Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 82 (1990)

Heft: 1-2

Artikel: Le béton des barrages : perspectives de recherches en relation avec la théorie de la mécanique de la rupture

Autor: Hohberg, Jörg-Martin

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939777

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: 04.07.2025

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

7. Die Arbeitsgruppe «Entleerung von Staubecken» erhält den Auftrag, wo dies möglich ist, spezifische Vorschriften für einzelne Ausgleichs- und Speicherbecken zuhanden der Regierung zu erarbeiten.»

Seit diesem Beschluss hat die Regierung zahlreiche Bewilligungen mit den entsprechenden anlagespezifischen Vorschriften erteilt. Dabei handelt es sich je nach den gegebenen Verhältnissen um die Bewilligung für einmalige oder für mehrmalige zeitlich nicht festgelegte, sich regelmässig wiederholende Entleerungs- oder Spülvorgänge.
Die in Graubünden geltende Regelung hat sich bewährt. Sie trägt den umweltbezogenen Anforderungen Rechnung, ohne die Kraftwerksbetreiber über Gebühr zu belasten. Ereignisse wie das eingangs zu diesem Referat skizzierte haben sich nicht wiederholt.

Ausblick

Gemäss Botschaft des Bundesrates vom 29. April 1987 zur Revision des Bundesgesetzes über den Schutz der Gewässer sieht nun auch der Bund den Erlass einer verbindlichen Vorschrift für die Spülung und Entleerung von Stauräumen vor. Der vorgeschlagene Artikel, der in der bisherigen parlamentarischen Beratung nicht bestritten ist, sei hier ebenfalls wörtlich zitiert:

«Art. 40 Spülung und Entleerung von Stauräumen

[1] Der Betreiber einer Stauhaltung sorgt dafür, dass bei der Spülung und Entleerung des Stauraumes oder bei der Prüfung von Vorrichtungen für das Ablassen von Wasser und die Hochwasserentlastung die Tier- und Pflanzenwelt im Unterlauf des Gewässers möglichst nicht beeinträchtigt wird.

[2] Er darf Spülungen und Entleerungen nur mit einer Bewilligung der kantonalen Behörde vornehmen. Die Bewilligungsbehörde hört die interessierten Fachstellen an. Sind periodische Spülungen und Entleerungen zur Erhaltung der Betriebssicherheit notwendig, so legt die Behörde lediglich Zeitpunkt und Art der Durchführung fest.

[3] Muss der Betreiber aufgrund ausserordentlicher Ereignisse den Stausee aus Sicherheitsgründen sofort absenken, so orientiert er unverzüglich die Bewilligungsbehörde.»

Gemäss den Erläuterungen in der Botschaft soll die Beseitigung von Ablagerungen, die die Betriebssicherheit von Auslässen und anderen Anlageteilen beeinträchtigen können, nach dem heutigen Stand der Technik in den meisten Fällen durch den Einsatz von Schwimmbaggern mit einer Pumpanlage möglich sein. Beim Einsatz solcher Schwimmbagger brauche man den Stausee nicht zu entleeren bzw. zu spülen. Nur in Ausnahmefällen, wenn z.B. bei fehlender Zufahrt zum Becken oder bei zu groben Sedimenten der Einsatz von Schwimmbaggern nicht möglich wäre, müssten die Stauräume gespült werden. Aufgrund der uns bekannten Verhältnisse und unserer eigenen Erfahrungen möchten wir die Aussage des Bundesrates eher umkehren und die Spülung als Regelfall, den Einsatz von Schwimmbaggern aber als Ausnahmefall betrachten.
Zu der auch in Graubünden mehrmals diskutierten Möglichkeit von Baggerungen anstatt Spülungen möchten wir hier darauf hinweisen, dass beim Einsatz von motorbetriebenen Geräten und Transportfahrzeugen und bei der Deponie des ausgebaggerten Materials die Umwelt belastet wird. Bei der Planung von Baggerungen und Deponie sind darum die umweltbezogenen Aspekte mit denjenigen von Spülungen sehr sorgfältig zu vergleichen.

Geltende Gesetzgebung

- Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer gegen Verunreinigung (Gewässerschutzgesetz) vom 8. Oktober 1971 (SR 814.20).
  Verordnung über Abwassseereinleitungen vom 8. Dezember 1975 (SR 814.225.21).
- Bundesgesetz über die Fischerei vom 14. Dezember 1973 (SR 923.0).
- Bundesgesetz über die Wasserbaupolizei vom 22. Juni 1877 (SR 721.10).
  Vollziehungsverordnung zum Bundesgesetz vom 22. Juni 1877 betreffend die Wasserbaupolizei im Hochgebirge vom 8. März 1879 (SR 721.101).
  Vollziehungsverordnung zu Artikel 3bis des Bundesgesetzes betreffend die Wasserbaupolizei (Talsperrenverordnung) vom 9. Juli 1957 (SR 721.102).
- Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz vom 1. Juli 1966 (SR 451).
- Bundesgesetz über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte vom 22. Dezember 1916 (SR 721.80).

Schriftliche Fassung eines Vortrags, den der Verfasser an der Studientagung «Ablassorgane von Stauanlagen – Anforderungen, Einsatzbereitschaft und Umwelt» vom 14. und 15. September 1989 in Lugano gehalten hat. Die Studientagung wurde von der Gruppe Talsperrenbeobachtung des schweizerischen Nationalkomitees für grosse Talsperren durchgeführt.

Adresse des Verfassers: *Rudolf Gartmann,* dipl. Ing. ETHZ, Vorsteher des Amtes für Umweltschutz Graubünden, (Neumühle) Gürtelstrasse 89, CH-7001 Chur.

Le béton des barrages:

Perspectives de recherches en relation avec la théorie de la mécanique de la rupture[1]

Zuschrift von Jörg-Martin Hohberg

In seinem anregenden Aufsatz hat Prof. *Lafitte* sich erneut und eloquent für die Berücksichtigung der Bruchmechanik in der (Nach-)Berechnung von Staumauern ausgesprochen. Er wird mir sicher verzeihen, dass ich ihm in Deutsch antworte, und mir beipflichten, dass die Anwendung nicht in erster Linie auf sprachliche Barrieren stösst. In wissenschaftlicher Redlichkeit schliesst der Aufsatz mit etlichen kritischen Fragen, wie sie auch in [17] gestellt wurden und die eine genau so offene Diskussion verdienen.

Es sei zuvörderst unbestritten, dass ein Grundverständnis für Mikrorissvorgänge und Rissstabilitätsbedingungen die Interpretation selbst linear-elastischer Rechenergebnisse fördert – z.B. rechnerisch sehr hoher Temperatureigenspannungen [18] –, und für die Förderung dieses Verständnisses ist Prof. *Lafitte* zu danken und in seinen weiteren Bestrebungen zu unterstützen.
Die direkte praktische Anwendbarkeit jedoch wurde vor knapp zwölf Jahren – bezogen auf die linear-elastische Bruchmechanik mit Bruchzähigkeitsbeiwerten K_{IC}, K_{IIC} – von seiten des Internationalen Komitees für Grosse Talsperren, der Dachorganisation unseres schweizerischen SNGT, so eingeschätzt:

«Dans la pratique, une telle approche serait excessivement compliquée et en outre, elle serait contraire au bon sens, car le projeteur sait bien que, dans un ouvrage massif convenablement conçu, d'une part une fissure ne peut s'ouvrir que sur une distance limitée, jusqu'à l'élimination des tensions, et d'autre part, que l'ouvrage fissuré ne comporte pas de risque de rupture par fissuration ou par tout autre mode... On peut donc étudier tous les ouvrages en béton en

[1] «wasser, energie, luft», Heft 7/8 1989 *(81. Jg.),* S. 161–166, von *Raymond Lafitte.*

supposant que les fissures se développent même pour un taux de travail nul. A condition que les déformations et les compressions de l'ouvrage soient acceptables, on peut conclure que les exigences de la sécurité sont satisfaites. La nécessité d'avoir un taux de travail en traction qui soit supérieur à zéro avant le développement des fissures est sans importance. Elle donne seulement une certaine marge de résistance contre la fissuration excessive.» [19]

Nun sind zwölf Jahre zwar eine kurze Zeit in der Geschichte der Talsperrenstatik, jedoch lang in der rasanten Entwicklung numerischer Rechenverfahren. An einigen Fragen, die Prof. *Lafitte* aufwirft, wird gearbeitet, so an der eines anisotropen Grundmaterials – wegen des grossen Marktes für *Roller Compacted Concrete* – und an der eines Wasserdrucks unmittelbar an der Risswurzel, der die Spannungsintensität K_I sehr stark beeinflusst [20]. Für andere, wie den Rissübertritt in ein anderes Material (von Beton in Fels z. B.) oder über Fugen, wie sie unsere konventionell betonierten Mauern durchziehen, sind noch keine Lösungen bekannt.

Man muss auch sehen, dass eine Grösse wie das *J*-Integral nur *theoretisch* wegunabhängig ist; in der numerischen Praxis, wenn die Energieterme an einzelnen Spannungspunkten (den sogenannten *Gauss*-Integrationspunkten) ausgewertet werden, zeigt sich sehr wohl eine Abhängigkeit von der Netzeinteilung in Finite Elemente und der Umlaufstrecke [9]. Leider ist die «Sichtweite» eines solchen Integrals unter Umständen sehr begrenzt: Sie reicht zum Beispiel nie über einen kreuzenden Riss oder eine andere Unstetigkeit hinaus [21]. Es erscheint daher unmöglich, mit den vorliegenden Erkenntnissen ein Computerpogramm zu schreiben, das auf rein bruchmechanischer Basis das Versagen eines Staumauerprofils vom Anriss bis zum Durchriss wird erfassen können[2]. Dies hat, bitte zu beachten, nichts mit der erwähnten Massstabsfrage der Staumauerdicke zu tun, sondern mit der Risslänge *a* bzw. der Ligamentlänge *H* – *a* in Bild 13.

Wenn überhaupt, scheint die lineare Bruchmechanik für Aussagen geeignet, unter welchen Bedingungen ein *bestehender* Riss (ausreichender Riss- und Ligamentlänge) zum Weiterlaufen neigt, also für Gutachten über Sanierungsmassnahmen. Selbst hier sind Einschränkungen am Platz:

Bei der ersten bekannten Anwendung, der infolge Silikat-Reaktion quellenden Fontana-Gewichtsstaumauer, durch *Chappell* 1981 konnte der beobachtete Rissverlauf erst dupliziert werden, als Temperatureffekte und (näherungsweise) die dreidimensionale Beanspruchung des Staumauerblocks einbezogen wurden [10]. (Der Sperrenverlauf ist im Grundriss geknickt.) Äusserst fragwürdig sind Versuche, die Ursache von Rissen in *Bogen*staumauern an einem einzelnen Block herausfinden zu wollen, selbst wenn die Lastaufteilung vorab – an einem sehr viel gröberen, linear-elastischen Trägerrostmodell – räumlich ermittelt wurde [22]; dies sehen die Beteiligten selbst auch so.

Die Verständigung mit experimentellen Bruchmechanikern wird häufig jedoch dadurch erschwert, dass sie – überspitzt gesagt – die Frage des Werkstoffverhaltens für gelöst ansehen und nun auf den (noch nicht entwickelten) Supercomputer verweisen, der die Implementierung in Finiten Elementen gestatten werde, z. B. gemäss [8]. Tragwerksanalytiker jedoch erwarten sehnlichst «Materialgesetze» – konstitutive Beziehungen, wie sie sagen – für ihre Modelle, die sich unter den *gegebenen* Umständen verwenden lassen, und dazu gehört in zweidimensionalen, vor allem aber in dreidimensionalen Erdbebenberechnungen das Erfordernis zu einer sparsamen, sehr groben Elementeinteilung.

[2] Darüber war man sich auch bei der öffentlichen Verteidigung der interessanten Dissertation [15] einig. In [9] wird für Anriss, Risskreuzung und Durchriss zum herkömmlichen Zugfestigkeitskriterium zurückgekehrt!

Ein solches Beispiel ist die von Prof. *Lafitte* angeführte Korrektion der Zugfestigkeit sogenannter verschmierter Rissmodelle, um trotz grossen Abmessungen des einzelnen Elements die spezifische Energiefreisetzung G_f einzuhalten [14]: Um zu verhindern, dass im (zu grossen) Einzugsbereich eines Integrationspunktes die in Materialentlastung gewonnene Energie dT_i die durch den Riss dissipierte Energie dT_s übersteigt [23], wurde von *Bažant* vorgeschlagen, die Zugfestigkeit entsprechend herabzusetzen. Wenn man dies jedoch guten Willens versucht, kann es vorkommen, dass eine Gewichtsstaumauer ihre Standsicherheit quasi rechnerisch schon verloren hat, bevor ein Erdbeben überhaupt einsetzt; reumütig setzte man deshalb in [24] die Zugfestigkeit auf den nominellen, nicht-objektiven Wert zurück...

Was wäre die Alternative? Nach den tiefen horizontalen Rissen entlang einiger Arbeitsfugen der Gewichtsstaumauer Koyna stellte man in Berechnungen fest, dass selbst vollkommen abgetrennte Kopfteile von Blöcken unter möglichen Nachbeben *dank Reibung* noch standsicher gewesen wären. Dieses Vorgehen kann man ausdehnen, indem *a priori* – oder dort, wo eine linear-elastische Berechnung hohe Zugspannungen aufweist – geeignete Riss- bzw. Fugenelemente eingefügt werden, falls nötig mit Variation des derart vorgegebenen Rissverlaufs [19] [25]. Es ist dies die händische Parallele zur nichtlinearen Bruchmechanik, nur eben an einem sehr viel gröberen Elementnetz. Bei Bogenstaumauern, die schon vom Bauablauf her eine Vielzahl prädestinierter Trennflächen aufweisen, scheint dies ohnehin das einzig sinnvolle Vorgehen für einen nichtlinearen Standsicherheitsnachweis [17].

Als Fazit dieser etwas abgehobenen Spezialistendiskussion – und als Dank für das hübsche *Terzaghi*-Zitat des Autors – ein nicht minder süffisanter Ingenieur-Aphorismus für Praktiker, der *Hardy Cross* zugeschrieben wird: *«In design, strength is essential, but otherwise unimportant.»* Das war – zugegeben – vor der Entwicklung der Betonbruchmechanik.

Zusätzliche Referenzen

[17] *J.-M. Hohberg:* Objektivität von Finite-Element-Berechnungen. In: Trennflächenformulierungen für die statische und dynamische Berechnung von Bogenstaumauern, IBK ETH Zürich, Bericht 163, Kap. 3, S. 29–36. Birkhäuser, Basel (1988).

[18] *P. Bonaldi, A. di Monaco, M. Fanelli* u. a.: Concrete dam problems – An outline of the role, potential and limitations of numerical analysis. ISMES Bericht 75, Bergamo (1976).

[19] *Comité du Calcul et de la Conception des Barrages* (Prés. *O. C. Zienkiewicz* et *R. W. Clough*): Les méthodes des éléments finis appliquées aux calculs et la conception des barrages. CIGB Bulletin 30, S. 40/41. Paris (1978).

[20] *V. E. Saouma, M. L. Ayari* und *H. Boggs:* Fracture mechanics of concrete gravity dams. Proc. SEM/RILEM Int. Conf. on Fracture of Concrete and Rock, Houston/Texas, S. 496–519 (1987).

[21] *W. H. Gerstle, A. R. Ingraffea* und *P. Gergely:* The fracture mechanics of bond in reinforced concrete. Structural Engineering Report 82–7, Cornell Univ., Ithaca/New York (1982).

[22] *H. Linsbauer:* Das Tragverhalten von Betonbauwerken des konstruktiven Wasserbaus – Einfluss von Rissbildungen. Institut für Konstruktiven Wasserbau TU Wien, Bericht 21 (1987).

[23] *H. L. Schreyer:* The need for snapback in constitutive algorithms. Proc. Int. Conf. Computational Plasticity, Barcelona, Bd. 1, S. 59–69 (1987).

[24] *L. M. Vargas-Loli* und *G. Fenves:* Effects of concrete cracking on the earthquake response of gravity dams. Earthq. Eng. Struct. Dynamics 18 (4), S. 575–592 (1989).

[25] *E. B. Kollgaard:* Criteria for seismic safety – Approaches for evaluation of analytical results. Proc. China-US Workshop Earthquake Behavior of Arch Dams, Beijing, 329–348 (1987).

Adresse des Verfassers: *Jörg-Martin Hohberg,* Wiesengrundweg 1, CH-3047 Bremgarten bei Bern.