

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 82 (1990)
Heft: 9

Artikel: Das Hochwasser vom 24./35. August 1987 im Urner Reusstal
Autor: Naef, Felix / Jäggi, Martin
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-939829>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

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

Die verschiedenen Anlageteile (Stahlwasserbau-, mechanische und elektrische Ausrüstung) werden von Juni bis Ende August 1990 montiert.

Im Monat September sind die Trocken- und die Nassversuche geplant. Anfang Oktober 1990 soll die Anlage den Betrieb aufnehmen.

Schlussbetrachtung

Mit der Erneuerung der Wasserkraftanlagen der Spinnerei Murg AG wird ein Beitrag an den stetig steigenden Energiebedarf geleistet. Dies wird durch eine optimalere Auslegung, eine Verbesserung der Wirkungsgrade sowie mit einer grösseren Ausbauwassermenge erreicht. Der geplante Ausbau ermöglicht bei praktisch einer Verdoppelung der installierten Leistung eine um 83 % vergrösserte Jahresproduktion.

Dabei wurde den ökologischen Anliegen besondere Beachtung geschenkt. Die heute offen verlegte Druckleitung wird abgebrochen und die neue Leitung – mit Ausnahme von rund 70 m im Tobel – vollständig in den Boden verlegt. Die alte, 13 m über Boden ragende Zentrale am See wird durch ein praktisch flächengleiches, aber nur 2,90 m hohes Gebäude ersetzt. Dazu kommt die Verbesserung der Restwasserverhältnisse im Murgbach, indem in Zukunft ein minimaler Abfluss von 140 l/s im Sommer und 90 l/s im Winter garantiert wird.

Der Ausbau der Wasserkraftanlagen der Spinnerei Murg AG darf also allseits als eine Verbesserung der heute bestehenden Situation angesehen werden.

Adresse der Verfasser: Alick Schwyzer und Thomas Schenk, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Bellerivestrasse 36, Postfach, CH-8034 Zürich.

Das Hochwasser vom 24./25. August 1987 im Urner Reusstal

aus hydrologischer und flussbaulicher Sicht

Felix Naef und Martin Jäggi

Zusammenfassung

Ein intensiver Vorregen und ein etwa einstündiger Starkniederschlag sowie eine Nullgradgrenze weit über 3000 m ü. M. liessen am 24./25. August 1987 im Urner Reusstal ein ausserordentliches Hochwasser entstehen. Sohlenerosion in scheinbar natürlich stabilen Strecken bewirkte grosse

Laufveränderungen mit gewaltigen Schäden an den Verkehrswegen und hohe Geschiebeeinträge. Das Reussbett wirkte aber weitgehend als Geschiebespeicher. Die Überflutungsschäden in der Talebene unterhalb Amsteg waren somit auf den hohen Abfluss zurückzuführen und nicht auf mitgeführtes Geschiebe. Die Speicher Göscheneralp und Lucendro haben beträchtliche Wassermengen zurückgehalten und hatten so einen massgeblichen Einfluss auf die Abflussspitze.

Résumé

Une précipitation de longue durée, suivie d'une pluie intense d'environ une heure, ainsi qu'une position de la limite de zéro degrés à plus de 3000 m s. m. ont été à l'origine de la



Bild 1. Überflutung der Reussebene infolge der Dammbrüche am 25. August 1987 (Bild R. Meier, Baden).

crue extraordinaire du 24/25 août 1987 dans la vallée de la Reuss Uranaise. L'érosion du lit dans des tronçons apparemment stables a provoqué d'importants changements du cours d'eau et par conséquent des dégâts énormes aux routes et voies ferrées, et était la cause d'apports massifs de matériaux solides. Sur de longs tronçons le lit a fonctionné comme réservoir pour les matériaux charriés. Par conséquence, les inondations en plaine en aval d'Amsteg étaient dues au débit exceptionnel et non au charriage. Les barrages de Göscheneralp et de Lucendro ont retenu des masses d'eau importantes et avaient une influence majeure sur le débit de pointe.

Abstract

The exceptional flood in the Reuss Valley of the Swiss Canton of Uri during the 24/25 August 1987 was due to a long rainfall period followed by an intensive 1 hour precipitation and a position of the 0°-isotherme above 3000 m a.s.l. Bed erosion in apparently stable reaches induced major changes of the river course and thus immense damages on roads and railway lines and massive supply of sediment. However, the river bed acted as sediment buffer and therefore the flood damages in the lower plain were the consequence of the high discharge and not the sediment load. The Göscheneralp and Lucendro dams retained substantial quantities of water and had a major influence on the peak discharge.

Einleitung

Das extreme Hochwasser im Urner Reusstal am 24./25. August 1987 verursachte enorme Schäden. Dämme brachen im Raum Andermatt, bei Attinghausen, Altdorf und Seedorf, was zu grossflächigen Überflutungen führte (Bild 1). Schwerwiegend waren Uferabbrüche und Zerstörungen an Verkehrswegen und Siedlungen bei Zumdorf, Göschenen, Wassen und Gurtellen.

Im hochwasserreichen Sommer 1987 wurden engagierte Diskussionen geführt über den Ursprung der gewaltigen Wassermassen, die Gründe für die überraschend grossen Schäden und die Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten auf den Abfluss. Erschwert wurden sachliche Stellungnahmen aber durch den Mangel an Daten. Der Ablauf des Hochwassers war schwer nachzuvollziehen: Von den fünf Abflussmessstationen entlang der Reuss waren drei weggespült worden; die Aufzeichnung der untersten Station bei Seedorf war beeinträchtigt durch die oberhalb des Pegels aufgetretenen Dammbrüche. Der einzige Regenmesser im oberen Teil des Einzugsgebietes zeigte mit 152 mm zwar einen hohen, aber keinen einmaligen Wert an. Dies gab Anlass zu Mutmassungen, dass menschliche Eingriffe im Einzugsgebiet den Abflussprozess verändert und das Hochwasser verschärft hätten. Durch zahlreiche Murgänge und Laufverlagerungen der Reusszuflüsse, durch Uferabbrüche und Hangrutsche an der Reuss selbst wurden enorme Materialmengen bewegt. Deshalb wurde ein grosser Anteil der Schadenwirkung des Hochwassers dem Geschiebeanteil zugeschrieben.

Für die Projektierung der nach dem Hochwasser zu treffenden Schutzmassnahmen waren gute Kenntnisse der Vorgänge während des Ereignisses und eine Abschätzung seiner Auftretenshäufigkeit unerlässlich. Deshalb wurde mit grossem Aufwand versucht, das Ereignis im Urner Reusstal von 1987 zu rekonstruieren. Über die Ergebnisse dieser Auswertungen wird hier berichtet. Die statistische Analyse zur Einordnung des Hochwassers 1987 wurde schon im Heft 3/4, 1990 von «wasser, energie, luft» vorgestellt.

Vorgehen bei der Rekonstruktion des Hochwassers

Zahlreiche Spuren und Beobachtungen des Ereignisses wurden gesichert und zusammengetragen. Das Rückgrat der Rekonstruktion bildete ein mathematisches Modell des gesamten Reusslaufes von Realp bis zur Mündung in den Vierwaldstättersee. In einem aufwendigen iterativen Prozess wurden geschätzte Zuflussganglinien aus den Seitentälern überlagert und solange verändert, bis die Modellrechnung einen Hochwasserablauf ergab, der mit allen Beobachtungen möglichst widerspruchsfrei übereinstimmte. In diesem iterativen Prozess wurde das Modell gleichzeitig auch geeicht und konnte somit für die Beantwortung der folgenden Fragen verwendet werden: Wie hoch wäre der Abfluss in Seedorf gewesen ohne die Dammbrüche in Attinghausen oder ohne die beiden Staudämme Lucendro und Göscheneralp? Wie stark wurden die Spitzen gedämpft durch die Retention in der Ebene von Andermatt, und welche Auswirkungen hätte eine Erhöhung der Dämme in diesem Gebiet auf künftige Hochwasser? Was für Abflüsse sind realistisch bei noch grösseren Hochwassern zu erwarten?

Neben den Pegeln Andermatt und Seedorf, verschiedenen Niederschlagssammlern und der Niederschlagsaufzeichnung in Bedretto konnten für die Rekonstruktion die folgenden Daten verwendet werden:

Hochwasserspuren

Unmittelbar nach dem Hochwasser wurden Spuren an den Böschungen des Gerinnebettes oder an Kunstbauten im Feld lokalisiert, fotografiert und eingemessen. Für die Strecke Amsteg–Urnersee stand ein durchgehendes Wasserstandsängsprofil für die Modelleichung zur Verfügung. An anderen Orten konnte an hydraulisch günstigen Querschnitten anhand des markierten Wasserstandes der maximale Abfluss ermittelt werden.

Modellversuche

Zwei Flussabschnitte bei Wassen und Gurtellen wurden im Modell nachgebaut, um die Wirkung von flussbaulichen Massnahmen zu überprüfen. Durch Variation der Wassermengen bei den Modellversuchen konnten die Spitzenabflüsse des Ereignisses bei der Schluchenbrücke oberhalb der N2-Brücke bei Wassen und bedingt auch an der Wilerbrücke in Gurtellen aufgrund bekannter Hochwasserspuren bestimmt werden.

Zuflüsse zu den Stauseen Lucendro, Sella und Göscheneralp

Aus den Wasserstandsregistrierungen liessen sich Zuflussganglinien zu den Seen herleiten und daraus Rückschlüsse über die Niederschlagsmengen und -verteilung in diesen Gebieten ziehen. Dass die Zone des intensivsten Niederschlages klar umgrenzt war, zeigte sich an den sehr unterschiedlichen Zuflüssen zu den nur 4 km auseinanderliegenden Seen Lucendro und Sella.

Radaraufzeichnungen

Die Schweizerische Meteorologische Anstalt (SMA) betreibt zwei Radaranlagen zur Beobachtung des Niederschlages. Eine Antenne steht auf dem Albis, die andere auf La Dôle. Diese haben eine Reichweite von 200 km und erzeugen alle 10 Minuten eine Niederschlagskarte mit einer Auflösung von 2 km × 2 km. Bedingt durch die Eigenheiten von Radarmessungen im Gebirge und über grössere Entfernungen erlauben diese Bilder nur qualitative Aussagen über den Niederschlagsverlauf.

Als Basis für die numerische Simulation der Geschiebeumlagerungen und des Sohlenverhaltens wurden zahlreiche Untersuchungen des Sohlenmaterials vorgenommen. Ein umfangreiches Inventar über Materialumlagerungen im Einzugsgebiet oberhalb Amsteg stand zur Verfügung. Die Rekonstruktion der Abflussganglinie und die Simulation des Geschiebetransports mussten iterativ angenähert werden, da die erste die Kenntnis der Sohlenlage und die zweite die Kenntnis der Abflussgrösse voraussetzt. Die Rechnungen konnten aber weitgehend getrennt erfolgen, da bald einmal in den für die Abflussrekonstruktion heiklen Flussstrecken die Stabilität der Sohlenlage nachgewiesen werden konnte.

Der Ablauf des Ereignisses

Der Ablauf des Ereignisses lässt sich aufgrund der verschiedenen Quellen wie folgt rekonstruieren:

Im Gebiet des Urner Reusstals zeigten sich auf dem Radarschirm am 24. August während des ganzen Tages zumeist Niederschläge der unteren beiden Intensitätsstufen. Dies belegt, in Übereinstimmung mit den anderen Quellen, dass in dieser Zeit andauernde Niederschläge, aber keine extremen Intensitäten auftraten.

Dies änderte sich um 22.50 Uhr. Über dem Valle Antigorio auf der Alpensüdseite entstand eine Starkregenzone, die sich um 23.00 Uhr nach Norden bis zur Rhone und zur Reuss ausgeweitet hatte und das Gebiet der Witenwasserreuss erfasste. Eine halbe Stunde später erstreckte sich die Starkregenzone bis ins Urserental und ins Gebiet der Gotthardreuss, mit einer klaren Grenze bei Andermatt. Auch die Göschenreuss, die Voralpreuss und teilweise das Meiental wurden erfasst. Die Zone dehnte sich in den folgenden 20 Minuten auf der westlichen Talseite noch etwas nach Norden aus. 10 Minuten nach Mitternacht war sie wieder geschrumpft, und um 0.20 Uhr war das Starkregenereignis praktisch vorbei.

Wichtig war auch, dass die Nullgradgrenze höher lag als 3000 m ü. M., so dass praktisch im gesamten Gebiet Regen und nicht Schnee fiel.

Der extreme Abfluss der Reuss lässt sich also nicht durch die Menge der gefallenen Niederschläge allein erklären, wichtig war auch der zeitliche Verlauf:

Beim Pegel Andermatt nahm zwar der Abfluss infolge der andauernden Niederschläge im Verlauf des 24. August stetig zu. Aber um 23 Uhr, als der grösste Teil des Niederschlags schon gefallen war, erreichte er erst einen Wert von 120 m³/s. Ohne weiteren Niederschlag wäre der Abfluss zurückgegangen, und die beobachtete Spitze hätte einem Ereignis entsprochen, wie es im Durchschnitt alle 5 Jahre auftritt. In der Stunde vor Mitternacht traten nun aber die intensivsten Niederschläge des Tages auf, vor allem im Gebiet Bedretto, Lucendro, Witenwasser, aber auch entlang der westlichen Talflanken des Reusstals. Der Regenschreiber bei Bedretto registrierte in dieser Stunde 40 mm. Für sich allein betrachtet ist dies kein extremer Wert, in Airolo wird eine solche Intensität durchschnittlich alle 20 Jahre einmal gemessen. Aber in diesem Fall waren in den vorangegangenen 17 Stunden schon 200 mm Niederschlag gefallen.

In dieser Stunde flossen 270 000 m³ in den Lago di Lucendro (75 m³/s), der ein Einzugsgebiet von 7 km² besitzt. Es sind also auch hier mindestens 40 mm Niederschlag gefallen. Ähnliche Mengen sind im Gebiet der Witenwasserreuss gefallen, während nach Osten die Intensitäten stark abnahmen.

Dieser Starkregen fiel auf gesättigten Boden. Entsprechend stieg die Reuss bei Andermatt um 200 m³/s auf 340 m³/s in

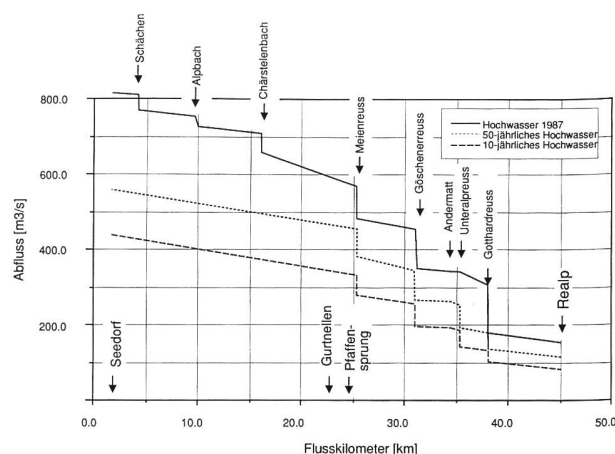


Bild 2. Abflusslängsschnitte der Maximalabflüsse entlang der Reuss für das rekonstruierte Ereignis 1987 und für das 10- und 50-jährliche Hochwasser.

weniger als einer Stunde, damit wurde aus einem mittleren ein extremes Hochwasser. Das gleiche gilt für den Pegel Seedorf. Noch um Mitternacht entsprach der Abfluss mit etwa 500 m³/s einem 20-jährlichen Hochwasser. Auch hier vollzog sich die Entwicklung von einem durchschnittlichen Hochwasser zu einem Extremereignis innerhalb einer Stunde. Der Rückgang zu kleineren Abflüssen erfolgte wiederum rasch, wegen der dabei notwendigen Entleerung der Retentionsräume allerdings nicht ganz so schnell wie der Anstieg.

Mit anderen Worten: Für den Ablauf des Hochwassers und seiner Folgen waren Niederschlagsverlauf und -verteilung in der Zeit um Mitternacht die Ursache. Die ausgiebigen Regen in der Zeit davor hatten für eine Benetzung des Bodens gesorgt und zu einem hohen Abfluss geführt, auf den sich die extreme Spitze aufsetzte. Die Niederschläge, die nach Mitternacht vor allem im östlichen Teil des Gebietes fielen, prägten das Hochwasser nicht mehr entscheidend.

Wichtig für die Rekonstruktion war die Nachbildung der Retentionsverhältnisse und Fließzeiten entlang der Reuss, so dass sich die Überlagerung der einzelnen Zuflüsse und die Verformung der Hochwasserwelle entlang des Gerinnes untersuchen liess. Die genaue Lage des Wasserspiegels war dabei vor allem in der Steilstrecke nicht so wichtig: Die starken Änderungen des Gerinnes durch Erosion und Auflandung in einigen Abschnitten beeinflussten das grossräumige Retentionsverhalten nicht wesentlich. Der Anstieg beim Pegel Andermatt war so steil, dass bei der Überlagerung der Teilwellen aus den Seitentälern wenig Spielraum blieb, diese mussten sehr steil und schmal gewählt werden, wenn unter Berücksichtigung der Retention bei Andermatt die beobachtete Welle nachgerechnet werden sollte. Die Nachrechnungen deuten auf eine natürliche Entstehung des Hochwassers hin. Das Hochwasser entstand vorwiegend in den höher gelegenen Gebieten, es vergrösserte sich aber kontinuierlich entlang des gesamten Laufes der Reuss, entsprechend der Flächen der Teileinzugsgebiete und der abgeschätzten Regenintensität. Ungewöhnliche Einflüsse infolge menschlicher Eingriffe in den Wasserhaushalt konnten nicht festgestellt werden.

Bild 2 zeigt Abflusslängsschnitte der Maximalabflüsse entlang der Reuss für das rekonstruierte Ereignis 1987 und für das 10- und 50-jährliche Hochwasser.

Aufwendig gestaltete sich die Nachrechnung der Dammbruchszenarien unterhalb von Attinghausen. Der zeitliche Verlauf der Ausflüsse aus dem Reusskanal war wichtig, um die Aufzeichnungen des Pegels Seedorf zu überprüfen. An-

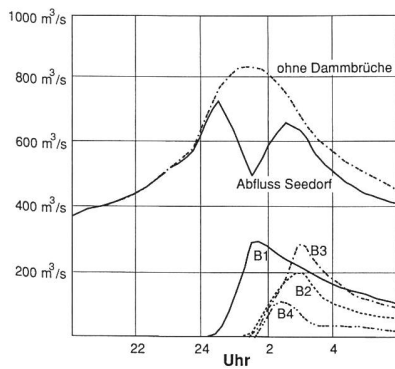


Bild 3. Abfluss der Reuss beim Pegel Seedorf am 24./25. August 1987 zwischen 20 Uhr und 6 Uhr. Eingezeichnet ist auch der Abfluss, der beobachtet worden wäre, wenn die Dämme nicht gebrochen wären. B1 bis B4 zeigen die Flüsse durch die aufgetretenen Breschen. B1 und B2 sind Ausflüsse, B3 und B4 Rückflüsse in den Kanal.

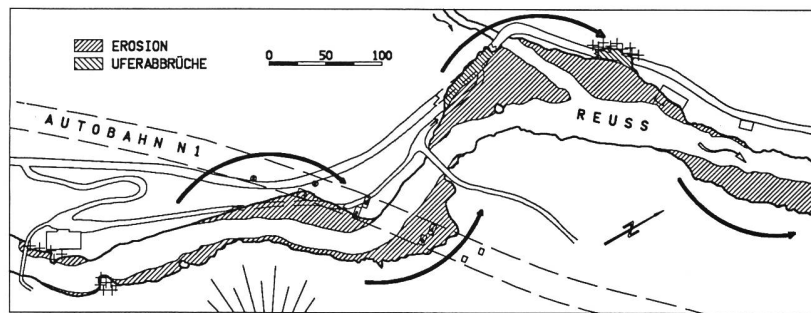


Bild 4. Verbreiterung, Ufererosion und Mäanderbildung im Raume Wassen.

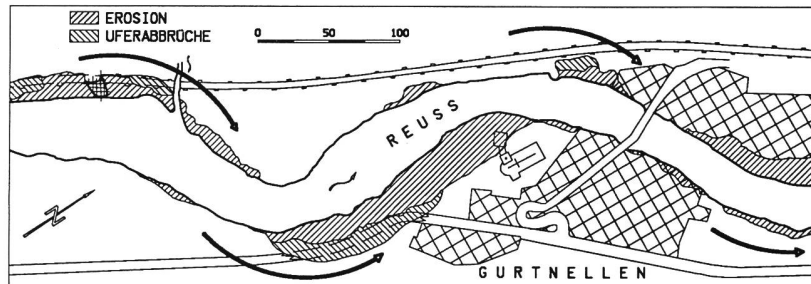


Bild 5. Verbreiterung, Ufererosion und Mäandermigration im Raume Gurtellen.

gesichts der grossen Wassermassen, die in die Reussebene strömten, war auch von Interesse, wie gross der Spitzenabfluss bei intakt gebliebenen Dämmen gewesen wäre. Um die Berechnungen durchführen zu können, mussten Zeugen befragt werden, da nicht bekannt war, wann die Dämme brachen und wie der Anstieg des Wassers in der Ebene erfolgte. Der Damm brach zuerst auf der linken Seite unterhalb Attinghausen (Bresche 1) und überflutete die hinter dem Damm liegende Ebene bis zum Palanggenbach (Bild 1). Nachdem der Wasserspiegel in der Ebene über die Dammhöhe der Reuss oberhalb der Mündung des Palanggenbachs gestiegen war, flutete das Wasser zurück in die Reuss (Breschen 3 und 4). Dadurch stieg der Wasserspiegel im Kanal an, was ein Überströmen und einen Bruch des Dammes auf der gegenüberliegenden Seite der Reuss bewirkte (Bresche 2). Das hier ausströmende Wasser führte zu Überschwemmungen auf der rechten Talseite bis nach Flüelen.

In Bild 3 sind die rekonstruierten Flüsse durch die Breschen dargestellt. Aus der ersten Bresche strömten maximal gegen $300 \text{ m}^3/\text{s}$, durch beide Breschen $400 \text{ m}^3/\text{s}$ aus. Dies entspricht 50% des Spitzenabflusses in Seedorf. Die Dammbrüche traten aber erst kurz vor der Spitze auf, so dass bei intakten Dämmen in Seedorf der Abfluss nur um etwa $100 \text{ m}^3/\text{s}$ höher gewesen wäre. Beim Pegel Seedorf äusserte sich das Öffnen der Breschen in einem scharfen Rückgang des Abflusses, gefolgt von einem Anstieg, verursacht durch das Rückströmen des Wassers aus den gefüllten Überflutungsflächen.

Flussmorphologische Veränderungen

In ihrem steilen Mittellauf zwischen dem Urnerloch und Amsteg hat sich die Urner Reuss seit der letzten Eiszeit an vielen Orten bis auf den Fels eingetieft. Über längere Bereiche liegt das Bett aber in anstehendem Lockermaterial (Moränen, Hangschutt usw.), das mit fluvialen Ablagerungen vermischt ist. Charakteristisch in diesem Abschnitt sind die zum Teil sehr grossen Residualblöcke, die die Reuss aus dem anstehenden Material freigespült hat und die durch die Kraft des Abflusses nicht fortbewegt werden konnten. Einzelne Blöcke sind auch von den Flanken abgebrochen und

ins Reussbett gestürzt. Durch hydraulische Sortierung hat sich im Laufe der Zeit an der Sohlenoberfläche eine grobe Deckschicht gebildet, die gegen den Angriff der Strömungskräfte bei Hochwasser einen grossen Erosionswiderstand aufweist. Die Angriffskräfte sind vom Längsgefälle und vom Abfluss abhängig, aber auch von der Querprofilform. Im betrachteten Abschnitt war diese vor dem Ereignis 1987 nicht durch grosse Verbauungen beeinflusst. In landwirtschaftlich genutzten Gebieten hatte man versucht, der Reuss einige Meter abzuringen, indem auf die anstehende Sohle Trockenmauern aufgestellt wurden. Von diesen waren nach dem Ereignis nur mehr Reste vorhanden. Wo Verkehrswege den Lauf der Reuss berührten oder eine Verlegung der Reuss notwendig machten, hatte man sich mit einem bescheidenen Uferschutz begnügt. Tendenziell wurde das Querprofil der Reuss eingeeengt.

Für eine Querprofilgeometrie wie vor dem Ereignis 1987 wurde der Grenzabfluss für den Erosionsbeginn der Sohle abgeschätzt. Dieser liegt zwischen Göschenen und Gurtellen etwa bei 300 bis $400 \text{ m}^3/\text{s}$, wie Auswertungen für einzelne Profile mit hohem Anteil an Residualblöcken zeigen. Ein solcher Abfluss wurde vor 1987 während Jahrzehnten kaum erreicht. Somit war die Sohle der Reuss im mittleren Abschnitt vermutlich während Jahrzehnten stabil. Die kurze Abflussspitze des Ereignisses von 1987 ergab für den betrachteten Bereich Spitzenwerte von 500 bis $600 \text{ m}^3/\text{s}$. Während kurzer Zeit war mehr oder weniger auf der ganzen Länge der kritische Wert für den Erosionsbeginn übertrufen. Die Wirkung dieser Sohlenerosion war verheerend. Die Bewegung der Größtkomponenten der Deckschicht und eine beginnende Eintiefung führten zum Kollaps der Ufer, ob diese nun aus anstehendem Moränen- oder Hangschuttmaterial oder leichten Verbauungen bestanden. Das Nachgeben der Ufer resultierte in Verbreiterungen des Reussbetts um mehr als das Doppelte. Jeder Uferabbruch brachte auch einen bedeutenden Geschiebeeintrag. Beide Faktoren bewirkten eine Entlastung der Sohle, so dass nirgends eine generelle Tiefenerosion festzustellen war.

Kann ein Fluss sein Bett im anstehenden Lockermaterial frei verändern, wie dies die Reuss während vielleicht einer halben bis einer Stunde tun konnte, so behält dieser selten einen geraden Lauf mit ebener Sohle bei. Eine Zunahme der

Breite fördert das Mäandrieren und eine weitere Zunahme das Verzweigen in mehrere Gerinne. So hat die Reuss im Ereignis von 1987 als Folge der Sohlenverbreiterung entweder neue Mäander gebildet oder aber Bögen aktiviert und eine Verlagerung derselben bewirkt (Mäandermigration). Die Kombination von beginnender Sohlenerosion, Uferkollaps und Profilverbreiterung und schliesslich Aktivierung von Mäandern führte zu den grossen Schäden im Mittellauf der Reuss. Zwischen Göschenen und der Brücke Schöni wurde vor allem die Schüttung der Nationalstrasse, auf der auch die Kantonsstrasse verlief, an mehreren Stellen angegriffen. Beim Teufelstein kam es zu ausgedehnten Rutschungen. Im Raume Wassen (Bild 4) führten die gleichen Prozesse zum Abtrag des Bahntrassees, dem spektakulären Absinken eines Pfeilers der Nationalstrassenbrücke und zur Zerstörung der Kantonsstrasse bei der Mündung der Meienreuss. In Gurtellen (Bild 5) wurde die Verlagerung von bestehenden Mäanderbögen dadurch noch gefördert, dass beim Bau der Gotthardbahn bei der Mündung des Gornerbaches oberhalb des Dorfes eine Flussschleife der Reuss abgeschnitten worden war. Ein Felssporn hatte früher diese Flussschleife fixiert. Im Ereignis von 1987 wurde das Bahntrasse bis auf diesen Felssporn weggespült.

Geschiebeumlagerungen

Welches war nun die Wirkung der gewaltigen Feststoffmengen, welche durch das Ereignis in Bewegung gebracht wurden? Zahlreiche Murgänge im oberen Einzugsgebiet belegten die ausserordentliche Heftigkeit des Niederschlags, doch führten sie selten zu einem direkten Materialeintrag in die Reuss oder ihre Hauptzuflüsse. Auch spektakuläre Laufveränderungen mit entsprechendem Materialeintrag in den oberen Abschnitten der Quellflüsse hatten keinen Einfluss auf die Vorgänge im Mittel- und Unterlauf. Die Transportkapazität der Reuss oberhalb des Urnerlochs ist sehr klein, und die diversen Laufveränderungen bei Realp, Zumdorf und Hospental vermochten den Geschiebedurchgang an dieser Stelle nicht zu beeinflussen. Von viel grösserer Bedeutung war jenes Material, das der Reuss in ihrem Bett oder in unmittelbarer Nähe zur Verfügung stand. In der Schöllenen beispielsweise hatten die vergangenen Jahrzehnte ohne grosse Hochwasser zu einer Anhäufung von Verwitterungsschutt geführt. So konnte sich die vom Fluss mitgeführte Geschiebemenge vom Urnerloch bis zum Bahnhof Göschenen vervielfachen. Geschiebeablagerungen im Bereich der Bahnbrücke unmittelbar vor dem Nordportal des Gotthardtunnels trugen neben der ungünstigen konstruktiven Ausbildung dieses Durchlasses zur Überflutung des Bahnhofs Göschenen bei. Im Bereich des Werkhofs der Nationalstrasse wurde die Linienführung der Reuss jener der Autobahn untergeordnet. Um die Autobahn zu queren, wurde der Fluss in zwei Stollen verlegt. Unterhalb des zweiten Stollens kam es zu massiven Auflandungen, da durch die Umlegung das Gefälle vermindert worden ist und die Geschiebemenge durch die Göschenerreuss und Uferabbrüche nochmals erhöht wurde. Diese Auflandungen reduzierten die Abflusskapazität des zweiten Stollens beträchtlich.

Die wildgewordene Reuss pflügte sich nun durch die anstehenden natürlichen oder künstlich angereicherten Materialdeponien, was lokal zu sehr hohen Geschiebeaufnahmen führte. Diese gewaltigen Geschiebemengen konnten nicht über grosse Strecken transportiert werden, da die Geschiebetransportkapazität eines Flusses durch hydraulische, geometrische und Materialkennwerte begrenzt ist.

Unterhalb von Strecken mit hohen Geschiebeaufnahmen waren deshalb massive Ablagerungen zu beobachten.

Solche Ablagerungen haben eine entscheidende Rolle als Geschiebespeicher gespielt. Der Abtrag der Schüttung der Nationalstrasse beim Teufelstein führte zwar in der Reuss zu einem Spitzenwert der Geschiebeführung von über 150 000 m³ für das Ereignis. Die nachfolgenden Strecken bis zur Brücke Schöni und daran anschliessend die Felschlucht bis Wattingen waren aber in der Lage, diesen Eintrag und auch Einträge aus nachfolgenden Uferabbrüchen zu einem sehr grossen Teil aufzunehmen. Im Raume Wattingen waren unmittelbar nach dem Ereignis 1987 riesige Geschiebeebänke vorhanden, die in den folgenden zwei Jahren bereits wieder kräftig abgebaut worden sind. An der Engstelle bei der Bahnbrücke Wattingen sank der Geschiebedurchgang auf einige zehntausend Kubikmeter.

Die Uferabbrüche im Raume Wassen führten wieder zu einem starken Anstieg des Transports. Zusätzlich angereichert durch die Meienreuss, führte die Reuss beim Pfaffensprung insgesamt gegen 100 000 m³ Geschiebe. Ein grosser Teil davon lagerte sich im Ausgleichsbecken Pfaffensprung ab, wo nach dem Ereignis 63 000 m³ Material entfernt werden mussten. Ein Teil bestand allerdings aus feinen Schwebstoffen. Was an Geschiebe durch den Umleitstollen transportiert wurde, wurde zum Teil wieder in der Felschlucht unterhalb der Staumauer Pfaffensprung abgelagert.

In Gurtellen begann der Prozess von neuem. Die spektakulären Uferabbrüche führten erneut zu einem Anstieg des Geschiebetransports. Bereits unterhalb der Wilerbrücke wurden, vor allem während des Abklingens des Hochwassers, ansehnliche Materialmengen wieder abgelagert. Neue Materialzufuhren ergaben sich beim Steinbruch Gütli, wo das Trasse der Kantonsstrasse weggeschwemmt wurde, aber auch bei den Schwemmkegeln des Fellibachs und bei der Mündung des Teiftals. Der Eintrag ins Intschitobel kann so auf etwa 80 000 m³ abgeschätzt werden. Nur ein Teil dieser Menge erreichte bei Amsteg den Unterlauf, denn der grösste Teil wurde im Intschitobel zurückgehalten. In Amsteg füllte das Reussgeschiebe bis zum Durchgang des Spitzenabflusses jene Mulde auf, welche im Reussbett regelmässig ausgebagert wird. Diese Baggerungen hatten somit keinen Einfluss auf die Hochwassersicherheit.

Zwischen den beiden Autobahnbrücken im Bereich Silenen weist die Reuss im Längsprofil einen starken Gefällsknick auf. Die Rechnungen haben gezeigt, dass dort in normalen Jahren ein Grossteil des Geschiebes abgelagert und weniger als ein Drittel weiterverfrachtet wird. Ablagerungen, wenn auch nicht mehr sehr bedeutende, gab es hier auch beim Hochwasser 1987. Unterhalb von Silenen konnte die Reuss nur noch wenig Geschiebe transportieren. Der Bereich Silenen ist der letzte grössere Geschiebespeicher im Lauf der Reuss. Ein Gefällsknick besteht auch noch in Erstfeld, wo ebenfalls eine kritische Situation entstanden ist, die mindestens zum Teil auf an sich bescheidene Geschiebeablagerungen zurückzuführen ist. Im Reusskanal zwischen Attinghausen und dem See hatte der Fluss praktisch kein Geschiebe mehr aus dem Oberlauf zur Verfügung. Um seine Transportkapazität zu sättigen, nahm er sich Material aus der Sohle bei der Schächenmündung. Er erhielt auch eine zusätzliche Dosis von diesem Zubringer, aber die Vermessung der Sohle vor und nach dem Ereignis hat gezeigt, dass im Bereich der Schächenmündung sich die Sohle eingetieft hat. Vor der Breschenbildung war die Transportkapazität der Reuss entlang der Kanalstrecke relativ gleichmässig. Da sich die Reuss im oberen Teil der Kanalstrecke noch mit Geschiebe sättigen musste, kann von einer Überlastung der

Kanalstrecke mit Geschiebe keine Rede sein, der Geschiebedurchgang im Kanal war mit einigen tausend Kubikmetern bescheiden. Zwar waren die Materialablagerungen im Urnersee enorm. Es kann aber nur ein geringer Teil des in den See eingetragenen Materials als Flussgeschiebe bezeichnet werden, da es überwiegend aus Feinkies, Sand und Silt bestand, welche für Sohlenerosionen und Geschiebeumlagerungen in der Reuss irrelevant sind.

Die Rechnungen im Kanalbereich haben gezeigt, dass das Pegelprofil bei Seedorf während des ganzen Ereignisses sehr stabil war. Die mittlere Sohlenlage hat sich um weniger als 10 cm bewegt. Diese Tatsache erlaubte die Abflusskonstruktion in diesem Bereich und belegte, dass die beobachteten hohen Wasserstände nicht durch Auflandungen zustande gekommen sind, sondern auf den ausserordentlich hohen Spitzenwert des Reussabflusses zurückzuführen sind.

Flussbauliche Beurteilung

Sohlenbewegungen als Ursache der Dammbrüche in der Reussebene können zwar nicht ganz ausgeschlossen werden. Auch wenn die mittlere Sohlenlage etwa stabil bleibt, muss bei starker Geschiebeführung mit örtlichen Variationen der Sohlenlage gerechnet werden. Bankwanderung, Dünenbildung, lokale Strömungsumlenkung usw. führen zu temporären Kolken, die zu einem Nachgeben der Fuss-sicherung führen können. Es ist denkbar, dass die aus dem letzten Jahrhundert stammenden Dammsicherungen solchen Prozessen nicht widerstanden haben. Über weite Strecken wurden die Dämme überströmt und haben dieser Belastung trotzdem standgehalten, ausser bei Bresche 2. Direkte Erosion des Deckwerks auf der Wasserseite des Damms wie auch Durchsickerungen im Dammkörper oder alle Prozesse zusammen mögen an den Dammbrüchen beteiligt gewesen sein.

Seitenerosion war eine wesentliche Ursache für Schäden während des Hochwassers von 1987. Wo Verkehrsanlagen den Lauf der Reuss über Gebühr eingeengt oder verändert hatten, hat die Reuss sozusagen zurückgeschlagen. Die grosse Stabilität der Reusssohle im Mittellauf hat in den vergangenen Jahrzehnten ein trügerisches Bild ergeben und dazu geführt, dass diese Bauwerke nicht stärker gegen die Erosionskraft der Reuss geschützt waren. Die Belastung der Reuss mit natürlich anfallendem Geschiebe oder durch abrutschende künstliche Deponien erhöhte die Schadenwirkung nur lokal (Bahnhof und Werkhof Göschenen, Ausgleichsbecken Pfaffensprung, Amsteg). In keinem Zusammenhang stehen die Geschiebeumlagerungsprozesse im Mittellauf mit den Dammbrüchen im Reusskanal. Die enormen Sand- und Siltmengen, die in der Reuss mitgeführt wurden und sich in den Überflutungsgebieten grossflächig abgelagert haben, dürfen darüber nicht hinwegtäuschen. Seit Jahrtausenden arbeitet die Reuss nur während solcher Extremereignisse wie 1987 an der Weiterentwicklung ihres Tals. In den Zeiten dazwischen scheint der Flusslauf stabil. Im menschlichen Empfinden überwiegen stabile Perioden, und Veränderungen sind aussergewöhnlich. Im geologischen Massstab war das Ereignis von 1987 nur ein kleiner Schritt in der Entwicklung des Urner Reusstals.

Einfluss der Speicherseen Lucendro und Göschenalp

Westlich des Gotthardpasses liegt der Lucendro-Stausee mit einem Speichervolumen von 25 Mio m³. Sein Einzugsgebiet umfasst mit 7 km² nur 3,5% der Einzugsgebiete bis Andermatt, es lag aber im Zentrum der intensivsten Nieder-

schläge. Während des Ereignisses flossen 2 Mio m³ Wasser in den See, während der Stunde der höchsten Abflüsse 75 m³/s. Ohne diesen Rückhalt wären in und unterhalb Hospental zweifellos grössere Schäden entstanden. Die Nachrechnungen zeigen aber, dass die Wirkung des Sees schon in der Schöllenen gering war. Durch zusätzliche Überflutungen in der Ebene von Andermatt wäre die erhöhte Spitze wieder gedämpft worden. Die Überflutungsflächen bei Andermatt haben eine wichtige Funktion: Der Abfluss 1987 hätte beim Urnerloch statt der jetzt geschätzten 345 m³/s über 420 m³/s betragen, wenn die Retention in diesem Gebiet durch genügend hohe Längsdämme entlang der Reuss ausgeschaltet worden wäre.

Deutlicher ist die Wirkung des Göschenalpsees auf die Unterlieger. Sein Einzugsgebiet lag zwar nicht im Zentrum der intensivsten Niederschläge, mit 42 km² ist es aber wesentlich grösser als dasjenige des Lucendrosees. Die während des Ereignisses vom August 1987 zufließenden 3,5 Mio m³ konnten im See ohne Anspringen der Hochwasserentlastung gespeichert werden. Die automatische Registrierung des Seestandes war während der entscheidenden Stunden des Ereignisses unterbrochen, so dass in dieser Zeit nur das zugeflossene Volumen, nicht aber die Form der Zuflussganglinie bekannt war. Anhand des Zuflussvolumens, der Niederschlagsverteilung und des Abflussverhaltens anderer Einzugsgebiete lässt sich vermuten, dass der Spitzenabfluss 125 m³/s, aber wahrscheinlich nicht 170 m³/s überschritten hat. Die Retention in der Reuss von Göschenen bis Amsteg erwies sich in den Berechnungen als gering, sie vermag eine Hochwasserwelle nicht wesentlich zu beeinflussen. Zusätzliche Abflüsse ohne Damm im Göschenalpsee hätten sich beinahe ungedämpft auf die Hochwasserwelle aufgesetzt. Der Abfluss in Seedorf wäre zur Zeit des maximalen Abflusses ohne die Speicherseen Göschenalp und Lucendro um 100 bis 150 m³/s höher gewesen (gerechnet unter der Voraussetzung, dass zwischen Amsteg und Seedorf genügend hohe Längsdämme ein seitliches Ausströmen des Wassers verhindert hätten).

Durch die erhöhte Spitze und durch das insgesamt um 5,5 Mio m³ erhöhte Volumen der Hochwasserwelle wäre die Erosionswirkung der Reuss beim Hochwasser 1987 ohne die beiden Dämme wesentlich verstärkt worden, mit wahrscheinlich schwerwiegenden Konsequenzen an jenen Stellen, wo noch grössere Schäden 1987 nur knapp vermieden wurden.

Die Wirkung der beiden Stauseen bei zukünftigen Ereignissen ist dagegen schwerer einzuordnen. Das Einzugsgebiet der beiden Seen erfasst mit 49 km² nur etwa 6% der gesamten Fläche. Durch die Niederschlagsverteilung beim Ereignis 1987 war die Wirkung der Seen überproportional gross; sie verhinderten eine weitere Vergrösserung der schon so enormen Schadensumme. Bei einer anderen Niederschlagsverteilung wäre die Wirkung der Speicher bescheidener. Da aber Aussagen über die räumliche Verteilung der Niederschläge bei extremen Starkniederschlägen und die dazugehörigen Auftretenswahrscheinlichkeiten angesichts des begrenzten Datenmaterials heute noch nicht möglich sind, lassen sich die Aussagen über die Wirkung der Speicher nicht verallgemeinern.

Adresse der Verfasser: *Felix Naef* und *Martin Jäggi*, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.