

Universität für Bodenkultur Institut für Alpine Naturgefahren Department Bautechnik und Naturgefahren Peter Jordan Str. 82 A-1190 WIEN Fax: #43-1-47654-4390



IAN REPORT 105 BAND 2

Optimierung der Schutzmaßnahmen am Schwemmkegel

des Vorderbergerbaches / St. Stefan im Gailtal

Übergangsbereich Geschiebeablagerungsplatz (neu) – Dorfkünette



Im Auftrag:



Amt der Kärntner Landesregierung, Abt. 18: Wasserwirtschaft

Wien, September 2008

REPORT 105: Optimierung der Schutzmaßnahmen am Schwemmkegel des Vorderbergerbaches, St. Stefan im Gailtal Band 2: Übergangsbereich Geschiebeablagerungsplatz (neu) -Dorfkünette

Im Auftrag von:	Amt der Kärntner Landesregierung, Abt. 18: Wasserwirtschaft
Projektleitung:	Ao. Univ. Prof. DI Dr. Johannes Hübl
	DI Dr. Roland Kaitna
Mitarbeiter:	DI Matthias Kerschbaumer
	DI Mario Niederschick
Consulting:	DI Dr. Michael Hengl,
	Institut für Wasserbau und hydrometrische Prüfung, Wien

Universität für Bodenkultur Institut für Alpine Naturgefahren Department Bautechnik und Naturgefahren Peter Jordan Str. 82 Tel.: #43-1-47654-4350

A – 1190 Wien

Fax: #43-1-47654-4390

Report Nr.: 105

Referenz (Literaturzitat): KAITNA, R., KERSCHBAUMER, M., NIEDERSCHICK, M., CHIARI, M., HENGL, M., HUEBL, J. (2008): Optimierung der Schutzmaßnahmen am Schwemmkegel des Vorderbergerbachs / St. Stefan im Gailtal, IAN Report 105 Band 2; Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur, Wien (unveröffentlicht).

Wien, September 2008

Inhaltsverzeichnis

Ab	bildı	ungsverzeichnis	IV					
1.	Einle	eitung	1					
	1.1.	Hintergrund	1					
	1.2.	Problemstellung	3					
	1.3.	Zielsetzung	3					
2.	Gru	ndlagen des hydraulischen Modellversuchswesen	4					
3.	Met	hodik	5					
	3.1.	Übersicht Versuchsanordnung	5					
	3.2.	Modellaufbau	6					
	3.3.	Gemessene Parameter	9					
	3.4.	. Reinwasserganglinien und Geschiebetransport						
		3.4.1. Reinwasser	11					
		3.4.2. Geschiebe	11					
	3.5.	Festlegung der Varianten	12					
		3.5.1. Reinwasservariante - VA1	12					
		3.5.2. Geschiebevariante - VA2	12					
		3.5.3. Selbstentleerung - VA3	15					
	3.6.	Festlegung der Szenarien	16					
	3.7.	Festlegung der Geometrie	16					
	3.8.	Kalibrierung	19					

	3.9.	Überbl	lick Versuche	23								
4.	4. Resultate 25											
	4.1.	Geome	etrie G0	25								
		4.1.1.	Beschreibung der Geometrie	25								
		4.1.2.	Reinwasser	25								
	4.2.	Geome	trie G3	28								
		4.2.1.	Beschreibung der Geometrie 3	28								
		4.2.2.	Reinwasser	28								
		4.2.3.	Geschiebe	29								
	4.3.	Geome	trie G4	32								
		4.3.1.	Beschreibung	32								
		4.3.2.	Reinwasser	32								
	4.4.	Endge	ometrie G6	34								
		4.4.1.	Beschreibung Endgeometrie	34								
		4.4.2.	Reinwasser	37								
		4.4.3.	Geschiebe	40								
		4.4.4.	Selbstentleerung	42								
5.	Zusa	ammen	fassung	47								
Lit	eratı	ır		49								
Ар	pend	lix		I								
Α.	Арр	endix		П								
	A.1.	Geome	trien	II								
		A.1.1.	Ausgangsgeometrie	III								
		A.1.2.	Geometrie 2	IV								
		A.1.3.	Geometrie 3	V								
		A.1.4.	Geometrie 4	VI								
		A.1.5.	Geometrie 5	VII								

	A.1.6.	Endgeon	netrie							 	•	•	 	VIII
A.2.	Geschi	ebeablage	erungen .							 	•	•	 	IX
	A.2.1.	Geometr	ie 3							 	•		 	IX
		A.2.1.1.	Vorverfi	illung G	3.					 	•		 	IX
		A.2.1.2.	Ablager	ung G3						 	•		 	X
	A.2.2.	Geometr	ie 6							 	•		 	XI
		A.2.2.1.	Vorverfi	illung G	6.					 	•		 •	XI
		A.2.2.2.	Ablager	ung G6		 •	 •			 	•	•	 	XII
A.3.	Geschv	windigkeit	sverteilu	ngen .						 	•	•	 	XIII
	A.3.1.	Szenario	1 [HQ30]						 	•		 	XIII
	A.3.2.	Szenario	2 [HQ10	0]						 	•		 	XIV
	A.3.3.	Szenario	3 [HQ15	0]						 	•		 	XV
A.4.	Planda	arstellung	der End	geometr	ie .					 	•		 	XVI
A.5.	Lagepl	an								 	•	•	 •	XVII

Abbildungsverzeichnis

1.1.	Schwemmkegel des Vorderbergerbaches im Gailtal, Kärnten (Foto: WLV	
	Kärnten)	2
3.1.	Grundriss-Skizze der Versuchsanordnung	7
3.2.	Aufriss-Skizze der Versuchsanordnung	8
3.3.	Messung der Abflusstiefe mittels Ultraschallsensoren und Geschwindigkeit	
	mittels hydrometrischen Messflügel (Foto: Hengl)	10
3.4.	Beispiele für die Vorverfüllung vor einem Geschiebeversuch bei verschiede-	
	nen Geometrien	13
3.5.	Sohlevolution beim HQ150 stationär für alle GAP Teilabschnitte. Die rele-	
	vante Geschiebezugabe richtet sich nach dem Geschiebetransport bei dem	
	Zeitpunkt an dem die Geschiebefront den Übergangsbereich erreicht (Si-	
	mulation SETRAC)	14
3.6.	Grundgeometrie für die Versuche und Überblick über die Anordnung der	
	Profile	18
3.7.	Modell des Vorderbergerbach, links unten die senkrechten Einschübe zur	
	Einstellung des Wasserspiegels	20
3.8.	Vergleich der berechneten und gemessenen Abflusstiefen für die Szenarien	
	HQ30, HQ100 und HQ150	20
3.9.	Vergleich der berechneten und gemessenen mittleren Fließgeschwindigkei-	
	ten $(links)$ sowie der Froudezahlen im Modell und in der numerischen Si-	
	mulation (rechts) für die Szenarien HQ30, HQ100 und HQ150	22

3.10.	Überblick über die untersuchten Geometrien	24
4.1.	Scan der Ausgangsgeometrie G0	26
4.2.	Geschwindigkeiten und Skizze der Hauptströmrichtung für die Geometrie G0	27
4.3.	Scan der Geometrie G3	28
4.4.	Geschwindigkeiten und Skizze der Hauptstromrichtung für die Geometrie G3	29
4.5.	Geschiebeablagerungen während und nach dem Versuch für die Geometrie	
	G3	30
4.6.	Geschiebe ablagerungen vor (links) und nach (rechts) dem Geschiebeversuch	
	(HQ150) für die Geometrie G3	31
4.7.	Scan der Geometrie G4	32
4.8.	Geschwindigkeitsverteilung $(links)$ und Strömungsverhältnisse $(rechts)$ beim	
	Spitzenabfluss des HQ150 für die Geometrie G4	33
4.9.	Scan (oben) und Foto (unten) der Endgeometrie G6	35
4.10.	Plandarstellung der Profile 6 bis 9 für die Geometrie 6	36
4.11.	Geschwindigkeitsverteilung in den Profilen P6-P129 für die hydrologischen	
	Szenarien HQ30, HQ100 und HQ150	37
4.12.	Visualisierung der Strömungsverhältnisse bei der Geometrie G6 im Falle	
	eines HQ150 Reinwasserabflusses	38
4.13.	Künettenprofile 128 - 130 mit den Wasserspiegellagen und der Energielinie	
	für das 150 jährliche Ereignis	39
4.14.	Scans der Endgeometrie G6 vor und nach einem Geschiebeversuch für das	
	HQ150	40
4.15.	Fotos während und nach einem Geschiebeversuch für das HQ150 bei der	
	Endgeometrie G6	44
4.16.	Künettenprofile 128 - 130 mit Wasserspiegellagen und der Lage der Ener-	
	gielinien für das 150 jährliche Ereignis bei Geschiebetransport	45
4.17.	Visualisierung der Strömungsverhältnisse während des Versuchs zur Selbs-	
	tentleerung des GAP bei der Geometrie G6	45

4.18. Vergleich der Ablagerungen nach einem HQ150 bei starken Geschiebetrans-
port (a) und nach einem HQ5 Durchfluss bei geringem $\operatorname{Geschiebeinput}(b)$. 46
A.1. Ausgangsgeometrie
A.2. Geometrie 2
A.3. Geometrie 3
A.4. Geometrie 4
A.5. Geometrie 5
A.6. Endgeometrie
A.7. Vorverfüllung der Geometrie 3
A.8. Ablagerung in der Geometrie 3 nach einem 150jährl. Ereignis X
A.9. Vorverfüllung Endgeometrie [G6] XI
A.10.Ablagerung in der Endgeometrie nach einem 150jährl. Ereignis XII
A.11.Geschwindigkeitsverteilung für das HQ30 in den Profilen für die Ausgangs-
geometrie (G0), die Geometrie 3 (3) und die Endgeometrie gemessen in
Strömungsrichtung(G6) XIII
A.12.Geschwindigkeitsverteilung für das HQ100 in den Profilen für die Ausgangs-
geometrie (G0), die Geometrie 3 (3) und die Endgeometrie (G6) gemessen
in Strömungsrichtung) $\ldots \ldots $ XIV
A.13.Geschwindigkeitsverteilung für das HQ150 in den Profilen für die Ausgangs-
geometrie (G0), die Geometrie 3 (3) und die Endgeometrie (G6) gemessen
in Strömungsrichtung
A.14.Plandarstellung der Profile 6 bis 9 für die Geometrie 6
A.15.Lageplan der Profile

1. Einleitung

1.1. Hintergrund

In den Nachmittagsstunden des 29. August 2003 kam es nach einer niederschlagsarmen Wetterperiode zur Ausbildung von lokalen Starkregenereignissen, die durch eine Tiefdruckwetterlage im Mittelmeerraum bestimmt waren. Die Niederschläge konzentrierten sich auf die Staulagen der Karnischen Alpen (auf italienischem Gebiet wurden bis zu 400 mm Niederschlag gemessen). Aber auch an den Nordhängen wurden beachtliche Niederschlagsmengen aufgezeichnet. Die Ortschaft Vorderberg, Gemeinde St. Stefan im Gailtal, welche vom Vorderbergerbach durchflossen wird, war besonders stark betroffen (Abb. 1.1). Der vorhandene Geschiebeablagerungsplatz (GAP) oberhalb des Ortes konnte die anfallende Menge an Feststoffen nicht komplett aufnehmen. Durch den hohen Geschiebe- und Wildholzanfall kam es im Anschluss zu Verklausung der Landesbrücke im oberen Bereich der Dorfkünette und damit zu Überströmung oberhalb der Brücke sowie im Bereich der Gerinneverengung (Übergang GAP - Dorfkünette). Durch die Überflutung und Sedimentablagerung ausserhalb des Gerinnes entstanden Schäden an rund 2/3 der Wohnobjekte. Neben diesen Schäden kam es zu Unterbrechung der Wasserversorgung und einiger Straßenverbindungen sowie zu Schäden an der Umwelt durch ausgeflossenes Heizöl (Hübl et al. 2004). Durch Interpolation der Niederschlagsdaten einzelner Messstellen des Hydrographischen Dienstes Kärnten im Gailtal sowie Niederschlagsdaten von Messstellen im Kanaltal (Italien), schätzt man den Tagesniederschlag für Vorderberg vom 29. August 2003 auf 285 mm. Die berechneten Bemessungsniederschläge zeigen, dass der Ereignisniederschlag für das rund 27 km² umfassende Einzugsgebiet des Vorderbergerbaches deutlich den Wert eines 100- jährlichen Niederschlagsereignisses übersteigt. Der daraus resultierende extrem hohe Abfluss führte zu einer intensiven Feststoffmobilisierung. Die Hälfte der ca. 500.000 m^3 Feststofffracht wurde im Einzugsgebiet retendiert. Davon blieben rund 120.000 m^3 Geschiebe im Staubereich des 1998 errichteten Murbrechers oberhalb der Vorderbergerschlucht liegen. Etwa 250.000 m³ (Raumvolumen) Sediment wurde zum Schwemmkegel transportiert und dort teilweise im GAP und teilweise ausserhalb des Gerinnes abgelagert (Hübl et al. 2004).



Abb. 1.1.: Schwemmkegel des Vorderbergerbaches im Gailtal, Kärnten (Foto: WLV Kärnten)

Im Band I 'Optimierung des Geschiebeablagerungsplatzes Vorderbergerbach' wurde ein Konzept zur Neugestaltung des bereits existierenden Geschiebeablagerungsplatzes (GAP) bachaufwärts der Gemeinde Vorderberg im Gailtal erstellt. Es wurde in Zusammenarbeit mit dem Forsttechnischen Dienst für Wildbach und Lawinenverbauung, Gebietsbauleitung Gailtal und mittleres Drautal (WLV), ein Gesamtkonzept entwickelt und verschiedene Detailvarianten zur Diskussion gestellt. Um ein optimales Ergebnis für den neu zu errichtenden GAP zu erziehlen wurde das Gesamtkonzept sowie die verschiedenen Varianten in einem physikalischen Modellversuch überprüft. Als Hauptziel für die Modifikationen wurde ein maximaler Geschieberückhalt bei gleichzeitiger sicherer Abfuhr des zu erwarteten Wasservolumens definiert. Das generelle Konzept für den neuen GAP sieht sowohl eine Gefällsreduktion im Längsschnitt als auch eine Aufweitung des Platzes vor. Die Gefällsreduktion wird durch die Aufteilung des GAP in drei Teilabschnitte mit reduzierten Gefälle (jeweils 1%) erreicht. Die Übergänge zwischen den Teilabschnitten sowie der Einlaufbereich im obersten Abschnitt sollen mit Blockrampen (Höhe ca. 4 m) ausgeführt werden. Die Aufweitungsmaßnahmen werden durch die Katastergrenzen, die den GAP umgeben, bestimmt. Zur Erhöhung des Geschiebe- und Wildholzrückhalts wurden verschiedenen Einbauten am unteren Ende der jeweiligen Teilabschnitte vorgeschlagen. Die verschiedenen Varianten wurden in einem physikalischen Modellversuch, der nur den oberstesten Teilabschnitt des GAP abbildet, evaluiert und die Erkenntnisse aufgrund der ähnlichen geometrischen und hydraulischen Rahmenbedingungen auf die anderen Teilanschnitte übertragen. Die Ergebnisse und Empfehlungen aus diesen Versuchen sind dem Band I 'Optimierung des Geschiebeablagerungsplatzes Vorderbergerbach' (Hübl et al. 2007) zu entnehmen.

1.2. Problemstellung

Nach der erfolgreichen Neukonzeption des GAP stellt die schadlose Ableitung des Wassers im Hochwasserfall im Übergangsbereich vom GAP in die neu errichtete Dorfkünette eine weitere Herausforderung dar. Die starke Einschnürung in diesem recht kurzen Abschnitt und die damit verbundene Beschleunigung des Abflusses wird als kritisch angesehen. Gerade die Erfahrungen vom Hochwasser im August 2003 zeigen, dass es in diesem Bereich zu einer starken hydraulischen Belastung und zu unerwünschten Sediment- und Wildholzablagerung kommen kann, was schließlich auch zu Überbordung der Ufermauern geführt hat. Seitens der Wasserbauverwaltung Hermagor (Amt der Kärntner Landesregierung, Abt. 18 Wasserwirtschaft), in deren Kompetenzbereich die Dorfkünette liegt wurden mittlerweile Maßnahmen zur Erhöhung der Abflusskapazität getroffen (Porzer und Poglitsch 2008). Die Dorfkünette wurde ca. 2.5 m eingetieft und verbreitert. Aufgrund dieser Maßnahme kann von einem problemlosen Abtransport des Wassers beim 100 jährlichen Bemessungsereigniss ausgegangen werden. Die Problematik liegt nun im Übergangsbereich vom GAP in die Dorfkünette und es stellt sich die Frage, welche Geometrie eine sichere Einleitung in die Künette ermöglicht.

1.3. Zielsetzung

Im Rahmen des Folgeprojektes sollen nun anhand der schon bestehenden hydrologischen und hydraulischen Grundlagen und auf Basis des vorhandenen physikalischen Modells ein Konzept zur optimalen hydraulischen Ausführung des Übergangsbereichs vom GAP in die Bachkünette erstellt werden. Kern des Projektes bildet eine physikalische Modellierung (hydraulischer Modellversuch) des geplanten Übergangbereichs. Ziel ist es, den Übergang vom Geschiebeablagerungsplatz in die Dorfkünette so zu gestalten, daß ein möglichst gleichförmiges Einströmen in die Dorfkünette gewährleistet ist und es zu keinen ungünstigen Geschiebeablagerungen und damit verbundenen möglichen Überbordung kommt. Als relevante Szenarien wurden der Spitzenabfluss beim HQ30, HQ100 sowie HQ150 festgelegt.

2. Grundlagen des hydraulischen Modellversuchswesen

Theoretische Überlegungen zum hydraulischen Modellversuchswesen sowie die konkreten Auswirkungen auf den dargestellten Modellversuch wurden im IAN REPORT 105 BAND 1 'Optimierung der Schutzmaßnahmen am Schwemmkegel des Vorderbergerbaches / St. Stefan' im Detail diskutiert und konnen ebendort nachgelesen werden.

3. Methodik

3.1. Übersicht Versuchsanordnung

Da es sich beim diesem Projekt um das Nachfolgeprojekt des schon abgeschlossenen Modellversuchs zur Optimierung des Geschiebeablagerungsplatz (IAN REPORT 105 BAND 1) handelt, konnte ein Teil der Versuchsanlage übernommen werden. Es wird hier ein kurzer Überblick über die im Band I beschriebene Anlage gegeben und die Veränderungen bzw. Umbauten im Detail besprochen.

Die mittlere Neigung der geplanten drei Teilabschnitte des GAP beträgt 1%. Wie auch im ersten Projektteil der Modellversuche Vorderbergerbach wird nur ein Teilabschnitt im Labor nachgebildet, um den Maßstab für eine gesicherte Übertragbarkeit der Ergebnisse in die Natur möglichst groß zu halten. Zusätzlich verlangt die aktuelle Fragestellung, dass der Übergangsbereich in die Dorfkünette sowie ein Teil der Künettenstrecke im Modell nachgebildet wird. Letztendlich konnte trotz des längeren Modells der gleiche Maßstab - Maßstab 1:30 - wie beim ersten Teilprojekt realisiert werden. Die Neigung von 1% wird direkt im Modell übernommen werden, da es sich auch hier um ein unverzerrtes Modell handelt (Verkleinerungsmaßstab ist in allen Koordinatenrichtungen gleich). Es wurde somit die Geometrie des untersten Abschnittes des geplanten GAP (siehe Band I) auf die vorhandene Grundplatte aufgebracht sowie der oberste Abschnitt der bereits existierenden Künettenstrecke bis zur Gail. Der Übergangsbereich wurde im ersten Schritt bis zum ersten fix vorgegebenen Profil der Dorfkünette (Profil 130) möglichst gleichförmig ausgeführt. Die Neigung der Künette beträgt im Mittel 1.4%.

Ein Grund- und Aufriss des modellierten Abschnittes ist in den Abb. 3.1 und Abb. 3.2 zu sehen.

In einem geschlossenen Wasserkreislauf wird das Wasser von einem Reservoir unterhalb des Modells (Fassungsvermögen ca. 36 m³) in einen Syphon mit integrierter Wasserberuhigung gepumpt. Der Auslass des Syphons ist mit einem V-förmigen Auslass ausgestattet ('Thomson Wehr'), um eine Kontrollmessung des Reinwasserabflusses - zusätzlich zur automatischen Pumpmessung und einem unabhängigen Durchflussmesser - zu erhalten. Details zur technischen Einrichtung sind im Band I zu finden. Das Geschiebe wird über ein Förderband in einer halbkreisförmigen, glatten Halbschale eingebracht und mit dem Wasser vermischt. Im folgenden Einlaufbereich wird durch die trichterförmige Ausbreitung des Wasser-Sedimentgemisches eine über die Breite relativ gleichmäßige Verteilung des Sediments erreicht. Nach Durchfließen des Modellbereichs wird das Sediment-Wassergemisch im einem Absetzbecken getrennt und das Wasser in das Reservoir rückgeleitet.

3.2. Modellaufbau

Modellsohle

Wie schon im ersten Projektteil zur Optimierung des GAP wurde mit einer festen Modellsohle gearbeitet. Beim Szenario der teilweisen Vorverfüllung des GAP sowie bei einsetzendem Geschiebetransport ist von einem Modell mit teilweiser beweglicher Sohle auszugehen. Im Unterschied zu den ersten Modellversuchen wurde das Modell nicht betoniert. Als Modellsohle dienen beschichtete Spanplatten. Auf die Spanplatten wurde eine dicke Schicht Bootslack aufgetragen und im feuchten Zustand Sand eingestreut. Beim Trocknen verbindet sich der Bootslack mit dem Sand und bietet eine stabile Sohle mit der Oberfächenrauigkeit des Modellgeschiebes.

Modellböschung

Die Böschungen wurden in einem ersten Schritt entsprechend des ersten Vorschlages für den GAP mit einer Neigung von 1:1 ausgeführt, zum einen um das potentielle Ablagerungsvolumen zu maximieren, zum anderen um genügend Platz zur Ausgestaltung verschiedener Einlaufgeometrien sicherzustellen. Gerade im untersten Teilabschnitt, in dem die Sohle des GAP mehr als 5 m unter der Geländeoberkante liegt, ist diese Neigung mit Sicherheit für die Praxis zu steil. Im Zuge der Variantenstudie wurden die modifizierten Geometrien mit einer deutlich flacheren Neigung ausgeführt. Die Böschungen wurden aus 10 cm starken Styrodur-Platten geschnitten und den jeweiligen Verhältnissen angepasst. Die einzelnen Teile wurden anschließend mit Silikon verklebt und mit einer geeigneten Rauigkeit versehen. Mit einer Zahnspachtel wurde Fliesenkleber aufgetragen und darin 6 - 12 mm große Kiesel eingelegt. Es ist anzumerken, dass aufgrund der großen Breite des GAP die Rauigkeit der seitlichen Gerinnebegrenzung geringen Einfluss hat.



Abb. 3.1.: Grundriss-Skizze der Versuchsanordnung



Abb. 3.2.: Aufriss-Skizze der Versuchsanordnung

Geometrieveränderungen

Vorteilhafte Geometrieveränderungen wurden zumeist im Zuge eines 'Reinwasserversuchs' mit einfachen Hilfsmitteln wie Styrodurblöcken oder Holzteilen abgeschätzt und anschließend mit Grobsteinwurf (1.5-5 cm) aufgeschüttet. Danach wurde die Oberfläche mit Dachriesel der Körnung (1-2 cm) modelliert. Dadurch bleiben die Einbauten flexibel und leicht zu verändern. Außerdem sind an den geschütteten Böschungen kritische Strömungsgeschwindigkeiten und damit eine starke hydraulische Belastung, die zu Erosionserscheinungen führen kann, gut zu erkennen.

3.3. Gemessene Parameter

Wie in Abb. 3.1 skizziert, werden verschiedene hydraulische Parameter des Abflussgeschehens im Modell kontinuierlich gemessen. Die wichtigsten Parameter umfassen

- den Reinwasserabfluss
- die Geschiebezugabe,
- die Abflusstiefen, sowie
- die Geschwindigkeitsverteilung innerhalb der Profile.

Der abgebildete Modellbereich umfasst die Profile 6 bis 12 und 127 bis 130 (siehe Abb. 3.6). Die Messung des Reinwasserabflusses erfolgt zum einen über die direkte Messung der Fördermenge der Tauchpumpe sowie einem unabhängigen Durchflussmesser in einem Zuleitungsrohr, zum anderen über die Messung des Wasserspiegels vor dem Überfall über das Thomsonwehr. Damit stehen also drei unabhängige Systeme zur Messung des Reinwasserabflusses zur Verfügung. Wie schon erwähnt erfolgt die Geschiebezugabe über ein Förderband, dessen Umlaufgeschwindigkeit stufenlos regulierbar ist. Details zum Pumpsystem, zu den Messeinrichtungen und der Kalibrierung der Beschickung über das Förderband können dem Band I entnommen werden.

Die Fließgeschwindigkeiten im Modell werden mittels eines hydrometrischen Messflügels des Typs ' μ -ASDI' der Firma 'Höntzsch' gemessen (Abb.3.3). Die mittlere Geschwindigkeit in einem Profil kann zum einen über die direkte Messung an verschiedenen Stellen innerhalb des Profils und der anschließenden gewichteten Mittelwertbildung abgeschätzt werden, zum anderen aus der Rückrechnung mit

$$V_m = \frac{Q}{A(h)},\tag{3.1}$$

wobei Vm = mittlere Geschwindigkeit [m/s], Q = Abfluss $[m^3/s]$, A = Querschnittsfläche $[m^2]$ und h = Abflusstiefe [m].

Die Abflusstiefen werden mit Ultraschall - Sensoren mit einer Messrate von 10 Hz während eines Versuches direkt gemessen (Abb.3.3). Zusätzliche Abflusstiefenmessungen erfolgen händisch mittels eines sehr schmalen Maßstabes, um die Strömung durch die Handmessung so wenig wie möglich zu beeinflussen.



Abb. 3.3.: Messung der Abflusstiefe mittels Ultraschallsensoren und Geschwindigkeit mittels hydrometrischen Messflügel (Foto: Hengl)

Da der Geschiebeaustrag für die aktuelle Fragestellung nicht von Relevanz ist, wurde das Absetzbecken im Gegensatz zum ersten Teilprojekt nicht kontinuierlich gewogen, sondern allein zur Abscheidung der festen Komponenten im Abfluss verwendet.

Um eine genaue Information über die Topographie der verschiedenen Einlaufgeometrien in die Dorfkünette zu erhalten, wurde von den verschiedenen Varianten des Modells vor jedem Versuch mittels eines Laserscans ein 3-dimensionales Höhenmodell erstellt. Im Falle von Versuchen mit simulierten Geschiebetransport bzw. einer teilweisen Vorverfüllung des Ablagerungsraumes wurde zusätzlich jeweils ein digitales Höhenmodell nach dem Versuch erstellt.

3.4. Reinwasserganglinien und Geschiebetransport

3.4.1. Reinwasser

Die Bestimmung eines Bemessungsereignisses, z.B. des Spitzenabfluss bei einem HQ100, erfolgt im Flussbau in der Regel durch eine extremwertstatistische Analyse gemessener Durchflüsse bzw. Pegelstände. Da die nötige Datengrundlage bei Wildbächen wie auch dem Vorderbergerbach meist fehlen, werden die Bemessungsganglinien und die Spitzenabflüsse aus hydrologischen Überlegungen abgeleitet. Für kleine Einzugsgebiete (sog. Wildbacheinzugsgebiete) wurde eine Reihe von Methoden entwickelt, das Bemessungsergnis aus Regendaten abzuschätzen. Einen Überblick über die gängigen Modelle geben Hagen et al. (2007) oder Kleindienst und Forster (2000).

Alle notwendigen hydrologischen Berechnungen zur Abschätzung der jeweiligen Szenarien wurden mit dem Simulationsmodell 'Zemokost' (Kohl und Stepanek 2005) durchgeführt, einem hydrologischen Modell zur Abflussbestimmung in alpinen Einzugsgebieten, basierend auf dem Laufzeitverfahren von Zeller (1981). Die Bemessungsniederschläge werden hier nach den Modell von Lorenz und Skoda (2000) berechnet. Für Details zu den Modellen und zur Modellkalibrierung für das Einzugsgebiet des Vorderbergerbachs sei auf Band I des Reports 105, sowie auf Totschnig (2007), verwiesen.

3.4.2. Geschiebe

Wie schon im ersten Teil des Modellversuchs des Vorderbergerbaches wurden die relevanten Geschiebetransportraten entweder händisch, basierend auf verschiedenen Geschiebetransportformeln berechnet oder bei komplexeren Szenarien das Simulationsmodell SE-TRAC (Rickenmann et al. 2006) herangezogen. SETRAC ist das Akronym für SEdiment TRansport Model in Alpine Catchments und wurde an der BOKU entwickelt. Die Abflussganglinien werden als kinematische Welle durch ein Gerinnesystem geleitet. Verschiedene Ansätze zur Berechnung des Fließwiderstands stehen dem Anwender zur Verfügung. Zusätzlich kann der Einfluss der Formrauigkeit auf den Geschiebetransport berücksichtigt werden. Verschiedene, für steile Gerinne geeignete, Ansätze zur Berechnung des Geschiebetransports (Rickenmann 1990, 1991, Smart und Jäggi 1983) stehen zur Verfügung. Die Querprofile werden zur Berechnung des Pegelschlüssels nach der Streifenmethode aufgeteilt. Die Anzahl der Streifen richtet sich dabei nach der Komplexität des Querprofils. So können auch gegliederte Profile gut abgebildet werden. In jedem Streifen wird neben der Fließgeschwindigkeit auch der Geschiebetrieb berechnet. In SETRAC können auch Änderungen der Gerinnegeometrie durch Auflandungen bzw. Erosion berücksichtigt werden. Wobei jedem Berechnungsabschnitt eine mögliche Erosionstiefe zugewiesen wird.

3.5. Festlegung der Varianten

Es werden im Grunde die Varianten 'Reinwasser' sowie 'Geschiebetransport' unterschieden. Letztendlich wurde zusätzlich ein Versuch zur Abschätzung des Erosionsverhaltens bei der günstigsten geometrischen Variante im Zustand der Verfüllung mit Geschiebe durchgeführt. Es handelt sich somit um eine Art 'Spülvariante' und soll im Anschluss ebenfalls besprochen werden.

3.5.1. Reinwasservariante - VA1

Bei der Reinwasservariante werden die Geschwindigkeitverteilung und die Wasserspiegellagen in den jeweiligen Profilen gemessen, um die Strömungsverhältlnisse im Übergangsbereich GAP - Dorfkünette zu bestimmen. Außerdem kann aufgrund des Erosionsverhaltens an den geschütteten Böschungen die hydraulische Belastung recht gut abgeschätzt werden. Auf Basis der Erkenntnisse dieser Messungen werden jeweils die nächste zu untersuchende Geometrie des Übergangsbereiches angepasst.

3.5.2. Geschiebevariante - VA2

Die bei 'Variante 1 - Reinwasser' als zufriedenstellend evaluierten Geometrien des Übergangsbereichs werden in Folge bei intensivem Geschiebetransport untersucht. Dieses Szenario stellt sicherlich einen eher realitätsnahen Zustand dar, da es nicht zu erwarten ist, dass im Falle eines Hochwasserereignisses kein Geschiebetransport auftritt. Generell kann bei dem Großteil der alpinen Wildbäche mit sedimentlimitierten Verhältnissen ausgegangen werden. Im Falle des Vorderbergerbachs ist jedoch das Sedimentdargebot im Einzugsgebiet und im Hauptgerinne erheblich. Als Vorbereitung für die Versuche der Geschiebevariante wird das Becken vorverfüllt. Dabei wird mit dem Reinwasserabfluss des HQ10 (50 m^3 /s in der Natur, ca. 10 l/s im Modell) und einer kontinuierlichen Geschiebezugabe von 50 % der maximalen Geschiebemenge beim HQ10 (0.5 m^3 /s in der Natur, 0.1 dm^3 /s im Modell) das Becken für ca. 30 Minuten verfüllt (Abb. 3.4). Dieser reduzierte

Geschiebeeintrag erfolgt aufgrund der Tatsache, dass der Modellbereich nur das unterste Drittel des zukünftigen GAP abbildet und dementsprechend ein Großteil des Geschiebevolumens schon in den oberen Abschnitten - je nach Vorverfüllung und Ausgestaltung (siehe Band I) - abgelagert werden. Das damit vorhandene Geschiebevolumen entspricht daher eher einem 'worst-case' Szenario.



(a) Foto der Vorverfüllung für Geometrie G4



Abb. 3.4.: Beispiele für die Vorverfüllung vor einem Geschiebeversuch bei verschiedenen Geometrien

Beim Versuch selbst wird der Maximalabfluss des HQ150 stationär ins Modell eingeleitet. Zusätzlich erfolgt eine kontinuierliche Geschiebezugabe am oberen Ende des physikalischen Modells. Die relevante Transportrate basiert auf einer numerischen Simulation mit der Software SETRAC (SEdiment TRansport in Alpine Catchments; Rickenmann et al. 2006). Hierbei wurde der Geschiebetransport bei voller Transportkapazität im Einlaufgerinne durch alle drei Teilabschnitte des des GAP berechnet. Letztendlich wurde für die Geschiebevariante (VA2) die Transportrate im Übergangsbereich zum Zeitpunkt der Ankunft der Sedimentfront in diesem Bereich gewählt. Die Transportrate beträgt 2 m^3/s in der Natur bzw. 0.4 l/s im Modell (Abb. 3.5).



Abb. 3.5.: Sohlevolution beim HQ150 stationär für alle GAP Teilabschnitte. Die relevante Geschiebezugabe richtet sich nach dem Geschiebetransport bei dem Zeitpunkt an dem die Geschiebefront den Übergangsbereich erreicht (Simulation SETRAC)

3.5.3. Selbstentleerung - VA3

Bei der Variante zur Untersuchung des Abflussgeschehens bei einem stark verfüllten GAP wurde eine Reinwasserzugabe entsprechend dem HQ5 (6 l/s) gewählt. Die kontinuierliche Geschiebezugabe beträgt 25% der maximalen Geschiebemenge beim HQ5 (0.032 l/s). Die Geschiebezugabe wurde gewählt, da man davon ausgehen kann, dass es im Falle eines verfüllten Beckens in keinem Fall zu einem sedimentunbelastetem Reinwasserabfluß kommen kann.

3.6. Festlegung der Szenarien

Die verschiedenen Varianten der Einlaufgeometrien werden anhand von vier hydrologischen Szenarien evaluiert. Es sind dies die maximalen Abflüsse bei einem

- ${\bf SZ1}$ 30 jährlichen Ereignis,
- ${\bf SZ2}$ 100 jährlichen Ereignis,
- ${\bf SZ3}$ 150 jährlichen Ereignis, sowie
- **SZ4** 5 jährlichen Ereignis.

Wie schon erwähnt liegt der Berechnung der Ganglinien und der maximalen Abflüsse die Software 'Zemokost' (Kohl und Stepanek 2005) zugrunde und stimmen mit den Angaben des Hydrographischen Dienstes für Kärnten für den Spitzenabfluss beim HQ100 überein. Die gleichen Werte wurden auch bei der Bemessung der Dorfkünette des Vorderbergerbachs von der Firma 'DonauConsult' verwendet. Für Details zum Modell 'Zemokost' und zur Modellkalibrierung für das Einzugsgebiet des Vorderbergerbachs sei auf Band I des Reports 105, sowie auf Totschnig (2007), verwiesen.

Bei einem 30 jährlichen Niederschlag ist mit einer maximalen Abflussspende von 80 m^3 /s (Natur) bzw. 16.2l/s (Modell) zu rechnen. Die Werte für das HQ100 und HQ150 liegen bei 120 m^3 /s bzw. 24.3 l/s und 136 m^3 /s bzw. 27.6 l/s.

Der Variante zur Untersuchung des Erosionsverhaltens im Falle eines mit Sediment verfüllten GAP wurde der Spitzenabfluss beim HQ5 zugrunde gelegt, was einem Abfluss in der Natur von 30 m^3 /s und von 6 l/s im Modell entspricht. Da ein komplett geschiebefreier Abfluss beim Vorderbergerbach unrealistisch erscheint, wurden 25% des Geschiebetransport bei maximaler Transportkapazität unterstellt. Dies entspricht ca. 0.1 m^3 /s in der Natur bzw. 20 cm^3 /s im Modell. Es handelt sich also hierbei um transportlimitierte Verhältnisse im Einlaufbereich des Modellabschnittes.

3.7. Festlegung der Geometrie

Der im Labor modellierte Bereich lässt sich in drei Abschnitte unterteilen (Abb. 3.6):

Ablagerungsbereich (Profil P12 - P8) Übergangsbereich (Profil P8 - P128) Bachkünette (Profil P128 - P126)

Für alle Versuchsvarianten wurde die Geometrie der Bachkünette ab dem Profil P130 bachabwärts nicht verändert und entspricht somit dem IST-Zustand im Kompetenzbereich der Wasserbauverwaltung. Dieser Bereich wurde zur Kalibrierung herangezogen. Da keine Pegelschlüsselkurven oder anderweitige Messungen existieren, wurde als Basis für die Kalibrierung eine HEC-RAS Simulation für Reinwasserabfluss bei verschiedenen Durchflüssen herangezogen. Als Referenzbereich dient der modellierte Künettenabschnitt. Die Geometrie der Nullvariante (Grundgeometrie des Modells, E0) basiert auf einem Erstvorschlag für die Geometrie des GAP in diesem Bereich und der Geometrie der Bachkünette bis Profil P130, dem obersten von der Wasserbauverwaltung vorgegebenen Profil. Die nötige Einengung zwischen Profil P8 und P130 erfolgt möglichst gleichförmig unter gleichzeitiger optimaler Ausnutzung des Platzangebots. Die Geometrien aller weiteren Varianten wurden zwischen Profil P8 und P130 verändert um optimale Abflussverhältnisse sowohl bei Reinwasserabfluss als auch bei intensiven Geschiebetransport und den damit verbundenen Ablagerungs- und Erosionsprozessen zu garantieren.



Abb. 3.6.: Grundgeometrie für die Versuche und Überblick über die Anordnung der Profile

3.8. Kalibrierung

Aus Ermangelung an vorhandenen Naturmessungen der Fließgeschwindigkeit und der Abflusshöhen bei verschiedenen Durchflüssen basiert die Kalibrierung des physikalischen Modells auf der numerischen Simulation des Reinwasserabflusses in der geplanten und schon zum Teil gebauten Dorfkünette. Um die im Labor abzubildende Länge der Künette möglichst kurz zu halten und den dadurch entstehenden Einfluss der Absenkkurve beim Modellauslass (vollkommener Überfall von der Künette in das Absetzbecken) wurde der Wasserspiegel im untersten modellierten Profil (Profil 126) auf den in der HEC-RAS Simulation berechneten Wert mittels senkrechter Einschübe (Querschnittsverengung) eingestellt (siehe Abb. 3.7). Anschließend wurden die mittleren Fließgeschwindigkeiten und Abflusstiefen in den Profilen bachaufwärts mit den beobachteten Werten verglichen. Das Simulationsmodell HEC-RAS ist eine sehr häufig verwendete Software zur eindimensionalen Berechnung des Reinwasserabflusses in künstlichen und natürlichen Gerinnen. Es werden sowohl die kinematische und dynamische Welle gerechnet. Die Rauigkeit in der Künette wurde an der Sohle (Grobsteinschlichtung) mit dem Strickler Wert kst = 20 $m^{0.33}.s^{-1}$ (Manning n = 0.05 $m^{-0.33}.s$) und an der Böschung (Granitsteinplatten) mit kst = 25 (n = 0.04) angenommen. Diese Werte entsprechen den Annahmen der Fa. DonauConsult, welche im Vorfeld die hydraulische Dimensionierung der Dorfkünette durchgeführt hat.

Im Bereich des GAP wurde ein kst-Wert von 35-40 (Manning n um 0.028) aus dem d50 und d90 der Kornverteilungskurve abgeschätzt. Für die Böschungen wurde ein kst-Wert von 20 angenommen. Es zeigt sich allerdings, dass eine genaue Abschätzung der Rauigkeit in diesem Bereich nicht von großer Bedeutung ist, da durch die Einschnürung bei der Einleitung in die Künette Staueffekte auftreten, die das Abflussregime stärker beeinflussen als die Rauigkeit des Gerinne-Perimeters im GAP.

Die Modellrauigkeit im Künettenabschnitt wurde mehrmals angepasst (Applikation grober Böschungselemente, d.h. Erhöhung der Rauigkeit), um eine gute Übereinstimmung mit der Referenzsimulation zu erzielen.

Der Vergleich der gemessenen und berechneten Abflusstiefen im Modellierungsbereich für den maximalen Abfluss beim HQ30, HQ100 und HQ150 ist in Abb. 3.8 zu sehen.

Es ist zu erkennen, dass abgesehen von Profil 129 die beobachteten Abflusstiefen sehr gut mit der HEC-RAS Berechnung in dem modellierten Abschnitt der Künette übereinstimmen. Eine geringe Abweichung der Abflusstiefen in den Profilen oberhalb (Übergangs-



Abb. 3.7.: Modell des Vorderbergerbach, links unten die senkrechten Einschübe zur Einstellung des Wasserspiegels



Abb. 3.8.: Vergleich der berechneten und gemessenen Abflusstiefen für die Szenarien HQ30, HQ100 und HQ150

bereich und GAP, Profil 6 - Profil 9) ist hauptsächlich auf die Schwierigkeit, komplexe Strömungsmuster in einem 1-dimensionalen Simulationsmodell abzubilden, zurückzuführen. Im Falle des Profil 129 scheint der installierte Ultraschallsensor zur Messung der Abflusstiefe schlecht skaliert gewesen zu sein, da - auch beim Vergleich mit den gemessenen und berechneten Geschwindigkeiten - die Abflusstiefe überschätzt wird.

Ein Vergleich der gemessenen und berechneten Geschwindigkeit im Modellierungsbereich für den maximalen Abfluss beim HQ30, HQ100 und HQ150 ist in Abb. 3.9 (links) zu sehen. Die Messung der Geschwindigkeiten erfolgt mit einem Messflügel der Firma Höntzsch an vier bis fünf Bereichen in einem Querprofil. Die gemessenen Geschwindigkeiten werden in Folge Flächengewichtet und eine mittlere Geschwindigkeit errechnet. Weiters wurde die aus dem Abfluss und der gemessenen Abflusstiefe rückgerechnete mittlere Geschwindigkeit mit der Formel (3.1) errechnet.

Es ist zu erkennen, dass die mit dem Messflügel gemessenen Fließgeschwindigkeiten bei Geschwindigkeiten unter 0.4 - 0.5 m/s sehr gut übereinstimmen. Darüber zeigt sich mit steigender Geschwindigkeit größere Abweichungen (gemessene Geschwindigkeit ist kleiner als simulierte). Ein Vergleich mit der rückgerechneten mittleren Geschwindigkeit zeigt allerdings eine sehr gute Übereinstimmung mit der Simulation. Es ist daher anzunehmen, dass der Messflügel bei höheren Geschwindigkeiten die tatsächlichen Geschwindigkeiten unterschätzt.

Zusammenfassend kann von einer zufriedenstellenden Übereinstimmung zwischen physikalischem und numerischem Modell, wie auch ein Vergleich der berechneten Froudezahlen (Abb.3.9, rechts) zeigt, ausgegangen werden. Einschränkend festzuhalten ist die Tatsache, dass die numerische Simulation des modellierten Abschnittes auf einer Annahme der Rauigkeit basiert und dementsprechend mit Ungenauigkeiten behaftet sein kann. In jedem Fall wäre der Vergleich mit Naturmessungen der Kalibrierung auf der Basis einer Modellrechnung vorzuziehen, was aufgrund der fehlenden Messdaten jedoch nicht möglich ist. Andererseits handelt es sich beim modellierten Künettenabschnitt um eine sehr einfache wasserbauliche Geometrie, für die vor allem bei stationärem Abfluss eine numerische Simulation basierend auf abgesicherten Erfahrungswerten für die Rauigkeitsparameter erfahrungsgemäß verlässliche Ergebnisse liefert.



Abb. 3.9.: Vergleich der berechneten und gemessenen mittleren Fließgeschwindigkeiten (*links*) sowie der Froudezahlen im Modell und in der numerischen Simulation (*rechts*) für die Szenarien HQ30, HQ100 und HQ150

3.9. Überblick Versuche

Nach Kalibrierung des Modells wurden in einem ersten Schritt Reinwasserversuche mit stationärem Abfluss durchgeführt (Variante 1). Wie schon erwähnt wurden die Spitzenabflüsse beim HQ30, HQ100 und HQ150 als relevante Szenarien definiert (SZ1 - SZ3). Die Geschwindigkeitsverteilung und die Abflusstiefen wurden systematisch in mehreren Querprofilen gemessen, sowie das Erosionsverhalten an den (geschütteten) Böschungen untersucht. Aufgrund dieser Beobachtungen wurde jeweils eine modifizierte Geometrie des Übergangsbereichs entwickelt. Einen Überblick über die verschiedenen Geometrien gibt Abb. 3.10. Aufgrund von technischen Problemen war eine Erstellung des Höhenmodells der Geometrie G1 nicht möglich.

In einem weiteren Schritt wurden für die vielversprechendsten Geometrien Versuche mit Geschiebe durchgeführt, um das hydraulische Verhalten bzw. Ablagerungsprozesse bei realitätsnäheren Bedingungen zu untersuchen (Variante 2). Zuletzt wurde für den bevorzugten Versuchsaufbau das Erosionsverhalten bei abklingenden Hochwasser bzw. erhöhtem Mittelwasser bei reduzierter Geschiebezugabe evaluiert (Variante 3). Einen Überblick über alle durchgeführten Versuche bei den verschiedenen Varianten und Szenarien gibt Tab. 3.1.

Varianten	Szenarien	Geometrien								
		G0	G1	$\mathbf{G2}$	$\mathbf{G3}$	$\mathbf{G4}$	$\mathbf{G5}$	$\mathbf{G6}$		
VA1	SZ1	Х	Х	Х	Х			Х		
	SZ2	X		Х	Х	Х	Х	Х		
	SZ3	X		Х	Х	Х	Х	Х		
VA2	SZ1									
	SZ2									
	SZ3				Х	Х		Х		
VA3	SZ1									
	SZ2									
	SZ3									
	SZ4							Х		

Tab. 3.1.: Überblick über die durchgeführten Versuche

Da es zwischen einzelnen geometrischen Varianten zu keinen nachhaltigen hydraulischen Veränderungen kommt und es zweckmäßig erscheint nur die relevanten Erkenntnisse darzustellen, werden im Folgenden die Ergebnisse der Geometrien G0 (Grundgeometrie), G3, G4 und G6 (optimale Variante) im Detail besprochen.



Abb. 3.10.: Überblick über die untersuchten Geometrien

4. Resultate

4.1. Geometrie G0

4.1.1. Beschreibung der Geometrie

Die Ausgangsgeometrie ergibt sich aus der bereits bestehenden Geometrie der Dorfkünette bis zum Profil 130 und der im Band I vorgeschlagenen Geometrie des GAP bis zum Profil 6 (siehe Abb. 4.1). Der dazwischen liegende Übergangsbereich wurde gleichförmig und unter größtmöglicher Platzausnutzung gestaltet, um einerseits spätere Veränderungen leicht realisieren zu können und andererseits keine ungünstigen Strömungsbedingungen zu initiieren. Bei allen nachfolgenden Geometrieänderungen wurde der Bereich oberhalb des Profils 130 umgestaltet.

4.1.2. Reinwasser

Es zeigt sich, daß bei der Ausgangsgeometrie G0 eine starke Beschleunigung des Abflusses auf der rechten Seite im GAP (im Bereich zwischen Profil 7 und Profil 6) stattfindet. Hier sind die Fließgeschwindigkeiten verglichen mit den Geschwindigkeiten auf der linken Seite deutlich erhöht (Abb. 4.2). Sowohl für das HQ100 als auch für das HQ150 treten rechtsufrig maximale Geschwindigkeiten von ca. 0.35 m/s im Modell (ca. 2 m/s in der Natur) auf. Linksufrig wurden hingegen Geschwindigkeiten von etwa 0.25 m/s (ca. 1.37 m/s in der Natur) gemessen. Beim HQ30 ist der gleiche Effekt in abgeschwächter Form zu beobachten. Es kommt also im Übergangsbereich zu einem Wechsel des Hauptstromstrichs von der orographisch rechten zur linken Seite. Als Folge ist eine relativ starke hydraulische Belastung des linken Uferbereichs in der Dorfkünette im Bereich der Profile 130 bis 128 zu beobachten. Weiters ist durch die starke Reduktion der Fließgeschwindigkeit auf der rechten Seite des Profils 130 mit einer erhöhten Sedimentablagerung im Falle von erheblichen Geschiebeeintrag in der Künette zu rechnen. Ab Profil 128 bachabwärts



Abb. 4.1.: Scan der Ausgangsgeometrie G0

kann keine asymmetrische Geschwindigkeitsverteilung mehr festgestellt werden und der Abflussverhältnisse entsprechen den Simulationsergebnissen von HEC-RAS.

Sämtliche Diagramme der gemessenen Geschwindigkeiten in den Profilen P8 - P128 bei den Szenarien HQ30, HQ100 und HQ150 sind in Anhang A.3 zu finden.



 (a) Entwicklung der Geschwindigkeitsverteilung in den Pro (b) Skizze der Hauptströmrichtung filen P7 bis P129 (bachabwärts)



4.2. Geometrie G3

4.2.1. Beschreibung der Geometrie 3

Bei der Variante G3 wurde rechtsufrig am Beginn des Übergangsbereiches eine starke Einengung mit einer fließenden Formgebung eingebaut. In dem Schüttbereich wurde in einer Höhe von ca. 12cm eine Berme eingezogen. Die Geometrieveränderung beginnt zwischen Profil 11 und 10 und zieht sich in einem langen Schwung bis nach vorne zur Künette zum Profil 130. Durch die zusätzliche linksufrige Dammschüttung wird so das Künettenprofil weiter in den GAP hineingezogen.



Abb. 4.3.: Scan der Geometrie G3

4.2.2. Reinwasser

Die Messung zeigen, dass sich durch die stärkere Einengung in den Profilen 9-6 die Fließgeschwindigkeiten im Vergleich zur Ausgangsgeometrie G0 deutlich erhöhen (Abb. 4.4
links) und die Geschwindigkeitsverteilung generell gleichmäßiger ist als verglichen mit der Ausgangsgeometrie (Abb. 4.2). Auf Grund des leichten Rechtsbogens der Künette legt sich der Hauptstromstrich auch bei dieser Variante an das linke Ufer, allerdings in deutlich abgeschwächter Form als bei der Ausgangsgeometrie G0. Die leicht erhöhten Geschwindigkeiten am linken Ufer in den Profilen 130 und 128 sind in Abb. 4.4 (*links*) gut zu erkennen.



 (a) Entwicklung der Geschwindigkeitsverteilung in den Pro (b) Skizze der Hauptstromrichtung filen P7 bis P128 (bachabwärts)

Abb. 4.4.: Geschwindigkeiten und Skizze der Hauptstromrichtung für die Geometrie G3

4.2.3. Geschiebe

Da sich die Geometrie G3 bei den Reinwasserversuchen als deutlich günstiger als die Geometrien G0, G1 und G2 erwiesen hat, wurde ein Versuch mit dem Szenario eines vorverfüllten Ablagerungsplatz und starkem Geschiebetransport während eines HQ150 (Spitzenabfluss von 27.6 l/s im Modell bzw. 136 m^3 in der Natur) durchgeführt. Für die Vorverfüllung wurden auf Basis eines HQ10 mit erheblichen Geschiebetransport insgesamt 0.192 m^3 (entspricht 5200 m^3 in der Natur) Sand in das Modell eingebracht. Die Vorverfüllung wurde so bemessen, dass zu Beginn des eigentlichen Geschiebeversuches die Ablagerungsfront kurz oberhalb des Einengungsbereiches (Profil 9) endet.

Aufgrund der variablen Gerinnemorphologie während des Versuches sowie der Gefahr der Beschädigung des Labormeßflügels durch das Modellgeschiebe wurde von einer systematischen Geschwindigkeitsbestimmung mit dem Meßflügel wie sie bei den Reinwasserversuchen erfolgte, abgesehen. Trotzdem wurde punktuell in den sich ausbildenden Hauptgerin-





(a) Abschnitt von Profil 6 bis Profil 130 während des Versuches

(b) Ablagerungen nach dem Geschiebeversuch

Abb. 4.5.: Geschiebeablagerungen während und nach dem Versuch für die Geometrie G3

nen Geschwindigkeitsmessungen durchgeführt, um einen Vergleich mit den hydraulischen Verhältnissen im Reinwasserfall zu erhalten. Es zeigt sich, dass der Hauptstromstrich tendenziell eher an der linken Gerinneseite liegt. Ursächlich dafür ist zum einen der generelle leichte Rechtsbogen, den der untere Geschiebeablagerungsplatz und die Einleitung in die Künettenstrecke macht. Andererseits ist die Ausbildung der Hauptstromrinnen sicherlich auch zu einem gewissen Grad von den Strömungs- und Ablagerungsverhältnissen im oberen Bereich des GAP abhängig. Abb. 4.5 (links) zeigt den Abschnitt von Profil 6 und Profil 130, das oberste Profil der Dorfkünette. Es ist zu erkennen, dass der Großteil des Geschiebetriebs im linken Bereich des Querprofils stattfindet, während es im rechten Teil eher zur Akkumulation von Sediment kommt. Trotzdem ist in diesem Bereich keine Gefahr des Überbordens zu erkennen, da durch die Geschiebeablagerung im GAP und Übergangsbereich das Gefälle erhöht ist und es zu größeren Fließgeschwindigkeiten und damit geringeren Abflusstiefen kommt. Bachabwärts gleicht sich diese asymmetrische Anlandung aus und ein gleichmäßiger Geschiebepolster, ähnlich wie er auch in den Berechnungen der Fa. DonauConsult zur Bemessung der Dorfkünette angenommen wurde, stellt sich ein. Dies wird auch von der Analyse der Geschiebeablagerung nach dem Versuch bestätigt (siehe Abb. 4.5 (rechts) und Abb.4.6)



Abb. 4.6.: Geschiebe
ablagerungen vor (links) und nach (rechts)
dem Geschiebeversuch (HQ150) für die Geometrie G3

4.3. Geometrie G4

4.3.1. Beschreibung

Mit der Geometrie G4 wird eine Variante untersucht, bei der die Künettengeometrie bis Profil 8 in den GAP hineingezogen wird und die Aufweitung zum GAP relativ abrupt ausgeführt wird. Die Idee dahinter ist, einen gewissen Staueffekt oberhalb von Profil 9 zu erzielen und damit das Wasser zu beruhigen und anschließend gleichmäßig über den Höhensprung zwischen GAP und Künette in die Künette einzuleiten.



Abb. 4.7.: Scan der Geometrie G4

4.3.2. Reinwasser

Die Untersuchung der Geschwindigkeitsverteilung in den Profilen zeigt, dass die Maßnahme im Künettenbereich bei allen Abflussszenarien den gewünschten Effekt erzielt und die Geschwindigkeiten ab Profil 129 bachabwärts recht symmetrisch sind (Abb. 4.8 *links*).

Anders stellt sich die Situation oberhalb von Profil 129 dar: rechtsufrig wird durch die Einschnürung eine gewisse Geschwindigkeitsreduktion erziehlt, allerdings ist der Hauptstromstrich auf dem linken Ufer konzentriert was zu einer starken hydraulischen Belastung der linken Böschung führt (Abb. 4.8 rechts). Im Bereich des GAP wird der rechte Teil des breiten Stromstrichs durch die Einbauten gestaut. Auf der linken Seite strömt das Wasser ohne Umlenkung direkt in den Künettenquerschnitt. Die Ausbildung des Hauptstromstrichs auf der linken Seite wird sowohl von dem generellen leichten Rechtsbogen das Gerinneabschnittes als auch von dem von rechts drückenden Wasser im Staubereich verstärkt. Die hier beschriebenen Effekte sind sowohl beim HQ150 als auch beim HQ100 und HQ30 deutlich zu erkennen. Eine weitere Beobachtung, die vor allem beim Abfluss des HQ150 und HQ100 gemacht wurde, ist die starke hydraulische Belastung der Böschung auf der rechten Uferseite (Beginn der Verengung zum Künettenprofil). In diesem Bereich wurde die Sand- und Kiesschüttung sehr schnell ausgewaschen und einzig die (Modell-) Wasserbausteine mit einem mittleren Durchmesser von 3-4 cm (entsprechend ca. 1 m in der Natur) konnten die Grundgeometrie dieser Variante erhalten. In Einzelfällen konnte beobachtet werden, dass diese recht kompakten Steine sofort weggespült werden, wenn sie im Vorfeld einzeln platziert wurden oder während des Versuches aus dem Verband gerissen wurden.



 (a) Geschwindigkeitsentwicklung Profil 7 bis Profil 128 der
(b) Skizze der Strömungsverhältnisse Geometrie 4

Abb. 4.8.: Geschwindigkeitsverteilung (*links*) und Strömungsverhältnisse (*rechts*) beim Spitzenabfluss des HQ150 für die Geometrie G4

4.4. Endgeometrie G6

4.4.1. Beschreibung Endgeometrie

Aus den Erkenntnissen der vorhergehenden Versuchsgeometrien wurde diese, für die Projektverantwortlichen optimale Geometrie des Übergangsbereichs, entwickelt. Dabei wurde die Form der Künette in den Geschiebeablagerungsbereich tiefer hineingezogen. Am orografisch linken Ufer wurden die Uferböschungen stärker in den GAP hineingezogen und in einem fließenden Übergang in die Künette fortgesetzt. Am orografisch rechten Ufer wird ab Profil 11 das Ufer in die Mitte gezogen um bei Profil 8 in die hereingezogenen Künetten-Geometrie überzugehen (Abb. 4.9). Die Böschungswinkel haben ein Verhältnis von 2:1. Bei dieser Geometrie soll durch eine beidseitige Einschnürung eine gleichmäßige Beschleunigung des Wassers indiziert werden, um eine möglichst symmetrische Geschwindigkeitsverteilung in den bachabwärtigen Profilen zu erziehlen und damit eine relativ geringe hydraulische Belastung der Böschungen zu erreichen. Die Plandarstellung der einzelnen Profile ist in Abb. A.14 zu sehen.



(a) Scan der Geometrie G6



(b) Foto der Geometrie G6





(d) Profil 9

Abb. 4.10.: Plandarstellung der Profile6bis 9 für die Geometrie6



Abb. 4.11.: Geschwindigkeitsverteilung in den Profilen P6-P129 für die hydrologischen Szenarien HQ30, HQ100 und HQ150

4.4.2. Reinwasser

Abb. 4.11 zeigt die Geschwindigkeitsverteilung in den verschiedenen Profilen des Übergangsbereiches für die drei untersuchten hydrologischen Szenarien HQ30, HQ100 und HQ150. Die maximalen beobachteten Geschwindigkeiten liegen bei 0.5 m/s (resp. etwa 3 m/s in der Natur) im Übergangsbereich und bei 0.7 m/s (4 m/s) in der Künette, was mit den Berechnungen der Fa. DonauConsult zur Bemessung der Dorfkünette gut übereinstimmt. Wie zu erwarten steigt die mittlere Geschwindigkeit in den modellierten Profilen mit steigendem Abfluss. Es ist gut zu erkennen, dass verglichen mit den bisher untersuchten Geometrien für den Übergangsbereich die Geschwindigkeiten linksufrig zwar noch leicht erhöht sind, jedoch im großen und ganzen sich zentrierte Strömungsverhältnisse im Übergangsbereich und im oberen Künettenbereich einstellen. Die leichte Linkslastigkeit des Stromzuges wird hauptsächlich durch die nicht zu verhindernde generelle Richtungsänderung des Gerinnes nach rechts hervorgerufen. Trotzdem zeigen die Messwerte keine signifikante Geschwindigkeitskonzentration in einem bestimmten Abschnitt, sodass davon ausgegangen werden kann, dass es in der Natur im Hochwasserfall mit geringer Geschiebebelastung (eine Situation bei der sich der Großteil des zum Schwemmkegel transportierten Geschiebes im oberen Teil des GAP abgelagert) zu keiner kritischen Abflusssituation kommen wird.

Für ein besseres Verständnis der Abflussgeschehens, wurden mit in Wasser verdünnten Kaliumpermanganat (KMnO4) die Strömungsverhältnisse sichtbar gemacht. Abb. 4.12 zeigt die Übergang des Wassers vom breiten GAP in die Dorfkünette bei einem HQ150 Spitzenabfluss (27 l/s bzw. 136 m^3 /s). Es ist zu erkennen, dass es zu einem von allen Seiten gleichförmigen Einströmen in den Künettenquerschnitt kommt und keine Querströmungen

zu beobachten sind. Gemeinsam mit den Geschwindigkeitsmessungen im den Profilen 7, 6, 130 und 129 (bachabwärts) gibt das ein sehr vielversprechendes Bild der vorgeschlagenen Einlaufgeometrie.



(a) Stromfaden links

(b) Stromfaden mitte

(c) Stromfaden rechts



In den nachfolgenden Profilen (Abb. 4.13) sind die Wasserspiegellagen beim 150 jährlichen Ereignis sowie die dazugehörigen Energielinienniveaus zu erkennen. Bei allen drei Profilen wird der Freibord von einem Meter eingehalten und auch die Energielinien liegen unterhalb der Oberkante der Ufermauer, wodurch mit keiner Überbordung in diesem Bereich zu rechnen ist.



Abb. 4.13.: Künettenprofile 128 - 130 mit den Wasserspiegellagen und der Energielinie für das 150 jährliche Ereignis

4.4.3. Geschiebe

Da sich die Geometrie G6 während der Reinwasserversuche als recht vielversprechend erwiesen hat, wurde wie schon bei der Geometrie G3 und G4 ein Versuch mit intensivem Geschiebetransport bei teilweiser Vorverfüllung des Ablagerungsraumes durchgeführt. Die Vorverfüllung basiert auf den schon bei der Geometrie G3 erläuterten Überlegungen und auch die Ablagerungsmenge und Art der Einbringung des Modellgeschiebes entspricht den vorhergehenden Versuchen. Abb. 4.14 (*links*) zeigt den Scan der angenommenen Vorverfüllung und Abb. 4.14 (*rechts*) den Scan der Ablagerungen nach dem Versuch mit dem Spitzenabfluss des HQ150. Dabei wurde der Spitzenablfuss beim HQ150 Bemessungsereignis für einen Zeitraum von ca. 25 Minuten in das Modell geleitet. Die eingebrachte Geschiebemenge basiert auf den Ergebissen der numerischen Simulation des Geschiebetransports im Ablagerungsplatzes mit der Software SETRAC.



(a) Vorverfüllung

(b) Ablagerungen nach dem Geschiebeversuch

Abb. 4.14.: Scans der Endgeometrie G6 vor und nach einem Geschiebeversuch für das HQ150

Wie schon bei den vorhergegangenen Versuchen zeigt sich, dass die mittlere Geschwindigkeit in den untersuchten Profilen bei der Versuchsvariante 2 (Geschiebe) deutlich erhöht ist, verglichen mit den Geschwindigkeiten bei Reinwasserabfluss. Mittlere Geschwindigkeiten von 0.9 m/s (ca. 4.8 m/s im Naturmaßstab) wurden in den Profilen 128 und 129 gemessen. Die gemessene Geschwindigkeit beim entsprechenden Reinwasserabfluss betrug zwischen 0.5 und 0.7 m/s (2.7 bis 3.8 m/s in der Natur). Gleiches läßt sich für die Profile oberhalb der Künette im Übergangsbereich ableiten. Der Grund hierfür ist die erhöhte Neigung der Sohle, hervorgerufen durch die Ablagerung im GAP und den Geschiebepolster in der Künettenstrecke. Bei gleichen Abflussmengen sinkt demenstprechend auch die Abflusstiefe. Die Abflusstiefen im breiten Gerinnebereich des GAP sind mit ca. 1-2 cm generell recht gering. Die Fotos in Abb. 4.15 (a) und (b) geben Aufschluss über die Abflussverhältnisse und die Ausbildung der Sohlmorphologie infolge des intensiven Geschiebetriebs: es zeigt sich, dass die Geschiebefront im GAP und im Übergangsbereich während des Versuches lappenförmig bachabwärts wandert (a) und sich an den Böschungen links und rechts Bereiche mit größerer Abflusstiefe bilden (Rinnenbildung). Durch die wie schon beim Reinwasserversuch beobachtete leicht erhöhte Geschwindigkeit auf der linken Seite kommt es zu stärkeren Geschiebeablagerung auf der rechten Seite im Übergangsbereich in die Künette zwischen Profil 6 und Profil 129. Diese Beobachtung wird auch durch den Scan der Ablagerungen nach dem Versuch (vgl. 4.14 (rechts)) bestätigt. Wie Abb. 4.15(b) allerdings zeigt, wirken sich diese Anlandungserscheinungen nicht allzu negativ auf das Strömungsbild in diesem Bereich aus und es kommt zu einer qualitativ ähnlichen Geschwindigkeitsverteilung in den Profilen 130, 129 und 128 wie bei den Reinwasserversuchen. Es konnte auch während der Versuche keinerlei Erosion oder Unterspülung der geschütteten und nicht gesicherten Böschungen beobachtet werden.

In der Abb. 4.16 werden die zuvor beschriebenen Beobachtungen bestätigt. Hier sind die Wasserspiegellagen und die Höhe der Energielinie zu einem Zeitpunkt am Ende des Geschiebeversuches für die Proile 130 - 128 dargestellt. Es ist zu beachten, dass es aufgrund von Erosions- und Anlandungsprozessen zwischen der Messung der Abflusstiefen und der Geschwindigkeiten und dem Scan der Ablagerungen zu leichten Änderungen der Sohlmorphologie gekommen sein kann (der Scan der Ablagerungen kann erst nach Versuchsende erfolgen). Da der Zeitraum sehr kurz gehalten wurde und es zu keiner erheblichen Veränderung (Beobachtung mit freiem Auge) der Sohlmorphologie gekommen ist, wurde diese Darstellung dennoch gewählt. Sowohl im Profil 130 als auch Profil 129 ergeben sich zwar erhöhte Ablagerungen auf der rechten Seiten des Gerinnes (Innenkurve), die Energielinie liegt allerdings noch auf Höhe der Oberkante der Ufermauern, weshalb mit keiner kritischen Abflusssituation zu rechnen ist. Durch die Querschnittsverkleinerung ab Profil 128 kommt es zu größeren Abflusstiefen und höheren Fließgeschwindigkeiten in der Künette. Die Energielinie liegt hier leicht oberhalb der Ufermauern, aber auch hier ist mit keiner Gefährdung bei einem Hochwasserereignis zu rechnen, da die Abflussverhältnisse symmetrisch sind und es keine Hindernisse gibt, die im Falle von mitgeschwemmtem Wildholz zu Verklausung führen könnten. Der Freibord von 1 m wird bei allen untersuchten Profilen eingehalten.

4.4.4. Selbstentleerung

Um zuletzt das Abfluss- und Erosionsverhalten des stark mit Sediment verfüllten GAP bei der Geometrie G6 zu untersuchen, wurde nach dem Geschiebeversuch das Material nicht entfernt und das verfüllte Modell mit einem leicht geschiebebelasteten Abfluss dotiert. Der Reinwasserabfluss wurde mit 6 l/s (30 m^3 /s in der Natur) gewählt, was dem Spitzenabfluss bei einem HQ5 entspricht. Die Geschiebezugabe wurde mit 25 % der maximalen Transportkapazität beim HQ5 im Einlaufbereich des GAP festgelegt und liegt bei 0.032 l/s (0.16 m^3 /s in der Natur). Die Dauer dieses Versuches betrug 45 min (ca. 4 h in der Natur).

Generell kann beobachtet werden, dass aufgrund der großen Breite des GAP die Abflusstiefen zwischen Profil P8 und P6 sehr gering sind. Dies ändert sich im Übergangsbereich (P6 - P130) und in Folge in der Künettenstrecke (P130 - P127). Wie in Abb. 4.17 zu sehen ist, bildet sich im ganzen Bereich ein eher flächiger Abfluss aus. Ansatzweise entstehen zwischen Profil P7 und P130 zwei Tiefenrinnen auf beiden Böschungsseiten mit verstärktem Abfluss und Geschiebetransport, wobei die orografisch linke Seite etwas stärker ausgeprägt ist als die rechte. Dies spiegelt die Beobachtung eines eher 'linkslastigen' Hauptstromstrich wieder, wie er auch bei den Reinwasser und Geschiebeversuchen erkennbar war. Es ist allerdings festzuhalten, dass in keinem Fall eine starke Eintiefung im Böschungsbreich erkennbar ist, was auf eine geringe hydraulische Belastung schließen lässt.

Ein Vergleich mit den Ablagerungen vor und nach dem Versuch (Abb. 4.18) läßt erkennen, dass ein Teil des Geschiebes aus dem Modell ausgetragen wird und ein erheblicher Teil vom oberen Bereich des GAP in die Künettenstrecke verlagert wird. Es bildet sich letztendlich eine breite Rinne oberhalb von Profil P8 aus, welche den Abfluss auf die orografisch linke Seite im Übergangsbereich konzentriert. Die hydraulische Belastung ist jedoch so gering, dass es zu keinen Erosionserscheinungen an der geschütteten Böschung kommt. In weiterer Folge stellt sich ab Profil 7 bis in die Künettenstrecke eine recht gleichförmige Gerinnesohle ein und die verstärkten Ablagerungen in der Innenkurve bei Profil 130 werden ausgegeglichen.

Es ist also zu erwarten, dass sich bei Nicht-Räumung des GAP über längere Zeit ein Großteil des Geschiebes in die Künettenstrecke verlagert wird und diese gleichmäßig bis zu einem, den hydraulischen Rahmenbedingungen entsprechenden Gleichgewichtszustand, aufgefüllt. Solange der maximale Abfluss im Bereich eines 5 bis 10 jährlichen Ereignisses bleibt, sind die Abflusstiefen relativ klein und es muss mit keinen kritischen Abflussbedingungen gerechnet werden.



(a) Zentrales Vorwärtsschreiten der Geschiebefront (Foto: Hengl)



(b) Ablagerung nach den Versuch, Blick bachaufwärts



(c) Ablagerung nach den Versuch, Blick bachabwärts



(d) Strömungsverlauf zwischen Profil P6 und P130

Abb. 4.15.: Fotos während und nach einem Geschiebeversuch für das HQ150 bei der Endgeometrie G6



Abb. 4.16.: Künettenprofile 128 - 130 mit Wasserspiegellagen und der Lage der Energielinien für das 150 jährliche Ereignis bei Geschiebetransport



(a) links

(b) mitte

(c) rechts





Abb. 4.18.: Vergleich der Ablagerungen nach einem HQ150 bei starken Geschiebetransport (a) und nach einem HQ5 Durchfluss bei geringem Geschiebeinput(b)

5. Zusammenfassung

Nach dem verheerenden Hochwasserereignis vom August 2003 wurden verschiedene Maßnahmen zum Schutz der Bewohner und der Infrastruktur des Ortes Vorderberg gesetzt bzw. sind noch in Planung. Ein Teil der Schutzkonzeptes stellt die Umgestaltung des vorhandenen Geschiebeablagerungsplatzes oberhalb des Ortes dar (siehe Modellversuche Vorderbergerbach - Band I).

Zur Optimierung des Übergangsbereichs von dem Geschiebeablagerungsplatz 'neu' (Planung WLV) in die bereits neu gestaltete Dorfkünette des Vorderbergerbaches (Bauträger Wasserbauverwaltung Kärnten), wurden in einem hydraulischen Modellversuch sechs Ausführungvarianten im Maßstab 1:30 untersucht.

In einem ersten Schritt wurden die verschiedenen Varianten in einem Reinwasserversuch auf Basis der hydrologischen Szenarien HQ30, HQ100 und HQ150 untersucht.

In einem weiteren Schritt wurden im Falle einer vielversprechenden Geometrie Versuche bei intensivem Geschiebetransport und teilweiser Vorverfüllung des GAP durchgeführt.

Im Zuge der Versuche hat sich die Geometrie G6 als optimale Variante erwiesen, bei der es zu relativ symmetrischen Strömungsverhältnissen sowohl im Übergangsbereich als auch in der Künettenstrecke kommt. Bei keinem Versuch wurde eine starke hydraulische Belastung der Uferböschungen und damit verbundene Erosionserscheinungen beobachtet. Ebenso wird bei der vorgeschlagenen Geometrie der Freibord in allen Profilen eingehalten. Im Falle des Szenarios eines nicht geräumten und damit zum Teil vorverfüllten Geschiebeablagerungsplatzes und gleichzeitig starkem Geschiebeeintrag im Oberlauf wurde erwartungsgemäß die Bachsohle im GAP, aber auch in der Künette deutlich erhöht. Bedingt durch das mit den Ablagerungen verbundene höhere Gefälle kam es allerdings zu keiner Abflusssituation die als kritisch bezeichnet werden kann.

Es ist anzumerken, dass das Versuchsergebnis bei der 'Geschiebe-Variante' ein 'worst case' Szenario darstellt, da zum einen ein nicht geräumter Ablagerungsplatz angenommen wird, zum anderen der Spitzenabfluss des HQ150 konstant über einen - für Wildbacheinzugsgebiete recht langen Zeitraum (ca. 25 min im Modell, ca. 2h in der Natur) - in das Modell geleitet wurde. Im Falle des 100- oder 150-jährlichen Bemessungseignises ist mit einer Abflussganglinie zu rechnen, die im Ganzen eine ähnliche Zeitdauer ausweist (inklusive steigenden und abfallenden Ast). Das beschriebene Versuchsszenario wurde bewusst so gewählt, um den Erfahrungen aus dem Hochwasserereignis von 2003 Rechnung zu tragen, bei dem weniger die absolute Höhe des Abflusses maßgeblich war, sondern die Dauer des Ereignisses (vgl. die hydrologischen Berechnungen in Modellversuche Vorderbergerbach - Band I).

Literaturverzeichnis

- Hagen, K., E. Ganahl, and J. Huebl (2007). Analyse und Evaluierung von gebraeuchlichen empirischen Ansaetzen zur Hochwasserabschaetzung in Wildbaechen: Analysis and evaluation of commonly used empirical approaches for flood assessment in torrents, Volume 137 of BFW-Berichte. Wien: Bundesministerium fuer Land- und Forstwirtschaft Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Huebl, J., R. Kaitna, M. Kerschbaumer, H. Kapeller, J. Jugivic-Zlatic, and F. Zott (2007). Optimierung des Geschiebeablagerungsplatz des Vorderbergerbaches in St. Stefan im Gailtal, IAN Report 105 Band 1. Wien: Institut fuer Alpine Naturgefahren, Universitaet fuer Bodenkultur (unveroeffentlicht).
- Kleindienst, H. and F. Forster (2000). Bemessungshochwasser in kleinen wildbacheinzugsgebieten - was bringt ein hydrologisches prozessmodell gegenueber einfachen schaetzformeln. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* (1).
- Kohl, B. and L. Stepanek (2005). Zemokost neues programm fuer die abschaetzung von hochwasserabfluessen. *BFW-Praxisinformation* 2005(8).
- Lorenz, P. and S. G. (2000). Bemessungsniederschlaege kurzer dauerstufen (d<12h) mit inadaequaten daten. *Mitt. Hydr. Dienst in Oesterr.* (80), 1–24.
- Rickenmann, D. (1990). Bedload transport capacity of slurry flows at steep slopes, Volume 103 of Mitteilungen der VAW. Zuerich.
- Rickenmann, D. (1991). Hyperconcentrated flow and sediment transport at steep slopes. Journal of Hydraulic Engineering 1991(117(11)), 1419–1439.
- Rickenmann, D., M. Chiari, and K. Friedl (2006). Setrac a sediment routing model for steep torrent channels. In R. Ferreira, E. Alves, J. Leal, and C. A. (Eds.), *River Flows 2006: Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, Lisabon, Portugal, 6-8 September 2006*, Volume 1, pp. 843–852. Taylor and Francis.

- Smart, G. and M. Jaeggi (1983). Sedimenttransport in steilen Gerinnen, Volume 63 of Mitteilungen der VAW. Zuerich.
- Totschnig, R. (2007). *Estimation of flow conditions in steep torrents*. Wien: Diplomarbeit an der Universitaet fuer Bodenkultur.
- Zeller, J. (1981). Starkniederschlaege und ihr Einfluss auf Hochwasserereignisse: Elemente zur Abschaetzung der Hochwasserabfluesse kleiner Einzugsgebiete. Birmensdorf, Schweiz: Bericht 126 der eidgenoessischen Anstalt fuer das forstliche Versuchswesen.

A. Appendix

A.1. Geometrien

Die genaue Erfassung der Geometrien erfolgt mit Hilfe des Laserscanners. Aus den Daten wird ein digitales Geländemodell erstellt das eine Rasterweite von 5 mm aufweist.

A.1.1. Ausgangsgeometrie



Abb. A.1.: Ausgangsgeometrie

A.1.2. Geometrie 2



Abb. A.2.: Geometrie 2

A.1.3. Geometrie 3



Abb. A.3.: Geometrie 3

A.1.4. Geometrie 4



Abb. A.4.: Geometrie 4

A.1.5. Geometrie 5



Abb. A.5.: Geometrie 5

A.1.6. Endgeometrie



Abb. A.6.: Endgeometrie

A.2. Geschiebeablagerungen

A.2.1. Geometrie 3

A.2.1.1. Vorverfüllung G3



Abb. A.7.: Vorverfüllung der Geometrie 3

A.2.1.2. Ablagerung G3



Abb. A.8.: Ablagerung in der Geometrie 3 nach einem 150jährl. Ereignis

A.2.2. Geometrie 6

A.2.2.1. Vorverfüllung G6



Abb. A.9.: Vorverfüllung Endgeometrie [G6]

A.2.2.2. Ablagerung G6



Abb. A.10.: Ablagerung in der Endgeometrie nach einem 150jährl. Ereignis

A. Appendix

A.3. Geschwindigkeitsverteilungen

A.3.1. Szenario 1 [HQ30]



Abb. A.11.: Geschwindigkeitsverteilung für das HQ30 in den Profilen für die Ausgangsgeometrie (G0), die Geometrie 3 (3) und die Endgeometrie gemessen in Strömungsrichtung(G6)

A.3.2. Szenario 2 [HQ100]



Abb. A.12.: Geschwindigkeitsverteilung für das HQ100 in den Profilen für die Ausgangsgeometrie (G0), die Geometrie 3 (3) und die Endgeometrie (G6) gemessen in Strömungsrichtung)

A.3.3. Szenario 3 [HQ150]



Abb. A.13.: Geschwindigkeitsverteilung für das HQ150 in den Profilen für die Ausgangsgeometrie (G0), die Geometrie 3 (3) und die Endgeometrie (G6) gemessen in Strömungsrichtung
A.4. Plandarstellung der Endgeometrie



Abb. A.14.: Plandarstellung der Profile 6 bis 9 für die Geometrie 6

A.5. Lageplan



Abb. A.15.: Lageplan der Profile