

# Hochwasserschutz Reussbrücke Felli: Instandsetzung der Nationalstrasse A2 im Kanton Uri

Autor(en): **Bär, Hans / Aemmer, Martin**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **116 (1998)**

Heft 16/17

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-79485>

## **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.

Hans Bär und Martin Aemmer, Zürich

# Hochwasserschutz Reussbrücke Felli

## Instandsetzung der Nationalstrasse A2 im Kanton Uri

**Mit den Instandstellungsarbeiten der Reussbrücke Felli wurde auch die Hochwassertauglichkeit der Brückenpfeiler untersucht. Der vorliegende Fachartikel zeigt, wie flach fundierte Brücken nachträglich gegen extreme Hochwasserereignisse geschützt werden können, und welche Untersuchungen sowie Vorgehensweisen für einen wirtschaftlich optimierten Hochwasserschutz notwendig sind.**

Die im Auftrag vom Amt für Tiefbau durchgeführte Sondierkampagne ergab, dass die untersuchten Pfeiler RO4 und RO5 nur zum Teil auf Fels fundiert sind (Bild 2, S. 9, Bild 3, S. 10). Ausserdem konnte davon ausgegangen werden, dass die Pfeiler LO1 und LO2 ebenfalls nicht oder nur ungenügend auf gesundem Fels fundiert sind.

Ein Geologiebüro wurde mit der Ausführung einer geologischen Detailkartierung des Reussabschnitts bei der Fellibrücke beauftragt. Die Oberflächengeologie der Ufer im Bereich der Pfeilerfundamente wird durch erosionsgefährdete Lockergesteinsmassen und Zonen aus anstehendem Fels gebildet. Das Flussbett setzt sich aus feinerem Grundmaterial und einer inhomogenen Verteilung grober Residualblöcke zusammen. Die Eigenschaften des Grundmaterials wurden durch eine Geschiebeanalyse in Form von Linienproben bestimmt.

Ferner wurde die Bildung von Murgängen im Fellital und deren mögliche Ausdehnung bis zur Einmündung des Fellibachs in die Reuss beurteilt. Die Untersuchungen kamen zum Resultat, dass aufgrund des vorhandenen Schuttpotentials nur bei sehr seltenen Niederschlagsereignissen mit einem Vordringen von Murgängen bis zur Reuss im Bereich der Fellibrücke zu rechnen ist.

### Schäden beim Hochwasser 1987

Während des Unwetters von 1987 wurde das Lockergestein, das durch Blockwürfe gesichert war, über den Lehrgerüstfundamenten des nördlichen und mittleren Pfeilerpaares weggespült. An den Fundamenten

der Brückenpfeiler entstanden keine Erosionsschäden, was darauf hinweist, dass an dieser Stelle noch keine tieferen Sohlenerosionen aufgetreten sind. Offensichtlich wurde bei diesem Ereignis der Grenzabfluss für das Entstehen von weiträumigen Instabilitäten der mit grossen Residualblöcken besetzten Reusssohle noch nicht erreicht.

### Hochwasserhydrologie und Schutzziele

Das Hochwasser von 1987 dürfte bei der Fellibrücke vor dem Zusammenfluss mit dem Fellibach eine Abflussspitze von 600 m<sup>3</sup>/s aufgewiesen haben, was etwa einem 100jährlichen Ereignis entspricht. Der Fellibach erhöhte damals den Reussabfluss um weniger als 30 m<sup>3</sup>/s. Für kleinere Wiederholungsperioden (Jährlichkeiten) ergaben die hydrologischen Untersuchungen folgende Hochwasserabflüsse der Reuss [1]:

Jährlichkeit und Hochwasserabfluss		
50 Jahre	10 Jahre	2 Jahre
470 m <sup>3</sup> /s	350 m <sup>3</sup> /s	230 m <sup>3</sup> /s

Gemäss der «Richtlinie für den Hochwasserschutz» des Kantons Uri muss die Fellibrücke (Infrastrukturanlage von nationaler Bedeutung) als Sonderobjekt betrachtet werden, bei dem eine Hochwassermenge von 600 m<sup>3</sup>/s (HQ100) noch schadlos abfliessen kann [2]. Bei grösseren Hochwasserabflüssen sind beschränkte Erosionsschäden im Uferbereich der Brückenpfeiler tolerierbar. Die Erosionen dürfen aber bis zum sogenannten Extrem-

hochwasser (EHQ) von 1000 m<sup>3</sup>/s die Aufstandsflächen der Pfeilerfundamente nicht erreichen. Sobald die Fundamente genügend unterspült werden, treten katastrophale Schäden (bis zum Einsturz) an den Brücken auf.

### Schadensszenarien und Risiko-beurteilung der Brückenfundation

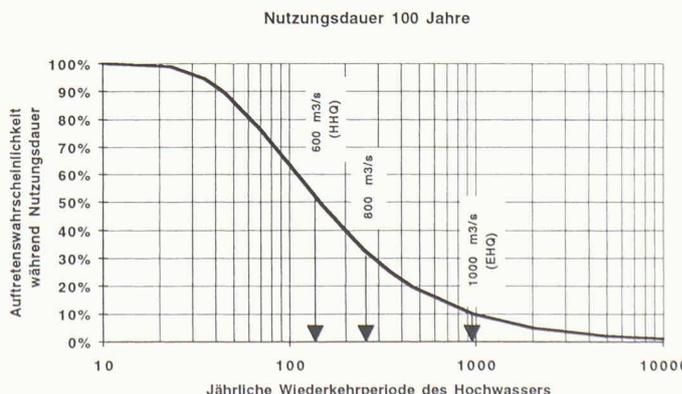
Aufgrund der wasserbaulichen Untersuchungen kann eine Unterspülung der Brückenpfeilerfundamente für extreme Abflüsse über 600 m<sup>3</sup>/s (HQ100) durch die folgenden Szenarien nicht ausgeschlossen werden:

- Grossräumiges Aufreissen des Sohlengefüges mit entsprechender Tiefenerosion und daraus resultierenden Ufererosionen.
- Lokale Kolke im Bereich der Fundationen durch Kurvenströmung, Mäanderbildung und Aufprallen abgelenkter Wassermassen.
- Murgangereignis im Fellibach mit entsprechender Materialablagerung in der Reuss.

Beim Pfeilerpaar Mitte, oberer Teil (RO5), ist der Erosionsbeginn der Sohle infolge des Grundmaterialtransports bereits bei Abflüssen ab 600 m<sup>3</sup>/s zu erwarten. Im unteren Teil dieses Pfeilerpaares (LO2) besteht diese Gefahr erst ab 900 m<sup>3</sup>/s. Beim Pfeilerpaar Nord (RO4, LO1) setzt im Falle einer Materialablagerung infolge eines Murgangs des Fellibachs und der damit verbundenen Erhöhung des Energieliniengefälles die Sohlenerosion ab etwa 800 m<sup>3</sup>/s ein. Das Pfeilerpaar Mitte ist zudem bereits bei Abflüssen zwischen 600 und 800 m<sup>3</sup>/s durch Kurvenkolke gefährdet, sofern diese nicht durch in der Sohle vorhandene Residualblöcke verhindert werden.

Ohne die Realisierung von Schutzmassnahmen, beträgt bei einer Nutzungsdauer

1  
Hochwasserwahrscheinlichkeiten während der Nutzungsdauer der Brücke (100 Jahre)



dauer der Fellibrücke von 100 Jahren das Risiko, dass die gefährdeten Pfeiler in dieser Zeit durch Hochwasser unterspült werden, beträchtliche 50% (Bild 1). Werden hingegen wasserbauliche Massnahmen gemäss den Empfehlungen der erwähnten Richtlinie getroffen, reduziert sich das Risiko in der betrachteten Nutzungsdauer auf 10%. Die Chance für das Auftreten eines schädlichen Hochwassers während der Nutzungsdauer der Fellibrücke wird auf 1:9 verkleinert.

Angesichts des hohen Schadenpotentials im Falle einer Unterspülung der Brückenfundamente der A2-Fellibrücke (Einsturzgefahr, langzeitige Verkehrsunterbrüche) können mit dieser Risikobetrachtung die vorgeschlagenen Schutzmassnahmen als erforderlich beurteilt werden.

### Varianten und gewähltes Konzept für den Hochwasserschutz

Hochwasserschutzmassnahmen können entweder am Objekt selbst oder am Gewässer realisiert werden. Die möglichen Schutzbauten lassen sich wie folgt unterscheiden:

- Objektschutzmassnahmen: Nachträgliches Unterfangen der Brückenpfeilerfundation bis auf sichere Erosionstiefe oder auf anstehenden Fels sowie Umschlingen der Pfeilerfundamente mit Stützmauern und Wandsystemen, Pfahlwänden usw.

- Schutzbauten am Gewässer: Anreichern der Reusssohle und -ufer mit zusätzlichen Residualblöcken in den für die Pfeiler massgebenden Bereichen

Im Falle der Fellibrücke wurde das Konzept mit Schutzbauten am Gewässer den Objektschutzmassnahmen vorgezogen. Die gewählten Schutzbauten am Gewässer müssen schädliche Sohlen- und Ufererosionen im Bereich der Pfeilerfundamente bis zum Bemessungsabfluss (EHQ) verhindern. Theoretisch kann eine Stabilisierung von Sohle und Ufer durch das Anreichern von genügend schweren Blöcken erreicht werden. Aus praktischen Gründen stand aber der Einbau von künstlichen Residualblöcken aus diagonal getrennten Betonwürfeln bzw. -quadern, gestützt auf die Erfahrungen beim Hochwasserschutz in Göschenen und Gurtellen, im Vordergrund [3,4].

Die so entstehenden Betonprismen sind gegenüber der Strömung widerstandsfähig, verkanten sich in der Sohle und stabilisieren zusätzlich die Ufer. Zudem lassen sie sich unter Berücksichtigung der vorhandenen Felsblöcke anordnen. Die beim Aushub anfallenden Fels-

2  
Betonprismen Pfeilerpaar Mitte (RO5)



blöcke können in die Betonprismen eingebunden werden und im besten Fall die geplante Anzahl der künstlichen Blöcke reduzieren.

Die künstlichen Residualblöcke werden nicht über die ganze Sohle verteilt eingebaut, sondern beschränkt auf lokale Bereiche, die massgebend für den Schutz der Pfeiler sind. Die Betonprismen sind in der Sohle bzw. in den Uferfuss eingegraben, so dass sie erst bei einem grösseren Hochwasser freigelegt und hydraulisch wirksam werden (Bild 2). Der über die natürliche Flusssohle ragende Teil der Betonprismen wurde mit grösseren Blöcken aus dem Aushub und Steinbruch (Einzelmasse 30 bis 60 kN) überdeckt und anschliessend der natürlichen Sukzession überlassen.

### Grundlage zur Bemessung der Betonprismen

Die Wirkung der künstlichen Residualblöcke auf die Sohlenstabilität wurde mit dem im Geschiebebericht zum Hochwasser 1987 beschriebenen Blockmodell abgeschätzt [5]. Durch den Einbau dieser Betonprismen können das Reibungsgefälle bzw. die massgebenden Parameter der Sohle  $D$  (äquivalenter Durchmesser einer Kugel mit gleicher Blockmasse) und  $n$  (oberflächliche Konzentration der Residualblöcke) für die Bestimmung des Transportbeginns so verändert werden, dass der geforderte Grenzabfluss  $Q_d > \text{EHQ}$  erreicht werden kann (Bild 3).

In einem ersten Schritt müssen bei der Bemessung der künstlichen Residualblöcke die Kantenlänge sowie die zu versetzende Anzahl der Blöcke abgeschätzt werden. Aus Gründen der Ausführung sollten die Kantenlänge der Würfel nicht grösser als 4 m (Blockgewicht 2·80 t) und der Blockabstand nicht kleiner als 1 m gewählt werden. Die gewählte Kantenlänge der Betonprismen muss in einen äquivalenten Durchmesser einer Kugel mit iden-

tischer Blockmasse umgerechnet werden. Unter Berücksichtigung der in der zu untersuchenden Zone vorhandenen natürlichen Residualblöcke lassen sich nun die durch das Hinzufügen von künstlichen Blöcken veränderten, massgebenden Parameter  $D$  und  $n$  der Sohle ermitteln. Mit dem Blockmodell kann aufgrund der geänderten Parameter  $D$  und  $n$  der neue Grenzabfluss  $Q_d$  für den Transportbeginn der Sohle mit eingegrabenen Betonprismen berechnet werden.

### Bauausführung

Die im Bereich der Brückenpfeiler und -fundamente ausgeführten Hochwasserschutzmassnahmen durften keine unzulässigen Deformationen und Verdrehungen der Brückenkonstruktion verursachen. Die Deformationsvorgaben für die Brückenfundamente (zentrische Setzung  $s < 20$  mm und Setzungsdifferenz  $\Delta s < 10$  mm quer und längs zur Brücke) waren zwingend einzuhalten. Die Stabilitätsbedingungen der Böschung sowie die Gleit- und Grundbruchsicherheit der Fundamente waren ebenfalls zu gewährleisten.

Die Bauausführung wurde mit Hilfe der Beobachtungsmethode vorgenommen. Dies setzt voraus, dass auf der Baustelle mit rechtzeitig durchführbaren Massnahmen auch schlechtere Bedingungen abgedeckt werden oder allfällige Entwurfsänderungen möglich sind.

3  
Beispiel: Bemessung der künstlichen Residualblöcke beim Pfeilerpaar Nord

	Natürliche Sohle	Anreicherung mit Betonprismen
$D$ [m]	3,9	4,1
$n$ [Anzahl/m <sup>2</sup> ]	0,004	0,006
$Q_d$ [m <sup>3</sup> /s]	800	>1000

Folgende zusätzliche Massnahmen wurden im Leistungsverzeichnis beschrieben und kostenmässig teilweise berücksichtigt:

- Sofortiges Auffüllen der Baugrube seitlich der Pfeilerfundamente
- Nach dem Voraushub folgt ein etappierter Aushub für einzelne Betonprismen in der Abschachtungsbauweise
- Flussseitig abgestützte, schräge Stahlspresse

Im Bereich der Pfeilerfundamente wurden die Arbeiten wie folgt ausgeführt: Nach Erstellen der Schutzdämme und der Transportpiste erfolgte der Hanganschnitt bzw. Voraushub bis 4,50 m oberhalb der Endaushubkote. Nach Einbringen eines Betonriegels mit Versetzen einer Ankerlage wurde anschliessend der Aushub für zwei Betonprismen ausgeführt. Die Sicherung der steil ausgeführten Böschung von 2:1 bestand dank der festgestellten Untergrundverhältnisse lediglich aus Drahtnetzen und in Ausnahmefällen aus Spritzbeton. Zehn Tage nach dem Betonieren der Prismen wurden diese hinterfüllt und mit Felsblöcken zugedeckt. Falls möglich, waren die Betonprismen mit der Zementart CEM I/32.5 auszuführen, um einen langsameren Anstieg der Hydrationswärme des Frischbetons zu erreichen. Ausserdem durfte das Maximalkorn des Zuschlags erhöht werden.

### Arbeitsablauf und Bauprogramm

Der Arbeitsablauf hing von der Wasserführung, der Baustelleninfrastruktur und der Verkehrsführung der Kantonstrasse ab. Das Baugebiet lag auch in der Einflusszone der Brückeninstandsetzungsarbeiten. Der Bauablauf war so zu koordinieren, dass ein Bauhochwasser von bis zu  $350 \text{ m}^3/\text{s}$  (HQ10) schadlos abfliessen konnte. Die Schutzdämme, Installationen, Materialdepots und Fluchtstandorte für Geräte und Maschinen waren dementsprechend auszulegen. Aus Umweltschutzgründen durfte die provisorische Transportpiste nicht im Reussbett geschüttet werden.

Im Bauprogramm war aus hydrologischen Gründen zu berücksichtigen, dass bestimmte Verbauungsmassnahmen erst ab Dezember beginnen konnten und bis Ende Februar abgeschlossen werden mussten. Die beiden Krane für die Brückeninstandsetzungsarbeiten standen ebenfalls nicht während der gesamten Bauzeit der Hochwasserschutzmassnahmen zur Verfügung. Mit dem Installationsbeginn im Oktober 96 und der Bauabnahme im März 97 betrug die Bauzeit für diese Hochwasserschutzmassnahmen rund  $\frac{1}{2}$  Jahr.

Adressen der Verfasser:

*Hans Bär*, dipl. Bau-Ing. HTL, *Martin Aemmer*, dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Electrowatt Engineering AG, Bellerivestrasse 36, 8034 Zürich

### Literatur

- [1]  
Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW): Hydrologie des Hochwassers vom 24./25. August 1987 im Urner Reusstal (unveröffentlicht), 1989
- [2]  
Kanton Uri: Richtlinie für den Hochwasserschutz. Juni 1992
- [3]  
*Schleiss A.*: Flussbauliche Massnahmen an der Reuss zum Hochwasserschutz von Gurnellen. wasser, energie, luft, Heft 5/6, S. 93-98, 1996
- [4]  
*Schleiss A., Aemmer M., Philipp E., Weber H.*: Erosionsschutz an Gebirgsflüssen mit eingegrabenen Betonprismen. wasser, energie, luft (Veröffentlichung 1998)
- [5]  
Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW): Flussmorphologie des Mittellaufs zwischen Göschenen und Amsteg. Geschiebeumlagerungen während des Hochwasserereignisses vom 24./25. August 1987 zwischen dem Urnerloch und Urnersee. Bericht zuhanden des Bauamts Uri (unveröffentlicht), 1992