

# Sicherheit bei Stauanlagen

Ein Gespräch mit Georges Darbre, Leiter Sektion Talsperren des BFE

Jürg Wellstein

## Zusammenfassung

Um die Sicherheit von Stauanlagen beurteilen zu können, müssen zunächst die Gefahren genau analysiert werden. Dies ist eine zentrale Aufgabe der Sektion Talsperren beim Bundesamt für Energie. Mit entsprechenden Forschungsaktivitäten werden die Probleme untersucht und Lösungen entwickelt.

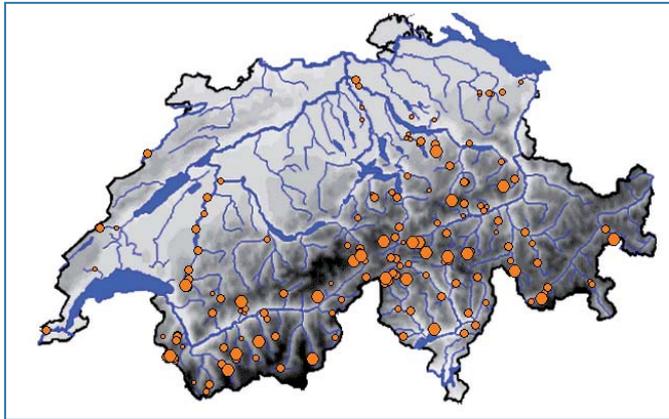


Bild 1. Stauanlagen der Schweiz, deren Sicherheit von der Sektion Talsperren beim BFE überwacht wird. (Quelle: www.swissdams.ch)

Erdbeben in Norditalien, Felssturz im Tessin. Aktuelle Gefahren, die auch Stauanlagen treffen können. Sind die Talsperren in der Schweiz sicher? Welche Auswirkungen haben solche Naturerscheinungen auf die Wasserkraftwerke? Mit diesen Fragen befasst sich die Sektion Talsperren beim Bundesamt für Energie (BFE). Sie ist für die Sicherheit der Stauanlagen und deren Absperrwerke zuständig, also Einrichtungen zum Aufstauen oder zur Speicherung von Wasser sowie Einrichtungen für den Rückhalt von Gerölle, Eis oder Schnee. Die grösseren Stauanlagen dienen in der Schweiz hauptsächlich zur Stromerzeugung. Daneben gibt es aber auch Anlagen, die der Wasserversorgung, dem Schutz gegen Naturgefahren oder/und der künstlichen Beschneidung dienen. Alle diese Funktionen sind beeinträchtigt, falls eine Stauanlage beschädigt wird. Und bei einem allfälligen Bruch ist die Bevölkerung unter Umständen durch die entstehende Flutwelle gefährdet.

## Sektion für die Sicherheit

Das Bundesamt für Energie unterscheidet die Aspekte Produktion und Sicherheit. Für den letzteren Bereich ist die Sektion Talsperren zuständig. Es geht primär um die sicherheitstechnische Beurteilung der dem Bund zur Aufsicht unterstellte insgesamt 225 grossen Talsperren (Bild 1). Für die Sicherheit der kleinen Anlagen – rund 1000 Bauwerke – sind die Kantone zuständig, wobei die Sektion Talsperren eine

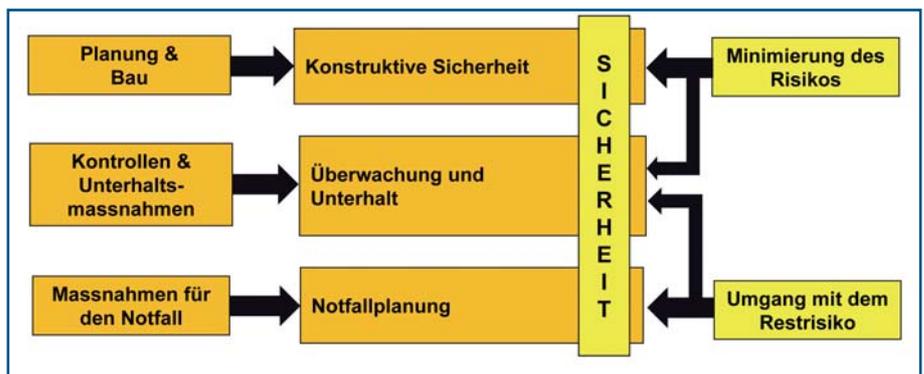


Bild 2. Das Sicherheitskonzept der Sektion Talsperren basiert auf drei Bereichen. (Quelle: G. Darbre)

Oberaufsicht ausübt. Die Sektion behandelt nur Sicherheitsfragen, hierbei sind die drei Säulen der konstruktiven Sicherheit, der Überwachung und der Notfallplanung zu nennen (Bild 2). Daraus folgend werden entsprechende Forschungsaktivitäten veranlasst.

Georges Darbre (Bild 3), Leiter der Sektion und seit über 20 Jahren beim Bund im Bereich der Talsperren tätig, verweist auf die Vielfalt der Anlagen. Es bestehen enorme Unterschiede bei Abmessungen, Speichervolumen, Bauart und Zweck der einzelnen Bauwerke. Diese Vielfalt macht es notwendig, bei der Erarbeitung der Sicherheitsbeurteilungen jeweils massgeschneidert vorzugehen. Werden bei der Sicherheitsbeurteilung Mängel erkannt, die jedoch keine akute Gefährdung darstellen, besteht die Herausforderung in der Anordnung von Massnahmen, die verhält-

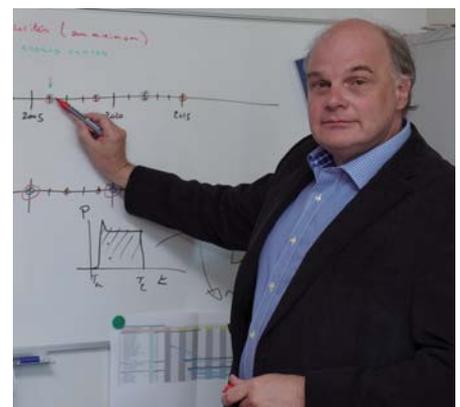


Bild 3. Georges Darbre: «Die Sicherheit von Stauanlagen umfasst unterschiedliche Aspekte: von Betonzuschlagsstoffen bis zum lokalen Klima.»

nismässig sind. Als sofortige Massnahme kann eine Betriebseinschränkung von der Sektion angeordnet werden.

## Lebensdauer der Anlagen

Der Stellenwert der Wasserkraft ist in der Schweiz hoch. Die vor einem Jahr eingeleiteten Schritte zur Abkehr von der Atomkraft hat die Wasserkraft erneut bestätigt. Unabhängig davon sind bereits seit einigen Jahren vermehrt Projekte und Erneuerungen nach einigen Jahrzehnten Betrieb im Gange, mit denen die Produktionsbedingungen für Wasserstrom verbessert werden sollen. Denn viele Anlagen stammen aus den Jahren zwischen 1950 und 1970 – als Talsperren-Boom herrschte.

*Jürg Wellstein:* Wie alt können Stauanlagen werden? Für welche Dauer wurden sie ausgelegt?

*Georges Darbre:* Die Konzessionen sind typischerweise auf 80 Jahre festgelegt, danach folgt der «Heimfall» an Kanton oder Gemeinde. Dies ist von zentraler wirtschaftlicher Bedeutung, hat jedoch kaum Einfluss auf die Lebensdauer der Anlage und deren Produktionskapazität. Die baulichen Anlagenteile sind für 100 und mehr Jahre ausgelegt, Turbinen und weitere elektromechanische Teile benötigen allerdings eine periodische Erneuerung.

*Jürg Wellstein:* Was muss bei einer allfälligen Stilllegung und einem Rückbau beachtet werden?

*Georges Darbre:* Es darf keinen Wasserrückhalt mehr geben, es braucht also mindestens einen Dammeinschnitt bzw. einen offenen Grundablass oder einen kompletten Rückbau.

In den Bereichen Forschung und Entwicklung sind vor allem die beiden Eidg. Hochschulen in Zürich und Lausanne aktiv. In Zürich weist die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) sowie der Schweiz. Erdbebendienst (SED) die von der Sektion Talsperren zurzeit geforderten Kompetenzen auf. In der Vergangenheit hat diese auch Ressortforschung bei Instituten für Baustatik und Konstruktion, für Baustoffe (Beton) sowie für Geotechnik (Felsmechanik) ausführen lassen. In Lausanne unterstützt die Sektion Forschung bei den Labors für Wasserbau (LCH), für Umwelthydraulik (LHE) und für Konstruktionsmaterialien (LMC). Früher waren auch die Labors für Felsmechanik (LMR) sowie jene für Hydrologie (HYDRAM) und für energetische Systeme (LASEN) involviert.

## Hochwasser

Im Hinblick auf den Forschungsbedarf zur Sicherheitsüberwachung von Talsperren müssen zunächst mögliche Gefah-

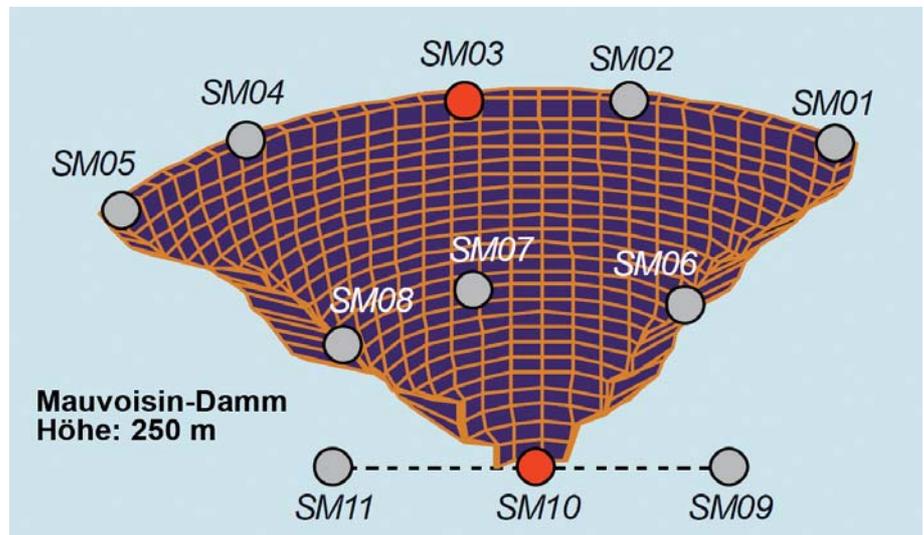


Bild 4. Erdbeben-Messung am Staudamm. (Quelle: BFE)

ren identifiziert werden. Im Vordergrund stehen die natürlichen Einwirkungen von Hochwasser und Erdbeben. Bei der erstgenannten Gefahr muss gewährleistet sein, dass ein maximal mögliches Hochwasser abgeführt werden kann, ohne sicherheitskritischen Schaden an der Anlage zu erzeugen oder die Stabilität des Bauwerks zu beeinträchtigen. Dafür braucht es eine Kombination von freiem Volumen im Staubecken und von Hochwasseröffnungen an der Sperre. Bei Schüttdämmen soll vermieden werden, dass Wasser über die Dammkrone fliesst, ausser der Damm wurde entsprechend gestaltet.

*Jürg Wellstein:* Was wären die Folgen eines übergrossen Hochwasserereignisses?

*Georges Darbre:* Es könnte zu einer Erosion der luftseitigen Dammböschung kommen, die bis zum Dambruch führen kann. Eine Stabilitätsminderung bei den seitlichen Widerlagern, wie dies beim Tessiner Stauwehr Palagnedra im Jahr 1978 drohte, ist ebenfalls eine mögliche Folge.

*Jürg Wellstein:* Bestehen Prognosemodelle, mit welchen heute eine potenzielle Hochwasser-Gefahr abgeschätzt werden kann?

*Georges Darbre:* Ja, zu witterungsbedingtem Hochwasser wurden in den vergangenen Jahren an der EPFL umfangreiche Studien durchgeführt. Niederschlagsmodelle bildeten die Grundlage, um in bestimmten Einzugsgebieten von Stauanlagen den Mengenzufluss im Stausee zu berechnen. Dieses auf theoretischen Annahmen basierte Projekt soll nun mit einem neuen Vorhaben konsolidiert, validiert und in der Praxis umgesetzt werden. Damit werden sowohl Betreiber als auch Planungsingenieure ein Werkzeug in

die Hand erhalten, das ihnen zuverlässige Methoden und Daten für die Sicherheitsberechnungen bietet.

An der ETH Zürich befasste man sich beispielsweise mit dem Problem der Sedimentablagerung in den Stauanlagen. Dies betrifft nicht nur den Stausee, sondern auch die Abflussöffnungen sowie die Verbindungstunnel. Damit wird das Speichervolumen verringert und die Energieproduktion eingeschränkt. Ziel der Forschungsarbeiten ist die Definition von Auslegungs- und Gestaltungskriterien, um sowohl Sedimentablagerungen als auch daraus folgende Abrasionsschäden zu vermeiden.

## Erdbeben

In den vergangenen Jahrzehnten arbeiteten die beiden ETHs vor allem auch am Verständnis der Erdbebeneffekte auf Betonmauern und Erddämme. Mit entsprechenden wissenschaftlichen Grundlagen konnte dazu im Wallis – ein Gebiet mit erhöhtem Erdbebenrisiko – und in Graubünden ein weltweit einmaliges Messnetz in Staumauern installiert werden. Auf diese Weise werden Erdbeben gemessen, was zur Nachprüfung der theoretischen Berechnungen und zur Kalibrierung der Modelle dient. Dieses Konzept hat internationale Aufmerksamkeit hervorgerufen.

Mit dem installierten Messnetz werden sowohl die Bewegungen im freien Feld als auch die Reaktion der Talsperren während eines Erdbebens aufgezeichnet. An strategisch wichtigen Stellen auf den Dammkronen und im Innern der Bauwerke sind dreiachsige Beschleunigungsmessgeräte positioniert. Es wurden mindestens vier Sensoren (Emosson-Talsperre) bzw. bis zu 11 Sensoren (Mauvoisin) angeord-

net (Bild 4). Bei diesem Damm ergibt die Variation durch die jährliche Füllung – Maximum im Sept./Okt. bis Minimum im Mai/Juni – eine Wasserspiegelvariation von bis zu 150 Meter. Daher verändern sich auch die hydrostatischen Drücke auf das Bauwerk sowie das entsprechende Verhalten bei einem Erdbeben. Dieser Aspekt wurde speziell untersucht, indem während sechs Monaten jede Nacht automatische Vibrationsmessungen durchgeführt wurden.

**Jürg Wellstein:** Die Erdbebengefahr bei Stauanlagen wurde kürzlich auch diskutiert, als es um die Sicherheit des unterhalb einer Stauanlage befindlichen AKW Mühleberg ging.

**Georges Darbre:** Im Rahmen der Projektierung von Stauanlagen werden die Erdbebeneinwirkungen seit jeher berücksichtigt. Der Kenntnisstand – insbesondere in Bezug auf die Erdbebengefährdung – hat sich mit der Zeit jedoch weiterentwickelt. Die Sektion Talsperren hat somit von den Anlagenbetreibern verlangt, dass sie die Erdbebensicherheit ihrer Anlagen nach dem heutigen Kenntnisstand überprüfen.

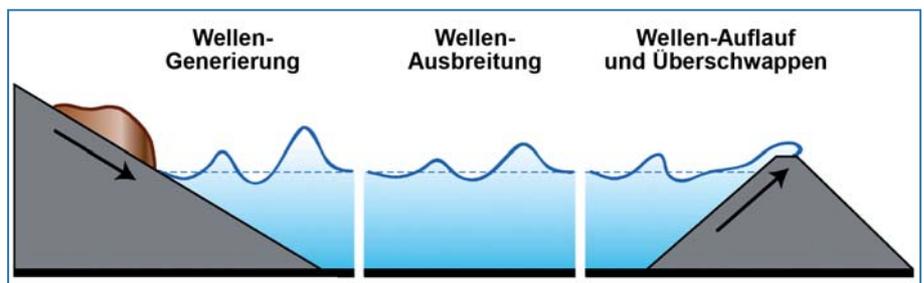
**Jürg Wellstein:** Werden bei erkennbaren Mängeln auch bauliche Massnahmen angeordnet?

**Georges Darbre:** Beispielsweise die Bogenstaumauer am Lac des Toules im Wallis wurde von 2008–2011 mit zwei seitlichen Betonwiderlagern auf der Luftseite verstärkt. Diese 70 000 m<sup>3</sup> Beton umfassende Massnahme erfolgte zur Verbesserung der zuvor erkannten Mängel bei der Erdbebensicherheit.

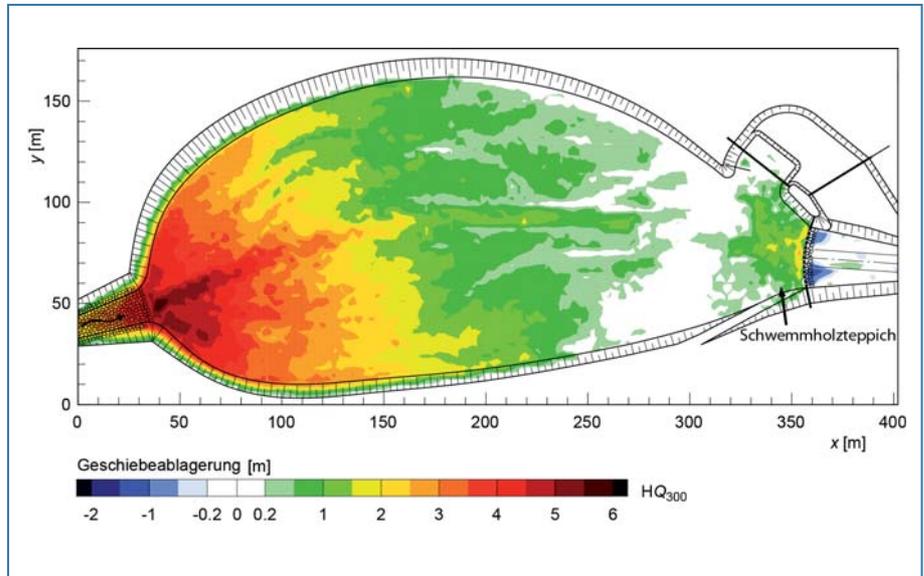
**Impulswellen im Labor**

Neben den beiden primären Naturgefahren Hochwasser und Erdbeben sind auch Felsstürze, das Abgleiten von Felsmassen, Lawinen usw. sicherheitsrelevante Ereignisse. Als tragisches Ereignis gilt der Gletscherabbruch vor dem Mattmark-Staudamm, der 1965 das Arbeiterdorf verschüttet und dadurch zu 88 Todesfällen geführt hatte. Bei den 80 grössten Stauanlagen werden deshalb von Geologieexperten alle fünf Jahre Gutachten erstellt, welche auf mögliche Gefahren aufmerksam machen müssen. Dabei werden die Widerlager der Dämme, die Ufergebiete und die Felssturzgebiete besonders genau betrachtet. Bei den weiteren Anlagen erfolgt diese Beurteilung zuerst durch die Fachingenieure, welche jährliche Sicherheitsberichte erstellen.

Mit systematischen Modellierungen und nachfolgenden Berechnungen



**Bild 5. Impulswellen-Entwicklung in drei Phasen. (Quelle: VAW)**



**Bild 6. Geschwindigkeitsdiagramm einer Impulswelle. (Quelle: VAW)**

kann aufgezeigt werden, welche Impulswellen im Stausee durch fallende Massen entstehen. Bei kritischen Situationen verlangt die Sektion Talsperren eine Vergrösserung des Abstands vom höchsten Wasserstand im Staubecken zur Dammkrone (sog. Freibord). Gleiches gilt für die Lawinengefahr. Hier liegt eine Liste von gefährdeten Anlagen vor, bei welchen im Winter der Stauseespiegel deswegen abgesenkt werden muss.

Die VAW an der ETHZ befasst sich intensiv mit der Erforschung des Phänomens von Impulswellen (Bilder 5 und 6). Diese werden durch die Massenbewegungen ausgelöst und können beim Auflaufen auf ein Ufer oder auf die Talsperre Schäden verursachen. Man muss also wissen, wie gross diese Impulswellen werden und welche Kräfte sie entfalten.

Vor wenigen Jahren wurde ein Handbuch geschaffen, das den heutigen Kenntnisstand wiedergibt und Verfahren zur Berechnung von Impulswellen enthält. Damit lassen sich die relevanten Abklärungen machen. Dieses Thema wird aber vom VAW weiter verfolgt. Es geht dabei um die Frage, wie das Auflaufen am gegenüberliegenden Ufer erfolgt, welches Ausmass und welche Geschwindigkeiten auftreten können. Mit Modellversuchen im

Labor werden die Auswirkungen mit unterschiedlichen Parametern untersucht. Im 11 Meter langen Impulswellen-Kanal des VAW können das Entstehen und Verhalten solcher Wellen aufgezeichnet werden.

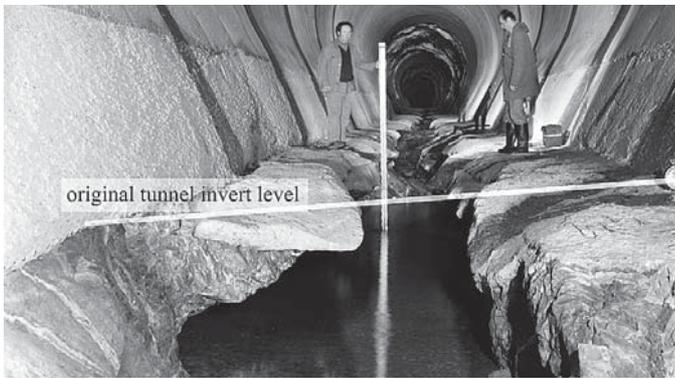
**Sekundärgefahren rund um die Stauanlagen**

**Jürg Wellstein:** Bestehen noch weitere Gefahren für Talsperren und die gesamten Stauanlagen?

**Georges Darbre:** Seit dem Bau eines Sondierstollens für den einst vorgesehenen Rawil-Tunnel, wissen wir um die Gefahren durch die Erstellung infrastruktureller Projekte dieser Art. Durch die entstehende Drainage der Felsmasse hat sich der Untergrund verformt. Das Tal verengte sich um 12 cm an der Krone der Zeuzier-Staumauer (Bild 7), was zu einer seeseitigen Verformung um 11 cm, verbunden mit Rissen und Fugenöffnungen geführt hatte. Dank gezielten Injektionen konnte Anfang der 1980er-Jahre die Anlage wieder in Betrieb genommen werden.

**Jürg Wellstein:** Wie wurde diese Erkenntnis bei den Neat-Tunnelprojekten umgesetzt?

**Georges Darbre:** Beim Bau des Gotthard-Tunnels wurden bei den betrof-



**Bild 7. Erosion eines Bypass-Kanals. (Quelle: VAW).**



**Bild 8. Durch den Bau eines Sondierstollens hat sich eine Verformung der Zeuzier-Staumauer ergeben, so dass zunächst eine Wasserabsenkung und anschliessend Injektionen erforderlich waren. (Quelle: www.swissdams.ch)**

fenen Stauanlagen von Nalps, Curnera und Santa Maria automatische Tachymeter eingerichtet, die laufend Distanzmessungen machten. Hinzu kommen hoch präzise Messungen, welche manuell durchgeführt werden. Die gemessenen Werte vergleicht man dann mit den Verformungsgrenzwerten der Mauern.

**Jürg Wellstein:** Erwarten Sie durch den derzeitigen Ausbau von Pumpspeicherkraftwerken neue Probleme durch die zyklischen Belastungen?

**Georges Darbre:** Die Talsperren sind kaum empfindlich auf solche Druckunterschiede und auch nicht auf die Belastungszyklen. Doch wir werden uns vermehrt auf die Uferbereiche und die dort auftretende stärkere Instabilitätsgefahr konzentrieren müssen.

### Beton quillt auf

Eine besondere, sicherheitsrelevante Erscheinung bei Staumauern aus Beton ist das Quellen des Materials. Auslöser dieses Problems ist eine chemische Reaktion zwischen den eingesetzten Stoffen. Es handelt sich dabei um eine Alkali-Silikareaktion. Alkalische Substanzen brechen in schlecht kristallisiertem Silika die Silizium-Sauerstoff-Verbindung auf und formen mit dem Silizium einen stark hydrophilen Gel mit beachtlichen Ausdehnungseigenschaften. Damit ist die Voraussetzung für Quelleffekte des Betons gegeben. Das Labor für Konstruktionsmaterialien (LMC) an der EPFL untersucht u.a. die mikrostrukturellen Eigenschaften dieser chemischen Reaktion.

**Jürg Wellstein:** Welche Gefahren ergeben sich aus diesen Quelleffekten bei Staumauern?

**Georges Darbre:** Die daraus folgenden Spannungen erzeugen Risse im Bauwerk, so dass die Stabilität vermindert wird. Wir haben dies beispielsweise beim 1926, bzw. 1941 erbauten Illsee-Damm im Wallis beobachten können. Dies hatte in

den 1990er-Jahren zu konkreten Rissmessungen und einer wasserseitigen Abdichtung geführt. Nun werden Vertikalschnitte gemacht, um die Spannungen reduzieren zu können.

**Jürg Wellstein:** Sind also nur alte Bauten betroffen?

**Georges Darbre:** Nein, auch bei der um 1950 erstellten Gewichtsstaumauer Salanfe wurde diese Reaktionserscheinung festgestellt. Bei neueren Mauern sorgt man durch eine entsprechende Betonmischung, dass diese Reaktion nicht auftritt.

**Jürg Wellstein:** Was erwarten Sie von den Forschungsarbeiten?

**Georges Darbre:** Wir brauchen ein grundsätzliches Verständnis des chemischen Prozesses und der möglichen Auslösemechanismen. Offensichtlich ist, dass die Reaktion bereits bei der Erstellung eines Damms beginnen kann. Ebenfalls erkennbar ist, dass Bereiche mit grossen betrieblichen Spannungen weniger quellen. Warum, wissen wir aber noch nicht.

**Jürg Wellstein:** Wie können Sie die Forschung unterstützen?

**Georges Darbre:** Zusammen mit Swiss Electric Research haben wir am LMC in Lausanne einen Laborausbau ermöglichen können. Es geht hier darum, den Einfluss des Spannungszustandes auf die Reaktion und auf das Quellen gezielt zu untersuchen. Ultimativ wollen wir wissen, wie lange es dauert, bis Risse auftauchen und Schäden möglich werden, damit wir den optimalen Zeitpunkt für Massnahmen (Schneidaktionen) bestimmen können.

Heute wird das Augenmerk viel stärker auf mögliche Quelleffekte gerichtet, verdächtige Proben untersucht man im Labor. Und Georges Darbre hofft, bei den zahlreichen Bauwerken aus den 1950er- und 60er-Jahren die Problemfälle bereits identifiziert

zu haben. Sowohl die wissenschaftlichen Erkenntnisse und Kompetenz als auch das technologische Know-how beim Bau von Wasserkraftwerken werden auch international geschätzt und nachgefragt.

Kontakt

Georges Darbre  
Bundesamt für Energie (BFE):  
georges.darbre@bfe.admin.ch

Anschrift des Verfassers  
Jürg Wellstein  
CH-4058 Basel  
wellstein.basel@bluewin.ch

### Links

BFE-Sektion Talsperren:  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

Schweiz. Talsperrenkomitee (STK):  
[www.swissdams.ch](http://www.swissdams.ch)

ETHZ-Versuchsanstalt für Wasserbau,  
Hydrologie und Glaziologie (VAW):  
[www.vaw.ethz.ch](http://www.vaw.ethz.ch)

Schweiz. Erdbebendienst (SED):  
[www.seismo.ethz.ch](http://www.seismo.ethz.ch)

EPFL-Labor für Wasserbau (LCH):  
<http://lch.epfl.ch>

EPFL-Labor für Umwelthydraulik (LHE):  
<http://lhe.epfl.ch>

EPFL-Labor für Konstruktionsmaterialien (LMC): <http://lmc.epfl.ch>