Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 80 (1988)
Heft: 11-12

Artikel: Frosteinwirkung und Sinterungen
Autor: Studer, Werner
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-940761

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: 25.12.2025

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

heisst zwischen Maximum und Minimum des auf Bild 6 gezeigten Diagramms. Dadurch bleiben die durch Abrasion verursachten Schäden klein.
Für Gefälle über 250 m ist empfehlenswert, Peltonturbinen zu installieren.

Projektierungskriterien für Speicherpumpen

Damit Abrasionsschäden an den Pumpen gering bleiben, sollte die relative Wassergeschwindigkeit im Laufrad kleiner als 35 m/s sein.
Eine Studie wurde durchgeführt zur Ermittlung der Drehzahl in Abhängigkeit der Durchflussmenge und der Förderhöhe pro Stufe, bei Begrenzung der relativen Geschwindigkeit des Wassers unterhalb der kritischen Werte. Die Abmessungen der Pumpen sind anhand statistischer Diagramme ermittelt worden.
Die Studie beschränkt sich auf Drehzahlen, wie sie für grosse Speicherpumpen üblich sind. Die Resultate sind aus Bild 7 ersichtlich. Im Bereich links der Kurven konstanter Drehzahlen ist die relative Wassergeschwindigkeit < 35 m/s; sie hat die Tendenz kleiner zu werden, je weiter man sich von den Kurven entfernt.
Bei Drehzahlen über 1000/min ist die relative Wassergeschwindigkeit immer sehr hoch. Für Pumpen, die stark feststoffhaltiges Wasser zu fördern haben, ist aus diesem Grund zu empfehlen, diesen Wert nicht zu überschreiten.
Wie aus Bild 7 ersichtlich, hängt die Wahl der Drehzahl direkt von der Fördermenge ab.
Die Förderhöhe pro Stufe beeinflusst die relative Wassergeschwindigkeit nur geringfügig. Dies erklärt sich dadurch, dass, wenn die Stufenförderhöhe reduziert wird, die Umfangsgeschwindigkeit kleiner wird und – bei gleicher Drehzahl – auch der Leitraddurchmesser und infolgedessen auch die tangentiale Komponente der relativen Geschwindigkeit W_t kleiner werden.
Gleichzeitig werden die Laufradquerschnitte reduziert, was zur Konsequenz hat, die radiale Komponente der Geschwindigkeit W_r zu vergrössern. Die beiden Geschwindigkeitsänderungen sind ähnlich, so dass die Resultante praktisch konstant bleibt.
Die Wahl der Drehzahl und der Anzahl Stufen hängen nicht nur von den Kriterien für die Reduzierung der Abrasion ab, sondern auch vom hydraulischen Konzept und von den Kosten.
Bei der Auslegung einer Speicherpumpe ist es nötig, einen Kompromiss zu finden, der die verschiedenen Anforderungen optimal berücksichtigt.

Literatur

[1] *Th. Bovet:* Contribution à l'étude du phénomène d'érosion par frottement dans le domaine des turbines hydrauliques «Bulletin Technique de la Suisse Romande» *84* (1958) no 3.

[2] *F. de Siervo, F. de Leva:* Modern Trends in Selecting and Designing Francis Turbines «Water, Power and Dam Construction» August 1976.

Adresse des Verfassers: *Fabrizio de Leva,* dipl. Ing. ETH, Stv. Leiter Sparte Kraftwerke, Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG, CH-5401 Baden.

Deutsche Fassung des Vortrages vom Internationalen Symposium 1988 in Zürich «Erosion, Abrasion und Kavitation im Wasserbau», organisiert von der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETHZ und vom Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband. Die französische Fassung des Vortrages erscheint in den Tagungsbänden: Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie Nr. 99 und Nr. 100.

Verhalten, Kontrolle und Unterhalt von Talsperrenbeton

Frosteinwirkung und Sinterungen

Werner Studer

Einleitung

Frosteinwirkung und Sinterungen haben beide einen engen Zusammenhang mit dem Wasserhaushalt eines Betonbauwerks. Allerdings spielt bei der Frosteinwirkung das in den Betonporen ruhende Wasser, bei den Sinterungen hingegen das durch Risse, undichte Arbeitsfugen und Kiesnester fliessende Wasser die Hauptrolle. Anders ausgedrückt könnte man die Frosteinwirkung als ein Problem des Betons selbst, die Sinterungen als eines des Betonbauwerks bezeichnen. Da man für das Verständnis beider Erscheinungen die Vorgänge bei der Erhärtung des Zementes und die Betonstruktur wenigstens den Grundzügen nach kennen sollte, wird vorerst ein kurzer Abstecher in diesen Teil der Betontechnologie gemacht, bevor dann zuerst auf die Sinterungen und schliesslich auf die Frosteinwirkungen eingegangen wird.

Erhärtung des Zementes und Betonstruktur

Zement ist ein sogenanntes hydraulisches Bindemittel, das mit Wasser, auch unter Wasser abbindet und im abgebundenen Zustand gegenüber Wasser weitgehend beständig ist. Man könnte den Zement also als Zweikomponentenkleber auffassen, mit dem Zementpulver als «Harz» und dem Wasser als «Härter». Das Gemisch aus Zement und Wasser – und der beim Mischen eingeschlossenen Luft – wird im frischen Zustand denn auch als Zementleim bezeichnet.
Das Abbinden und Erhärten des Zementes ist demnach eine Hydratation, eine Anlagerung von Wasser an die Klinkermineralien (Kalziumsilikate, ~aluminate und ~ferrite).
Es ist ein äusserst komplizierter Vorgang, der zuerst schnell abläuft, dann immer langsamer werdend über Jahre anhält. Dabei bildet sich an den Oberflächen der Zementkörner ein Filz von verschiedenartigen feinsten Kristallen, der etwa das doppelte Volumen des Zementes einnimmt, aus welchem er entsteht, und etwa 28% Hohlräume enthält.
Dieses sogenannte Zementgel wächst also in die wassergefüllten Zwischenräume im Zementleim hinein und füllt sie mehr und mehr aus.
Als Folge davon

- bindet der Zement ab;
- nimmt die Festigkeit zu;
- werden die groben, gut Wasser leitenden Kapillarporen unterbrochen und die Dichtigkeit nimmt zu;
- steigt der Anteil an Gelporen, in denen das Wasser erst unter $-25°C$ gefriert und die Frostbeständigkeit nimmt zu.

Im erhärteten Zustand heisst der Zementleim dann Zementstein. Neben dem Zementgel aus Kalziumsilikathydrat-Kristallen entstehen bei der Hydratation auch grosse Mengen von Kalkhydrat $Ca(OH)_2$. Im Alter von 10 Jahren und darüber, wenn die Hydratation praktisch abgeschlossen ist, enthält jeder m^3 einer Betonstaumauer etwa 40 bis 70 kg dieses Stoffes (25 Masse % von PC).
Der grösste Teil davon ist als Kristalle in den Zementstein eingelagert, der Rest ist im Porenwasser gelöst. Bei einer Dichte von 2200 bis 2400 kg/m^3 nimmt das $Ca(OH)_2$ ungefähr 1,5 bis 3% des Betonvolumens ein und trägt nur unwesentlich zur Festigkeit des Betons bei.
Andererseits hat sich aber gezeigt [1], dass das Zementgel

Tabelle 1. Hohlräume im Beton.

Art	Entstehungsursache	Grösse	Form/Struktur	Wirkung
Gelporen	Hydratation	~1 bis 10 nm	Hohlräume zwischen CSH-Kristalliten; durchgehend	Wasser gefriert nicht, sehr langsame Wasserleitung
Kapillarporen	Wassergefüllte Zwischenräume im Zementleim werden durch Zementgel nicht vollständig ausgefüllt	10 bis 100 nm	Hohlräume zwischen hydratisierten Zementkörnern; anfänglich durchgehend, je nach WZ-Wert früher oder später unterbrochen	Wasser gefriert bei ~0°C, schnelle kapillare Wasserleitung
Luftporen	Beim Mischen und Verdichten eingeschlossene Luft LP-Zusätze	10 µm bis mm	Konvexe bis kugelige Hohlräume; isoliert, über Gel- und Kapillarporen zugänglich	Im Normalfall luftgefüllt (Druckausgleichbehälter), kein Einfluss auf Wasserleitung
Kiesnester	Unvollständige Verdichtung	mm bis m	Hohlräume zwischen Zuschlagskörnern und Betonschollen; durchgehend	Hydraulische, schnelle Wasserleitung Massgebend für Dichtigkeit von Bauteilen und Bauwerken
Risse	Behinderte Temperatur- und Schwindverformungen, Überbeanspruchung, unsorgfältiger Anschluss von frischem an erhärteten Beton (Arbeitsfugen)	Öffnungsweite: µm bis mm Länge/Breite: mm bis m	Räumlich gekrümmte, verästelte flächige Hohlräume, z.T. durchgehend	

nur so lange wasserbeständig ist, als das Wasser mit $Ca(OH)_2$ gesättigt ist. Das Kalkhydrat bildet also den Korrosionsschutz nicht nur für die Armierung, sondern auch für den Beton selbst. Das Kalkhydrat ist auch die Hauptursache für die Sinterungen.

Schliesslich entsteht bei der Hydratation Wärme und parallel zur Erhärtung – an der Luft – schwindet der Zementstein. Daraus ergeben sich unterschiedliche Verformungen innerhalb einer Betonkonstruktion, was im schlimmsten Fall zu Rissen führen kann.

Diese Risse bilden zusammen mit Kiesnestern und unsorgfältig ausgeführten Arbeitsfugen die Kanäle, in denen Wasser durch den Beton sickert. Dabei wird es mit Kalkhydrat gesättigt, was unter dem Einfluss des CO_2 in der Luft zu Kalkablagerung führt, wo das Wasser aus dem Beton austritt.

Die letzte Kategorie von Hohlräumen im Beton sind die konvexen bis kugeligen Poren, die beim Mischen durch Einschluss von Luft entstehen beziehungsweise beim Verdichten als Rest der groben Hohlräume zwischen den einzelnen «Betonschollen» zurückbleiben.

Durch Zusätze kann die Bildung solcher Luftporen gefördert werden. Sie verändern ihre Form und Grösse während der Erhärtung nicht. Sie sind zwar über Gel- und Kapillarporen miteinander verbunden und von aussen zugänglich, sind aber soviel grösser als diese (Durchmesser: µm bis mm), dass sie bei kapillarer Wasseraufnahme nicht gefüllt werden.

Sie wirken deshalb als Druckausgleichsbehälter beim Gefrieren des Wassers in den Kapillaren und erhöhen so die Frostbeständigkeit. Auf die Wasserleitfähigkeit haben sie keinen Einfluss. Eine Übersicht über die Hohlraumarten im Beton gibt die Tabelle 1.

Sinterungen

Die Sinterungen, die in mehr oder weniger grossen Mengen in den Kontrollgängen von Talsperren anfallen, bestehen hauptsächlich aus Kalk $CaCO_3$ und Wasser. Der Wassergehalt kann in grossen Bereichen variieren. Nimmt man einen mittleren Wassergehalt von 30 Masse-% an – an der Staumauer Garichte wurde ungefähr dieser Wert gemessen –, so ergibt sich, bei einer Dichte des $CaCO_3$ von 2720 kg/m³, eine Rohdichte der Sinterung von etwa 1800 kg/m³ und ein Kalkgehalt von etwa 1300 kg/m³.

Wie oben gezeigt, entsteht das $CaCO_3$ aus dem im Sickerwasser gelösten $Ca(OH)_2$, das aus dem Zementstein ausgelaugt wurde. Für die Bildung von 1 kg $CaCO_3$ sind 0,74 kg

Bild 1. Maximal mögliche Sintermengen im Kontrollgang:
$S_{max} = V\, s_{max}$ (s_{max} siehe Tabelle 2).

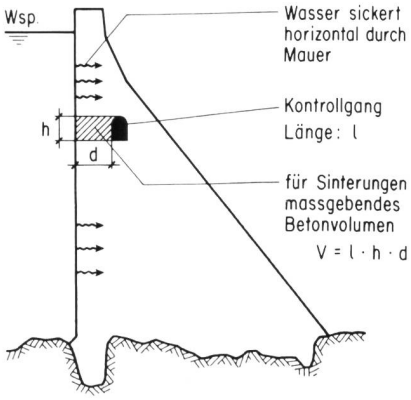
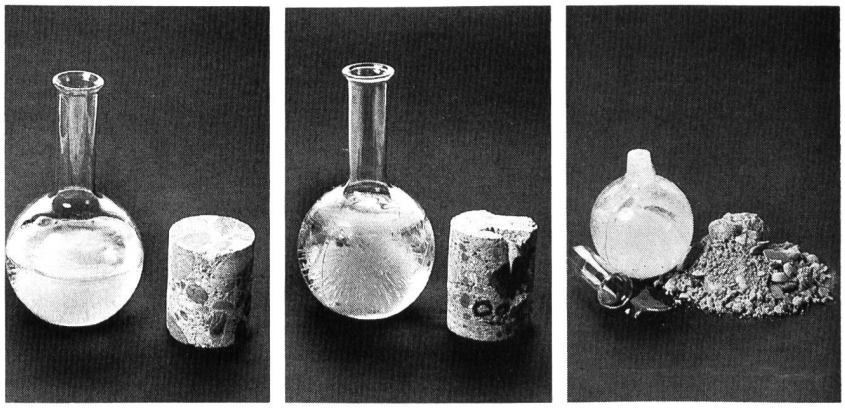


Bild 2. Beton wird – wie ein Glaskolben – erst oberhalb des kritischen Sättigungsgrades durch Frost zerstört. Links: geringer Sättigungsgrad, keine Schäden. Mitte: kritischer Sättigungsgrad, beginnende Schäden. Rechts: überkritischer Sättigungsgrad, starke Schäden.



$Ca(OH)_2$ notwendig, woraus man die Sinterungen errechnen kann, die bei vollständiger Auslaugung pro m³ Beton entstehen können (Tabelle 2).

Tabelle 2. Maximal mögliche Sinterungen bei vollständiger Auslaugung pro m³ Beton in Abhängigkeit des Zementgehalts.

Zementgehalt	kg/m³	200	250	300
maximal mögliche Sinterungen s_{max}	l/m³	50	65	80

Nimmt man an, dass das Wasser horizontal durch die Staumauer sickert und dass alles gelöste $Ca(OH)_2$ aussintert, so kann die maximal mögliche Sintermenge für den Kontrollgang ausgerechnet werden (Bild 1).
Die Annahme für das massgebende Volumen liegt eher auf der sicheren Seite, jene für das Aussintern eher auf der unsicheren Seite. So könnte man einen Auslaugungsgrad A errechnen, indem man die gemessenen Mengen S_{gem} mit den maximal möglichen Mengen S_{max} vergleicht

$$A = \frac{S_{gem}}{S_{max}} \cdot 100\,\%$$

und daraus abzuschätzen versucht, ob eine Gefahr besteht oder nicht.
Für die Staumauer Garichte im Kanton Glarus z.B. beträgt der Auslaugungsgrad für die letzten 10 Jahre 3%, extrapoliert auf die gesamte Zeit seit dem ersten Aufstau zwischen 10 und 25%.
In bezug auf die Festigkeit sind diese Werte sicher als harmlos zu beurteilen.
Es wurde schon angedeutet, dass das Kalkhydrat keinen wesentlichen Beitrag zur Betonfestigkeit leistet und von da her gesehen auch die vollständige Auslaugung keine Gefahr darstellt. Entsprechend der dadurch erwirkten Zunahme der Gesamtporosität um etwa 1,5 bis 3 Vol.-% ergäbe sich eine Festigkeitsreduktion um höchstens 10 bis 20%. Anders ausgedrückt, hätte vollständig ausgelaugter Beton eine Endfestigkeit, die nur 60 bis 80% höher läge als die 28-Tage-Festigkeit, anstatt 100% höher, wie üblich.
Diese einseitige und einfache Beurteilung ist aber fragwürdig, da sie auf der Annahme beruht, dass die Auslaugung gleichmässig über das ganze Betonvolumen erfolgt. In Wirklichkeit sind davon natürlich nur schmale Bereiche entlang der Sickerwege betroffen. Dort wird dann aber nicht nur das Kalkhydrat herausgelöst, sondern auch der Zementstein angegriffen und zerstört. Die Hohlräume werden aufgeweitet und die Sickerwassermenge steigt.
Ob also ein Auslaugungsgrad gefährlich ist oder nicht, hängt nicht von seiner absoluten Grösse ab. Es gibt keine kritische Grenze. Für die Beurteilung viel wichtiger ist der zeitliche Verlauf der Sintermengen und der Sickerwassermengen. Wenn sie stetig oder gar progressiv zunehmen, sind unabhängig von der absoluten Grösse Gegenmassnahmen empfehlenswert, z.B. in Form von Injektionen. Dazu hat man genügend Zeit, da die Vorgänge in jedem Fall äusserst langsam ablaufen.
Übrigens sind die Messwerte bei der Staumauer Garichte auch von daher gesehen unbedenklich.

Frosteinwirkung

Die Frosteinwirkung lässt sich wesentlich sicherer beurteilen als die Sinterungen, da sie zuerst die Betonoberfläche betrifft. Dort treten mehr oder weniger tiefe Abplatzungen auf, bei Staumauern vorzugsweise im Bereich des Wasserspiegels.
Der Grund dafür ist die Tatsache, dass Beton dann und nur

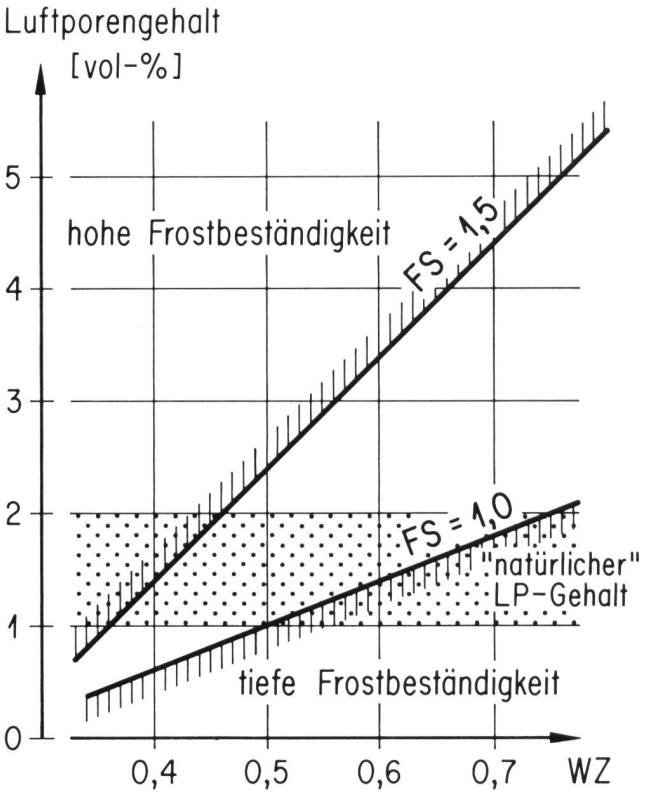


Bild 3. Frostbeständigkeit in Abhängigkeit vom Wasserzementwert (WZ) und vom Luftporengehalt (LP).

dann durch Frost zerstört wird, wenn er beim Gefrieren zu viel Wasser enthält: Der sogenannte kritische Sättigungsgrad muss überschritten sein. Beton verhält sich demnach bei Frost genau gleich wie eine Wasserflasche in der Tiefkühltruhe (Bild 2).

Der kritische Sättigungsgrad ($S_{kr} = U_{kr}/n$) seinerseits ist von der Gesamtporosität (n) und vom Gehalt an Luftporen (LP) abhängig. Für «normalen» Konstruktionsbeton ergab sich die Beziehung

$$U_{kr} = 0{,}94\ n - 0{,}37\ \mathrm{LP} + 0{,}3$$

Die Gesamtporosität setzt sich zusammen aus den Gel-, Kapillar- und Luftporen und kann, wie wir gesehen haben, aus der Betonzusammensetzung abgeleitet werden.
So ergibt sich schliesslich eine Beziehung zwischen WZ-Wert, LP-Gehalt und Frostbeständigkeit. In Abb.3 ist sie dargestellt für Beton mit 300 kg/m³ Zementgehalt im Alter von 28 Tagen und unter der Annahme, dass die Betonoberfläche bei gleichem LP-Gehalt 20% mehr Zement und Wasser enthält als der Innenbeton.
Hohe Frostbeständigkeit ist zu erwarten, wenn der Beton 1,5mal soviel LP enthält, wie zum Vermeiden von Frostschäden gerade notwendig sind ($FS = LP/n - U_{kr} \geqslant 1{,}5$).

Aus der Darstellung ist ersichtlich, dass für Gussbeton, der nach den damals gemessenen Druckfestigkeiten einen WZ-Wert von 0,7 bis 0,8 aufweist, für hohe Frostbeständigkeit LP-Gehalte von über 5 Vol.-% angestrebt werden müssten.
Der natürliche LP-Gehalt liegt jedoch etwa bei 1 Vol-%. Die Frostbeständigkeit ist also sehr schlecht, was durch die Schäden an entsprechenden Staumauern bestätigt wird.
Andererseites reicht bei einem WZ-Wert um 0,5 beinahe schon der natürliche LP-Gehalt aus, um eine hohe Frostbeständigkeit zu erreichen. Dies ist der Grund, weshalb die Frosteinwirkung seit der Abkehr von Gussbeton und erst

recht seit der Anwendung von LP-Mitteln kein Problem mehr darstellt.
Wenn Schäden auftreten, hat man zudem bei den Staumauern, die «reine» Betonbauten sind, immer genügend Zeit zu reagieren. Schliesslich besteht z.B. im Aufbringen einer Spriztbetonschicht eine bewährte Möglichkeit, die Schäden zu stoppen.

Schluss

Die Sinterungen und die Frosteinwirkung sehen schlimmer aus, als sie wirklich sind. Der Beton hat sich einmal mehr als gutmütiger Baustoff gezeigt. Beide Erscheinungen sind jedoch trotzdem im Auge zu behalten. Probleme können nämlich dennoch auftreten, wenn bei einem ungünstigen Verlauf nicht rechtzeitig reagiert wird.
Dieses Problem allerdings scheint bei den scharf beobachteten Talsperren nicht zu existieren.

Literatur

[1] *E. Koelliker*: Beton unter Wasser: Selbstschutz oder Auflösung des Gefüges. «Cementbulletin» Mai 1987, Jahrgang *55* Nummer 17, TFB, Wildegg.

Vortrag gehalten an der Studientagung des Schweizerischen Nationalkomitees für grosse Talsperren vom 8. und 9. September 1988 in Flims.

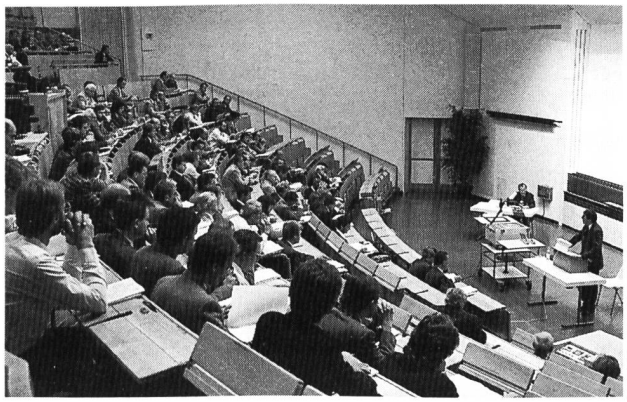
Adresse des Verfassers: *Werner Studer*, dipl. Ing. ETH, Chef der Abteilung Beton, Bindemittel an der EMPA, Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, Überlandstrasse 129, CH-8600 Dübendorf.

77. Hauptversammlung des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes und Internationales Symposium über Erosion, Abrasion und Kavitation im Wasserbau

Mittwoch bis Freitag, 19. bis 21. Oktober 1988, an der ETH Zürich

Der erste Tag des internationalen Symposiums war dem Themenkreis Grundlagen, Modelluntersuchungen gewidmet, der 20. Oktober den Themata Schäden an wasserbaulichen Konstruktionen und Schäden an hydraulischen Maschinen. Um 17 Uhr fand die 77. Hauptversammlung des Verbandes statt. Im ETH-Hauptgebäude luden der Kanton und die Stadt Zürich zu einem Apéritif ein. Am Abend wurde das gemeinsame Nachtessen durchgeführt. Am Freitag, 21. Oktober, wurden Referate über Schäden an hydraulischen Maschinen (Fortsetzung) und Einsatz von erosionsbeständigen Materialien gehalten.
Es konnten 32 namhafte Referenten aus dem In- und Ausland gewonnen werden.
Am Mittwochnachmittag, 19. Oktober, konnte die Versuchsanstalt für Wasserbau besichtigt werden. Die Damen erhielten die Gelegenheit, die Schokoladenfabrikation Lindt & Sprüngli AG, Kilchberg, zu besuchen.
Am Symposium nahmen 260 Personen aus dem In- und Ausland teil. Die Versuchsanstalt für Wasserbau wurde von 100 Teilnehmern besucht. 39 Damen und Herren nahmen an der Exkursion zur Schokoladenfabrik Lindt & Sprüngli teil.

Theo Fischer, Nationalrat, Hägglingen, eröffnete am Mittwoch, 19. Oktober, 10 Uhr, als Präsident des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes die Fachtagung im Scherrer-Hörsaal der ETHZ.



Symposium über Erosion, Abrasion und Kavitation im Wasserbau

Im Brennpunkt des Interesses stehen Schäden und Gegenmassnahmen an Anlagen der Wasserkraftnutzung, des Hochwasserschutzes, des Flussbaues, des Wildbachverbaus und der Binnenschiffahrt. Dabei geht es um örtlich begrenzte Begriffe des Wassers, die die Sicherheit oder die Funktionsfähigkeit von Wasserbauten und hydraulischen Maschinen (Turbinen und Pumpen) beeinträchtigen beziehungsweise gefährden. Es wird grosses Gewicht auf Erfahrungen und praxisnahe Lösungen gelegt.
Firmen, die sich mit diesem Problem befassen, erhalten die Gelegenheit, ihre Produkte auszustellen.

Nationalrat *Theo Fischer* eröffnet die Tagung im Namen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie und des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes mit folgenden Worten:

«Erosion, Abrasion und Kavitation sind drei nahe verwandte Phänomene, die im Wasserbau gerade an zwei Orten oft Schwierigkeiten bereiten: bei Turbinen und Pumpen einerseits und bei Betonkonstruktionen andererseits.
Diese Duplizität gibt uns Gelegenheit, Maschinen- und Bauingenieure heute zu einem interdisziplinären Gespräch an den gleichen Tisch zu bringen. Aber nicht nur diese beiden Richtungen sind heute vertreten: Auch die Elektriker, die Volkswirte und Juristen sind da. In verschiedensten Positionen in Industrie, im Kraftwerkbetrieb und in der Verwaltung haben sich viele Stellen mit diesen drei Phänomenen zu befassen. Denn die Schäden, die dadurch entstehen, kosten zu ihrer Behebung viel Geld und viel Energie. Sie kosten besonders dann sehr viel, wenn noch Fehler bei der Behandlung der Phänomene gemacht werden.
Den Referenten möchte ich hier meinen besonderen Dank aussprechen. Sie sind es, die uns ihre grosse Erfahrung mitteilen, die uns ihr Wissen vermitteln. Es freut mich, dass viele von ihnen von ihrer Tätigkeit an vorderster Front berichten können und dies auch sehr freimütig tun werden.
Bei dieser Gelegenheit möchte ich auch den Betreibern unserer Wasserkraftanlagen einmal für ihre Arbeit danken. Zwar dreht das Wasser die Turbinen; Generatoren wandeln dann die Wasserkraft in Strom um. Aber nicht immer ‹von selbst›. Es bedarf für den langfristig sicheren, optimalen Betrieb der Kontrolle des Menschen, seiner Kenntnisse, seiner Entscheidungen und seiner Arbeit. Nur dank dem zuverlässigen Betriebspersonal können wir in der Schweiz wie auch im benachbarten Ausland eine so extrem hohe Verfügbarkeit der Wasserkräfte registrieren.