

TALSPERREN MÜSSEN EXTRE- MEN HOCHWAS- SERN TROTZEN

Die Schweiz zählt 162 grosse Talsperren mit einer Höhe von über 15 Metern. Damit diese Anlagen sicher betrieben werden können, müssen sie für alle denkbaren Belastungen ausgelegt sein. Zu den Sicherheitsvorkehrungen gehören Bauwerke zur Hochwasserentlastung, die bei extremen Regenfällen ein unkontrolliertes Überlaufen eines Stausees verhindern. Ein Forschungsprojekt der Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) hat eine neue Methode entwickelt, mit der sich die Gefahren durch ausserordentliche, sehr seltene Hochwasserereignisse abschätzen lassen.

Wenn es um die Erforschung von Wasserkraftwerken und anderen hydraulischen Bauwerken geht, geniesst das Wasserbaulabor der ETH Lausanne (EPFL) einen erstklassigen Ruf. Wissenschaftler untersuchen hier die Verlässlichkeit von Talsperren, die Zweckmässigkeit von hydraulischen Bauwerken von Wasserkraftanlagen oder den Sedimenteintrag in Stauseen, aber auch Fragestellungen rund um den Hochwasserschutz und die Gewässerrevitalisierung. In der grossen Versuchshalle werden neben den Forschungsexperimenten mehrere praktische Fragestellungen zu Projekten im In- und



Die Contra-Staumauer im Tessiner Verzasca-Tal wurde in den frühen 1960er Jahren erbaut und ist mit 220 m die vierthöchste Staumauer der Schweiz. Auf beiden Seiten der Mauer sind die zwei Hochwasserentlastungen mit jeweils sechs Schussrinnen erkennbar. Die Hochwasserentlastungen ermöglichen ein Entweichen des Wassers aus dem See, wenn dessen Kapazität ausgeschöpft ist. Foto: SwissCOD, 2011

Ausland untersucht wie Massnahmen gegen Erosionen am Fusse der Staumauer Kariba am Zambesi-Fluss in Afrika, Erosionsschutz mit grossen Betonprismen beim Flusskraftwerk Chancy-Pougny an der Rhone unterhalb von Genf, Fischeaufstieg an einem Rheinkraftwerk unterhalb von Basel und ein Wirbelfallschacht zur Abführung von Abwasser in Cossonay (VD).

Hochwasser gefährdet Staudamm

Das Thema Sicherheit zieht sich wie ein roter Faden durch die verschiedenen Forschungsprojekte. Die Schweizer Bevölkerung hat Vertrauen in die Verlässlichkeit der einheimischen Talsperren. Doch die Sicherheit von Staumauern und Staudämmen bleibt eine ständige Aufgabe. Was im Schadensfall passiert, hat die Bevölkerung unterhalb des Oroville-Staudamms im nördlichen Kalifornien im Frühjahr 2017 leidvoll erfahren. Damals drohte eine Seitenmauer beim Notüberlauf abseits des 200 m hohen Erddammes nach wochenlangen Regenfällen zu brechen. Der Staudamm hat zwar einen Überlauf – Hochwasserentlastung genannt –, welcher verhindert, dass das Wasser unkontrolliert über den Staudamm fliesst. Doch nach einem Schaden konnte der Hauptüberlauf nicht mehr benutzt werden. Das Wasser floss über den Notüberlauf und drohte diesen zu unterspülen. Aus Sicherheitsgründen wurden vorsorglich 160'000 Personen evakuiert. Die Sei-

tenmauer und der Damm hielten den Wassermassen jedoch stand.

Es ist ein Zufall, dass kurz vor dieser spektakulären Panne in Kalifornien ein Forschungsprojekt an der EPFL abgeschlossen wurde, das sich der Sicherheit von Talsperren bei Hochwassern widmet. Fränz Zeimetz hat in seiner Doktorarbeit untersucht, welche Wassermenge während eines starken Regens im Einzugsgebiet eines Stausees niedergeht – und welche Auswirkungen der Niederschlag auf den Füllstand des Stausees hat. Der Luxemburger Wissenschaftler entwickelte eine Methode, um die Auswirkungen extremer Niederschlagsereignisse zu bestimmen. Die Arbeit leistete einen Beitrag zur Sicherheit von Talsperren, sagt Prof. Anton Schleiss, der an der EPFL das Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH) leitet und der die Dissertation betreut hat: «Die Talsperren in der Schweiz werden alle fünf Jahre einer Sicherheitsprüfung unterzogen. Die vorliegende Arbeit stellt die wissenschaftlichen Grundlagen bereit, um das Gefährdungspotenzial von extremen Niederschlägen in den Schweizer Alpen in Zukunft noch besser abschätzen und in die Sicherheitsüberprüfungen einbeziehen zu können.»

Extreme Hochwasser voraussehen

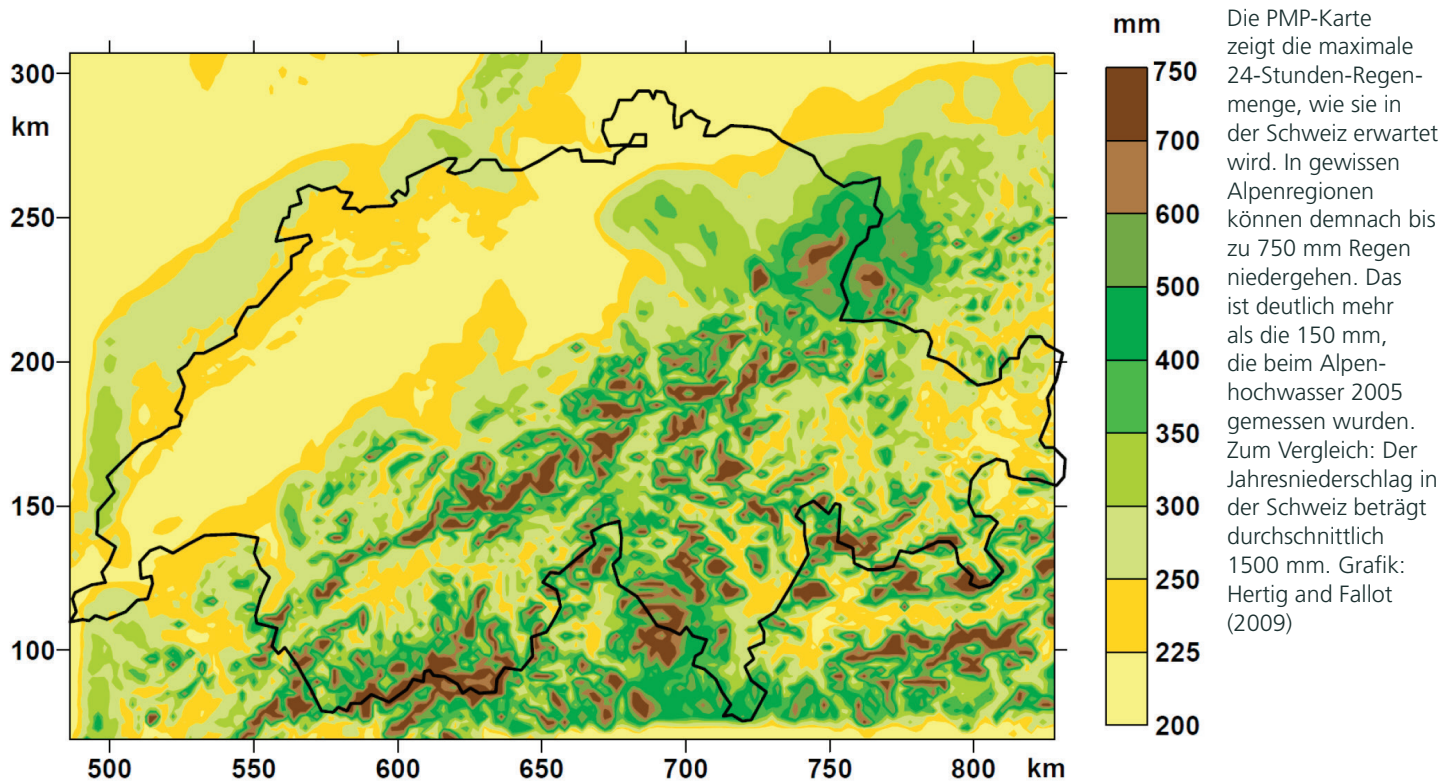
Grundsätzlich gilt: Wenn es stark regnet, sind Staumauern

WENN HOCHWASSER «EXTREME» AUSMASSE ANNEHMEN

Regen ist nicht gleich Regen: Wenn es im Amazonas-Gebiet regnet, kommt im selben Zeitraum gut und gern die doppelte Menge Wasser vom Himmel, als wenn sich die Wolken über der Schweiz entleeren. Der Hauptgrund: Die Luft in Südamerika ist wärmer und die Wolken können entsprechend mehr Feuchtigkeit speichern. Doch auch in der Schweiz kommen bei Starkregen erkleckliche Mengen zusammen. Beim verheerenden Alpenhochwasser im August 2005 waren es rund 150 mm Niederschlag in 24 Stunden.

Das Unwetter von 2005 war gewaltig. Aber es könnte noch schlimmer kommen. Die Aufsichtsbehörden fordern von den Betreibern von Talsperren, sich für ein aussergewöhnliches Hochwasser zu wappnen. «Aussergewöhnlich» bedeutet in diesem Zusammenhang ein Hochwasser von der Stärke, wie es alle Tausend Jahre nur einmal zu erwarten ist. Staudämme müssen so robust gebaut sein, dass sie ein solches tausendjähriges Hochwasser ohne Schäden bewältigen. Selbst einem extremen Hochwasser, welches noch deutlich seltener zu erwarten ist, muss eine Talsperre – ggf. mit Schäden – standhalten.

Wie viel Wasser bei einem tausendjährigen oder gar einem extremen Hochwasser in einen Stausee strömt, lässt sich nicht aus Erfahrung sagen, weil entsprechende Hochwasser noch nicht gemessen wurden. Deshalb versuchen Wissenschaftler, solche Hochwasser in Ausmass und Dauer möglichst genau zu berechnen. Diese Berechnungen dienen als Grundlage beim Bau bzw. der regelmässigen Sicherheitsüberprüfung von Staumauern und Staudämmen. BV



und Dämme erst einmal ein Segen, denn sie fangen die Wassermassen, die über dem Einzugsgebiet des Stausees niedergehen, auf und verhindern so ein abruptes Anschwellen der Flüsse. Allerdings ist das Fassungsvermögen jedes Stausees begrenzt. Damit das Wasser aus dem vollen See kontrolliert abfliessen kann, verfügt jeder Stausee über ein Bauwerk zur Hochwasserentlastung. Dazu dienen Überläufe oder Öffnungen in der Talsperren – Fachleute sprechen von «Überfallen» und «Durchlässen».

Damit die Hochwasserentlastungen robust genug gebaut werden können, müssen die Betreiber der Stauanlagen wissen, mit welchen Hochwassern sie im extremsten Fall zu rechnen haben (vgl. Textbox oben S. 2). Seit ab dem frühen 20. Jahrhundert und dann nach 1945 im grossen Stil Talsperren in den Schweizer Alpen errichtet wurden, um die Wasserkraft für die Stromproduktion zu nutzen, wurde versucht, schlimmstmögliche Hochwasserereignisse vorzusehen. Grundlage dieser Abschätzungen waren lange Zeit hauptsächlich beobachtete Hochwasser. Aus den historischen Aufzeichnungen und gemessenen Hochwassern versuchten Wissenschaftler mit statistischen Methoden abzuleiten, mit welchen Hochwassern für die Zukunft im schlimmsten Fall mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zu rechnen ist.

Neues Vorhersagemodell

Dieser Ansatz führt indessen für sich alleine häufig nicht zu verlässlichen Ergebnissen bei extremen Hochwassern. Daher gehen Forscher seit ca. 20 Jahren auch einen neuen Weg, bei dem sie bestimmen, welche Regenmenge über einem Landstrich maximal niedergehen kann. Diesen Berechnungen legen sie eine maximale Wolkendichte mit maximaler Sättigung an Feuchtigkeit zugrunde. Die Ergebnisse werden



Im Rahmen der EPFL-Studie wurde das neu entwickelte Verfahren zur Berechnung von extremen Hochwassern auf drei Stauanlagen angewendet. Grafik: Dissertation Zeimet

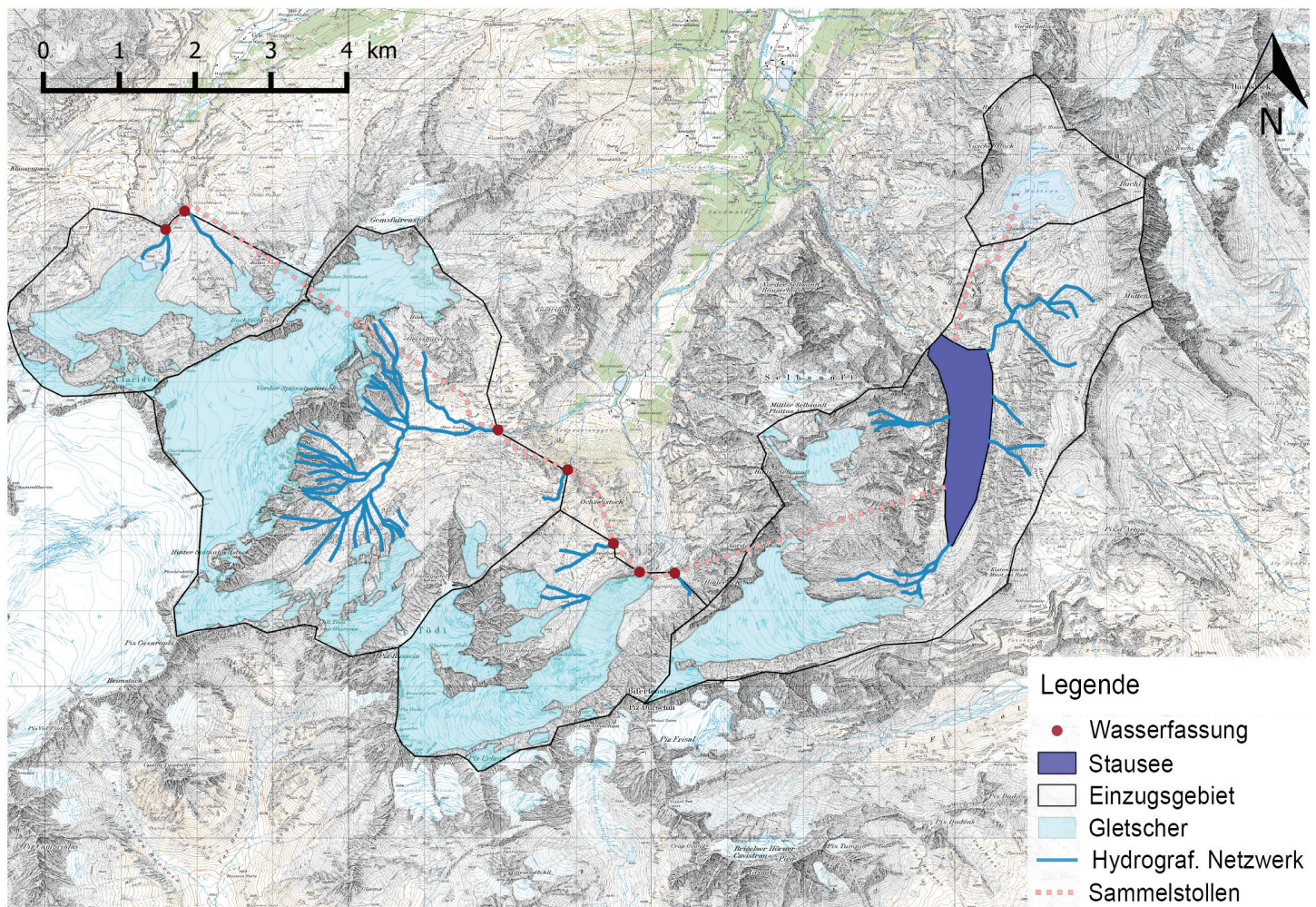
in sogenannten PMP-Karten zusammengefasst, die für jeden geografischen Ort den maximal möglichen Niederschlag (<probable maximum precipitation>/PMP) ausweisen. Doch auch dieses Vorgehen hat seine Schwächen: Die ausgewiesenen Regenmengen sind tendenziell zu hoch, weil ein Regen über einem bestimmten Gebiet nicht flächendeckend über einen längeren Zeitraum mit maximaler Stärke niedergeht.

Fränk Zeimetz hat in seiner Doktorarbeit nun eine Methode entwickelt, die von Maximalwerten der PMP-Karten ausgeht, dann aber auch die gemessenen Hochwasserereignisse mit einbezieht und auf dem Weg zu einer aussagekräftigeren Vorhersage extremer Hochwasserereignisse gelangt. Diese Methode bezieht verschiedene Faktoren mit ein, welche die Grösse eines Hochwassers in der Realität massgeblich

mitbestimmen. Dazu gehören neben der Temperaturverteilung in der Atmosphäre auch Umstände, die die Auswirkungen eines Hochwassers tendenziell dämpfen oder vergrössern: Wenn der Boden beispielsweise aus Erdreich und nicht aus Fels besteht und daher Wasser speichern kann. Oder wenn der Regen auf eine Schneedecke fällt und diese schmilzt, was den Abfluss erhöht.

Klimawandel ausgeklammert

In der breiten Öffentlichkeit ist heute die Annahme verbreitet, mit dem Klimawandel werde Zahl und Heftigkeit von Hochwassern in Zukunft zunehmen. Vor diesem Hintergrund mag es erstaunen, dass die EPFL-Studie den Klimawandel bewusst nicht mit einbezogen hat. Prof. Schleiss sieht darin keinen Mangel: «Der Klimawandel wird die Häufigkeit von

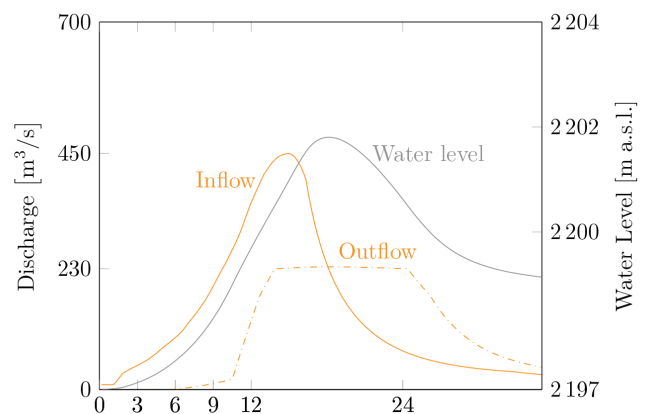


Die Karte zeigt den Stausee Limmernboden (dunkelblau) und das Einzugsgebiet (schwarz ausgezogen) mit Gletschern (hellblau). Damit für den Stausee genügend Wasser zur Verfügung steht, wird das Wasser von benachbarten Tälern in zusätzlichen Wasserfassungen gesammelt (rote Punkte) und über einen Stollen in den Stausee gebracht. Bei der Berechnung extremer Hochwasser wird die Kapazität dieser Stollen mit einbezogen, weil man mit dem worst case rechnet, dass die Wasserfassungen nicht geschlossen werden könnten. Karte: Dissertation Zeimetz/ Swisstopo

Hochwassern zwar beeinflussen, doch die Regenmenge wird dadurch kaum erhöht, da wir in unseren Modellen ja bereits von den maximal möglichen Mengen ausgehen, die Wolken überhaupt aufnehmen können.» Ausserdem werden die grössten Talsperren alle fünf Jahre einer umfassenden Sicherheitsüberprüfung unterzogen und wenn nötig die Anforderungen an die Hochwassersicherheit angepasst; bei den übrigen Talsperren werden die Annahmen zur Gewährleistung der Hochwassersicherheit alle zehn Jahre überprüft. Anton Schleiss betont gleichzeitig, dass die Auswirkungen des Klimawandels längerfristig die Berechnung extremer Hochwasser beeinflussen können. So könnte eine Erhöhung der Nullgradgrenze die Regenmenge im Hochgebirge erhöhen, weil dann weniger Niederschlag in Form von Schnee fällt. Zudem könnten sich die Bodeneigenschaften und deren Nutzung ändern. Um solche Effekte heute schon einzubeziehen sei es allerdings noch zu früh, sagt der EPFL-Forscher, der das massgebliche internationale Expertengremium – die Internationale Kommission für grosse Talsperren – präsidiert.

Die Ergebnisse des Lausanner Forschungsprojekts werden in Zukunft dabei helfen, Staumauern und -dämme für extreme Hochwasserereignisse auszulegen. Von 1900 bis 1970 gab es in Europa vergleichsweise wenig grosse Hochwasser, daher wurde beim Bau der Talsperren die Hochwassergefahr eher zu tief angesetzt, da man sich auf beobachtete Hochwasserereignisse bezog. Dieses Defizit sei unterdessen wo nötig aber durch Sanierungen kompensiert worden, sagt Anton Schleiss. Gleichwohl sei denkbar, dass auf Grundlage des neuen Forschungsprojekts einzelne Hochwasserentlastungen vergrössert werden müssten. Alternativ könne bei Stauseen auch ein grösseres «Freibord» – das ist der Abstand zwischen maximal zulässigem Füllstand und Mauerkrone – festgesetzt werden.

- Den **Schlussbericht**, die PMP-Karten wie auch die im Rahmen des Projektes entwickelten Berechnungsprogramme finden Sie unter <https://cruex.crealp.ch>.
- **Auskünfte** zu dem Projekt erteilt Dr. Markus Schwager (markus.schwager@bfe.admin.ch), Leiter des BFE-Forschungsprogramms Talsperren.
- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Talsperren finden Sie unter www.bfe.admin.ch/CT/hydro.



Auswirkungen eines extremen Starkregens auf den Stausee Mattmark: Die Kurve «Inflow» veranschaulicht die Wassermenge, die in den Stausee strömt. Ca. 14 Stunden nach Beginn des Starkregens erreicht der Zufluss den Maximalwert von rund 450 m³/s. Die Kurve «Outflow» zeigt an, wie viel Wasser durch den Überfall (Überlauf) aus dem Stausee entweicht. Da zeitweilig mehr Wasser in den Stausee strömt als durch den Überfall (maximale Abflussmenge: 230 m³/s) abfliessen kann, steigt der Wasserspiegel des Stausees kontinuierlich an, insgesamt um ca. 5 m von 2197 auf 2202 m. Der höchste Wasserspiegel ist 16 Stunden nach Beginn des Starkregens erreicht, der Wasserspiegel des Stausees liegt jetzt nur noch zwei Meter unter der Krone des Staudammes (2204 m). Unterdessen ist der Starkregen aber wieder abgeklungen, daher entspannt sich die Lage, der Wasserspiegel des Stausees sinkt. Der Überfall ist also gross genug dimensioniert, um einen extremen Starkregen auszuhalten. Zum Vergleich: Hätte der Staudamm keinen Überfall, würde der Wasserspiegel während des extremen Starkregens um 10 m ansteigen und damit den Damm 3 m überströmen, was den Bruch zur Folge haben könnte. Grafik: Dissertation Zeimetz