Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 104 (2012)

Heft: 3

Artikel: Kombinierter Geschiebe- und Holzrückhalt am Fallbeispiel Engelberger Aa

Autor: Anhorn, Karin / Schmocker, Lukas / Weitbrecht, Volker

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941892

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Kombinierter Geschiebe- und Holzrückhalt am Fallbeispiel Engelberger Aa

Karin Anhorn, Lukas Schmocker, Volker Weitbrecht

Zusammenfassung

Prozesse und Erkenntnisse aus hydraulischen Modellversuchen zu einem kombinierten Holz- und Geschieberückhalt an der Engelberger Aa werden vorgestellt. Die Idee für das dabei umgesetzte Konzept stammt aus dem im Jahr 2003 realisierten Holzrückhalt an der Gürbe im Kanton Bern, dessen Funktionalität zuvor ebenfalls mittels Modellversuchen erfolgreich geprüft wurde. Der Rückhalt besteht aus einer grossflächigen Gerinneaufweitung für den Geschieberückhalt, die am unteren Ende mit einem Schwemmholzrechen abgeschlossen ist. Der Überlastfall wird mit Hilfe eines seitlichen Notüberlaufs kontrolliert. Eine Tauchwand verhindert den Schwemmholzaustrag über den Notüberlauf. Im Modell wurden für verschiedene Hochwasserszenarien praktisch 100% des anfallenden Geschiebes sowie mindestens 90% des Schwemmholzes zurückgehalten. Die Tatsache, dass mit dem an der Gürbe verwendeten Konzept auch an der Engelberger Aa die geforderten Ziele betreffend Holz- und Geschieberückhalt erreicht werden zeigt, dass das gewählte Konzept eines kombinierten Geschiebe- und Schwemmholzrückhalts, bei gegebenen Randbedingungen, auch auf andere Flussgebiete übertragbar ist.

1. Einleitung

Bei Hochwasserereignissen in den letzten Jahren führten oft nicht nur die grossen Abfluss- und Geschiebemengen, sondern auch das transportierte Schwemmholz zu grossen Schäden (Bezzola und Hegg 2008). Vor allem an Brücken, Wehren oder Durchlässen kann es zu Schwemmholzverklausungen kommen, wodurch der Fliessquerschnitt reduziert wird und ein Rückstau im Gewässer entsteht. Häufig treten dabei die Flüsse über die Ufer und verschärfen die Hochwassersituation zusätzlich. Diese Problematik ist zwar bekannt, wurde jedoch oft nur am Rande im Zusammenhang mit Fragen des Geschieberückhalts behandelt. Erst durch Schadensfälle wie z.B. 1990 an der Gürbe oder 1997 in Sachseln rückte die Schwemmholzproblematik mehr in den Vordergrund. Die bestehenden Bauwerke, welche sich für den Geschieberückhalt bewährt haben, sind nur bedingt für einen wirkungsvollen Holzrückhalt geeignet. Deshalb wurden verbesserte Massnahmen für den kombinierten Geschiebe- und Holzrückhalt entwickelt. Einen Überblick dazu findet man z.B. in Lange und Bezzola (2006).

So wurde auch im Gürbetal aufgrund der Hochwasserschäden von 1990 beschlossen, in dem als Ausschütte bezeichneten Geschiebesammler bei Wattenwil zukünftig auch das von der Gürbe mitgeführte Schwemmholz möglichst vollständig zurück zu halten (Lange und Bezzola 2002). Bei der Konzeptwahl an der Gürbe galt es folgende Randbedingungen zu beachten: Einerseits durften die Dämme aus Gründen des Landschaftschutzes nicht erhöht werden und andererseits war eine Sohlenabtiefung infolge der Beeinträchtigung der Grundwasserverhältnisse nur begrenzt möglich. Um trotzdem einen effektiven Schutz zu gewährleisten, wurde das folgende Rückhaltekonzept erarbeitet: Das Schwemmholz wird am unteren Ende der aufgeweiteten Strecke durch einen Holzrechen zurückgehalten. Der dadurch provozierte Aufstau reduziert die Fliessgeschwindigkeiten, wodurch sich das Geschiebe, getrennt vom Schwemmholz deltaförmig am Beginn der Aufweitung ablagert. Im Fall eines EHQ Szenarios verhindert ein gezielter, seitlicher Notüberlauf ein Überströmen der seitlichen Dämme. Der Austrag von Schwemmholz über den Notüberlauf wird mit Hilfe einer Tauchwand verhindert.

Das Rückhaltekonzept an der Gürbe wurde mittels hydraulischen Modellversuchen an der VAW der ETH Zürich erfolgreich geprüft und optimiert (VAW 2002). Die Anforderungen betreffend Holzrückhalt wurden dabei mit einem Rückhaltegrad von 99% beim Bemessungsereignis und von 96% beim Überlastfall erfüllt. Infolge des durch die Rechenverlegung induzierten Aufstaus bildet sich eine deltaförmige Geschiebeablagerung, deren Front Richtung Rechen wandert, diesen aber nicht erreicht. Somit wurde bei verlegtem Rechen ein nahezu vollständiger Geschieberückhalt erzielt. Das Konzept mit Rechen, Notüberlauf und Tauchwand wurde im Jahr 2003 realisiert, jedoch bis heute noch mit keinem grossen Ereignis beaufschlagt.

Die grossen Schäden in Engelberg infolge des Unwetters vom August 2005 zeigten, dass auch an der Engelberger Aa zur Entschärfung der Hochwassergefahr ein Geschiebe- und Holzrückhalt notwendig ist. Die vorhandenen Randbedingungen und Platzverhältnisse legten es nahe, sich bei der Projektierung an dem für die Gürbe geprüften Konzept zu orientieren. Es wurde jedoch nicht davon ausgegangen, dass das Rückhaltekonzept an der Engelberger Aa den Anforderungen ebenso genügt wie dasjenige an der Gürbe. Die Analyse des Hochwassers 2005 hat zudem gezeigt, dass insbesondere die Überlastfähigkeit von Sammlerbauwerken eine wichtige Rolle spielt (VAW 2008). Somit beauftragte die Gemeinde Engelberg im Frühjahr 2009 die VAW das Rückhaltekonzept mittels hydraulischer Modellversuche zu testen sowie Optimierungsmöglichkeiten zu prüfen. Insbesondere war zu untersuchen, wie sich der Schwemmholzrückhalt auf die Geschiebeablagerungen auswirkt und wie sich das System im Überlastfall verhält.

2. Geschiebe- und Holzrückhalt Bannwald

2.1 Ausgangslage

Die Unwetter vom August 2005 führten infolge eines massiven Geschiebe- und

Schwemmholzaufkommens zu Ausuferungen der Engelberger Aa. Zentrale Siedlungsgebiete und Infrastrukturanlagen im Talboden wurden dabei weiträumig überschwemmt. Darauf erarbeitete die Gemeinde Engelberg in Zusammenarbeit mit dem Kanton Obwalden ein Hochwasserschutzprojekt für die Engelberger Aa. Teilstück des durch die IG Aawasser (Schubiger/Niederer + Pozzi / Oeko B) ausgearbeiteten Massnahmenkonzepts ist ein kombinierter Geschiebe- und Holzrückhalt oberhalb Engelberg im Bereich Bannwald (IG Aawasser 2007), der zukünftig im Hochwasserfall Geschiebe und Schwemmholz zurückhalten und damit Geschiebeablagerungen und Schwemmholzverklausungen im Unterwasser verhindern soll.

2.2 Projektbeschrieb

Beim Geschiebesammler Bannwald handelt es sich um eine lokale Gerinneaufweitung der Engelberger Aa. Die Aufweitung erfolgt über eine Länge von rund 350 m und weist in der Mitte eine maximale Breite von 145 m auf. Linksseitig stösst der Sammler an eine natürliche Hangbegrenzung, auf der rechten Seite wird zum Schutz des bestehenden Grundwasserpumpwerks ein Damm angelegt. Der Sammler weist im leeren Zustand ein Sohlengefälle von 0.9% auf. Der Übergang vom Gerinne der Engelberger Aa zum Sammler erfolgt mit einer ca. 35 m langen und 4 m hohen Blockrampe mit einem Gefälle von 10%. *Bild 1* zeigt die Projektübersicht des Geschiebesammlers im Modell und *Bild 2* das Längsprofil sowie die projektierte Sohlenlage z_S.

Das Abschlussbauwerk besteht aus einem Holzrechen und einem seitlichen Notüberlauf mit Tauchwand. Der 30 m breite, gegen die Strömungsrichtung gekrümmte Holzrechen weist einen lichten Stababstand von 2.0 m, einen Stabdurchmesser von 0.4 m sowie eine Stabhöhe von 4 m auf. Die Entlastungsstrecke beginnt wenige Meter oberhalb des Rechens auf der linken Sammlerseite und mündet unterhalb des Rechens wieder in die Engelberger Aa. Die Tauchwand beim Einlauf zur Notüberlaufstrecke ist 25 m breit und 1.9 m hoch.

Mit dem kombinierten Geschiebe- und Holzrückhalt sollen zukünftig Schäden im Siedlungsraum Engelberg bis zu einem HQ_{100} ausgeschlossen werden. Um Reserven zu berücksichtigen und auch bei grösseren Abflüssen Schutz zu bieten, wird der Rückhalt auf ein HQ_{300} bemessen. Im Überlastfall EHQ soll mit dem Notüberlauf ein unkontrolliertes Versagen des Rückhaltebauwerks, wie z.B. das Abschwemmen des Holzteppichs über den Rechen, verhindert werden.

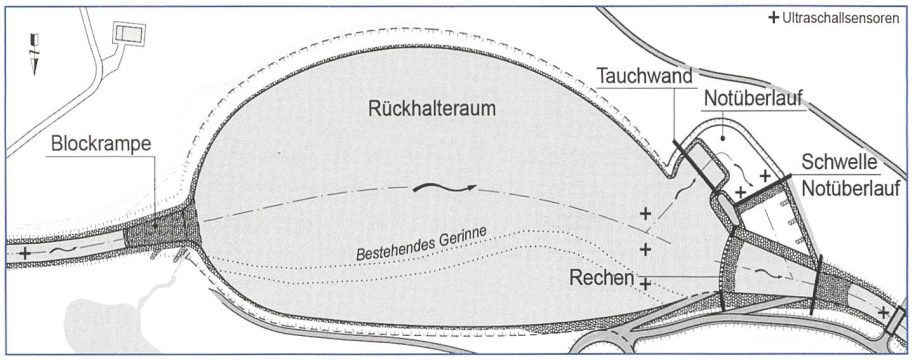

Bild 1. Übersicht des hydraulischen Modells an der VAW, Modellmassstab 1:30.

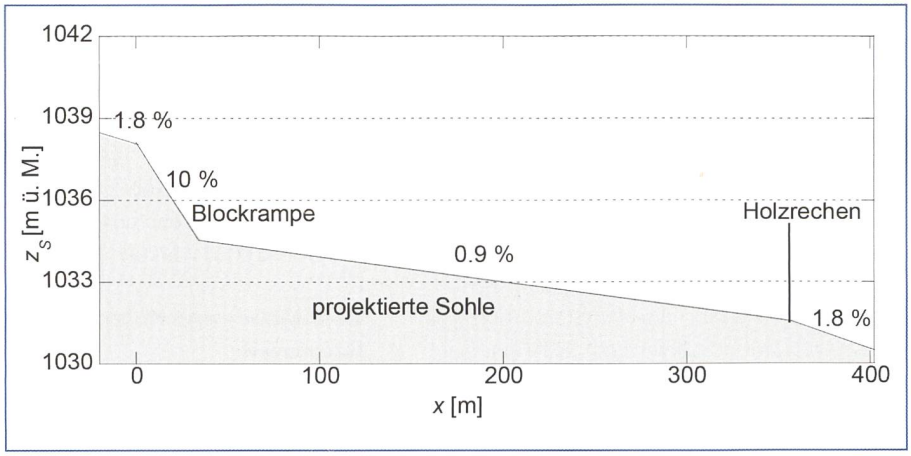

Bild 2. Projektierte Sohlenlage z_s im Längsschnitt.

3. Hydraulische Modellversuche

3.1 Modellaufbau

Das hydraulische Modell wurde im Massstab 1:30 basierend auf dem Modellgesetz nach Froude errichtet *(Bild 3)*. Der rechteckige Modellausschnitt bildet eine Länge von 600 m und eine Breite von 165 m nach. Der Modellausschnitt beinhaltet 150 m der Fliessstrecke oberhalb des Geschiebesammlers, die Blockrampe, den Rückhalteraum, das Abschlussbauwerk sowie 130 m Fliessstrecke unterhalb des Sammlers. Um Ablagerungstendenzen und Erosionsprozesse realitätsnah zu simulieren wurde eine bewegliche Sohle modelliert. Alle Böschungen sowie die Blockrampe und die Notüberlaufstrecke wurden starr ausgebildet *(Bild 3)*. Die Sohle wurde vor jedem Versuch mit dem projektierten Sohlengefälle von 0.9% und einem Initialgerinne in Sammlermitte eingebaut.

Die Kornverteilung des Sohlen- bzw. Geschiebematerials wurde mittels Linienproben entlang der Engelberger Aa bestimmt und mit dem Verfahren nach Zarn (1992) auf das Modellsediment umgerechnet. Die charakteristischen Korndurchmesser in Natur betragen d_m = 7.8 cm und d_{90} = 20.7 cm. Die Schwemmholzmischung wurde mit Schnittholz nachgebildet und bestand aus drei Klassen, d.h. 60% Stammholz (L = 2.3–8.0 m, D = 0.35 m), 30% Astholz (L = 1.0–2.3 m, D = 0.2 m) und 10% Feinanteile (L < 1.0 m, D < 0.1 m). Feinanteile wie kleine Äste und Laub wurden aus modelltechnischen Gründen nicht verwendet und auf die Nachbildung von Wurzelstöcken wurde verzichtet. Hinsichtlich der Modellähnlichkeit ist die Steifigkeit des Modellholzes vergleichsweise gross, so dass ein Brechen der Stämme und somit das Lösen einer Verklausung beim Rechen im Modell eher unwahrscheinlich ist (Rimböck 2003).

3.2 Versuchsprogramm

Tabelle 1 zeigt das Versuchsprogramm. In Versuchsserie 1 wurde mittels Ganglinienversuchen das geplante Rückhaltekonzept für HQ_{100} und HQ_{300} mit und ohne Schwemmholz und für das EHQ mit Schwemmholz getestet. In Versuchsserie 2 wurde die Sammlerform optimiert und für die Szenarien HQ_{300} und EHQ mit Schwemmholz überprüft. In Versuchsserie 3 wurden die Blockrampe und die Tauchwand optimiert. Schliesslich wurde der Rechen vollständig abgedichtet und mit stationären Abflüssen das Verhalten des Notüberlaufs und der Tauchwand getestet.

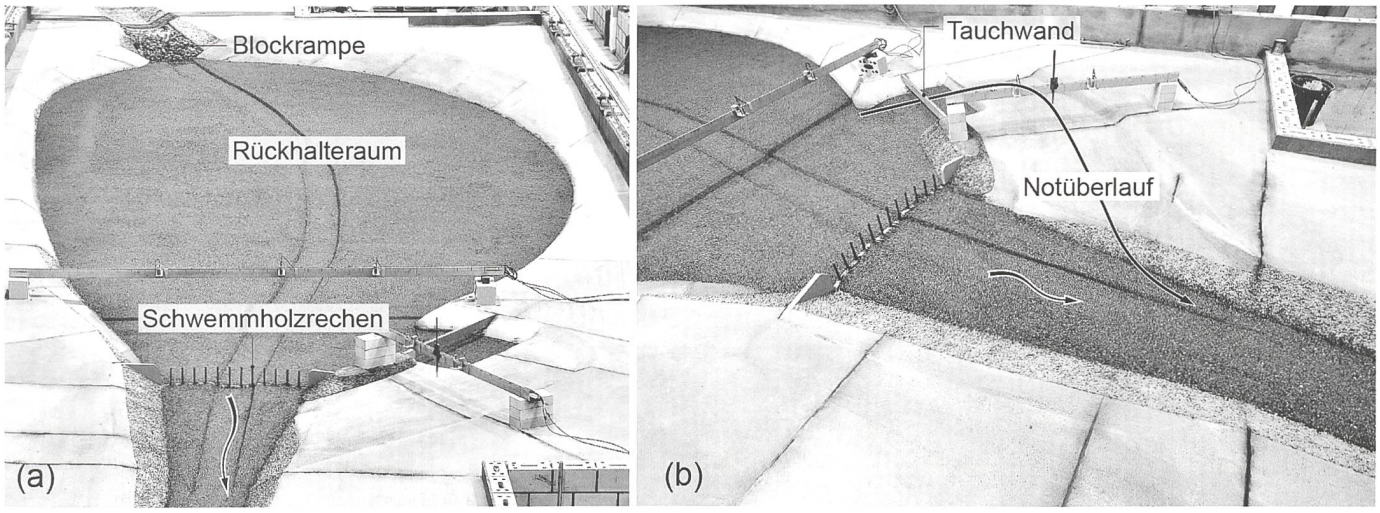

Bild 3. (a) Blick auf Sammler von unterstrom, (b) Schwemmholzrechen mit seitlichem Notüberlauf und Tauchwand.

Da der Messpegel bei den Bergbahnen in Engelberg während der Hochwasserspitze vom 22.08.2005 ausfiel, wurden die Hochwasserganglinien von den Pegelmessungen in Buochs sowie aus der Zustandserfassung und Risikoanalyse von 1996 hergeleitet (IG Aawasser 2007). Die Geschiebefrachten wurden mittels einer Geschiebestudie (Lehmann 2007) sowie mittels Geschiebetransportformeln bestimmt (IG Aawasser 2007). Die Geschiebeganglinie wurde anhand der Hochwasserganglinie unter Berücksichtigung der Gesamtgeschiebefracht hergeleitet.

Die Schwemmholzmenge wurde anhand des Hochwassers 2005 und mit Hilfe von Feldbegehungen abgeschätzt und für ein EHQ auf 1500 m^3 Festmeter festgelegt. Aufgrund von Erfahrungswerten und unter der Annahme, dass ein verlegter Rechen während der Hochwasserspitze den ungünstigsten Zustand darstellt, wurde das Schwemmholz vor allem während und kurz nach der Hochwasserspitze zugegeben. *Bild 4* zeigt die im Modell getesteten Hochwasser-, Geschiebe- und Schwemmholzganglinie für HQ_{300}.

Versuchsserie	Ereignis	Spitzenabfluss Q [m^3/s]	Geschiebevolumen G [m^3]	Schwemmholz H [fm^3] (Festmeter)
1	HQ_{100}	72	30'000	-
	HQ_{100}	72	30'000	500
	HQ_{300}	90	60'000	-
	HQ_{300}	90	60'000	1'000
	EHQ	135	90'000	1'500
2	HQ_{300}	90	60'000	1'000
	EHQ	135	90'000	1'500
3	HQ_{300}	90	60'000	1'000
	EHQ	135	90'000	1'500

Tabelle 1. Szenarien sowie Frachten für die Modellversuche.

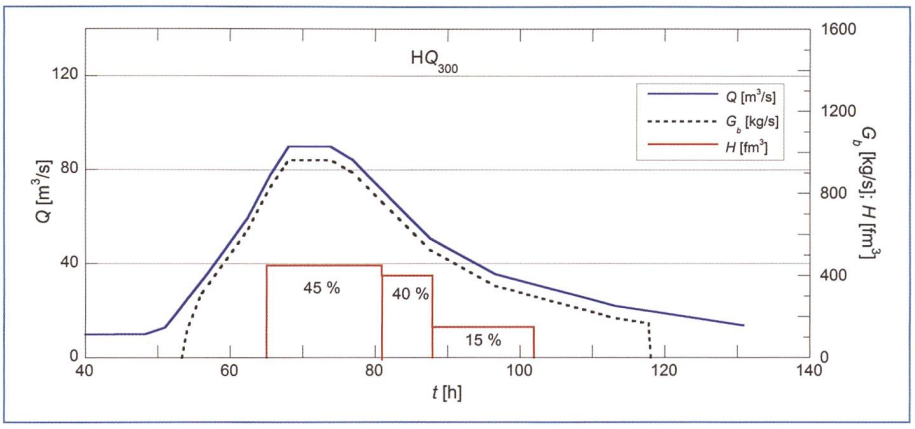

Bild 4. Hochwasser-, Geschiebe- und Schwemmholzganglinie für HQ_{300}.

3.2 Versuchsdurchführung

Die Hochwasserganglinie wurde mittels pneumatisch gesteuertem Schieber geregelt und der Durchfluss mittels magnetisch-induktiver Durchflussmessung bestimmt und aufgezeichnet. Die Geschiebezugabe erfolgte in der Zulaufstrecke zum Sammler mittels einer computergesteuerten Beschickungsmaschine. Das ausgetragene Geschiebe wurde in einem Geschiebekorb aufgefangen und gewogen. Das Schwemmholz wurde zwei Stunden vor Versuchsbeginn gewässert und während dem Versuch manuell in der Zulaufstrecke dem Sammler zugegeben. Nach dem Versuch wurde das Volumen des zurückgehaltenen und des ausgetragenen Schwemmholzes manuell bestimmt. Dabei wurde zwischen der Ablagerung im Rückhalteraum und derjenigen beim Rechen unterschieden.

Während des Versuchs wurde mittels Ultraschallsensoren (US) an sechs verschiedenen Stellen die Wasserspiegellage gemessen *(Bild 1)*. Drei US wurden im Abstand von 45 m vor dem Rechen angeordnet, um den Aufstau infolge Rechenverlegung zu messen. Mit zwei weiteren US bei der Überlaufstrecke wurde der Durchfluss über die Notentlastung bestimmt. Mit Hilfe eines Laserabstandsensors wurde vor und nach dem Versuch die Sohlenlage in einem 3 m × 3 m Raster aufgenommen. Damit wurden Ablagerungs- und Erosionszonen, das Ablagerungsvolumen sowie das Ablagerungsgefälle bestimmt. Zusätzlich wurde jeder Versuch mit zwei Fotokameras von der Hallendecke dokumentiert.

4. Prozesse und Erkenntnisse

4.1 Geschiebeablagerung

Das mit der Engelberger Aa mitgeführte Geschiebe gelangt über die Blockrampe am Anfang des Geschiebesammlers in den Ablagerungsraum. Bei ansteigendem Hochwasser bildet sich am Rampenfuss ein Wechselsprung, der einen Kolk zur Folge hat. Unterstrom des Wechselsprungs beginnt sich das Geschiebe abzulagern. Aufgrund der grossen Sammlerbreite bildet sich ein verzweigtes Gerinne und es kommt zu einer deltaförmigen Geschiebeablagerung, vergleichbar mit der Deltabildung bei einer Flussmündung. Die Ablagerungen wandern dabei im Verlauf des Hochwassers fingerförmig nach vorne *(Bild 5)*; die Geschiebefront reicht je nach Hochwasserereignis mehr oder weniger weit in den Ablagerungsraum hinein. *Bild 6* zeigt die Geschiebeablagerungen nach einem HQ_{300} mit Schwemmholz mit maximalen Ablagerungshöhen von ca. 5.5 m. Sichtbar vor dem Rechen ist der Schwemmholzteppich und nach dem Rechen die Auskolkung.

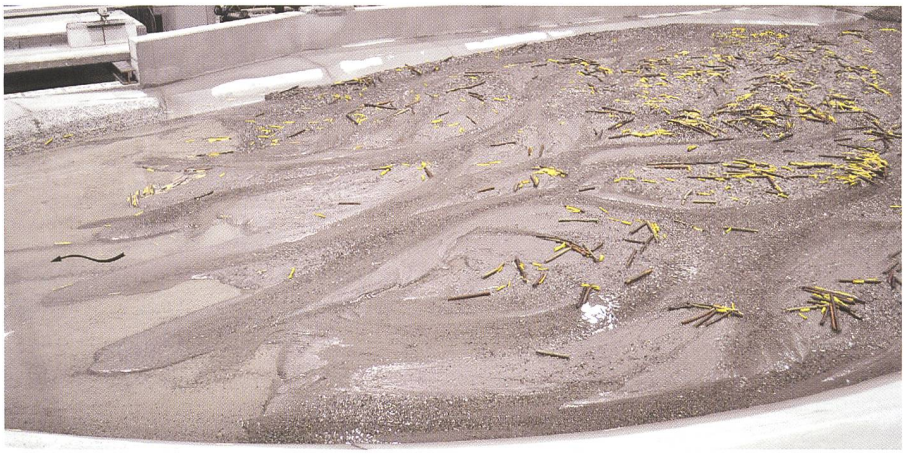

Bild 5. Deltaförmige Geschiebeablagerungen im Sammler nach HQ_{300} mit Schwemmholz.

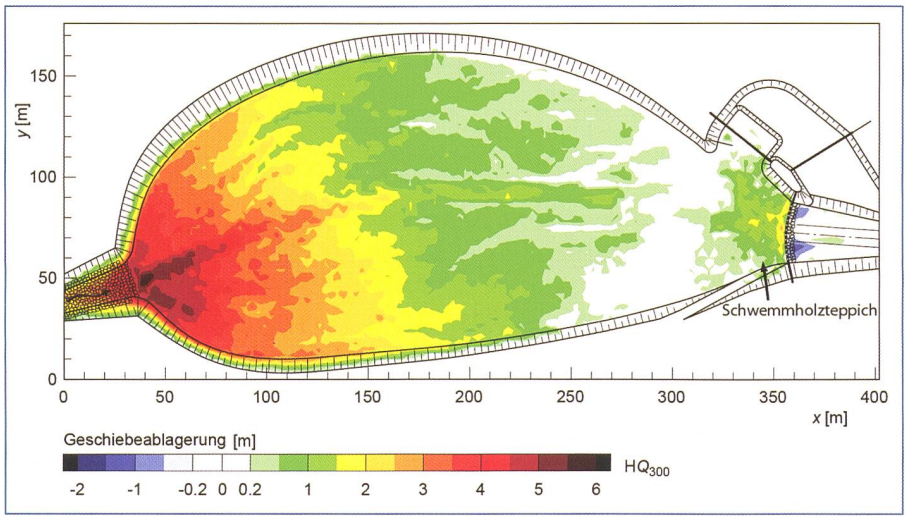

Bild 6. Geschiebeablagerungen im Sammler nach HQ_{300} mit Schwemmholz.

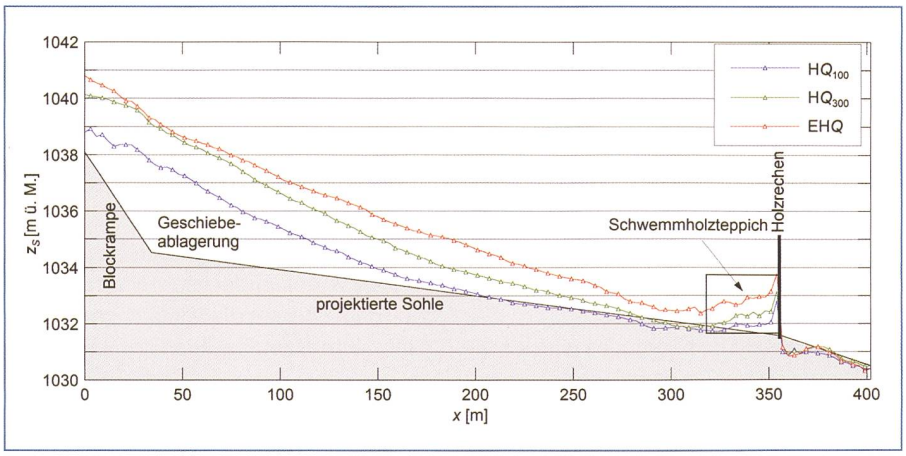

Bild 7. Längsschnitt durch Sammler mit mittlerer Sohlenlage nach HQ_{100}, HQ_{300} und EHQ mit Schwemmholz.

Die Modellversuche haben gezeigt, dass selbst beim EHQ die Geschiebefront den Holzrechen nicht erreicht, womit bei allen getesteten Szenarien 100% des anfallenden Geschiebes im Sammler zurückgehalten wird. Gegen Ende der getesteten Hochwasserereignisse ist die Blockrampe vollständig mit Geschiebe eingeschüttet und die Geschiebeablagerungen führten zu einem Rückstau in der Engelberger Aa. Beim EHQ resultierte dies gegen Ende des Ereignisses zu einer Ausuferung der Engelbegere Aa oberhalb des Sammlers. Aufgrund des Geländeprofils floss das Wasser jedoch wieder zurück in den Sammler.

Bild 7 zeigt den Längsschnitt durch den Sammler mit den gemessenen, mittleren Sohlenlagen nach den drei Szenarien. Da gröbere Geschiebefraktionen weniger weit transportiert werden als feinere kommt es während dem Ablagerungsprozess zu einer Sortierung des Geschiebes. Das Verlandungsgefälle nimmt von ca. 3.5% im Bereich der Blockrampe auf ca. 2.0% bei der Verlandungsfront ab. Es ist davon auszugehen, dass auch in Natur die Ablagerungsfront den Rechen nicht erreicht und somit alles Geschiebe im Sammler zurückgehalten wird.

Zusätzliche Versuche zur Optimierung der Sammlerform zeigten, dass die Anforderungen bezüglich Geschieberückhalt auch mit einer kleineren Aufweitungsbreite (max. Sohlenbreite von 90 m statt 145 m) und dafür flacheren Uferböschungen (Böschungsneigung 1:10 statt 2:3) erreicht werden. Somit können der Aushub um ca. 15 000 m^3 verkleinert, die Baukosten gesenkt sowie die Zugänglichkeit zum Sammler für Unterhaltszwecke verbessert werden. Da der Fliessquerschnitt um etwa 20% verkleinert wird, reichte die Ablagerungsfront nun weiter in den Sammler hinein, erreichte jedoch den Rechen ebenfalls für alle Szenarien nicht. Das Verlandungsgefälle ist bei beiden Varianten nahezu identisch.

Da kein Geschiebeaustrag aus dem Sammler erfolgte, muss bei einem Hochwasserereignis mit einem Geschiebedefizit unterhalb des Sammlers und somit mit Erosionserscheinungen gerechnet werden. Die Stabilität des Unterlaufs muss somit durch geeignete Massnahmen garantiert werden. Wie sich der Sammler

auf den Geschiebetransport in der Engelberger Aa bei kleinen Abflüssen auswirkt, wurde im hydraulischen Modell nicht untersucht. Es muss jedoch damit gerechnet werden, dass der Sammler den Geschiebetransport ins Unterwasser unterbindet, was im Geschiebebewirtschaftungskonzept zu berücksichtigen ist.

Die Voraussetzung für das Funktionieren des Geschieberückhalts ist eine konsequente Bewirtschaftung. Dazu kann eine «Interventionshöhe» der Geschiebeablagerungen definiert werden, ab der die Räumung erfolgen muss. Somit wird sichergestellt, dass nach einem Hochwasser oder nach mehreren Ablagerungen infolge kleinerer Ereignisse die ursprüngliche Sohlenlage wieder hergestellt ist. Zudem muss die Bestockung innerhalb des Ablagerungsraums begrenzt werden, so dass die gesamte Sammlerfläche für die Geschiebeablagerungen zur Verfügung steht.

4.2 Schwemmholzrückhalt

Das Schwemmholz wird im Geschiebesammler entlang der Teilgerinne schwimmend oder rollend transportiert. Zu Beginn des Hochwassers erreicht vor allem Astholz den Holzrechen, während Stämme infolge der niedrigen Abflusstiefe oft im Sammler, insbesondere auf Geschiebebänken, liegen bleiben. Diese werden erst mit zunehmendem Abfluss teilweise wieder mobilisiert. Während der Hochwasserspitze gelangt nahezu alles Schwemmholz zum Rechen. Bei abnehmendem Hochwasser bleibt wiederum Holz auf den Kiesbänken liegen. Die Rechenverlegung beginnt mit dem Hängenbleiben erster Äste und Stämme am Rechen. Nachfolgendes Schwemmholz lagert sich an den bereits verhängten Stämmen und an den Rechenstäben ab. Sobald alle Rechenfelder vollständig verlegt sind und die Geschwindigkeiten abnehmen, bildet sich der charakteristische Schwemmholzteppich *(Bild 8)*.

Bis zur vollständigen Rechenverlegung können einzelne Äste und Stämme den Rechen passieren. Da die Rechenverlegung ein zufälliger Prozess ist, kann dieser Zeitpunkt auch mittels Modellversuchen nicht exakt bestimmt werden. Der Schwemmholzaustrag war jedoch bei allen geprüften Szenarien mit maximal 10% sehr gering. Von den 90% des zurückgehaltenen Schwemmholzes wurden durchschnittlich 60–75% beim Schwemmholzrechen und der Rest direkt im Sammler abgelagert *(Bild 9)*.

Mit zunehmender Rechenverlegung bildet sich ein Rückstau im Geschie-

Bild 8. Schwemmholzteppich vor Rechen nach HQ_{300}. Zur Verdeutlichung der Grössenverhältnisse ist ein massstäbliches Modell eines Greifbaggers abgebildet.

Bild 9. Schwemmholz- und Geschiebeablagerungen für optimierte Sammlerform nach HQ_{300}.

besammler. *Bild 10* zeigt die Wasserspiegellage z_W 45 m vor dem Rechen für HQ_{300} mit und ohne Schwemmholz. Der höchste Aufstau wird jeweils zum Zeitpunkt der Hochwasserspitze oder kurz danach beobachtet. Bei HQ_{300} sind die Abflusstiefen infolge des Aufstaus durch den verlegten Schwemmholzrechen bis zu 2.5-fach grösser als bei unverlegtem Rechen. Aufgrund des Aufstaus resultieren jedoch auch vergleichsweise kleine Fliessgeschwindigkeiten (< 1 m/s) vor dem Rechen. Somit wird ein Auftürmen des Schwemmholzteppichs verhindert und die Gefahr, dass Schwemmholz über den Rechen ausgetragen wird, reduziert.

Da im Modell Feinanteile wie kleine Äste und Laub nicht berücksichtigt wurden, werden der Rechenverlegungsgrad und somit auch der Aufstau eher unterschätzt. In zusätzlichen Versuchen wurde deshalb der Rechen vollständig abgedichtet (siehe 4.3). Während der Rechenverlegung kommt es aufgrund einer Abflusskonzentration durch die noch offenen Rechenfelder zu Kolkungen nach dem Rechen. Ist der Rechen vollständig verlegt, resultiert ein Absturz, der diesen Effekt verstärkt, womit die Sohle direkt unterstrom des Rechens gegen diese Beanspruchung zu schützen ist.

4.3 Notüberlauf und Tauchwand

Erreicht der Wasserstand vor dem Rechen die Kote der Notüberlaufschwelle, springt der seitliche Notüberlauf an. In den Modellversuchen war dies bei den Szenarien HQ_{300} und EHQ mit Schwemmholz der Fall. Der Beginn der Entlastung sowie der entlastete Durchfluss sind dabei sowohl vom Abfluss als auch vom Rechenverlegungsgrad abhängig. Die gemessenen Maximalabflüsse über den Notüberlauf betrugen beim HQ_{300} maximal 3 m^3/s und beim EHQ maximal 22 m^3/s. *Bild 11* zeigt die Wasserspiegellagen vor dem Rechen sowie den Abfluss über den Notüberlauf für das Szenario EHQ mit Schwemmholz. Die Rückführung des entlasteten Wassers ins Gerinne der Engelberger Aa führt zu einer verstärkten Beanspruchung der Flusssohle, speziell des rechten Ufers, welche entsprechend geschützt werden müssen.

Das durch die Entlastung in Richtung Notüberlauf gelenkte Schwemmholz wurde nahezu vollständig durch die Tauchwand zurückgehalten. Nur einzelne Hölzer, die bei ansteigendem Hochwasser unter der Tauchwand hindurch gelangten, wurden dann beim Anspringen des Notüberlaufs ausgetragen. Durch eine Vergrösserung der Eintauchtiefe der Tauchwand um 0.2 m unter Beibehaltung der Oberkantenhöhe konnte der Holzaustrag über den Notüberlauf minimiert werden. Um den Durchflussquerschnitt unterhalb der Tauchwand beizubehalten wurde die Sammlersohle entsprechend abgesenkt, womit der endgültige Durchflussquerschnitt unter der Tauchwand 25 m × 1.5 m beträgt.

Gegen Ende des Hochwasserereignisses gelangen wiederum einzelne Hölzer in den Bereich hinter der Tauchwand. Da zu diesem Zeitpunkt kein Wasser mehr entlastet wird, werden diese Hölzer jedoch nicht ausgetragen. Damit sie beim nächsten Hochwasser nicht über den Notüberlauf abgeschwemmt werden, müssen sie nach einem Ereignis geräumt werden.

In den Versuchen wurde keine Verklausung des Durchflussquerschnitts unter der Tauchwand beobachtet. Die Verklausungsgefahr wird jedoch in den Modellversuchen aufgrund von fehlenden Wurzelstöcken tendenziell unterschätzt. Da die Geschiebefront nie bis zum Abschlussbauwerk vorgedrungen ist, kam es auch zu keinen Geschiebeablagerungen im Bereich der Tauchwand. Der Durchflussquerschnitt unter der Tauchwand ist nach jedem Ereignis zu räumen.

Wie bereits erwähnt, wird durch die fehlenden Feinanteile in der Holzmischung ein kleinerer Rechenverlegungsgrad erzeugt als in Natur und die Aufstauhöhe sowie der Abfluss über den Notüberlauf eher unterschätzt. In Zusatzversuchen wurde deshalb der Rechen über seine gesamte Höhe mit PVC vollständig abgedichtet, um den resultierenden Aufstau und die Funktion des Notüberlaufs zu untersuchen. Es hat sich gezeigt, dass ein HQ_{300} vollständig über die Notüberlaufstrecke entlastet wird. Jedoch muss dabei mit dem Austrag einzelner Stämme unter der Tauchwand hindurch oder Verklausungen bei der Tauchwand gerechnet werden. Beim EHQ mit vollständig abgedichtetem Rechen wird der Aufstau vor dem Rechen so gross, dass die Tauchwand überströmt

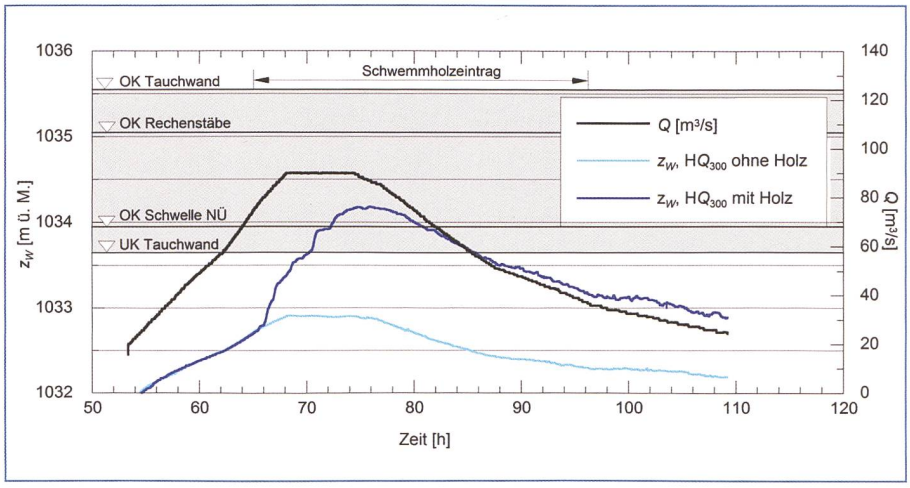

Bild 10. Wasserspiegellage $z_W(t)$ 45 m vor Rechen für HQ_{300} mit und ohne Schwemmholz. Dargestellt sind zusätzlich die Höhenlagen des Rechens, der Tauchwand sowie der Notüberlaufschwelle.

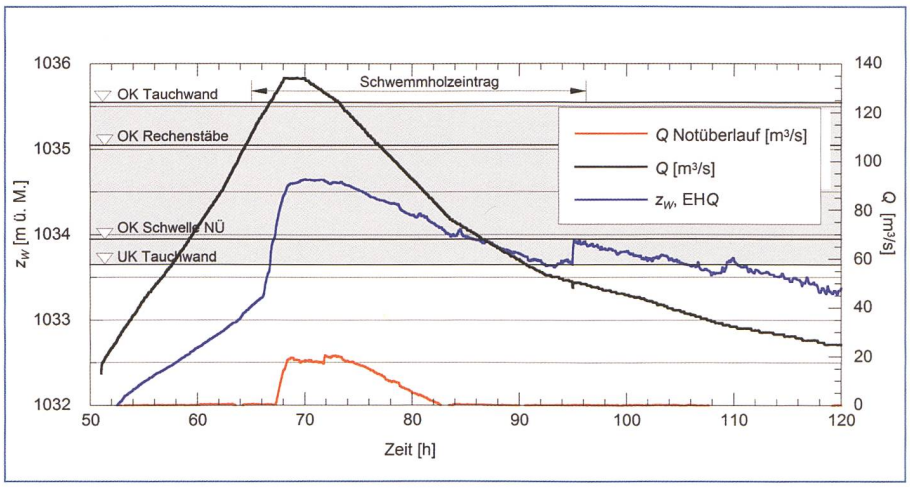

Bild 11. Wasserspiegellage $z_W(t)$ 45 m vor Rechen und Abfluss Q(t) über Notüberlauf beim EHQ mit Schwemmholz.

und der Schwemmholzteppich über die Tauchwand ausgetragen wird. Zur Vermeidung dieses Überlastszenarios können zusätzlich kurze Rechenstäbe auf die Tauchwand aufgesetzt werden.

4.4 Einfluss des Holzrückhalts auf die Geschiebeablagerung

Bei den untersuchten Hochwasserszenarien war keine direkte Beeinflussung der Geschiebeablagerung durch den Schwemmholzrückhalt feststellbar, was mit der Grösse des Sammlers begründet wird. Der Einfluss des Rückstaus auf die Strömung im Sammler ist räumlich begrenzt. Die Ablagerungsfront erreichte zudem den vorderen Bereich des Geschiebesammlers erst gegen Ende des Hochwasserereignisses, nachdem der Aufstau aufgrund des abnehmenden Abflusses bereits zurückgegangen war. Der grösste Teil des Schwemmholzes lagerte sich somit getrennt vom Geschiebe als Teppich beim Rechen ab.

5. Schlussfolgerungen

Um die Hochwassergefahr in Engelberg zu entschärfen wird im Bereich Bannwald oberhalb des Dorfs ein kombinierter Geschiebe- und Holzrückhalt erstellt. Das an der Gürbe bereits realisierte und auf die Engelberger Aa übertragene Rückhaltekonzept, bestehend aus Geschiebesammler, Schwemmholzrechen, Notüberlauf und Tauchwand, wurde mittels hydraulischer Modellversuche an der VAW erfolgreich geprüft und optimiert. Das für die Gürbe entwickelte Konzept des kombinierten Schwemmholz- und Geschieberückhalts ist somit bei gegebenen Randbedingungen auch auf andere Flussgebiete übertragbar.

Die Modellversuche zum Geschiebesammler Engelberger Aa zeigten, dass mit dem gewählten Konzept mindestens 90% des Schwemmholzes sowie das Geschiebe vollständig im Sammler zurückgehalten werden. Der seitlich angeordnete Notüberlauf garantiert eine kontrollierte Entlastung ins Unterwasser, falls der durch die Rechenverlegung induzierte Aufstau vor dem Rechen zu gross wird und die seitlichen Dämme zu übersteigen droht. Die Tauchwand im Zulaufbereich zur Entlastungsstrecke verhindert dabei den Austrag von Schwemmholz über den Notüberlauf.

Mit Hilfe der Versuche wurde zudem gezeigt, dass die Anforderungen bezüglich Rückhalt auch mit einer kleineren Aufweitungsbreite und flacheren Uferböschungen erreicht werden. Somit wird das Aushubvolumen reduziert, die Unterhaltsarbeiten vereinfacht und eine bessere landschaftliche Einpassung des Sammlers in die Umgebung erreicht. Die Flachufer ermöglichen zudem die Verwendung ingenieurbiologischer Massnahmen anstelle von verdecktem Blocksatz.

Durch den vollständigen Geschieberückhalt wird jedoch der Geschiebetrieb in der Engelberger Aa unterbrochen. Ob mittels Initialgerinne die Geschiebedurchgängigkeit bei kleinen Abflüssen gewährleistet werden kann, wurde im Modell nicht untersucht. Somit ist entgegen dem neuen Gewässerschutzgesetz mit einem relativ starken Einfluss auf den Geschiebehaushalt zu rechnen. Aufgrund der Randbedingungen an der Engelberger Aa und dem vorhandenen Schadenspotenzial wurde jedoch nur mit dem hier vorgestellten Rückhaltekonzept eine zufriedenstellende Lösung gefunden. Im Unterhaltskonzept ist zu diskutieren, ob im Zuge der Geschiebebewirtschaftung der Engelberger Aa unterhalb des Geschiebesammlers gezielt Geschiebe aus dem Sammler zugegeben ist.

Danksagung

Die VAW bedankt sich bei der Gemeinde Engelberg für den Auftrag, bei der IG Aawasser für die gute Zusammenarbeit sowie bei Paul Käslin, Roger Kolb, Viktor Schmidiger und Seppi Berwert für die konstruktiven fachlichen Diskussionen.

Literatur

Bezzola, G.R., Hegg, C., eds. (2008). Ereignisanalyse Hochwasser 2005, 2: Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Umwelt-Wissen 2508. WSL, Birmensdorf.

IG-Aawasser (Schubiger/Niederer + Pozzi/Oeko-B) (2007). Hochwasserschutz Engelberg – Engelberger Aa und ihre Zuflüsse. Technischer Bericht Vorprojekt.

Lange, D., Bezzola, G.R. (2002). Kombinierter Holz- und Geschieberückhalt in Aufweitungen am Fallbeispiel Gürbe. Internationales Symposium Moderne Methoden und Konzepte im Wasserbau. VAW Mitteilung 175, 57–65, H.-E. Minor, ed.

Lange, D., Bezzola G.R. (2006). Schwemmholz – Probleme und Lösungsansätze. VAW Mitteilung 188, H.-E. Minor, ed. VAW, ETH Zürich.

Lehmann, C. (2007). Abschätzung der Feststofffracht in der Engelberger Aa. Hydrologie und Wasserbau, Urtenen – Schönbühl.

Rimböck, A. (2003). Schwemmholzrückhalt in Wildbächen. Dissertation. Technische Universität, München.

VAW (2002) Holzrückhalterechen Gürbe, Hydraulische Modellversuche zum Holzrückhalt in der Ausschütte bei Wattenwil. VAW Bericht Nr. 4157. VAW, ETH Zürich.

VAW (2008). Ereignisanalyse Hochwasser 2005 – Teilprojekt Sammler und Rechen; Blockrampen. VAW Bericht Nr. 4242. VAW, ETH Zürich.

VAW (2008). Ereignisanalyse Hochwasser 2005 – Teilprojekt Schwemmholz. VAW Bericht Nr. 4240. VAW, ETH Zürich.

VAW (2011). Geschiebe- und Holzrückhalt Bannwald, Engelberger Aa, Hydraulische Modellversuche. VAW Bericht Nr.4279. VAW, ETH Zürich.

Zarn, B. (1992). Lokale Gerinneaufweitung, eine Massnahme zur Sohlenstabilisierung der Emme bei Utzendorf. VAW Mitteilung 118, D.L. Vischer, ed. VAW, ETH Zürich.

Anschrift der Verfasser

Karin Anhorn, Jörg Broder AG
Buchackerstrasse 30, CH-8400 Winterthur
karin.anhorn@bluewin.ch

Dr. *Lukas Schmocker* und Dr. *Volker Weitbrecht*, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich, CH-8092 Zürich,
schmocker@vaw.baug.ethz.ch
weitbrecht@vaw.baug.ethz.ch