

Beherrschung Überlastfall und Überflutungsmodellierung

Markus Schatzmann, Dominik Schenk

Zusammenfassung

Gemäss Bundesamt für Wasser und Geologie (2001) müssen in jedem Hochwasserschutzprojekt Massnahmen zur Beherrschung des Überlastfalles in die Planung einfliessen und wenn immer möglich auch umgesetzt werden. Ziel der Überlastfallmassnahmen ist es, bei selteneren Ereignissen als dem Bemessungsereignis resp. definiertem Schutzziel, das Risiko von Todesfällen und möglicher grosser Schäden mit verhältnismässig kleinen Zusatzinvestitionen zu reduzieren.

1. Schächen

Beim Schächen ist die Darstellung des Überlastfalles etwas einfacher als im Talboden, da entlang des Schächens «nur» zwei Schutzziele gelten: Linksseitig des Schächens, auf Gemeindegebiet Schattendorf, wurde ein Schutzziel HQ_{300} festgelegt, um das während des Hochwasserereignisses 2005 schwer getroffene Industriegebiet RUAG und Rossgiessen im Sinne einer Sonderzone zu schützen. Rechtsseitig des Schächens, auf Gemeindegebiet Altdorf und Bürglen, wurde das für Siedlungszonen übliche Schutzziel HQ_{100} festgelegt. Durch diese Vorgabe wurde als generelle Hochwasserschutzmassnahme das linke Ufer des Schächens zwischen Gotthardstrasse und Schächenmündung um 1.5 m höher ausgebildet als das rechte Schächenufer. Dadurch werden Ereignisse HQ_{100} bis HQ_{300} gezielt nach Norden geleitet und die Sonderzone bis zum HQ_{300} geschützt. Der Abfluss- und Geschiebetransportprozess des Schächens ist im Beitrag Jäggi detailliert beschrieben. Demnach setzt sich nach mittlerer Füllung des rechtsseitigen Geschiebeablagerungsraumes RUAG (HQ_{100}) der Geschiebeablagerungsprozess im Schächengerinne wie auch im und oberhalb des Ablagerungsraumes im Rahmen von Ereignissen $> HQ_{100}$ fort. Um eine Flutung der südlichen Siedlungsgebiete von Altdorf und der

Industriezonen und Entwicklungsgebiete im Bereich des Bahnhof Altdorf möglichst lange hinauszuzögern, wurden im Hinblick auf einen sukzessiv höheren Schutz folgende Überlastfallmassnahmen umgesetzt (Bild 1):

Überlastkorridor 1 (Ereignisse HQ_{100} bis HQ_{300}):

1. Sekundärdamm entlang Schächenwaldstrasse

Zusätzlicher Überlastkorridor 2 (Ereignisse HQ_{200} bis HQ_{300}):

1. Terrainanpassungen
2. Rechtsseitiges Notventil oberstrom Druckbrücke NEAT
3. Grossräumiger Durchlass Wysshus inkl. Schutzmauern und mobiler Massnahmen

Bis ca. einem HQ_{200} werden Abflüsse und Geschiebeablagerungen im sowie rechtsseitig des Schächengerinnes kontrolliert (Überlastkorridor 1). Für Ereignisse im Bereich und grösser als HQ_{200} geht der Abfluss- und Ablagerungsprozess im Überlastkorridor 1 weiter. Es sind nun aber auch Ausbrüche nach rechts via Sekundärdamm und via Notüberlauf des Ablagerungsraumes sowie zusätzlich oberhalb der Druckbrücke möglich. Für das hier ausgebrochene Wasser inkl. Feinsediment und Geschiebe steht zusätzlich der Überlastkorridor 2 zur Verfügung, welcher den Abfluss sammelt und via Durchlass Wysshus in den Talboden rechtsseitig Reuss, «Stille Reuss» weiterleitet.

Die neue Bahnunterführung, ein von der NEAT gebautes und finanziertes Bauwerk, konnte noch rechtzeitig an die Bedürfnisse des Überlastabflusses angepasst werden. Sämtliche weiteren Überlastfallmassnahmen waren vergleichsweise günstig resp. stellen eine wesentliche Verbesserung im Umgang mit dem Überlastfall dar. Für Ereignisse seltener als HQ_{300} muss schliesslich an verschiedenen Orten entlang des Schächens mit Ausbrüchen resp. Systemkollapsen gerechnet werden. In diesem Falle kommen Evakuations- und Rettungsmassnahmen

im Rahmen der übergeordneten Notfallplanung zum Einsatz. Um auch in einem solchen Fall die Schäden im Industriegebiet Rossgiessen zu begrenzen, dient der Notentlastungskanal «Stille Reuss», welcher auch im Falle von Geschiebeablagerungen des Schächens in der «Stillen Reuss» ein Abfliessen des ausgebrochenen Schächenwassers sowie der «Stillen Reuss» garantiert.



Bild 1. Überlastfall Schächen: Massnahmen und Abfluss- und Geschiebeablagerungsprozess.

2. Reuss

Bei der Reuss greifen die Massnahmen für den Schutz vor dem Bemessungsereignis und dem Schutz vor dem Überlastfall komplex ineinander. Die Massnahmen werden daher in Prozessabfolge resp. unter Berücksichtigung der sehr variablen Schutzziele für die im Talboden zur Verfügung stehenden Flutflächen aufgezeigt. Einige Massnahmen zur Lenkung und Begrenzung des Überlastfalles wurden bereits im Nachgang an das Hochwasser der Reuss von 1987 im Zeitraum 1996 bis 2000 erstellt. Diese wurden dann aufgrund der neu festgesetzten Schutzziele und der durch-

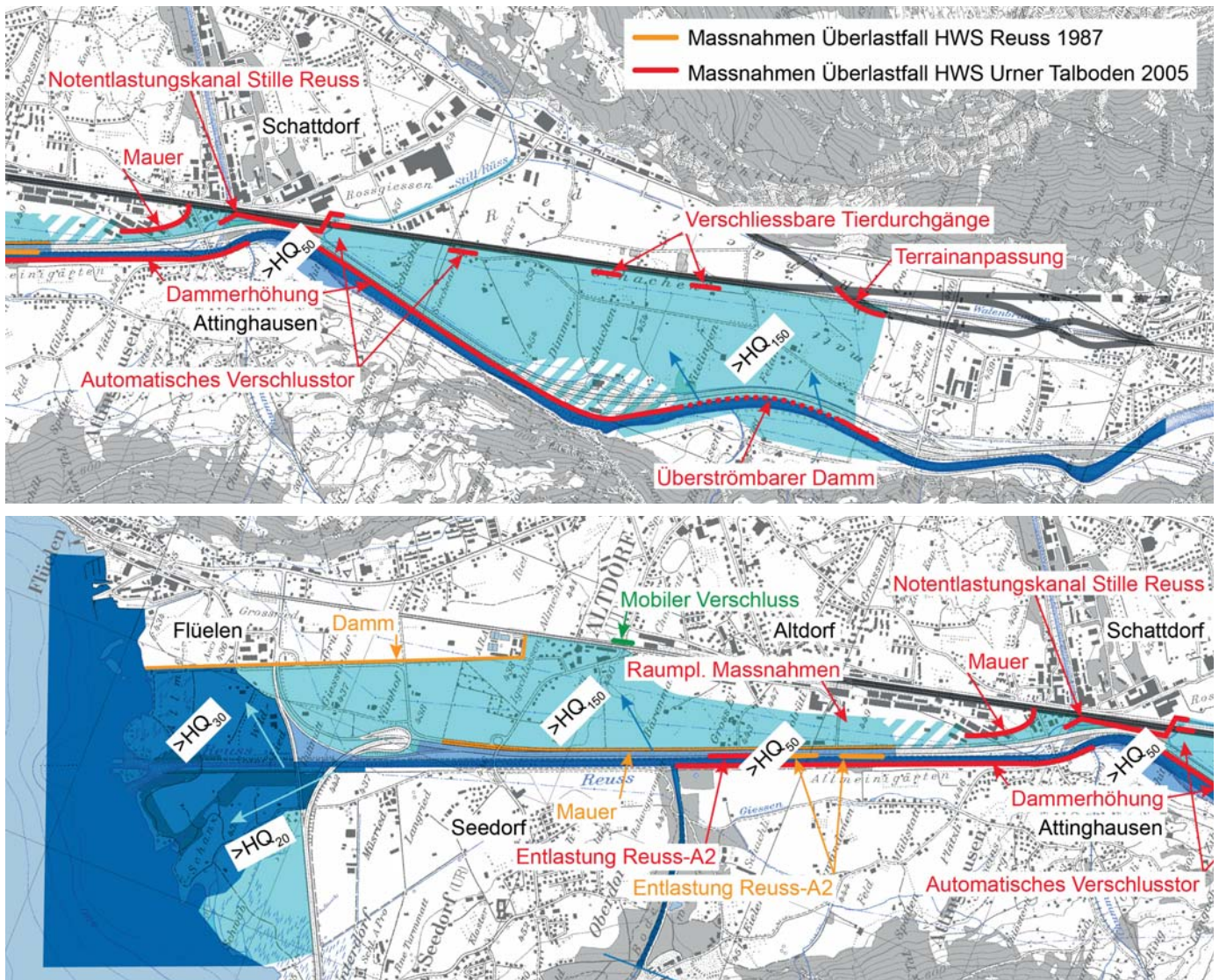


Bild 2. Überlastfall Reuss im Talboden: Massnahmen nach Hochwasser Reuss 1987 (realisiert 1996 bis 2000) und Massnahmen im Rahmen Hochwasserschutz Urner Talboden (realisiert 2010 bis 2016); Bild oben: Erstfeld bis Attinghausen. Bild unten: Attinghausen bis Flüelen.

geführten Berechnungen (siehe weiter unten) ergänzt (Bild 2). Bis zu einem HQ_{20} bleibt der Abfluss der Reuss in seinem Gerinne. Bei grösseren Ereignissen finden im Reussdelta zuerst Ausuferungen linksseitig und danach auch rechtsseitig statt, was die Entwicklung der dortigen Auenwälder begünstigt. Ab einem Reusshochwasser HQ_{50} flutet die Reuss das Gebiet Albenschi oberhalb Attinghausen. Gleichzeitig entlastet die Reuss via Entlastungsanlagen (beidseitig gesicherte Dammscharten) auf die Autobahn A2. Hierzu wird im Rahmen der zugehörigen Alarmorganisation und basierend auf definierten Abflusswerten der Reuss an der Messstation Seedorf der Verkehr auf der A2 rechtzeitig gestoppt. Danach fliesst der entlastete Abfluss im Umfang bis zu $120 \text{ m}^3/\text{s}$ auf der A2 Richtung Reussdelta. Bei Ereignissen um HQ_{150} entlastet das Wasser zudem via Lärmschutzmauer A2 in die Landwirtschaftsebene und fliesst von da Richtung

Reussdelta. Bei Ereignissen grösser als HQ_{150} entlastet schliesslich auch Wasser oberhalb der Schächenmündung via überströmbarer Dammschnitte auf die A2 und von da auf die Landwirtschaftsebene. Das angrenzend liegende Schwerverkehrszentrum bei der A2 ist ab Ereignissen $HQ_{200-300}$ betroffen.

Insgesamt entsteht somit rechtsseitig der Reuss ein ausgedehnter Flutkorridor von Erstfeld bis Flüelen. Bei Ereignissen kleiner HQ_{300} ist der Korridor im Bereich Mündung «Stille Reuss» unterbrochen, da in diesem Fall das Flutwasser der Reuss hier wieder in die Reuss zurückfliesst. Bei Ereignissen grösser HQ_{300} ist der Korridor zusammenhängend, und ein Teilabfluss fliesst durch das Industriegebiet Eyschachen/Entwicklungsgebiet Bahnhof Altdorf.

Um die schadenintensive Industriezone Rossgiessen in Schattdorf bis zu einem HQ_{300} sowie wenn immer möglich auch

bei höheren Abflüssen der Reuss zu schützen, musste der Korridor östlich auf den Damm der NEAT begrenzt werden. Hierzu gehören in Fliessrichtung folgende Massnahmen:

1. Terrainanpassung im Rynächt beim Walenbrunnen
2. Verschlussbare Tierdurchgänge im Damm der NEAT
3. Automatisch und manuell verschliessbare Verschlussstore bei der Strassenunterquerung Riedstrasse und bei der «Stillen Reuss»
4. Im Damm der NEAT integrierter Notentlastungsstollen «Stille Reuss» zur Gewährleistung des Abflusses der «Stillen Reuss» bei geschlossenem Verschlussstor
5. Blockteppich und Blockverbau beim Übergang der Landwirtschaftsebene in das Engnis der «Stillen Reuss» zwischen Reuss/A2 und ATG-Damm bei der SBB-Brücke «Stille Reuss»

Um die tief liegenden Siedlungszonen in Attinghausen vor Einstautiefen grösser 2 m zu schützen, musste der linksseitige Reussdamm auf Seite Attinghausen auf einer grösseren Länge erhöht werden. Unterhalb der Schächenmündung werden bereits überbaute Industriezonen des Entwicklungsgebietes Eyschachen mittels Mauer bis zu einem HQ₃₀₀ geschützt. Für die noch nicht bebauten Zonen weiter nördlich erfolgen raumplanerische Massnahmen resp. baurechtliche Auflagen bezüglich Art und Gestaltung der zukünftigen Überbauungen; dies nicht nur zum Schutz Letzterer, sondern insbesondere auch zur Gewährleistung des Durchflusses der im Flutkorridor abfliessenden Entlastungswassermengen.

Weiter Richtung Norden öffnet sich der Flutkorridor wieder und eine punktuelle mobile Massnahme sowie ein Damm entlang des Altdorfer Giessens verhindern bis zu Hochwassern der Grössenordnung HQ₂₀₀ einen Ausbruch aus dem Flutkorridor.

Für die Entwicklung der Massnahmen im Talboden wurden numerische Überflutungssimulationen mit der Programmsoftware «Mike Flood» des *Danish Hydraulic Institute* (DHI) durchgeführt. Dabei wurden die Gewässer Reuss und «Stille Reuss» sowie die Flutwege Autobahn A2 und Notentlastungskanal «Stille Reuss» eindimensional gerechnet und der flächige Flutprozess im Talboden zweidimensional, wobei die Berechnungen gekoppelt und instationär unter Verwendung der Hochwasserganglinien der Lastfälle HQ₃₀₀ und Extremhochwasser EHQ durchgeführt wurden. Vor Durchführung letztgenannter Berechnungen wurde das Reussgerinne anhand von zahlreich eingemessenen Hochwassermarken vergangener Hochwasserereignisse kalibriert und das Gesamtmodell, basierend auf dem Hochwasserprojekt Reuss 1987, validiert.

3. Stille Reuss

Im Industriegebiet Rossgiessen werden die Ufer entlang der «Stillen Reuss» soweit

erhöht, dass ein HQ₃₀₀ inkl. Freibord abgeführt werden kann. Diese Massnahme berücksichtigt den Überlastfall insoweit, als auch ein grösseres Ereignis noch bordvoll abgeführt werden kann resp. die Ausuferungen moderat ausfallen.

Widmung

Wir widmen diesen Artikel *Heinz Willi Weiss*, der sowohl im Nachgang des Hochwassers 1987 wie auch im Nachgang des Hochwassers 2005 massgeblich an der Entwicklung und Realisierung der Hochwasserschutzprojekte im «Urner Talboden» seitens Basler & Hofmann beteiligt war. *Heinz Willi Weiss* verstarb kurz vor Weihnachten 2015.

Anschrift der Verfasser:

Markus Schatzmann, Dr. Ing. ETH, bis 12/2015 Basler&Hofmann AG, ab 1/2016 Straub AG, Hartbertstrasse 10, CH-7000 Chur

Dominik Schenk, Dipl. Bauingenieur ETH, Basler & Hofmann AG, Bachweg 1, CH-8133 Esslingen

Modelluntersuchungen Schächen und daraus abgeleitete Massnahmen

Martin Jäggi, Marius Junker

1. Geschiebeführung des Schächens während des Hochwassers vom 22./23. August 2005

Der Schächenbach erreichte einen Spitzenabfluss im Bereich von 120–130 m³/s. Er war somit deutlich grösser als der Spitzenabfluss von 1977. Während über sechs Stunden lag der Abfluss über 110 m³/s und darüber, während über 12 Stunden lag er höher als 100 m³/s. Wegen dieser langen Dauer war die mitgeführte Geschiebefracht ausserordentlich hoch. Die Reuss konnte vom herangeführten relativ groben Geschiebe nur wenig weiterverfrachten, und der grösste Teil lagerte sich im Mündungsbereich ab. Dies führte zu einer rückwirkenden Auflandung in die Schächenschale mit Ablagerungen von über 2 m (bei 3 m Uferhöhe). Entsprechend uferte der Schächen zuerst im Bereich der Querung

der «Stillen Reuss» und dann oberhalb der SBB-Brücke aus (23. August 2005; ca. 2:00 Uhr, resp. ca. 6:00 Uhr).

1.1 Übersicht

Mittels numerischer Simulation konnte das Ereignis in Bezug auf Geschiebeführung rekonstruiert werden. *Bild 1* zeigt das zugehörige Transportdiagramm. Jede Kurve entspricht der kumulierten Geschiebefracht, welche bis zu einem bestimmten Zeitpunkt des Ereignisses entlang des Schächens und des nachfolgenden Reussabschnitts erreicht wurde. Der gesamte Eintrag aus den Seitenbächen und durch Sohlenerosion im Schächen selbst betrug ca. 110 000 m³ (Geschiebe mit Grobkomponenten bis über 30 cm Durchmesser, ohne Sand und Schlamm). Die Reuss konnte nur etwa 2000 m³, über den Bereich des Zusammenflusses hinaus, weiterverfrachten.

1.2 Geschiebesammler Stiglisbrücke

Der Geschiebesammler Stiglisbrücke konnte seine Funktion nur teilweise erfüllen. Der Grundablass war etwas zu gross, sodass der Einstau nicht bis zur Überfallsektion reichte und sich nur gegen 30 000 m³ abgelagerten, bei einer Kapazität von ca. 100 000 m³. Auch verklauste entgegen den Erwartungen die Grundablassöffnung nicht durch Holz. Schliesslich wurde der grösste Teil der Ablagerungen beim Abklingen des Abflusses erodiert und ans Unterwasser abgegeben. So verblieben nur etwa 6000 m³ Geschiebe im Sammler. Zwar schien zur Zeit der Projektierung des Sammlers eine solch selbsttätige Entleerung eines Geschiebesammlers zur Milderung eines Geschiebedefizits im Unterwasser wünschenswert, doch führte dies bei diesem Ereignis zu einer zusätz-

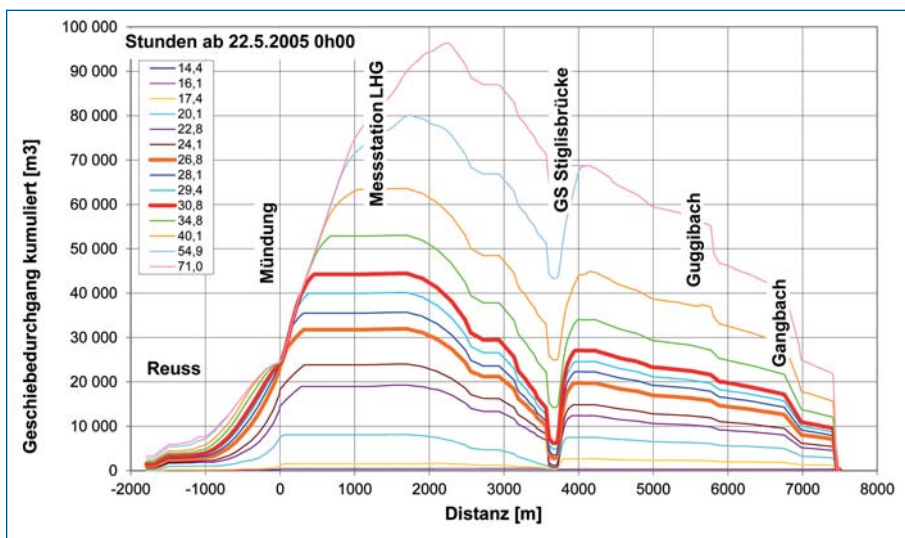


Bild 1. Geschiebetransportdiagramm für das Hochwasserereignis im Schächen vom 22./23. August 2005, durch numerische Simulation des Geschiebetransports ermittelt. Fliessrichtung von rechts nach links. Eine steigende Kurve entspricht Geschiebeeinträgen oder Sohlenerosion. Eine fallende Kurve entspricht Ablagerung. Die dicken Linien (26.8 und 30.8) entsprechen zeitlich dem Beginn der Ausuferungen bei der «Stillen Reuss» resp. ins RUAG-Areal oberhalb der SBB-Brücke.



Bild 2. Der Wassersprung ober der Passelle markiert die Front der gegen die Fliessrichtung wandernden Auflandungsfront (Aufnahme am 23. August 2005, Vormittag. Copyright TBA Kanton Uri).

lichen Belastung des schon überlasteten Unterlaufs.

Deshalb wurde im Rahmen der vorgezogenen Massnahmen ein Regulierschutz eingebaut.

1.3 Zwischenstrecke Stiglisbrücke bis Schächenschale

Wegen der ausserordentlich hohen Abflüsse und deren langen Auftretensdauer erodierte der Schächen im anschliessenden Abschnitt bis zur Schächenschale die Sohle und die Ufer intensiv und zerstörte Uferverbauungen. Die Sohleneintiefung allein ergab ein Geschiebeaufkommen von ca. 36 000 m³; diese Menge wurde durch die Ufererosionen und den Eintrag aus dem Näsital etwa verdoppelt. Ein grosser Teil dieser Menge wurde bereits in der Phase mobilisiert, während welcher der Sammler Stiglisbrücke noch Geschiebe zurückhielt.

1.4 Mündung in die Reuss und Schächenschale

In der Reuss lagerten sich auf kurzer Strecke gegen 20 000 m³ Material ab, was am Ende der Schächenschale zu einer Sohlenerhebung von 2.5 bis 3 m führte. Dies führte zu einer rückwirkenden Auflandung, deren Front gegen die Fliessrichtung wanderte und durch einen Wassersprung markiert war (Bild 2). Diese Vorgänge konnten im numerischen Modell nur simuliert werden, indem für den Geschiebetransport eine Formel für den Transport auf glatter Sohle verwendet wurde. Sobald sich Geschiebe auf der glatten Sohle abgelagert, erfolgt der

Wechsel auf die übliche Formel auf natürlicher Sohle (Smart und Jäggi, 1983).

Da die Uferhöhe nur 3 m betrug, führte die Ablagerung zum erwähnten Ausuferern vorerst im Bereich der «Stillen Reuss» und später oberhalb der SBB-Brücke. Bild 3 dokumentiert die Ergebnisse der Simulation mit der wandernden Auflandungsfront und dem Anstieg des Wasserspiegels.

In der Simulation wurde das Überströmen der Ufer simuliert. Ähnlich wie beim Ereignis in Brig-Glis von September 1993 reduzierte das ausfliessende Wasser die Transportkapazität des Schächens und fachte die Ablagerung weiter an (Bezola et. al., 1994).

2. Übersicht über den Geschiebehaushalt für das Dimensionierungsereignis

Das Büro Scherrer AG (Scherrer, 2006) analysierte die Hydrologie des Ereignisses. Es definierte für die Dimensionierung der geplanten Bauwerke eine kurze Ganglinie mit einer Spitze von etwa 190 m³/s und eine lange Ganglinie mit einer Spitze im Bereich von 150 m³/s, aber einer Dauer von gegen 40 Stunden.

Im simulierten Dimensionierungsereignis führen Einträge aus dem Oberlauf sowie Sohlen- und Ufererosion zu einer Geschiebefracht bis zum Sammler Stiglisbrücke auf gegen 200 000 m³. Davon wird etwa die Hälfte im Sammler aufgefan-

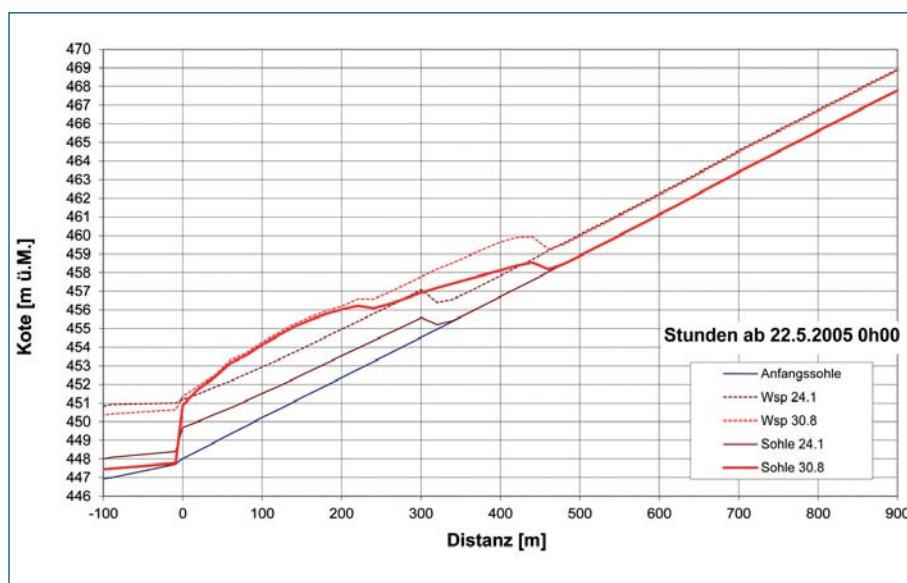


Bild 3. Wasserspiegel und Sohlenlagen gemäss Simulation zum Zeitpunkt des Ausuferens in die «Stille Reuss» (24.1) und ins RUAG-Areal (30.8). Die Uferhöhen betragen 3 m.



Bild 4. Druckbrücke der SBB-NEAT über den Schächen, Abfluss von 225 m³/s im Modell (Quelle VAW).

gen, während dann in einer zweiten Phase 100 000 m³ über die Überfallsektion weitertransportiert werden. Je nach Grad der Verbauung in der Zwischenstrecke bis zur Schale belasten bis 60 000 m³ aus der Erosion den Unterlauf zusätzlich.

Während der ersten 28 Stunden des Ereignisses lagert sich Geschiebe nur in der Reuss ab (ca. 40 000 m³). Nachher kommt es zur rückwirkenden Auflandung, die den seitlich angeordneten Geschiebesammler auf dem RUAG-Areal anspringen lässt. Schliesslich lagert sich Material weiter bachaufwärts bis 500 m oberhalb der LHG-Messstation ab. Diese Vorgänge können nur dank den nachfolgend beschriebenen Projektelementen schadlos ablaufen.

3. Die Druckbrücke der SBB-NEAT

Die Einhaltung eines üblichen Freibords für ein Dimensionierungsereignis hätte für die SBB-Brücke der NEAT eine massive Hebung des Trassees erfordert, welche für das Längenprofil der Strecke zu einer praktisch nicht realisierbaren Bedingung geführt hätte.

Beim Einlaufquerschnitt der Druckbrücke wird eine Verschalung angeordnet. Die Ufermauern müssen oberwasserseitig angepasst werden. Dies erlaubt den Anstieg des Wasserspiegels bis zur Oberkante der Verschalung, und der Abfluss unter der Brücke gerät unter Druck. Im Fall von starker Geschiebeführung und Ablagerung unter der Brücke nehmen durch die zusätzliche Energie Geschwindigkeit und Schleppkraft zu, wodurch der Querschnitt frei bleibt.

3.1 Vordimensionierung

Im Rahmen eines Gutachtens (Jäggi, 2005) wurde für verschiedene Kombinationen von Schächenabfluss und Geschiebeablagerung in der Schale die Machbarkeit einer Druckbrücke aufgezeigt. Ohne Hebung des aktuellen Trassees verbleibt die lichte Höhe unter der Brücke auf 3 m. Verschiedene Lastfälle ergaben einen Aufstau beim Brückeneinlauf zwischen 4 und 5.2 m ab Sohle der Schale. Unter Einrechnung einer gewissen Sicherheitsreserve wurde eine Verschalungshöhe von 3 m vorgeschlagen.

3.2 Numerische Simulation

Im numerischen Modell des Projekts wurde auch die Druckbrücke berücksichtigt. Dazu musste das numerische Modell GESMAT angepasst werden. Unter Druckverhältnissen ist auch die Brückenunter-

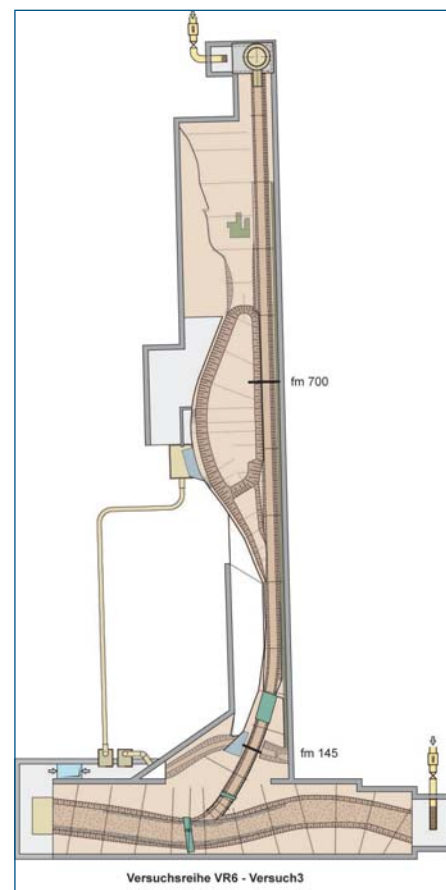


Bild 5. Grundriss der Versuchsanlage HWS «Urner Talboden» (Quelle: VAW).

sicht Teil des benetzten Umfangs. Mit dem bekannten Verfahren nach Einstein (Einstein, 1934) kann dies berücksichtigt und der hydraulische Radius der auf die Sohle wirksamen Teilfläche bestimmt werden (Jäggi, 2007), der dann in die Geschiebe-transportformel eingeführt wird.

Die Energiehöhe oberhalb der Brücke und damit der maximal mögliche Wasserstand lag ca. 1 m unterhalb der Oberkante der Verschalung. Die Differenz zur Energiehöhe im Unterwasser lag bei

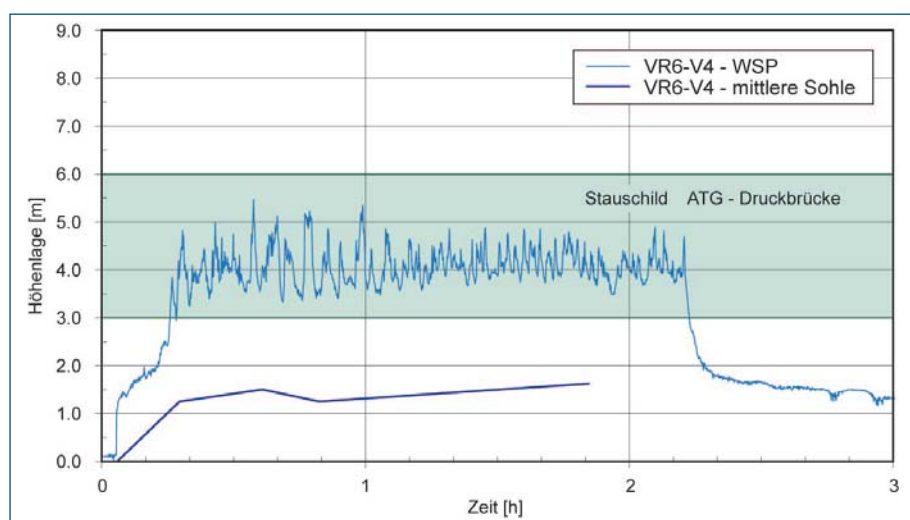


Bild 6. Darstellung der Wasserspiegel- und Sohlenlagen beim Stauschild der Druckbrücke (Quelle: VAW).



Bild 7. Ansicht in Fließrichtung des Geschiebesammlers und Streichwehrs im physikalischen Modell. Fächerartige Ausbreitung der Ablagerungen im oberen Teil des Sammlers (Quelle: VAW).

etwa 1.3 m. Das für den Geschiebetransport massgebende Gefälle im Bereich der Druckbrücke lag so bei 2.6 % und ist somit deutlich höher als das Sohlgefälle der Schächenschale von 2.2 %.

3.3 Modellversuch

Parallel zur numerischen Modellierung der NEAT-Druckbrücke wurde diese Massnahme anhand eines physikalischen Modells an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich untersucht. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde das Verhalten der Brücke sowie des gesamten Schutzsystems entlang der Schächenschale auf dem untersten Kilometer vor der Einmündung in die Reuss in einem Modell mit Massstab 1:50 analysiert.

Die Ergebnisse der numerischen Simulation in Bezug auf die Prozesse und das Verhalten der Druckbrücke wurden im physikalischen Modell bestätigt. Die Ablagerungsmächtigkeiten im Lichtraumprofil der Brücke variierten in diesen Fällen im Bereich zwischen 1 und 2 m, was $\frac{1}{3}$ bis $\frac{2}{3}$ der lichten Höhe entspricht. Trotz dieser Reduktion des Abflussquerschnitts konnte der anfallende Abfluss in allen Fällen die Brücke ohne Ausuferungen passieren.

Beim oberwasserseitigen Portal der Brücke stellten sich im Überlastfall bei einer konstanten Beaufschlagung von 225 m³/s und einer Geschiebetransportrate von ca. 5400 kg/s Wasserspiegellagen ein, die bis 0.5 m unter die Oberkante des Stauschildes reichten (Bild 5). Dabei konnte beobachtet werden, dass das Fließfeld einer markanten Oszillation unterliegt (siehe Bild 6).

Im Unterwasser der Druckbrücke stellt sich eine stehende Welle ein. Sie resultiert aus der sprunghaften Expansion

des Fließfelds beim Übergang zum Freispiegelabfluss. Je grösser die Einstauhöhe im Oberwasser, desto höher stellt sich der Wellenkamm im Unterwasser ein. Die Höhe der Uferberandung sollte auf dieses Phänomen ausgelegt werden.

4. Neugestaltung der Schächenschale und Geschiebesammler für Extremereignisse

4.1 Prinzip und Simulation

Bei einem künftigen Extremereignis im Schächchen ist wieder damit zu rechnen, dass sich Geschiebe in der Reuss ablagert und wieder eine Auflandungsfront die Schächenschale hinaufwandert. Beim Durchgang der Front steigt der Wasserstand auf der Auflandung gegenüber der Abflusstiefe auf der glatten Schale schlagartig um über 1 m an. Dies nützt das Projekt mit der seitlichen Anordnung eines Entlastungsraums auf dem RUAG-Areal aus. Ein 200 m langes und 1 m hohes Streichwehr ist am rechten Ufer angeordnet. Das untere Ende liegt 600 m oberhalb der Mündung in die Reuss. Solange sich in der Schale kein Geschiebe abgelagert hat, ist der Abfluss schießend, und die Abflusstiefen sind kleiner als die Wehrhöhe. Mit dem Aufwärtswandern der Ablagerung springt wegen der deutlichen Anhebung des Wasserstands die Entlastung an, und es wird Geschiebe in den Sammler eingetragen.

Während des Ereignisses von 2005 war die von der Reuss ausgehende Ablagerung teilweise höher als die 3 m hohen Ufer (Bild 3). Das Projekt umfasst deshalb auch eine systematische Erhöhung der Ufer auf 4.5 m, ausser am rechten Ufer im Bereich des Sammlers. Passerellen über den Schächchen mussten auch entspre-

chend angehoben werden. In der Simulation lagert sich wie beim Ereignis 2005 Geschiebe im Bereich der Mündung ab. Es folgt das Aufwärtswandern der Ablagerungsfront. Sobald sie den Bereich des Streichwehrs erreicht, tritt ein Teil des Abflusses und des Geschiebes in den Sammler aus. Die Folge ist eine weitere lokale Anhebung der Sohle auf der Höhe des Streichwehrs, welche die weitere Entlastung von Wasser und Geschiebe fördert.

4.2 Modellversuch

Die dreidimensionalen Prozesse der Geschiebeausleitung und der Füllung des rechtsseitigen, lateralen Geschiebesammlers wurden im physikalischen Modell intensiv untersucht.

Die rückwärts wandernde Auflandung wird durch die Entlastung über das Streichwehr stark verzögert. Erst nach ca. 15 Stunden wird das obere Ende erreicht. In praktisch allen untersuchten Lastfällen wurden dabei rund 70–80 % des anfallenden Geschiebes ausgeleitet und zurückgehalten, d. h. rund 90 000–100 000 m³.

Ab einem Abfluss $Q > 75$ m³/s wird Klarwasser ohne Beeinträchtigung des Geschiebetransports in der Schale über das Streichwehr in den Rückhalteraum ausgeleitet. Es kommt zu einer Seebildung. Sobald die Rückwärtsauflandung das talseitige Ende des Streichwehrs erreicht hat, wird infolge der höheren Sohlenlage sprunghaft mehr Abfluss der Wildbachschale entzogen. Die Transportkapazität wird dadurch schlagartig weiter reduziert, wodurch praktisch die gesamte anfallende Geschiebefracht in den Sammler umgelenkt wird.

Ein kleiner Anteil der Geschiebefracht verbleibt in der Schale und nährt die Ablagerungsfront und somit das langsame Fortschreiten der Ablagerung entgegen der Fließrichtung. Dieser Prozess führt dazu, dass sich das Geschiebe zuerst schicht- und danach fächerartig von unten nach oben im Sammler ausbreitet (Bild 7).

Der in den Sammler gelenkte Abfluss wird über einen Auslass wieder in die Wildbachschale zurückgeleitet. Dabei wurde in keiner Versuchskonfiguration Geschiebe mitgeführt. Vielmehr wurde durch die Einleitung des Klarwasserabflusses in die Schale, diese von den bestehenden Ablagerungen komplett freigeräumt.

4.3 Treibholz

Im Rahmen der Untersuchung des Überlastfalls wurden Schwemmholzversuche durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass der laterale Geschiebesammler in der Lage ist,

einen grossen Teil des anfallenden Treibholzes zurückzuhalten, da sich von Beginn weg im oberen Teil des Sammlers eine Zirkulationsströmung entgegen der eigentlichen Fliessrichtung einstellt. Der grösste Teil des Schwemmholzes wird auf dem Ablagerungskörper festgehalten, ein bedeutend kleinerer Anteil gelangt über die Rückführung zurück in die Schale.

Bei der Druckbrücke stellten sich im Zuge der physikalischen Modellversuche keine kritischen Zustände in Bezug auf Verklausungen von Schwemmholz ein. Am grössten ist die Belastung, wenn die Auflandungsfront unter der Brücke hindurch wandert, bis die Entlastung in den Sammler beginnt. Dabei waren temporäre Teilverklausungen möglich, die aber die Funktion der Brücke nicht infrage stellten.

Hinweis

Die numerischen Simulationen wurden durch das Ingenieurbüro *Idealp sàrl*, Sitten, mit dem eigenen Programm GESMAT durchgeführt.

Literatur

Bezzola, G.R., Abegg, J., Jäggi, M. 1994: Saltina Brücke Brig-Glis, Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 11, 165–169.

Jäggi, M. 2005: Tieferlegung der Schächenbrücken, Gutachten zur Machbarkeit in Bezug auf die Hochwassersicherheit, Amt für Tiefbau des Kantons Uri, März (unveröffentlicht).

Jäggi, M. 2006: Unwetter vom 22./23. August 2005, Schächen und Reuss, Amt für Tiefbau des Kantons Uri, September (unveröffentlicht).

Jäggi, M. 2007: Sediment transport capacity of pressure flow at bridges, Proceeding of the 32nd congress of the International Association for Hydraulic Research and Engineering, Topic A.2.b linear transport, July 1–6, Venice, Italy.

Jäggi, M. 2008: «Hochwasserschutzkonzept Urner Talboden», Geschiebesimulationen Schächen, Amt für Tiefbau des Kantons Uri, Februar (unveröffentlicht).

Scherrer, S. 2007: Hydrologische Grundlagen für den Hochwasserschutz des Urner Talbodens und das Generelle Projekt, Amt für Tiefbau des Kantons Uri (unveröffentlicht).

Smart G.M., Jäggi M. 1983: Sedimenttransport in steilen Gerinnen. Sediment Transport on Steep Slopes. Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 64.

Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, 2009: Bericht Nr. 4238, «Hochwasserschutz Urner Talboden» – Physikalische Modellversuche Schächen (unveröffentlicht).

Anschrift der Verfasser

Martin Jäggi, PD Dr. Kulturingenieur ETH,

Flussbau und Flussmorphologie,

Alte Zürichstrasse 3, CH-8124 Maur

Marius Junker, Dipl. Geomatikingenieur ETH,

Basler & Hofmann AG, Bachweg 1,

CH-8133 Esslingen