

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 110 (2018)  
**Heft:** 4

**Artikel:** Betonquellen bei Staumauern in der Schweiz  
**Autor:** Amberg, Francesco / Bremen, Roger / Droz, Patrice  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-941596>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 17.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Betonquellen bei Staumauern in der Schweiz

Francesco Amberg, Roger Bremen, Patrice Droz, Raphaël Leroy, Johannes Maier, Bastian Otto

## Zusammenfassung

Der vorliegende Artikel präsentiert die Resultate einer Studie, die von einer Ad-hoc-Arbeitsgruppe des Schweizerischen Talsperrenkomitees zur aktuellen Situation der Betonstaumauern in der Schweiz bezüglich des Quellphänomens der Alkali-Aggregat-Reaktion durchgeführt wurde. Das Verhalten einer von diesem Typ chemischer Reaktion betroffenen Talsperre zeichnet sich durch Verformungstrends mit irreversiblen Verschiebungen in vertikaler und horizontaler Richtung aus. Das Vorhandensein von Trends bei Staumauern wurde deshalb identifiziert, analysiert und für verschiedene Talsperrentypen verglichen. Von 155 Betontalsperren sind ungefähr 50 % von diesem Problem betroffen. Das Betonquellen ist mit durchschnittlichen Ausdehnungsraten bis  $30 \mu\text{m} / \text{m} / \text{Jahr}$  niedrig und bis jetzt sind nur in wenigen Fällen Sanierungsarbeiten durchgeführt worden.

## 1. Einführung

Im Jahr 2013 wurde vom Schweizerischen Talsperrenkomitee (STK) die Gründung der Arbeitsgruppe «Alkali-Aggregat-Reaktion» mit der Zielsetzung beschlossen, die aktuelle Situation der Schweizer Talsperren in Bezug auf das Phänomen Betonquellen zu untersuchen. Der vorliegende Artikel behandelt eines der Resultate der Arbeitsgruppe. Es besteht in der Identifizierung potenziell vom Phänomen Betonquellen betroffener Talsperren aufgrund ihres Verhaltens. Speziell irreversible Verschiebungen in vertikaler und horizontaler Richtung werden identifiziert und beschrieben. Die Mitglieder der Arbeitsgruppe sind die Autoren des vorliegenden Artikels. Die komplette Arbeit wurde als Publikation des Schweizer Talsperrenkomitees veröffentlicht ([www.swissdams.ch/de/publications/publications-csb](http://www.swissdams.ch/de/publications/publications-csb)).

Die Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) ist die häufigste chemische Reaktion, die Betonquellen verursacht. In anderen Fällen handelt es sich um innere Sulfatreaktion (ISA). Talsperren sind aus den folgenden Gründen besonders anfällig auf Betonquellen:

- Talsperren sind in permanentem Kontakt mit Wasser, eine der notwendigen Bedingungen für die Quellreaktion.
- Talsperren sind grosse, massive Strukturen, bei denen kleine Expansionen bereits erhebliche Verschiebungen verursachen können.

- Talsperren sind nicht mit Stahl bewehrt und deshalb anfällig für Rissbildung.

Das Kapitel 2 des vorliegenden Artikels gibt eine Zusammenfassung der untersuchten schweizerischen Talsperren. Das Kapitel 3 verschafft einen Überblick über die bei Talsperren zur Verfügung stehenden Überwachungseinrichtungen für das Beobachten des Verhaltens bezüglich Betonquellen. Das Verhalten der schweizerischen Talsperren wird in Kapitel 4 statistisch beleuchtet und die beobachteten Trends werden in Kapitel 5 erörtert. Die gesammelten Daten wurden vorwiegend

von den Mitgliedern der Arbeitsgruppe bereitgestellt; die Talsperrenbetreiber und -besitzer wurden nur in Einzelfällen kontaktiert. Die wichtigsten Schlussfolgerungen werden schliesslich in Kapitel 6 zusammengefasst.

## 2. Schweizer Talsperren

Das Bundesamt für Energie (BFE), Sektion Aufsicht Talsperren, das für die Sicherheit der Talsperren in der Schweiz verantwortlich ist, hat seine Datenbank über die Schweizer Talsperren zur Verfügung gestellt. Die Datenbank enthält u. a. den Namen, die Höhe, das Stauvolumen, die Klasse, den Typ sowie das Baujahr jeder Talsperre. In der Schweiz sind 155 Betonmauern und 85 Dämme unter eidgenössischer Aufsicht. Kleine Talsperren, generell weniger als 10 m hoch und mit einem Stauvolumen kleiner als  $500\,000 \text{ m}^3$ , stehen unter kantonaler Aufsicht. In diesem Artikel werden nur die 155 Betontalsperren welche unter eidgenössischer Aufsicht sind, betrachtet. Die Talsperren werden in Abhängigkeit von Höhe  $H$  und Stauvolumen  $V$  wie folgt in drei Klassen unterteilt:

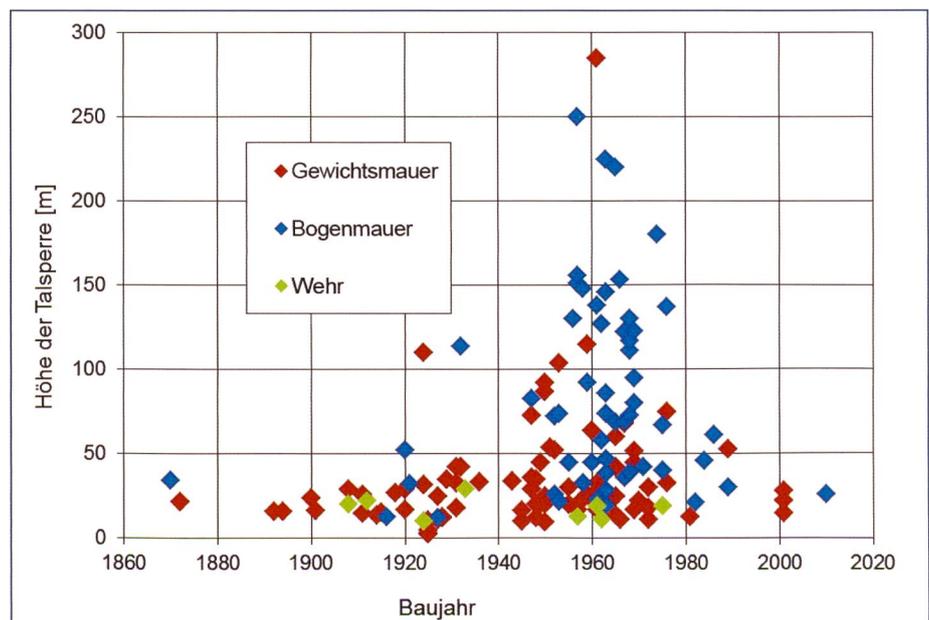


Bild 1. Art und Höhe der Talsperre in Abhängigkeit des Baujahrs.

- Klasse I: 74 Talsperren (50 %),  $H > 40$  m, oder  $H > 10$  m und  $V > 1$  mio  $m^3$
- Klasse II: 35 Talsperren (25 %),  $H > 25$  m, oder  $H > 15$  m und  $V > 0.05$  Mio.  $m^3$ , oder  $H > 10$  m und  $V > 0.1$  mio  $m^3$ , oder  $H > 5$  m und  $V > 0.5$  mio  $m^3$
- Klasse III: 35 Talsperren (25 %), kleinere Talsperren, bis 25 m Höhe, aber mit kleinerem Staubeckenvolumen.

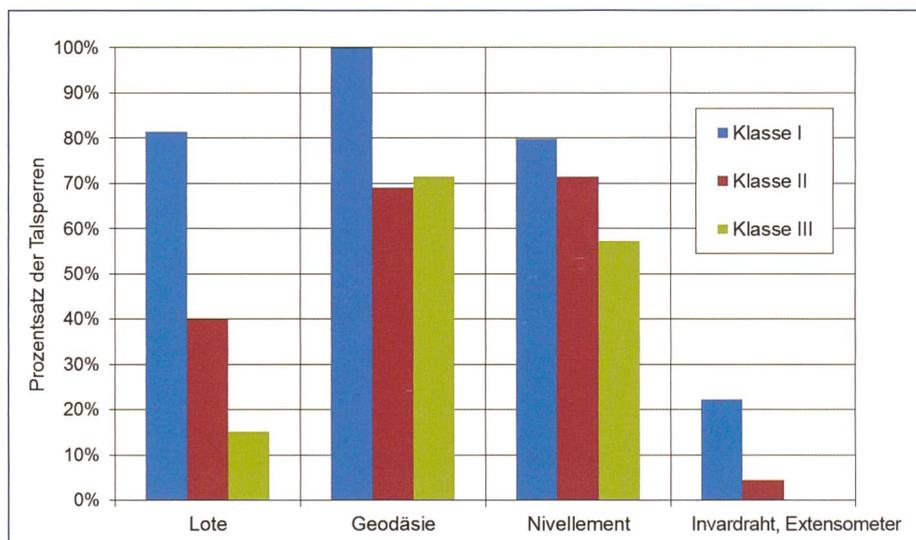
In der Datenbank sind 11 Talsperren und Wehre nicht klassifiziert. *Bild 1* gibt die Art und die Höhe der Talsperren in Abhängigkeit des Baujahrs dar. Die Schweizer Betonstaumauern unterteilen sich ausserdem in die folgenden Gruppen:

- 50 % Gewichtsmauern (77 Talsperren)
- 35 % Bogenstaumauern (54 Talsperren; die Talsperre Sera wird zweimal berücksichtigt, die ursprüngliche Talsperre von 1952 und die neue von 2010) (Leroy et al., 2010)
- 12 % Wehre (18 Talsperren)
- 3 % andere (zwei Pfeilermauern, zwei Bogenreihenmauern und zwei Bogengewichtstaumauern).

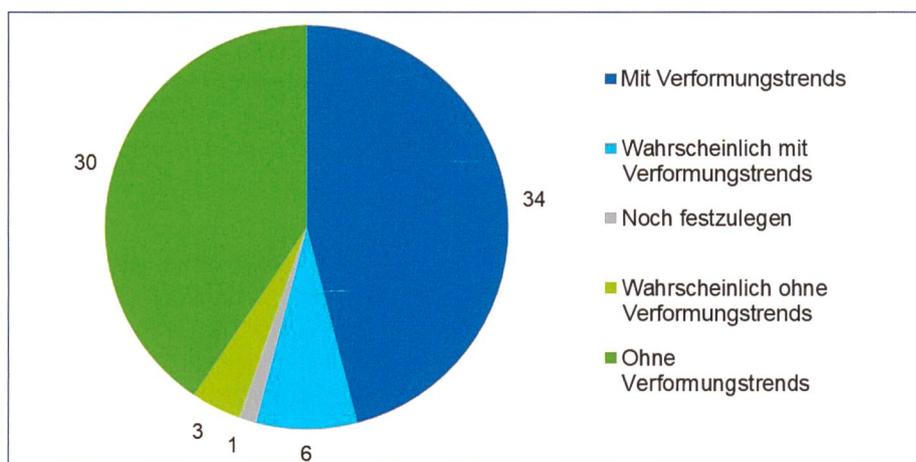
### 3. Überwachungssysteme

Talsperren sind überwachte Konstruktionen. Dies ist eine wesentliche Eigenschaft, welche das frühzeitige Erkennen von anomalem Verhalten erlaubt, noch bevor das Betonquellen sichtbar wird und sich ein Problem für die Sicherheit der Talsperre einstellt. Für das Beurteilen des Verhaltens sind die Informationen über die vorhandenen Überwachungssysteme von grosser Bedeutung. Sie konnten von den Mitgliedern der Arbeitsgruppe zur Verfügung gestellt werden. Es wurden insgesamt vier Kategorien bei der Instrumentierung berücksichtigt, zwei für die horizontalen und zwei für die vertikalen Verschiebungen:

- Horizontale Verschiebungen:
  - Lote: Sie sind die am häufigsten benutzten Überwachungssysteme und gleichzeitig sehr genau. Ihre Messhäufigkeit erlaubt es jahreszeitliche Schwankungen zu erfassen.
  - Andere Instrumente, normalerweise geodätische Messungen: Geodätische Messnetze sind weit verbreitet. Aber die Messhäufigkeit ist meistens nicht ausreichend, um jahreszeitliche Schwankungen zu erfassen. Bei den meisten Betontalsperren beträgt das Messintervall fünf Jahre.
- Vertikale Verschiebungen:
  - Nivellement: Es ist gemeinsam mit den geodätischen Messnetzen eines der am häufigsten angewendeten Systeme zur Überwachung der ver-



**Bild 2.** In Betonstaumauern zur Verfügung stehende Überwachungseinrichtungen (Unterteilung nach Klassen).



**Bild 3.** Vorhandensein von Verformungstrends in Betonmauern der Klasse I (die Werte am Rand des Kreisdiagramms zeigen die Anzahl Talsperren).

tikalischen Verschiebungen. Das Messintervall ist aber meistens nicht genügend kurz, um saisonale Schwankungen zu identifizieren.

• Invardrähte, Extensometer und andere Geräte: In Einzelfällen werden auch andere Geräte angewendet, um die vertikalen Verschiebungen in den Talsperren zu überwachen. Diese Instrumente sind selten von Anfang des Betriebs an vorhanden, besonders bei alten Talsperren.

Die vorhandenen Überwachungssysteme werden in Abhängigkeit der Klasse der Talsperre in *Bild 2* dargestellt. Basierend auf *Bild 2*, kann man folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Talsperren der Klasse I sind relative gut überwacht. 80 % der Konstruktionen verfügen über Lote und bei allen werden geodätische Messungen durchgeführt.
- Die Überwachung nimmt bei kleineren Konstruktionen progressiv ab. Ungefähr 70 % der Talsperren der Klassen

II und III verfügen über eine geodätische Überwachung mit zusätzlichem Nivellement. Lote sind hingegen weniger verbreitet: Sie sind in nur 10 % der Talsperren der Klasse III installiert.

- Invardrähte oder Extensometer, vertikal in die Talsperre eingebaut, kommen in der Schweiz wenig vor.

Die in *Bild 2* dargestellten Resultate umfassen nicht alle 155 Talsperren der Schweiz, da die Datenbank nur für ca. 100 Talsperren vollständig ist (65–70 % der Konstruktionen). Dieser Prozentsatz der Vollständigkeit ist für alle Talsperrenklassen vergleichbar.

Schliesslich zeigt es sich, auch wenn dies nicht in *Bild 2* ersichtlich ist, dass Wehre im Allgemeinen geringer als Gewicht- und Bogenstaumauern überwacht werden.

### 4. Verhalten der Schweizer Betonstaumauern

Eines der Hauptziele der Arbeitsgruppe war die Identifizierung von irreversiblen

Verschiebungen bei Schweizer Betonstausperren, die auf das Betonquellen zurückgeführt werden können. Bei Bogenstau-mauern wird eine Verschiebung flussaufwärts und eine Hebung der Krone erwartet, wohingegen bei Gewichtsstau-mauern die horizontale Verschiebung auch flussabwärts möglich ist. Deshalb wurde als erster Schritt der Studie das Vorhandensein von Verformungstrends überprüft. Zur Frage, ob die oben erwähnten Verschiebungen festgestellt werden können, sind folgende fünf Antworten möglich:

- Ja, die Talsperre weist zunehmende irreversible Verschiebungen in vertikaler oder horizontaler Richtung auf, (selbst wenn diese nicht mit dem Betonquellen verbunden sind).
- Wahrscheinlich ja, die Messungen sind aber unzureichend oder die Verschiebungen zu klein, um das Phänomen zu bestätigen.
- Unbekannte Situation, grundsätzlich wegen mangelhafter messtechnischer Überwachung.
- Wahrscheinlich nicht, die Überwachung ist aber unzureichend um diese Schlussfolgerung definitiv zu ziehen.
- Nein, die Talsperre zeigt ein vollkommen reversibles Verhalten, ohne Verformungstrends. Sollte eine permanente Verschiebung aufgrund von Kriechen schon im jungen Alter festgestellt worden sein, wurde dies bei dieser Studie nicht berücksichtigt.

Wie aus Bild 3 ersichtlich ist, sind die Kenntnisse über das Verhalten der schweizerischen Talsperren ausreichend. Nur eine Talsperre der Klasse I konnte nicht bewertet werden, und die Anzahl Talsperren mit Ungewissheiten ist beschränkt. Es gibt eine grosse Anzahl Talsperren, die langfristige Verformungstrends aufweisen, 34 Talsperren haben nämlich einen bestätigten Trend und sechs einen möglichen.

Bild 4 zeigt eine Zusammenfassung für alle Betonmauern der Schweiz mit Einbezug der Talsperren der Klassen II und III.

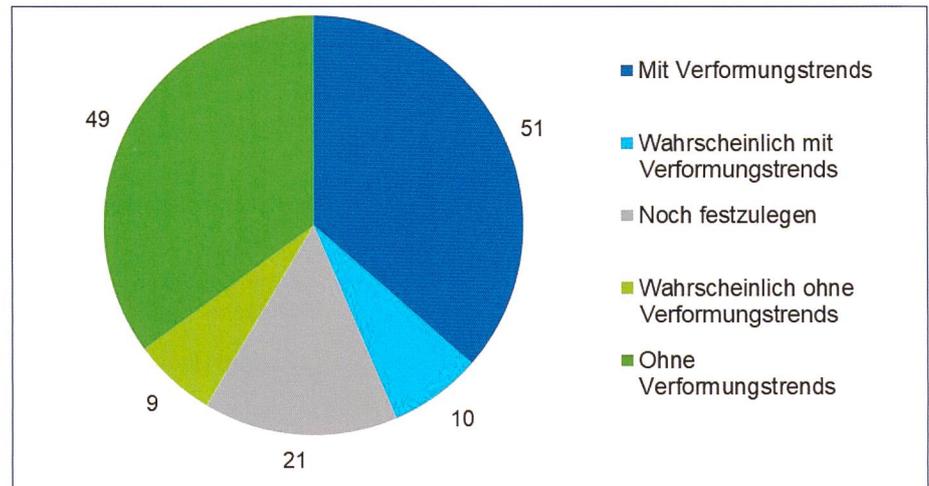
Im Vergleich zu Bild 3 steigt in Bild 4 die Anzahl mit unbekanntem Verhalten. Es ist noch darauf hinzuweisen, dass Bild 4 nur 90 % aller Betonstau-mauern berücksichtigt, da die Datenbank nicht ganz vollständig ist. Die Zunahme von Talsperren mit unbekanntem Verhalten ist auf die unzureichende messtechnische Überwachung von kleineren Bauwerken zurückzuführen. Bild 4 zeigt, dass etwa die Hälfte der Betonstau-mauern der Schweiz einen Trend haben. Insgesamt sind bis zu 60 Tal-

sperren mehr oder weniger vom Phänomen des Betonquellens betroffen.

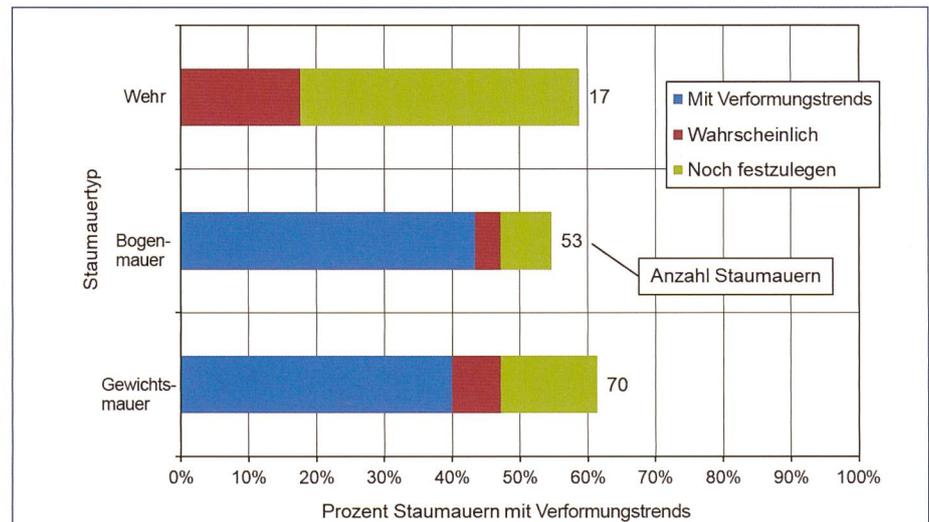
Die Arbeitsgruppe hat auch den möglichen Zusammenhang mit der Bauzeit untersucht. Es ergab sich das Resultat, dass die Anzahl Talsperren mit Trends praktisch unabhängig vom Baujahr zwischen 40 und 60 % liegt.

Ein weiteres statistisches Ergebnis ist in Bild 5 zu finden; es wird dort das Vor-

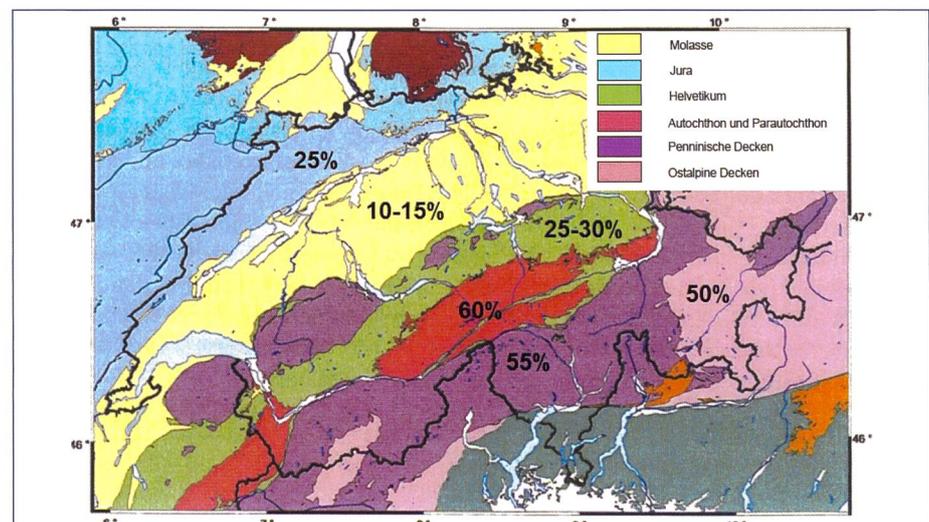
handensein von Verformungstrends bei Schweizer Talsperren (90% der Bauwerke, die Werte am Rand des Kreisdiagramms zeigen die jeweilige Anzahl Talsperren).



**Bild 4. Vorhandensein von Verformungstrends bei Schweizer Talsperren (90% der Bauwerke, die Werte am Rand des Kreisdiagramms zeigen die jeweilige Anzahl Talsperren).**



**Bild 5. Prozent der von Verformungstrends betroffenen Stau-mauern in Abhängigkeit vom Typ der Stau-mauer.**



**Bild 6. Prozentsatz der Talsperren mit Verformungstrends in Abhängigkeit von den geologischen Einheiten der Schweiz.**

handensein von Trends in Abhängigkeit der Talsperrenart dargestellt. Gewichts- und Bogenstaumauern sind gleicher-

massen von irreversiblen Phänomenen betroffen, wohingegen bei Wehren die Situation noch unklar ist. Das ist auf die

Komplexität der Talsperrenart Wehr und die geringere messtechnische Überwachung zurückzuführen. Es bedeutet aber nicht, dass Wehre weniger kontrolliert werden als andere Talsperren. Wehre sind nämlich generell komplexe Bauwerke, mit vielen Stollen und Durchgängen, bei welchen visuelle Inspektionen für die Beurteilung des Verhaltens eine wichtige Rolle spielen. Das Vorhandensein grosser Schützen kann auch wichtige Angaben für die Bewertung des strukturellen Zustands liefern.

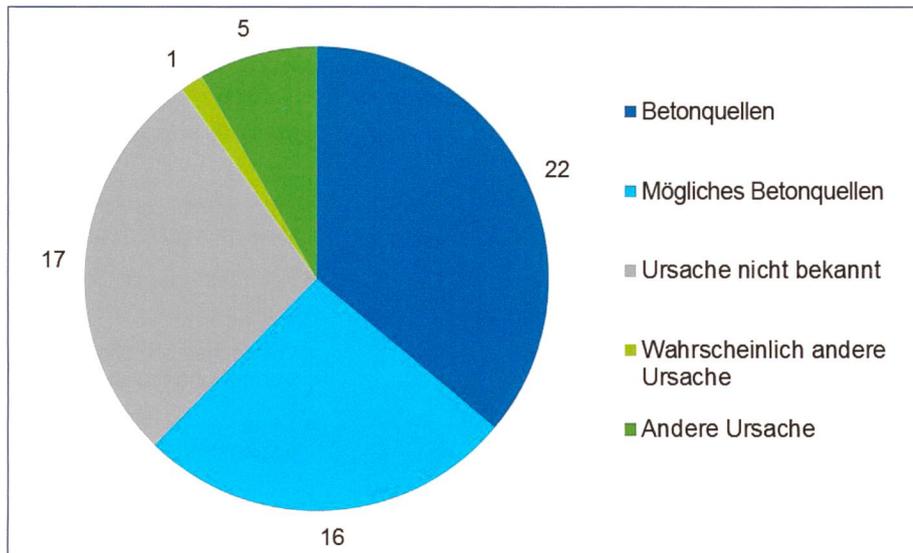
Für die Arbeitsgruppe war diese Art von Informationen aber schwer zugänglich, insbesondere im Vergleich mit dem einfachen Zugang zu Messdaten bei den anderen Talsperrentypen.

Die Verteilung von Talsperren, welche Verformungstrends aufweisen, wird in Bild 6 zusammen mit der Geologie der Schweiz gezeigt. Die höhere Reaktivität in den Alpen (Ostalpine Decken, Penninische Decken und Autochthon) ist meistens mit deformiertem und gerissenen Quarz verbunden, wohingegen die Talsperren im Gebiet des Helvetikums, des Juras und der Molasse zumeist wenig reaktive Sand- und Kalksteine enthalten.

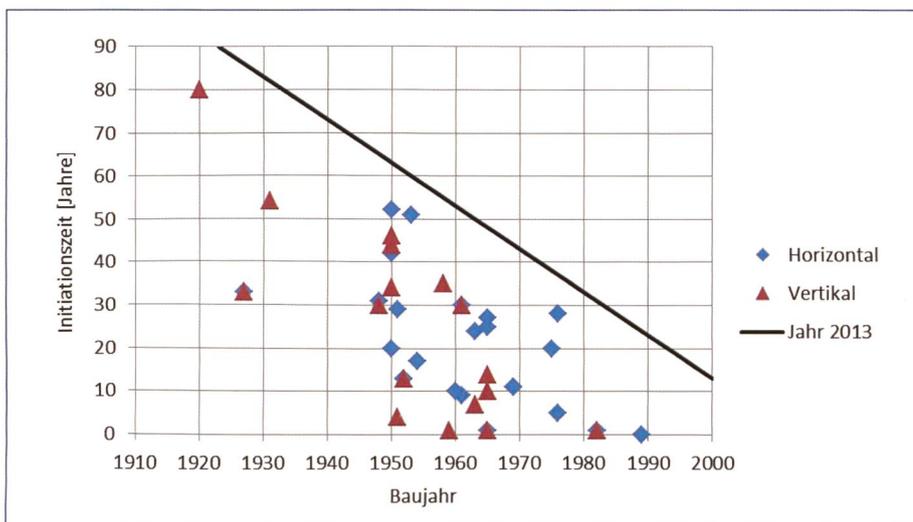
Ein letzter interessanter Teil der Studie analysiert die Ursachen der erkannten Verformungstrends. Die Arbeitsgruppe betrachtete folgende fünf Möglichkeiten:

- Betonquellen infolge chemischer Reaktionen schon bestätigt, eventuell auch durch Laboruntersuchungen.
- Mögliches Betonquellen, d.h. nicht durch Laboruntersuchungen bestätigt. Das Verhalten ist aber kompatibel mit Betonquellen (Hebung der Krone, horizontale Verschiebung, Risse).
- Unbekannte oder noch zu bestimmende Ursachen.
- Vermutlich andere Ursache: Der erkannte Verformungstrend ist mit Betonquellen wenig kompatibel, die Ursachen sind aber noch nicht klar.
- Andere Ursachen: Der Grund des festgestellten Trends ist bekannt und ist nicht mit Betonquellen verbunden.

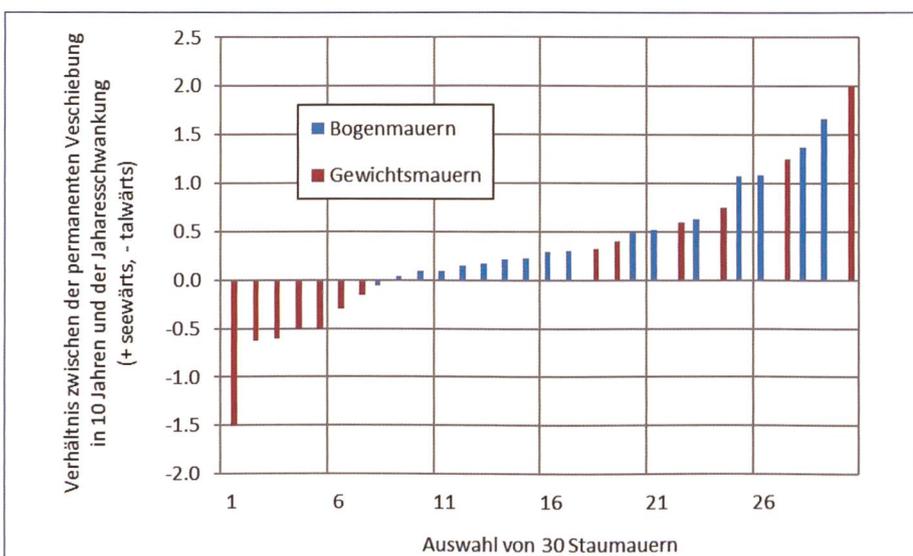
Bild 7 zeigt die Situation der 61 Talsperren mit Verformungstrends (bestätigt oder wahrscheinlich, aus Bild 4). Abgesehen von wenigen bekannten Fällen, ist die grosse Mehrheit der Talsperren, die irreversible Verschiebungen aufweisen, möglicherweise von Betonquellen betroffen. Bei ungefähr einem Drittel der Talsperren ist die Ursache deutlich mit diesem chemischen Phänomen verbunden.



**Bild 7. Ursachen für die Verformungstrends bei den betroffenen Talsperren (Werte am Rand des Kreisdiagramms zeigen die jeweilige Anzahl Talsperren).**



**Bild 8. Dauer der Initiationszeit des Betonquellens bei verschiedenen Talsperren in Abhängigkeit des Baujahrs.**



**Bild 9. Verhältnis des horizontalen Verformungstrends zu der jahreszeitlichen elastischen Schwankung von 30 Talsperren.**

## 5. Resultate der Datenauswertung

### 5.1. Zeit, bis das Betonquellen ausgelöst wird

Talsperren, die Betonquellen aufweisen, haben in einer ersten Phase ein normales Verhalten. Es folgt danach eine Phase, in welcher horizontale Verschiebungen und Hebungen der Krone beobachtet werden können.

Die erste Phase des normalen Verhaltens wird als Initiationszeit definiert und ist in Bild 8 dargestellt. Die geneigte Linie entspricht dem Alter der Talsperre (Stichjahr 2013). Es ist also nicht möglich, dass sich Punkte oberhalb dieser Linie befinden. Es kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass Talsperren, welche heute noch kein Betonquellen aufweisen, auch in Zukunft weiterhin ein normales Verhalten zeigen werden. Aus der Abbildung ist deutlich zu sehen, dass in manchen Fällen die Initiationszeit sehr lang sein kann und sogar bis 50 bzw. 80 Jahre dauern kann. Diese Beobachtung ist nicht neu, da ähnliche Ergebnisse schon publiziert wurden (Charlwood und Solymar 1994). In anderen Fällen begann das Betonquellen unmittelbar nach dem Bau.

Es ist weiter zu bemerken, dass die Dauer der Initiationszeit für die vertikalen Verschiebungen kürzer ist als für die horizontalen. Anders ausgedrückt, die Ausdehnung in vertikaler Richtung scheint etwas vor der in horizontaler Richtung einzutreten. Die mittlere Dauer der Initiationszeit wurde für 11 Talsperren, welche Verschiebungen in beiden Richtungen aufweisen, ausgerechnet. Sie beträgt ca. 20 Jahre in vertikaler und 26 Jahre in horizontaler Richtung.

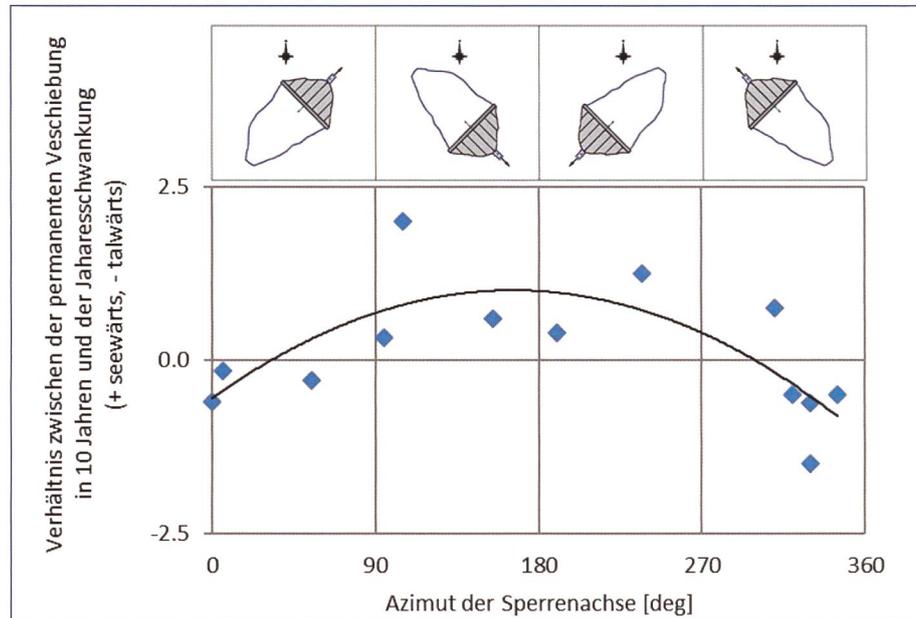
### 5.2. Verformungstrend in horizontaler Richtung

Ein bestimmter horizontaler Verformungstrend und eine permanente Verschiebung sind nicht von gleicher struktureller Bedeutung für eine kleine steife Gewichtsstauwand wie für eine grosse flexible Bogenstauwand. Um das in verschiedenen Bauwerken beobachtete Verhalten zu vergleichen, ist es daher erforderlich, andere Parameter zu finden. Aus diesem Grund wurde die permanente Verschiebung über 10 Jahre mit der jährlichen Schwankung unter regulären Betriebszuständen (Wasserstand und jahreszeitliche Schwankungen der Temperatur) verglichen. Die permanente Verschiebung in einem Punkt wird also durch die dazugehörige, typische jährliche Schwankung der Verschie-

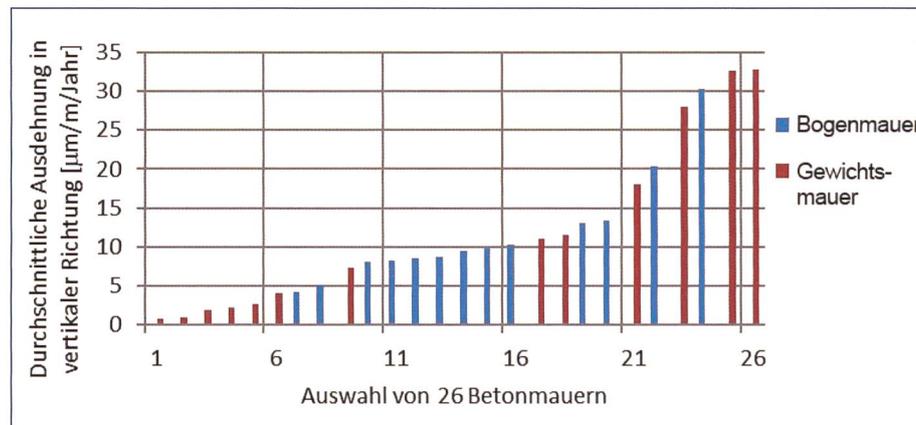
bung geteilt. Der erhaltene Parameter ist in Bild 9 dargestellt, Bogen- und Gewichtsstauwänden werden getrennt betrachtet. Ein Wert gleich 1.0 bedeutet, dass die permanente Verschiebung über 10 Jahre der jährlichen Schwankung entspricht. Ein Wert gleich 2.0 bedeutet, dass die

permanente Verschiebung über 10 Jahre das Doppelte der jährlichen Schwankung beträgt.

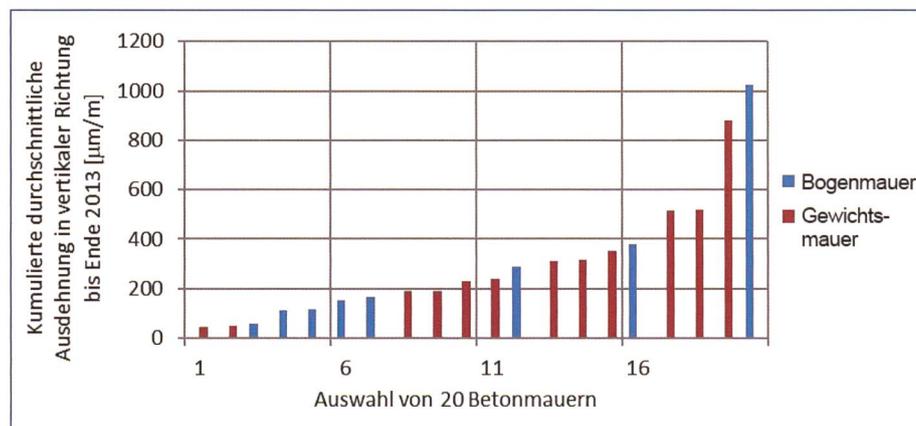
Negative Werte bedeuten, dass der horizontale Trend talwärts gerichtet ist. Obwohl das bei einer Talsperre mit Betonquellen ungewöhnlich erscheinen könnte,



**Bild 10. Horizontaler Verformungstrend von Gewichtsstauwänden in Abhängigkeit von der Ausrichtung der Sperrenachse (Sperrenachse senkrecht zur Maueroberfläche und in Richtung Luftseite).**



**Bild 11. Entlang der ganzen Mauerhöhe durchschnittliche vertikale Ausdehnungsrate von 26 Talsperren.**



**Bild 12. Über die Zeit kumulierte vertikale Ausdehnung der ganzen Mauerhöhe von 20 Talsperren.**

sind in *Bild 9* mehrere Gewichtsstaumauern dargestellt, welche einen Trend in Talrichtung aufweisen. Der Einfluss der Temperatur auf die Entwicklung der Ausdehnung wurde schon früher beschrieben (Amberg, 2011 und 2012). Dabei wurde gezeigt, dass bei Gewichtsstaumauern der horizontale Trend hauptsächlich durch die differenzielle Ausdehnung von Luft- und Wasserseite bedingt ist. In den Alpen ist die Temperaturverteilung meistens von Sonnenschein stark beeinflusst und deshalb von der geografischen Ausrichtung der Talsperre.

Die in *Bild 10* dargestellten Ergebnisse scheinen den Einfluss der Sonneneinstrahlung zu bestätigen: Gewichtsstaumauern mit nach Süden ausgerichteter Wasserseite (Azimut der Mauerachse zwischen  $-45^\circ$  bzw.  $315^\circ$  und  $+45^\circ$ ) weisen eine permanente Verschiebung talwärts auf, während bei Gewichtsstaumauern mit der Luftseite nach Süden (Azimut der Mauerachse zwischen  $90^\circ$  und  $270^\circ$ ) ausschliesslich eine permanente Verschiebung seeswärts beobachtet wird.

Bis Ende 2013 überschritt in einzelnen Fällen die totale permanente Verschiebung das 8-Fache der üblichen jahreszeitlichen Schwankung. Instandsetzungsarbeiten wurden bei manchen Staumauern durchgeführt, wenn die permanente Verschiebung das 5-Fache der jahreszeitlichen Schwankung überschritten hatte. Für kleinere Verschiebungen wurden bis jetzt keine solchen Arbeiten durchgeführt.

### 5.3. Vertikale Verschiebungen

Um die vertikalen Verschiebungen zu bestimmen, werden generell die Nivellement-Messungen auf Höhe der Krone berücksichtigt. Der irreversible Anteil der Verschiebung wird dann durch die Höhe der Mauer dividiert, um die durchschnittliche Ausdehnung in vertikaler Richtung zu ermitteln. Die berechneten Werte dieses Parameters sind in *Bild 11* für einige ausgewählte Bogen- und Gewichtsstaumauern dargestellt.

Die Ausdehnungsrate beträgt maximal 30 bis 35  $\mu\text{m}/\text{m}$  pro Jahr, was noch als mässig betrachtet werden kann. Bei der Staumauer Mactaquac in Kanada wurde eine Ausdehnungsrate bis 140  $\mu\text{m}/\text{m}$  pro Jahr ermittelt (Hayward et al., 1991). Die in *Bild 11* dargestellten Werte sind mit denen einer aktuellen Studie von Electricité de France vergleichbar (Sausse and Fabre, 2013).

Schliesslich zeigt *Bild 12* die totale über die Zeit kumulierte Ausdehnung in vertikaler Richtung bis Ende 2013. Die

beiden Talsperren, die Werte höher als 800  $\mu\text{m}/\text{m}$  aufweisen, wurden instand gesetzt.

## 6. Schlussbemerkungen

Die STK-Arbeitsgruppe «Alkali-Aggregat-Reaktion» hat das Verhalten von 155 schweizerischen Talsperren mit dem Ziel analysiert, die Auswirkungen des Betonquellens aufgrund chemischer Reaktionen zu identifizieren. Nicht alle Betontalsperren konnten zuverlässig analysiert werden, da bei manchen Bauwerken die erforderlichen Daten nicht vorhanden waren oder von der Arbeitsgruppe nicht genügend geprüft werden konnten. Schliesslich konnten 119 Talsperren bewertet werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass ungefähr 50 % dieser Talsperren (61 Staumauern) Verformungstrends und permanente Verschiebungen aufweisen. Von diesen

- sind bei 38 Talsperren die Trends mit einem Betonquellen kompatibel (in 22 Fällen wurde die Betonexpansion auch mit Laboruntersuchungen bestätigt),
- liegen bei sechs Staumauern eher andere Phänomene vor und
- ist die Situation bei weiteren 17 Talsperren noch etwas unscharf (die Arbeitsgruppe konnte die Daten nicht genügend prüfen).

Aus dieser Analyse kann zusammenfassend festgestellt werden, dass zwischen 35 und 45 % der schweizerischen Betontalsperren von einem Betonquellen betroffen sind. Das Phänomen hat somit eine hohe Relevanz.

Talsperren, die ein Quellen aufweisen, sind durch eine erste Betriebsphase gekennzeichnet, in welcher das Verhalten regulär und reversibel ist. Diese Initiationszeit kann zwischen 0 und vielen Jahren schwanken und sogar 50 bis 80 Jahre erreichen. Nach dieser ersten Phase werden die Auswirkungen des Betonquellens, wie Hebung der Krone und horizontale Verformungstrends, allmählich ersichtlich. Diese Trends wachsen fast linear mit der Zeit an. Die durchschnittliche Ausdehnungsrate in vertikaler Richtung schwankt zwischen 1 und 30  $\mu\text{m}/\text{m}$  per Jahr. In horizontaler Richtung bewegen sich die Bogenstaumauern stromaufwärts, wohingegen Gewichtsstaumauern sich je nach Ausrichtung auch stromabwärts bewegen können. In der Tat weisen Gewichtsstaumauern generell einen Verformungstrend Richtung Norden auf, wahrscheinlich aufgrund der grösseren Ausdehnung der gegen Süden, d. h. der Sonne ausgesetzten Maueroberflächen.

Instandsetzungsarbeiten wurden in einigen Fällen durchgeführt, unter anderem bei den Staumauern Illsee, Sera und Salanfe. Bei diesen Talsperren hatte die totale Ausdehnung infolge Betonquellen 500 bis 1000  $\mu\text{m}/\text{m}$  erreicht. Zukünftig sind Instandsetzungsarbeiten bei weiteren Talsperren zu erwarten.

### Literatur

Amberg F., «Performance of Dams affected by Expanding Concrete», Dams in Switzerland, Source for Worldwide Swiss Dam Engineering, Baden-Dättwil, buag Grafisches Unternehmen AG, 2011, p. 309–314.

Amberg F., «A review of expanding concrete cases and consequences on dam performance», Proceedings of the Hydro International Conference, Bilbao, 2012.

Charlwood R.G., Solymer Z.V., «A review of alkali aggregate reactions in dams», Dam Engineering, Canada, Vol 5, Issue 2, Jul. 1994, p. 31–62.

Hayward D.G., Thompson G.A., Charlwood R.G., Steele, R.R., «Remedial measures at the Mactaquac generating station», 17th ICOLD Congress on large dams, Vienna; Q. 65 R. 47, 1991.

Leroy R., Micoulet G., Tognola F., «Rehabilitation of Serra dam (Switzerland) affected by ASR», Dam maintenance and rehabilitation, Proceedings 2nd International Conference, Zaragoza, 2010.

Sausse J., Fabre J. P., «Diagnosis of Dams Affected by Swelling Reactions: Lesson Learned from 150 Monitored Concrete Dams in France», Dam Engineering, Vol XXIII, Issue 1, 2013, p. 5–17.

### Anschrift der Verfasser

Francesco Amberg, Roger Bremen  
Lombardi Engineering Ltd Via R. Simen 19,  
CH-6648 Minusio

francesco.amberg@lombardi.ch  
roger.bremen@lombardi.ch

Patrice Droz, Stucky SA Rue du Lac 33  
CH-1020 Renens, pdroz@stucky.ch

Raphaël Leroy, Alpiq SA, Ch. de Mornex 10  
CH-1001 Lausanne, raphael.leroy@alpiq.com

Johannes Maier, Bundesamt für Energie BFE  
Sektion Aufsicht Talsperren, CH-3003 Bern  
johannes.maier@bfe.admin.ch

Bastian Otto, Axpo Power AG, Hydroenergie  
Parkstrasse 23, CH-5401 Baden  
bastian.otto@axpo.com