

# Wenn Staumauern altern

Beton ist sehr langlebig und deshalb wohl auch der wichtigste Baustoff weltweit. Aber auch Beton altert. Dann wird er mitunter rissig als Folge der sogenannten Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR). Betroffen von dieser landläufig auch Betonkrebs genannten Schädigung sind gemäss Schätzungen möglicherweise zehn bis 20 Prozent der Staumauern in den Schweizer Alpen. Ein Forschungsprojekt an der ETH Lausanne erarbeitet die Grundlage, damit Ingenieure auf die Rissbildung angemessen reagieren können.



*Dr. Cyrille Dunant in seinem Labor an der Eidgenössisch Technischen Hochschule in Lausanne. Dunant zeigt auf den Temperaturfühler, der sicherstellt, dass im Raum konstant eine Temperatur von 38 °C herrscht. Foto: B. Vogel*

Dr. Benedikt Vogel, im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE)

In den Schweizer Alpen gibt es über 200 Stauseen. Einer davon ist der Salanfe-See oberhalb von Martigny (VS). Der 1952 erbaute Staudamm ist 52 Meter hoch und hat eine über 600 Meter lange Krone. 230 000 Kubikmeter Beton wurden in dieser Staumauer mittlerer Grösse verbaut. Die Generatoren im Turbinenhaus liefern seit Jahrzehnten zuverlässig Strom. Für die Wanderer, die hier oben

gern die Walliser Alpen geniessen, ist es ein ganz normaler Stausee. Doch der Schein trügt. Vor einiger Zeit fiel auf, dass sich die Betonmauer über lange Zeiträume geringfügig, aber doch messbar ausdehnt. Später wurde entdeckt, dass diese Ausdehnung mit kleinen Rissen einhergeht. Ein Prozess, der sich über die Jahre sehr langsam, aber stetig fortsetzt und zu einer Ausdehnung um mehrere Zentimeter führen kann. Ein Prozess, der sich nach bisherigem Wissensstand nicht stoppen lässt. Der Salanfer Staudamm leidet an einer für

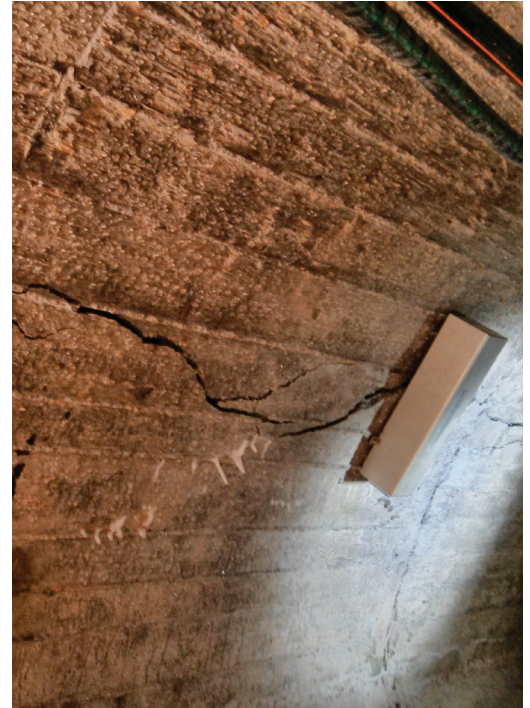
## 2 Wenn Staumauern altern

Beton typischen Alterserscheinung. Mitte der 1990er Jahren wurde das Phänomen erstmals an einer Schweizer Staumauer beobachtet. Unterdessen sind mehrere Staumauern in den Alpen betroffen. Ursache der Schädigung ist ein sehr langsam ablaufender physikalisch-chemischer Prozess, die sogenannte Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR). Die Reaktion führt im Innern des Betons zu feinen Rissen, die sich mit der Zeit bis an die Oberfläche fortpflanzen können und dort mitunter zu einem von Auge sichtbaren Rissnetz führen.

### Beton quillt langsam auf

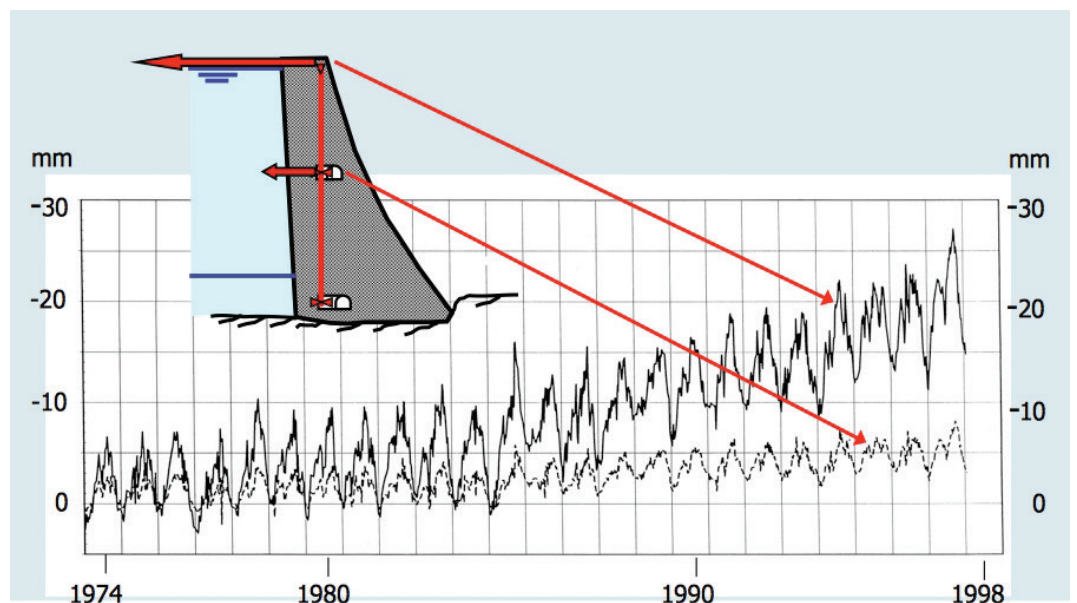
Risse in einer Staumauer – das klingt nach akuter Bedrohung. Karen Scrivener ist Professorin an der ETH (EPFL) Lausanne und Expertin für AAR. Sie sieht keinen Grund für Besorgnis: „In vielen Fällen sind die Folgen der AAR so gering, dass man nicht eigentlich von einer Beschädigung des Betons sprechen kann. Auch unterstehen die Schweizer Stauanlagen einem strikten Monitoring, mit dem allfällige Gefährdungen frühzeitig erkannt würden“, sagt Scrivener.

Auch wenn zur Zeit keine Gefahr droht, haben die Risse in den Betonmauern zu intensiven Forschungsaktivitäten geführt. Seit rund



Risse im Salanfer Staudamm im Wallis aufgrund der Alkali-Aggregat-Reaktion. Rechts im Bild ein Gerät für das Monitoring der Rissbildung. Foto: Cyrille Dunant

zehn Jahren erforscht die britische Materialwissenschaftlerin Karen Scrivener das Phänomen am Labor für Baumaterialien an der EPFL. Drei an ihrem Lehrstuhl erstellte Dok-



Über die Jahre hinweg nimmt die Ausdehnung des Betons infolge der AAR zu, und zwar an der Krone stärker als auf mittlerer Höhe des Staudamms. Die Ausdehnung ist einer jahreszeitlichen Schwankung unterworfen. Grafik: BFE

torarbeiten hatten die Alkali-Aggregat-Reaktion bereits zum Gegenstand. Zur Zeit läuft ein vom Bundesamt für Energie und Swiss-electric research finanziertes, mehrjähriges Experiment, das das Verhalten des Betons bei AAR vertieft untersucht. Ergänzend zu dem Experiment entwickeln die Wissenschaftler der EPFL mathematische Modelle, um die im Beton ablaufenden Vorgänge möglichst realitätsnah nachvollziehen zu können.



*Der Salanfer Staudamm oberhalb von Martigny (VS) wurde vor zwei Jahren saniert, nachdem AAR-bedingte Risse aufgetreten waren. Foto: Cyrille Dunant*

#### **Betonproben unter Druck gesetzt**

Dr. Cyrille Dunant steht in einem unterirdischen Laborraum der EPFL. Hier hat der wissenschaftliche Mitarbeiter von Karen Scrivener auf wenigen Quadratmetern das neuste Experiment aufgebaut. Der 35-jährige Materialwissenschaftler will untersuchen, wie schnell sich Beton unter dem Einfluss der AAR ausdehnt. Im Gegensatz zu früheren Experimenten berücksichtigt der neue Versuchsaufbau, dass sich eine von AAR betrof-

fene Staumauer nicht frei ausdehnen kann. Der Ausdehnung wirken vielmehr Drücke von verschiedenen Seiten entgegen: vom Stausee, vom angrenzenden Felsmassiv, vom Eigengewicht des Betons.

Im Labor hat Cyrille Dunant zusammen mit Wissenschaftlerkollegen sechs Edelstahlzylinder aufgebaut, jeder 150 cm hoch und 30 cm im Durchmesser. Die Zylinder enthalten von Wasser umgebene Betonproben, in denen eine AAR abläuft. Jede Betonprobe wird in der Versuchsanordnung vertikal und horizontal unterschiedlich hohen Drücken ausgesetzt, die zwischen 0 und 15 Megapascal (entspricht 150 bar) liegen. Zehn Monate läuft das Experiment schon, und mindestens nochmals so lange soll es andauern. Im 30 Minuten-Takt messen die Sensoren, wie stark sich die Betonproben in den Edelstahlzylindern aufgrund der darin ablaufenden AAR vergrößert haben. Die Messwerte werden über grüne Glasfaserkabel an den Computer im Nebenraum übermittelt. „Wir stecken noch mitten im Experiment und für definitive Aussagen ist es noch zu früh“, sagt Cyrille Dunant, „aber was wir bisher gemessen haben, hat uns extrem überrascht.“ In zehn Monaten sind die Betonproben um bis zu 0,7 Prozent gewachsen. Anders als Dunant erwartet hatte, scheint der Druck die Expansion des Betons nicht zu verhindern.

#### **Dem Beton Raum schaffen – oder doch nicht?**

Bestätigt sich dieser Befund im weiteren Verlauf des Experiments, hiesse das: Die AAR-bedingte Ausdehnung von Beton erfolgt selbst unter Druck. Also doch eine Bedrohung? Cyrille Dunant verneint: „Die Gefahr würde in diesem Fall nicht grösser, aber anders, als wir bisher gedacht haben.“ Die Erkenntnisse aus dem Labor der EPFL liefern den Ingenieuren nämlich wichtige Hinweise, wie sie mit den betroffenen Staumauern am besten umgehen. Bisher ist es üblich, die Staumauern zu sanieren, indem sie mit Schlitzen versehen wurden, um dem Beton mehr Raum für die Ausdehnung zu geben. Auf die Weise wurde

vor zwei Jahren auch der Salanfer Staudamm erneuert: Ingenieure brachten mit einem Diamentdraht 22 jeweils 11 mm dicke Schnitte an. Diese Schnitte, so die Annahme der Ingenieure, würde die Sicherheit der Dämme erhöhen, weil der Beton weniger Schaden nimmt, wenn er sich ausdehnen kann.

Dunant will diese Annahme überprüfen. Er hat die Hypothese, der Beton dehne sich nicht – wie bisher angenommen – proportional zur Menge des im Zuge der AAR gebildeten Silika-Gels (vgl. Textbox unten) aus, sondern proportional zur Anzahl der Risse. „Wenn das Experiment meine Hypothese bestätigt, wäre das für Staudamm-Ingenieure eine interessante Erkenntnis, die dazu führen könnte, dass sie künftig in bestimmten Fällen auf das Einschneiden der Staudämme verzichten“, sagt Dunant. Der EPFL-Forscher betont zugleich, man werde auf Schnitte nie ganz verzichten können. Diese sind zum Beispiel erforderlich, um Deformationen des Turbinenhauses zu vermeiden, die die Stromerzeugung beeinträchtigen würden. Auch im Fall des Salanfer Staudamms, betont Dunant, sei die Sanierung durch Schnitte aufgrund der speziellen Geometrie sinnvoll gewesen. Das gelte auch für andere Schweizer Staudämme.

### **Forschung im Zeitraffer**

Noch ist Cyrille Dunants Experiment am laufen. Doch seine Überlegungen zeigen, welche Bedeutung dem Langzeitexperiment im Untergeschoss der EPFL erwachsen könnte. Erst einmal ist bei dem EPFL-Forscher aber Geduld gefragt. Immerhin ahmt er mit seinem Experiment einen Vorgang nach, der in der Natur ein halbes Jahrhundert in Anspruch nimmt. Um nicht ganz so lange auf die Resultate warten zu müssen, hilft der Forscher im Labor etwas nach. Dank einer erhöhten Temperatur läuft die AAR-bedingte Ausdehnung des Betons im Labor quasi im Zeitraffer ab. Deshalb herrschten im Labor 38 °C. So erfolgt die Ausdehnung des Betons rund 20 mal schneller als in Wirklichkeit. Und die Forscher kommen 20 mal schneller zu ihren Resultaten.

- » Auskünfte zu dem Projekt erteilt Dr. Markus Schwager (Markus.Schwager[at]bfe.admin.ch), Leiter des BFE-Forschungsprogramms Talsperren.
- » Weitere Fachbeiträge über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Talsperren und Wasserkraft finden Sie unter folgendem Link: [www.bfe.admin.ch/CT/hydro](http://www.bfe.admin.ch/CT/hydro)

### Die Alkali-Aggregat-Reaktion

Zur Herstellung von Beton wird eine Kies-Sand-Mischung (genannt auch 'Zuschlagstoffe' oder 'Aggregat') mit dem Bindemittel Zement versetzt und dann durch Zugabe von Wasser eine chemische Reaktion ausgelöst, die zur Erhärtung des Betons führt. Der ausgehärtete Beton enthält winzige Poren, in denen sich eine alkalische Lösung ansammelt. Diese Lösung reagiert mit dem amorphen (also nicht-kristallinen) Siliziumdioxid (auch: Silika), das im Aggregat in mehr oder weniger grosser Menge enthalten ist. Bei der Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) wird das Silika im alkalischen Porenwasser zunächst gelöst und dann als Silika-Gel ausgeschieden. Dieses Silika-Gel nimmt Feuchtigkeit aus der Umgebung auf und quillt dabei auf. Diese Volumenausweitung führt in einem langsamen, über Jahrzehnte andauernden Prozess zu Rissen. Im fortgeschrittenen Stadium verlaufen die Risse durch den Zementstein und es kann ein an der Oberfläche sichtbares Rissnetz entstehen.

Längst nicht jeder Beton ist von AAR betroffen. Die Reaktion kommt nur in Gang, wenn erstens die Zuschlagstoffe (Aggregat) über die nötige Reaktivität verfügen, wenn zweitens der Alkaligehalt im Betonstein genügend gross ist und drittens wenn genügend Feuchtigkeit vorhanden ist. Diese drei Bedingungen sind bei Staumauern oft erfüllt, auch deswegen, weil die im Alpenraum gewonnenen Zuschlagstoffe oft über eine besonders hohe Reaktivität verfügen. Häuser sind von AAR dagegen kaum betroffen, da sie weniger stark Feuchtigkeit ausgesetzt sind. Man hat versucht, AAR bei Staumauern zu verhindern, indem man die Wand wasserseitig beschichtet hat. Der entsprechende Versuch bei der Stauanlage Illsee (VS) blieb allerdings erfolglos; der Quellprozess liess sich nicht stoppen. AAR kann bis anhin nicht verhindert werden. BV