffnungshöhe (0,033m) untersucht. Der alleinige Geschiebetransport konnte keine Verkläusung im Sperrbereich erzielen.

### **7.7 Ergebnisse Wildholzrechen**

Um die bestmögliche Ausführung von einem Retentionsbauwerk für Wildholz zu finden wurden folgende Arten untersucht.

- Einfacher, normal zur Fließrichtung verbauter Rechen
- Einfacher, um 45° gedrehter Rechen
- V- Rechen, Öffnungswinkel 60°
- V- Rechen, Öffnungswinkel 90°
- Verkehrter V- Rechen, Öffnungswinkel 90°

Die verschiedenen Arten wurden im Modell auf drei verschiedene Standorten positioniert.

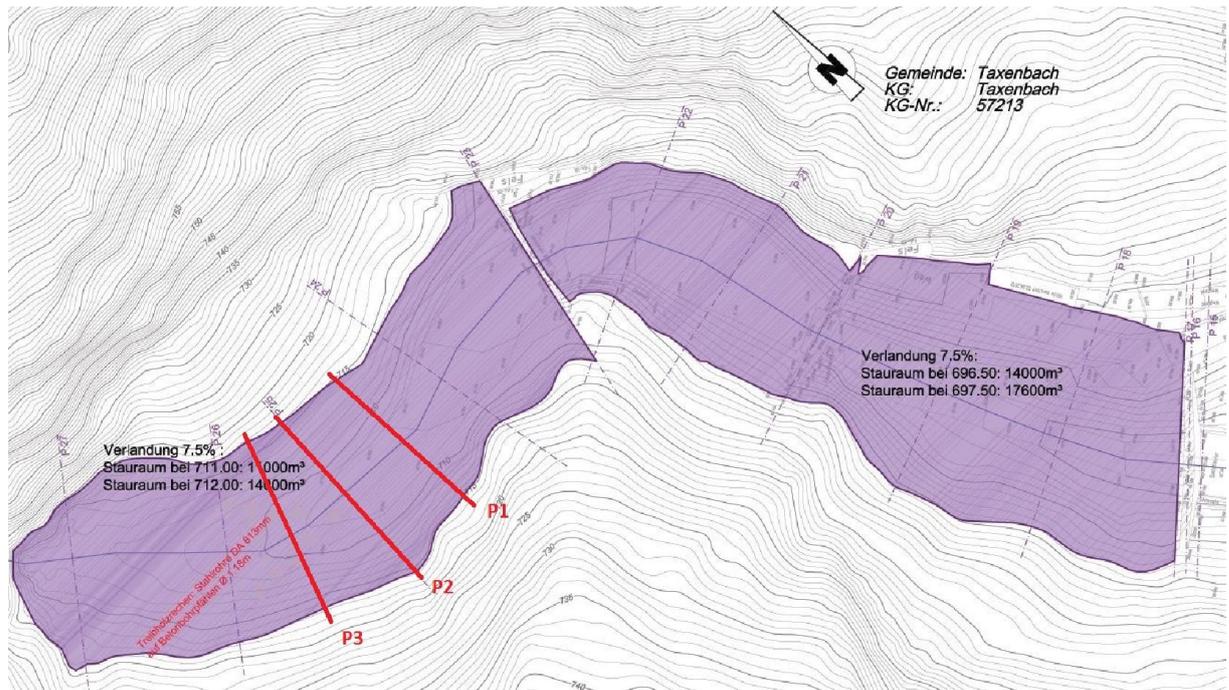


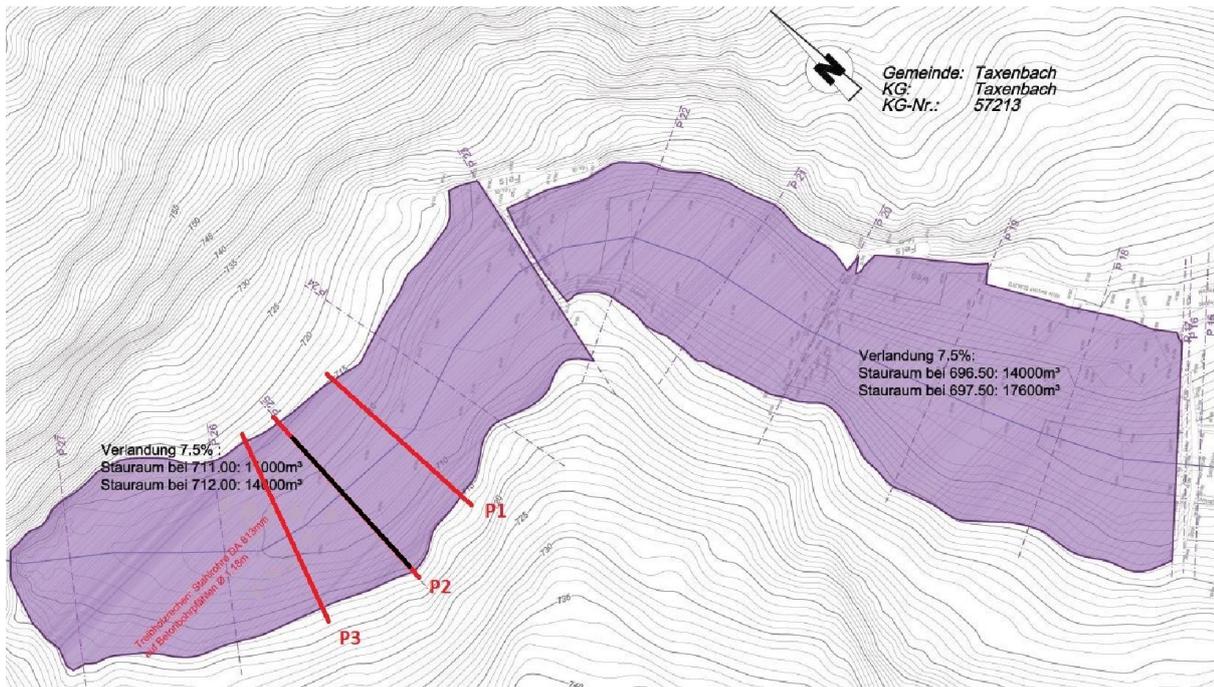
Abbildung 37: Standortpositionen

Je Versuch wurden 300 Stämme zum Zeitpunkt des HQ100 dem Geschiebetransport zugegeben. Als Stämme wurde natürliches Astmaterial mit einer Länge von 10 bis 25 cm verwendet. Das Material wurde vor jedem Versuchen in einem Wasserbad getränkt.

Nach Auswertung der reinen Wildholzversuche (siehe untenstehende Tabelle und Grafik) kann die Position 2 als die am Erfolgversprechendste festgestellt werden. Alle weiteren Versuche werden an dieser Position durchgeführt.



### 7.7.1 Einfacher Rechen normal zur Fließrichtung



Verwendete Baumstämme: 300

Rückhalt am Rechen: 240

Rückhalt an der Seilnetzsperrre: 53

Durchgang: 7

#### Anmerkungen:

Bei geringem Durchfluss verlandet etwas Geschiebe vor dem Wildholzrechen. Bei steigendem Durchfluss wird das abgelagerte Geschiebe größtenteils wieder mobilisiert. Eine zusätzliche Belastung des Prallhanges durch die Sperre kann noch nicht beobachtet werden.

Sobald Wildholz hinzugegeben wird, lagert sich dieses strömungsbedingt rechts ab und die Hauptströmung wird über links abgeleitet. Das Wildholz kann den Rechen dort auf Grund der hohen Strömungsgeschwindigkeit relativ lange ungehindert passieren. Im Bereich rechts vor dem Rechen bildet sich eine Rückströmung. Bei abklingendem Abfluss wird die Strömung rechts über den Prallhang geleitet und dieser negativ beeinflusst.

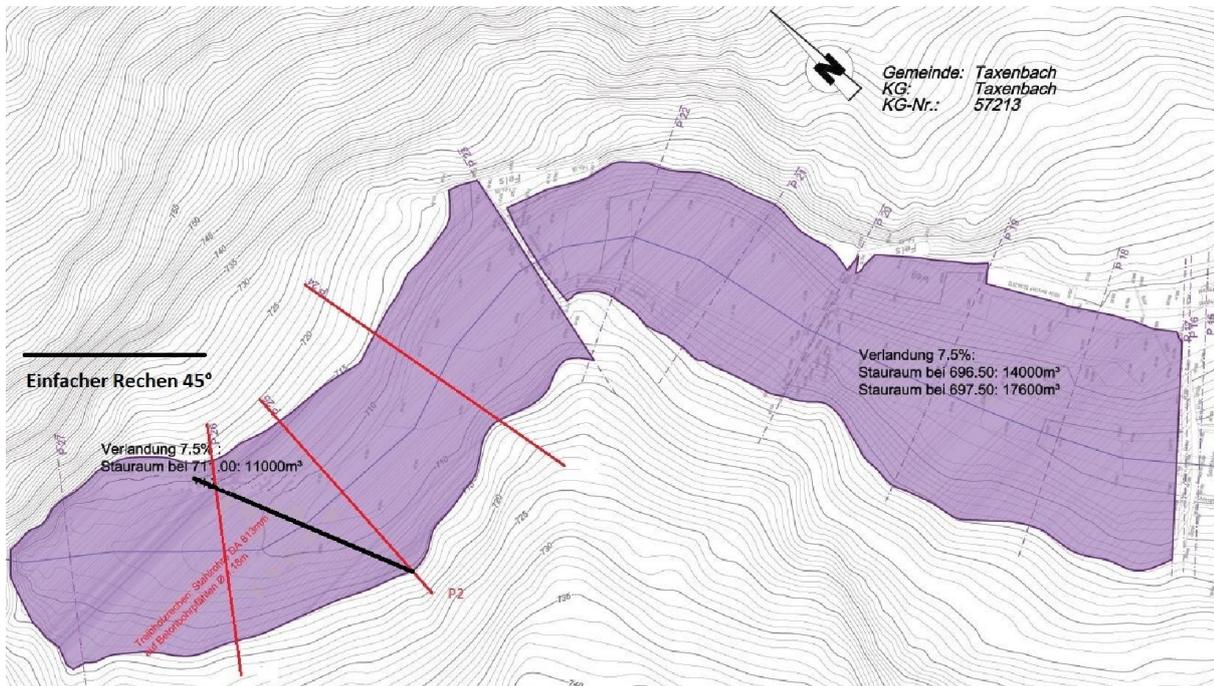


Fotodokumentation:





## 7.7.2 Einfacher um 45° geneigter Wildholzrechen:



Verwendete Baumstämme: 300

Rückhalt am Rechen: 264

Rückhalt an der Seilnetzsperr: 27

Durchgang: 9

### Anmerkungen:

Zu Beginn des Versuchs lagert sich etwas Geschiebe aufgrund der geringen Fließgeschwindigkeit im Bereich des Rechens ab. Nach anfänglichen Ablagerungen wird aber durch die Steigerung des Abflusses auf 6,5l/s das meiste Material wieder mobilisiert. Strömungstechnisch hervorragend, da die Hauptströmung vom Prallhang weck geleitet wird. Der Wildholzrechen springt schnell an und hält das meiste Wildholz auf der rechten Seite verlässlich zurück. Nur wenige Äste passieren den Rechen zu Beginn. Dies schützt den Prallhang, da die Strömung über Links abgeleitet wird. In weiterer Folge verklaust der Rechen über die gesamte Breite. Es entsteht eine Rückströmung am rechten Ufer. Der Prallhang wird bei hohem Abfluss von der Strömung nicht stark beeinflusst. Relativ rasch bildet sich die Hauptströmung nach Abklingen des HQ100 über die gesamte Breite und vor allem in Gerinnemitte aus. Der Rechen bleibt lange Zeit Geschiebedurchgängig. Erst ab



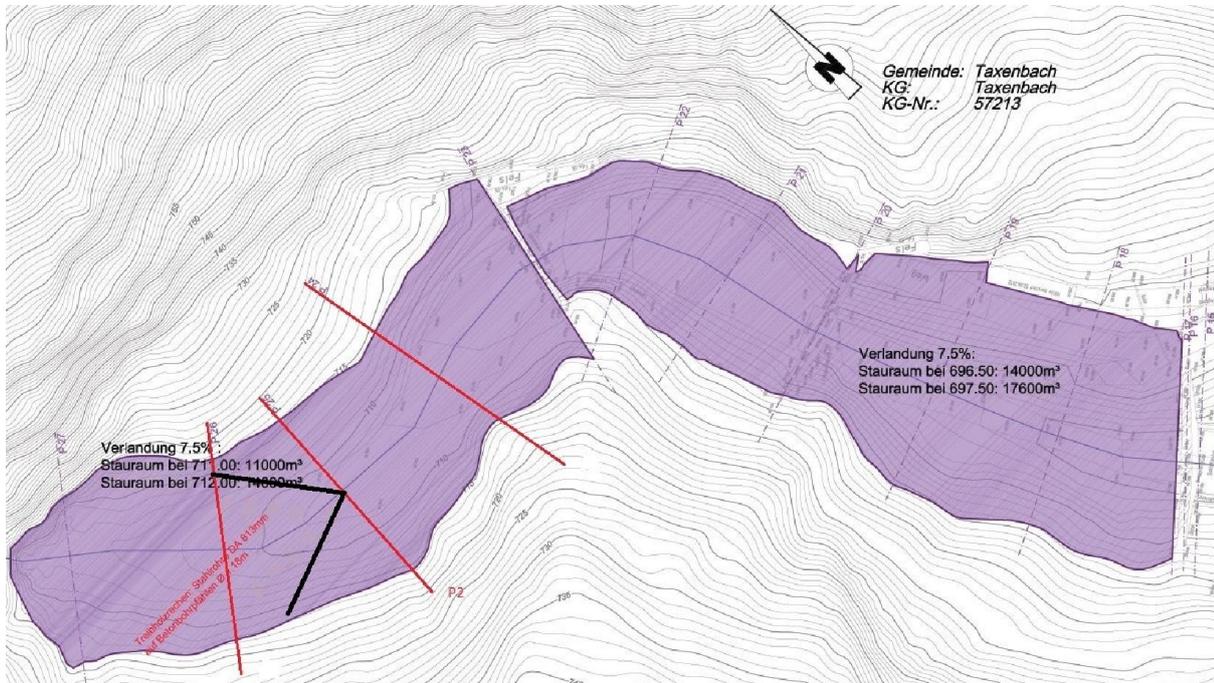
einer Verklausung über die gesamte Breite beginnt ein stärkerer Geschieberückhalt vor dem Rechen.

Fotodokumentation:





### 7.7.3 V-Rechen, Öffnungswinkel 60°



Verwendete Baumstämme: 300

Rückhalt am Rechen: 226

Rückhalt an der Seilnetzsperrre 70

Durchgang: 4

#### Anmerkungen:

Es kommt zu einer Anfangsverlandung welche bei steigendem Abfluss wieder mobilisiert wird. Anfänglich passieren viele Wildhölzer den Rechen. Erst wenn mehrere Baumstämme gleichzeitig auftreffen beginnt die Verklauung. Danach kann ein sehr schneller Aufbau mit starker Barrierewirkung festgestellt werden. In dieser Phase kommt es zügig zu Verlandungen im Bereich vor dem Rechen. Es bilden sich an der linken- und der rechten Seite 2 Hauptströmungen aus. In dieser Phase eingebrachtes Schwemmholz passiert den Rechen teilweise ungehindert und bleibt erst in der Seilnetzsperrre hängen. Bei abklingendem Abfluss wird die Strömung über den Prallhang geführt.

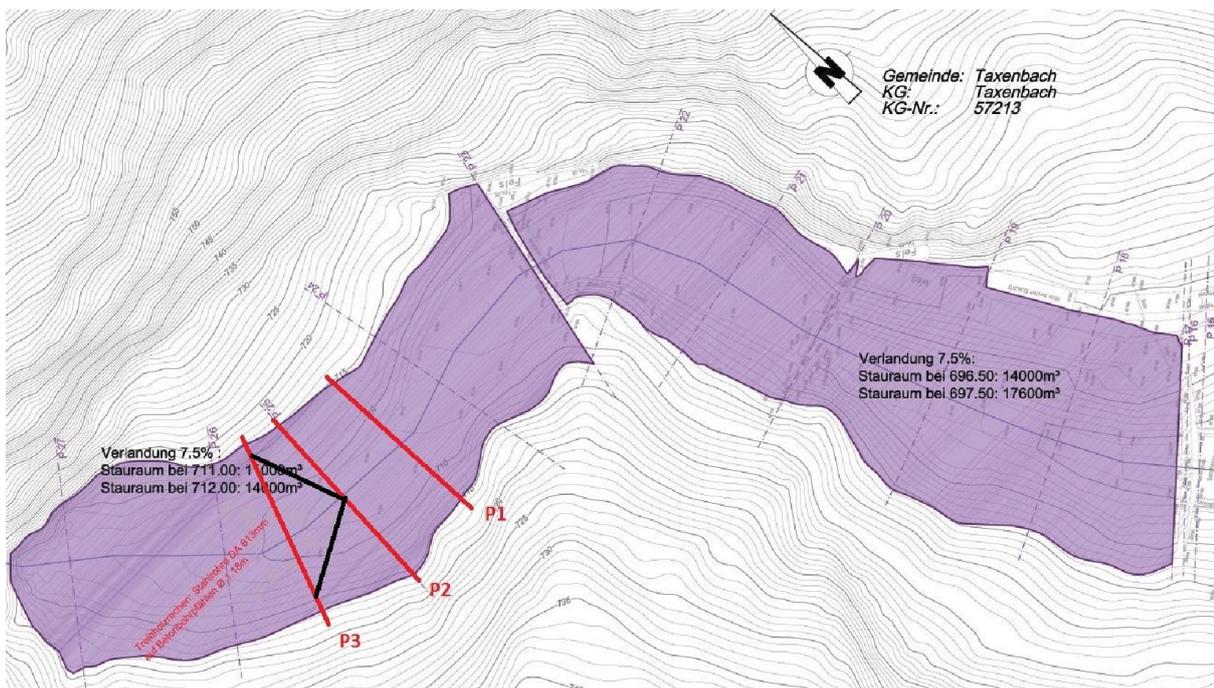


Fotodokumentation:





### 7.7.4 V-Rechen, Öffnungswinkel 90°



Verwendete Baumstämme: 300

Rückhalt am Rechen: 231

Rückhalt an der Seilnetzsperr 65

Durchgang: 4

#### Anmerkungen:

Bei dieser Variante kommt es zu einer sehr zügigen Anfangsverlandung vor dem Rechen. Zwar wird auch hier ein Großteil des Materials bei der Steigerung zum HQ100 wieder mobilisiert, ein gewisser Rest an der linken Seite bleibt jedoch strömungsbedingt liegen. Die Strömung wird zum Prallhang hin gelenkt. Bei Zugabe von Wildholz passiert anfänglich viel Wildholz, bis die Verklauung mittig beginnt. Danach kann ein sehr schneller Aufbau (mittig) mit starker Barrierewirkung festgestellt werden. In dieser Phase kommt es zügig zu Verlandungen im Bereich vor dem Rechen. Die Strömung wird am linken Hang vorbei geleitet. In dieser Phase eingebrachtes Schwemmholz passiert den Rechen teilweise ungehindert und wird erst in der Seilnetzsperr zurück gehalten. Es sind laterale Schwälle in Richtung des Prallhangs zu beobachten, die durch das verlandete Geschiebe links verursacht werden. Mit steigendem Verklauungsgrad reduziert sich die Prallhangbelastung.

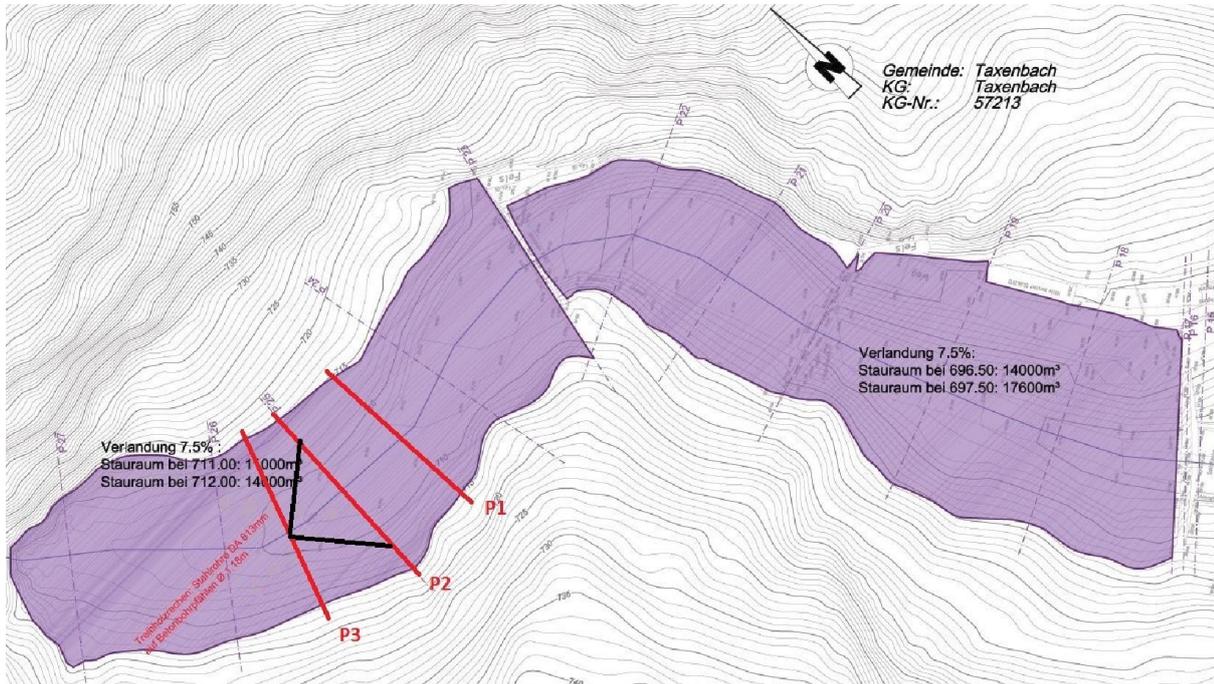


Fotodokumentation:





### 7.7.5 Verkehrter V- Rechen, Öffnungswinkel 90°



Verwendete Baumstämme: 300

Rückhalt am Rechen: 232

Rückhalt an der Seilnetzsperr 63

Durchgang: 5

#### Anmerkungen:

Die Ablenkung des Abflusses ohne Wildholz erweist sich als sehr günstig für den Prallhang. Durch den geringen Durchfluss verlandet das Geschiebe zuerst mittig hinter dem V-Rechen, dann auch davor. Bei zunehmendem Abfluss wird diese Anfangsverlandung jedoch wieder mobilisiert. Die ersten Wildhölzer passieren den Rechen, dann sammelt sich das Wildholz aber vorwiegend mittig und links. Dadurch wird die Fließgeschwindigkeit im „Holzkörper“ sehr stark abgebaut. Die Fließgeschwindigkeit reduziert sich im gesamten Querschnitt, besonders stark aber im Bereich des Prallhanges. Auffällig ist, dass große Mengen des Geschiebes den Wildholzrechen passieren können und sich erst im Bereich vor der Seilnetzsperr ablagern. Erst nach dem HQ100 lagert sich das Geschiebe gleichmäßig auch im Bereich vor der Sperr bis zum Wasserfall hin ab- Im Unterschied zu allen anderen Varianten entsteht dadurch keine Sohlstufe im Bereich des Rechens.



Fotodokumentation:





## **8 Interpretation**

### **8.1 Depositionsverhalten**

#### **8.1.1 Murgang**

Die Deposition im Retentionsraum der Netzsperre kennzeichnet sich bei den Versuchen mit völliger Retention durch eine ausgeglichene Oberfläche ohne nennenswertem Verlandungsgefälle und den stark zu den Seiten ausgeprägten konvexen Murränder.

In den Murversuchen MV\_010 bis MV\_017 kam es zu keiner Retention und daher zu keiner Deposition im Verlandungsraum. Nach dem Ereignis blieb lediglich die Oberfläche mit Depositionsmaterial bedeckt.

#### **8.1.2 Fluvialer Feststofftransport**

Im Laufe der Versuche zeigten sich verschiedene Verlandungsmuster. Durch die entstandenen Verklausungen und den steigenden Geschiebetrieb baute sich im Laufe der Versuche eine Deposition hinter der Sperre und hinter dem Wildholzrechen auf. Je nach Versuchsaufbau (mit/ohne Wildholzrechen) entstanden hier verschiedene Depositionsbilder. Am Ende jedes Versuches bildete sich, mithilfe der abflachenden Ganglinie, Abflussrillen im neuverlandeten Bereich aus. Bei jenen Versuchen mit eingebauten Wildholzrechen (GV\_004 und GV\_006) entstand durch die erneute Unterbrechung eine zweistufige Verlandungsfläche.

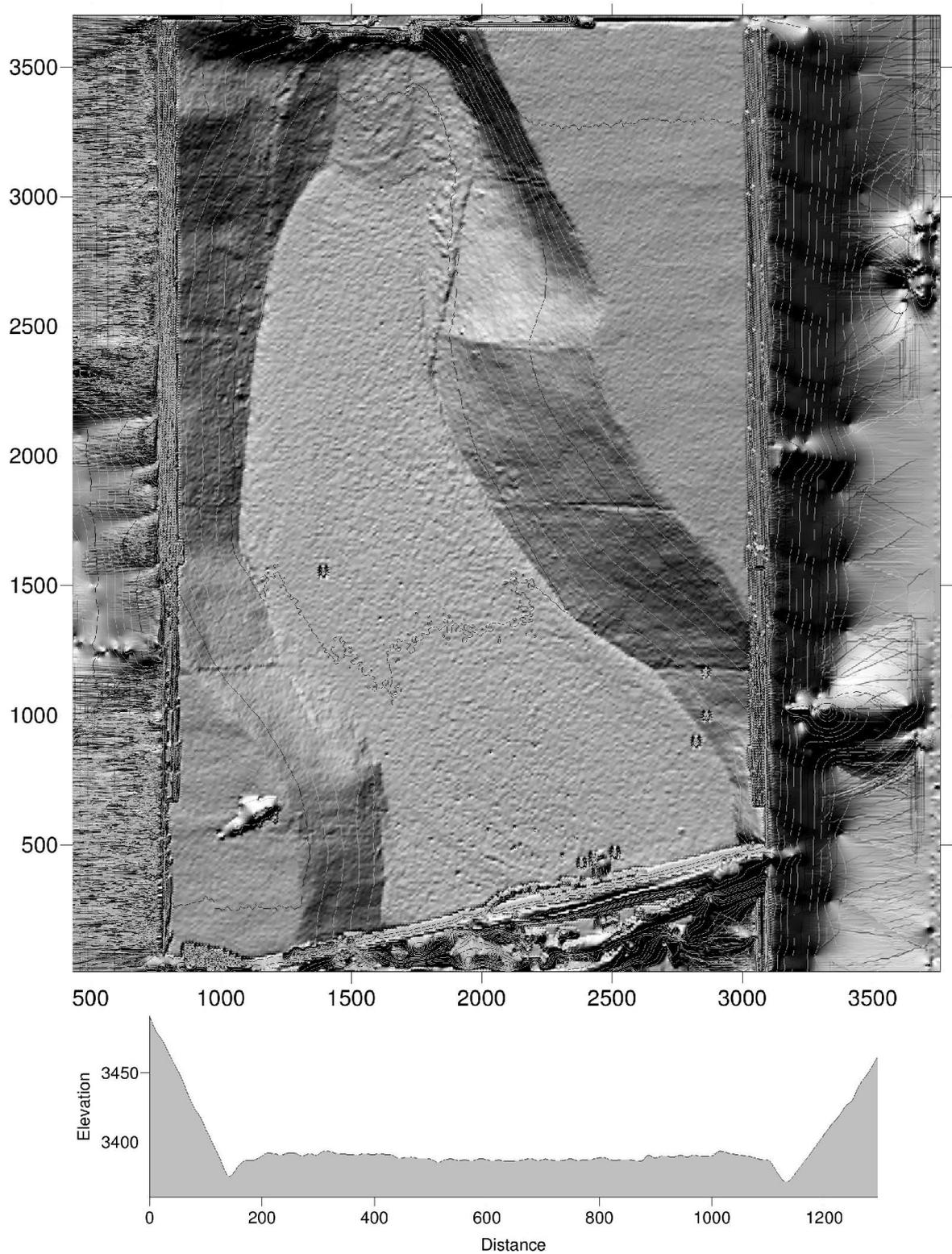


Abbildung 38: MV\_008 oben: Oberflächenscan; unten: Querprofil mit konvexen Seitenränder

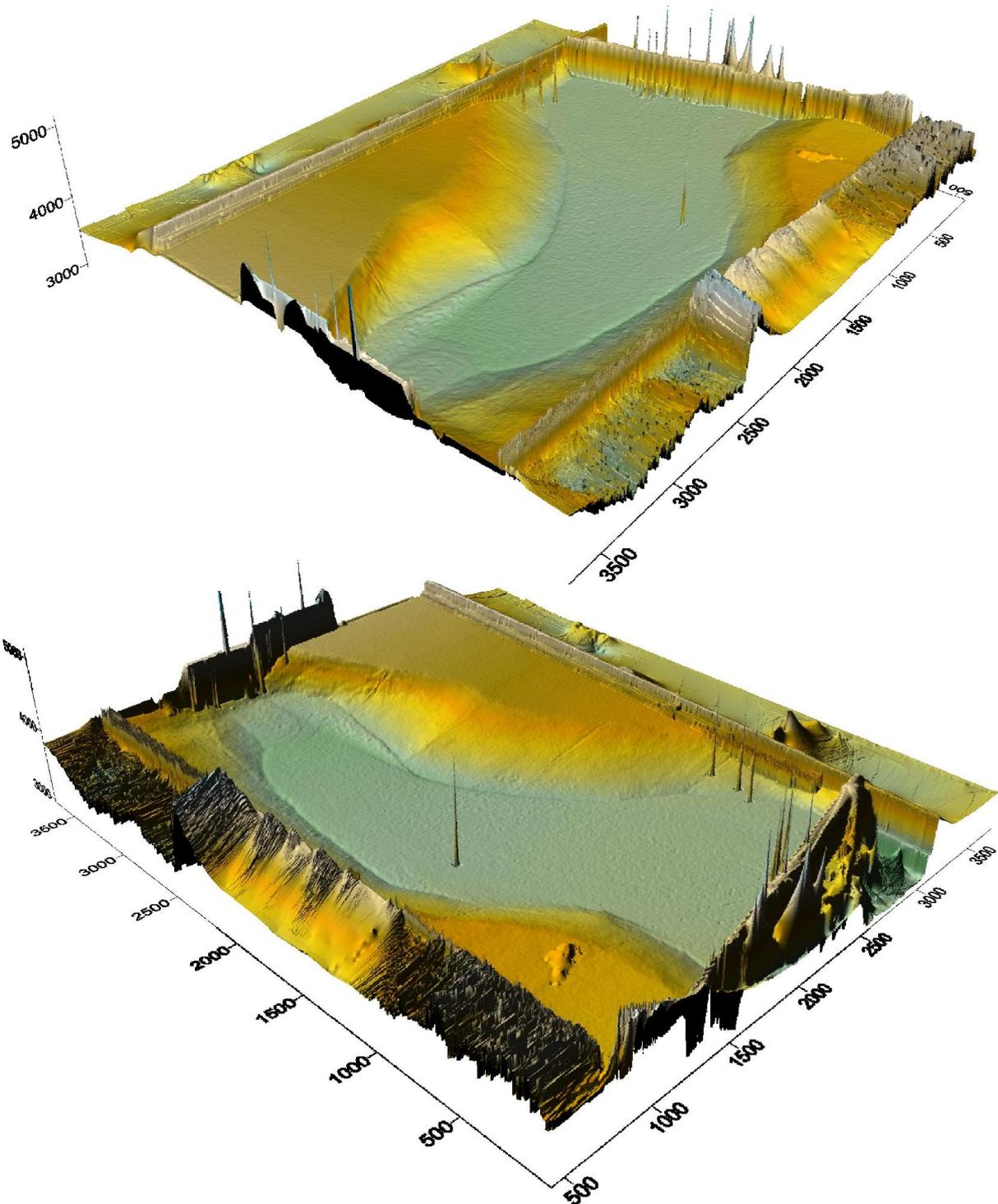


Abbildung 39: Digitales Geländemodell MV\_008

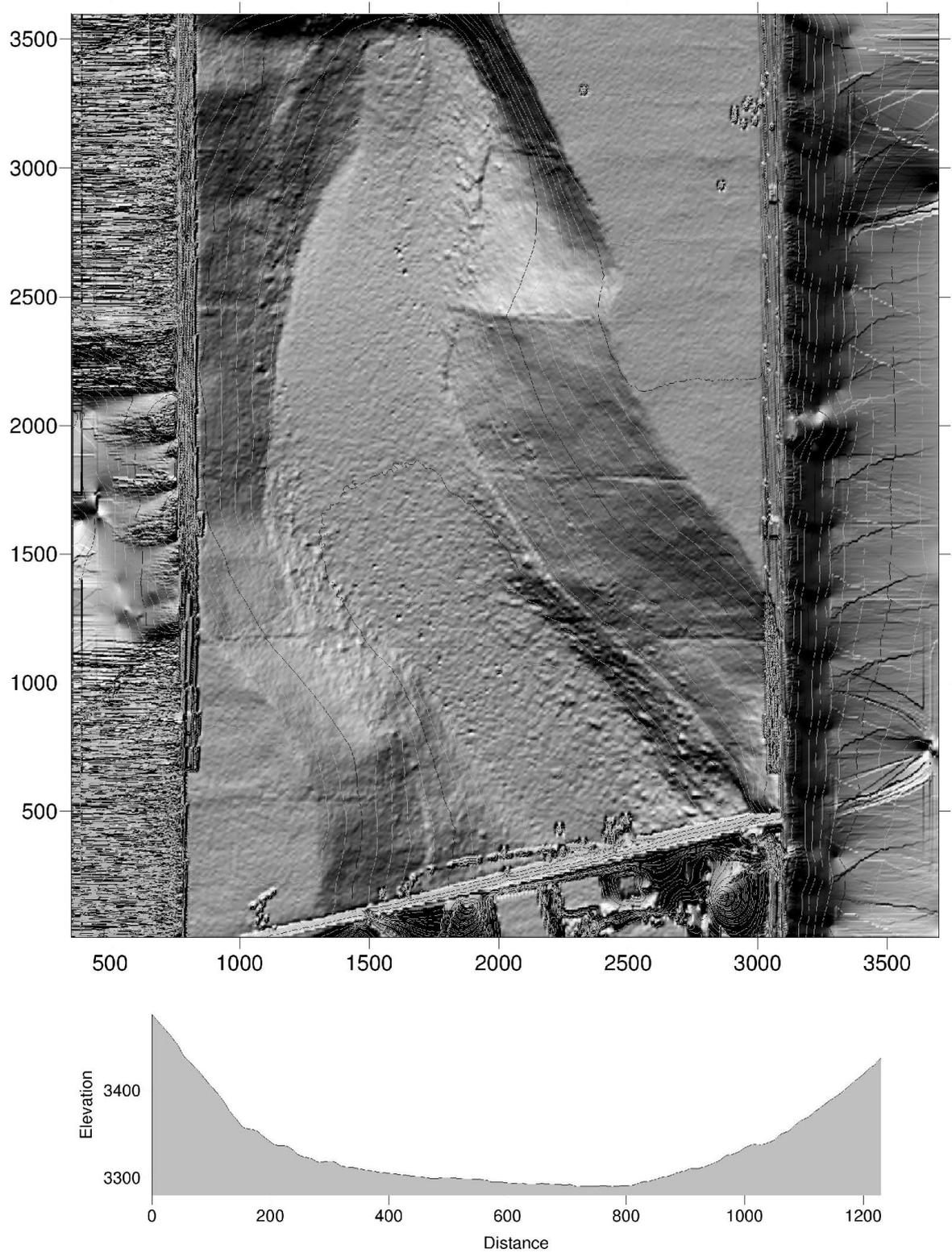


Abbildung 40: MV\_011 oben: Oberflächenscan; unten: Querprofil

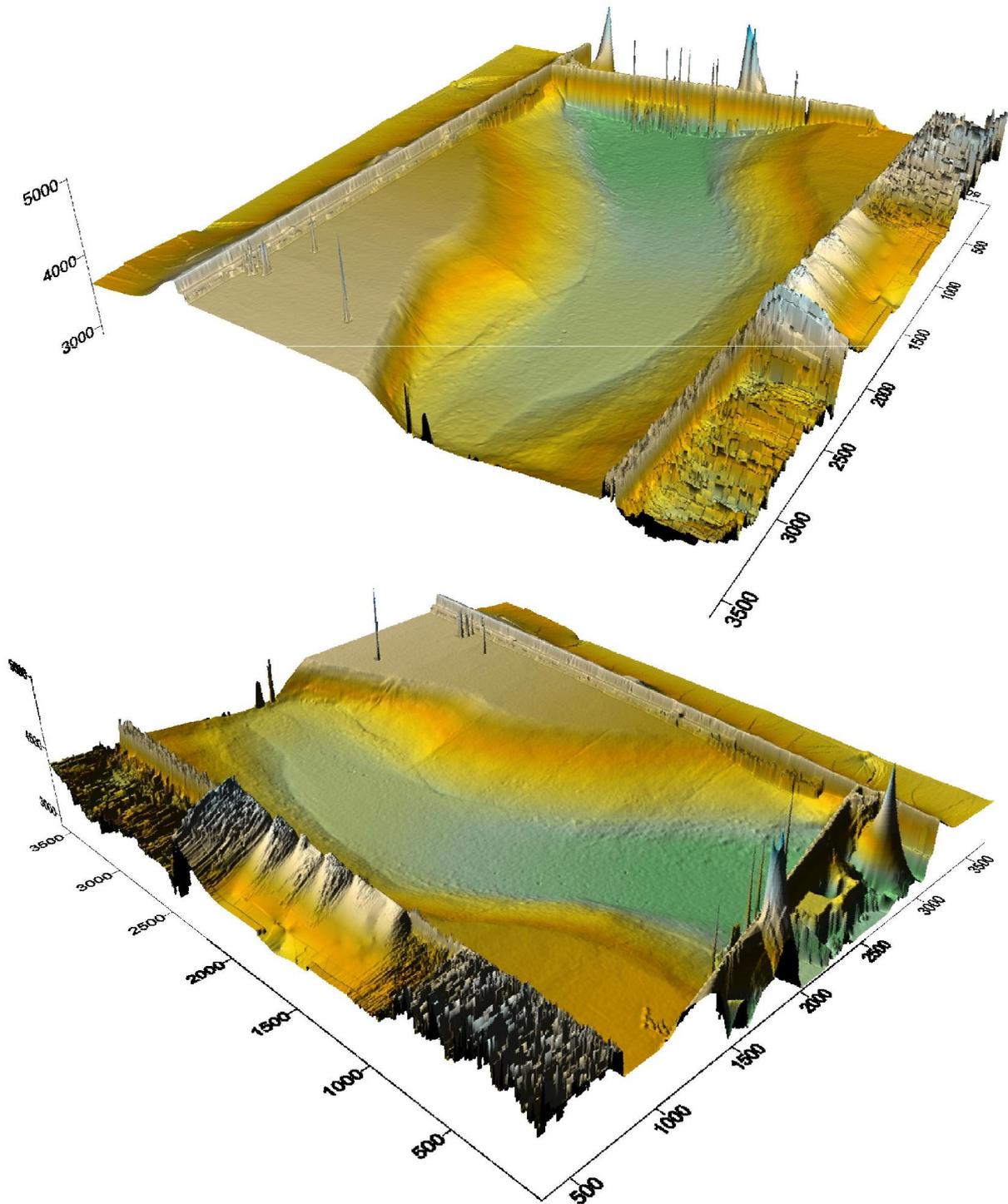


Abbildung 41: Digitales Geländemodell MV\_011

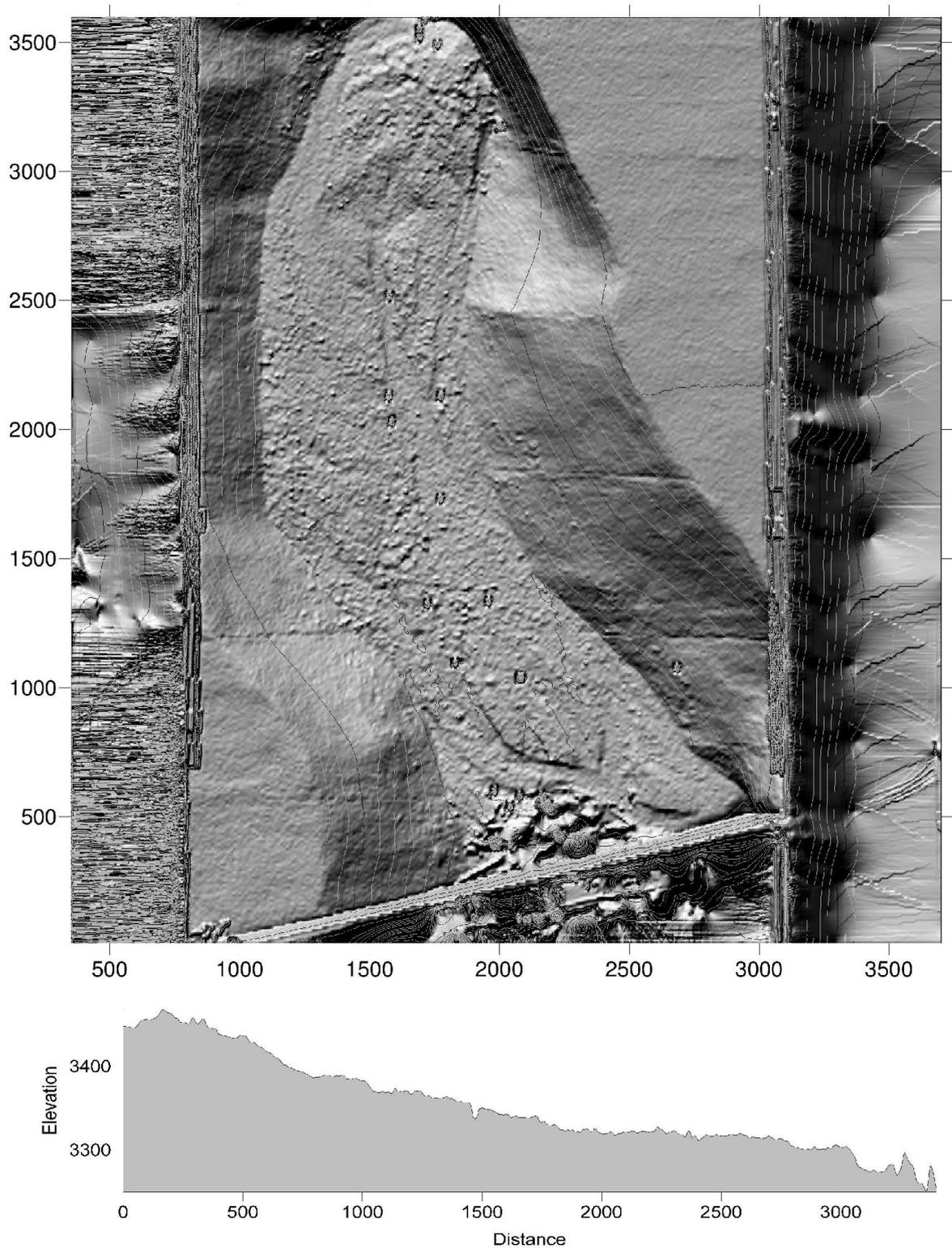


Abbildung 42: GV\_005 oben Oberflächenscan; unten Längsprofil (Gerinneachse)

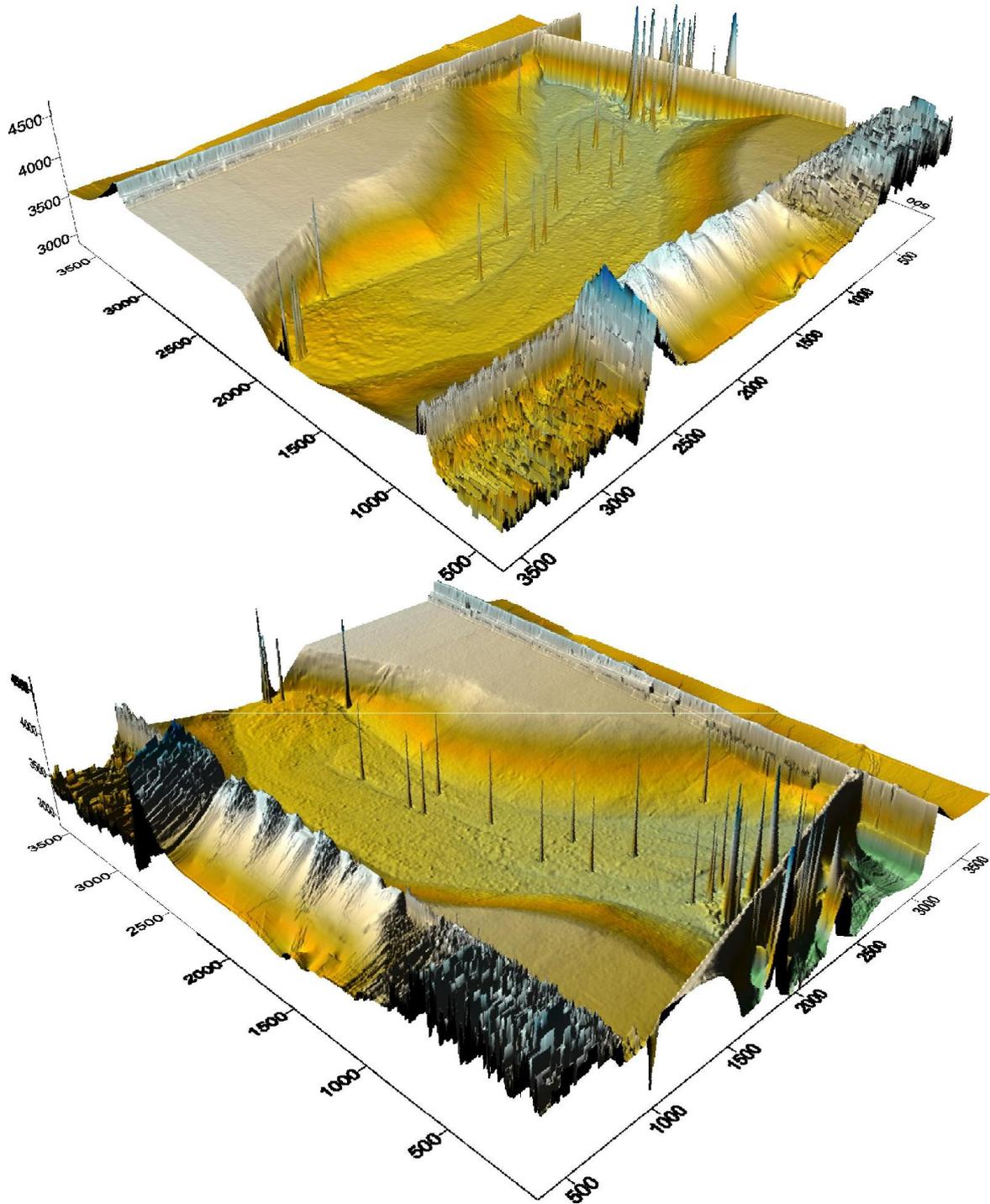


Abbildung 43: Digitales Geländemodell GV\_005

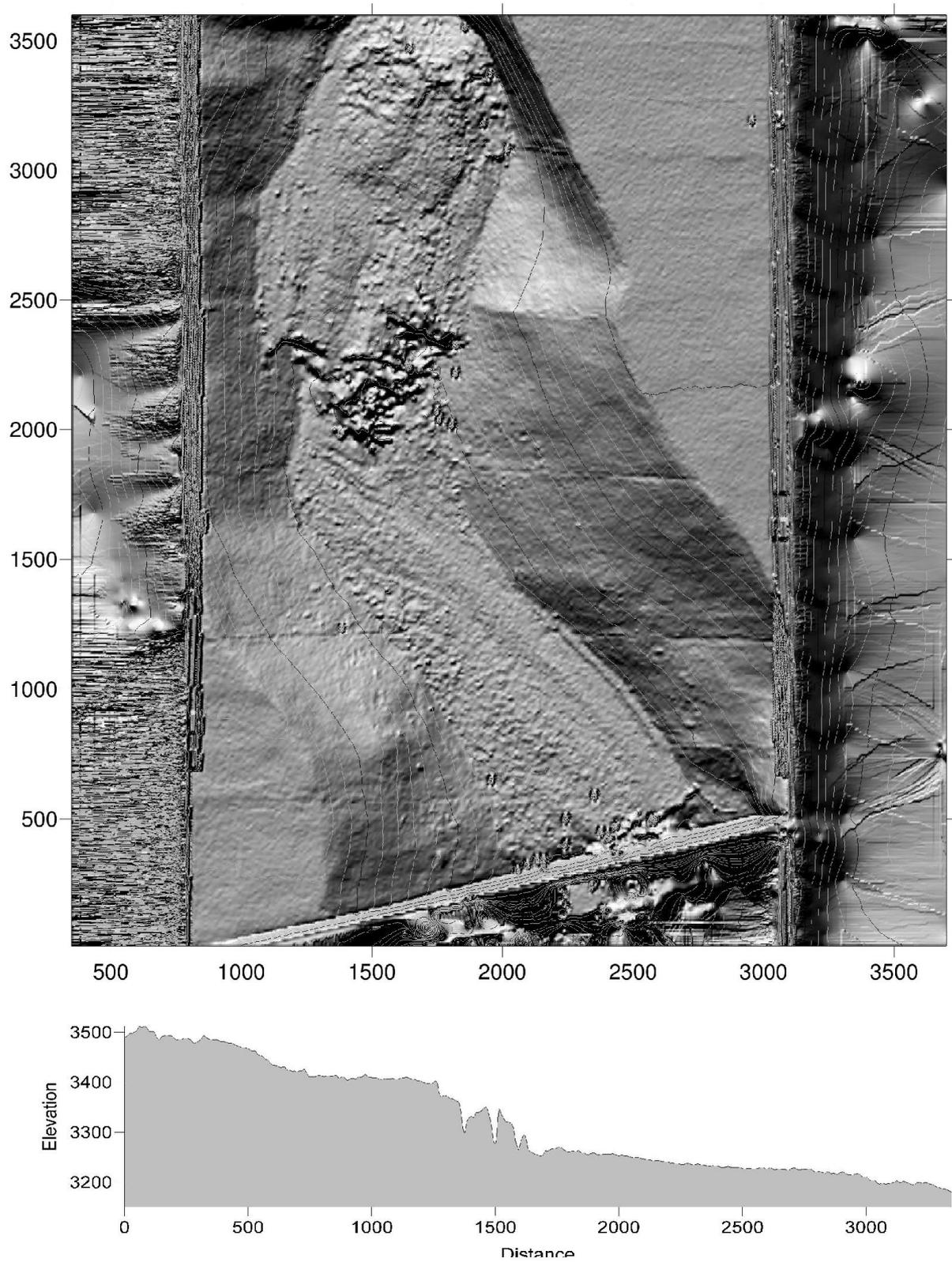


Abbildung 44: GV\_006 oben: Oberflächenscan; unten: Längsprofil (Gerinneachse)

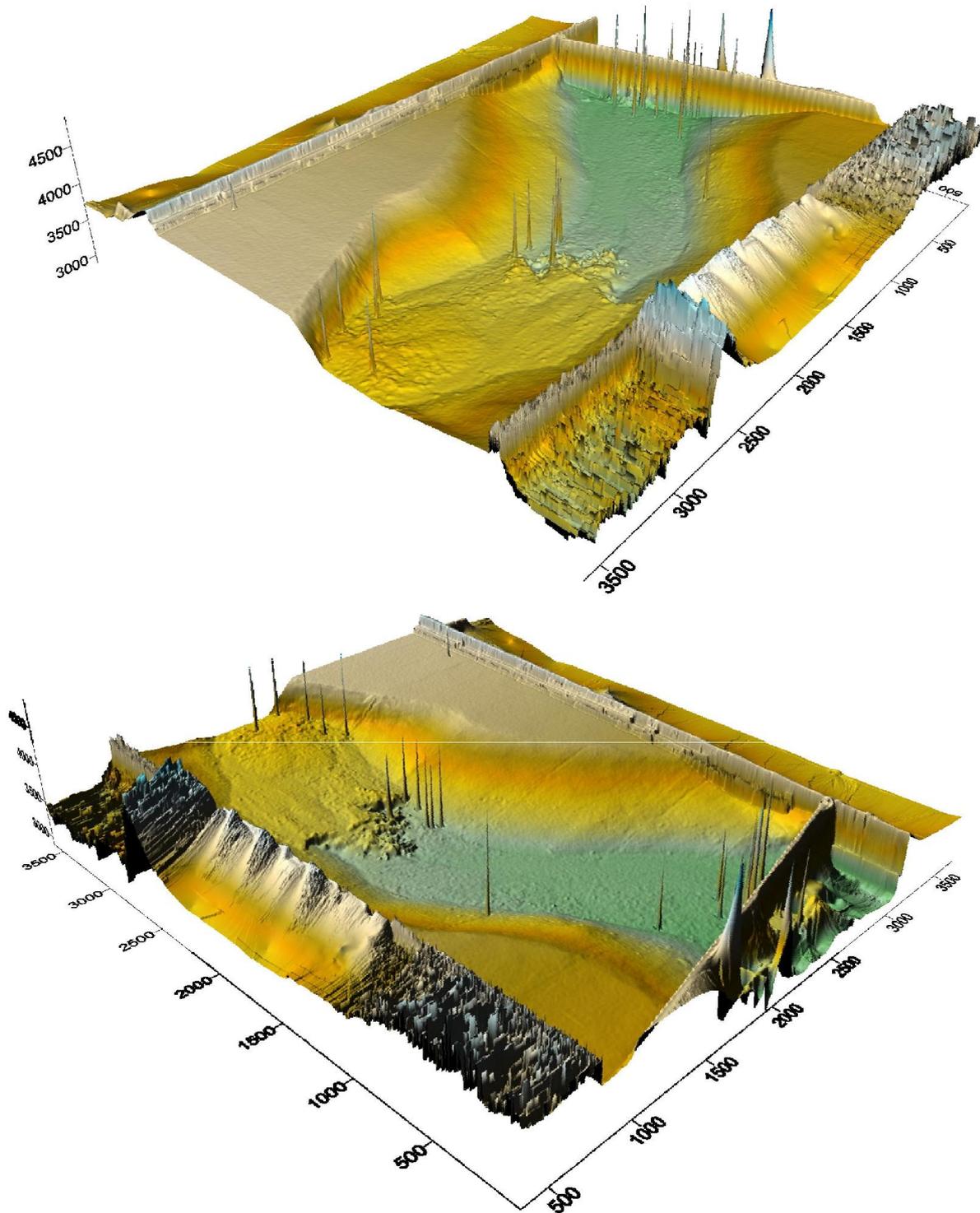


Abbildung 45: Digitales Geländemodell GV\_006



## 8.2 Frontgeschwindigkeiten

Die Nachbildbarkeit und Skalierung des Modelles bzw. der Murschübe konnte mit Hilfe der Frontgeschwindigkeit gut gezeigt werden. Da sich alle aufgezeichneten Modellgeschwindigkeiten mit der Norm verifizieren lassen.

Tabelle 24: Literaturwerte Dichte und Geschwindigkeitsangaben (ONR 24801, 2013)

Verlagerungsprozess <sup>a</sup>	Murartiger Feststofftransport	Muren	
		Steinig	Schlammig
Dichte, in kg/m <sup>3</sup>	1300 bis 1700	1700 bis 2000	2000 bis 2300
Prozessabhängige mittlere Geschwindigkeit $v$ , in m/s	3 bis 5	3 bis 6	5 bis 10

<sup>a</sup> Die angegebenen Parameter stellen die mögliche Bandbreite dar. Der gewählte Wert ist vom Sachverständigen für Wildbachverbauung festzulegen und zu begründen.

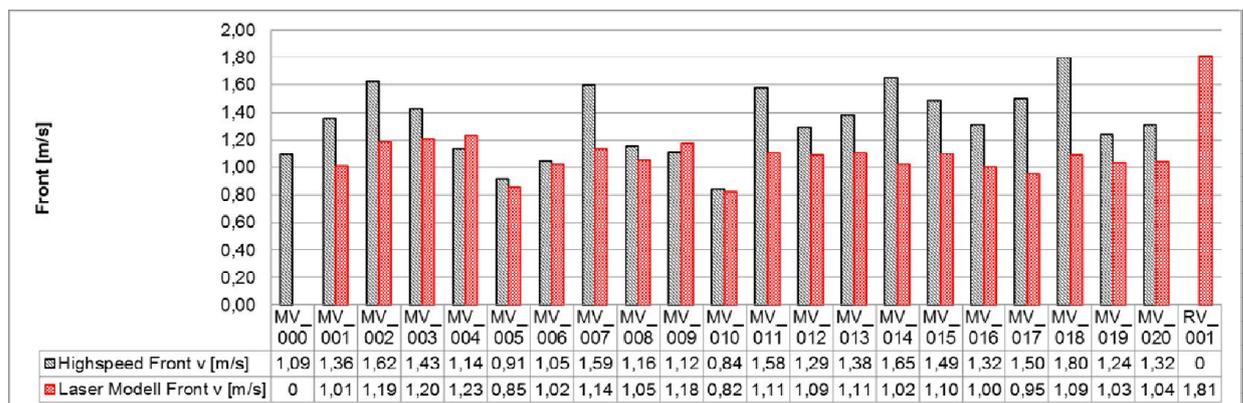


Abbildung 46: Vergleich Frontgeschwindigkeiten im Modell

Im Modellbereich wurde die Frontgeschwindigkeit des Murganges auf zwei Arten gemessen (Laser und Kamera). Die Messung durch die Highspeed Kamera kann als exakter erachtet werden, da sich der Abstand von Laser 1 zu Laser 2, durch die Ablenkung im Geländemodell je nach Prozessgeschwindigkeit, ändert. Dadurch können die Unterschiede im direkten Vergleich erklärt werden.

## 8.3 Eingangshydrograph

Ausgangslage war der in Kapitel 4 beschriebene Hydrograph mit einem  $HQ_{100,wg}$  von  $144\text{m}^3/\text{s}$  und einer Fracht von  $13.000\text{m}^3$ . Durch den im Modell entstandenen Graphen konnte die Fracht sehr gut nachmodelliert werden. Der maximale Abfluss, mit  $440\text{m}^3/\text{s}$ , wurde in den Versuchen überschritten. Jedoch kann dieser Wert,



untermauert durch Abbildung 47, durchaus als plausibel bzw. realitätsnah angesehen werden, wenn eine „kurze“ Mobilisierungsdauer angenommen wird. Durch diesen Maximalabfluss ergibt sich bei einem  $HQ_{100}$  Reinwasser von  $72 \text{ m}^3/\text{s}$  ein Intensitätsfaktor von **6,1**.

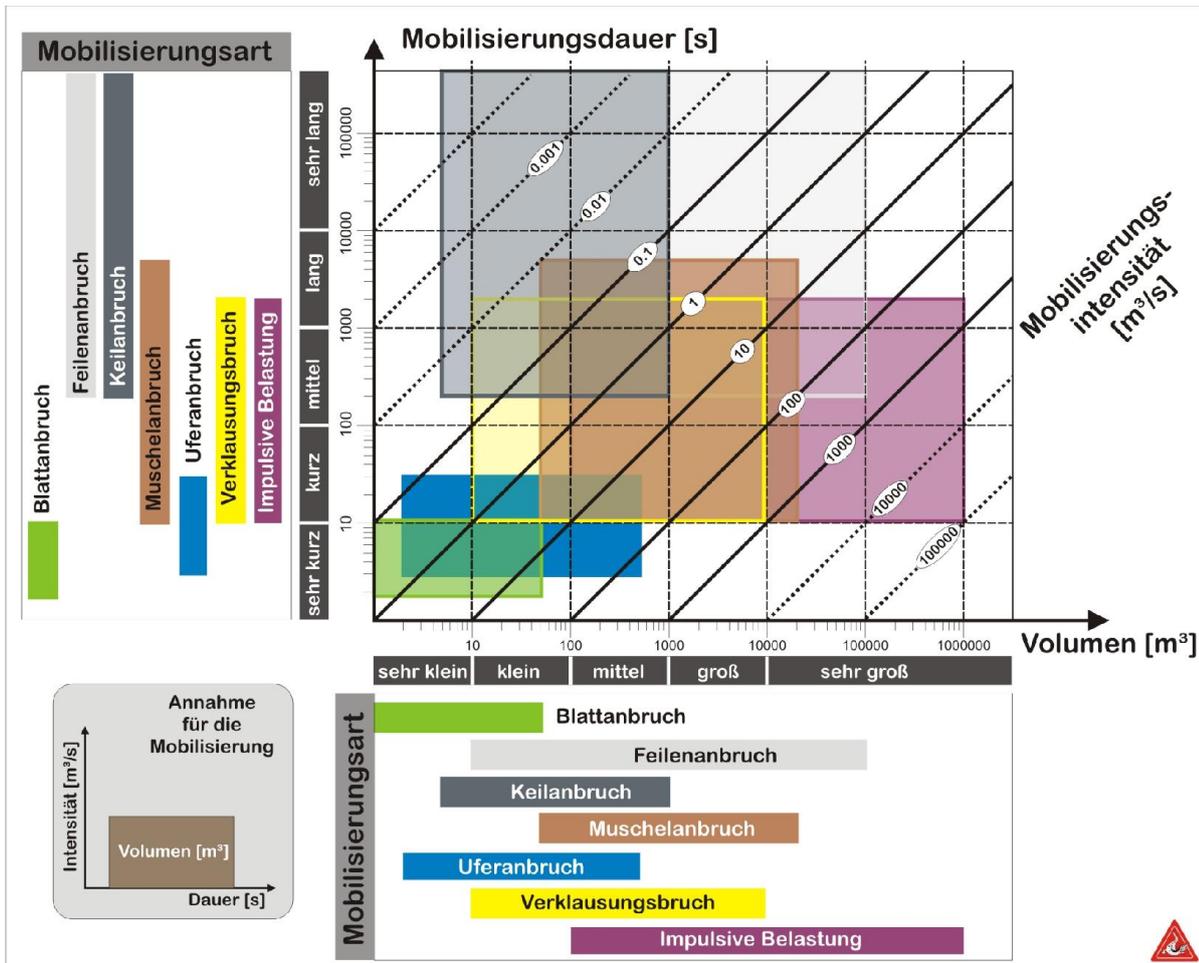


Abbildung 47: Mobilisierungsintensität (Hübl, 2012)

### 8.4 Maximalkräfte am Sperrenkörper

Bei den Analysen der maximalen Kräfte ist die höchste Kraft an den unteren Zellen ersichtlich. Die Kräfte an der Sperrenkrone sind nahezu die halben Kräfte als jene am Sperrenfuß.

Durch den Versuch RV\_001 (Reinwasser) konnte gezeigt werden, dass sich die Kräfte nahezu halbiert haben. Dieser Unterschied könnte sich auf den



Dichteunterschied der beiden Flüssigkeiten zurückführen lassen. (jedoch auch Geschwindigkeitsunterschied)

### 8.5 Maximaldrücke am Sperrenkörper

Bei dem Vergleich der theoretischen Drücke am Bauwerk mit den hochskalierten Drücken aus den Versuchsdurchgänge (Abbildung 48) konnten erste Übereinstimmungen gezeigt werden.

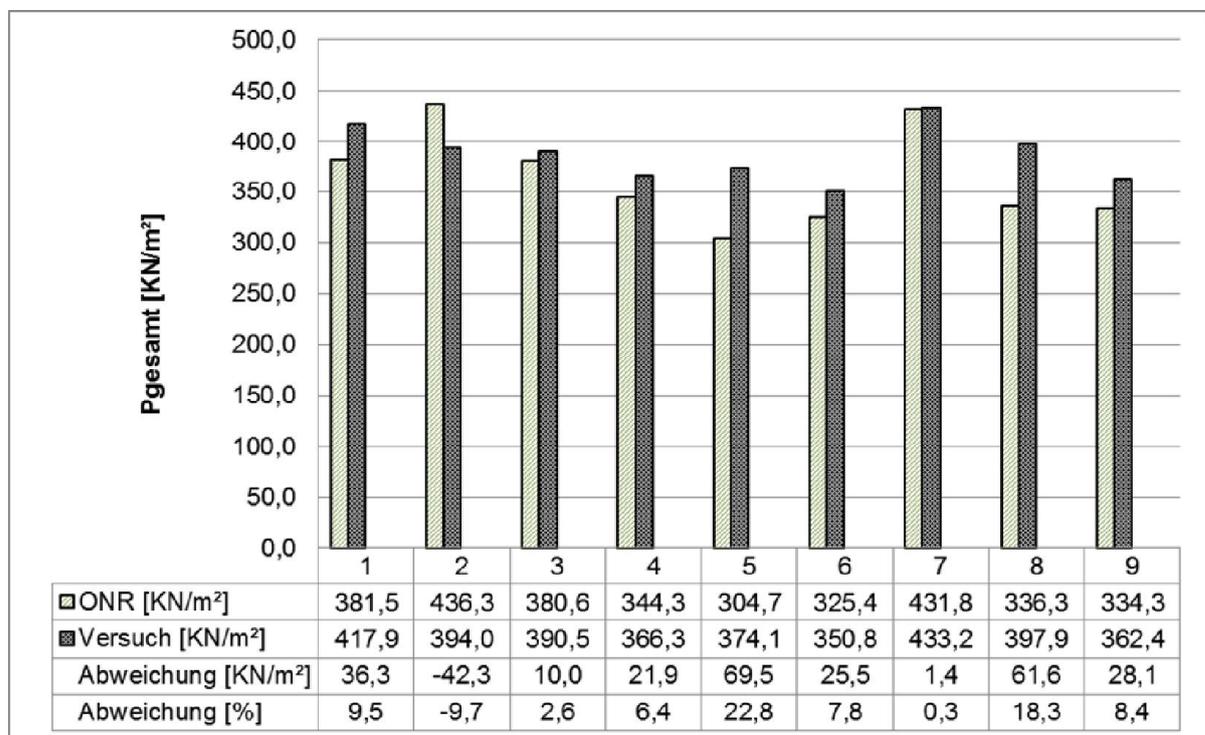


Abbildung 48: Gegenüberstellung von gemessenen und berechneten Flächendruck

Anhand des direkten Vergleiches konnte eine Übereinstimmung der Drücke, mit einer maximale Abweichung von 22,8% zu dem ONR-Druck, gezeigt werden.



## 8.6 Ankerkräfte

### 8.6.1 Kräfteverteilung

In den Versuchen mit den Öffnungshöhen 0,087m und 0,06m wurden die maximalen Belastungen je Tragseil in dem zweiten Tragseil von unten gemessen. Da dieses Tragseil das unterste mit voller Einflussbreite ist.

Um weitere Aussagen treffen zu können, müssten hierfür die noch nicht bekannten exakten Einflussbreiten je Tragseil herangezogen werden. Jene konnten durch den derzeitigen Stand der Auswertung noch nicht verifiziert werden.

### 8.6.2 Theoretischer Nachweis

Durch das Kettenlinienprinzip konnte eine erste Nachrechnung der Ankerkräfte erzielt werden. Jedoch wurde gezeigt, dass die errechneten Werte deutlich unter den gemessenen Werten sind. Dies kann durch die Vernachlässigung der Steifigkeit bzw. des E-Moduls des Testmaterials (Tragseil) erklärt werden.

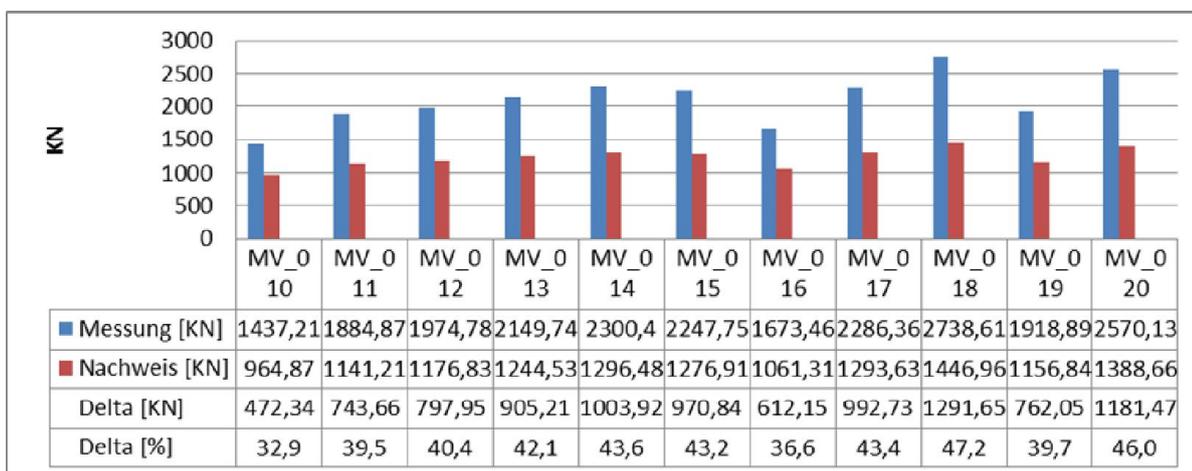


Abbildung 49: Vergleich von Messwerte und Nachweis „Kettenlinienprinzip“



## **8.7 Durchflussöffnung**

Um eine optimale Höhe des Basisdurchflusses zu erreichen wurden diese unter Einwirkung des Prozesses Murgang und fluviatilen Feststofftransport geprüft.

### **8.7.1 Murgang**

In den Murversuchen konnte eine Entleerung des Retentionsraums und daraus folgend eine Dosierung in den Versuchen mit den Öffnungshöhen von 87mm bis 60mm (Höhe Modell) beobachtet werden. Bei den Versuchsdurchläufen mit einer basalen Öffnung von 33mm kam es zu keiner Entleerung.

#### **8.7.1.1 Dosierung**

Durch den Effekt der Dosierung konnte beobachtet werden, dass es zu einer Zeitverzögerung des Abflusses kommt. Durch den Einbau der Sperre wurde der Murgang im Verlandungsraum aufgestaut und konnte sich durch den definierten Querschnitt der untern Öffnung entleeren. Durch diese Aufstauung kommt es zu einer zeitlichen Dämpfung des Abflusses und einer dosierten Abgabe des Murganges in den Unterlauf.

Bei einem direkten Vergleich der basalen Abflussquerschnitte der Sperrenöffnung und der Fläche der „Engstelle“ im Künettenbereich (Abbildung 50) kann von einer ausreichenden Dosierung gesprochen werden. Da der Querschnitt von 12m<sup>2</sup> Künettenfläche von den Sperrenöffnungen nicht überschritten werden. Bei diesem entworfenen Vergleich werden jedoch Punkte wie vorzeitige Verlandung, Geschwindigkeitsänderungen usw. nicht berücksichtigt.





### **8.7.1.2 Retention**

Durch die Öffnungshöhe 33mm wurde ein kompletter Rückstau, ohne eigenständige Entleerung, erzeugt. Wenn ein Vergleich zwischen dem  $d_{90}$  und der Öffnungshöhe angestellt wird, kann von einer Verklausung bei einer Höhe von kleiner  **$1,8 \cdot d_{90}$**  ausgegangen werden.

$$\text{Öffnungshöhe} < 1,8 \cdot d_{90}$$

Formel 11

Durch die Bemessung der Basisöffnungshöhe nach Formel 11 kann von einer Verklausung ausgegangen werden.

### **8.7.2 Fluvialer Feststofftransport**

Durch die Variation der Öffnungshöhen konnte in den Versuchen mit fluvialen Feststofftransport kein starker Unterschied im Sinne von Verlandungseigenschaften gefunden werden. Vielmehr wurde ein signifikanter Unterschied zwischen Versuche mit Wildholzrechen und ohne diesen gezeigt. Weiters konnte ein komplette Durchgängigkeit der Sperre bei reinem Geschiebetransport (ohne Wildholz) gezeigt werden. Diese Durchgängigkeit konnte bei allen untersuchten Öffnungshöhen beobachtet werden.

## **8.8 Wildholzrechen**

Durch den Einbau eines Wildholzrechen konnten bei Typ 1 82% und bei Typ 2 77% des zugegebenen Wildholzes aufgefangen werden. Beide Varianten könnten in den durchgeführten Versuchsdurchläufen ihre Funktion erfüllen

Bei dem derzeitigem Stand der Versuche kann keine der untersuchten Varianten präferiert werden. Vielmehr kann festgehalten werden, dass beide Varianten, sei es strömungstechnisch, als auch auf die Funktion des Rückhalts bezogen, einwandfrei funktionieren.



Jedoch ist zu bemerken, dass der einfache, um 45° gedrehte Wildholzrechen (Typ 1) sich für den Prallhang strömungstechnisch besser auswirkt, solange keine vollkommene Verklauung eintritt. Weiters wurde ein verbesserter Geschiebedurchgang bei Variante 1 beobachtet.

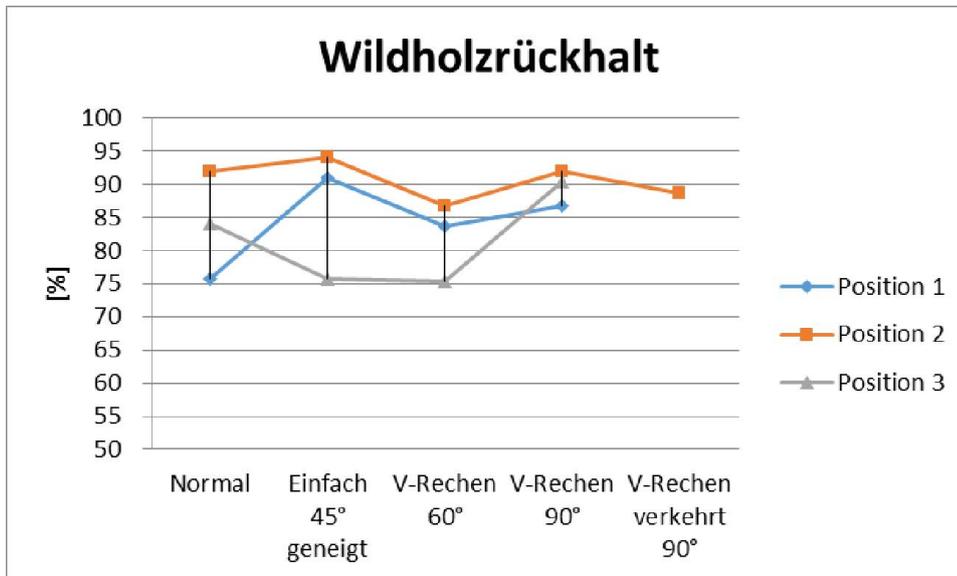


Abbildung 51: Auswertung Wildholzretention

In die gewählte Klassifizierung des Strömungsverhaltens mittels Schulnotensystem fließen folgende weiche Kriterien mit ein:

- Strömungsverhalten (Turbulenz und Geschwindigkeit)
- Verlauf der Strömung im Modellgerinne
- Beeinflussung des Prallhangs
- Ablagerungsverhalten von Geschiebe und Wildholz



Tabelle 25: Bewertung es Strömungsverhältnis

Name	Position	Rückhalt	rel. Rückhalt [%]	Strömungsverhalten nicht verklaust	Strömungsverhalten verklaust
Normal	1	227	76	4	3
Einfach 45° geneigt	1	273	91	3	3
V-Rechen 60°	1	251	84	4	2
V-Rechen 90°	1	260	87	4	3
Normal	2	276	92	3	3
Einfach 45° geneigt	2	282	94	2	1
V-Rechen 60°	2	260	87	4	2
V-Rechen 90°	2	276	92	3	2
V-Rechen verkehrt 9	2	266	89	2	1
Normal	3	252	84	3	2
Einfach 45° geneigt	3	227	76	1	2
V-Rechen 60°	3	226	75	3	3
V-Rechen 90°	3	271	90	4	3

Strömungstechnisch ist Position 2, unabhängig von der Rechenart, am besten zu beurteilen.

In dieser mit Geschiebe und Wildholz untersuchten Position sind 2 Varianten hervorzuheben, die durchwegs gute Eigenschaften in Bezug auf den Wildholzurückhalt und den Strömungsverhältnissen aufweisen. Dies sind der „verkehrte V-Rechen“, der sich besonders positiv auf den zu schützenden Prallhang auswirkt weil er auf Grund seiner Ausrichtung die Fließgeschwindigkeit durch den entstehenden Holzkörper stärker reduziert und die Fließrichtung dadurch ableitet. Auch die um 45° gedrehte Variante hat vor allem in Bezug auf die Abflusssdynamik ohne Verklausung gute Eigenschaften. Außerdem hält die Variante in den Versuchen am meisten Wildholz zurück. Der Unterschied der beiden Varianten besteht in ihrer Art das Wasser zu lenken, sobald eine Verklausung eintritt. Während sich die Hauptströmung beim um 45° gedrehten Rechen zentral ausbildet und somit der Prallhang geschützt wird, bremst das zurückgehaltene Wildholz in der Variante „verkehrter V-Rechen“ das Wasser so stark ab, dass es zu keiner Beeinflussung des Prallhanges kommt.



## 9 Resümee

Durch die exakte Nachbildung des Geländes und der daraus resultierenden Oberflächenrauigkeit im Modell, konnten realistische Abflüsse im Sinne von Abflusshöhen, Fließgeschwindigkeiten und Fließverhalten erzielt werden.

Mit Hilfe des gewählten Szenarios wurde ein plausibles Ereignis nachgebildet und bei diesem der Retentionsraum der beobachteten Sperre optimal ausgenutzt.

Die flächigen Drücke am Sperrkörper konnten durch die Hochskalierung mittels dem Froude'schen Ähnlichkeitskonzept gut mit den errechneten Werten aus der ONR 24801 verifiziert werden. Folglich können diese Werte als plausibel erachtet und für alle weiteren Berechnungen herangezogen werden.

Bei der Ermittlung der Verankerungskräfte der Tragseile wurde beobachtet, dass sich die höchste Kraft im zweiten Tragseil von unten ausbildet. Daher ändert sich der typische Kräfteverlauf über die Höhe. Es wird angenommen, dass die hohen gemessenen Ankerkräfte (siehe Tabelle 18) durch die erhöhte Steifigkeit des Modelltragseilmaterials entsteht. Hier wurde ein limitierender Faktor im Bereich der Modellversuche aufgezeigt, da sich die Eigenschaften des Tragseilmaterials im Modell von denen in Natura unterscheiden. Jedoch können die Kräfte der Mureinwirkung auf die Tragseile als plausibel erachtet werden und dienen als Basis für weitere Berechnungen.

Anhand der Änderung der Durchflusshöhe konnten zwei verschiedene Bauwerksfunktionen unterschieden werden. Zum einen wurde mit einer größeren Öffnung eine Energieumwandlung und Dosierung erreicht. Zum anderen wurde durch eine kleinere Basisdurchflusshöhe als  $1,8 \cdot d_{90}$  eine komplette Retention hinter dem Sperrkörper aufgezeigt. Jedoch ist hier erneut zu erwähnen, dass alle Versuche ohne Wildholz durchgeführt wurden.



Die Untersuchung der optimalen Durchflussöffnung unter Einfluss von Geschiebe und Wildholz zeigte, dass sich durch das ankommende Wildholz die Sperre bei allen Öffnungshöhen verklaust und sich ein Rückstau bildet. Jedoch wurde keine Verklausung bei einem reinen Geschiebeversuch (ohne Holz) beobachtet. Durch den vorgelagerten Wildholzrechen konnte dieser Rückstau verringert bzw. verzögert werden. Daher wird ein vorgelagerter Wildholzrechen empfohlen, um eine frühzeitige Verklausung der Netzsperre zu verhindern.

Abschließend kann festgehalten werden, dass maßstabsgetreue Modelle die Prozesse Murgang und fluviatilen Feststofftransport gut nachbilden. Durch die Modellanwendung ergibt sich eine gut durchführbare Möglichkeit um Bauerwerkstypen zu testen bzw. zu verbessern.



## 10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Plan Netzsperr Entwurf IAN.....	4
Abbildung 2:	ÖK-Übersicht (Quelle: Sagis, Maßstab 1:100.000).....	5
Abbildung 3:	Einzugsgebiet mit den einzelnen Teilbereichen (Quelle: Rauscher R, 2013)	6
Abbildung 4:	Neigungsverhältnisse (Quelle Sagis, Maßstab 1:50.000).....	7
Abbildung 5:	Geologische Karte (Quelle: Sagis, Maßstab 1:100.000).....	8
Abbildung 6:	Bemessungshydrographen (Angelmaier, 2013) .....	9
Abbildung 7:	Geschiebetransportszenario.....	16
Abbildung 8:	Kornverteilung der skalierten Sieblinie und der Murmischung für die Laborversuche	17
Abbildung 9:	Sieblinien der verwendeten Komponenten für die Murmischung ..	17
Abbildung 10:	Kornsummenkurve von Ton Stoob .....	19
Abbildung 11:	Versuchsmischung-Zusammensetzung.....	21
Abbildung 12:	Kornverteilung der skalierten Sieblinie und der Geschiebemischung für die Laborversuche .....	22
Abbildung 13:	Arbeitsfortschritt Modellbau .....	25
Abbildung 14:	Laborplan Murgang (Versuchsaufbau Druckmessblock).....	26
Abbildung 15:	Laborplan Geschiebe (Versuchsaufbau Netzsperr).....	28
Abbildung 16:	Wildholzrechenkonstruktion (links gerader Rechen; rechts V-förmiger Rechen)	29
Abbildung 17:	Druckmessblock (Konstruktion IAN) .....	31
Abbildung 18:	Beispiel für einen Kräfteverlauf über die Zeit (MV_001 – Zelle1) ..	32
Abbildung 19:	Messeinrichtung Netzsperr Ankerkraft mit Messtechnik HBM (Konstruktion IAN) .....	33
Abbildung 20:	Schematische Skizze –Netzsperrmesseinrichtung .....	33
Abbildung 21:	Aufnahme der HighSpeed Kamera.....	34



Abbildung 22:	Zeitraffer MV_001.....	39
Abbildung 23:	Kurvenüberhöhung (Bsp. MV_008).....	39
Abbildung 24:	Ablagerungsverhalten nach Versuchsbeendigung von GV_001 bis GV_008 (v. oben links nach unten rechts).....	41
Abbildung 25:	Hydrograph am Beispiel MV_009 (Natura).....	42
Abbildung 26:	Zusammenfassung Frontgeschwindigkeiten Modell.....	44
Abbildung 27:	Maximalkräfte pro horizontale Reihe im Modell (rot-Mittel aller Murversuche; blau-Reinwasserversuch).....	45
Abbildung 28:	Komponenten des Einwirkungsmodells für Muren (ONR 24801, 2013)	46
Abbildung 29:	Messung Seilkräfte Bsp. MV_012 .....	49
Abbildung 30:	Messung Seilkräfte Bsp. MV_019 .....	50
Abbildung 31:	Zusammenhang von der Einwirkung [kg] zur Messung [kg] je Vorspannung	51
Abbildung 32:	Zusammenhang von Durchhang [cm] und Einwirkung [kg] je Vorspannung	52
Abbildung 33:	Beschreibung Kettenlinienprinzip .....	53
Abbildung 34:	Netzbereich MV_12 – Öffnungshöhe 0,087m.....	56
Abbildung 35:	Netzbereich MV_020 – Öffnungshöhe 0,033m.....	56
Abbildung 36:	Pegel 3 (vor Sperrkörper) MV_012.....	57
Abbildung 37:	Standortpositionen .....	59
Abbildung 41:	MV_008 oben: Oberflächenscan; unten: Querprofil mit konvexen Seitenränder	71
Abbildung 42:	Digitales Geländemodell MV_008 .....	72
Abbildung 43:	MV_011 oben: Oberflächenscan; unten: Querprofil .....	73
Abbildung 44:	Digitales Geländemodell MV_011 .....	74
Abbildung 45:	GV_005 oben Oberflächenscan; unten Längsprofil (Gerinneachse)	75



Abbildung 46: Digitales Geländemodell GV_005.....	76
Abbildung 47: GV_006 oben: Oberflächenscan; unten: Längsprofil (Gerinneachse) 77	
Abbildung 48: Digitales Geländemodell GV_006.....	78
Abbildung 49: Vergleich Frontgeschwindigkeiten im Modell.....	79
Abbildung 50: Mobilisierungsintensität (Hübl, 2012).....	80
Abbildung 51: Gegenüberstellung von gemessenen und berechneten Flächendruck 81	
Abbildung 52: Vergleich von Messwerte und Nachweis „Kettenlinienprinzip“ .....	82
Abbildung 53: Referenzprofil Künette Mündungsprofil (unter alter Bundesstraße) (Quelle: dlp GmbH).....	84
Abbildung 52: Auswertung Wildholzretention.....	86



## 11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Verbauungszustand (Rauscher, 2013) .....	8
Tabelle 2:	Bemessungsabflüsse und Frachten (Angelmaier, 2013) .....	9
Tabelle 3:	Intensitätsfaktor (ONR 24802, 2011) .....	10
Tabelle 4:	Skalierungsfaktoren nach Froude und Reynolds (Frostick et. al, 2011) 13	
Tabelle 5:	Geschiebebilanz Trattenbach und Zubringer (Rauscher R., 2013).....	14
Tabelle 6:	Murgangsszenario .....	15
Tabelle 7:	prozentuelle (Gewichts%) Anteile der Feststoffe für die Versuchsmischung - Murgang .....	18
Tabelle 8:	Kennwerte Kornverteilung Modell/Natur .....	18
Tabelle 9:	Prozentuelle Anteile der Korngrößen im Ton Stoob.....	19
Tabelle 10:	Übersicht Versuchskenndaten (Dichte, Wassergehalt und Startvolumen) 20	
Tabelle 11:	prozentuelle (Gewichts%) Anteile der Feststoffe für die Versuchsmischung - Geschiebe .....	22
Tabelle 12:	Versuchsübersicht.....	37
Tabelle 13:	Datengrundlage von Hydrograph am Beispiel MV_009 (Natura)...	42
Tabelle 14:	Übersicht Frontgeschwindigkeiten Modell .....	43
Tabelle 15:	Übersicht Frontgeschwindigkeiten Natur .....	43
Tabelle 16:	Hochskalierte Parameter aus Versuchsreihe (MV_001 bis MV_009) 47	
Tabelle 17:	Druck lt. ONR und lt. Druckblockauswertung .....	47
Tabelle 18:	Messergebnisse Versuche Netzsperr.....	48
Tabelle 19:	Tabellenwerte von Abbildung 31 .....	52
Tabelle 20:	Ermittlung von c (MV_010).....	54
Tabelle 21:	Werte – Berechnung Kettenlinienprinzip .....	54



Tabelle 22:	Übersicht Basisöffnung MV_010 bis MV_020 .....	55
Tabelle 23:	Dosierungszeit.....	57
Tabelle 24:	Literaturwerte Dichte und Geschwindigkeitsangaben (ONR 24801, 2013)	79
Tabelle 25:	Bewertung es Strömungsverhältnis .....	87



## 12 Literaturverzeichnis

ANGELMAIER G. (2013): Technischer Bericht zur hydrologischen Studie Trattenbach, dlp Ziviltechniker-GmbH (unveröffentlicht)

FROSTICK L.E; S.J. McLelland&T.G. Mercer (eds) (2011): User Guide to Physical Modelling and Experimentation, Experience of the HYDRALAB Network, CRC Press/Balkema, Leiden, The Netherlands

HÜBL J. (2012): Naturgefahren Muren – The Natural Hazard Presented by Mudflows, Ernst&Sohn Special

KOBUS H. (1984): Wasserbauliches Versuchswesen (2. Rev. Aufl.). Schriftreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau; 39. Hamburg: u.a.: Parey

ONR 24802 (2011): ONR 24802 – Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Projektierung, Bemessung und konstruktive Durchbildung

OTTNER F. (2010): Bericht über Mineralanalysen an einer Tonprobe aus Stoob, Institut Angewandte Geologie, (unveröffentlicht)

RAUSCHER R., Andexer J. (2013): HW-Dokumentation Wildbäche Gemeinde Taxenbach – Trattenbach und Zubringer, bf:gh zt-gmbh (unveröffentlicht)

SCHEIDL C. et al. (2012): Analysing Debris-Flow Impact Models, Based on a Small Scale Modelling Approach, Springer

STROBL T. ZUNIC F. (2006): Wasserbau: aktuelle Grundlagen – neue Entwicklungen. Berlin, Springer

WEBER D. (2004): Untersuchung zum Fließ- und Erosionsverhalten granularer Murgänge. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WLS

WIKIPEDIA (2014): Nyquist-Shannon-Abtasttheorem (Stand 10.04.2014)  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Nyquist-Shannon-Abtasttheorem;>