



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

Peter Jordan Str. 82
A-1190 WIEN

Tel.: +43-1-47654-87100
Fax: +43-1-47654-87109



IAN REPORT 208

OPTIMIERUNG DER EFFEKTIVITÄT EINES NEUEN BAUTYPS ZUR WILDHOLZFILTERUNG



Im Auftrag von:

Wildbach- und Lawinenverbauung
Gebietsbauleitung Oberösterreich Nord

Wien, im Februar 2022



IAN REPORT 208

Optimierung der Effektivität eines neuen Bautyps zur Wildholzfilterung an der Naarn

Im Auftrag von:

Wildbach- und Lawinenverbauung

Projektleitung: Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Johannes Hübl

Mitarbeiter: Dipl.-Ing. Markus Beck

Bakk. techn. Johannes Hödl

Ing. Friedrich Zott

Universität für Bodenkultur
Department Bautechnik und Naturgefahren
Institut für Alpine Naturgefahren

Peter Jordan Str. 82

Tel.: +43-1-47654-87100

A – 1190 Wien

Fax: +43-1-47654-87109

Referenz (Literaturzitat): Hübl J., Beck M., Hödl J., Zott F. (2021): Optimierung der Effektivität eines neuen Bautyps zur Wildholzfilterung an der Naarn; IAN Report 208; Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur Wien



Inhaltsverzeichnis

1	SACHVERHALT/ISTZUSTAND	2
2	UNTERSUCHUNGSGEBIET	4
2.1	Vegetation.....	5
2.2	Geologie und Geomorphologie	6
2.3	Hydrologie und Entwässerung	7
2.4	Hydraulische Verhältnisse.....	8
2.5	Wildholzpotenzial- und Fracht.....	15
2.6	Ereignischronik	17
2.7	Verbauung	19
3	STANDORT UND RECHENVARIANTE	20
4	AUFBAU MODELLVERSUCH UND DURCHFÜHRUNG	23
4.1	Planung.....	23
4.2	Aufbau.....	25
4.3	Messeinrichtungen.....	33
4.4	Wildholzlänge- und Dichte	36
4.5	Versuchsanordnung und Durchführung	38
5	ERGEBNISSE.....	42
5.1	Wildholzurückhalt und Verteilung.....	42
5.1.1	Versuchsreihe 1.....	46
5.1.2	Versuchsreihe 2.....	52
5.1.3	Versuch Buhne vor Überlaufschwelle.....	57
5.1.4	Versuchsreihe VO mit variablem Stababstand	59
5.1.5	Versuchsreihe O1 optimierte Variante.....	62
5.1.6	Zusammenfassung und Gegenüberstellung.....	64
5.2	Lagerungsdichte	66
5.3	Wasserspiegelanalyse	68
5.4	Fließgeschwindigkeit.....	75
6	ZUSAMMENFASSUNG	76
7	LITERATURVERZEICHNIS.....	77
8	ANHANG	78



1 Sachverhalt/Istzustand

Im August 2002 wurden durch ein Hochwasserereignis in der Naarn große Mengen Wildholz mobilisiert und abgedriftet. Dadurch wurden Verklausungen verursacht, welche folglich zu Ausuferungen und Schäden an Brücken und im unterliegenden Siedlungsgebiet der Stadtgemeinde Perg in Oberösterreich führten. Weitere Hochwässer in der jüngeren Vergangenheit zeichneten sich ebenfalls durch eine hohe Wildholzfracht und durch ein damit verbundenes Verklausungsrisiko und dessen Folgeschäden im Siedlungsgebiet aus. Um die Gefahr durch Wildholz und folglich das Risiko für Schäden an den Engstellen und im Siedlungsgebiet zu minimieren, wurde seitens der Stadtgemeinde Perg ein Projekt zur Filterung des Wildholzes initiiert. Obwohl die Zuständigkeit im Bereich der Bundeswasserbauverwaltung Gewässerbezirk Linz läge, wurde der Auftrag zur Vorstudie nach Absprache aller Beteiligten im Jahr 2009 an den Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung, Gebietsbauleitung Oberösterreich Nord (dazumal Gebietsbauleitung Mühlviertel), getragen und durch die Sektion Oberösterreich am 26. Februar 2009 genehmigt. Im Jahr 2019 wurde dann das Institut für Alpine Naturgefahren an der Universität für Bodenkultur Wien (Boku) mit der Vorplanung eines Wildholzrechens an einem bereits ausgewählten Standort beauftragt, was im Rahmen des Konstruktiven Projektes von Klinger und Pöchacker (2019) durchgeführt wurde. Nach der Festlegung der Rechenvariante zur Wildholzfilterung, welche zuvor schon in ähnlicher Ausführung im Ferchenbach geplant wurde (Report 196), wurden die Ergebnisse aus der Vorplanung durch einen physikalischen Modellversuch überprüft. Dies geschah im Zuge der Masterarbeit „Optimierung eines Wildholzrechens an der Naarn“ durch Hödl Johannes (2021) im Labor des Institutes für Alpine Naturgefahren an der Boku Wien. Dabei wurde die Wirksamkeit der ausgewählte Rechenvarianten bei unterschiedlichen Abflüssen und Wildholzfrachten untersucht und die in der Vorplanung festgelegte Variante optimiert. Als Basis für die Gestaltung des Rechenmodelles und des Modellgeländes dient ein Vermessungsplan, ein Höhenmodell des Soll-Zustandes sowie die hydraulische Berechnung aus dem Konstruktiven Projekt. Neben der bestmöglichen Erfüllung der Filterfunktion für Wildholz sollte die ökologische Durchgängigkeit des Gewässers durch den Bau des Rechens positiv beeinflusst werden. Dies kann durch die Entfernung eines bereits bestehenden Wehres im zukünftigen Rechenbereich und eine umsichtige Konstruktion

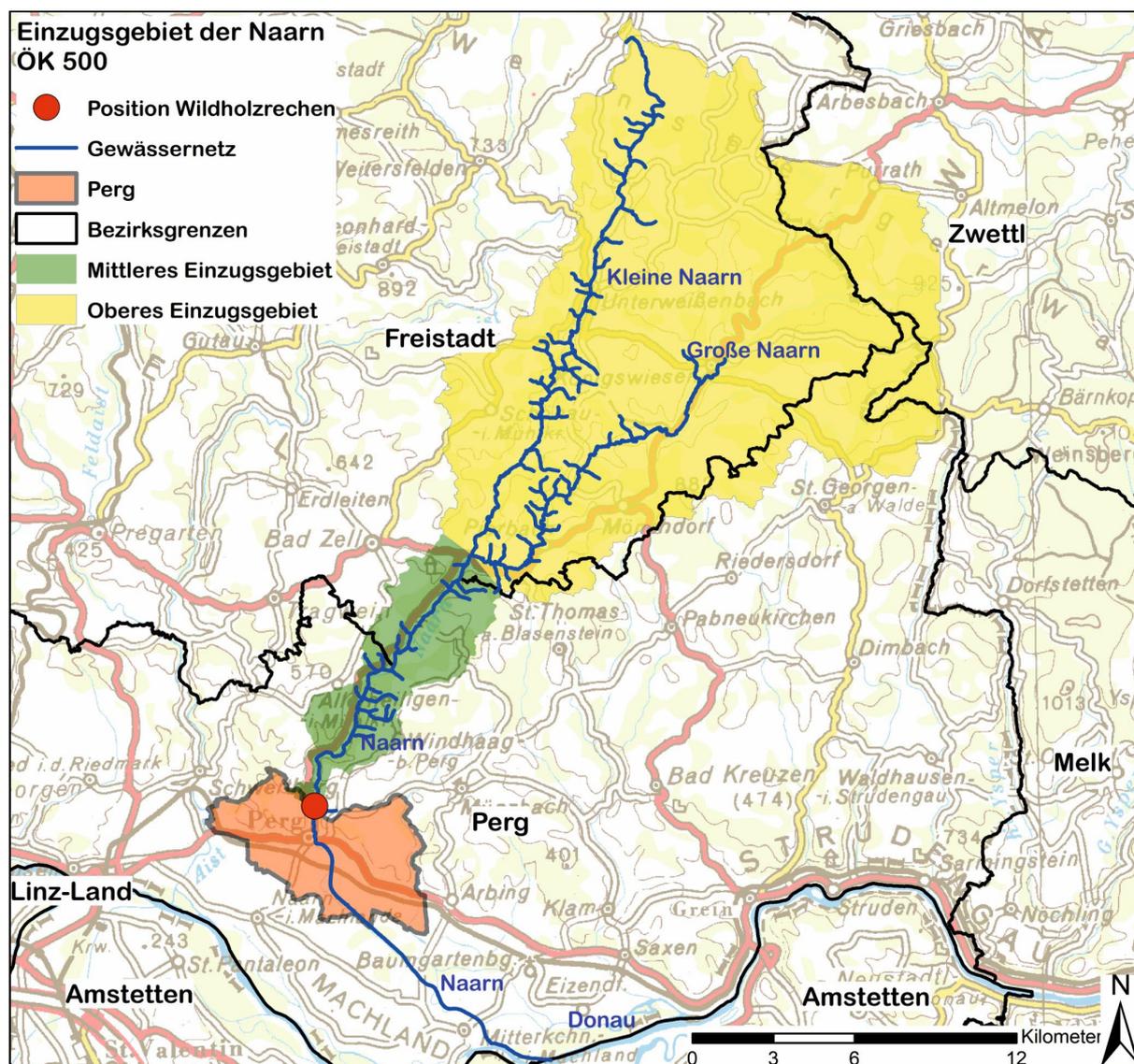


des Rechens erreicht werden. Zusätzlich sollte nach der Umgestaltung des Geländes ein Geschieberückhaltebecken mit rund 1.000 m³ Ablagerungsvolumen Platz finden. Neben der Funktionalität des Rechens wurden auch die auftretenden Momente an sechs ausgewählten Rechenelementen, die Fließgeschwindigkeiten und Pegelstände gemessen sowie eine Abschätzung der Lagerungsdichte des Wildholzes durch den Einsatz eines Laserscanners getroffen.



2 Untersuchungsgebiet

Das Einzugsgebiet der Naarn liegt im Mühlviertel und erstreckt sich auf rund 380 km² über die politischen Bezirke Zwettl, Freistadt und Perg, wird in diesem Projekt aber auf die rund 267 km² oberhalb des geplanten Wildholzrechens eingegrenzt (Abbildung 1). Die eigentliche Naarn beginnt nach der Vereinigung der Großen Naarn (östlich) mit der Kleinen Naarn (westlich), durchquert dabei das Siedlungsgebiet der Bezirkshauptstadt Perg und mündet bei Mitterkirchen im Machland in einen Donau-Altarm. Die rund 54 km lange Fließstrecke unterteilt sich dabei in Oberlauf (kleine Naarn bis zur Vereinigung mit der Großen Naarn bei der Steinbruckmühle in der Gemeinde Pierbach) mit rund 26,7 km, Mittellauf (Vereinigungspunkt bis zum Bereich Kuchlmühle) mit rund 13 km und Unterlauf (Kuchlmühle bis zur Donau) mit rund 14,5 km.



2.1 Vegetation

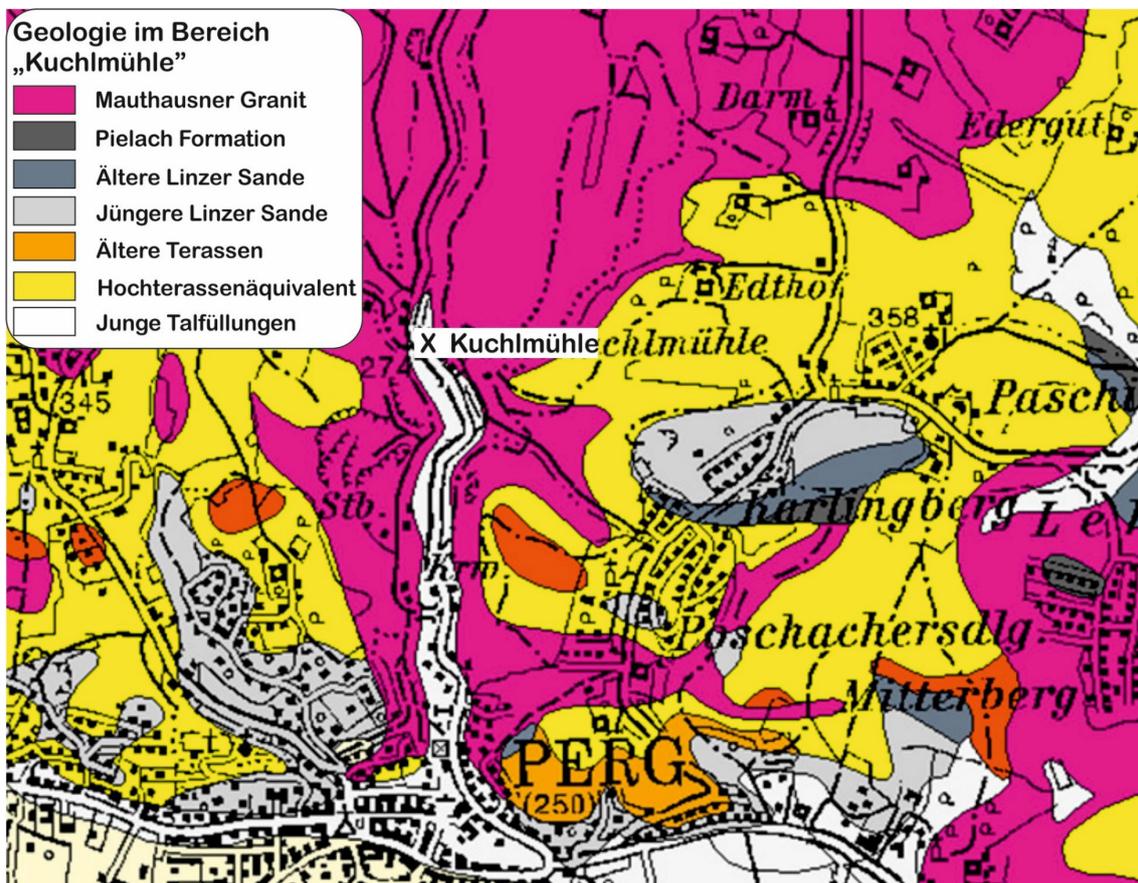
„Auf dem silikatischen Grundgestein stocken Laubmischwälder. Dort wo die Steilheit des Geländes es zulässt, stockt auch die Fichte auf den Hängen. Die bachbegleitende Vegetation im Naarntal weist auf weiten Strecken starke Pfliegerückstände auf. Dieses hohe Wildholzangebot erhöht bei Hochwässern das Verkläunungsrisiko bei Brücken und anderen Engstellen im dicht bebauten Stadtgebiet von Perg. Eine lückenlose Pflege der Ufergehölze in der rund 13 km langen Schluchtstrecke ist weder technisch machbar noch wirtschaftlich sinnvoll“ (WLV, 2009).



2.2 Geologie und Geomorphologie

Auszug aus Montag (2011)

Das Projektgebiet liegt aus regionalgeologischer Sicht im Bereich der Böhmisches Masse. Dabei handelt es sich um ein altkristallines Grundgebirge aus der variszischen Gebirgsbildungsphase. Der geologische Untergrund im Projektgebiet wird im Wesentlichen durch den Granittyp des „Mauthausner Granits“ aufgebaut (Abbildung 2). Beim Mauthausener Granit handelt es sich um einen fein bis mittelkörnigen Biotitgranit von hellgrauer bis bläulicher Farbe. Aufgrund seiner isotropen Eigenschaften und damit guten Eignung als Pflasterstein bzw. als Ausgangsmaterial für Steinskulpturen, wird der Mauthausner Granit in zahlreichen Steinbrüchen im Projektumfeld gewonnen. Die kristallinen Gesteine der Böhmisches Masse werden von der Alpidischen Molasse (Paläogen und Neogen) und/oder quartären bzw. rezenten Sedimenten überlagert. Dabei handelt es sich hauptsächlich um den Linzer Sand (Sand, Sandstein), Tonmergel und undifferenzierte neogene Ablagerungen i. Allgemeinen (limnisch, fluviatil). Stellenweise können auch Schotter aus dem obersten Neogen bis Altpleistozän in verschiedenen Höhenlagen auftreten (z.B. Schneiderbergterrasse, Rosenfeldterrasse etc.).





2.3 Hydrologie und Entwässerung

Der höchste Punkt des Einzugsgebietes liegt auf 1.045 m. ü. A. (Gemeinde Liebenau) und überwindet auf dem Weg zur Kuchlmühle (271 m. ü. A.) rund 774 Höhenmeter mit einer mittleren Neigung von kleiner 1 %. Am Schluchtausgang des Naarntales liegt der Dauersiedlungsraum der Stadtgemeinde Perg. Die für die Gefahrenbewertung relevante Schluchtstrecke oberhalb des geplanten Wildholzrechens (rund 13 km lang) zeichnet sich durch steile Einhänge und ein höheres Gefälle aus. Bereits beim Gasthof "Kuchlmühle", das orografisch linksufrig unterhalb des geplanten Wildholzrechens liegt, befindet sich eine Engstelle in Form einer Brücke der L572 Naarntalstraße über die Naarn. Von der Kuchlmühle flussabwärts ist das Gerinne immer noch in der Schluchtstrecke des Naarntales mit engem Talboden und steilen Einhängen. Erst unterhalb der Querung mit der alten B3 (bereits im Stadtzentrum der Bezirkshauptstadt Perg) beginnt sich das Tal wieder aufzuweiten.

Für die errechneten Durchflüsse der Naarn an der Position Kuchlmühle wurde der nächstgelegene Pegel Haid (EZB 206029) herangezogen. Die dortigen Jährlichkeiten wurden auf den Standort Kuchlmühle über die Einzugsgebietsfläche mit einem Faktor von 0,89 zurückgerechnet. Das Bemessungsereignis für dieses Projekt (HQ100) liegt demnach bei rund 102 m³/s (Tabelle 1).

Tabelle 1: Kennzahlen des Durchflusses beim Pegel Haid (Quelle: Ehyd 2018) und am Standort Kuchlmühle (berechnet)

Pegel Haid		Pegel Kuchlmühle	
EZG-Fläche (km ²)	303	EZG-Fläche (km ²)	267
Flusskilometer	4,46	Flusskilometer	14,5

Wiederkehrintervall	Durchfluss (m ³ /s)	Wiederkehrintervall	Durchfluss (m ³ /s)
		NNQ	0,1
MQ	3,75	MQ	1,7
MHQ	36	MHQ	32
HQ1	27	HQ1	24
HQ2	40	HQ2	36
HQ5	56	HQ5	50
HQ10	69	HQ10	61
HQ30	90	HQ30	80
HQ100	115	HQ100	102
HHÜL	125	HHÜL	111



Zusätzlich muss speziell bei geringen Durchflüssen das Ausleitungskraftwerk Poschacher berücksichtigt werden. Die Ausleitung befindet sich ca. 2 km flussauf der geplanten Maßnahme. Der Ausbaudurchfluss des Kraftwerks Poschacher liegt bei 2 m³/s, die Restwassermenge liegt bei 80 l/s. Der Transport zum Kraftwerk in der Stadt Perg erfolgt in einer DN1200 Druckrohrleitung, welche am Standort Kuchlmühle entlang des Forstweges am orografisch linken Ufer führt. Bedingt durch die Ausleitung wurde oben der Wert 2 m³/s vom MQ abgezogen. Das NNQ am Standort Kuchlmühle wird aufgrund der Restwassermenge mit ca. 100 l/s angenommen. Das höchste bislang aufgezeichnete Hochwasser (HHÜL) in der seit dem Jahr 1976 existierende Datenreihe war am 13. August 2002 mit einem Durchfluss von rund 125 m³/s beim Pegel Haid (Klinger und Pöchacker, 2019).

2.4 Hydraulische Verhältnisse

Auszug aus Klinger und Pöchacker (2019)

Die Strömungsverhältnisse im Bereich der Kuchlmühle wurde im Rahmen des Konstruktiven Projektes mittels Hydro_AS und HEC-RAS zweidimensional simuliert. Dabei wurde die Oberfläche im Nahbereich des Rechens in vier unterschiedliche Rauigkeitsklassen unterteilt welche sich hinsichtlich des Rauigkeitsbeiwertes nach Strickler unterscheiden (Abbildung 3 B und C). Die zweite Variable in der Simulation ist die Höhenkote der Überlaufschwelle mit einem Höhenunterschied von 0,30 m (Tabelle 2). Um den Nachweis zu erbringen, dass sich das Bauwerk im Bereich des Gasthauses Kuchlmühle nicht negativ auf die Strömungsverhältnisse auswirkt, wurde ebenfalls eine Simulation mit dem aktuellen Gelände durchgeführt. Die nachfolgende Zusammenfassung der hydraulischen Verhältnisse beruht auf den Ergebnissen des Berichtes von Klinger und Pöchacker (2019).

Tabelle 2: Werte der für die Überlaufschwelle verwendeten Höhenkoten

Überlaufschwelle	Kote 1 (Z1)	Kote 2 (Z2)
Höhe (m. ü. A.)	271,5	271,8

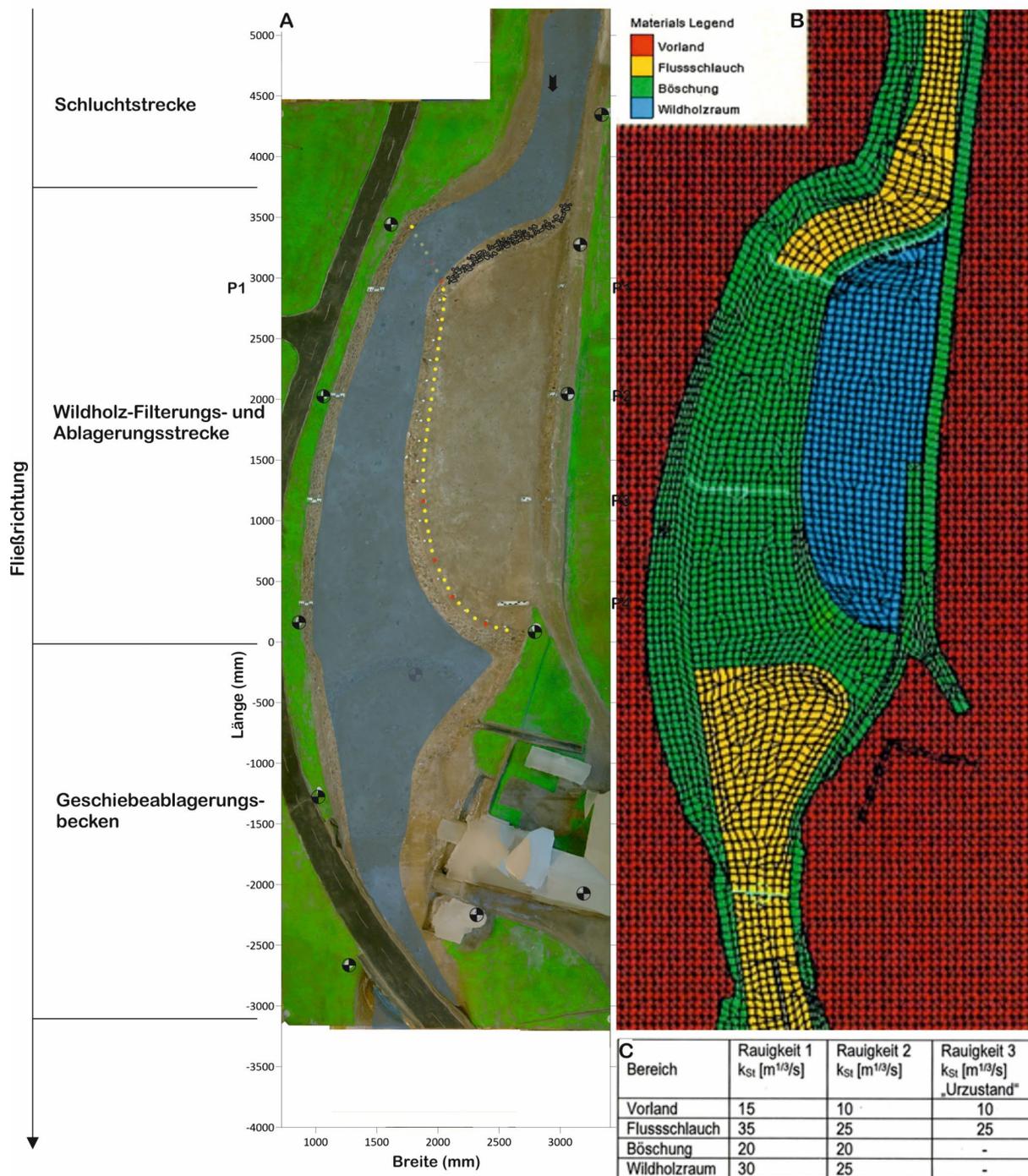


Abbildung 3: A: Modell zur besseren Veranschaulichung der in der rechten Abbildung (B) verwendeten Rauigkeitsklassen; C: Rauigkeitsbeiwerte nach Strickler (k_{Si}) für die vier Rauigkeitsklassen (In Anlehnung an Klinger und Pöchacker, 2019)

Ergebnisse Hydro_AS

Die Simulation erfolgte mit einem Abfluss von rund $111 m^3/s$ (HHÜL) ohne Berücksichtigung der Rechenelemente oder etwaigen Buhnen im Hauptschluss. Die Ergebnisse zeigen, dass sich der Durchfluss bei der geringeren Rauigkeit 1 und der niedrigeren Höhenkote (271,5 m. ü. A.) der Überlaufschwelle fast zur Hälfte auf den



Hauptschluss und die andere Hälfte auf den Nebenschluss aufteilt. Der Anteil im Hauptschluss nimmt mit Höhe der Überlaufschwelle und steigender Rauigkeit zu und nimmt bei der Konfiguration Rauigkeit 2 und Kote 2 Werte von rund zwei Drittel an (Abbildung 4). Die Simulation mit den Parametern Rauigkeit 2 ist realitätsnaher und zudem auf der sicheren Seite, da die Wasserstände bei geringerem Rauigkeitsbeiwert höher sind. Die fehlende Differenz zum Durchfluss von $111 \text{ m}^3/\text{s}$ kann nicht eindeutig zugeordnet werden.

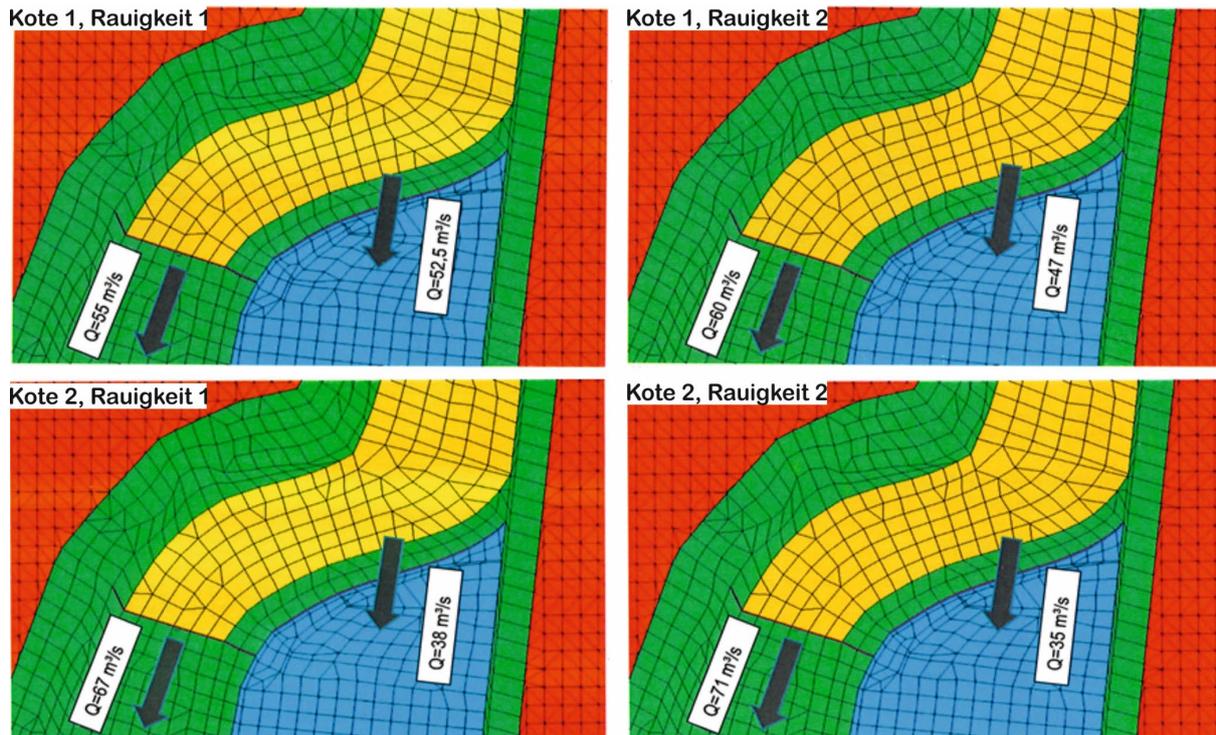


Abbildung 4: Aufteilung des Abflusses bei unterschiedlichen Rauigkeiten und unterschiedlicher Höhe der Überlaufschwelle (In Anlehnung an Klinger und Pöchacker, 2019)

Der maximale Wasserstand ohne Einstau beträgt bei der Kote 1 im Hauptschluss $1,90 \text{ m}$ und im Nebenschluss maximal $1,2 \text{ m}$. Bei dieser Konfiguration bleibt ein Freibord von rund $0,85 \text{ m}$ zu der orographisch linksufrig verlaufenden Forststraße. Wird die Überlaufschwelle um $0,30 \text{ m}$ erhöht liegt der maximale Wasserstand im Hauptschluss ebenfalls bei $1,9 \text{ m}$ und verringert sich im Nebenschluss auf maximal $1,0 \text{ m}$, das maximale Freibord verringert sich nur unwesentlich auf rund $0,80 \text{ m}$. Dabei wirkt sich die Rauigkeit hauptsächlich im Randbereich auf den Wasserspiegel aus (Abbildung 5). Um ein reibungsloses Überströmen von dickeren Baumstämmen gewährleisten zu können ist allerdings ein ausreichender Wasserstand über der Überlaufschwelle notwendig.

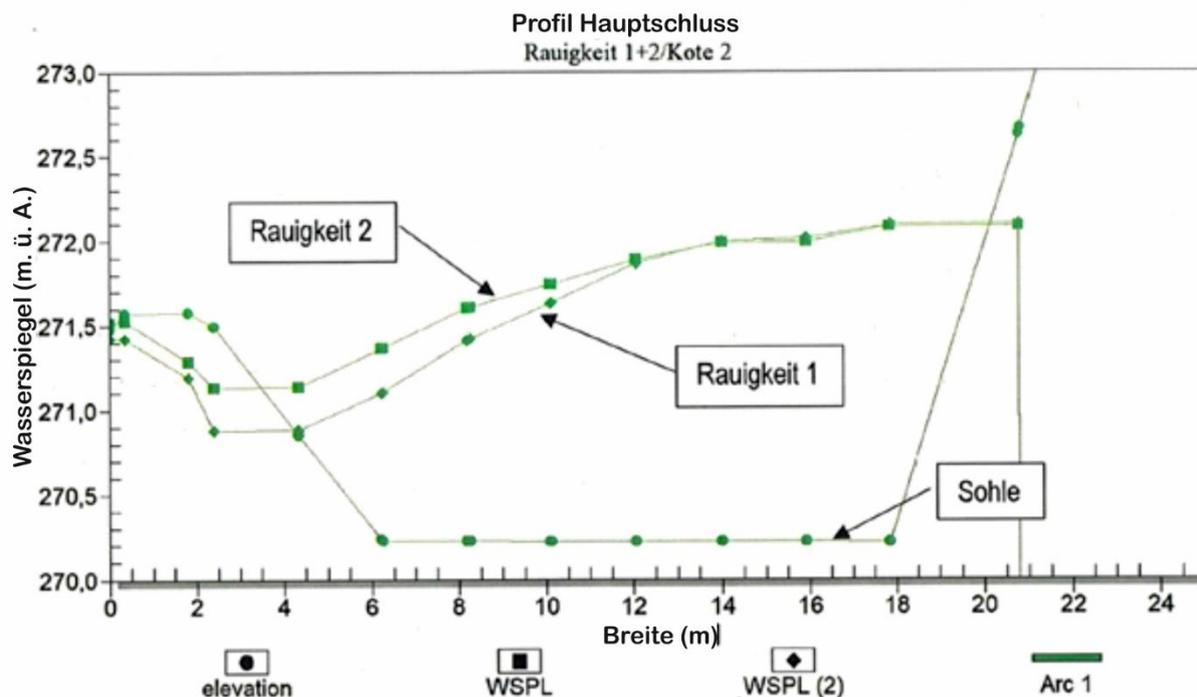


Abbildung 5: Beispiel der Änderung des Wasserspiegels durch den Einfluss der Rauigkeit am Beispiel Hauptschluss Kote 2 (Quelle: Klingler und Pöchacker, 2019)

Die Ergebnisse aus der Simulation zeigen Fließgeschwindigkeiten von bis zu 6 m/s über die Überlaufschwelle und am Übergang der Überlaufschwelle zu den Rechenelementen (Abbildung 6). Sowohl am unteren als auch am oberen Rechenende sind die Fließgeschwindigkeiten sehr gering, in diesen Bereichen kann es zum Rückstau und zur Bildung von Kehrwasserbereichen kommen. Die Erhöhung der Überlaufschwelle auf 271,8 m. ü. A. geht mit einer Verringerung der Fließgeschwindigkeit im Wildholzraum einher, was sich auf die Filterwirkung und die auf die Rechenelemente auftretenden Momente positiv auswirkt. Bei unveränderten Verhältnissen liegt die Geschwindigkeit zwischen den Rechenelementen im Bereich von 1,5 bis 1,8 m/s. Am unteren Ende des Wildholzrechens treten bei beiden gewählten Koten Kehrwasserverhältnisse auf. Beim Parametersatz Rauigkeit 2 Kote 1 wird die Überlaufschwelle zum Wildholzraum bei einem Durchflusswert beginnend ab ca. 22 m³/s überströmt. Beim Parametersatz Rauigkeit 2 Kote 2 wird die Überlaufschwelle zum Wildholzraum bei einem Durchflusswert beginnend ab ca. 30 m³/s überströmt. Das mittlere jährliche Hochwasser MHQ liegt zum Vergleich für diese Stationierung bei ca. 32 m³/s.

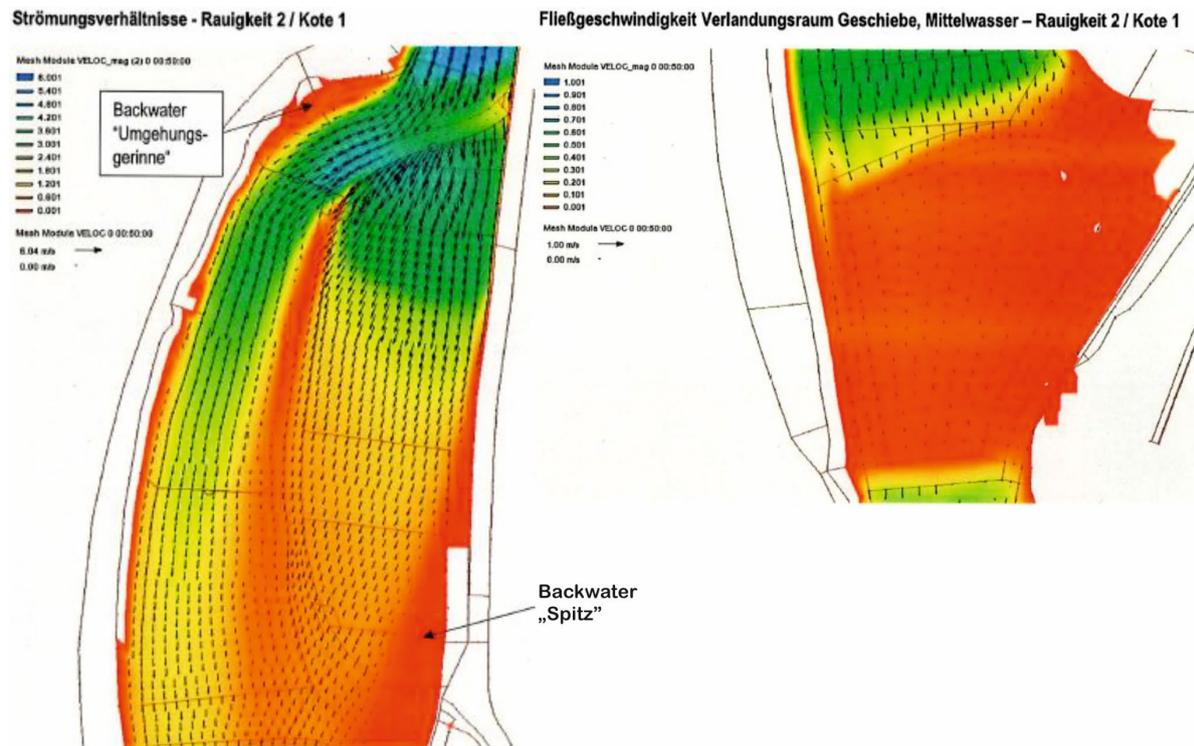


Abbildung 6: Strömungsverhältnisse im Bereich des Rechens (links) und im darunter geplanten Geschieberückhaltebecken (rechts) (In Anlehnung an Klinger und Pöchacker, 2019)

Im Geschieberückhaltebecken herrschen bei einem Durchfluss von $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (MQ mit Ausleitung Kraftwerk Poschacher) Geschwindigkeiten von $< 0,1 \text{ m/s}$. Dadurch ist die erwünschte Sedimentablagerung bei der gegebenen Länge des Geschieberaumes für die Sandfraktion gewährleistet.

HEC_RAS

An der orografisch linken Seite der Naarn kam es bereits im Bereich des Gasthauses Kuchlmühle unterhalb des ursprünglichen Wehres zu Ausuferungen. Durch den Vergleich der Simulationen (HHÜL) des Urzustandes mit dem geplanten Rechengelände konnte allerdings keine Verschlechterung der Hochwassersituation für das Gasthaus Kuchlmühle beobachtet werden (Abbildung 7).

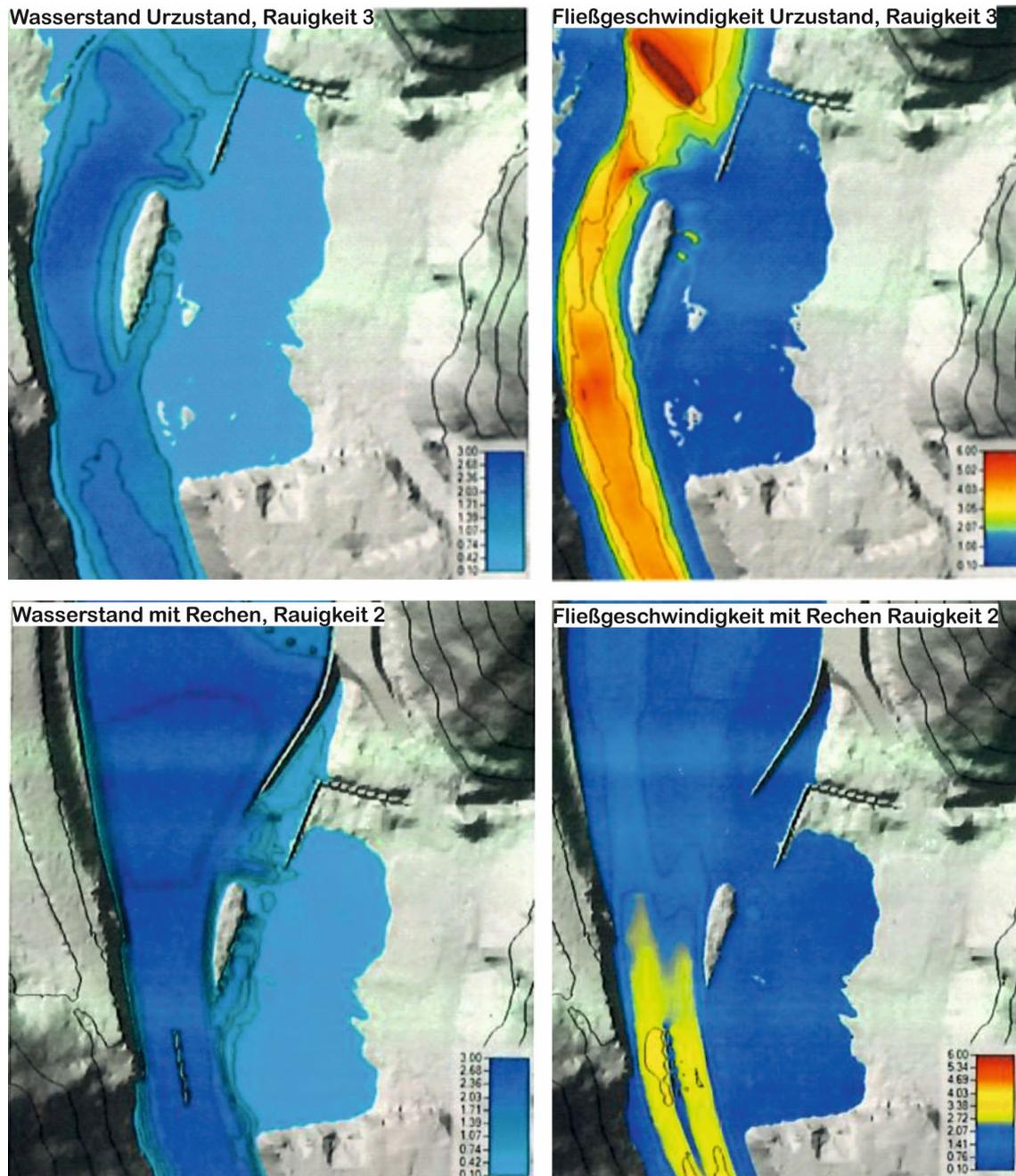


Abbildung 7: Vergleich der Strömungsverhältnisse zwischen dem Urzustand (oben) und nach der geplanten Maßnahme (unten) im Bereich der Kuchlmühle (In Anlehnung an Klinger und Pöchacker, 2019)

Die Strömungsverhältnisse am unteren Ende des Rechens sind bei der HEC-RAS Simulation deutlich besser, der Kehrwasserbereich des Wildholzraumes wurde deutlich verkleinert. Dies lässt darauf schließen, dass der Wildholzraum ausgehend von der Überlaufschwelle verlandet. Die Kehrwasserverhältnisse im Hauptschluss im Bereich der Überlaufschwelle sind im Vergleich zur Hydro_AS Simulation dagegen deutlich ausgeprägter (Abbildung 8).

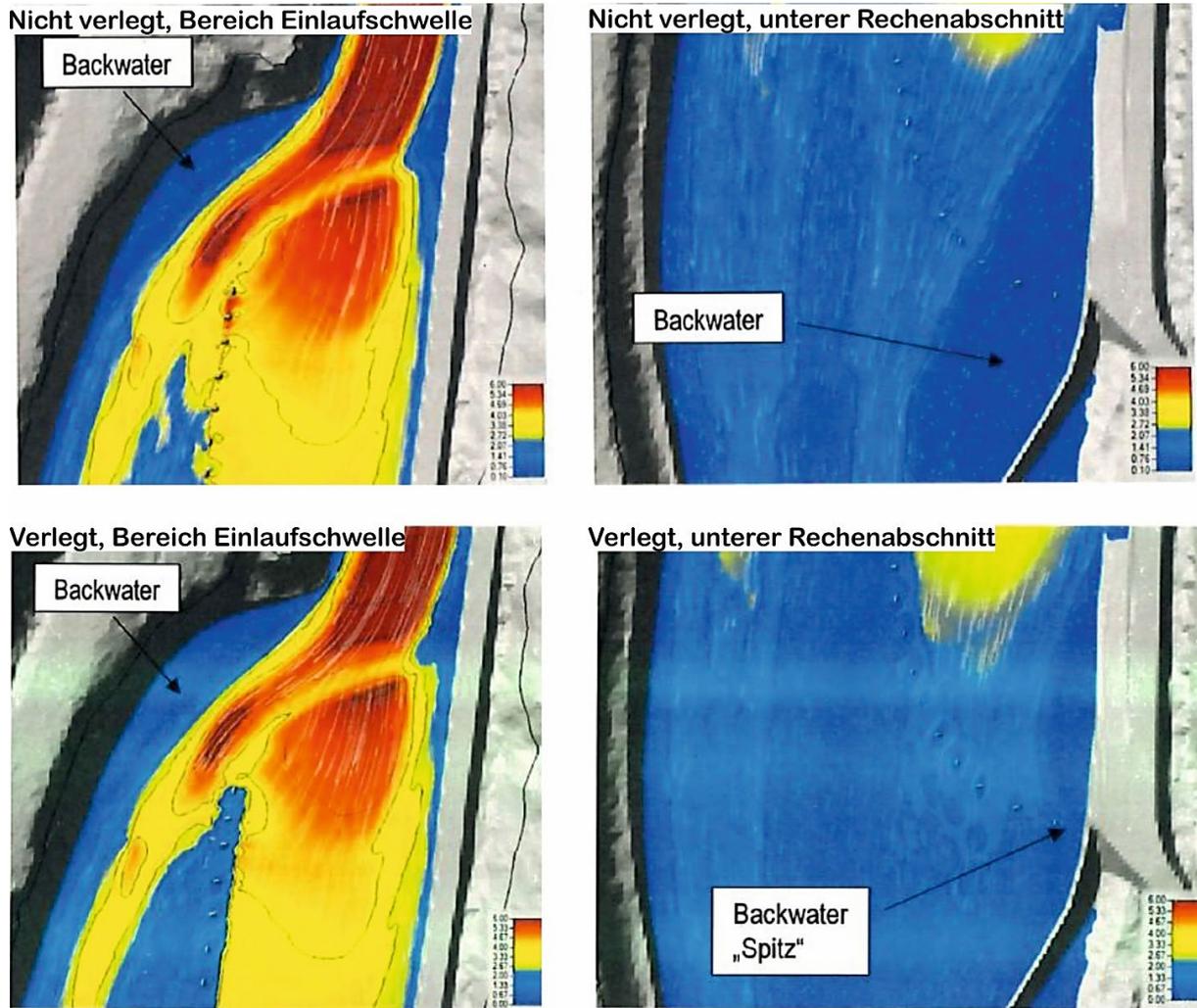


Abbildung 8; Vergleich der Strömungsverhältnisse im Rechenbereich bei unverlegtem und verlegtem Rechen (In Anlehnung an Klinger und Pöchacker, 2019)

Die Simulation im HEC-Ras ergibt deutlich niedrigere Wasserstände über der Überlaufschwelle. Hier sollten die Ergebnisse aus Hydro_AS verwendet werden, welche mittels der Poleni-Formel auf ihre Plausibilität überprüft wurden.



2.5 Wildholzpotenzial- und Fracht

Für die Beschreibung der relevanten Größen zur Abschätzung des Wildholzpotenziales und der Wildholzfracht wurden zwischen Bemessungsereignis und zwischen einem vordefinierten Ereignis unterschieden (Tabelle 3). Als Grundlage zur Abschätzung dient hier das Bemessungsereignis (HQ100).

Tabelle 3: Definition der verwendeten Begriffe

Begriff	Einheit	Definition
Wildholz-Bemessungspotenzial	fm	Jene Menge an Holz, die während der Dauer des Bemessungsereignisses im gesamten Einzugsgebiet mobilisiert werden kann.
Wildholz-Ereignis-potenzial	fm	Jene Menge an Holz, die während der Dauer eines ausgewählten Ereignisses im gesamten Einzugsgebiet mobilisiert werden kann.
Wildholz-Bemessungsfracht	m ³	Jener Teil des Wildholzpotenzials, der während der Dauer des Bemessungsereignisses eine bestimmte Stelle des Bachlaufes passiert.
Wildholz-Ereignisfracht	m ³	Jener Teil des Wildholzpotenzials, der während eines ausgewählten Ereignisses eine bestimmte Stelle des Bachlaufes passiert.

Für die Beurteilung des Wildholzpotenzials und der Wildholzfracht ist lediglich die bewaldete Schluchtstrecke zwischen dem Standort Kuchlmühle und der Mündung der Großen in die Kleine Naarn von Relevanz. Dabei hat man sich für das Einzugsgebiet „Mittellauf“ den einschlägigen Schätzformeln bedient (Anhang 1). Die Gerinnelänge der Naarn in dem rund 30 km² großen Einzugsgebiet „Mittellauf“ liegt bei rund 13 km. Die bewaldete Fläche wurde mit 12 km², die bewaldete Gerinnelänge mit 11 km angegeben (Tabelle 4).

Tabelle 4: Eingangsparameter zur Abschätzung der Wildholzfracht und des Wildholzpotenziales

Einzugsgebietsparameter	Wert	Einheit
Einzugsgebietsfläche (A)	30	km ²
Bewaldete Einzugsgebietsfläche (AW)	12	km ²
Gerinnelänge (LG)	13	km
Bewaldete Gerinnelänge (LW)	11	km

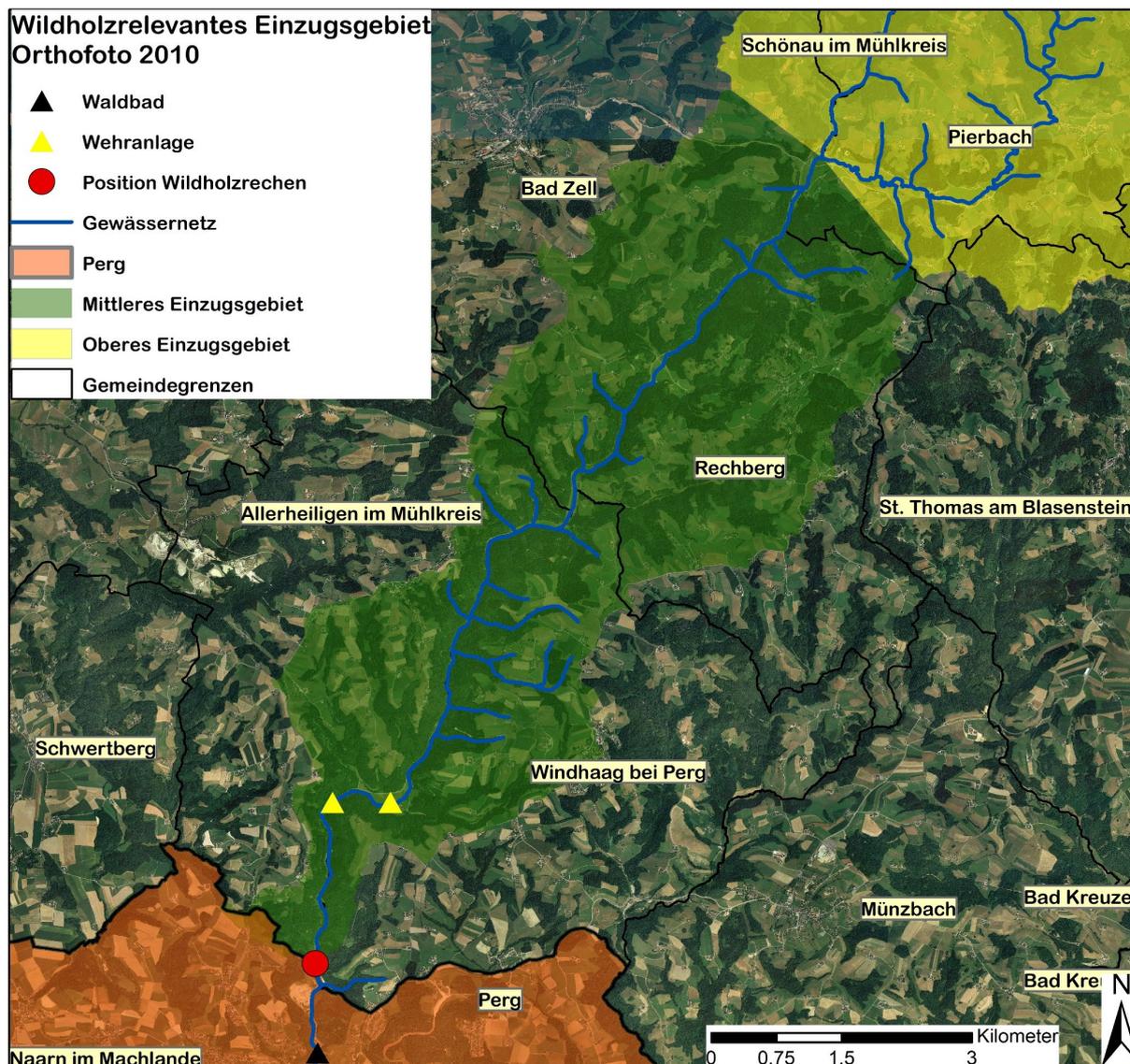


Abbildung 9: Wildholzrelevantes Einzugsgebiet (Mittleres Einzugsgebiet) an der 13 km lange Schluchtstrecke oberhalb des Standortes Kuchlmühle

Die Bereiche um die Große und die Kleine Naarn im oberen Einzugsgebiet sind ausgesprochen flach und werden von breiten alluvialen Talböden, die überwiegend landwirtschaftlich genutzt werden, begleitet. In diesen oberen Teileinzugsgebieten fällt der Wildholzeintrag in das Gerinne sehr gering aus bzw. mitgeführtes Wildholz wird gefälle- und abflussdingt nicht weiter transportiert.

Der Eintrag geschieht hauptsächlich aufgrund von Seitenerosion und das Kippen einzelner Bäume in das Gewässer (Einzelzugabe). In der Naarn gibt es aber zahlreiche Wehranlagen, welche eine gewisse Barriere für den Transport des Wildholzes und somit potenzielle Ablagerungspunkte darstellen. Durch die zwischenzeitliche Ablagerung des Holzes an diesen Engstellen und durch die



anschließende Mobilisierung kann das Holz auch schwallartig in Paketform abdriften (Paketzugabe). Zusätzlich befindet sich entlang des Flusses die Naarntalstraße, welche den Wildholzeintrag einseitig entlang der Naarn auf einigen Teilabschnitten reduziert.

Die Ergebnisse aus der Abschätzung des Wildholzpotenziales streuen aufgrund der Herleitung der verwendeten Schätzformeln sehr stark, was hier zu sehr hohen Mittelwert führt (Tabelle 5). Aufgrund dieser Tatsache wurde für die Festlegung des Wildholzvolumens der Median aus dem Bemessungspotenzial als maßgebende Kennzahl herangezogen. Das Wildholzvolumen, das im Rechen abgelagert werden sollte, beträgt somit rund 1.000 m³.

Tabelle 5: Zusammenfassung aus der Berechnung des Wildholzpotenziales

Maßzahl	Wert	Typ
Median	1.080	Wildholz-Bemessungspotenzial
Mittelwert	5.672	
Standardabweichung	10.868	
CV = SD/Mittelwert	1,9	

Es sei angemerkt, dass es sich bei diesem Wert um das Lockervolumen handelt. Mit einem angenommenen Auflockerungsfaktor von 3 entspricht dies einem reinen Holzvolumen von rund 333 Festmetern.

Umrechnung zwischen Festmetern (fm) und Kubikmetern (m³) mittels „bulk factor“ (a):

$$a = \frac{V_l}{V_s}$$

V_l lose gelagertes Wildholz (m³)

V_s kompaktes Holzvolumen (~ Schüttraummeter) (fm, m³)

a Lagerungsdichte

2.6 Ereignischronik

Das größte bisher aufgezeichnete Hochwasser war im August 2002 mit einem Durchfluss von rund 125 m³/s am Pegel Haid (Tabelle 6). Bei diesem Ereignis sind bedingt durch Wildholzverklausungen an Engstellen (vor allem Brücken) und



darauffolgenden Ausuferungen große Schäden an der Infrastruktur und an Gebäuden im Siedlungsgebiet entstanden (Abbildung 10 und Abbildung 11).



Abbildung 10: Fotos der Schäden vom Hochwasser im August 2002 (Quelle: WLV GBL OÖ Nord)



Abbildung 11: Schäden im Stadtgebiet von Perg (Quelle: WLW GBL OÖ Nord)

Das letzte größere Hochwasser mit einem Pegelstand von rund 465 cm beim Pegel Haid ereignete sich im Juni 2013 (Tabelle 6), ähnliche Hochwässer liegen schon längere Zeit zurück.

Tabelle 6: Ereignischronik und Pegelstände (Quelle: Hydrographischer Dienst Oberösterreich 2021)

Datum	Pegelstand (Haid)	Einheit
02.06.2013	465	cm
31.03.2006	376	cm
13.08.2002	499	cm
03.03.1956	410	cm
16.02.1928	430	cm

2.7 Verbauung

Das rund 267 km² Einzugsgebiet der Naarn (Hauptflüsse sind die Große und die Kleine Naarn) bis zum Standort Kuchlmühle liegen im Zuständigkeitsbereich der Bundeswasserbauverwaltung. Entlang des Hauptflusses findet man nur lokale Ufersicherungen zum Schutz von Einzelobjekten und Infrastruktureinrichtungen. Im geschlossenen Stadtgebiet von Perg besteht eine geschlossene Regulierung, die in den 60er und 70er Jahren errichtet wurde. Maßnahmen zur Feststoffbewirtschaftung fehlen bislang.



3 Standort und Rechenvariante

Der vom Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung ausgewählte Standort für die geplante Maßnahme befindet sich rund 1 km nördlich des Siedlungsgebietes von Perg und wird hier als „Kuchlmühle“ bezeichnet. Der Projektstandort wurde auf Grund der geeigneten Platzverhältnisse gewählt, die sowohl genügend Raum zur Filterung und Ablagerung von Wildholz als auch für ein Geschieberückhaltebecken bieten. Am ausgewählten Standort befindet sich zur Zeit eine alte Wehranlage (deren Genehmigung bald abläuft), das Gasthaus Kuchlmühle auf der orografisch linken Seite sowie eine Brücke der L572 Naarntalstraße (Abbildung 13). Im Gerinnebereich steht rund 1 ha zur Gestaltung eines so genannten „Sackrechsens“ zur Verfügung. Die gewählte Rechenausführung besteht aus 3 m hohen vertikalen Säulen mit einem Durchmesser von rund 50 cm, welche sowohl quer als auch parallel zur Fließrichtung eingebaut werden (Abbildung 12).

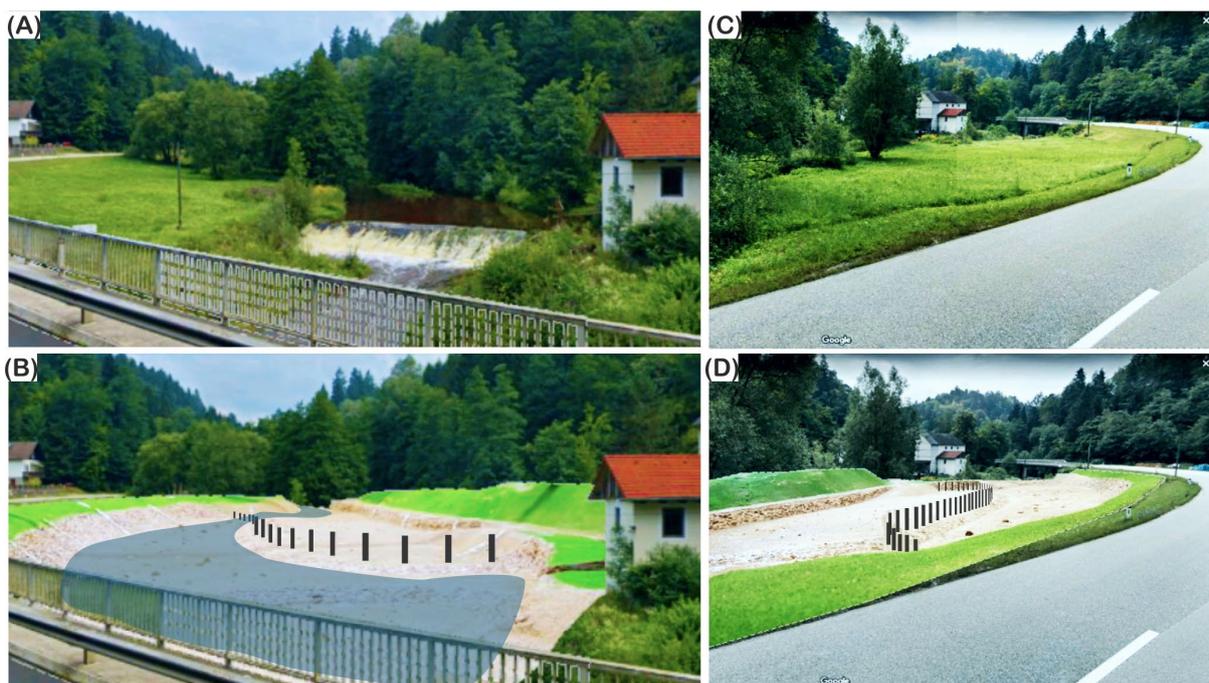


Abbildung 12: Position des geplanten Wildholzrechsens: A: Aktueller Zustand mit Blick gegen die Fließrichtung; B: Geplanter Zustand mit Blick gegen Fließrichtung; C: Aktueller Zustand mit Blick in Fließrichtung; D: Geplanter Zustand mit Blick in Fließrichtung (In Anlehnung an Hödl, 2021)

Dadurch kann die Wasseraustrittslinie entlang des Rechsens im Vergleich zu herkömmlichen Querbauwerken stark verlängert und das Risiko einer kompletten Verlegung samt Überströmung stark reduziert werden. Dies verringert das Restrisiko für das sich flussabwärts befindliche Siedlungsgebiet von Perg. Im Hauptschluss kann der Abfluss ungehindert stattfinden um die ökologische Durchgängigkeit zu gewährleisten und einen unnötig hohen Räumungsaufwand durch die Verlegung bei



kleineren Abflüssen zu vermeiden. Der Nebenschluss wird erst ab einem Abfluss im Bereich des mittleren jährlichen Hochwassers (MHQ, rund $32 \text{ m}^3/\text{s}$) wirksam. Das HQ100 liegt bei rund $102 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Trennung zwischen Haupt- und Nebenschluss erfolgt dabei durch eine Überlaufschwelle aus Wasserbausteinen mit einer Neigung von 1:3. Es ist zu beachten, dass die Richtungsänderung im Bereich der Überlaufschwelle zum Nebenschluss > 60 Grad betragen sollte, um das anströmende Wildholz an die Außenkurve und somit in den Bereich des Nebenschlusses tragen zu können. Im Optimalfall erfolgt dies durch eine natürliche Richtungsänderung des Gewässers, im Fall der Naarn musste dieser Knick mittels Überlaufschwelle künstlich konstruiert werden. Der geplante Raum für die Ablagerung des Wildholzes beträgt rund 2.300 m^2 .

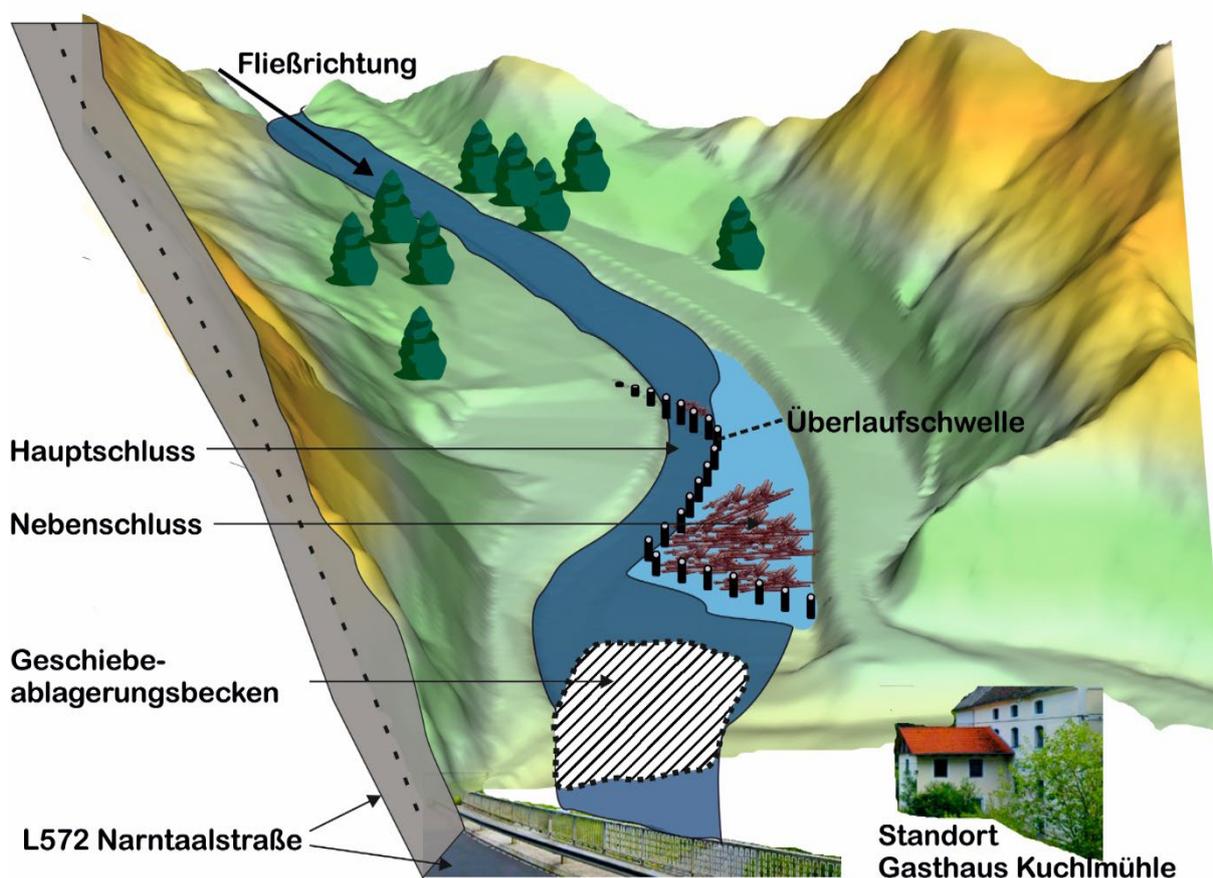


Abbildung 13: Überhöhte Darstellung des Bereiches „Kuchlmühle“ mit der geplanten Rechenvariante, welche sich in Haupt- und Nebenschluss aufteilt

Anschließend an den geplanten Rechen befindet sich ein rund 900 m^2 großes Geschiebeablagerungsbecken (Tiefe zwischen $1,2 \text{ m}$ und $1,5 \text{ m}$) für rund 1.000 m^3 Geschiebe, welches ebenfalls durch Wasserbausteine mit einer Böschungsneigung von 1:2 im Gewässer eingebaut wird. Das Becken ist nötig um den Geschiebetrieb im Siedlungsgebiet und im speziellen im Bereich des Naturschwimmbades im Stadtgebiet



zu reduzieren. Aus dem Schwimmbad müssen bis weilen jährlich rund 1.000 m³ Geschiebe (Kornfraktion rund 1 cm) mittels Bagger entnommen werden. Die an das Geschieberückhaltebecken anschließende Brücke der L572 Naarntalstraße wurde bislang noch nicht durch Wildholz verklaust. Neben der bestehenden Forststraße auf der orografisch linken Uferseite befindet sich eine Druckleitung, welche im Hochwasserfall nicht umströmt werden darf. Die Wasseranschlagslinie ist somit unter dem Geländeniveau der Druckleitung zu halten.



4 Aufbau Modellversuch und Durchführung

Auszug aus Hödl (2021)

4.1 Planung

Bevor mit der eigentlichen Planung des Modellaufbaues begonnen wurde, mussten die Naturmaße der geplanten Schutzmaßnahme sowie die in Natura gemessenen Durchflüsse verschiedener Abflussereignisse, die uns von der Wildbach- und Lawinenverbauung Gebietsbauleitung Oberösterreich Nord zur Verfügung gestellt wurden, auf den Modellmaßstab $M=1:30$ umgerechnet werden. Da die in den Strömungsvorgängen dominierende Kraft die Schwerkraft ist und es sich um ein offenes Gerinne handelt, wurden hierfür die Froud'schen Modellgesetze herangezogen.

Das Froud'sche Modellgesetz wird bei jenen Strömungsvorgängen angewendet, bei denen die Schwerkraft dominierend ist (Drobir, 2004).

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

v Strömungsgeschwindigkeit

L Länge (hier Abflusshöhe)

g Erdbeschleunigung

In der Natur und im Modell muss die Froud'sche Zahl gleich groß sein. Diese errechnet sich aus der Geschwindigkeit v und einer Länge L . Die Modellgeschwindigkeit in diesem Modellgesetz ist kleiner als in der Natur, im Gegensatz zum Reynold'schen Modellgesetz (Drobir, 2004).

Die Umrechnung der Größen in Natur auf die Größen im Modell erfolgt dann über die Maßstabszahl und den daraus errechneten Faktor (Tabelle 7).

Tabelle 7: Umrechnung unterschiedlicher Größen in Natura auf die Modellgröße

Modell	Natur	Froud'sches Modellgesetz	Maßstabszahl
1	30	$\lambda = \text{Maßstabszahl}$	30
			Faktor
Längen		λ	30
Flächen		λ^2	900
Geschwindigkeiten		$\lambda^{1/2}$	5,48
Zeiten		$\lambda^{1/2}$	5,48
Durchflüsse		$\lambda^{5/2}$	4.929



Der Durchfluss im Modell (4,9 l/s für das HQ1) ergibt sich somit durch die Division des Durchflusses in Natura von z.B. 24.000 l/s durch den Faktor des Durchflusses nach Froude (4.923) (Tabelle 8).

Tabelle 8: Für das Modell errechnete Durchflüsse für fünf verschiedene Jährlichkeiten

Frequenz	Durchfluss Natur (m ³ /s)	Durchfluss Modell (l/s)
HQ1	24	4,9
HQ5	50	10,1
HQ30	80	16,2
HQ100	102	20,7
HHÜL	111	22,5

Die Grundlage zur Errichtung des Modells basiert auf den Ergebnissen von Klinger und Pöchacker (2019) sowie einem Vermessungsplan des Standorts Kuchlmühle (Abbildung 14).

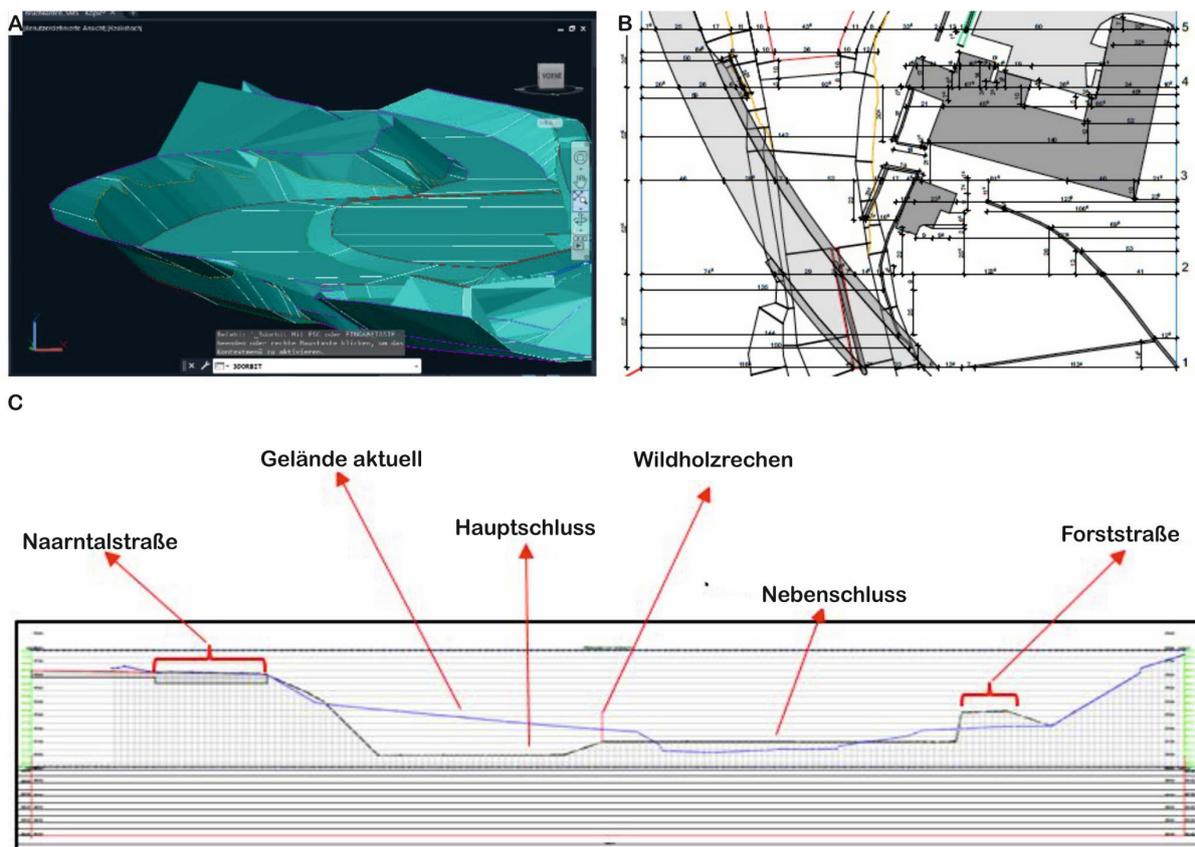


Abbildung 14: A: Digitales Geländemodell AutoCad Civil 3D 2020 vom Standort Kuchlmühle; B: Grundriss und Schnitte für das Modell M=1:30 im AutoCad Civil 3D 2020 am Standort Kuchlmühle; C: Beispiel eines Querschnittes im Rechenbereich (In Anlehnung an Hödl, 2021)

Aus diesen Daten wurde in Civil 3D 2020 ein Digitales Geländemodell erstellt, welches Grundlage für den Modellaufbau war. Dabei wurden die zwei Geländemodelle im AutoCad Civil 3D übereinander gelegt und ein neues Digitales Geländemodell erstellt,



welches die neue Geländeoberfläche abbildet. Durch dieses wurden 21 Schnitte gelegt, die das Gerinnequerprofil des Modells im Maßstab M=1:30 abbilden (Anhang 2). Es wurde die Höhenkote von 271,5 m. ü. A. für die Gestaltung der Einlaufschwelle verwendet.

4.2 Aufbau

Das hydraulische Modell wurde in fünf Abschnitte gegliedert und beginnt nach dem Messwehr (Thomsonwehr) und einer kurzen Einlaufstrecke mit dem Beruhigungsbecken. Darauf folgt die Zugabestrecke für das Wildholz, gefolgt vom Abschnitt mit dem Wildholzrechen. Dieser mündet in den Abschnitt der Abgabestrecke mit dem Geschieberückhaltebecken, welche mit dem Rücklaufbecken abschließt (Abbildung 15).

Beruhigungsbecken:

Das Wasser wird von einem Sammelbecken unter dem Modell in eine erhöhte Thomsonwehr gepumpt, von wo aus es in den Einlaufbereich fließt. Um die Turbulenzen in der Zugabestrecke zu reduzieren wurde zwischen Thomsonwehr und Einlaufbereich ein Beruhigungsbecken eingebaut.

Zugabestrecke:

In diesem Abschnitt wird dem Modell das Wildholz zugegeben, welches von hier aus in den Abschnitt des Wildholzrechens einfließen kann. Die Zugabe des Wildholzes erfolgt per Hand. Dieser Abschnitt ist insofern von Bedeutung, da sich hier das zugegebene Wildholz mit dem aus dem Beruhigungsbecken auslaufenden Wasser durchmischen kann und je nach Art der Zugabe als Wildholzteppich oder einzeln in den Bereich des Schutzbauwerkes strömt.

Abschnitt des geplanten Wildholzrechens:

Dieser Abschnitt untergliedert sich in den Hauptschluss (bei Normalwasser wasserführend), in den Wildholzrechen (Wildholzfilterung) und in den Nebenschluss, in dem sich das Wildholz ablagern kann.

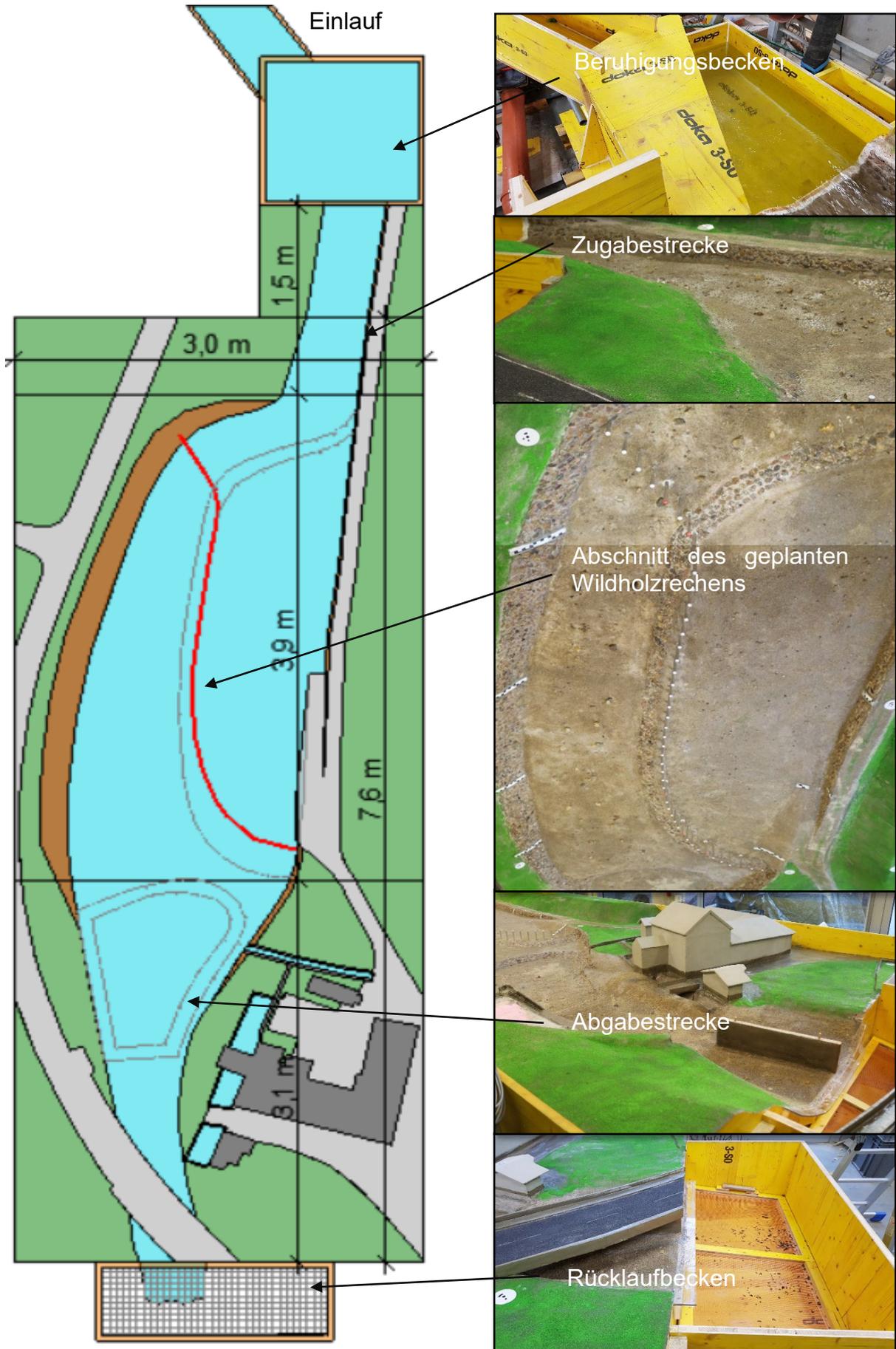


Abbildung 15: Übersichtsplan über die wesentlichen Modellabschnitte (In Anlehnung an Hödl, 2021)



Abgabestrecke und Geschieberückhaltebecken:

Das ist jener Bereich unterhalb des Schutzbauwerkes, der das durch den Wildholzrechen durchgegangene Wildholz abführt. Zusätzlich ist hier ein Becken für rund 1.000 m³ Geschiebe eingebaut.

Rücklaufbecken:

Hier wird das Wildholz, das den Rechen passieren konnte, herausgefiltert. Das Reinwasser rinnt von hier wieder in das Sammelbecken unter dem Modell und wird über ein Pumpsystem wieder in das Thomsonwehr geleitet. Die hier zurückgehaltenen Holzteile werden gezählt und dienen folglich zur Bewertung der Effektivität des Rechens.

Der wesentliche Modellbereich, sprich ohne Beruhigungsbecken, Zugabestrecke und Rücklaufbecken, beträgt in der Natur rund 228 m in der Länge und 90 m in der Breite. Auf das Modell übertragen, welches im Maßstab M=1:30 errichtet wurde, erstrecken sich die Außenmaße auf eine Länge von 7,6 m und auf eine Breite von 3,0 m.

Für die Plattform sowie für die 21 Querprofile wurden Doka-Schaltafeln verwendet. Auf der Plattform wurden die einzelnen Bestandteile des Modells wie Gebäude, Wildholzrechen, Gerinne, Fortstraße usw aufgetragen. Im Anschluss wurden die Querprofile bis zum Bereich des Wildholzrechens montiert, die Unterkonstruktion des Rechens wurde mittels Kanthölzer aus Fichte konstruiert (Abbildung 16).



Abbildung 16: Grundgerüst des Modelles mit Plattform, Querprofilen und der Unterkonstruktion für den Rechen (In Anlehnung an Hödl, 2021)

Im nächsten Schritt wurden die Lücken zwischen den Doka-Querprofilen mit extrudiertem Polysterol (XPS) ausgekleidet. Das XPS wurde zwischen die einzelnen Querprofile hineingestellt, an der Plattform mittels Brunnenschaum fixiert und im Anschluss mit einem heißen Draht auf die passende Höhe modelliert. Im Bereich der Rechenkonstruktion wurden sechs Rechenstäbe eingeplant, welche die auftretenden Momente durch den Wildholzanprall messen sollen. Sie wurden mittels Stahlwinkel gesondert auf der Plattform verankert und stehen somit vom Rest der Rechenkonstruktion frei. Die restlichen Rechenelemente (Aluminiumrohre mit einem Außendurchmesser von 16 mm) wurden in den Ausbohrungen im Kantholz fixiert (Abbildung 17).

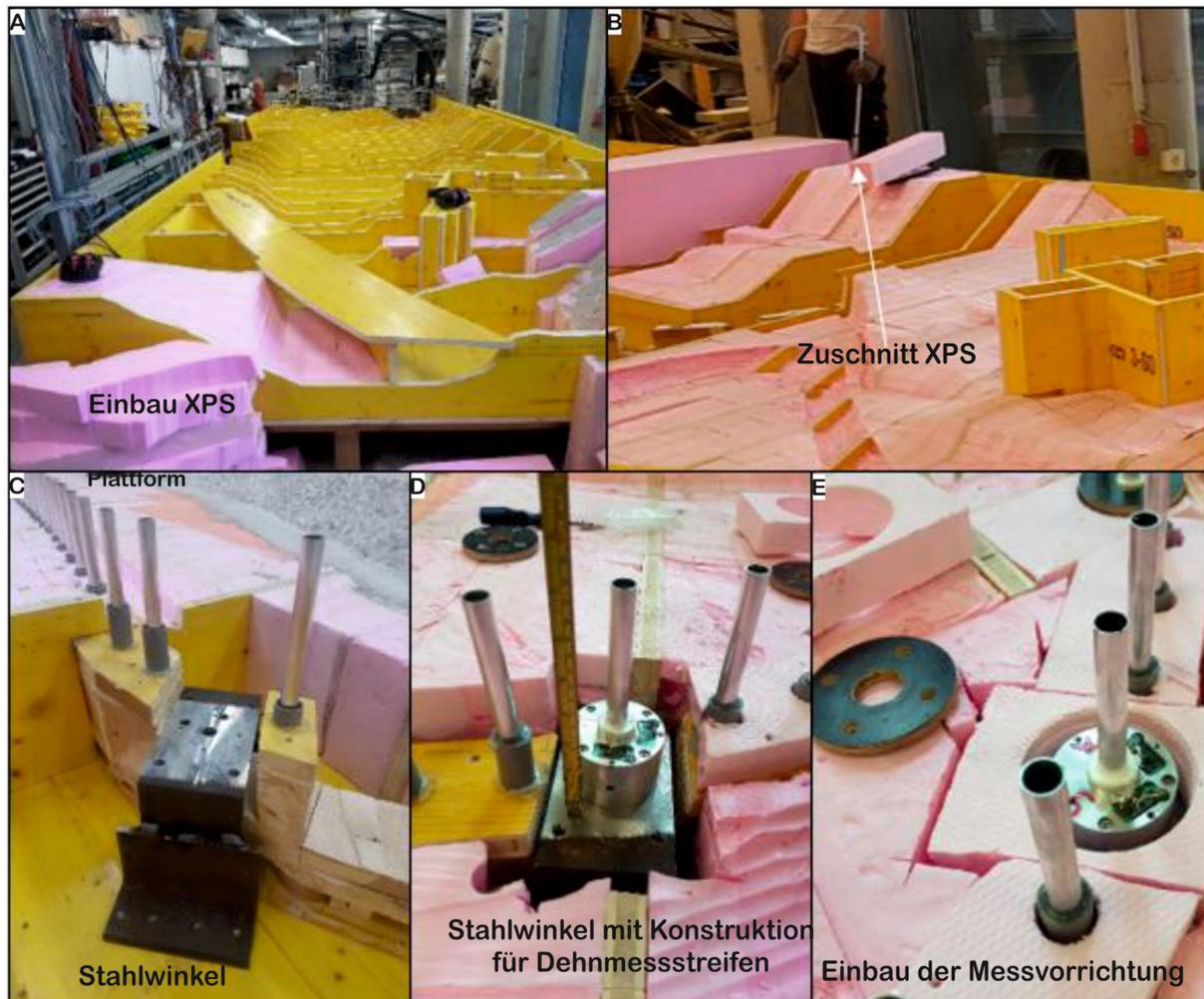


Abbildung 17: Einbau des XPS in die Zwischenräume zwischen den den Querprofilen (A und B) und der Rechenelemente (C, D und E) (In Anlehnung an Hödl, 2021)

Für Böschungen und Überlaufstellen sind in Natura Wasserbausteine vorgesehen. Diese Bereiche wurden im Modell tiefer ausgenommen bzw. ausgeschnitten, um hier die Wasserbausteine versenken zu können (Abbildung 18).

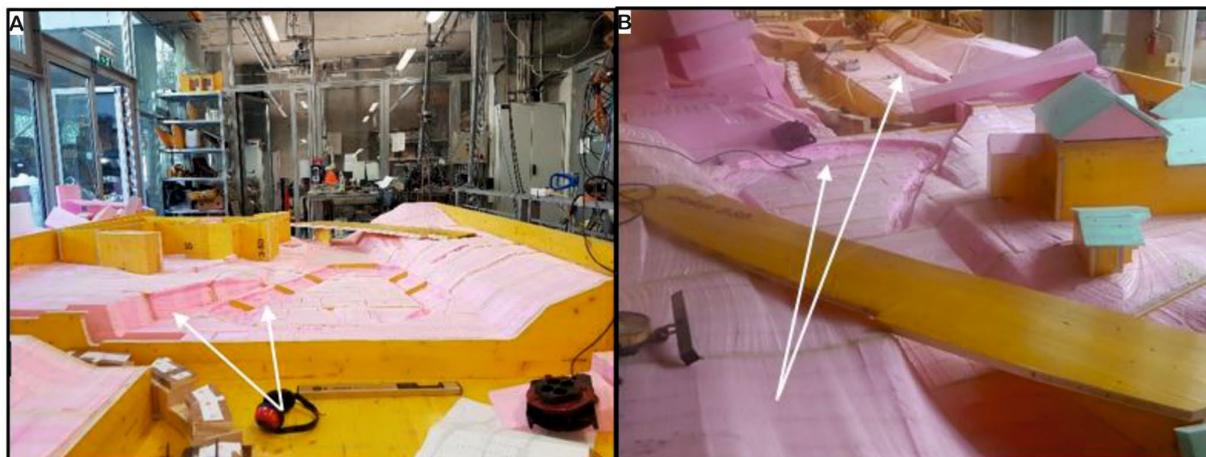


Abbildung 18: Aussparungen für die Grobsteinschichtungen (In Anlehnung an Hödl, 2021)



Da die zugeschnittene XPS-Oberfläche noch nicht die fertige Oberfläche darstellt, welche sich beispielsweise durch Steine und Schotter im Flussbett, durch Wiesen im Freiflächenbereich oder Asphalt im Straßenbereich kennzeichnet, wurden weitere Schritte im Zuge des Modellaufbaues durchgeführt. Zur Herstellung einer einheitlichen Modelloberfläche und zur Vorbeugung der Rissbildung wurde ein Flexkleber und ein Armierungsgewebe (Putzbewehrung) insgesamt rund 3 mm dick aufgetragen. Jene Bereiche mit Steinschichtungen wurden im Modell mit Bruchsteinen der Größe 3 cm bis 5 cm in Kalkzementputz verlegt. Diese Bruchsteine entsprechen in Natura Wasserbausteinen von ca. 0,90 m bis 1,50 m Größe. Im Bereich des Gerinnes wurde nach dem Aushärten der Spachtelung mit einer sogenannten Zahntraufe eine weitere Schicht mit dem Flexkleber aufgebracht (Abbildung 19).



Abbildung 19: Abdichtung des Gerinnes mittels Flexkleber und Armierung (In Anlehnung an Hödl, 2021)

Die durch die Zahntraufe entstandene Oberfläche, welche sich durch Rippen kennzeichnet, diente ausschließlich der kraftschlüssigen Verbindung zwischen Spachtelung und des im weiteren Schritt aufgetragenen Kalkzementputzes. Der Kalkzementputz wurde mit einer Schichtdicke von etwa 0,8 cm bis 1,2 cm aufgebracht und das Gerinne modelliert. Zum Abschluss sorgen mehrere Schicht Epoxidharz und



die darin eingestreute Rauigkeit aus Quarzsand (Körnung 0,1 mm bis 1,0 mm) für eine wasserdichten Abschluss der Modelloberfläche. Die Rauigkeit entspricht in der Natur einer Kornfraktion von 0,9 cm bis 3,0 cm. Die restliche Modelloberfläche wurde ebenfalls mit Epoxidharz und Modellsand verschiedener Farben versiegelt (Abbildung 20 und Abbildung 21).



Abbildung 20: Verputzen und grobe Rauigkeitselemente im Gerinnebereich (A und B), Epoxidharz zum Abdichten und zur Einbringung der feinen Rauigkeitselemente (Sand) (C und D) (In Anlehnung an Hödl, 2021)

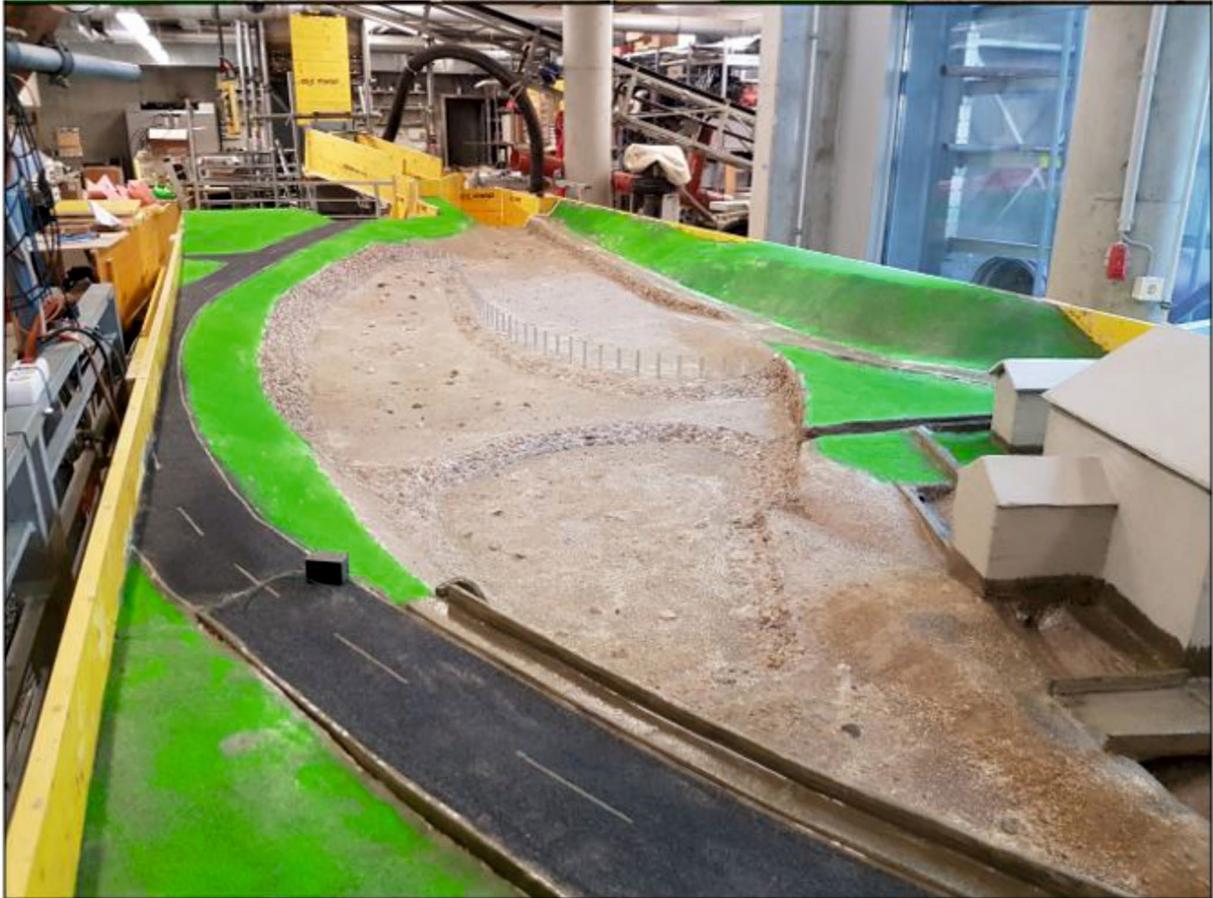


Abbildung 21: Fertiges Modell mit Blick gegen die Fließrichtung (In Anlehnung an Hödl, 2021)



4.3 Messeinrichtungen

Das fertige Modell wurde zur Überprüfung der Randbedingungen und der Ergebnisse mit unterschiedlichen Messeinrichtungen ausgestattet (Abbildung 22).

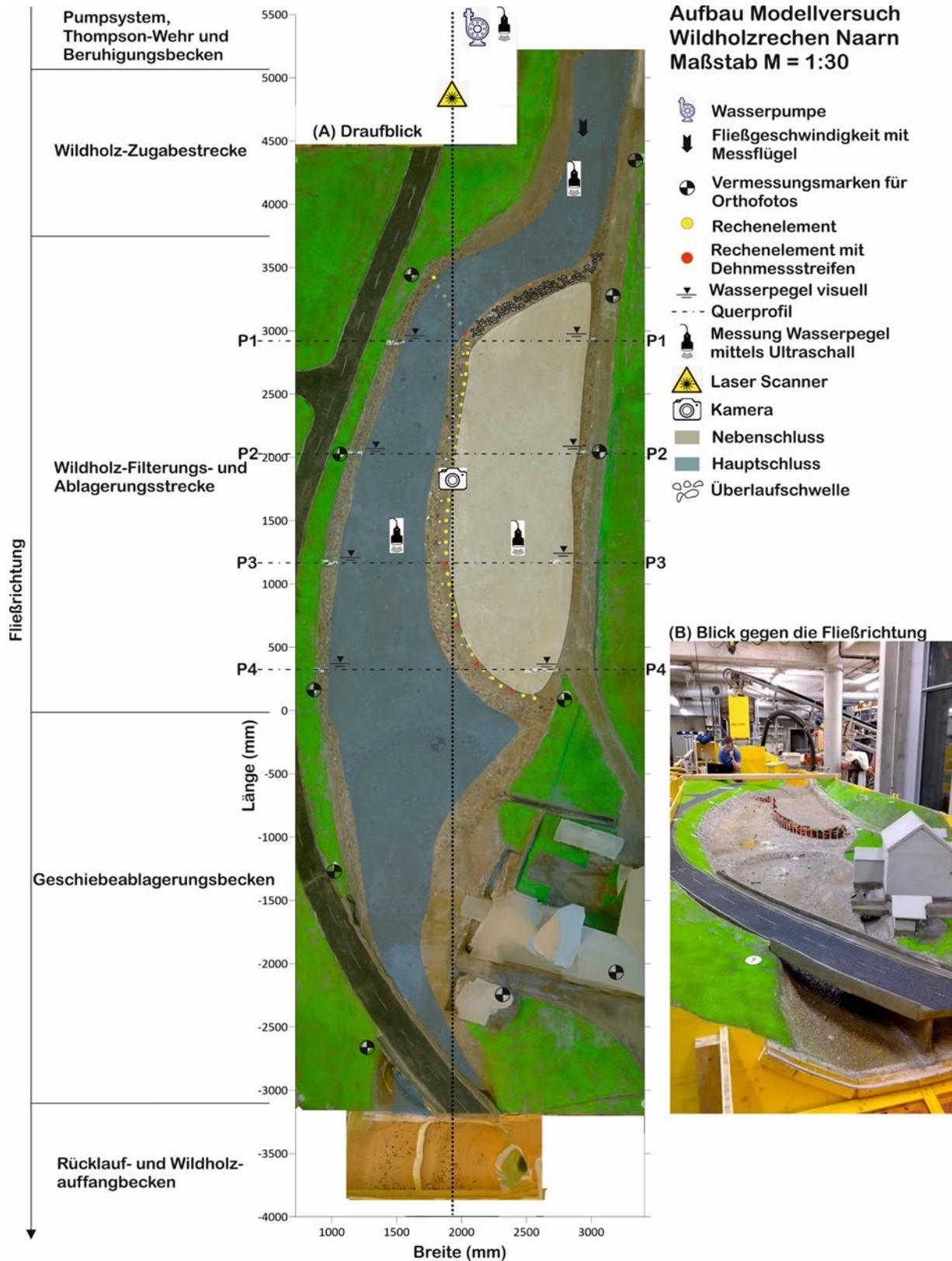


Abbildung 22: Übersichtsplan über die verwendete Messeinrichtung



Neben der Funktionalität wurde auch die Änderung des Wasserspiegels durch den Einstau mittels Ultraschall Sensoren (Abbildung 23 B), die Fließgeschwindigkeit im Einlaufbereich sowie die Dichte der Holzablagerung im Rechenbereich mittels Laserscanner untersucht und über die abgelagerte Holzmenge (Zugabe Festmeter) eine Lagerungsdichte ausgerechnet (Abbildung 23 C und D).



Abbildung 23: Messeinrichtungen im Modell. A) Dehnmessstreifen zur Momentenmessung; B) Ultraschall für Wasserspiegellagen; C) Laserscanner; D) Aus dem Laserscan erstelltes Höhenmodell der Ablagerung

Zusätzlich wurde an sechs ausgewählten Rechenstäben das Einspannmoment aufgezeichnet (Abbildung 23 A). Hier sollen Informationen für die Lastfälle Einzelbaumanprall und Anprall Holzpaket gewonnen werden (Abbildung 24).

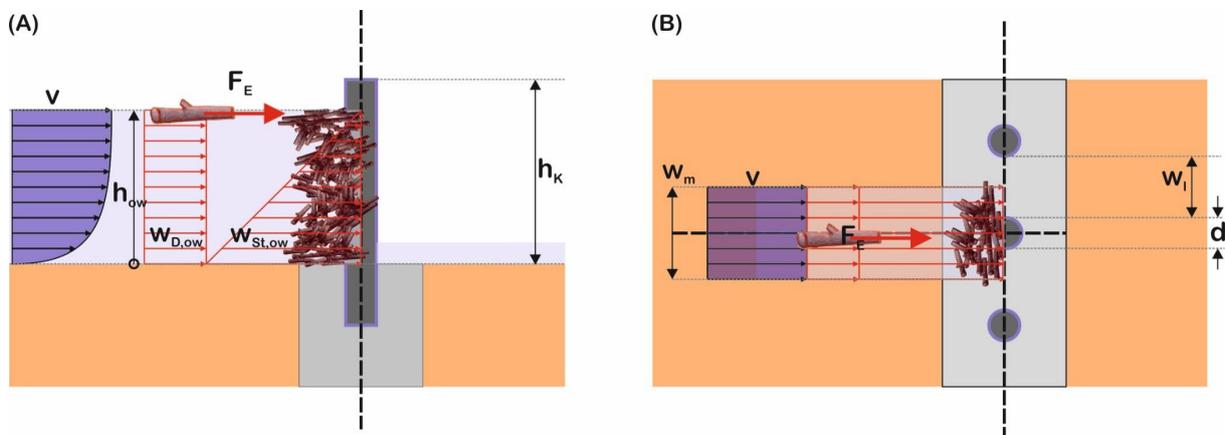


Abbildung 24: A: Schematische Darstellung des Lastfalles Einzelbaumanprall und Holzpaket (Seitenansicht); B: Schematische Darstellung des Lastfalles Einzelbaumanprall und Holzpaket (Draufsicht)

Geschwindigkeit und Messflügel:

Im Einlaufbereich kurz vor dem Nebenschluss unter dem Ultraschall wird mittels Messflügel die Fließgeschwindigkeit in (m/s) gemessen. Die gemessenen Werte sind mit $\lambda=5,48$ (Tabelle 7) zu multiplizieren, um diese auf Natura umzurechnen. Die Messabfolge basiert auf einem Raster (Abbildung 25:



Skizze der Messungen der Fließgeschwindigkeit mittels Messflügel im Einlaufbereich des Modelles) und wird händisch durchgeführt.

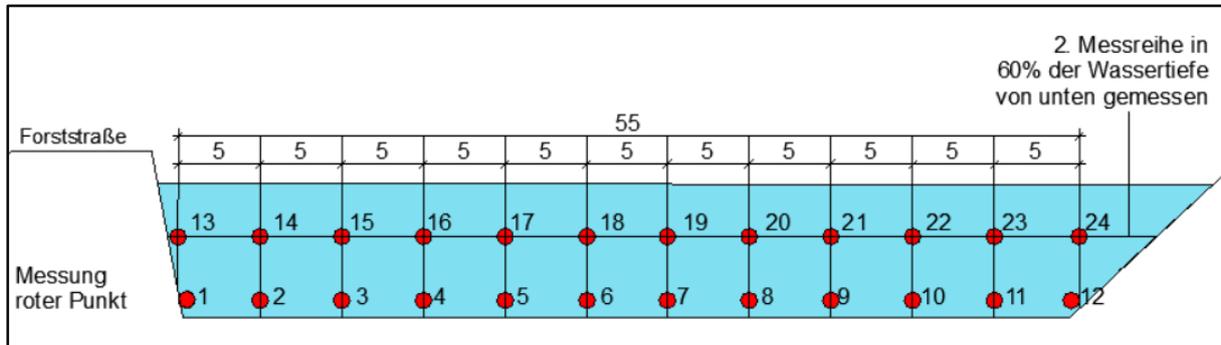


Abbildung 25: Skizze der Messungen der Fließgeschwindigkeit mittels Messflügel im Einlaufbereich des Modelles (Quelle: Hödl, 2021)

Wasserhöhe und Ultraschall:

Die Ultraschallmesseinrichtungen sind unmittelbar vor dem Einlaufbereich sowie im unteren Drittel des Nebenschlusses und des Hauptschlusses angebracht worden, um hier die Wassertiefen in (mm) zu messen. Die über dem Modell angebrachten Ultraschallmesseinrichtungen sind mittels Kabel über einen Quantum mit einem Laptop verbunden. Die im Modell gemessenen Werte werden mit $\lambda=30$ multipliziert und so auf Naturmaße umgerechnet. Die hier gewonnenen Werte werden für eine Wasserspiegelanalyse herangezogen.

Wassertiefe mittels Lattenpegel:

Entlang des Hauptschlusses sowie des Nebenschlusses wurden je Seite vier Pegelstäbe angebracht. Die Werte werden während des Versuchsablaufes optisch abgelesen und für eine Wasserspiegelanalyse herangezogen. Die Umrechnung der im Modell gemessenen Werte auf Naturmaße erfolgt gleich wie im Ultraschall beschrieben.



Momentenmessung mittels Dehnmessstreifen: An sechs ausgewählten Rechenstäben wurden durch Hr. Ing. Friedrich Zott je vier Dehnmessstreifen angebracht und in einer eigens konstruierten Kraftmessdose verkabelt. Diese Kraftmessdosen sind über Kabel mit einem Rechner verbunden. Die hier gemessenen Werte dienen dazu, einen Einzelanprall eines Holzstammes sowie die Momente ganzer Wildholzpakete, die sich hinter dem Wildholzrechen aufstauen, zu messen. Die gemessenen Werte sollen Aufschluss über die Momente und die Richtung beim Aufprall geben. Die auftretenden Momente werden am Rechner live dargestellt und aufgezeichnet und können im Nachhinein über den Faktor $\lambda=810.000$ (30^4) in Natura umgerechnet werden.

Modelloberfläche und Laserscanner: Die Einrichtung des Laserscanners befindet sich über dem Modell. Diese dient zur Ermittlung der Geländeoberfläche und der Wildholzablagerung hinter dem Wildholzrechen sowie zur Ermittlung des daraus resultierenden Auflockerungsfaktors.

Actionkameras: Je Versuch wird eine Actionkamera an unterschiedlichen Bereichen des Modells angebracht, um aus unterschiedlichen Perspektiven Fotos und Videos erstellen zu können. Zwei Actionkameras werden links und rechts neben dem Laser angebracht und dienen zur Erstellung von Orthofotos unmittelbar nach dem Modellversuch

4.4 Wildholzlänge- und Dichte

Vor Beginn der Modellversuche wurden die Holzarten Fichte und Buche (wie im Einzugsgebiet) für die Versuchsreihen vorgesehen. Bei einem Vorversuch haben sich



die Buchenäste dabei aufgrund ihrer hohen Dichte als ungeeignet herausgestellt. Nach weiteren Versuchen mit Schwarzerlenästen, Bergahornästen und Haselästen fiel die Entscheidung für die Verwendung von Haselästen als Laubbaumart. Die Fichten- und Haseläste wurden dann eine Woche in Wasser eingelegt. Die Dichte der Fichte betrug am 7. Tag $0,95 \text{ g/cm}^3$ und jene der Hasel $0,98 \text{ g/cm}^3$. Die Aufteilung der Wildholzmenge für den Modellversuch beläuft sich dabei auf 50 % Hasel und 50 % Fichte. Das für den Modellversuch vorgesehene Wildholz wurde in drei Sortimente aufgeteilt (Abbildung 26 A), die den Naturmaßen 2,00 m (klein), 4,50 m (mittel) und 7,20 m (groß) entsprechen und zur besseren Veranschaulichung eingefärbt (Abbildung 26 B und C).



Abbildung 26: A: Beispiele der drei verwendeten Holzsortimente; B: Veranschaulichung der Ablagerung durch die unterschiedliche Färbung der Sortimente; C: Sortierung im Rücklaufbecken

Diese Längen wurden aufgrund der Höhe des Mittelstammes im Einzugsgebiet sowie einem Verkleinerungsfaktor laut Literatur festgelegt. Umgerechnet auf den Modellmaßstab ergeben sich Längen von 6,67 cm (kleines Sortiment), 15,00 cm (mittleres Sortiment) bzw. 24,00 cm für das große Sortiment (Tabelle 9). Anteilsmäßig wurde eine Aufteilung (Gewicht) von 60 % auf das kleine Sortiment, 30 % auf das mittlere Sortiment und 10 % auf das große Sortiment angestrebt. Aufgrund eines angenommenen Mittelstammdurchmessers ergeben sich folglich Stückzahlen von 1.400 Stämmen des kleinen Sortiments, 170 des mittleren Sortiments und 28 des großen Sortiments.

Um die schlussendlich verwendete Wildholzmenge- und Zusammensetzung exakt ermitteln zu können wurden 28 Stichproben je Sortiment durchgeführt. Die gemittelten Durchmesser beliefen sich auf 1,00 cm für das kleine Sortiment, auf 1,33 cm für das mittlere Sortiment und auf 1,67 cm für das große Sortiment. Somit wurde die



angestrebte Gewichtsverteilung je Sortiment mit maximal 2 % Abweichung erreicht (Tabelle 9). Die Festmeter im Modell werden hier der Übersicht halber als dm^3 angegeben.

Tabelle 9: Ermittlung der im Modell verwendeten Wildholzmenge und Umrechnung auf Naturmaße

	Sortiment	Ø Mittelstamm	Anzahl (Stk.)	Menge	Gewicht (%)
Modell	6,7 cm	1,0 cm	1.400	7,3 dm^3	59
Natur	2,0 m	0,3 m		198 fm	
Modell	15,0 cm	1,3 cm	170	3,6 dm^3	29
Natur	4,5 m	0,4 m		96 fm	
Modell	24,0 cm	1,7 cm	28	1,5 dm^3	12
Natur	7,2 m	0,5 m		40 fm	
Summe Modell			1.598	012,4 dm^3	100
Summe Natur				334 fm	
Raummeter Verklausung = Festmeter mal Faktor 3				37,1 dm^3	
				1.001 m^3	

Die maximale Wildholzfracht beim HQ100 belief sich im Modell auf rund 12,4 dm^3 (in Natur rund 333 Festmeter) die über die Eigenschaften des Einzugsgebietes geschätzt wurden. Bei einem angenommenen Auflockerungsfaktor von drei ergibt das eine Wildholzfracht von rund 1.000 m^3 .

4.5 Versuchsanordnung und Durchführung

Die geplante Versuchsanordnung bestand anfangs aus zwei Versuchsreihen mit je 27 Versuchen. Bei jeder Versuchsreihe wurde die Funktionalität des Rechens mit den Durchflüssen des HQ1, HQ10, HQ30, HQ100 und des Überlastfalles (HHÜL) getestet. Die beiden Versuchsreihen unterscheiden sich bezüglich des lichten Stababstandes zwischen den Rechenelementen. Dabei wurde eine Versuchsreihe mit einem lichten Stababstand in Natura von 2,0 m und bei eine zweiten Versuchsreihe mit einem lichten Stababstand in Natura von 4,5 m durchgeführt (Tabelle 10).

Tabelle 10: Versuchsmatrix für die Varianten V1 mit 2,0 m lichtem Abstand und V2 mit 4,5 m lichtem Abstand. WP = Zugabe als Wildholzpaket und WE = Zugabe Wildholz einzeln

Wildholzrechen-Stababstand 2,0 m (V1)						
Wildholzpaket (WP)	1	HQ1.V.1.1.	HQ5.V.1.W.P.1.	HQ30.V.1.W.P.1.	HQ100.V.1.W.P.1.	HHÜL.V.1.W.P.1.
Wildholzpaket (WP)	2	HQ1.V.1.2.	HQ5.V.1.W.P.2.	HQ30.V.1.W.P.2.	HQ100.V.1.W.P.2.	HHÜL.V.1.W.P.2.
Wildholzpaket (WP)	3	HQ1.V.1.3.	HQ5.V.1.W.P.3.	HQ30.V.1.W.P.3.	HQ100.V.1.W.P.3.	HHÜL.V.1.W.P.3.
Wildholz einzeln (WE)	4		HQ5.V.1.W.E.1.	HQ30.V.1.W.E.1.	HQ100.V.1.W.E.1.	HHÜL.V.1.W.E.1.
Wildholz einzeln (WE)	5		HQ5.V.1.W.E.2.	HQ30.V.1.W.E.2.	HQ100.V.1.W.E.2.	HHÜL.V.1.W.E.2.
Wildholz einzeln (WE)	6		HQ5.V.1.W.E.3.	HQ30.V.1.W.E.3.	HQ100.V.1.W.E.3.	HHÜL.V.1.W.E.3.



Wildholzrechen-Stababstand 4,5 m (V2)						
Wildholzpaket (WP)	7	HQ1.V.2.1.	HQ5.V.2.W.P.1.	HQ30.V.2.W.P.1.	HQ100.V.2.W.P.1.	HHÜL.V.2.W.P.1.
Wildholzpaket (WP)	8	HQ1.V.2.2.	HQ5.V.2.W.P.2.	HQ30.V.2.W.P.2.	HQ100.V.2.W.P.2.	HHÜL.V.2.W.P.2.
Wildholzpaket (WP)	9	HQ1.V.2.3.	HQ5.V.2.W.P.3.	HQ30.V.2.W.P.3.	HQ100.V.2.W.P.3.	HHÜL.V.2.W.P.3.
Wildholz einzeln (WE)	10		HQ5.V.2.W.E.1.	HQ30.V.2.W.E.1.	HQ100.V.2.W.E.1.	HHÜL.V.2.W.E.1.
Wildholz einzeln (WE)	11		HQ5.V.2.W.E.2.	HQ30.V.2.W.E.2.	HQ100.V.2.W.E.2.	HHÜL.V.2.W.E.2.
Wildholz einzeln (WE)	12		HQ5.V.2.W.E.3.	HQ30.V.2.W.E.3.	HQ100.V.2.W.E.3.	HHÜL.V.2.W.E.3.

Die zugeführte Wildholzmenge ist dabei vom Durchfluss abhängig, da bei einem Ereignis mit einer fünfjährigen Wiederkehrwahrscheinlichkeit (HQ5) eine geringere Ereignis-Wildholzfracht zu erwarten ist wie bei einem Ereignis mit einer hundertjährigen Wiederkehrwahrscheinlichkeit (HQ100). Bei dem Modellversuch mit der einjährigen Wiederkehrwahrscheinlichkeit (HQ1) wird dem Modell kein Wildholz zugegeben. Erst ab dem HQ5 wird dem Modell Wildholz zugegeben, wobei die eingebrachte Menge mit steigendem Abfluss kontinuierlich zunimmt. So werden beim HQ5 30 % der gesamten Wildholzmenge (Tabelle 11) eingebracht, bei HQ30 sind es 50 % und beim HQ100 sowie dem Überlastfall (HHÜL) ist es die gesamte Wildholzmenge. Dabei wird das Wildholz entweder einzeln oder in Form von drei Wildholzpaketen im Bereich der Zugabestrecke eingebracht. Bei den Versuchen, bei denen das Wildholz in Paketen zugegeben wird, ist die Zugabe auf drei Wildholzpakete aufgeteilt, wobei das erste Paket 25 %, das zweite Paket 60 % und das dritte Paket 15 % der zugegebenen Wildholzmenge beinhaltet. Bei der Einzelzugabe wird das Holz aus der Hand einzeln in die Zugabestrecke eingebracht ohne dass mehrere Holzteile miteinander als Teppich transportiert werden. Die Dauer der Einzelzugabe bei HQ5 beläuft sich auf viereinhalb Minuten, beim HQ30 auf sechseinhalb Minuten, beim HQ100 und beim HHÜL auf zehn Minuten. Es werden je Abfluss und Zugabemethode drei Modellversuche durchgeführt, die anschließend gemittelt und analysiert werden.

Tabelle 11: Wildholzzugabemenge in Abhängigkeit des Abflusses und Aufteilung der Pakete sowie die Zugabedauer bei der Einzelzugabe

Abflüsse	HQ1	HQ5		HQ30		HQ100		HHÜL	
		Anteil (%)	Menge (dm ³)						
Paketzugabe gesamt	/	30	3,7	50	6,2	100	12,4	100	12,4
1. Paket(25 %)	/		0,9		1,5		3,1		3,1
2. Paket (60 %)	/		2,2		3,7		7,4		7,4
3. Paket (15 %)	/		0,6		0,9		1,9		1,9



Einzelzugabe		30	3,7	50	6,2	100	12,4	100	12,4
Dauer (min)	/	4,5		6,5		10		10	

Um das Wildholz mit einer Vorsättigung dem Modell zugeben zu können, wurde das Holz rund 24 Stunden vor dem geplanten Versuch in Wasser eingelegt. Zudem konnten somit große Dichteschwankungen durch die Sättigung während der Versuche verhindert werden. Die Dichte des eingebrachten Wildholzes lag dabei im Mittel bei rund $0,91 \text{ g/cm}^3$ was laut Literatur im Bereich von frischem Holz liegt. Das sich im Rücklaufbecken befindliche Wildholz, das während des Modellversuches den Wildholzrechen passiert hat, wird abgezählt und abgewogen um die Effektivität ermitteln zu können.

Aufgrund der s-förmigen Anordnung der Elemente und der künstlich erzeugten Richtungsänderung durch die Überlaufschwelle kam es durch die Strömungsänderung zu enormen Wildholzablagerungen im oberen Rechenbereich und zur Verlegung des Hauptschlusses in der Anfangsphase der Versuchsdurchführung. Um dies zu vermeiden wurde der Rechen sowie der Bereich vor der Überlaufschwelle optimiert und zwei weitere Versuchsreihen mit dem HQ100 durchgeführt (VO und VO1) (Tabelle 12).

Tabelle 12: Die Optimierten Varianten VO und VO1

Variante (VO)			Variante (VO1)		
Wildholzpaket (WP)	13	HQ100.VO.WP1.	Wildholzpaket (WP)	19	HQ100.VO1.WP1.
Wildholzpaket (WP)	14	HQ100.VO.WP2.	Wildholzpaket (WP)	20	HQ100.VO1.WP2.
Wildholzpaket (WP)	15	HQ100.VO.WP3.	Wildholzpaket (WP)	21	HQ100.VO1.WP3.
Wildholz einzeln (WE)	16	HQ100.VO.WE1.	Wildholz einzeln (WE)	22	HQ100.VO1.WE1.
Wildholz einzeln (WE)	17	HQ100.VO.WE2.	Wildholz einzeln (WE)	23	HQ100.VO1.WE2.
Wildholz einzeln (WE)	18	HQ100.VO.WE3.	Wildholz einzeln (WE)	24	HQ100.VO1.WE3.

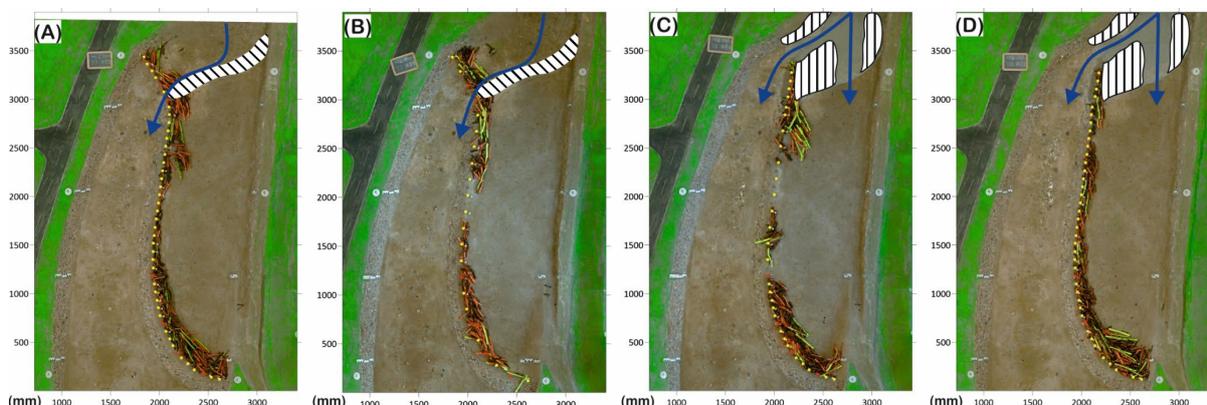


Abbildung 27: A: Variante 1 (V1) mit Überlaufschwelle und einem lichten Stababstand von 2 m; B: Variante 2 (V2) mit Überlaufschwelle und einem lichten Stababstand von 4,5 m; C: Optimierte Variante (VO) mit abgeflachter Überlaufschwelle und variablem Stababstand; D: Optimierte Variante 1 (VO1) mit einer abgeflachten Überlaufschwelle und einem lichten Stababstand von 2 m



Tabelle 13: Modellkonfiguration der Durchgeführten Versuche

Variante	Abbildung 27	Stababstand (m)	Stabanordnung	Anzahl Stäbe (Stk.)	Einlaufbereich	Untersuchter Abfluss
V1	(A)	2,0	s-förmig	45	Schwelle	HQ1, HQ5, HQ30, HQ100, HHÜL
V2	(B)	4,5	s-förmig	23	Schwelle	HQ1, HQ5, HQ30, HQ100, HHÜL
VO	(C)	Variabel	j-förmig, nicht über den gesamten Abflussquerschnitt	32	Abgeflachte Schwelle	HQ100
VO1	(D)	2,0	j-förmig, nicht über den gesamten Abflussquerschnitt	42	Abgeflachte Schwelle	HQ100



5 Ergebnisse

5.1 Wildholzurückhalt und Verteilung

Die Filterfunktion ist dabei wie angenommen zum Großteil von dem lichten Abstand zwischen den Rechenelementen abhängig. So zeigt die Versuchsreihe V1 mit einem lichten Stababstand über den gesamten Gewässerabschnitt (45 Elemente) eine Durchlässigkeit für Wildholz von weniger als 20 %. Bei der Variante VO1 mit einem lichten Stababstand von 2 m reichen die Elemente nicht über den gesamten Hauptschluss, die Durchlässigkeit ist hier um gut 2 % höher was nach Auswertung der Videoaufnahmen genau auf diesen offenen Bereich zurückzuführen ist. Die Variante mit teils 2 m und teils 4,5 m lichten Stababstand (VO) hat schon eine Durchlässigkeit von rund 40 %, die Variante V2 mit einer konstanten lichten Weite von 4,5 m sogar von über 60 % (Abbildung 28).

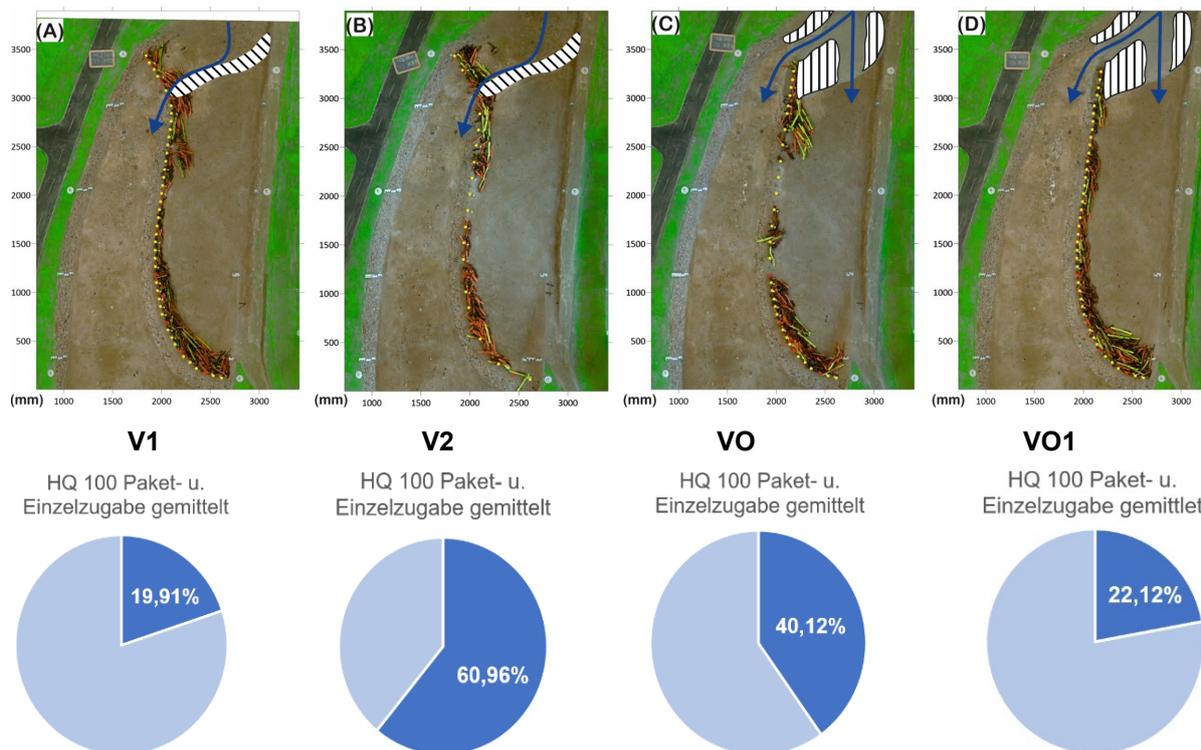


Abbildung 28: A: Variante 1 (V1) mit Überlaufschwelle und einem lichten Stababstand von 2 m, darunter gemittelter Wildholzdurchgang für das HQ100 B: Variante 2 (V2) mit Überlaufschwelle und einem lichten Stababstand von 4,5 m, darunter gemittelter Wildholzdurchgang für das HQ100 C: Optimierte Variante (VO) mit abgeflachter Überlaufschwelle und variablem Stababstand, darunter gemittelter Wildholzdurchgang für das HQ100 D: Optimierte Variante 1 (VO1) mit einer abgeflachten Überlaufschwelle und einem lichten Stababstand von 2 m, darunter gemittelter Wildholzdurchgang für das HQ100 (In Anlehnung an Hödl, 2021)

Es ist festzuhalten, dass der Durchlass gerade in der Anfangsphase bei unverlegtem Rechen am größten ist. Da der Rechen bei den geringeren Holzmengen beim HQ5 und HQ30 nicht komplett verlegt wird, ist die Durchlässigkeit auch bei diesen kleineren Wildholzmengen recht hoch (Tabelle 14). Durch Analyse der Videoaufnahmen kann



gesagt werden, dass der Rechen nach ca. 800 m³ Holz stark verlegt ist und somit nur noch einzelne Holzteile passieren können. Bei der angenommenen Holzmenge von 1.000 m³ für das HQ100 ist der Rechen jedenfalls auf der gesamten Länge zumindest teilweise verlegt. Bei identer Holzmenge (wie beim HHÜL) und erhöhten Fließgeschwindigkeiten und Wasserständen nimmt die Durchlässigkeit zu. Die Stämme sind bei höheren Fließgeschwindigkeiten gerade gerichtet und werden an den Rechenelementen leichter ausgedreht (Tabelle 14).

Tabelle 14: Gemittelte Ergebnisse aus den Modellversuchen

Gemittelter Wildholzdurchgang in Prozent (Paketzugabe Einzelzugabe)				
Abfluss	V1	V2	VO	VO1
HQ5	23,6	56,4	/	/
HQ30	26,9	64,7	/	/
HQ100	19,9	61,0	40,1	22,1
HHÜL	25,5	68,9	/	/

Die gesamte Wildholzmenge, die den Rechen passieren konnte, wurde nach Sortimente aufgegliedert. Dabei ist die Durchlässigkeit sowohl bei der Paket- als auch bei der Einzelzugabe wie zu erwarten bei dem kürzesten Sortiment mit 2,00 m Länge am größten (Abbildung 29, Abbildung 30 und Abbildung 31). Die Auswertung der Durchlässigkeit der einzelnen Sortimente ist insofern wichtig, als dass die Verklausungsgefahr mit der Länge des Sortimentes zunimmt. Die kritische Länge ist dabei von der veklausungsgefährdeten Engstelle abhängig. Passieren viele kurze Sortimente den Rechen ist das Verklausungsrisiko also geringer als bei wenigen langen Sortimenten mit der gleichen Gesamtkubatur.

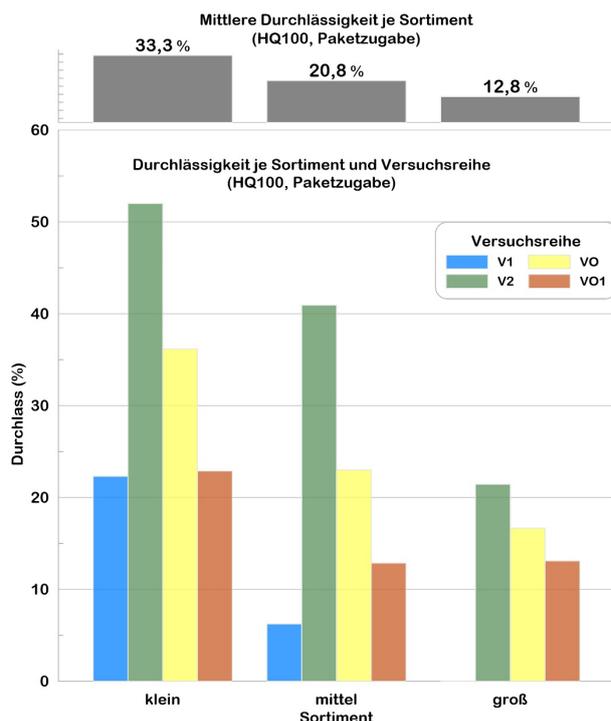


Abbildung 29: Mittlere Durchlässigkeit je Sortiment (oben) und Durchlässigkeit je Sortiment und Versuchsreihe (unten) jeweils mit Paketzugabe beim HQ100

Die Durchlässigkeit bei der Paketzugabe sind im Mittel kleiner als bei der Einzelzugabe. Beim HQ100 konnte im Mittel rund ein Drittel des kurzen Sortimentes den Rechen passieren. Die V1 und VO unterscheiden sich hier kaum (Abbildung 29). Rund ein Fünftel der mittleren Sortimente konnte den Rechen passieren, wobei die V1 hier am besten abschneidet. Beim großen Sortiment (4,50 m) konnte bei der V1 kein Stamm durch den Rechen. Insgesamt sind rund 13 % des langen Sortimentes durch die Rechenlinie abgeführt worden

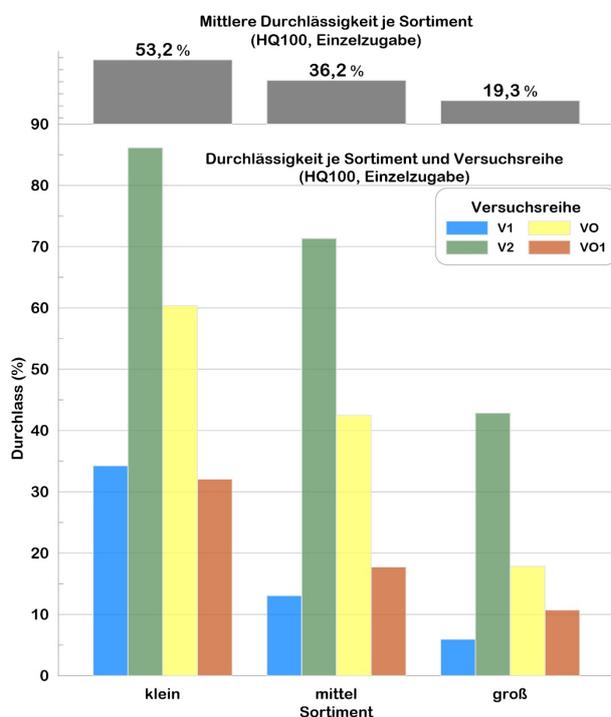
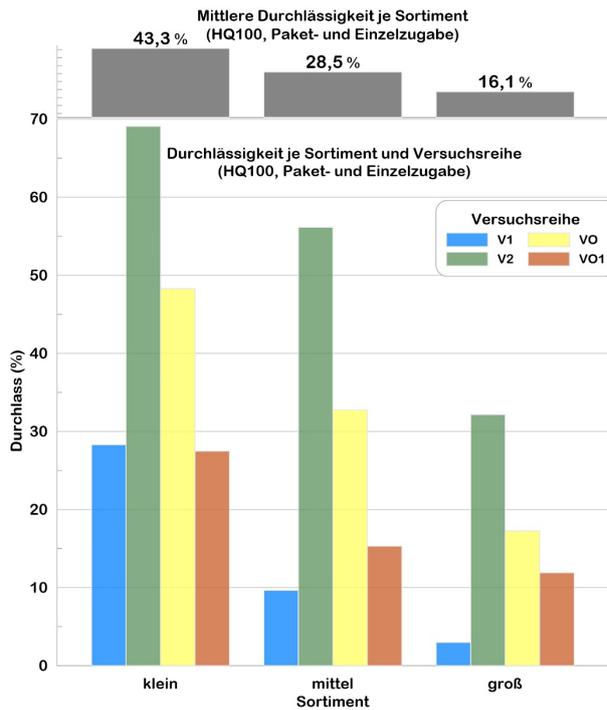


Abbildung 30: Mittlere Durchlässigkeit je Sortiment (oben) und die Durchlässigkeit je Sortiment und Versuchsreihe (unten) jeweils mit Einzelzugabe beim HQ100

Bei der Einzelzugabe konnte mehr als die Hälfte des kurzen Sortimentes den Rechen passieren (Abbildung 30). Auch hier schneiden die Versuchsreihen V1 und VO1 ähnlich gut ab. Die Durchlässigkeit des mittleren Sortimentes liegt bei gut einem Drittel. Rund ein Fünftel des langen Sortimentes konnte die Rechenlinie passieren, auch hier sind wieder die Varianten V1 und VO1 hervorzuheben.



Durch den Mittelwert aus Einzel- und Paketzugabe ergeben sich Durchlässigkeiten von rund 43 % für das kleine Sortiment, von rund 29 % für das mittlere Sortiment und rund 16 % für das lange Sortiment (Abbildung 31). Dabei schneide die Versuchsreihe V1 insgesamt am besten ab, gefolgt von der Versuchsreihe VO1, VO und V2.

Abbildung 31: Mittlere Durchlässigkeit aus Paket- und Einzelzugabe (oben) und gemittelte Durchlässigkeit aus Einzel- und Paketzugabe je Sortiment und Versuchsreihe (unten) bei HQ100



5.1.1 Versuchsreihe 1

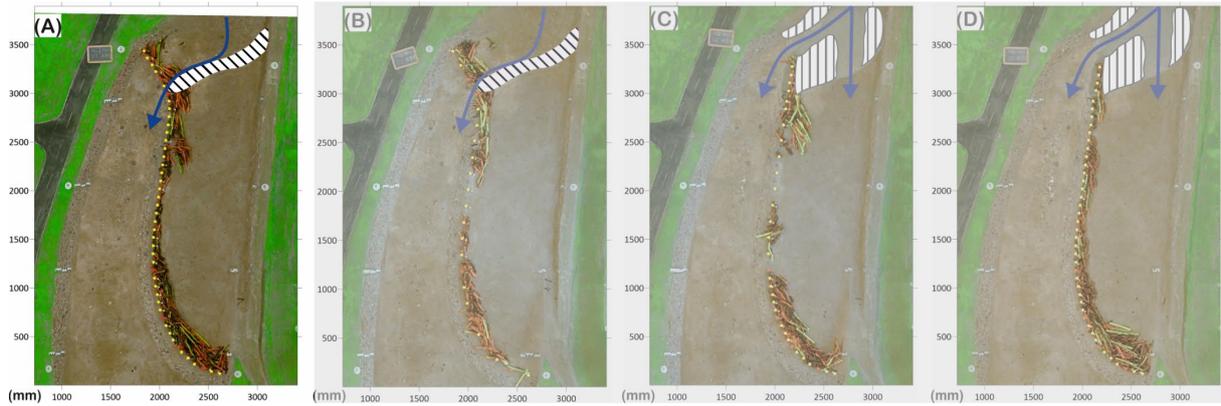


Abbildung 32: Orthofoto der Versuchsreihe V1 mit Überlaufschwelle und lichtem Abstand von 2,00 m

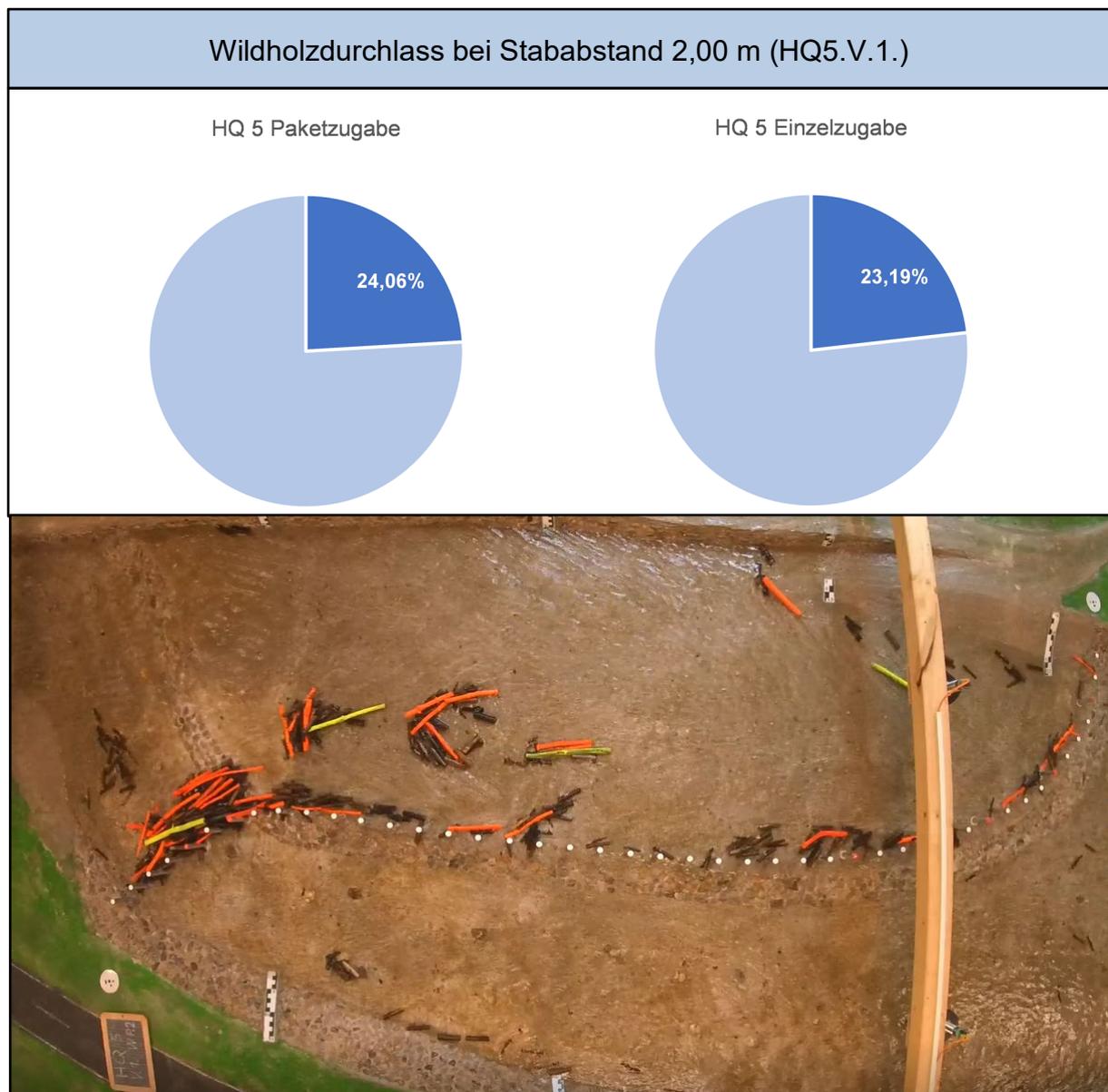


Abbildung 33: Wildholzdurchgang der Versuchsreihe 1 bei HQ5 in Paketzugabe und Einzelzugabe sowie ein Bild aus dem Versuch HQ5.V.1.W.P.2. (In Anlehnung an Hödl, 2021)



Beim HQ5 lässt sich kaum ein Unterschied zwischen Paketzugabe und Einzelzugabe erkennen (Abbildung 33). Das liegt daran, dass der Nebenschluss nur flach überströmt wird und das Wildholz in vielen Bereichen teilweise nur rollend transportiert wird. Daher bleibt das Wildholz mit starkem Durchmesser bereits an kleinen Hindernissen wie Steinen hängen.

Beim HQ30 ist ein Unterschied zwischen Einzel- und Paketzugabe ersichtlich (Abbildung 34), da hier der Nebenschluss bereits so hoch überströmt wird, dass ein Großteil des Wildholzes schwimmend transportiert wird. Es ist ebenfalls zu beobachten, dass das Wildholz bei der Einzelzugabe längere Zeit benötigt sich im Rechen zu verlegen. Auf Grund des höheren Wasserspiegels ist auch die Fließgeschwindigkeit etwas höher, die einzelnen Wildholzstämme können somit leichter auslenken. Die Hölzer können daher vor allem in der Anfangsphase bei unverlegtem Rechen durch den Rechen manövrieren. Im Falle der Paketzugabe werden die Holzteile in Form eines Wildholzteppichs transportiert womit die Verklauungsmöglichkeit im Rechen stark ansteigt. Bei der Paketzugabe konnte nur rund ein Fünftel den Rechen passieren, bei der Einzelzugabe war es rund ein Drittel.

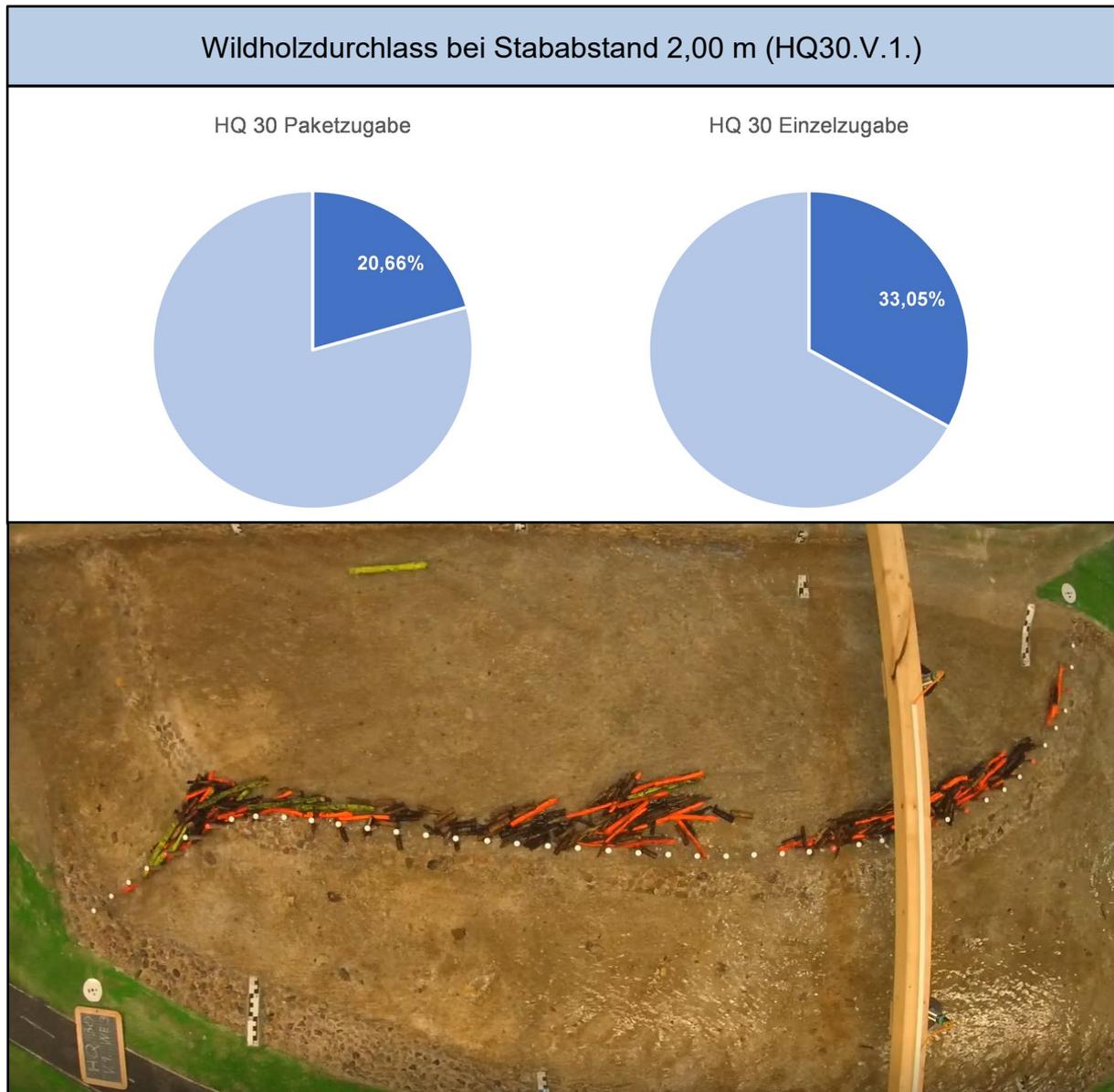


Abbildung 34: Wildholzdurchgang der Versuchsreihe 1 bei HQ30 in Paketzugabe und Einzelzugabe sowie ein Bild aus dem Versuch HQ30.V.1.W.E.3. (In Anlehnung an Hödl, 2021)

Auch beim HQ100 lässt sich ein Unterschied mit rund 15 % bzw. rund 25 % Durchgängigkeit zwischen Paket- und Einzelzugabe erkennen (Abbildung 35). Weiters macht sich ein eklatanter Unterschied bezüglich der Wildholzablagerung im oberen Bereich des Wildholzrechens (Abbildung 35 links) zwischen Paket- und Einzelzugabe bemerkbar.

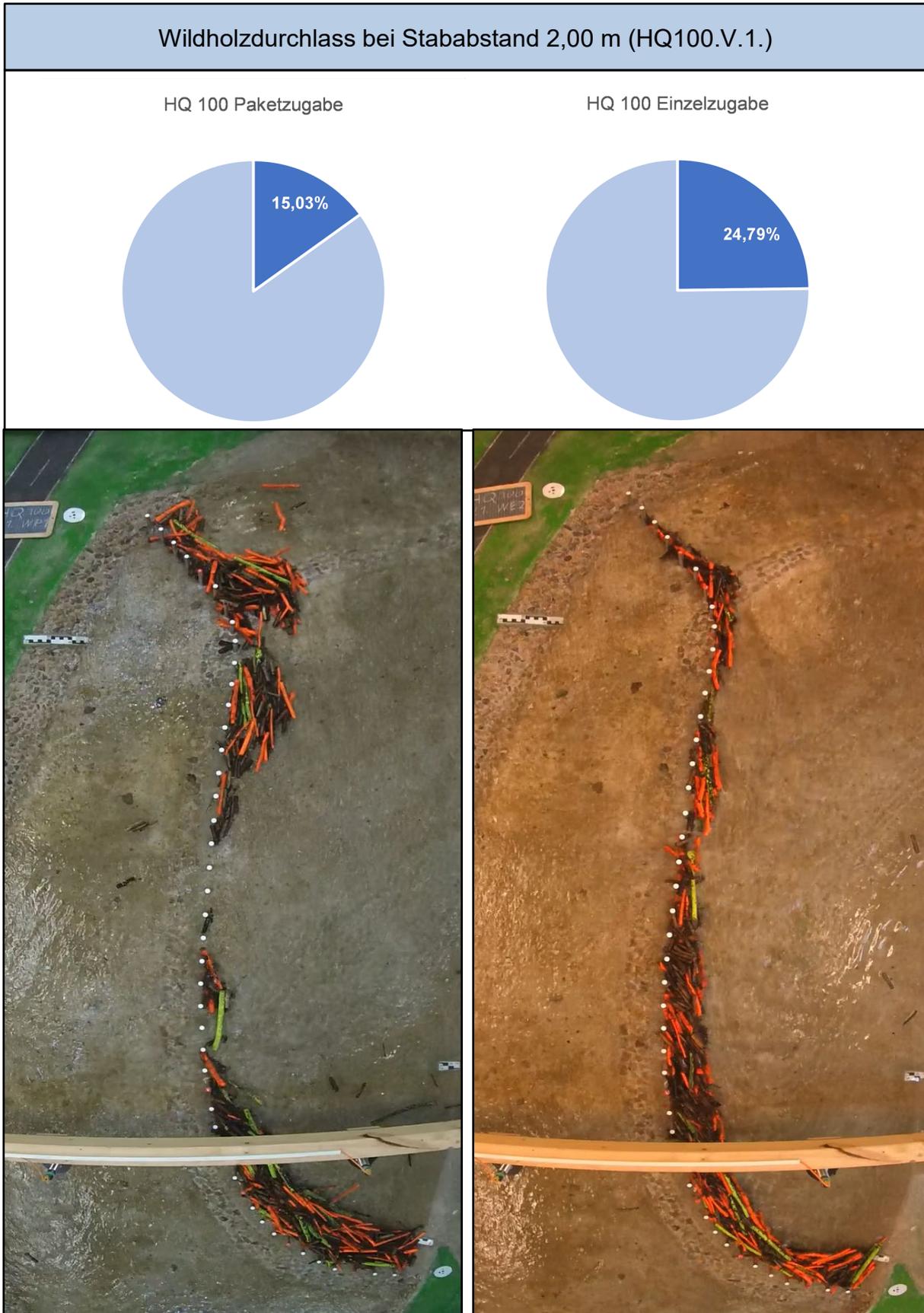


Abbildung 35: Wildholzdurchgang der Versuchsreihe 1 bei HQ100 in Paketzugabe und Einzelzugabe sowie ein Bild aus den Versuchen HQ100.V.1.W.P.1 und HQ100.V.1.W.E.2. (In Anlehnung an Hödl, 2021)



Bei der Paketzugabe wird ein Großteil des Hauptschlusses im Knickbereich des Wildholzrechens, in dem sich auch die Überlaufschwelle befindet, schon früh verlegt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass auf Grund des hohen Wasserspiegels und der hohen Fließgeschwindigkeit beim HQ100 die Front des Wildholzteppichs anfangs Richtung Knickbereich des Wildholzrechens zusteuert (Abbildung 36 links). Sobald dieser Bereich verlegt ist (Abbildung 36 mitte), wird die Strömung durch die Wildholzablagerung so beeinflusst, dass das nachkommende Wildholz wie gewünscht in den Nebenschluss einströmen kann (Abbildung 36 rechts). Die Wildholzablagerung im Knickbereich des Wildholzrechens bleibt jedoch bestehen. Durch die Verlegung im oberen Rechenbereich stellt sich ein Kehrwasserbereich unmittelbar neben der Böschung zur Naarntalstraße ein, welches zu Erosionserscheinungen an dieser führen kann. Ebenso wäre der Hauptschluss, welcher auch bei Normalwasser wasserführend ist, für längere Zeit verlegt, sofern die Wildholzablagerung in diesem Bereich nicht unmittelbar nach dem Ereignis geräumt wird. Der Nebenschluss ist bei Normalwasser nicht wasserführend.



Abbildung 36: Wildholzablagerung der Versuchsreihe 1 bei Versuch HQ100.V.1.W.P.2 im Knickbereich des Wildholzrechens beim Übergang vom Hauptschluss zum Nebenschluss, in dem sich die Überlaufschwelle befindet, bei Versuchsreihe 1 bei Versuch HQ100.V.1.W.P.2 (Quelle: Hödl, 2021)

Die Wildholzablagerung im Überlastfall (HHÜL) erfolgt ähnlich wie bei HQ100, ist aber um etwa 8 % höher, was auf den höheren Wasserspiegel und die etwas höhere Fließgeschwindigkeit zurückzuführen ist. Die Holzteile könne dadurch schneller ausgelenkt und manövriert werden, vereinzelte Wildholzstämme passieren gerade in der Anfangsphase den Wildholzrechen. Gegenüber dem HQ100 dauert es daher noch länger bis der Wildholzrechen verlegt wird. Die Durchgängigkeit bei der Paketzugabe liegt bei rund 18 % und bei der Einzelzugabe bei rund einem Drittel (Abbildung 37).

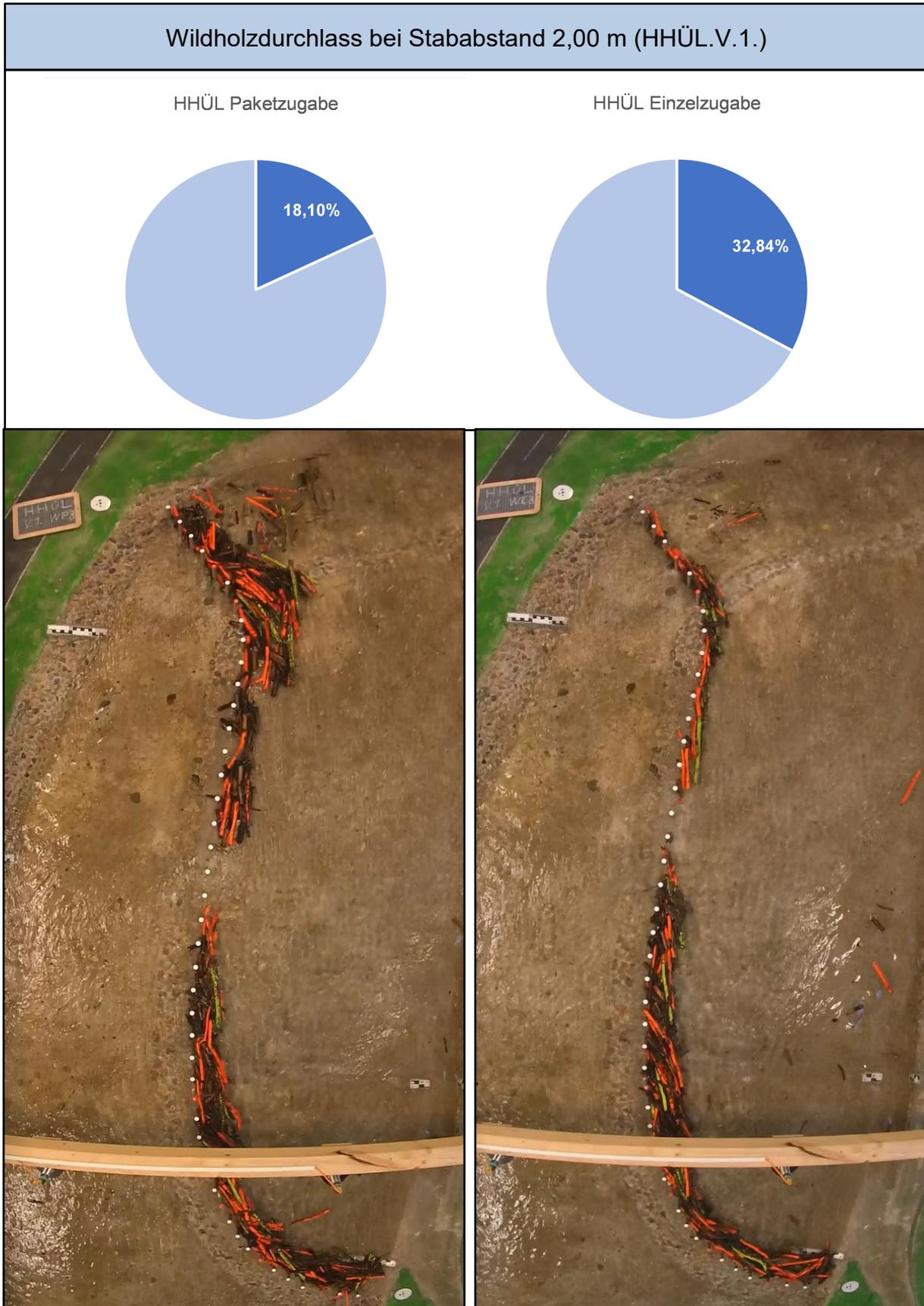


Abbildung 37: Wildholzdurchgang der Versuchsreihe 1 bei HQ100 in Paketzugabe und Einzelzugabe sowie ein Bild aus den Versuchen HHÜL.V.1.W.P.3 und HHÜL.V.1.W.E.3 (In Anlehnung an Hödl, 2021)



5.1.2 Versuchsreihe 2



Abbildung 38: Orthofoto der Versuchsreihe V2 mit Überlaufschwelle und lichtem Abstand von 4,50 m

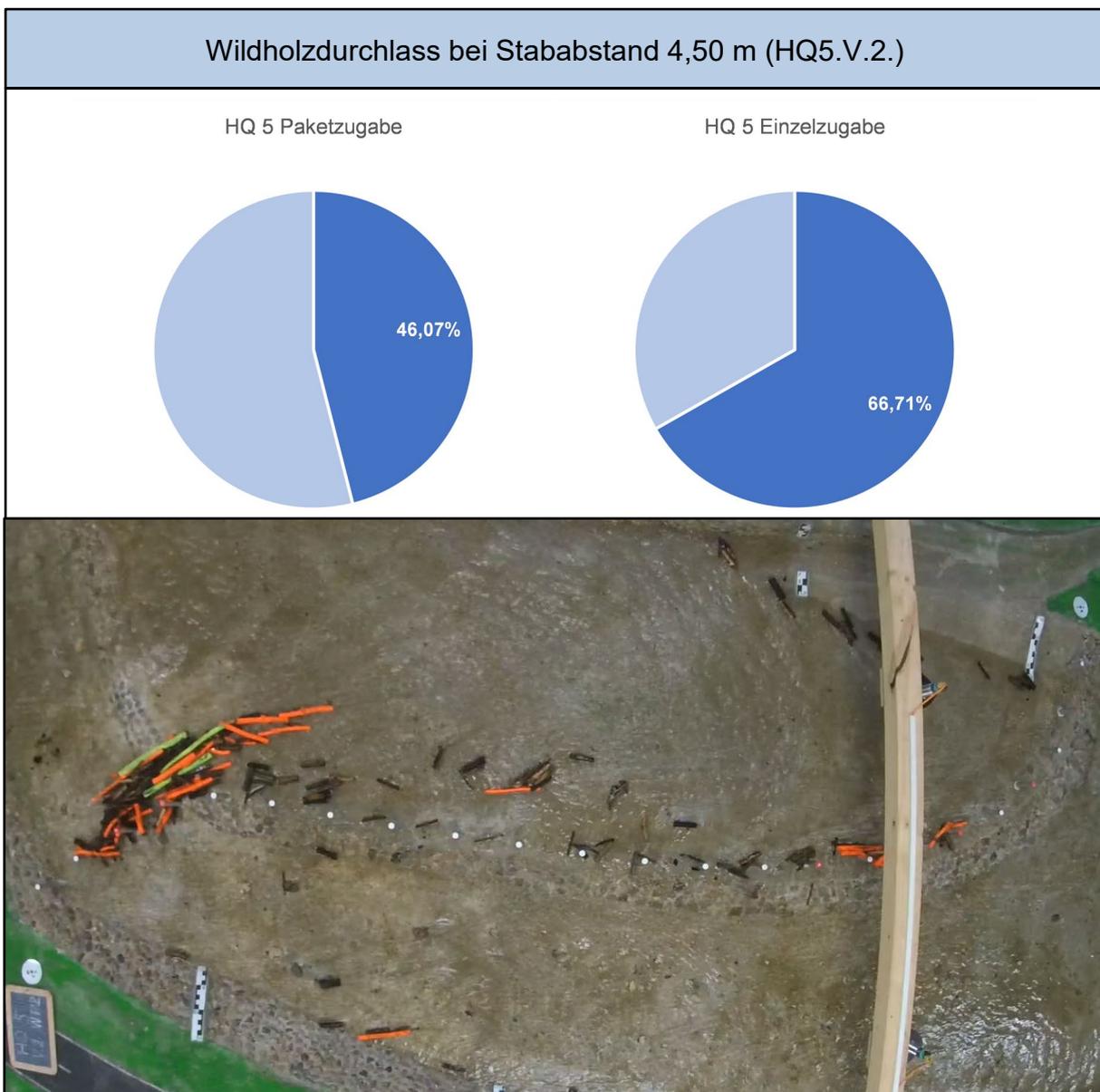


Abbildung 39: Wildholzdurchgang der Versuchsreihe 2 bei HQ5 in Paketzugabe und Einzelzugabe sowie ein Orthofoto aus dem Versuch HQ5.V.2.W.P.2. (In Anlehnung an Hödl, 2021)



Wie erwartet ist der Wildholzdurchgang in der Versuchsreihe 2 wesentlich höher als in der Versuchsreihe 1, was auf den größeren Stababstand zurückzuführen ist. Dabei konnten beim HQ5 im Mittel 46 % der als Paket zugegebenen Hölzer und rund zwei Drittel der einzeln zugegebenen Hölzer den Wildholzrechen passieren (Abbildung 39). Weiters ist ebenso gut zu erkennen, dass die Einzelzugabe im Gegensatz zu Versuchsreihe 1 relativ einen höheren Wildholzdurchgang als die Paketzugabe aufweist. Dies lässt sich wiederum auf den lichten Stababstand von 4,50 m zurückführen, da gerade die kleinen und auch ein Großteil der mittleren Wildholzsortimente den Wildholzrechen passieren können. Wie in Versuchsreihe 1 beschrieben, lassen sich in Versuchsreihe 2 auch wieder Wildholzablagerungen im Knickbereich des Wildholzrechens im Übergangsbereich des Hauptschlusses zum Nebenschluss erkennen (Abbildung 39).



Beim HQ30 ist das Verhältnis des Wildholzdurchganges zwischen den Zugabemethoden ähnlich dem der Versuchsreihe 1 beim HQ30. Aufgrund des größeren Stababstandes ist die Durchlässigkeit in der Versuchsreihe 2 aber größer. Zudem zeigt sich eine große Wildholzablagerung in dem zuvor erwähnten Problembereich im Hauptschluss. Die Durchlässigkeit beträgt bei der Paketzugabe rund 57 % und bei der Einzelzugabe rund 72 % (Abbildung 40).

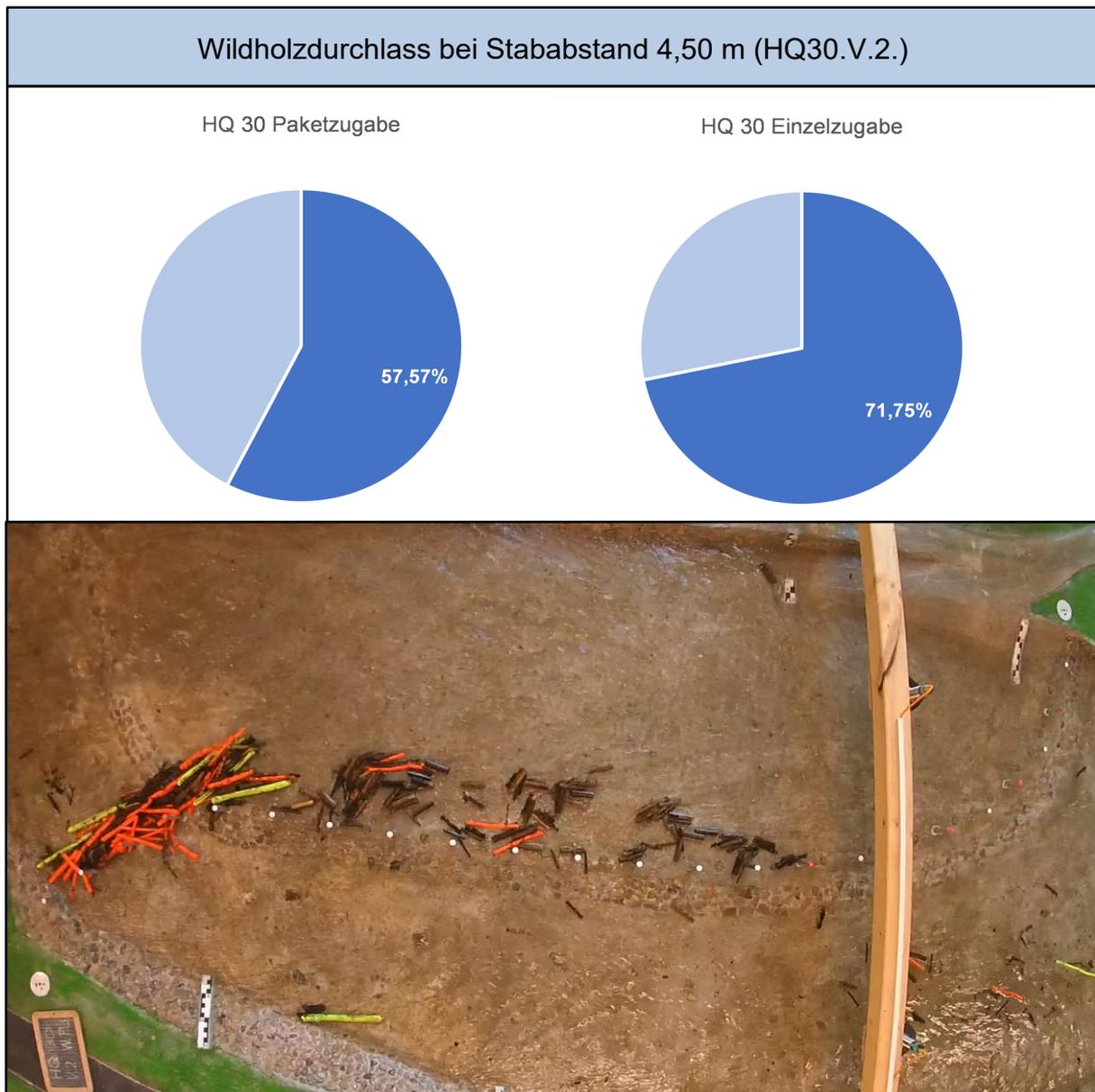


Abbildung 40: Wildholzdurchgang der Versuchsreihe 2 bei HQ30 in Paketzugabe und Einzelzugabe sowie ein Bild aus dem Versuch HQ30.V.2.W.P.3. (In Anlehnung an Hödl, 2021)

Beim HQ100 ist die Ablagerung im Knickbereich des Wildholzrechens ähnlich wie bei der Paketzugabe beim HQ100 der Versuchsreihe 1. Weiters fällt auf, dass sich das Wildholz in Form der Paketzugabe nicht mehr Stück für Stück entlang des



Wildholzrechens ablagert (Abbildung 41). Die Durchlässigkeit beträgt bei der Paketzugabe rund 45 % und bei der Einzelzugabe rund 77 %.

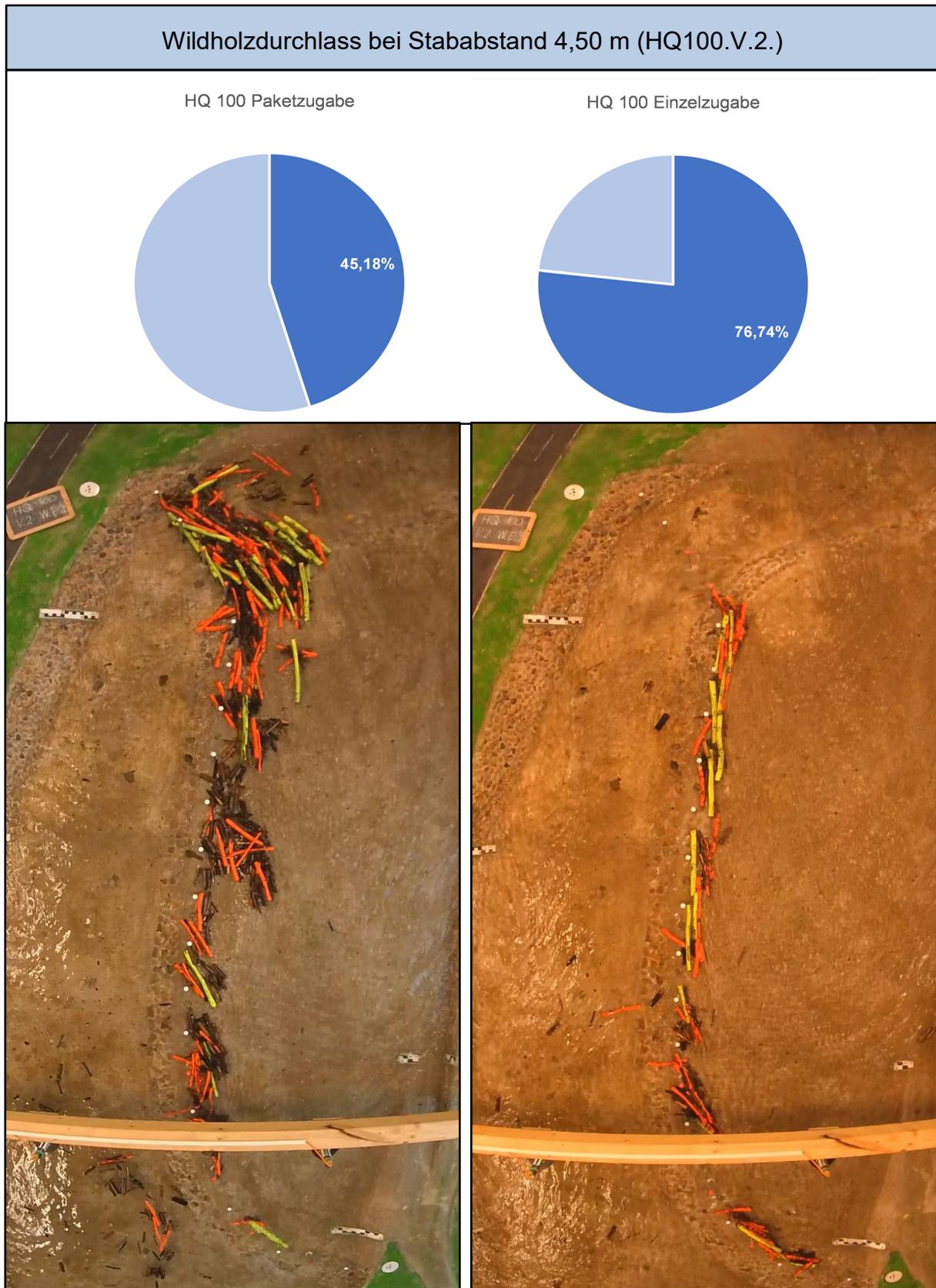


Abbildung 41: Wildholzdurchgang der Versuchsreihe 2 bei HQ100 in Paketzugabe und Einzelzugabe sowie ein Bild aus den Versuchen HQ100.V.2.W.P.2 und HQ100.V.1.W.E.3. (In Anlehnung an Hödl, 2021)



Im Überlastfall zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei HQ100. Die Wildholzablagerungen lassen sich je nach Zugabemethode auf dieselben Erkenntnisse, wie zuvor bei HQ100 beschrieben zurückführen. Die Durchgängigkeit bei der Paketzugabe liegt bei rund 54 %, bei der Einzelzugabe bei rund 83 % (Abbildung 42).

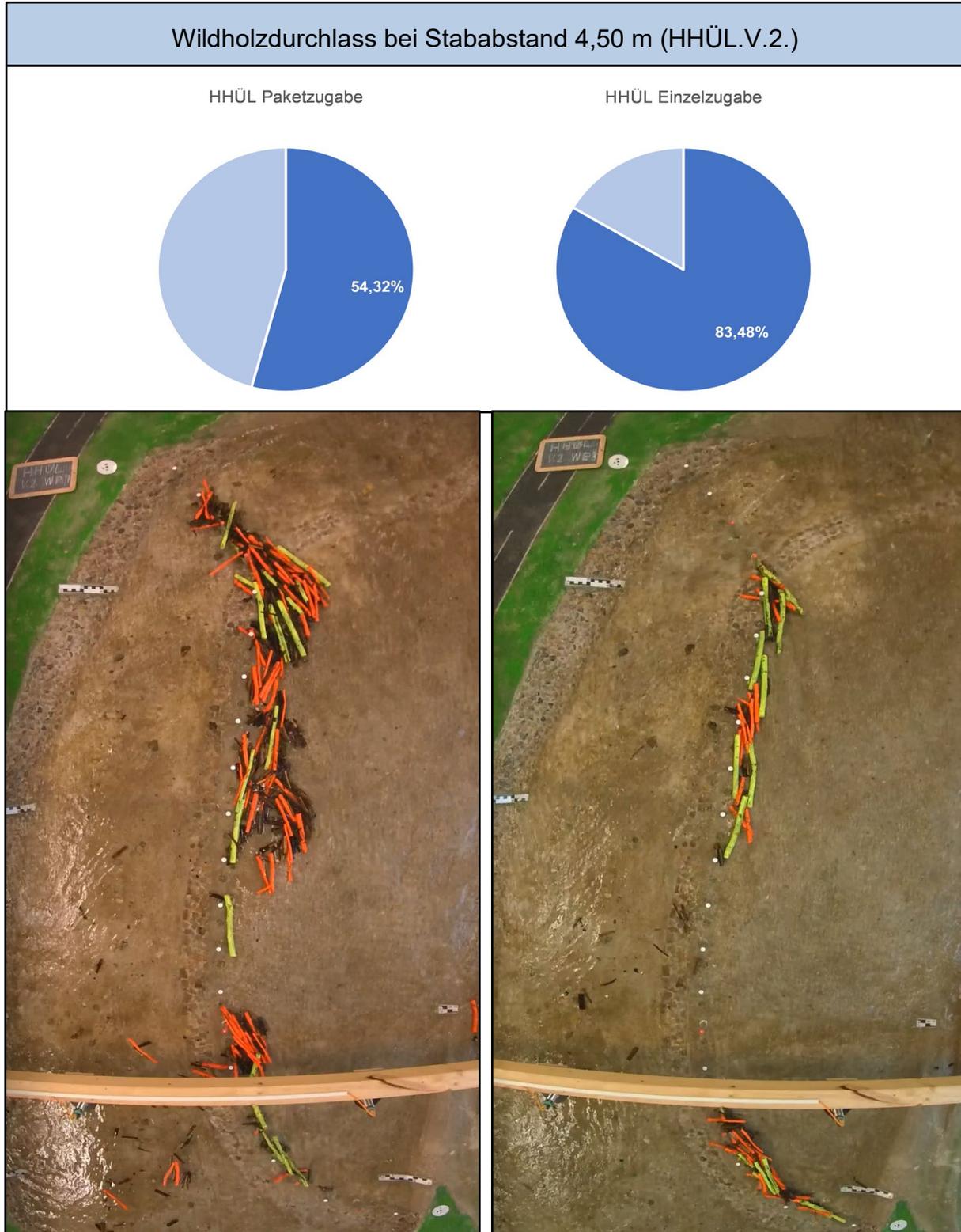


Abbildung 42: Wildholzdurchgang der Versuchsreihe 2 bei HHÜL in Paketzugabe und Einzelzugabe sowie ein Bild aus den Versuchen HHÜL.V.1.W.P.1 und HHÜL.V.1.W.E.3. (In Anlehnung an Hödl, 2021)



5.1.3 Versuch Buhne vor Überlaufschwelle

In Versuchsreihe 1 und 2 lassen sich große Wildholzablagerungen im Knickbereich des Wildholzrechens unmittelbar an der Überlaufschwelle erkennen, die den Hauptschluss verlegen. Dies war Anlass für weitere Überlegungen bezüglich der Form des Wildholzrechens oder etwaiger Sonderbauwerke unmittelbar vor der Überlaufschwelle in den Nebenschluss. In einem ersten Schritt wurde eine deklinante Buhne kurz vor dem Wildholzrechen (Abbildung 43) errichtet. Die Buhne wurde deklinant (in Fließrichtung geneigt) errichtet um das Verklauungsrisiko an dieser künstlichen Engstelle im Gerinne gering zu halten. Die Buhne sollte dabei die Strömung im Ereignisfall weg vom oberen Rechenbereich im Hauptschluss in den Nebenschluss lenken.

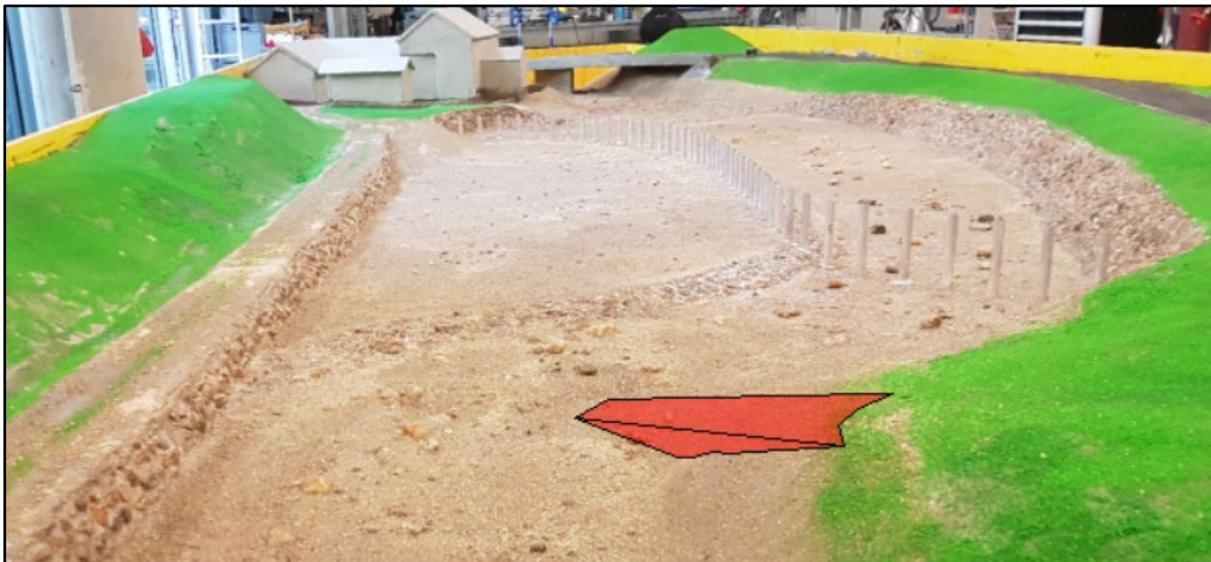


Abbildung 43: Deklinante Buhne kurz vor der Überlaufschwelle in den Nebenschluss (In Anlehnung an Hödl, 2021)



Abbildung 44: Modellversuch mit deklinanter Buhne kurz vor dem Einlaufbereich in den Nebenschluss (In Anlehnung an Hödl, 2021)

Es wurden einige Versuche sowohl mit Paket- als auch Einzelzugabe durchgeführt, dabei konnte allerdings keine wesentliche Verbesserung der Strömungsverhältnisse festgestellt werden (Abbildung 44). Zusätzlich erhöht sich der Wasserstand in diesem Bereich, was sich negativ auf die orographisch linke Seite (Forststraße und Böschung) auswirkt.

Auf Grund der Ergebnisse wurden die Versuche rund um die Errichtung einer Buhne vor der Überlaufschwelle eingestellt und nicht weiterverfolgt.



5.1.4 Versuchsreihe VO mit variablem Stababstand

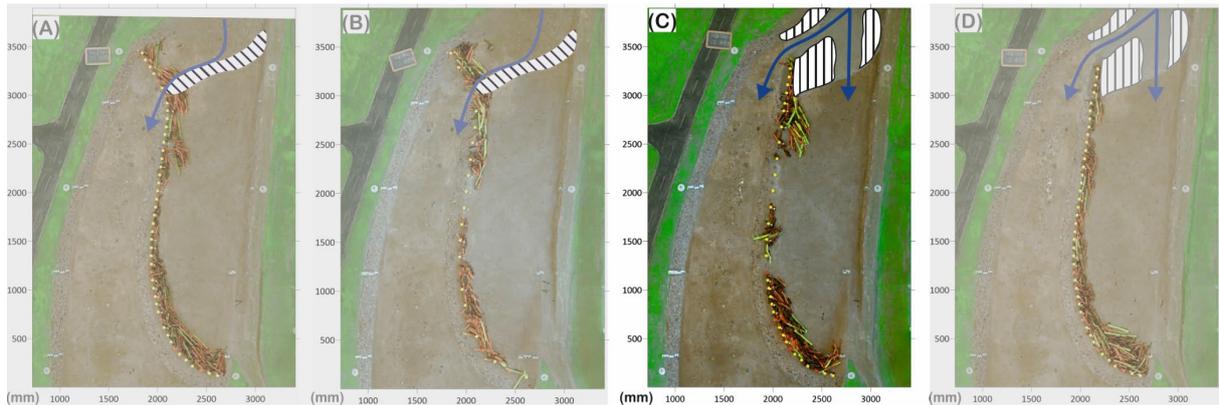


Abbildung 45: Orthofoto der Versuchsreihe VO mit variablem Stababstand und modifizierter Überlaufschwelle

Da der Bühnenversuch zu keinem gewünschten Ergebnis führte wurde in einem nächsten Schritt die Überlaufschwelle in den Nebenschluss abgeflacht. In den Versuchsreihen 1 und 2 belief sich das Neigungsverhältnis der Überlaufschwelle auf 1:3. Das Neigungsverhältnis der Überlaufschwelle wurde bei der Versuchsreihen VO auf 1:12 abgeändert (Abbildung 46 B und C).

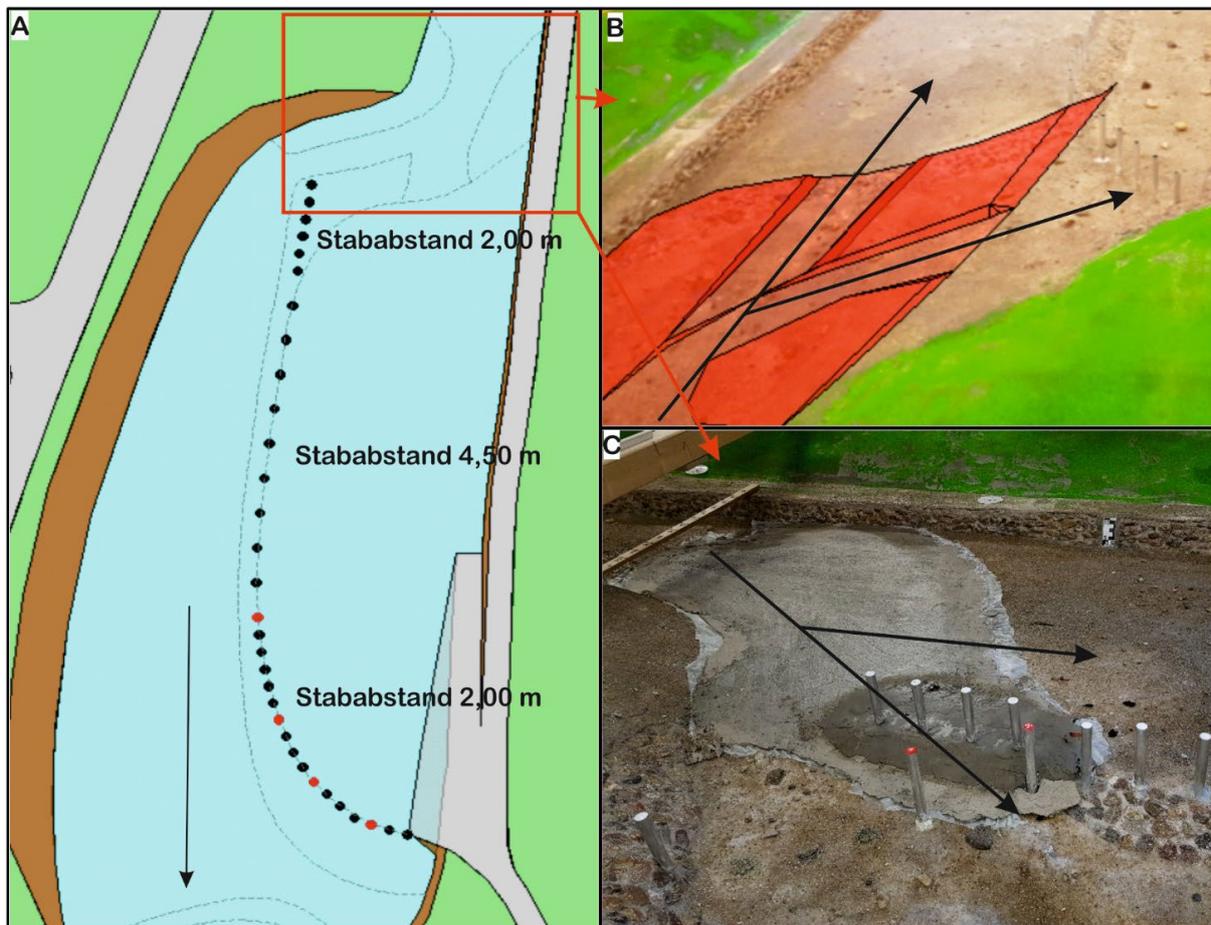


Abbildung 46 Übersichtsskizze des Wildholzrechens Versuchsreihe VO (In Anlehnung an Hödl, 2021)



Der Einlaufbereich ist dabei so ausgestaltet, dass bei Normalwasser weiterhin nur der Hauptschluss wasserführend ist. Ebenso wurde Richtung Nebenschluss eine Rinne im Neigungsverhältnis von 1:12 ausgeformt, bei Normalwasser wird auch dieser Bereich noch nicht überströmt. Die Idee dahinter war, dass sich die an der Überlaufschwelle bildende Wasserwelle nicht mehr in jener Dimension ausbildet, wie sie das in den Versuchsreihe 1 und 2 getan hat. Durch die abgeflachte Überlaufschwelle (verringertes Widerstand) und die leicht ausgebildete Rinne Richtung Nebenschluss sollte sich die Hauptrichtung der Strömung weg vom Hauptschluss ausbilden. Neben der Umgestaltung der Überlaufschwelle wurden auch Änderungen an der Form des Wildholzrechens durchgeführt. Dieser läuft nun gerade Richtung Hauptschluss aus und macht keinen Knick am oberen Ende des Bauwerkes (Abbildung 46 A). Der Wildholzrechen läuft nicht vollständig über den Hauptschluss. Das verringert den Räumungsaufwand bei Normalabflüssen und erhöht die ökologische Durchgängigkeit. Die Stababstände bei dieser Versuchsreihe variieren zwischen 2,00 m im oberen und im unteren Bereich bzw. 4,50 m im parallel laufenden mittleren Bereich des Rechens (Abbildung 46 A). Die Versuchsreihe VO wurde nur mit dem HQ100 durchgeführt wobei die Durchgängigkeit bei der Paketzugabe bei rund 30 % und bei der Einzelzugabe bei rund 50 % lag (Abbildung 47). Es lässt sich erkennen, dass der prozentuale Durchgang des Wildholzes zwischen jenem von Versuchsreihe 1 und 2 liegt. Die Wildholzablagerung im Bereich des Hauptschlusses bzw. die Anhäufung an Wildholz, die zuvor im Knickversuch bei Versuchsreihe 1 und 2 ersichtlich war, konnte durch diese Konfiguration beseitigt werden. Durch die erweiterten Stababstände im mittleren Bereich des Rechens konnten allerdings relativ viele Hölzer den Rechen passieren. Grund dafür ist der Rückstau im unteren Rechenbereich und das damit verbundene Ablenken der Strömung durch den parallel verlaufenden Rechen.

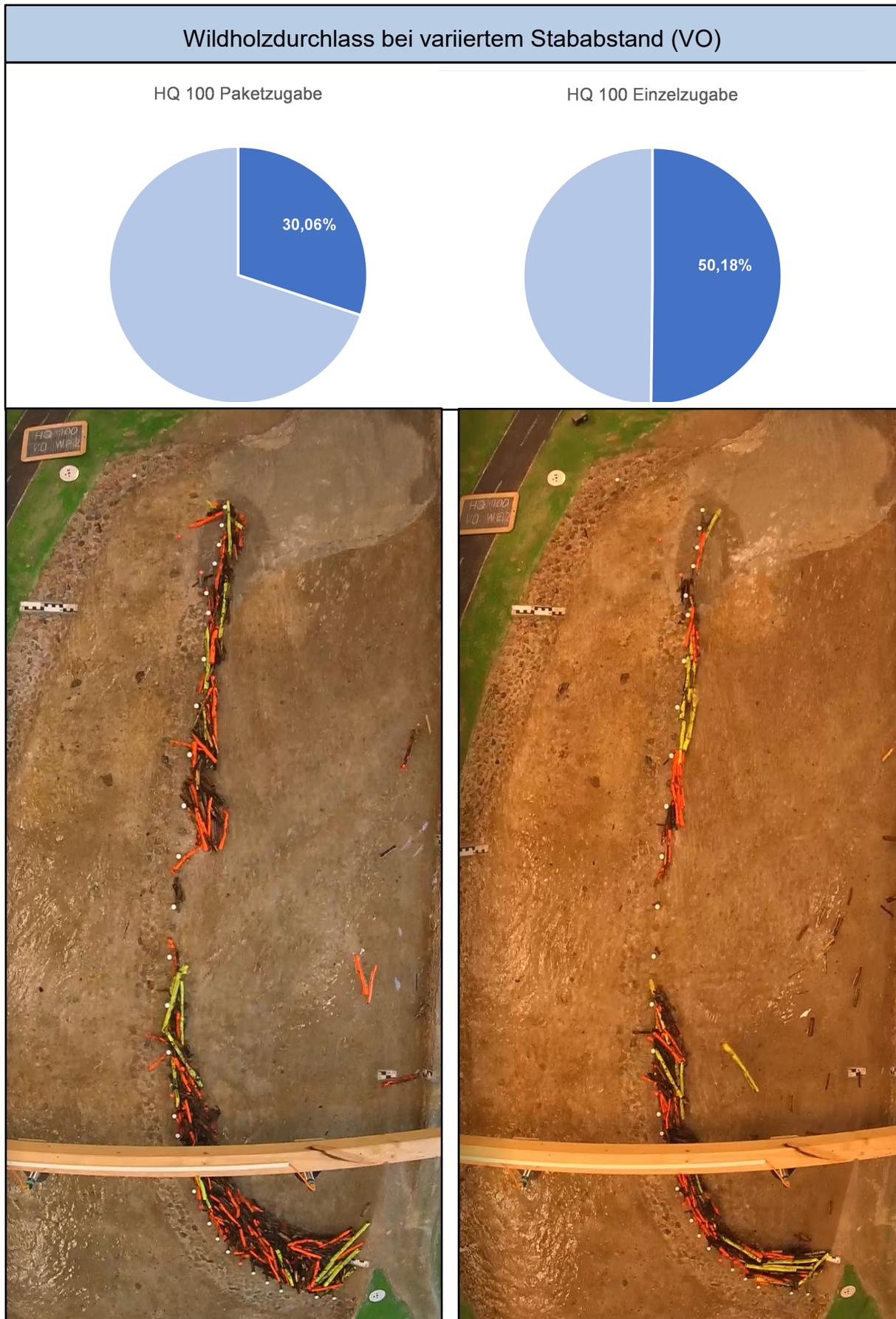


Abbildung 47: Wildholzdurchgang der Versuchsreihe O bei HQ100 in Paketzugabe und Einzelzugabe sowie ein Bild aus den Versuchen HQ100.V.O.W.P.2 und HQ100.V.O.W.E.2. (In Anlehnung an Hödl, 2021)



5.1.5 Versuchsreihe O1 optimierte Variante

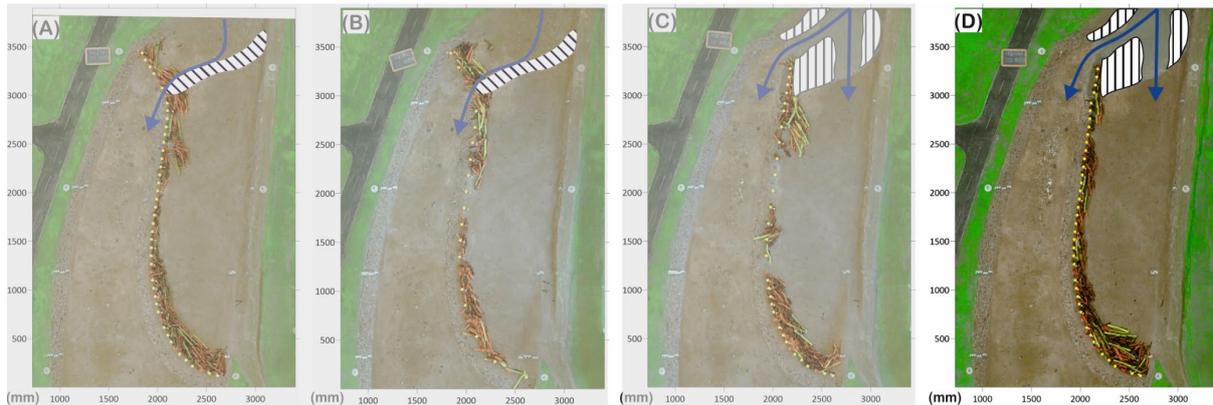


Abbildung 48: Orthofoto der Versuchsreihe VO1 mit 2,00 m lichter Weite und modifizierter Überlaufschwelle

Da die Versuchsreihe VO bezüglich Wildholzurückhalt nicht zufriedenstellend war, wurde in Versuchsreihe VO1 der Stababstand in allen Bereichen auf eine lichte Weite von 2,00 m reduziert. Durch den im vorherigen Versuch beobachteten Rückstau bis in die Rechenmitte und die Ablenkung der Strömung durch den parallel verlaufenden Rechenteil konnte hier relativ viel Holz den Rechen passieren. Wie in der Variante VO verläuft auch hier der Rechen nicht über den gesamten Hauptschluss. Nach Auswertungen der Videos kann aber festgehalten werden, dass die Filterfunktion durch die offene Strecke im oberen Bereich kaum beeinflusst wird.

Die Werte des Wildholzdurchganges der Paketzugabe in Versuchsreihe VO1 HQ100 sind nur geringfügig höher als in Versuchsreihe 1, die der Einzelzugabe sind nahezu identisch. Nach Analyse der Videos aus Versuchsreihe 1 und VO1 lässt sich der Unterschied von rund 4 % im Wildholzdurchgang bei der Paketzugabe so erklären, dass ein Teil des Wildholzes den offen gelassenen Bereich im Hauptschluss passieren kann. Die Ablagerung des Wildholzes hinter dem Wildholzrechen gestaltet sich in dieser Versuchsreihe als sehr zufriedenstellend. Der Unterschied des Wildholzdurchganges zwischen Paketzugabe und Einzelzugabe ist auf die in den anderen Versuchsreihen genannten Gründe zurückzuführen. Die Durchlässigkeit beträgt bei dieser Variante 19 % bzw. rund 25 % (Abbildung 49).

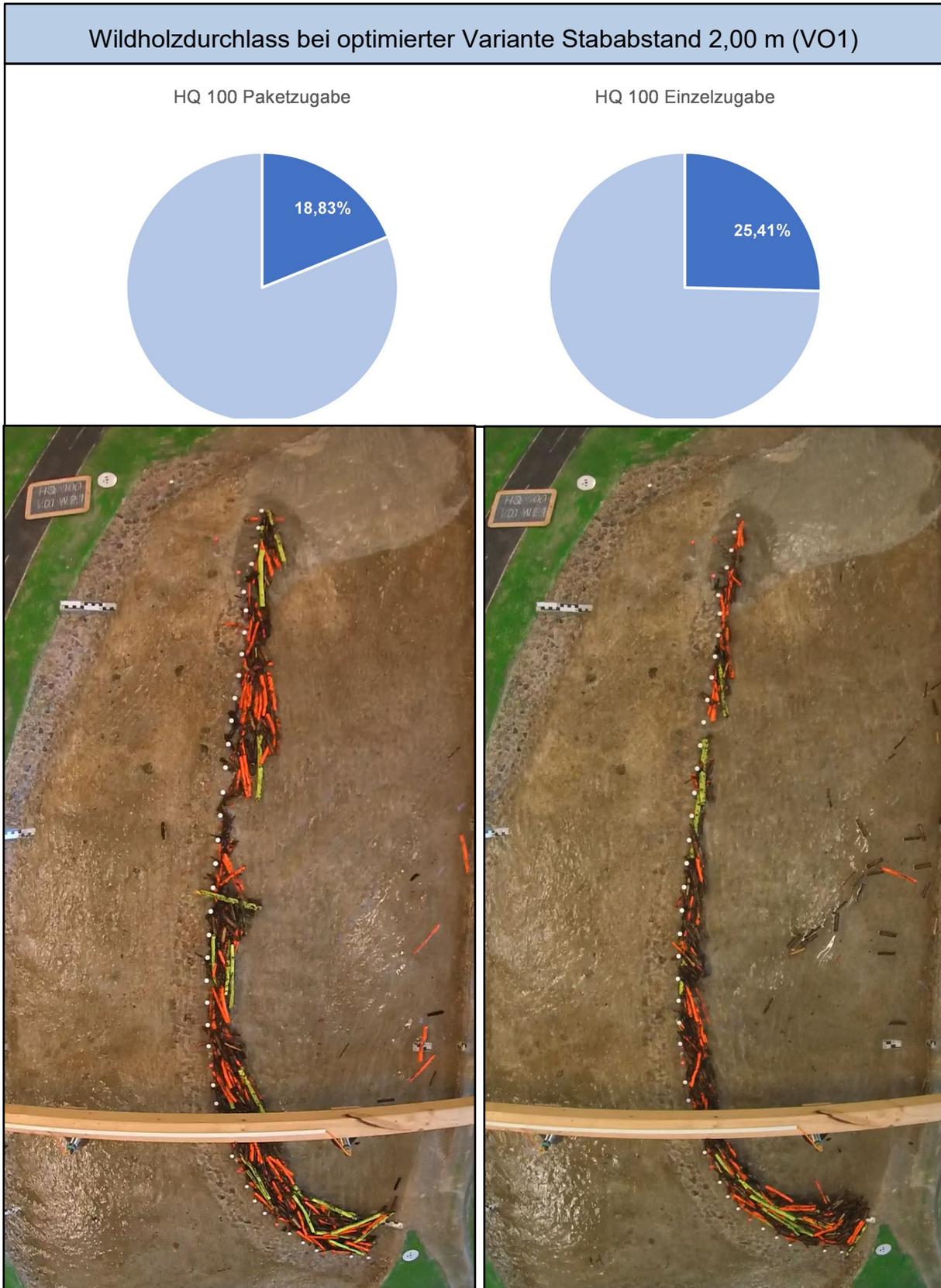


Abbildung 49: Wildholzdurchgang der Versuchsreihe O1 bei HQ100 in Paketzugabe und Einzelzugabe sowie ein Bild aus den Versuchen HQ100.V.O.W.P.1 und HQ100.V.O.W.E.1. (In Anlehnung an Hödl, 2021)

Durch die getroffenen Änderungen im Einlaufbereich kann das Problem von großen Wildholzablagerungen im oberen Rechenbereich vermieden werden. Die Richtung der



Strömung wird durch die getroffenen Maßnahmen nicht mehr so stark in Richtung des Hauptschlusses ausgelenkt und verhindert in Kombination mit der Formänderung des Wildholzrechens in diesem Bereich eine Wildholzablagerung, wie sie in der Versuchsreihe V1 und V2 zu sehen war (Abbildung 50).



Abbildung 50: Wildholzablagerung der Versuchsreihe VO1 bei Versuch HQ100.V.O.1.W.P.1 in dem in Versuchsreihe 1 und 2 erwähnten Problembereich (In Anlehnung an Hödl, 2021)

5.1.6 Zusammenfassung und Gegenüberstellung

Bezüglich Funktionalität (Filterwirkung) sind hier die Versuchsreihen V1 und VO1 den anderen Varianten eindeutig vorzuziehen. Dabei ist die Variante V1 mit einer Durchlässigkeit von rund 20 % nur geringfügig besser als die Variante VO1 mit rund 22 % Durchlässigkeit (Abbildung 51).

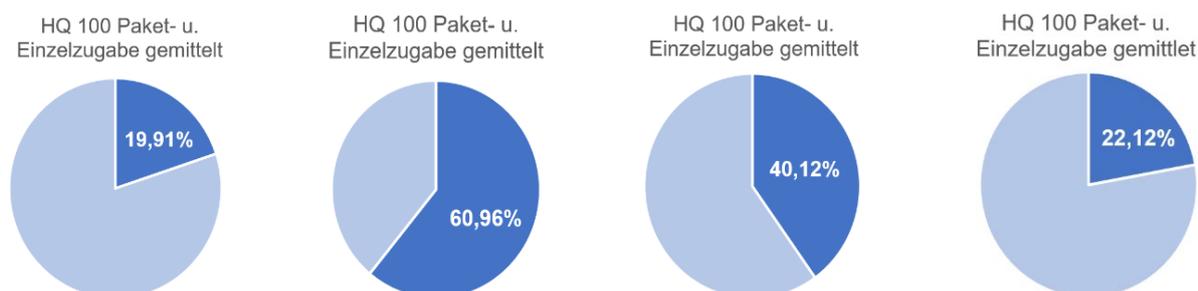


Abbildung 51: A: Gemittelter Wildholzdurchlass der Variante V1 beim HQ100 B: Gemittelter Wildholzdurchlass der Variante V2 beim HQ100 C: Gemittelter Wildholzdurchlass der Variante VO beim HQ100 D: Gemittelter Wildholzdurchlass der Variante VO1 beim HQ100 (In Anlehnung an Hödl, 2021)

Der geringfügige Unterschied von rund 2 % ergibt sich durch die Rechenform im Hauptschluss. Dieser Unterschied schwankt je Zugabemethode zwischen 1 % und 3,5 %. Bei der Variante VO1 erstreckt sich der Rechen im Gegensatz zur V1 nicht über den gesamten Hauptschluss. Nach Videoanalyse der Versuche konnte dieser geringfügige Unterschied in der Durchlässigkeit auf diese kurze Strecke im obersten Rechenbereich zurückgeführt werden.



Neben diesem vermeintlichen Nachteil der VO1 gegenüber der VO bringt diese aber einige Vorteile mit sich. So ist die Verklauung des Rechens viel gleichmäßiger über die gesamte Strecke verteilt. Der Hauptschluss wird nicht wie bei VO in der Anfangsphase des Wildholztransportes komplett verlegt, der Bereich in dem sich Kehrwasser ausbilden konnte wurde somit ebenfalls stark verkleinert. Zudem ist die Gefahr der Verlegung des Rechens bei kleineren Ereignissen stark reduziert und ein allzu großer Räumungsaufwand kann vermieden werden. Zusätzlich wirkt sich die offene Gewässerstrecke positiv auf die ökologische Durchgängigkeit des Flusssystemes aus.

Durch die Ausgestaltung der Überlaufschwelle in VO1 kann das Anströmen auf die Rechenelemente im Hauptschluss in der Anfangsphase reduziert werden. Es kommt zur Ausbildung einer gleichmäßigeren Ablagerung entlang der gesamten Rechenlinie (Abbildung 52 B). Anstatt einem Wildholzpaket im oberen Rechenbereich (Abbildung 52 A) verlegt das Holz nun längere Bereiche im mittleren und unteren Teil des Rechens was sich wiederum positiv auf die Funktion auswirkt. Für eine noch bessere Filterwirkung kann der Rechen über den gesamten Hauptschluss erweitert werden.

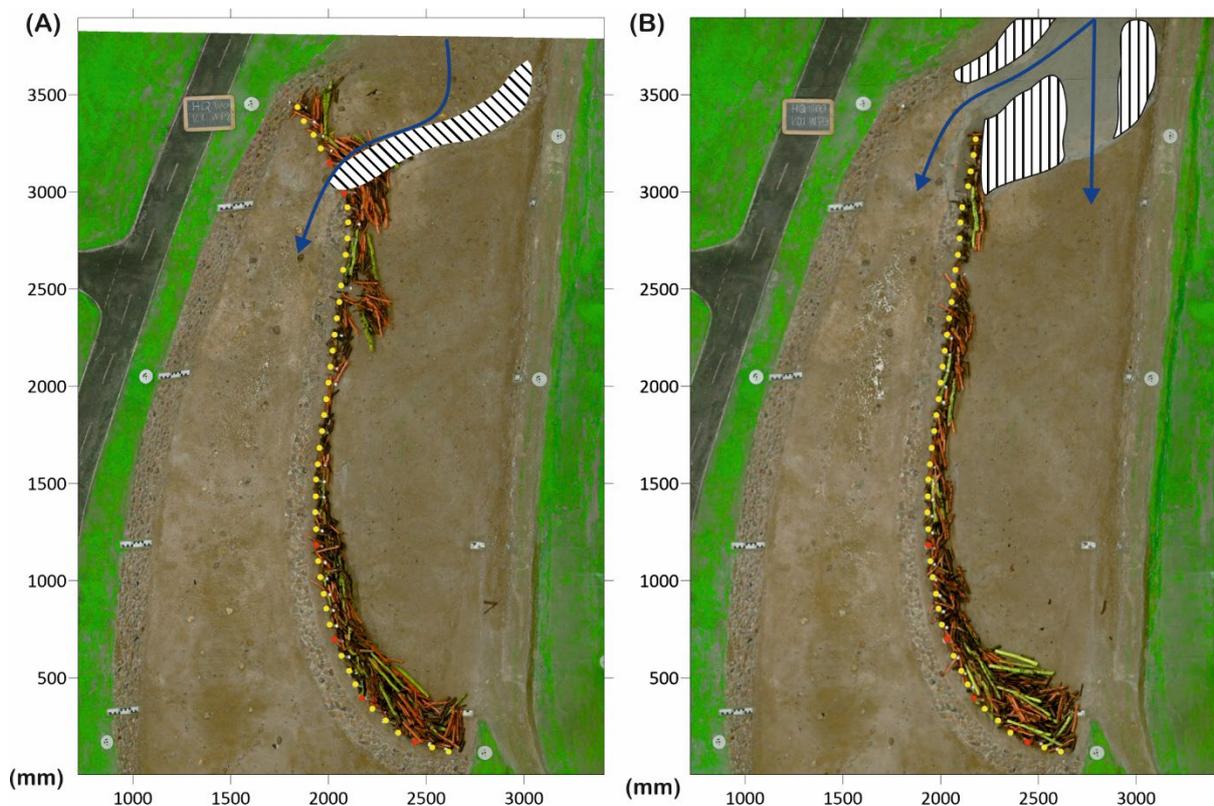


Abbildung 52: Veranschaulichung der Rechenform und der Ausgestaltung der Überlaufschwelle der Varianten V1 (A) und VO1 (B)



Eine weitere mögliche Variante wäre die Überlaufschwelle in V1 weiter flussabwärts zu verschieben, um die Wildholzablagerung im Hauptschluss zu vermeiden. Dies konnte im gegenständlichen Modellaufbau jedoch nicht getestet werden.

5.2 Lagerungsdichte

Die Lagerungsdichte, auch Auflockerungsfaktor oder bulk factor nimmt laut Literatur dimensionslose Werte zwischen 2 und 5 an. Zur Ermittlung des Auflockerungsfaktors für den Modellversuch wurde die Modelloberfläche mittels Laserscanner vermessen. Dabei wird der Unterschied zwischen Modelloberfläche und der Oberfläche samt zurückgehaltenem Wildholz ermittelt (Abbildung 53). Der Auflockerungsfaktor über alle Modellversuche gemittelt ergibt einen Wert von 2,1. Dieser Wert ist im unteren Bereich einzustufen und besagt, dass sich das Wildholz hinter dem Wildholzrechen sehr dicht und kompakt ablagert. Dies ist darauf zurückzuführen, dass dem Modell zum Großteil geradschaftige und unverzweigte Äste zugegeben wurden. Durch die vorwiegend glatte und unverzweigte Oberfläche des Wildholzes kann sich das Wildholz Stück für Stück dicht aneinander legen. Durch die Zugabe von Reisig oder verzweigte Äste wäre der Auflockerungsfaktor sicherlich um einiges höher ausgefallen. Die einzelnen Werte des Auflockerungsfaktors unabhängig des Abflusses und der Zugabemethode bewegen sich zwischen 1,9 und 2,5. Bei den ermittelten Werten lässt sich kein Zusammenhang zwischen der Zugabemethode erkennen.

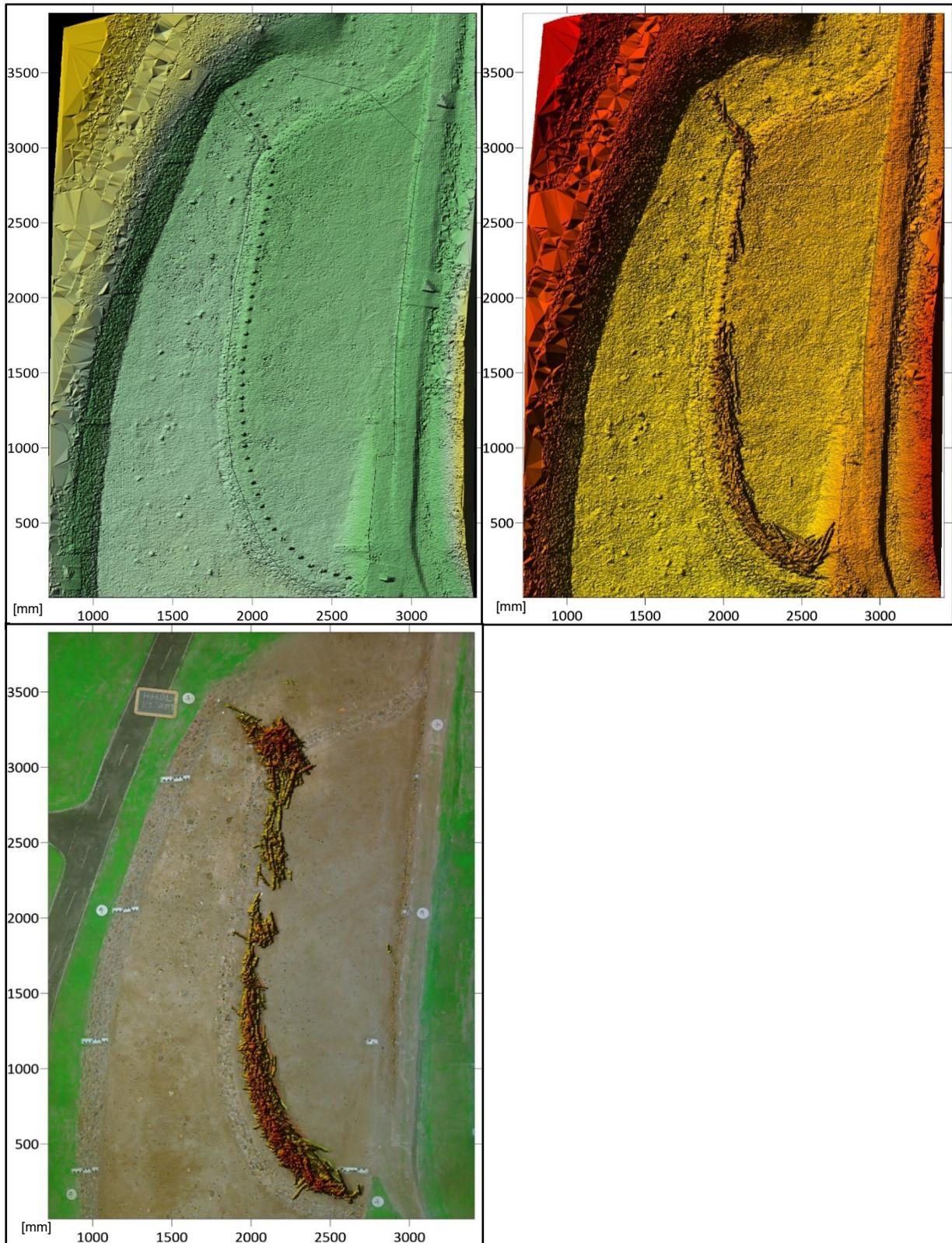


Abbildung 53: Links oben: Laserscan vor dem Versuch; rechts oben: Laserscan nach dem Modellversuch; links unten: Orthofoto mit der ermittelten Differenz



5.3 Wasserspiegelanalyse

Die Form und Situierung der Wildholzablagerung hat einen großen Einfluss auf die Wasserstände bzw. den Wasserspiegelunterschied zwischen Haupt- und Nebenschluss. Ist der untere Rechenbereich bereits verlegt, ist der Wasserspiegelunterschied besonders ausgeprägt. Zur Ermittlung der Wasserstände wurden dabei insgesamt acht optische Messpegel (je vier im Haupt- und Nebenschluss) im Modell eingebaut (Abbildung 55). Die hier verwendeten Maße sind für eine besser Einschätzung der Verhältnisse vor Ort in Naturmaßen (Meter) angegeben.

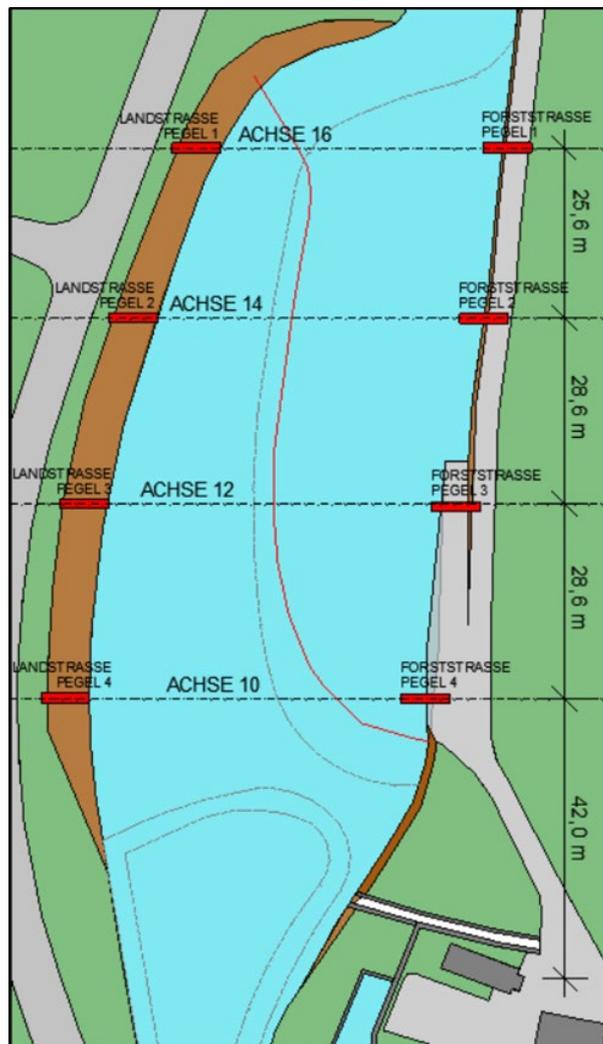


Abbildung 54: Übersichtsskizze über die Position der Messpegel und somit der zur Analyse verwendeten Achsen (Quelle: Hödl, 2021)

Die Querschnitte sind mit Blick gegen die Fließrichtung dargestellt. Um den Höhenunterschied des Wasserspiegels optisch besser erkenntlich zu machen, wurden die Querschnitte mit zweifacher Überhöhung dargestellt.



Beim HQ30 sind die Wasserspiegelhöhen für die Forststraße und die dahinter situierte Druckleitung nicht von Bedrohung. Im vorderen kritischen Bereich, der im Querschnitt der Achse 10 aufgezeigt wird, beträgt der Höhenunterschied zwischen der Wasserspiegeloberfläche im Einstaubereich und der Forststraße 1,34 m (Abbildung 56). Der Unterschied im Bereich der Achse 10 zwischen Haupt- und Nebenschluss beläuft sich auf 1,08 m und lässt sich auf die Wildholzablagerung des quer zur Fließrichtung situierten Abschnittes des Wildholzrechens zurückführen. Der Wasserspiegelunterschied nimmt von Achse 12, in der dieser 0,72 m beträgt, flussaufwärts deutlich ab. Das liegt daran, dass gerinneparallele Bereiche des Wildholzrechens nur teilweise mit Wildholz verlegt wurden und hier das Wasser noch fast ungehindert abfließen kann (Abbildung 55). Auf Grund einer Wildholzablagerung im Hauptschluss kurz hinter Achse 16 nimmt der Wasserspiegelunterschied von Achse 14 zu Achse 16 hin wieder zu und beläuft sich hier auf 0,63 m (Abbildung 56).



Abbildung 55: Links: Orthofoto mit der Position der Achsen; rechts: Übersichtsplan über die Position der Achsen

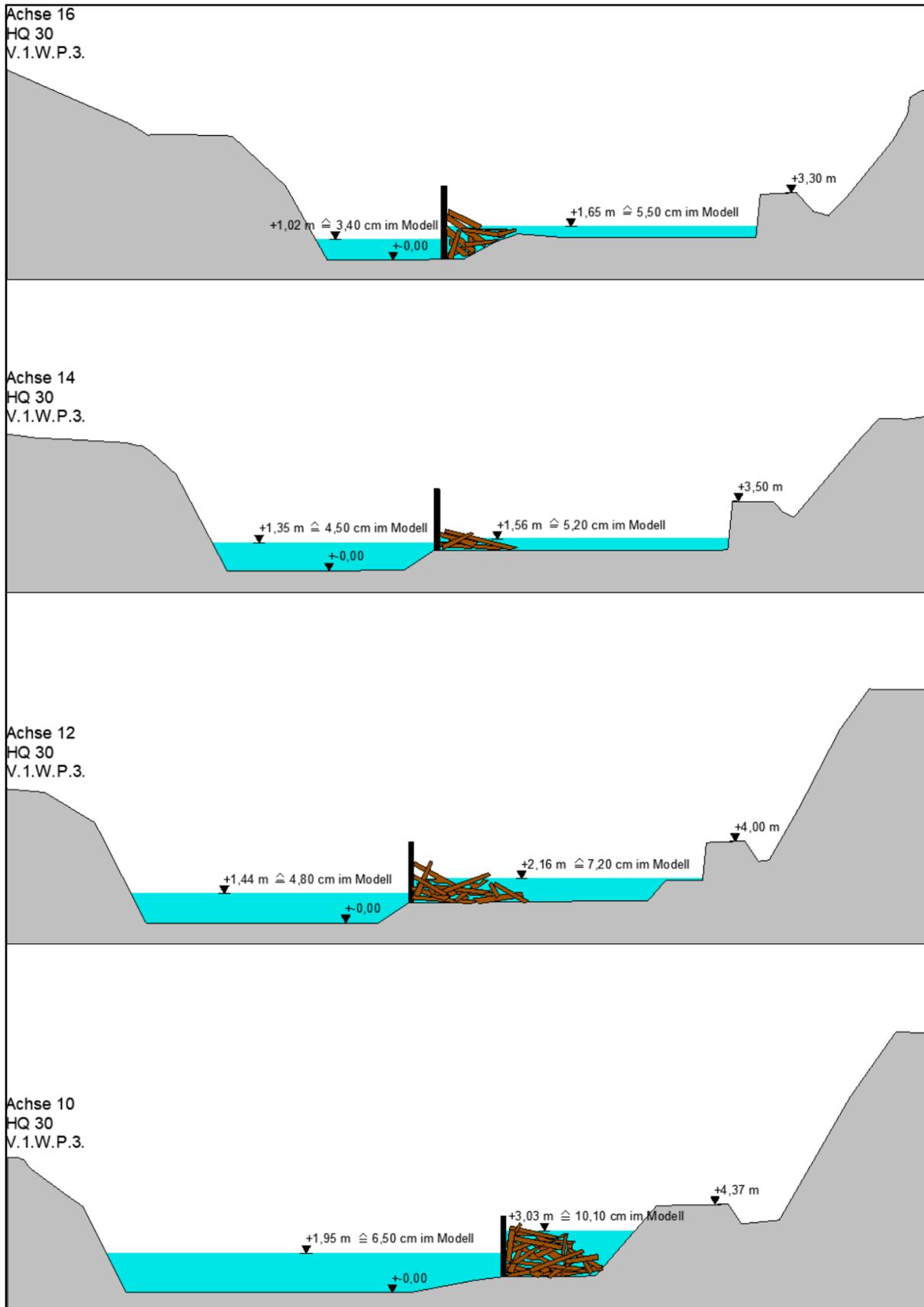


Abbildung 56: Querschnitte Achse 10, 12, 14 und 16 zur Analyse der Wasserspiegelhöhen im Versuch HQ30 V.1.W.P.3. (Quelle: Hödl, 2021)



Beim HQ100 liegt der Wasserspiegel im Bereich von Achse 10 nur mehr rund 0,53 m unter dem Niveau der Forststraße (Abbildung 58). In diesem Bereich kann das Wasser durch unglückliche Umstände über die Ufer treten und zu Schäden an der Forststraße oder zur Unterspülung von Fundamenten der Druckleitung führen. Besonders stark findet der Wassereinstau im Bereich von Achse 10 bis in den Bereich zwischen Achse 12 und 14 statt. Im oberen gerinneparallel verlaufenden Bereich des Wildholzrechens kann das Wasser seitlich abfließen und verhindert so einen größeren Rückstau (Abbildung 57). Der Wasserspiegelunterschied vom Hauptschluss zum Nebenschluss nimmt in diesem Modellversuch kontinuierlich ab und beläuft sich in Achse 16 auf 0,51 m (Abbildung 58).



Abbildung 57: Wildholzablagerung im Versuch HQ100 V.1.W.E.1. zur Analyse der Wasserspiegelhöhen

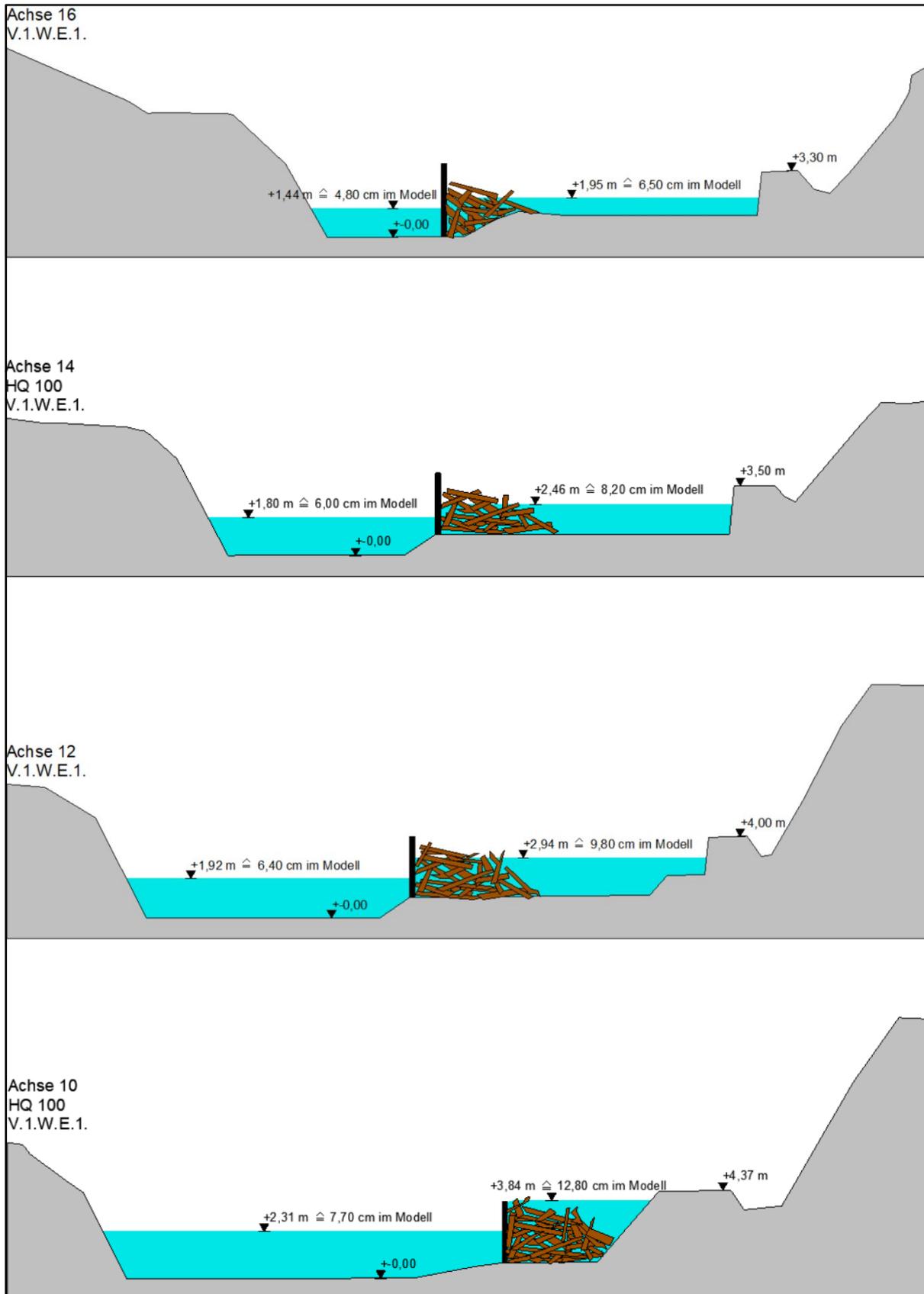


Abbildung 58: Querschnitte Achse 10, 12, 14 und 16 zur Analyse der Wasserspiegelhöhen im Versuch HQ100 V.1.W.E.1. (Quelle: Hödl, 2021)



Die Wildholzablagerungen sowie die Wasserspiegelhöhen beim VO1 HQ100 W.E.3. sind ähnlich derer beim vorhin dargestellten HQ100 V1. Die Wasserspiegelunterschiede zwischen Haupt- und Nebenschluss nehmen sukzessive von Achse 10 zu Achse 16 hin ab und lassen sich wiederum auf die abnehmende Wildholzablagerung gegen die Fließrichtung hinter dem Wildholzrechen zurückführen (Abbildung 59 und Abbildung 60).

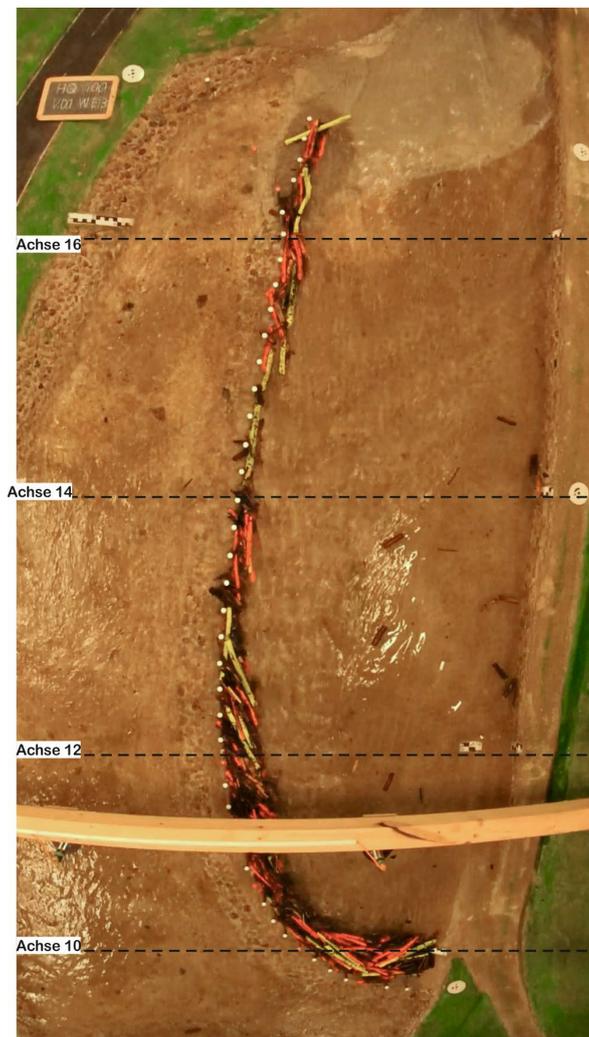


Abbildung 59: Wildholzablagerung im Versuch HQ100 V.O.1.W.E.3. zur Analyse der Wasserspiegelhöhen

Versuche zum Überlastfall wurden in diesem Kapitel nicht dargestellt, da die Wasserspiegelhöhen gegenüber dem HQ100 nur geringfügig abweichen, teilweise auch darunter liegen. Auch die Versuchsreihe V2 und VO wurden hier nicht abgebildet, da die Wasserspiegelhöhen gegenüber den dargestellten Versuchen niedriger ausfallen.

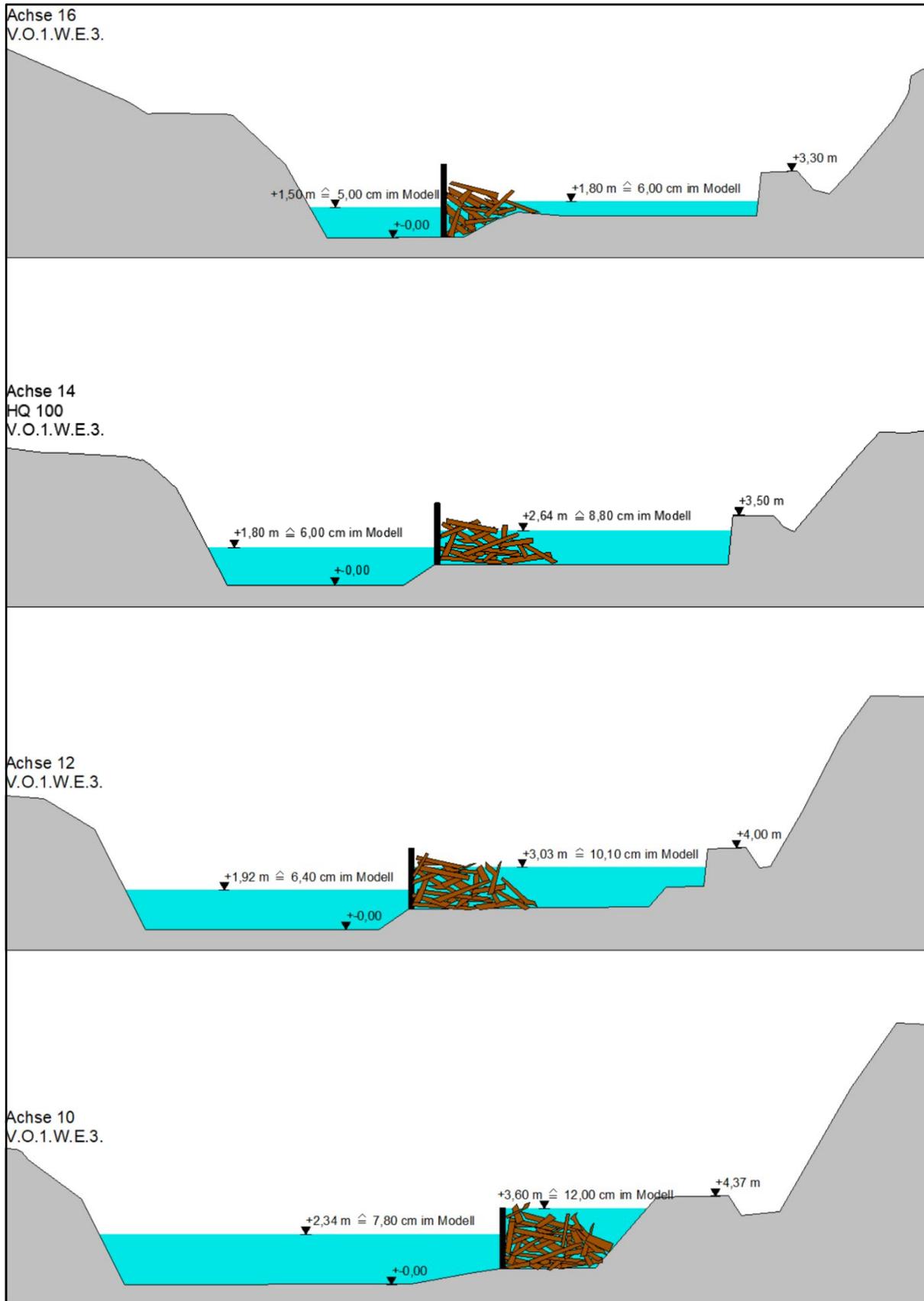


Abbildung 60: Querschnitte Achse 10, 12, 14 und 16 zur Analyse der Wasserspiegelhöhen im Versuch HQ100 V.O.1.W.E.3 (Quelle: Hödl, 2021)



5.4 Fließgeschwindigkeit

Die Fließgeschwindigkeiten wurden nur im Einlaufbereich gemessen und dienen lediglich zur Kontrolle der Randbedingungen für das Modell. Dabei wurde je nach Abflusstiefe die Fließgeschwindigkeit mittels Flügel an bis zu 24 unterschiedlichen Positionen quer über den Gerinnequerschnitt aufgenommen (Abbildung 61).

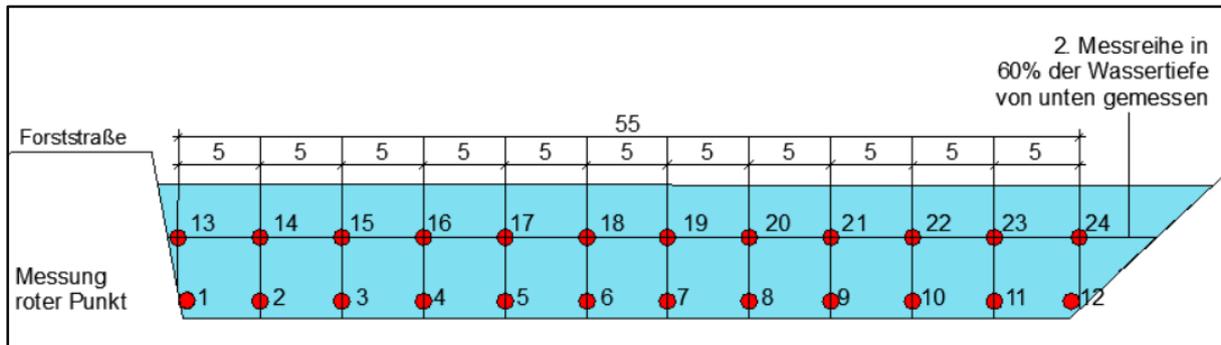


Abbildung 61: Position der gemessenen Fließgeschwindigkeiten im Einlaufbereich (Quelle: Hödl, 2021)

Die für die Kontrolle ermittelten Werte stammen aus je 12 Messungen je Messpunkt für den Überlastfall (HHÜL). Bei einem Umrechnungsfaktor in m/s in Natura von 5,48 ergeben sich mittlere Fließgeschwindigkeiten im Einlaufbereich von gut 6 m/s (Tabelle 15) und entsprechen somit den mittels Hydro_AS und HEC-RAS ermittelten Werten von Klinger und Pöchacker (2019).

Tabelle 15: Ermittelte Fließgeschwindigkeiten für ausgewählte Messpunkte im Einlaufbereich

	Max Modell	Max Natur	Mittelwert Modell	Mittelwert Natur
Messung 17 (m/s)	1,140	6,247	1,093	5,990
Messung 18 (m/s)	1,150	6,302	1,108	6,070
Messung 19 (m/s)	1,180	6,466	1,149	6,298
Messung 20 (m/s)	1,170	6,412	1,141	6,251
Mittelwert (m/s)	1,160	6,357	1,123	6,152



6 Zusammenfassung

Die Durchlässigkeit des Wildholzrechens bzw. der Rückhalt des Wildholzes hängt zum größten Teil vom lichten Stababstand und weniger von dessen Form ab. Für die Erreichung des Schutzzieles in diesem Projekt ist ein lichter Abstand von 2,00 m eindeutig den aufgelockerten Varianten vorzuziehen. Durch den kleineren Abstand können je nach Form des Wildholzrechens bis zu 40 % mehr Wildholz zurückgehalten werden. Bei den Versuchsreihen V1 und VO1 mit einem lichten Abstand von 2,00 m können rund 80 % des transportierten Wildholzes zurückgehalten werden. Die Modellversuche zeigen aber auch, dass neben der Form des Rechens und dessen Stababstand auch die Ausgestaltung der Überlaufschwelle sowie deren Situierung und Neigung einen erheblichen Einfluss auf die Wildholzablagerung haben.

Die Lagerungsdichte (auch Auflockerungsfaktor oder bulk factor) des zurückgehaltenen Wildholzes im Nebenschluss entspricht mit einem gemittelten Wert von 2,1 jenem der Literatur. Laut Lange und Bezzola (2006) schwankt der Auflockerungsfaktor der Ablagerungsdichte zwischen 2 (sehr kompakt) und 5 (locker). Da der Auflockerungsfaktor sehr stark von der Holzform, der Länge, dem Durchmesser sowie der Klassifikation des beim Ereignis mobilisierten Wildholzes abhängig ist, lässt sich der im Modellversuch ermittelte Wert nicht zwingend in der Natur erwarten.

In der Wasserspiegelanalyse wird ersichtlich, dass die Wasserspiegellage bei kompakter Verlegung des Wildholzes im unteren Bereich lediglich rund 0,50 m unter der Geländeoberkante der Forststraße liegt. Auf Grund ungünstiger Verklauungen des Wildholzes oder Überlappung verschiedener Szenarien kann auch nicht ausgeschlossen werden, dass die Wasserspiegellage des unteren Bereiches des Wildholzrechens höher sein kann als die Rechenstabhöhe von 3,00 m. Auf Grund dieser Annahmen wäre eine Hebung der Forststraße von der Kuchlmühle bis einschließlich des Einlaufbereiches und darüber hinaus empfehlenswert, um auch die hinter der Forststraße liegende Druckrohrleitung zu schützen, die von großer Bedeutung für die Infrastruktur von Perg ist.

Bezüglich Fließgeschwindigkeiten kann gesagt werden, dass die Randbedingungen des Modelles eingehalten wurden. Das Geschiebeablagerungsbecken unterhalb des Rechens erfüllt seinen Zweck.



7 Literaturverzeichnis

- Drorbir, J., Reibenwein, C., Prenner, R., Ogris, H., Krouzecky, N., Hengl, M., Korger, H., Lang, G., Markovic, J., Nichtawitz, A. und Huber, B. (2004): Konstruktiver Landschafts- Wasserbau. Möglichkeiten des hydraulischen Modellversuches, Band 20, TU Wien, Börsedruck, Wien. 6 - 10 S.
- Ehyd (2018): Pegelstand Haid; Quelle: <http://www.bfk-perg.at/news/pegelstaende-bezirk-perg/aktueller-pegelstand-naarn-haid.html> (Abfrage am 10.10.2018)
- Hödl J. (2021): Optimierung eines Wildholzrechens an der Naarn. Masterarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien (unveröffentlicht).
- Hydrographischer Dienst Oberösterreich (2021): Kennzahlen Hochwasser, (Quelle: <https://hydro.ooe.gv.at/#9480>)
- Klinger C. und Pöchacker R. (2019): Technischer Bericht – Wildholzrechen Naarn. Universität für Bodenkultur, Wien (unveröffentlicht).
- Lange, D. und Bezzola, G.R. (2006): Schwemmholz. Probleme und Lösungsansätze. Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 188. 9 – 5 S.
- Montag Oliver Ingenieurkonsulent für Geologie (2011): Im Auftrag der WLVB GBL Mühlviertel, Geologisch Geotechnischer Bericht: Wildrechen Naarn, Kuchlmühle (unveröffentlicht).
- Wildbach- und Lawinenverbauung Gebietsbauleitung Oberösterreich Nord (2009): Technischer Bericht: Naarn, Projekt für EM 2009 (unveröffentlicht)



8 Anhang

Anhang 1: Schätzformeln zur Ermittlung des Wildholzpotenziales und der Wildholzfracht

Quelle	Art	Wildholz-Bemessungsfracht (HM) [m ³]	Beschreibung
Zollinger (1983) Mmin	Mittelwert (min)	150	HM = 5 * A
Zollinger (1983) Mmax	Mittelwert (max)	300	HM = 10 * A
Rickenmann (1997) M	Mittelwert	434	HM = 45 * A ^(2/3)
Rimböck (2001) LASP		426	
Meyer und Rimböck (2014) (Shmod gemäßigt)			
Zollinger (1983) oG	Obere Grenze	5400	HM = 180 * A HM = 1170 *
Comiti et. al. (2016) oG	Obere Grenze	4561	A ^(0.4)
Ishikawa (1990) oG	Obere Grenze	15000	HM = 500 * A
Meyer und Rimböck (2014) (Shmod standard)			
Mittelwert		3753	

Quelle	Art	Wildholz-Bemessungspotenzial (HP) [m ³]	Beschreibung
Consecru (1996)	Untere Grenze	16	HP = 1.2 * LG
Uchiogi et. Al. (1996)	Untere Grenze	300	HP = 10 * A
Consecru (1996)	Obere Grenze	0	HP = 36 * LG
Rickenmann (1997)	Mittelwert	1080	HP = 90 * AW
Uchiogi et. Al. (1996)	Untere Grenze	3000	HP = 100 * A
Rickenmann (1997)	Mittelwert	4840	HP = 40 * (LW) ²
Uchiogi et. al. (1996)	Obere Grenze	30000	HP = 1000 * A
Mittelwert		1140	



Anhang 2: Übersichtsplan des Modelles mit der Position der Querprofile

