



dings keine weiteren Massnahmen getroffen werden. Das eingesetzte Abdichtungssystem kann kurzfristige plötzliche Bewegungen im cm-Bereich unbeschadet aufnehmen. Der Artikel befasst sich unter anderem vor allem mit den Tests die zur Bestimmung des Rissöffnungsverhaltens der Abdichtung bei schlagartiger Beanspruchung durchgeführt wurden.



## 2. Beschrieb der Anlage

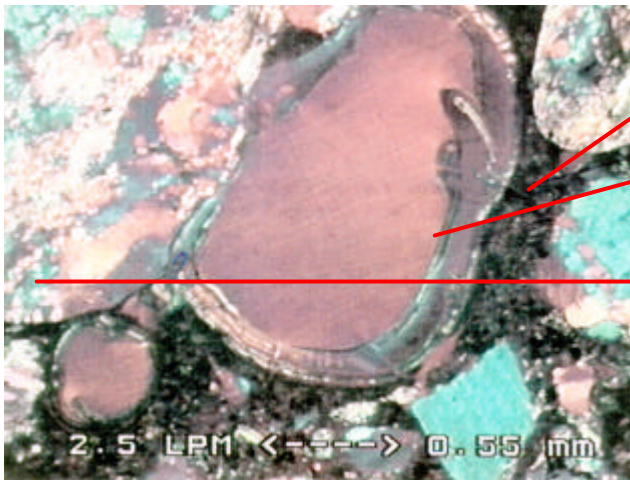
Die Ostmauer ist eine reine Betonschergewichtsmauer. Mit einer Kronenlänge von 61 m, einer maximalen Höhe von 13 m und einem Volumen von 2700 m<sup>3</sup> gehört sie allerdings zu den kleineren Staumauern im Alpenraum. Die Mauer ist an und für sich ein Provisorium, welches Teil einer geplanten Bogenstaumauer hätte werden sollen. Diese Mauer wurde allerdings nie realisiert.

Die Mauer hat einen Grundablass für Spülungen und Entleerungen. Bis zum Umbau hatte sie allerdings keine Hochwasserentlastung. Die Mauerkrone wurde auf der gesamten Länge überspült.

Rein schon optisch konnte festgestellt werden, dass die Betonstruktur zumindest im oberflächennahen Bereich gestört sein musste. Viele, zum Teil netzartig angeordnete Risse bildeten das luftseitige Erscheinungsbild der Mauer. Die dünnen Risse waren meist mit einer gräulichen Masse verfüllt. Luftseitig waren starke Versinterungen vorhanden und an vielen Stellen konnten Durchsickerungen (handfeuchte bis nasse Stellen) ausgemacht werden.

Auf der Wasserseite sind zusätzlich zu den feinen Rissen auch horizontale Risse in verschiedenen Ebenen ausgebildet. Die Rissöffnungen sind hier im cm-Bereich.

Die durchgeführten Untersuchungen an entnommenen Bohrkernen und Sinterungen zeigten eindeutig, dass es sich bei den gräulichen Verfüllungen und Aussinterungen um Reaktionsprodukte der Alkaliaggregatreaktion (AAR) handelt. Bei dieser Reaktion entsteht eine enorme Volumenvergrößerung im Beton, was schliesslich zu den Rissen führte. Die Laborwerte zeigten weiter, dass die Reaktion im Mauerkörper noch nicht abgeklungen haben, sondern dass sich der Mauerbeton weiterhin reaktiv verhält.



Bindemittelmatrix

Gelablagerung in einer Pore

Zuschlag

Dünnschliff einer Betonprobe

### 3. Einwirkungen auf die Staumauer

Die verschiedenen Einflüsse auf die Staumauer sind klimatischer, betrieblicher und personeller Art. Hinzu kommt der chemische Einfluss infolge der AAR:

- Jährliche und tägliche Temperaturänderungen
- UV-Belastung durch Sonnenbestrahlung
- Regen und Schnee (Schnee bleibt lange auf Mauerkrone)
- starker Wind (Abrasion)
- Stauspiegel schwankt täglich +/-3 m (Tagesausgleichsbecken)
- Auftrieb infolge Stau
- Eis (bis 1,5 m dick) gegen wasserseitige Oberfläche
- Wanderer, Vieh inkl. Kuhfladen auf Mauerkrone
- Erdbeben (Bemessungserdbeben)
- Alkaliaggregatreaktion im Beton (Quellen, Zerstören der Betonstruktur)

## 4. Sicherheitsüberlegungen



Die AAR führt zu einer starken Volumenzunahme des Betons. Die Kräfte, Zwängungen die infolge dem Quelldruck und der seitlichen Einspannung auf den Querschnitt wirkten, führten zu einem horizontalen Riss, der durch den gesamten Mauerkörper verlief. Das Bild zeigt den Riss auf der Wasserseite. Die Rissöffnung beträgt einige Millimeter.

Die statische Überprüfung der Mauer zeigte, dass die geltenden Sicherheitsanforderungen nicht mehr bei allen Lastfällen erfüllt waren. Der Auftrieb, der innerhalb des Risses voll anzusetzen ist, führt zu einer starken Abnahme vor allem der Gleitsicherheit.

Die statischen Berechnungen zeigten aber noch ein weiteres, ebenfalls recht unangenehmes Problem. Das nun gültige Bemessungserdbeben

(Verordnung über die Sicherheit der Stauanlagen 1999 CH) kann von dem Mauerquerschnitt nicht unbeschädigt aufgenommen werden. Die Berechnung zeigt, dass während einem Beben nicht mit einem Kollabieren der Mauer gerechnet werden muss. Allerdings entstehen weitere horizontale Risse. Diese verschlechtern die Statik der Mauer im "Nachbebensfall" in der selben Art wie der bereits vorhandene Riss. In den Rissen muss mit dem vollen Auftrieb gerechnet werden. Das führt in einzelnen Schnitten zu einer ungenügenden Gleitsicherheit.

## **5. Sanierungskonzept**

Die Aufgabe bestand nun darin, ein Sanierungskonzept zu erarbeiten, welches sowohl die AAR im Beton zum Stoppen bringen kann und andererseits auch eine statische Verbesserung der Mauer für den Lastfall "post-earthquake" mit sich bringt.

Nach verschiedenen Diskussionen und Ideen-Runden lag schliesslich eine Lösung vor, mit welcher es möglich schien, zwei Fliegen auf einen Streich zu erledigen.

Um die AAR im Bauwerk zu stoppen oder zumindest zu verlangsamen, wurde der Einsatz eines bereits mehrfach verwendeten Abdichtungssystems (p.p.dam) vorgesehen. Wir sprechen von einer Flüssigfolie, die in-situ in mehreren Lagen auf die Oberfläche appliziert wird. Mit dieser Abdichtung sollte die gesamte Wasserseite, der Felsanschluss der Mauer und die Mauerkrone in einem Guss überzogen werden. Es ist fast eine Glaubenssache, ob dank einer Abdichtung die AAR im Beton wirklich gestoppt oder reduziert werden kann oder nicht. Wir gehen davon aus, dass durch die unterbundene Frischwasserzufuhr in den Betonkörper der Transport von reaktiven Elementen im Beton selber stark eingeschränkt wird, was eher früher als später zu einem Abklingen, im besten Fall zu einem Stoppen der AAR führen wird.

Das ausgewählte System weist hervorragende mechanische Eigenschaften aus. Rissüberbrückungen im cm Bereich sind ohne weiteres möglich. Hält die Beschichtung auch bei sehr schneller Beanspruchung ohne zu reißen, müsste es auch möglich sein, den Lastfall Erdbeben ohne Schaden zu überstehen. Die Beschichtung wäre somit sowohl als Massnahme gegen das Fortschreiten der AAR (Unterhaltsproblem) als auch als Verbesserung des Lastfalls "post-earthquake" zu nutzen.

## **6. Versuchsplanung**

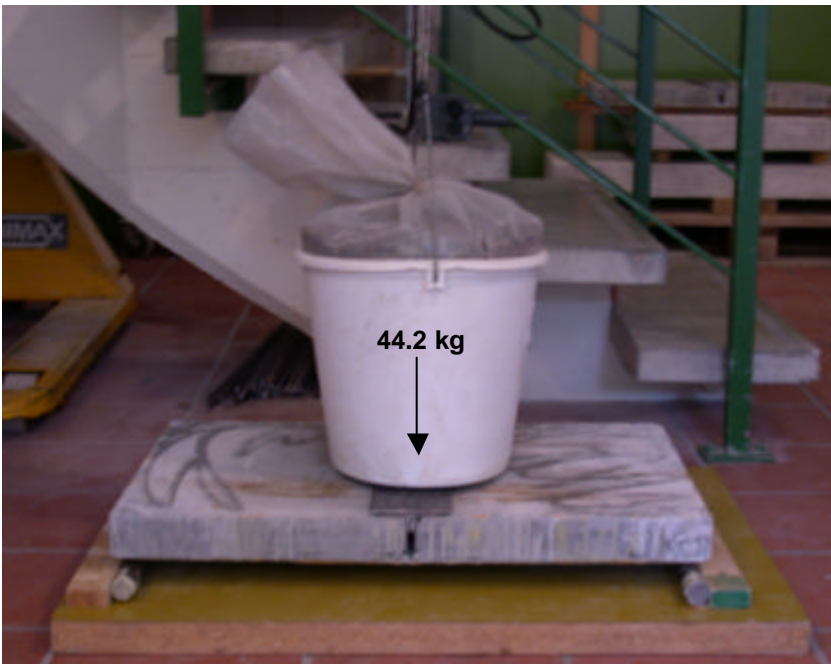
### **6.1 Ziel der Versuche**

Das Ziel der durchgeführten Versuche war, das Verhalten der Beschichtung unter schlagartiger Rissöffnung und möglichst vollständig behinderter Querdehnung zu untersuchen. Die Versuche sollten die Verhältnisse an einer beschichteten Mauer unter schlagartiger, erdbebenähnlicher Belastung simulieren.

Die Umsetzung des einfach formulierten Ziels, bei dem Versuch die Querdehnung zu behindern, erwies sich in der Praxis als schwierig. Schliesslich musste die Aufgabe in zwei Schritten gelöst werden. Im ersten Versuch, einer klassischen Biegeprüfung, wurde das Verhalten des Systems unter schlagartiger Beanspruchung untersucht. Ein zweiter Versuch war der Querdehnung gewidmet. Anhand eines Scherverversuches sollte das Verhalten der Beschichtung in der für sie eher ungewohnten Richtung parallel zum Riss untersucht werden.

## 6.2 Biegeversuch

In eine beschichtete 60 mm dicke Platte wurde auf der Rückseite eine 50 mm tiefe Nut als Sollbruchstelle eingefräst. Um ein Ausbrechen des Betons beim Biegeversuch zu verhindern, wurden zwei Winkelprofile in den Spalt eingeklebt. Zwei weitere Winkeleisen wurden schliesslich in die Restöffnung gelegt. Dies, damit während dem Versuch ein Schliessen der Nut verhindert wurde. Auf dem folgenden Bild ist die Versuchsanordnung dargestellt. Der Abstand von der Platte zur Unterlage war so ausgelegt, dass die Rissöffnung minimal **10 mm** betrug. Schlagartige Rissöffnungen von mehr als 10 mm scheinen für unseren Fall nicht relevant zu sein (wir hätten dann andere Probleme, als das Abdichten von Rissen). Deshalb beschränkten wir uns auf diese Grössenordnung.



Mit dieser Anordnung wurden nun insgesamt fünf Versuche durchgeführt. Bei den ersten Versuchen konnten an den Plattenrändern Anrisse entstehen. Die Beschichtung war in diesen Bereichen gegen null auslaufend. In den weiteren Versuchen wurde darauf geachtet, dass die Schichtstärke gegen die Ränder hin nicht auslaufen dürfen. Die weiteren Versuche zeigten dann auch kein Anreißen mehr.

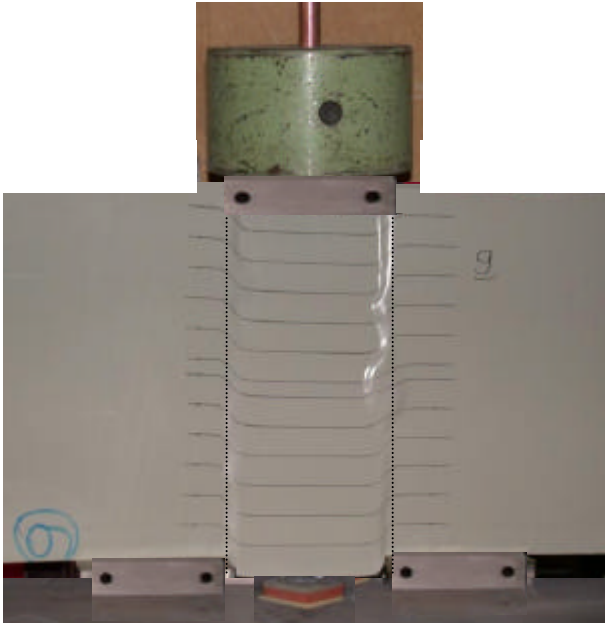
Das System p.p.dam kann also schlagartige Bewegungen in zweidimensionaler Richtung in der geforderten Grössenordnung aufnehmen.



### **6.3 Scherversuch**

Wie sieht es aber aus, wenn die Beschichtung in Querrichtung gehalten ist? Die Staumauer wird ja nicht von links nach rechts schön gerade reißen. Es werden sich verschiedene Risszonen mit noch intakten Zonen abwechseln.

Mit der Scherprüfung versuchte man möglichst nahe an diese Situation zu gelangen.



Dazu wurde wieder eine beschichtete Platte von rückwärts eingeschnitten. Diesmal erhielt die Platte zwei Schnitte im Abstand von 100 mm und einer Tiefe von 55 mm. Der restliche Beton wurde sorgfältig gebrochen, so dass zwei dünne Risse resultierten. Der Prüfkörper wurde anschliessend in einem Universalprüfgerät so eingespannt, dass Scherbeanspruchung im Bereich der beiden Nuten entsteht. Das Fallgewicht wurde schliesslich aus 4 m Höhe geführt auf den Prüfkörper gelassen.

Die im Versuch erzielte schlagartige Bewegung betrug mindestens 10 mm. Dies wurde auch durch Reissnägeln, welche in eine weiche Unterlage unter dem Mittelteil gesteckt wurden, nachgewiesen.

Auf dem nächsten Bild, einem Scherversuch mit 15 mm Bewegung, ist die Beschichtung noch völlig intakt.

## 7. Folgerung und Ausblick

Die Beschichtung kann einerseits wie bisher als Abdichtung im Sinne der Bauwerkserhaltung eingesetzt werden. Ein weiterer grosser Vorteil besteht allerdings in der, „prophylaktischen“ Rissbehandlung. Dank der Beschichtung, die ursprünglich zum Abdichten des Mauerbetons vor eindringendem Wasser gedacht war, werden zusätzlich die an die Sicherheit gestellten Anforderungen für den Lastfall Erdbeben bzw. "post-quake" erfüllt.

In Zukunft könnte das gezielte vorgängige Beschichten von Mauerbereichen als günstige Massnahme für das Erfüllen neuer und strengerer Richtlinien für den Lastfall Erdbeben interessant werden.

Rätia Energie AG  
7742 Poschiavo (Schweiz)

|                 |  |
|-----------------|--|
| Remo Baumann    | dipl. Bauingenieur ETH, Leiter Bau           |
| Renato Vassella | dipl. Bauführer ST/SAT, Leiter Bauausführung |