

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 97 (2005)
Heft: 7-8

Artikel: Sanierung der Staumauer Muslen
Autor: Zuglian, Reto / Klemenz, Werner / Baumann, Remo
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-941759>

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>

Sanierung der Staumauer Muslen

■ Reto Zuglian, Werner Klemenz, Remo Baumann

1. Einleitung

Die Staumauer Muslen der gleichnamigen Kraftwerksanlage liegt zwischen Amden und dem Walensee und wurde 1908 als Schwergewichtsmauer erstellt. In den Jahren 1980–1982 wurde sie um knapp 6 m erhöht. Die St. Gallisch-Appenzellischen Kraftwerke AG (SAK) sind die Betreiber dieser 29 m hohen und 55 m langen Schwergewichtsmauer.

Das Staubecken wird im Rhythmus von drei Jahren jeweils für 2 bis 3 Wochen zwecks Spülung der Ablagerungen geleert. Dieses Jahr stand das Becken aussergewöhnlich lange leer, da gleichzeitig zu den Spülungen auch Revisionsarbeiten im Kraftwerk anstanden.

Nach dem Wiedereinstau wurden starke luftseitige Verschiebungen der Mauerkrone gemessen, die ausserhalb der bisher üblichen Messwerte lagen (Bild 1). Zudem zeigten die Etappenfugen und Risse luftseitig eine starke Wasserführung mit einem Austrag von erdigem Material. Die mehrfach wiederholten Messungen bestätigten die luftseitige Verschiebung der Mauerkrone. Schliesslich wurde entschieden, das Becken erneut zu leeren. Während der Absenkung wurden insgesamt acht Messungen durchgeführt. Bild 2 zeigt die Bewegung der Mauerkrone während der Absenkungsphase. Ein direkter Zusammenhang der Kronenbewegung mit dem Stauspiegel im Becken ist klar ersichtlich.

Da die Mauerwand verschmutzt war, waren in der wasserseitigen Wand – im Gegensatz zur Luftseite – keine Risse sichtbar. Die Mauer wurde in der Folge mit Druckwasser gereinigt und die Zonen mit offenen Rissen eingemessen und in die Pläne übernommen.

2. Problemstellung und Analyse

Die beobachteten Risse in der Mauer mit der starken Wasserführung und das aus den bisherigen Messwerten ausscherende Verhalten der Mauerkrone führten zu folgenden Fragen:

- Was ist die Ursache der Rissbildung? Wann sind die verschiedenen Risse entstanden?
- Weshalb trat nach der Füllung des Beckens Ende Mai aus den Rissen der luftseitigen Mauerwand plötzlich verstärkt Sediment führendes Wasser aus?
- Weshalb wurde bei der Messung nach dem Wiederaufstau eine aus dem bisherigen Rahmen fallende luftseitige Radialverschiebung gemessen?

- Wie werden die Risse beurteilt? Ist eine Verstärkung der Überwachung der Mauer erforderlich?

Auf diese Fragen soll im Folgenden eingegangen werden.

2.1 Überlegungen zu den Rissen und zur Rissverteilung

Aussinterungen und die Beobachtung von feuchten Stellen in der talseitigen Maueroberfläche in früheren Jahren zeigten, dass die Wasser führenden Risse bereits seit längerer Zeit entstanden sind. Eine rezente Entstehung im Jahre 2004 durch ein geologisches Ereignis (z.B. Erdbeben) kann ausgeschlossen werden.

Bild 3 zeigt das wasserseitige Rissbild. Die beiden Risse im unteren Teil der Mauer dürften sich auf den neuen Mauerteil

beschränken und sich nicht im alten «Mauerkern» (Bruchsteinmauerung) fortsetzen, stehen doch diesen zwei Rissen keine entsprechenden Wasseraustritte auf der Luftseite gegenüber. Der kürzeste Fliessweg des eindringenden Wassers verläuft entlang der Kontaktfläche alter/neuer Beton nach oben bis zu einer durchgehend offenen Betonierfuge im neuen, oberen Mauerteil. Da die Mauer einen Dichtungsschleier aufweist, ist eine Umläufigkeit durch den Fels wenig wahrscheinlich. Auch wurden unterhalb der Mauer keine auf Umläufigkeiten im Felsuntergrund hinweisenden Wasseraustritte beobachtet.

Wie nachstehend ausgeführt wird, steht die Rissverteilung mit den topografischen und geologischen Gegebenheiten in Zusammenhang. Aus der topografischen Asymmetrie des Tal- und Mauerquerschnitts

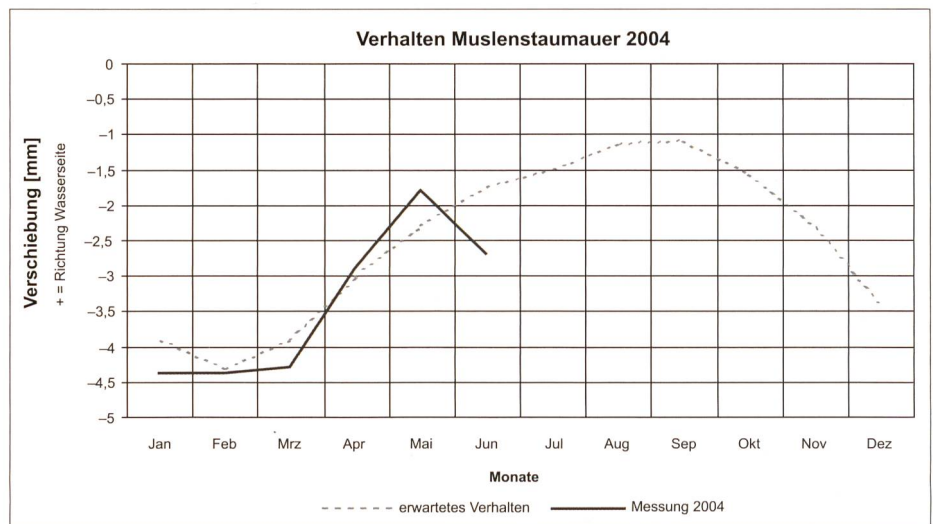


Bild 1. Aussergewöhnliche Verschiebungen, beobachtet an der Staumauer Muslen im Frühjahr 2004.

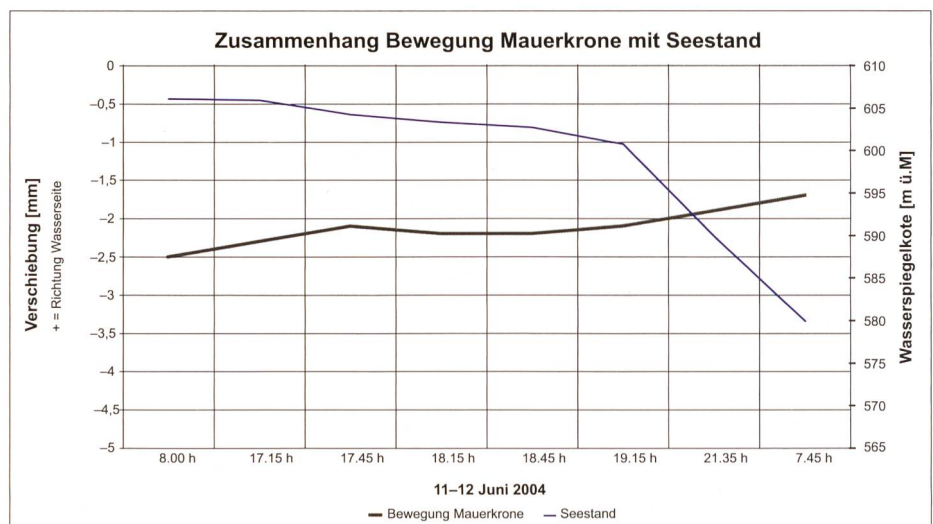


Bild 2. Verschiebungsmessung während der Absenkung vom Juni 2004.

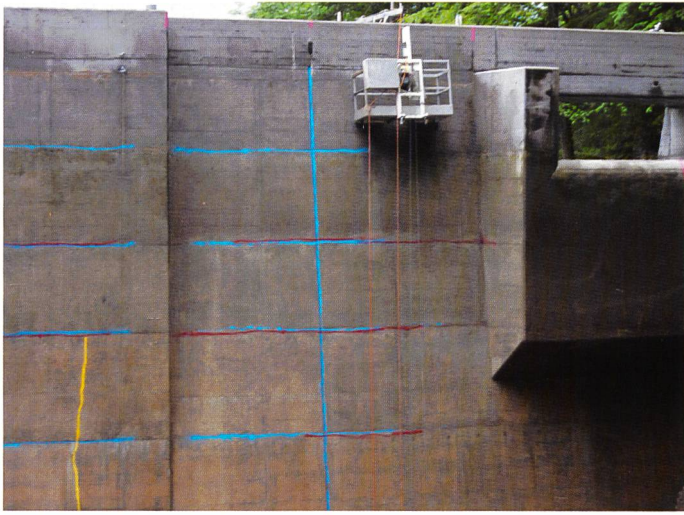


Bild 3. Aufnahme der Wasserseite der Mauer mit Rissen.



Bild 4. Wasseraustritt auf der Luftseite.

– einer steilen, subvertikalen rechten Flanke steht eine flachere linke Flanke gegenüber – ergibt sich eine unterschiedliche Gesamtbelastung des unterliegenden Gebirges. Weiter wirken sich geringe Setzungen in der linken Flanke stärker auf die Mauer aus. Die bedeutendsten Horizontalrisse sind im oberen, neuen Mauerteil entlang von Betonierfugen ausgebildet. Weiter kommen einzelne Vertikalrisse geringerer Ausdehnung vor. Bei einer geringen Setzung der Fundation der linken Flanke ist die Bildung von Rissen oberhalb der Engstelle (= untere Horizontalrisse), von geringen Vertikalrisen infolge der Setzung des linken Mauerteils und von Horizontalrisen im oberen Mauerteil (infolge geringerer Setzung der Mauer am linken Mauerende) zu erwarten. Die Risse hängen also mit einer geringfügigen Setzung nach der Erhöhung der Mauer zusammen, die bereits kurz nach dem Ersteinbau der erhöhten Mauer stattgefunden hat.

2.2 Wasserführung

Für die überraschende Tatsache, dass nach der Füllung Ende Mai 2004 – im Gegensatz zu den früheren Leerungen des Speicherbeckens (2001, 1998) – erhöhte, von einem Austrag von Feinmaterialien (Silt) begleitete Wasseraustritte aus der Mauer auftraten, können folgende Ursachen verantwortlich sein:

Im Normalfall steht bei den periodischen Entleerungen das Becken lediglich 2 bis 3 Wochen leer, während dies bei der diesjährigen Entleerung während rund 7 Wochen der Fall war.

- Da vor der Entleerung Mitte April 2004 keine Wasseraustritte in dem am 11. Juni 2004 beobachteten Ausmass stattfanden, ist die Ursache in der Periode, in der die Staumauer trocken lag, und in einer Verknüpfung von Wasseraustritten und Materialaustrag zu suchen.
- Während der im Verlauf des Sommerhalb-

jahres häufigen heftigen Regenfälle (z.B. Gewitter) enthält das Wasser reichlich siltige Schwebstoffe. Ein geringer Teil dieser Schwebstoffe lagert sich auf der Mauer oberfläche ab. Bereits geringe Risse mit sehr kleinen Wasserabflüssen (Tropfwasser) führen dabei zu einem Eintrag von Schwebstoffen in die bestehenden zugänglichen Mauerrisse und zu ihrer Kolmationierung.

- Bei den periodischen Leerungen alle drei Jahre steht das Becken nur kurze Zeit leer. Es kann keine Austrocknung der Risse erfolgen. Im Frühjahr 2004 dauerte die Entleerung, bei weitgehend trockenem Wetter, bedeutend länger. Dabei war eine fortschreitende Austrocknung der Mauerrisse und vor allem des in ihnen abgelagerten Materials möglich, wobei das Material etwas an Volumen und Konsistenz verlor.
- Bei der anschliessenden Füllung des Stausees bestanden daher geringe offene Fliesswege, die zu höheren Wasserflüssen als im Normalfall führten. Gleichzeitig ermöglichte die erhöhte Fliessgeschwindigkeit des Wassers eine Erosion der Kolmationierung der Risse, was zu einer Erhöhung der Wasserflüsse und weiteren Zunahme der Erosion führte. Es musste davon ausgegangen werden, dass die Risse weitgehend freigespült wurden.

2.3 Luftseitige Verschiebung der Mauerkrone

Während die Messungen vom 2. April 2004 (volles Staubecken) und vom 27. April (leeres Staubecken) noch ein «normales» Verhalten aufwiesen, zeigte die zwei Tage nach der Füllung des Beckens durchgeführte Messung vom 2. Juni 2004 Werte weit ausserhalb des zu erwartenden Bereichs.

Geologische Ursachen für das sich in kurzer Zeit geänderte Verhalten der Messwerte können ausgeschlossen werden. Mög-

liche thermische Einflüsse lassen die Messwerte ebenfalls nicht erklären. Hingegen zeigen die Messungen vom 11. und 12. Juni während der erneuten Entleerung des Staubeckens einen klaren Zusammenhang mit dem Wasserspiegel im Becken. Dieser Zusammenhang war bis zu den unteren Rissen praktisch linear, was auf einen kausalen Zusammenhang zwischen Stauziel und den wasserseitigen Rissen und Fugen schliessen liess. Da die Risse entlang der Betonierfugen markant durchlässiger sind als vor der Leerung im Frühjahr 2004, konnte das geänderte Bewegungsverhalten auf einen gegenüber früher grösseren Einfluss des Auftriebes zurückgeführt werden.

Wie oben ausgeführt, hängt die gegenüber den früheren Jahren verstärkte Radialbewegung nach dem Wiedereinstau Ende Mai 2004 mit der Zunahme des Auftriebes in den ausgewaschenen Betonfugen und Rissen zusammen. Die Messungen am 11. Juni 2004 bei der erneuten Leerung des Beckens zeigten gleich laufend mit der Absenkung des Wasserspiegels einen Rückgang der luftseitig gerichteten Radialverschiebungen, sodass bei der vollständigen Leerung Werte erreicht wurden, die im Rahmen der früheren Beobachtungen bei entsprechenden Betontemperaturen und gefülltem See liegen.

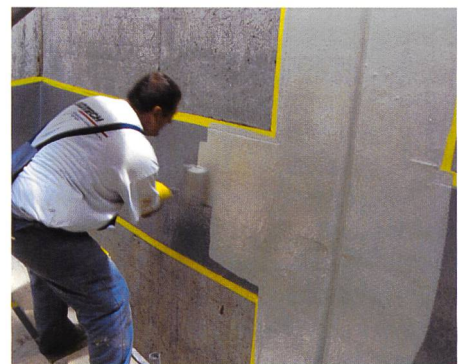


Bild 5. Sanierung der Risse.



Bild 6. Während (links) und nach (rechts) erfolgter Riss-Sanierung.

2.4 Beurteilung der Risse

Die Aufnahmen der Risse zeigten, dass sie praktisch horizontal durch das Mauerwerk verlaufen. Die Sicherheit der Talsperre reduzierte sich dadurch unwesentlich. Aufgrund der starken Wasserführung der Risse konnte allerdings eine erneute Kolmatierung der Risse nicht garantiert werden. Im Weiteren konnte nicht vorausgesagt werden, wie das Verhalten der Mauer infolge der starken Wasserführung im Winterhalbjahr aussehen würde. Vom Standpunkt des Unterhaltes her gesehen waren die Risse ganz klar als schlecht zu beurteilen.

Damit die Mauer sich auch langfristig wieder einwandfrei verhält, mussten die Wasserabflüsse in und durch die horizontalen Risse gestoppt werden. Nach dem Einstau im Anschluss an die Sanierungsarbeiten sollte ein Verhalten erreicht werden, das innerhalb der Bandbreite der früheren Messungen lag.

Damit das Ziel erreicht werden konnte, wurde das bereits bei mehreren Talsperren zur Anwendung gelangte System PP-DAM® gewählt. Dabei handelt es sich um eine vollständig haftende Flüssigfolie, die direkt vor Ort aufgebracht wird. Ausschlaggebend für die Wahl waren die Dampfdurchläss-

sigkeit (keine Blasenbildung), die hohe mechanische Festigkeit (Widerstand gegen Eis und Holz) und nicht zuletzt die Wirtschaftlichkeit der Lösung.

Weiter wurde die Überwachung der Mauer durch die Einrichtung weiterer topografischer Beobachtungspunkte auf der Mauerkrone verstärkt.

3. Ausführung

Die Bilder 6A und 6B zeigen die Installations- und Ausführungsarbeiten der Firma Iso Permaproof.

4. Resultate

Nachdem die Risse entsprechend behandelt wurden, fand der erneute Einstau der Mauer statt. Sowohl die ersten Beobachtungen und Messungen als auch die heutigen Werte zeigen ein normales Verhalten (Bild 7). Mit der gewählten Lösung war es möglich, die Mauer innerhalb kürzester Zeit zu sanieren und wieder ein normales Verhalten der Kronenbewegungen zu erreichen.

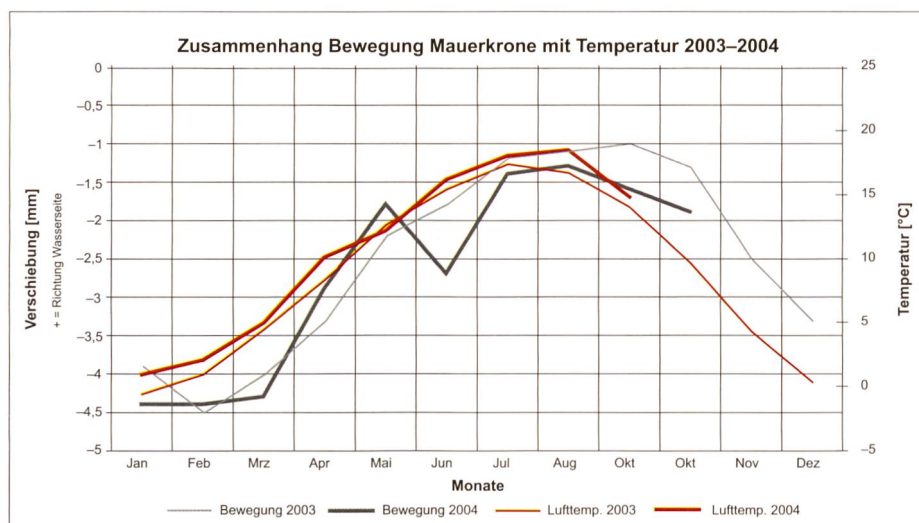


Bild 7. Beobachtete Verschiebung nach Sanierung der Mauer.

Anschrift der Verfasser

Reto Zuglian, Leiter Kraftwerke SAK, CH-9000 St. Gallen.

Werner Klemenz, Geologe, Colenco Power Engineering AG, CH-5405 Baden

Remo Baumann, Leiter Bau Raetia Energie AG, Via da Clait 307, CH-7742 Poschiavo.