

Saltinabrücke Brig-Glis: Rekonstruktion des Hochwassers vom 24. September 1993 in Brig-Glis

Autor(en): **Bezzola, Gian Reto / Abegg, Johannes / Jäggi, Martin**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **112 (1994)**

Heft 11

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78402>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Saltinabrücke Brig-Glis

Rekonstruktion des Hochwassers vom 24. September 1993 in Brig-Glis

Die Rekonstruktion des Hochwasserereignisses zeigt in aller Deutlichkeit die Gefahr, die von rein hydraulisch bemessenen Brückendurchlässen ausgehen kann. Die für die Bewältigung einer hohen Geschiebezufuhr ungeeignete Konstruktion der Saltinabrücke hat am 24. September 1993 versagt. Die Schliessung des Abflussquerschnitts unter der Brücke hat dazu geführt, dass die Saltina mitten im Stadtgebiet über ihre Ufer trat und verheerende Schäden verursachte. Die Saltinabrücke stellt aber in diesem Sinn keinen Einzelfall dar.

Am 24. September 1993 führte die Saltina Hochwasser. Etwa um 16 Uhr ufer- te der Fluss im Bereich der Saltina-

VON GIAN RETO BEZZOLA,
JOHANNES ABEGG UND
MARTIN JÄGGI, ZÜRICH

brücke aus. Wegen der ungünstigen Topographie floss das Wasser rasch seitlich ab. Das mitgeführte Geschiebe, Sand und Schlamm wurden in den Strassen von Brig und Glis zum Teil meterhoch abgelagert. Das Hochwasser forderte zwei Todesopfer und verursachte Sachschäden im Wert von rund 500 Millionen Schweizer Franken.

Topographische Verhältnisse

Die Saltina entwässert ein Gebiet von 78 km² an der Nordseite des Simplons. Rund 8 km² des Einzugsgebiets sind vergletschert. Das Bortelhorn als höchster Punkt im Einzugsgebiet liegt auf 3194 m ü.M., die Mündung in die Rhone auf 670 m ü.M. Im Grund, auf 1068 m ü.M., vereinigt sich der Ganterbach, welcher den östlichen Teil des Einzugsgebiets am Bortelhorn entwässert, mit der vom Simplon her kommenden Taferna zur Saltina. Diese hat im Lauf der Zeit mit der Saltinaschlucht einen markanten Felsdurchbruch gegen das Rhonetal hin geschaffen. An die Schlucht schliesst das Grindji, eine auf rund 2 km Länge eingeschnittene Flussstrecke, an. In diesem alluvialen Abschnitt, in dem die Flusssohle also aus Ablagerungen der Saltina besteht, nimmt das Längsgefälle von anfänglich über 12% am Ausgang der Schlucht kontinuierlich bis auf etwa 3% ab. Am unteren Ende des Grindji befindet sich bei der Napoleonsbrücke eine rund 8 m hohe Sperre (Bild 1). Diese wurde 1923 errichtet, um das von der Saltina mitgeführte Geschiebe oberhalb des Schwemmkegels zurückzuhalten. Auf dem Kegel fliesst die Sal-

tina gegenüber dem umliegenden Gelände überhöht durch Brig-Glis zur Rhone. Im oberen unbebauten Teil des Kegels beträgt das mittlere Gefälle der Saltina 3,6% und nimmt im unteren Teil auf 2,1% ab.

Verbauungsgeschichte

Bis zum Bau der Sperre bei der Napoleonsbrücke führte die Geschiebezufuhr aus dem Einzugsgebiet immer wieder zu Auflandungen im Unterlauf der Saltina. Seit 1331 sind zahlreiche Hochwasserereignisse bekannt [1], die verschiedentlich auch zum Ausufern der Saltina geführt haben. Deshalb wurde der Fluss gegen Ende des letzten Jahrhunderts im untersten Abschnitt durch

den Bau fast vertikaler Ufermauern auf rund 10 m eingengt und kanalisiert. Damit konnte dem Ablagerungsproblem allerdings noch nicht wirkungsvoll begegnet werden, weshalb 1923 die erwähnte Sperre errichtet wurde. Der zumindest anfänglich vollständige Geschieberückhalt führte auf dem Kegel rasch zu einer Umkehr des Problems. Die Saltina nahm nun unterhalb der Sperre entsprechend ihrem Transportvermögen das ihr fehlende Geschiebe wieder auf. Die resultierende Eintiefung der Sohle gefährdete die Standsicherheit der Ufermauern. Aufgrund erster Hochwasserschäden wurde 1927 ein Projekt zur Stabilisierung der Flusssohle mit einer Serie von Querbauwerken ausgearbeitet. Heute ist die Saltina auf ihrem Kegel durchgehend von Ufermauern eingefasst und ihre Sohle durch Schwellen fixiert.

Die Saltinabrücke

Im Zuge des Nationalstrassenbaus wurde 1958 eine neue Saltinabrücke erstellt. Dabei wurde auf die damals projektierte Linienführung für den Anschluss an die neue Simplonstrasse Rücksicht genommen. Aus verkehrstechnischen Gründen wurde die neue Brücke gegenüber früher abgesenkt (Bild 2). Die Unterkante der Brücken-

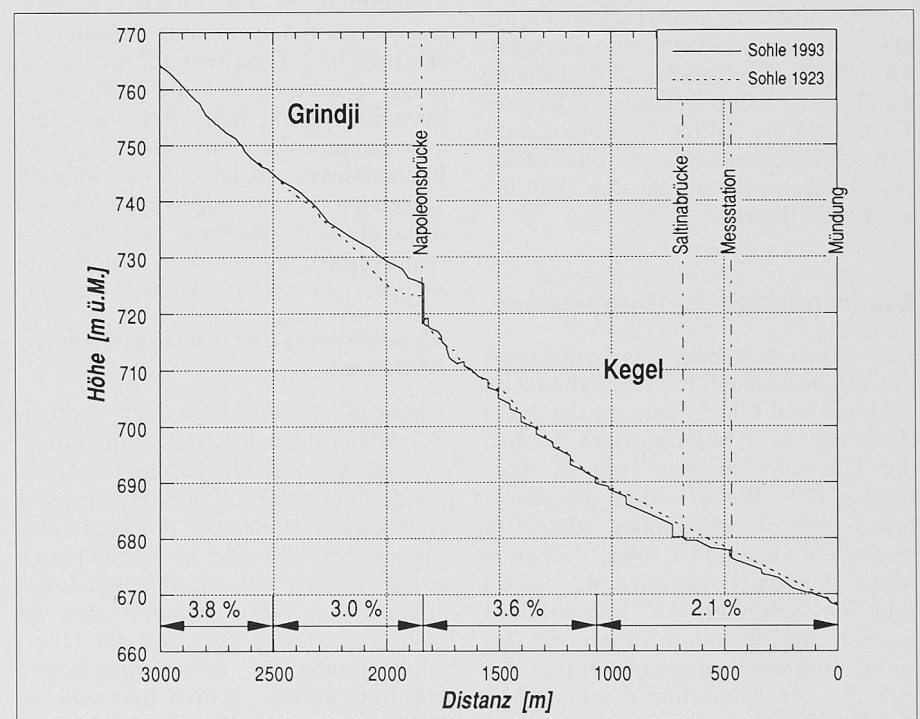


Bild 1. Längsprofil der Saltina vom Grindji bis zur Mündung in die Rhone. Die Sohlenlage von 1923 repräsentiert den Auflandungszustand im Unterlauf, der zum Bau der Sperre bei der Napoleonsbrücke geführt hat. Heute ist die Sohle auf dem Kegel durch Schwellen fixiert

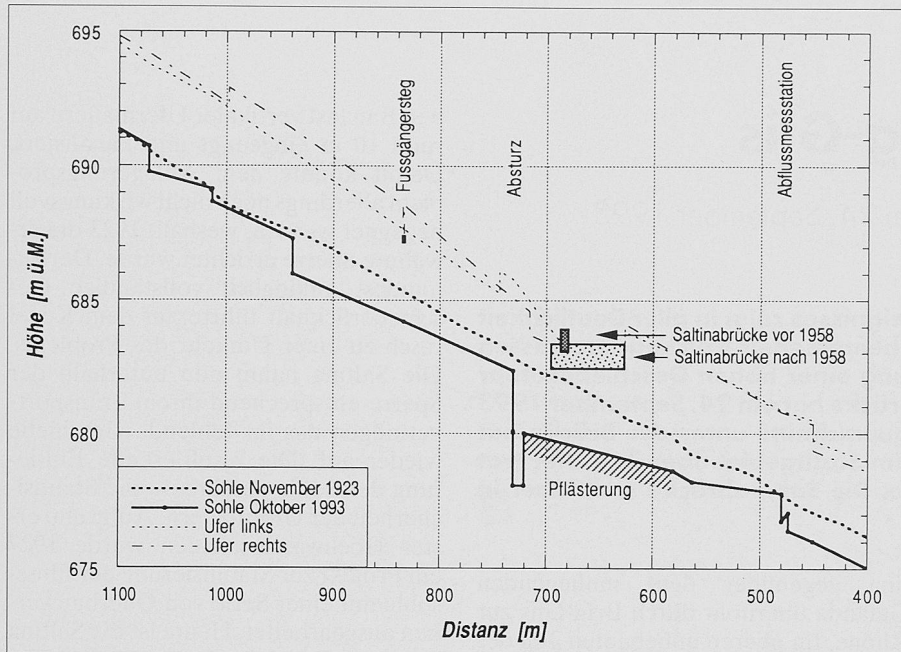


Bild 2. Längsprofil der Saltina im Bereich der Saltinabrücke. Im Rahmen des Brückenneubaus von 1958 wurde die Flussole lokal abgesenkt und künstlich gepflästert. Im Bild ebenfalls gezeigt ist die Sohlenlage von 1923

platte kam so auf ein um 0,6 m tieferes Niveau zu liegen. Im Rahmen des Neubaus fand auch eine Anpassung des Flussbetts statt. Im Brückenbereich wurde die Sohle abgesenkt, um das ursprünglich vorhandene Durchflussprofil zu erhalten. Dies bedingte oberhalb der Brücke den Bau eines rund 2 m hohen Absturzbauwerks zur Stützung der Flussole. Unter der Brücke wurde die Sohle der neu entstandenen Flachstrecke durch eine glatte Pflasterung abgedeckt. Zur Schaffung von Parkplätzen wurde die Brücke 1979 talseitig durch eine Betonplatte verlängert. Damit war die Saltina auf einer Länge von rund 80 m durch die Saltinabrücke, beziehungsweise durch den Saltinaplatz, überdeckt.

Rekonstruktion des Hochwassers

Der Krisenstab Brig-Glis beauftragte die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich mit der Abklärung der Ursachen der Überschwemmung vom 24. September 1993. Weiter sollten die getroffenen Sofortmassnahmen überprüft und allenfalls ergänzt sowie definitive Massnahmen in bezug auf den Flussbau und die Saltinabrücke ausgearbeitet werden. Im folgenden werden die Resultate und Folgerungen präsentiert, die sich aus der Abklärung der Ursachen der Überschwemmung ergeben haben [2]. Dabei wird die Frage der Auftretenswahrscheinlichkeit dieses Hochwassers, zu der noch Abklärungen im Gange sind, nicht weiter behandelt.

Vorgehen

Ein rund 550 m langer Abschnitt der Saltina mit dem kritischen Bereich bei der Saltinabrücke sowie ein Teil der Überflutungsflächen wurden in einem hydraulischen Modell im Massstab 1:50 nachgebildet. Ausserordentlich wichtige Anhaltspunkte für die Rekonstruktion des Hochwassers lieferten die zur Verfügung stehenden Amateur-Videoaufnahmen. In den Modellversuchen wurden die massgebenden Parameter – Abfluss und Geschiebeführung – so lange variiert, bis sich die beste Übereinstimmung mit dem durch die Videoaufnahmen dokumentierten Ablauf des Ereignisses ergab. Die aus den Modellversuchen erhaltenen Werte für den massgebenden Abfluss und die Geschiebeführung konnten zudem auf rechnerischem Weg verifiziert werden.

Abschätzung des massgebenden Abflusses

Unmittelbar unterhalb der Saltinabrücke befindet sich eine Abflussmessstation der Landeshydrologie. Diese wurde aber während dem Hochwasser zerstört, so dass keine direkten Messungen des Abflusses vorhanden sind. Aufgrund der Videoaufnahmen sowie anhand von Fotos konnten aber an mehreren Stellen kurz vor der Überschwemmung die Wasserspiegellagen ermittelt werden. Durch hydraulische Rückrechnung konnte damit der momentane Abfluss auf etwa 70 m³/s abgeschätzt werden. Bis zum Zeitpunkt, als die Saltina vollständig über ihre Ufer getreten war, dürfte dieser Abfluss

annähernd konstant gewesen sein, nachher tendenziell aber eher noch zugenommen haben.

Abschätzung des Geschiebeaufkommens

Zunächst muss zwischen dem in Sohlennähe transportierten Geschiebe (Kies, Steine, Blöcke) und dem als Schwebstoffe transportierten feineren Material unterschieden werden. Massgebend für die Bildung von Ablagerungen und damit ausschlaggebend für Sohlenhebungen in einem Gebirgsfluss ist das Geschiebe. Schwebstoffe sind hingegen infolge der Turbulenz des Abflusses über die gesamte Abflusstiefe verteilt und können ohne Ablagerung durch das Gerinnesystem hindurchtransportiert werden. Erst in Zonen mit sehr kleinen Fliessgeschwindigkeiten (z.B. Überflutungszonen) kommt es zur Ablagerung dieser feinsten Kornfraktionen.

Das Hochwasser der Saltina vom 24. September 1993 führte im oberen Einzugsgebiet zu zahlreichen Uferabbrüchen, welche ihrerseits Hangrutschungen auslösten. Die intensiven Geschiebeumlagerungen mögen den Eindruck erwecken, die Saltina und ihre Zuflüsse hätten im Einzugsgebiet ausserordentlich hohe Geschiebemengen mobilisiert und in den Bereich des Schwemmkegels transportiert. In Brig-Glis wurden nach dem Ereignis denn auch etwa 30 000 m³ Geschiebe geräumt. Die gesamten Feststoffablagerungen werden auf rund 250 000 m³ geschätzt.

Die Analyse der Geschiebeumlagerungen während dem Hochwasser von 1987 in der Reuss [3] hat aber gezeigt, dass auch in relativ steilen Gebirgsflüssen die Geschiebeführung nicht durch einzelne extreme Geschiebeeinträge (zum Beispiel durch Rutschungen) bestimmt wird. Vielmehr limitiert die lokale Transportkapazität einzelner Gerinneabschnitte – sogenannter Schlüsselstrecken – den massgebenden Geschiebeeintrag in den Unterlauf eines Gebirgsflusses. Der unterste, rund 450 m lange Abschnitt des Grindji stellt eine solche Schlüsselstrecke dar (Bild 3). Neben der grossen Breite ist es in erster Linie das Gefälle dieses Abschnitts, welches den maximal möglichen Geschiebedurchgang begrenzt. Eine merkliche Erhöhung der Transportkapazität ist hier nur möglich, wenn der Fluss sein Gefälle deutlich vergrössern kann. Dazu müsste sich, ausgehend von der als Fixpunkt wirkenden Sperre bei der Napoleonsbrücke, eine bedeutend längere und steilere Rampe bilden können. Bei einem Abstand von 30–60 m zwischen den Talflanken im Grindji würde zum



Bild 3. Der untere Teil der Schlüsselstrecke im Grindji. Unter der am rechten Bildrand noch erkennbaren Nationalstrassenbrücke befindet sich die Geschieberückhaltesperre. Blick in Fliessrichtung. (Foto P. Thee, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf)



Bild 4. Die Saltinabrücke am 24. September 1993 kurz nach 16 Uhr. An der Brücke (erkennbar am Geländer) staut sich das Wasser und beginnt kontinuierlich auf die Brücke zu strömen. Blick in Fliessrichtung. (Foto I. Niederberger, Brig-Glis)

Beispiel die Erhöhung des Gefälles um 1% die Ablagerung von rund 80000 m³ Geschiebe bedingen. Eine solche Kubatur ist aber deutlich grösser als das während dem Ereignis auf dem Kegel abgelagerte Geschiebevolumen.

Daher konnte der maximale Geschiebeeintrag in den korrigierten Unterlauf der Saltina auf ihrem Kegel anhand der örtlichen Transportkapazität der Schlüsselstrecke im Grindji abgeschätzt werden. Rechnerisch erfolgte dies anhand von Geschiebetransportrechnungen mit der VAW-Formel 1983 [4]. Neben der Gerinnegeometrie und dem Abfluss muss dafür auch die Kornverteilung des umgelagerten Geschiebes bekannt sein. Mit der von Fehr [5] beschriebenen Linienzahlanalyse steht eine sehr einfache und effiziente Methode zur Erhebung dieser Daten zur Verfügung. Für den massgebenden Abfluss von 70 m³/s ergab die Rechnung eine Transportkapazität von 1 bis 1,5 t/s. Für eine solche Geschiebeführung während 10 bis 15 Stunden resultiert rechnerisch eine Geschiebefracht von rund 30 000 m³ (Ablagerungsvolumen). Voraussetzung für die Mobilisierung grosser Geschiebemengen ist das Überschreiten des Grenzabflusses für den Erosionsbeginn. Gebirgsflüsse weisen eine relativ stabile Deck- oder Pflasterungsschicht auf. Diese entsteht durch Anreicherung von groben Körnern an der Sohlenoberfläche, indem die feineren Komponenten des Sohlenmaterials bei kleineren und mittleren Hochwassern abgeschwemmt werden. Erst bei Abflüssen, welche auch die Gröbsteinkomponenten der Sohle in Bewegung versetzen können, ist eine Aufnahme von Geschiebe aus der Sohle oder eine massive Gerinneverlagerung mit entsprechenden Uferangriffen möglich. Für die Saltina wurde der Grenzabfluss für den Erosionsbeginn im Grindji auf

etwa 40 bis 50 m³/s abgeschätzt. Kleine Abflüsse können zwar auch Geschiebe führen, doch wird in der Regel das Transportvermögen nicht ausgelastet.

Das in Brig-Glis abgelagerte Geschiebe dürfte primär aus dem Grindji stammen. Der Natur der Geschiebebewegung entsprechend wird das in einem Abschnitt mobilisierte Geschiebe aber durch Material aus oberliegenden Abschnitten ersetzt. Da Hochwasserwellen ähnlich einem Pflug Material aus der Sohle aufnehmen und wieder liegen lassen, wird das im oberen Einzugsgebiet mobilisierte Geschiebe erst in einer fernerer Zukunft den Unterlauf erreichen.

Ablauf des Ereignisses

Der im folgenden beschriebene Ablauf des Ereignisses stützt sich auf die Rekonstruktion des Hochwassers im Modell sowie auf die Analyse der während dem Hochwasser in Brig-Glis gemachten Videoaufnahmen.

□ Am 24. September um rund 15 Uhr erreicht der Abfluss der Saltina einen Wert von rund 70 m³/s. Die Verhältnisse an der Brücke sind noch unproblematisch, da zwischen dem Wasserspiegel und der Brückenunterkante noch eine lichte Weite von minimal 65 cm vorhanden ist. Während dem ansteigenden Hochwasser ist aber im Grindji ab einem Abfluss von etwa 40 bis 50 m³/s so viel Geschiebe mobilisiert worden, wie es der Transportkapazität der dortigen Schlüsselstrecke entspricht.

□ Bis um rund 15.30 Uhr bleibt der Abfluss relativ konstant bei etwa 70 m³/s. Das Geschiebe aus dem Grindji bewegt sich langsamer als das Wasser und trifft erst jetzt in grösserer Menge bei der Brücke ein. Die Geschiebezufuhr beträgt zu diesem Zeitpunkt etwa 1 bis 1,5 t/s. Auf der glatten Pflasterung unter

der Brücke beginnt sich Geschiebe abzulagern, da dort das Gefälle flacher ist (nur etwa 1% gegenüber 1,8% oberhalb des Absturzes vor der Brücke). Rasch ist die Pflasterung durch eine etwa 20 bis 30 cm mächtige Geschiebeschicht bedeckt. Dadurch nimmt die Transportkapazität schlagartig ab. Unterhalb des Absturzes beginnt sich nun das Geschiebe in der Form einer Rampe abzulagern, die in der Höhe wächst und sich gleichzeitig flussabwärts ausdehnt. Über die Flachstrecke hinaus wird jedoch praktisch kein Geschiebe weitertransportiert. Der Wasserspiegel erreicht die Brückenunterkante, und in einem grösseren Bereich der Überdeckung gerät der Abfluss unter Druck.

□ Um rund 15.50 Uhr ist der Wasserspiegel vor der Brücke infolge der Ablagerungen so weit angestiegen, dass vereinzelt Wellen am oberen Brückende anschlagen. Dadurch schwappt während einiger Minuten regelmässig Wasser auf die Brücke über.

□ Zwischen etwa 16.00 und 16.15 Uhr überstürzen sich die Ereignisse. Durch den Aufprall des Wassers an der Brückenpläne und dem Geländer entsteht ein Aufstau. Durch dieses rein hydraulische Phänomen (Ansteigen des Wasserspiegels bis maximal auf die Höhe der Energielinie) wird der Wasserspiegel vor der Brücke zusätzlich um rund 1 m angehoben. Wasser beginnt so kontinuierlich auf die Brücke zu strömen (Bild 4). Wegen den topographischen Verhältnissen und diversen Hindernissen auf dem Saltinaplatz (Blumentröge, Aufbauten) fliesst das Wasser rasch seitlich weg. Unter der Brücke nimmt so der Abfluss ab, wodurch das Transportvermögen reduziert wird. Dadurch wird verstärkt Geschiebe unter der Brücke abgelagert, der Abflussquerschnitt zusätzlich reduziert und der Wasserspiegel vor der Brücke weiter an-

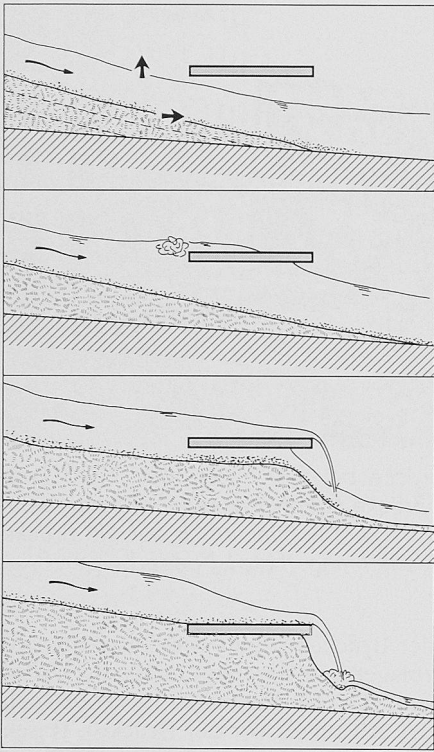


Bild 5. Schematische Darstellung der Schliessung eines Brückenquerschnitts durch Geschiebeablagerungen. Ein erstes Überströmen der Brücke verstärkt den Ablagerungsprozess, das Phänomen facht sich selber weiter an

gehoben. Noch mehr Wasser fliesst auf die Brücke und die Transportkapazität unter der Brücke sinkt noch weiter ab. Dieser Prozess facht sich selber weiter an.

□ Zwischen 16.15 und 16.45 Uhr beginnt das Wasser durch alle an die Brücke angrenzenden Strassen abzufließen. Der Querschnitt unter der Brücke wird durch das Geschiebe vollständig verfüllt. Der gesamte Abfluss und die mitgeführten Feststoffe fließen durch Brig und Glis und verursachen verheerende Schäden. Unterhalb der Brücke verbleibt praktisch kein Abfluss mehr im Saltinagerinne. Erst nachdem ein querstehender Blumentrog am unteren Ende der Brücke gegen 18.00 Uhr entfernt wird, kann ein Teil des überströmenden Wassers und Geschiebes ins Saltinabett zurückfliessen.

Nach Mitternacht, beziehungsweise in den Morgenstunden des 25. Septembers, gelingt es zunächst auf Gliser, dann auch auf Briger Seite jeweils einen provisorischen Längsdamm zu erstellen. Damit kann die Saltina nach 16 Stunden über die Brücke wieder in ihr Gerinne zurückgeleitet werden.

Folgerungen

Ein Abfluss von $70 \text{ m}^3/\text{s}$ hat ausgereicht, um die Überschwemmung mit ihren

schwerwiegenden Folgen in Brig-Glis auszulösen. Ohne Geschiebezufuhr hätte ein Abfluss dieser Grössenordnung im Bereich der Saltinabrücke noch kaum Schaden angerichtet. Die Brückenkonstruktion war jedoch ungeeignet, um den Abfluss von $70 \text{ m}^3/\text{s}$ bei einer gleichzeitigen Geschiebezufuhr von 1 bis $1,5 \text{ t/s}$ schadlos abzuführen. Die Geschiebetransportkapazität der gepflästerten Flachstrecke wurde durch die Geschiebezufuhr übertroffen. Die in einem solchen Fall unausweichlichen Ablagerungen führten dazu, dass der Wasserspiegel am oberen Brückenende auf ein kritisches Niveau angehoben wurde. Bereits eine relativ geringe Ablagerungskubatur in der Grössenordnung von 600 m^3 genügte, um den Wasserspiegel bis an die Brückenplatte anzuheben. Daraufhin wirkte sich der Umstand fatal aus, dass ein Anschlagen des Wasserspiegels an der Brücke mit einem ersten leichten Überströmen den Ablagerungsprozess verstärkt und eine Selbstanfachtung zur Folge hatte (Bild 5). Die Ablagerung von weiteren rund 2000 m^3 Geschiebe reichte aus, um den Brückendurchlass vollständig zu verfüllen. Im Verhältnis zur Gesamtfracht von $30\,000 \text{ m}^3$ ist somit die Geschiebemenge, welche die Überschwemmung bei der Brücke bewirkte, verhältnismässig klein. Die 1979 erfolgte Verlängerung der Brücke hat die negative Wirkung des Bauwerks sicher verstärkt. Eine entscheidende Rolle kann ihr jedoch nicht zugewiesen werden. Dass auch bei einer vergleichsweise kurzen Brücke ähnliche Schadensmechanismen auftreten können, zeigt das Beispiel der Cimavilla-Brücke in Poschiavo [6].

Es ist eine Eigenheit von Gebirgsflüssen wie der Saltina, dass sie bei Abflüssen unter dem Grenzabfluss für den Erosionsbeginn verhältnismässig wenig Geschiebe führen. Deshalb tritt der massgebende Belastungsfall bezüglich Geschiebe im Unterlauf relativ selten auf. Im vorliegenden Fall dürfte die Einrichtung des Geschieberückhalte- raums durch die Sperre bei der Napoleonsbrücke zudem die Geschiebezufuhr in den Unterlauf der Saltina während Jahrzehnten unterbunden oder zumindest reduziert haben. Häufig wiegt man sich nach der Realisierung solcher Massnahmen oder nach längerem Ausbleiben von Hochwassern mit hoher Geschiebeführung fälschlicherweise in Sicherheit. Diese Faktoren mögen dazu geführt haben, dass dem Geschiebe bei der Bemessung des Querschnitts der Saltinabrücke zuwenig Beachtung geschenkt wurde. Möglicherweise wurde auch das Geschiebetransportvermögen auf fester Sohle damals überschätzt.

Im hydraulischen Modell war die Rekonstruktion des Ereignisses im glei-

Literatur

- [1] Türler, H., Godet, M., Attinger, V. (1924): «Historisch-biographisches Lexikon der Schweiz», Band 11, Administration des Historisch-biographischen Lexikons der Schweiz, Neuenburg
- [2] Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (1993): «Saltina/Brig-Glis, Bericht über die Rekonstruktion der Überschwemmung vom 24. September 1993 im hydraulischen Modell sowie über die Untersuchung einer provisorischen Lösung für die Saltinabrücke», VAW-Teilbericht Nr. 4079/1 zuhanden des Krisenstabs Brig-Glis (unveröffentlicht)
- [3] Bezzola, G.R., Hunziker, R., Jäggi, M. (1991): «Flussmorphologie und Geschiebehaushalt im Reusstal während des Ereignisses vom 24./25. August 1987». Mitteilung des Bundesamtes für Wasserwirtschaft Nr.4, Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie Nr. 14, Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern, S. 101–105
- [4] Jäggi, M. (1984): «Der Geschiebetransport in Flüssen nach der VAW-Formel 1983», Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 47/84, S. 940–943
- [5] Fehr, R. (1987): «Einfache Bestimmung der Korngrössenverteilung von Geschiebematerial mit Hilfe der Linienzahlanalyse», Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 38/87, S. 1104–1109
- [6] Jäggi, M., Abegg, J. (1993): «Cimavilla-Brücke, Poschiavo», Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 16/17/93, S. 295–298
- [7] Bundesamt für Wasserwirtschaft, Landeshydrologie und -geologie (1991): «Ursachenanalyse der Hochwasser 1987, Schlussbericht». Mitteilung des Bundesamtes für Wasserwirtschaft Nr. 5, Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie Nr. 15, Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern.

chen zeitlichen Rahmen wie in der Natur ohne Holztrieb möglich. Damit kann dem Holz bei der Schliessung des Abfluss querschnitts kaum eine massgebende Rolle zugewiesen werden. Auf den Videoaufnahmen sind zwar immer wieder treibende Holzstücke sichtbar. In der kritischen Phase des Anschlages des Wasserspiegels an der Brücke und bei beginnendem Überströmen ergeben sich aus den Aufnahmen keine Hinweise auf eine erhöhte Konzentration von Treibholz. Es ist jedoch durchaus möglich, dass beim erstmaligen Anschlagen des Wassers an der Brückenplatte eine leichte Querschnittsreduktion durch Holz, das sich momentan im Brückenquerschnitt verkeilt, einen gewissen Einfluss hatte. Neben diesen eher spekulativen Vermutungen kann

aber festgehalten werden, dass das Holz zumindest volumenmässig zur Verfüllung des Brückenquerschnitts beigetragen hat.

Schliesslich sei hier noch auf die Frage nach Interventionsmöglichkeiten während dem Ereignis eingegangen. Alle Personen, die sich in der kritischen Phase vor der Überschwemmung im Bereich der Saltinabrücke aufhielten, waren sich letztlich nicht bewusst, was kurz darauf geschehen würde. Hätten mehr Mittel, insbesondere mehr Baumaschinen, zur Verfügung gestanden, so hätte mit diesen der Ablauf des Ereignisses kaum wesentlich beeinflusst werden können. Es ist nicht vorstellbar, dass einige Bagger den Geschiebeanfall von über 1 t/s bewältigen und so die Ablagerungen unter der Brücke hätten verhindern können. Auch ist es fraglich, ob bei den hohen Fliessgeschwindigkeiten von über 4 m/s oberhalb der Brücke Bagger ihre Schaufeln gefahrlos in die Saltina hätten eintauchen können. Wesentlich zum Ausmass der Schäden beigetragen hat die überhöhte Lage des ausgebauten Gerinnes der Saltina auf ihrem Schwemmkegel sowie die Position der Saltinabrücke. Alle Strassen,

die von der Brücke wegführen, weisen ein Gefälle in Richtung der besiedelten Gebiete auf. Das austretende Wasser konnte nirgends mehr in die Saltina zurückfliessen und bewirkte so die verheerenden Schäden.

Schlussbemerkung

Die Saltinabrücke stellt in der Schweiz keinen Einzelfall dar, sind doch aufgrund der historischen Entwicklung die Siedlungen in den grossen Flusstälern häufig auf den Schwemmkegeln seitlicher Zuflüsse zu finden. Die topographische Situation und die rasante Siedlungsentwicklung in Brig-Glis, welche letztlich massgebend zur Vergrößerung des Schadenpotentials beigetragen haben, sind nur ein typisches Beispiel von vielen. Grundsätzlich könnten solche extreme Gefährdungen durch planerische Massnahmen ausgeschlossen oder reduziert werden. Diesen Punkten ist aber in der Schweiz bisher kaum Beachtung geschenkt worden. Als Ausnahme seien hier die Lawinengefahrenzonenpläne genannt, welche zu Bauverboten in gefährdeten Gebieten geführt haben. Die Problematik der

Berücksichtigung der vom Wasser ausgehenden Gefahren in der Raumplanung wird erst jetzt durch eine vom Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW) eingesetzte Arbeitsgruppe behandelt, welche dazu dem Bundesrat entsprechende Richtlinien unterbreiten soll. Bereits die vom BWW und der Landeshydrologie geleitete Ursachenanalyse der Unwetterschäden von 1987 [7] kam unter anderem zum Schluss, dass die rasche Bauentwicklung der letzten Jahrzehnte das Schadenausmass während solchen Ereignissen erheblich vergrössert hat. Bisher wurden somit die vom Hochwasser ausgehenden Gefahren bei der baulichen Entwicklung von Siedlungsgebieten generell zu wenig beachtet.

Adressen der Verfasser: *G.R. Bezzola*, dipl. Bau-Ing. ETH, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH-Zentrum, 8092 Zürich; *J. Abegg*, dipl. Kult.-Ing. ETH, Ingenieurbüro Schälchli und Abegg, Stadelhoferstrasse 40, 8001 Zürich (vormals Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH-Zentrum, 8092 Zürich) und *PD Dr. M. Jäggi*, dipl. Kult.-Ing. ETH, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH-Zentrum, 8092 Zürich.

Wirkungsgradbestimmung bei Holzfeuerungen

Neue Methode zur Bestimmung des feuerungstechnischen Wirkungsgrades

Im vorliegenden Beitrag wird eine neue Formel für den feuerungstechnischen Wirkungsgrad bei Holzfeuerungen hergeleitet. Aus der exakten Berechnung werden eine einfache Formel und eine grafische Bestimmungsmethode abgeleitet. Die konsequente Anwendung der hergeleiteten Formeln soll zur Vereinheitlichung der Wirkungsgradbestimmung bei Holzfeuerungen führen und die verschiedenen Berechnungsmethoden der einzelnen Prüfinstitute ersetzen.

Bis anhin werden an den verschiedenen Prüfinstituten für Holzfeuerungen unterschiedliche Methoden zur Berech-

VON THOMAS NUSSBAUMER
UND JÜRGEN GOOD,
ZÜRICH

nung der thermischen und chemischen Abgasverluste verwendet [1]. Im vorliegenden Beitrag wird gezeigt, dass die verschiedenen Berechnungsverfahren bei hohem Kohlenmonoxidgehalt im Abgas zu unterschiedlichen Werten führen können [2].

Obwohl die zahlenmässigen Unterschiede zwischen den verschiedenen Methoden nicht allzu gross sind, führt die Anwendung verschiedener Formeln doch immer wieder zu Diskussionen bei der Interpretation von Versuchsergebnissen. Da keine einheitliche Berechnungsmethode existiert, ist daher ein Vergleich von Messungen verschiedener Prüfinstitute schwierig. Die Herleitung der heute verwendeten Formeln und Zahlenwerte ist zudem teilweise nicht in allen Punkten nachvollziehbar. Im weiteren ist insbesondere die Berechnung nach DIN 4702 recht aufwen-

dig und deshalb für eine rasche und einfache Bestimmung beispielsweise bei Messungen an Anlagen in der Praxis nur bedingt geeignet.

Im Rahmen des DIANE-Projekts Klein-Holzfeuerungen wurde in der hier dargelegten Arbeit eine neue Formel zur Berechnung des feuerungstechnischen Wirkungsgrades von Holzfeuerungen hergeleitet. Die Herleitung sowie die exakte Bestimmungsmethode sind im Schlussbericht [2] ausgeführt.

Ziel der genannten Arbeit und dieses Beitrages ist es, eine zuverlässige und einfache Methode zur Bestimmung des feuerungstechnischen Wirkungsgrades von Holzfeuerungen herzuleiten. Die vorgestellte Methode dient gleichzeitig als Vorschlag für eine Vereinheitlichung der Wirkungsgradberechnung.

Vorgehen

Ausgehend von der Verbrennungsgleichung von Holz wird in der vorgestellten Arbeit die Berechnung der thermischen und chemischen Abgasverluste hergeleitet. Die neue Formel wird mit der Berechnungsmethode nach DIN 4702 sowie mit der an der EMPA Dü-