Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 71 (1953)

Heft: 8: Sonderheft zum Geburtstag von Prof. Dr. E. Meyer-Peter. 1. Teil

Artikel: Bauwerke aus Massenbeton, insbesondere Talsperren: Einführungsvorlesung

Autor: Schnitter, Gerold

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-60505

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: 04.02.2026

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

untersuchten Gewölbes können wir einen kritischen Horizontalschub von

$$H_{Kr} \cong 200 \frac{E J_s}{l^2}$$

ausrechnen, einen Wert also, der dank der gegen die Kämpfer stark anwachsenden Steifigkeit sehr hoch liegt und jede Knickgefahr mit hoher Sicherheit ausschliesst.

Bei der Ausführung hätte wohl die Erstellung des gewaltigen Lehrgerüstes besondere Schwierigkeiten verursacht. Es ist mir kein Entwurf Leonardos für ein so grosses Lehrgerüst bekannt, wie es hier nötig gewesen wäre, aber seine Entwürfe für die Lehrgerüste kleinerer Gewölbe, für die Bild 9[11]) ein Beispiel darstellt, zeigen, mit welch klarer Folgerichtigkeit er eine möglichst direkte Ableitung der Belastungen auf die Auflagepunkte angestrebt hat. Ich vermute, dass der Abschnitt seines Briefes an Sultan Bajezid, in dem von Spundwänden («Bretterverschlägen») und Pfählen die Rede ist, sich auf die Fundation des Lehrgerüstes und nicht auf diejenige der Brücke selbst bezieht, denn es darf aus den Proportionen seiner Brückenskizze doch wohl geschlossen werden, dass er an eine Fundation der Brücke auf dem gewachsenen Fels gedacht hat. Leonardo hat durchaus die mathematischen Kenntnisse besessen, die nötig sind, um die Grösse der hier auftretenden Gewichte und Belastungen zu berechnen und es darf ihm, der gesagt hat «E però, o studianti, studiati le matemtiche e non edificate senza fondamenti» wohl zugemutet werden, dass er diese mathematischen Kenntnisse hier auch angewendet hätte.

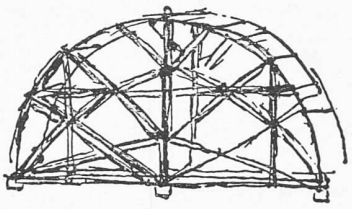

Bild 9. Lehrgerüst

Zusammenfassend dürfen wir mindestens feststellen, dass, wenn vor 450 Jahren ein Mensch gelebt hat, der auf Grund seines Wissens und Könnens imstande war, die Brücke über das Goldene Horn mit einer Spannweite von gegen 300 Metern zu verwirklichen, dieser Mensch der damals fünfzigjährige Leonardo — und nur Leonardo — war. Seine Brückenskizze ist im Zusammenhang mit den wissenschaftlichen Grundlagen, die er zur Theorie des Brückenbaues oder, in erweitertem Sinne, zur Wissenschaft der Mechanik beigetragen hat, zu würdigen, und damit wird sie zu einem Symbol jenes grossartigen Satzes, mit dem Leonardo den Uebergang vom empirisch-handwerklichen Bauen zum wissenschaftlich fundierten Konstruieren vollzogen hat: «Studia prima la scienza, e poi séguita la pratica, nata da essa scienza.»

[11]) Nach Ms. B, fol. 67 verso.

Bauwerke aus Massenbeton, insbesondere Talsperren

Einführungsvorlesung von Prof. GEROLD SCHNITTER, gehalten am 8. Nov. 1952 in der ETH Zürich

DK 627.82 : 666.97

Einleitung

Bauwerke aus Massenbeton sind solche, die in Längs- und Querschnitt Abmessungen aufweisen, die das Einbringen und Verarbeiten von grossen Massen des in der Nähe der Baustelle künstlich hergestellten Baustoffes Beton in kurzer Zeit verlangen. Wir kennen verschiedenartige Typen von solchen Bauwerken, wie Schiffsschleusen, Trockendocks und insbesondere Talsperren. Wir verfügen auch schon über eine ausgedehnte Erfahrung in der Projektierung und der Ausführung von Bauten aus Massenbeton, und trotzdem ist es eine Tatsache, dass immer wieder von aufgetretenen Schäden berichtet werden muss. Ein Zeichen dafür, dass wir noch weit davon entfernt sind, sämtliche Faktoren, die zu vollem Erfolge führen müssten, genau zu kennen bzw. zu würdigen.

In der Schweiz wurden bereits in der Zwischenkriegszeit einige wenige grosse Bauwerke aus Massenbeton hergestellt und zwar sind die bedeutendsten die Staumauern: im Schräh der AG. Kraftwerk Wägital, Barberine der SBB im Kanton Wallis, Grimsel-Staumauern der Kraftwerke Oberhasli, Dixence der EOS im Wallis. Ueber ihr Verhalten orientieren die verschiedenen in der Fachliteratur bekanntgegebenen Beiträge und insbesondere die sehr aufschlussreichen «Messungen, Beobachtungen und Versuche an Schweizerischen Talsperren 1919—1945», redigiert von der Schweiz. Talsperrenkommission und herausgegeben vom Eidgenössischen Oberbauinspektorat. Mit der intensiven Entwicklung des Ausbaues der Wasserkräfte in der ganzen Welt, wobei die Schweiz nur einen kleinen, wenn auch charakteristischen Ausschnitt darstellt, hat nun aber insbesondere nach dem letzten grossen Kriege eine stürmische Entwicklung auf dem Gebiete des Baues von Staumauern eingesetzt. Es gehört nicht in den Rahmen dieser Vorlesung, die Gründe dazu aufzuzeigen; stellen wir nur die offensichtliche Tatsache fest, dass in einer Grosszahl von Ländern grosse Mauern zum Zwecke des Abschlusses von Talbecken im Bau sind und noch mehr projektiert werden. Wir stellen ebenfalls fest, ohne auch hier den Gründen nachzugehen, dass diese Mauern immer grössere Dimensionen aufweisen und gleichzeitig in kürzerer Zeit, als dies früher der Fall war, gebaut werden müssen.

Die Verhältnisse in unserem eigenen Lande legen dafür ein beredtes Zeugnis ab. Während in den rund 20 Jahren der Zwischenkriegsperiode die vier oben erwähnten Staumauern mit einem totalen Betonvolumen von rund 1 350 000 Kubikmeter gebaut wurden, ergeben die seither gebauten oder im Bau begriffenen Mauern von je über 100 000 m³ Betonvolumen (Lucendro, Rätherichsboden, Rossens, Cleuson, Oberaar, Salanfe, Mauvoisin, Grande Dixence, Sambuco) ein Total von rund 10 550 000 m³. Dazu treten noch die zur Ausführung in diesem Dezennium bestimmten aber noch nicht begonnenen Talsperren hinzu: Lienne, Gougra, Val di Lei, oberes Maggiatal, Zervreila, Spöl mit total 4 650 000 m³, somit total 15 200 000 m³.

Es ergibt sich daraus, dass in den 15 Jahren von 1945 bis etwa 1960 Staumauern von total rund 15 Mio m³ Beton gebaut werden, was einer Investition von über 1 Milliarde Schweizerfranken Kapital allein in diesen Bauwerken entspricht. Dies stellt nicht nur eine grosse Summe Geldes dar, sondern vor allem eine gewaltige Leistung an menschlicher Anstrengung aller daran Beteiligten vom Handlanger bis zu den obersten Spitzen der verantwortlichen technischen und administrativen Leitung. Es ist deshalb dafür Sorge zu tragen, dass dieser Leistungsaufwand von Erfolg gekrönt sei. Soweit dies von der Technik abhängt, ist somit der Ingenieur, der projektierende und der ausführende, in erster Linie dafür verantwortlich.

Allgemeines über Projekt und Bau

Es wurde bereits einleitend erwähnt, dass die Entwicklung im Bau grosser Talsperren insbesondere dahin geht, die Dimensionen zu steigern bei gleichzeitiger wesentlicher Verkürzung der Bauzeiten, wodurch Tagesleistungen entstehen, die vordem für unmöglich gehalten wurden. Heute werden von einer zentralen Betonfabrik aus in ein einzelnes Bauwerk Betonkubaturen bis zu 6000 m³ pro Tag und mehr eingebracht (Grande-Coulée-Sperre z. B. 15 000 m³ maximale Tagesleistung). Diese Steigerung des Baufortschrittes, ein weiteres Symptom unserer auf Tempo eingestellten Zeit, ist im wesentlichen eine Folgerung wirtschaftlicher Ueberlegungen. Sie hat, was uns hier besonders interessiert, eine Reihe konstruktiver und ausführungstechnischer Probleme aufgeworfen, bzw. von grösserer Bedeutung erscheinen lassen, als dies beim herkömmlichen Arbeitstempo der Fall war.

Wir können diesen Vorgang überall feststellen, insbesondere natürlich in den USA. Dieses Land hat aus den verschiedensten Gründen (Hochwasserschutz, Flussregulierung, Bewässerung, Trinkwasserversorgung, Kraftgewinnung) eine bedeutende Zahl von Talsperren gebaut und verfügt deshalb über eine ausgedehnte und relativ nicht allzu kurze Erfahrung. Dass in diesem Lande der Bauzeitverkürzung eine ganz besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird, ist ohne weiteres verständlich. Es ist deshalb interessant und lehrreich, die Methoden des Talsperrenbaues in den USA sowie unserer europäischen Nachbarn mit den eigenen zu vergleichen, Tendenzen und Auffassungen miteinander und gegeneinander abzuwägen unter sorgfältiger Einschätzung der jeweiligen besonderen Verhältnisse. Ein solcher Vergleich deckt Gleich-

heiten und Aehnlichkeiten auf, stellt aber auch sehr stark auseinandergehende Ansichten fest. Es muss aber nachdrücklich betont werden, dass bei Uebertragung ausländischer Methoden und Erfahrungen ausserordentlich vorsichtig und umsichtig vorgegangen werden muss, denn die Verhältnisse in topographischer, geologischer und klimatischer, wirtschaftlicher, sozialer und soziologischer Hinsicht usw. sind verschieden von Land zu Land und von Bau zu Bau, so dass bei oberflächlichen oder rasch gezogenen Vergleichen und Verallgemeinerungen leicht Fehlschlüsse unterlaufen. Es ist immer zu bedenken, dass der Bau einer grossen Talsperre an einem gegebenen Orte unter genau umrissenen Verhältnissen eine bestimmte, in dieser Form nur einmal auftretende Bauaufgabe ist. Die Grösse dieser Aufgabe und ihr kostenmässiger Einsatz verpflichten zum eingehenden Studium desselben als Einzelfall. In diesem Sinne mögen auch die nachstehenden Ausführungen aufgefasst werden, die aus der Fülle der vielen Probleme einige der wesentlichsten kurz behandeln.

Betontechnik

Berechnung, konstruktive Ausbildung und Bauausführung haben auszugehen vom verwendeten Baustoff, dem Massenbeton mit seinen spezifischen Eigenschaften. In der Entwicklung des Betons, dessen wesentlichste allgemeine Eigenschaften hier als bekannt vorausgesetzt werden, sind in den letzten Jahren einige wichtige Fortschritte erzielt worden.

Die Tatsache, dass die Qualität eines Betons, d. h. seine Dichte, seine Druck- und Zugfestigkeit, seine Widerstandsfähigkeit gegen Frost und aggressive Wässer, seine Dauerhaftigkeit usw. mit abnehmendem Gehalt an Anmachwasser zunimmt, ist seit langem bekannt. Ausgedrückt wird dies seit Abrahams durch den sog. Wasserzementfaktor, d. h. durch das Verhältnis des Gewichts des Anmachwassers und des in den Zuschlagstoffen (Sand) enthaltenen Gehaltes an Porenwasser zum Gewichte des beigegebenen Zementes. Je niedriger der Wasserzementfaktor, desto besser der Beton. Der Wassergehalt findet aber seine untere Grenze in der Verarbeitbarkeit des Frischbetons. Dieser muss transportiert und eingebracht werden können, ohne dass eine Entmischung stattfindet. Die *Einführung der künstlichen Vibration* des frisch eingebrachten Betons, das Rütteln, hat es erst ermöglicht, sehr trocken gemischten Beton mit einem Wasserzementfaktor um 0,5 bis 0,6 trotzdem gut zu verarbeiten. Mit Recht wird deshalb die Verwendung gerüttelten Betons im Betonbau und im Massenbeton heute allgemein vorgeschrieben. Es gelingt dabei, Beton mit einem spezifischen Gewichte von 2,50 und mehr erzeugen bei einem spezifischen Gewicht des als Zuschlagsstoff verwendeten Gesteins von 2,65 bis 2,75. Die Einführung des Rüttelns bedeutete einen wesentlichen Fortschritt in der Betontechnik, und noch sind lange nicht alle Möglichkeiten, die im Prinzip der Vibration liegen, ausgeschöpft. Es ist eine Sache des Maschineningenieurs, dem Bauwesen leistungsfähige und genügend robuste Rüttler zu liefern.

In der selben Richtung der Verringerung des Wassergehaltes wirkt die *Verwendung möglichst grobkörniger Zuschlagstoffe*. Immerhin gehen bereits hier die Anschauungen verschiedener Fachleute auseinander. In den USA wird bei Talsperren durchgehend ein Maximalkorn von 150 mm verwendet, in Italien, wo der Talsperrenbau unter der Führung hervorragender Ingenieure einen hohen Stand erreicht hat, werden kleinere Körnungen bevorzugt. In Frankreich wiederum geht man bis zu 250 mm Korngrösse und in Deutschland besteht die Tendenz zu noch gröberen Zuschlägen. Bei uns hält man sich ungefähr an die amerikanischen Erfahrungen. Es scheint dem Sprechenden richtig, für den eigentlichen Massenbeton im Innern einer Talsperre das grösstmögliche Korn zu gebrauchen, das noch eine sichere Verarbeitung gestattet. Dieses liegt bei den heutigen Verdichtungsgeräten und den vorhandenen Möglichkeiten des Mischens und Einbringens bei ungefähr 150 bis 200 mm. Uebersteigt das Maximalkorn diese Dimensionen, so müssen die Mischer anders konstruiert und vor allem noch kräftigere Rüttelgeräte als die üblichen Tauchrüttler verwendet werden. Auch scheint es, dass der Gewinn an Betongüte bei noch gröberem Zuschlagsmaterial verhältnismässig zum anwachsenden Aufwand für Verarbeitung und Verdichtung gering ist. Ein abschliessendes Urteil könnte allerdings erst gefällt werden bei Vornahme eingehender vergleichsweiser, systematischer Untersuchungen an grossen Probekörpern.

Neben der Wahl des grössten Korndurchmessers ist von ausschlaggebender Bedeutung die Menge und die *Zusammensetzung des Fein- und Feinstkornes*. Auch hierbei ist seit langem bekannt, sowohl aus theoretischen Ueberlegungen, wie aus Versuchen an Probewürfeln, dass insbesondere das Feinstkorn unter 0,2 mm viel Wasser und Zement verschlingt. Die praktische Konsequenz aus dieser bekannten Tatsache wurde und wird jedoch nur selten gezogen. Es rührt dies wohl daher, dass es noch keine Aufbereitungsmaschinen gibt, die in durchschlagender, einwandfreier und wirtschaftlicher Form die Trennung des Feinstkornes aus dem Sande für grosse Leistungen gestattet. Und doch wäre die Aufteilung des Sandes nach einzelnen Komponenten unter Zugabe des nur unbedingt notwendigen Anteils an Feinstem von grösstem Werte für die Verringerung der Wasserzugabe und damit des Wasserzementfaktors oder anders ausgedrückt, für die Verringerung des Bindemittelgehaltes bei gleichbleibendem Wasserzementfaktor.

Damit kommen wir zum Kernproblem des Massenbetons, nämlich zur *Wahl des Bindemittels und dessen Menge (Dosierung)*. Das Bindemittel ist die wichtigste Komponente des Betons, es bestimmt in erster Linie dessen Eigenschaften. Wesentlich ist deshalb, dass das gewählte Bindemittel in zuverlässig gleichmässiger Güte vorhanden ist. Die Baustelle muss sich darauf verlassen können, dass das angelieferte Bindemittel den gestellten Bedingungen immer und unfehlbar entspricht. Die Kontrolle des angelieferten Bindemittels zeitigt ihre Ergebnisse in den allermeisten Fällen erst in einem Zeitpunkt, in welchem das Bindemittel bereits als Beton eingebracht ist. Fehlerhafte Lieferungen können deshalb höchstens nachträglich festgestellt werden, ihre Verwendung im Bauwerk dürfte aber selten vermieden werden können. Wir besitzen bekanntlich im Portlandzement ein Bindemittel, das weitgehend dieser Forderung nach gleichmässiger Güte und den anderen notwendigen Bedingungen, denen ein hydraulisches Bindemittel zur Erzeugung eines guten Betons genügen muss, entspricht. Insbesondere verfügen wir in der Schweiz über einen erstklassigen Portlandzement. Aus diesem Grunde ist bei uns bis heute der Massenbeton ausschliesslich mit Hilfe von Portlandzement hergestellt worden. Nun ist aber bekanntlich der Abbindevorgang des Zementes und sein Erhärten mit dem Freiwerden einer gewissen Wärmemenge verbunden, der Abbinde- oder *Hydratationswärme*. Diese frei gewordene Wärme erzeugt nun ihrerseits eine Erwärmung des Frischbetons. Gleichzeitig setzt die Abkühlung ein durch Wärmeabgabe an die kältere Umgebung. Der Erhärtungsvorgang des Frischbetons ist somit begleitet von einer Erwärmung mit anschliessender Abkühlung. Die Höhe des Temperaturanstieges (Maximaltemperatur) und der zeitliche Temperaturverlauf hängen dabei von verschiedenen Faktoren ab, wie Anfangstemperatur des Wassers, der Zuschlagstoffe und des Bindemittels, Abmessungen des Baukörpers, Bauvorgang und Baufortschritt, Nachbehandlung, spezielle konstruktive Massnahmen, Verlauf der Aussentemperatur und vor allem von der Art und Menge dieses Bindemittels. Temperaturerhöhungen des Frischbetons um die 30 ° C bei Portlandzementbeton von 250 kg PZ pro m³ Beton sind dabei schon oft gemessen worden. Erst nach einer langen Zeit der Abkühlung, bei den im Massenbetonbau üblichen Abmessungen erst nach Jahren, tritt ein Temperaturausgleich innerhalb des Betonkörpers ein. Infolge dieser Temperaturunterschiede innerhalb eines Betonkörpers treten im Beton Beanspruchungen auf, die durch ihre Grösse zu Rissbildungen führen können. Mit den zunehmenden Ausmassen der Betonkörper und mit den sich gleichzeitig steigernden kurzfristig einzubauenden Betonmengen wächst die Bedeutung der durch die Hydratationswärme erzeugten Temperaturänderung. Betrachten wir z. B. einen Betonierbetrieb von rund 5000 m³ pro Tag (Grande Dixence), so ergibt sich bei einer Zementdosierung von 200 kg PZ pro m³ Beton und einer Wärmeabgabe von 80 kcal pro kg Zement, was ungefähr der Abgabe innerhalb der ersten Tage gleichkommt, eine totale Wärmemenge, der Grössenordnung nach, von 80 Mio kcal, eine Wärmemenge, die der Verbrennung von rund 10 t erstklassiger Anthrazitkohle entspricht.

Im Massenbetonbau wurde deshalb sehr bald der *Temperaturkontrolle* grösste Beachtung geschenkt. Wir werden später erneut darauf zurückkommen. Vorläufig möge ledig-

lich festgehalten werden, dass die Art und die Menge des Bindemittels in entscheidender Weise die entstehende Abbindewärmemenge beeinflusst. Es wurden deshalb insbesondere in den USA Bindemittel gesucht, die einerseits beim Abbinden eine geringere Abbindewärme erzeugen und bei denen anderseits die Wärme sich zeitlich langsamer entwickelt.

In den USA wird im Massenbetonbau ausschliesslich sogenannter «low-heat» Zement, entweder Typ II oder IV, aber nie der normale Portlandzement Typ I verwendet. Ausserdem steht heute mehr und mehr die Tendenz im Vordergrund, einen Teil des *Zementes durch andere hydraulische Bindemittel mit geringerer Abbindewärme zu ersetzen.* In erster Linie sind hierbei die puzzolanartigen Bindemittel zu erwähnen, natürliche Puzzolane oder Flugasche, Hochofenschlacke, Trass. Ohne näher auf diese in sämtlichen Ländern im Massenbetonbau festzustellenden Bestrebungen näher einzugehen, möchten wir ihre Wichtigkeit betonen und erwähnen, dass auch bei uns in neuester Zeit ähnliche Versuche unternommen werden. Es fällt uns in der Schweiz natürlicherweise besonders schwer, für die bedeutenden Bauwerke das bewährte Bindemittel, den Portlandzement, ganz oder teilweise aufzugeben und einzutauschen mit einem noch wenig bekannten und erprobten. Bevor ein solcher Schritt getan wird, muss nicht nur eine zwingende Notwendigkeit vorliegen, sondern auch die durch eingehende Versuche gestützte Ueberzeugung, dass das zu wählende neue Bindemittel allen Erfordernissen, insbesondere auch jenen unserer rauhen Winter entspricht.

Ein weiteres und gleichzeitig das einfachste Mittel, die Abbindewärmemenge zu verringern, ist, den *Zementgehalt* auf das unbedingt erforderliche Minimum zu bringen, soweit dies den Kernbeton betrifft. Die Verminderung des Zementgehaltes zieht unmittelbar eine praktisch prozentual gleich grosse Verminderung der erzeugten Wärmemenge nach sich. Vom Standpunkt der Festigkeit aus lässt sich in einer Gewichtsmauer im Innern eine Dosierung bis zu 150 kg PZ pro m³ und selbst noch weniger rechtfertigen. In einer Bogenmauer sollte nur so viel Zement zugegeben werden, als mit Rücksicht auf die erhöhte Beanspruchung an Festigkeit verlangt werden muss. Der Verkleidungsbeton von 1,50 bis 2,00 m Stärke bedarf besonders in unseren Verhältnissen mit Rücksicht auf Frost und Tau spezieller Aufmerksamkeit. Mischungen unter 250 kg PZ pro m³ sind wohl kaum am Platze. Die richtige Wahl des Zementgehaltes bzw. des Gehaltes an Bindemittel ist in vollem Bewusstsein der übernommenen Verantwortung zu treffen. Der Bindemittelgehalt bestimmt einerseits die Güte des Baustoffes Beton, beeinflusst aber anderseits auch ganz besonders die Kosten. Bei unseren schweizerischen Verhältnissen kann für eine grössere Talsperre im Gebirge gerechnet werden, dass der Zement allein bei einer Mischung von 250 kg PZ pro m³ rund 35 % der Gesamtkosten einer Talsperre ausmacht. Eine Reduktion um 50 kg PZ ergibt somit eine Kostenersparnis, auf das ganze Objekt bezogen, von 7 %.

Die Verringerung des Zementgehaltes hat eine weitere Erschwerung der Verarbeitbarkeit zur Folge. Das Rütteln des Betons wird schwieriger. Hier springt nun ein ursprünglich aus den USA übernommener *Zusatz* glücklich ein. Durch Zufall wurde entdeckt, dass durch Beimengung von natürlichen Holzharzen, Fetten und Oelen in geeigneter Form zu den Zuschlagstoffen während des Mischvorganges im Beton feine, nicht zusammenhängende Luftporen entstehen. Ausser anderen Vorteilen, unter welchen besonders die erhöhte Frostbeständigkeit erwähnt werden soll, erhält man dadurch einen bedeutend leichter verarbeitbaren Frischbeton. In den vierziger Jahren ist der Beton unter Luftporeneinschluss in den USA eingehend untersucht und in ständig steigendem Masse verwendet worden. Verschiedene luftporenerzeugende Zusätze, sogenannte «air-entraining»-Zusätze, sind im Handel erhältlich und werden nun auch seit einiger Zeit in der Schweiz von Spezialfirmen hergestellt. Der günstige Einfluss dieser Zusätze, vor allem bei mageren Mischungen, steht ausser Zweifel; sie gestatten, den Wasser- und Feinsandgehalt bei gleichem Zementgehalt zu verkleinern oder bei kleinerem Zementgehalt den Wasserzusatz zu belassen. Sie werden in Zukunft wohl in jedem Massenbetonbau mit mageren Mischungen verwendet werden.

Temperaturkontrolle

Wir erwähnten bereits, dass im Massenbetonbau der Temperaturkontrolle grösste Beachtung geschenkt werden muss. Die diesbezüglichen Massnahmen sind mannigfaltig, teils wurden sie bereits bei den ersten Massenbetonbauten entwickelt, teils erst in letzter Zeit mit der wachsenden Besorgnis über die Folgen der starken Wärmeentwicklung beim Abbinden der immer grösser werdenden Betonmassen.

Rechnerisch lässt sich der Wärmeaustausch in einem allseitig isotropen Kontinuum nach der bekannten partiellen Differentialgleichung von Fourier untersuchen. Sie gibt die zeitliche Aenderung der Temperatur an einer Stelle durch Wärmeleitung an in Abhängigkeit von der Temperaturverteilung um diese Stelle.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

[siehe: «Cooling of Concrete Dams», Boulder Dam Final Reports, by Bureau of Reclamation, 1949.]
wobei

T = Temperatur in einem Punkte in °C
t = Zeit in Stunden
x, y, z = Koordinaten im rechtwinkligen Koordinatensystem
a = Temperaturleitzahl = $\frac{\lambda}{c\gamma}$ in m²/h
γ = Wärmeleitzahl in kcal/m, h, °C
c = spez. Wärme in kcal/kg, °C
λ = spez. Gewicht in kg/m³

Sind die Grenzbedingungen der Temperaturverteilung im Körper bekannt, so liefert die Integration den zeitlichen Verlauf der Temperaturverteilung und damit des Wärmeflusses an jeder Stelle.

Die Temperaturleitzahl a (diffusivity) hängt in erster Linie von der petrographischen Zusammensetzung der Zuschlagstoffe ab, ferner vom Wassergehalt, vom Zementgehalt und ein wenig von der Temperatur selbst. Die Leitzahl kann nach den umfangreichen amerikanischen Messungen sehr stark variieren. Je grösser sie ist, desto rascher erfolgt der Temperaturausgleich, desto günstiger werden bei einem Massenbetonbauwerk die Verhältnisse. Nach Messungen von Prof. A. Stucky beim Bau der Dixence-Mauer lag a bei 1,80 m² pro Monat; nach Messungen, die zurzeit an der EMPA für die Temperaturberechnungen an der Staumauer Mauvoisin an Versuchskörpern durchgeführt werden, ergibt sich für diesen Beton aus anderen Zuschlagstoffen eine Temperaturleitzahl von $a \cong 3{,}00$ m²/Monat. Die Rechnung ermöglicht es auch, die günstigsten Grundrissabmessungen eines Einzelblockes und den Einfluss der Blockhöhe auf den Temperaturverlauf zu bestimmen. Bekanntlich sind im Grundriss einer Mauer im Quersinne sog. Querfugen anzuordnen, deren Abstand 15 m nicht überschreiten soll, sofern keine künstliche Kühlung angeordnet wird, aber auch im Längssinne können Fugen notwendig werden, sofern die Mauerstärke ein gewisses Mass überschreitet. Längsfugen in einer Mauer, sei es nun eine Gewichts- oder eine Bogenmauer, verlangen aber weitgehende konstruktive Vorkehrungen, die das sichere Zusammenarbeiten des unterteilten Querschnittes gewährleisten; sie sollten deshalb auf das unbedingt Notwendige beschränkt werden.

Als einfache Massnahmen zur rascheren Abführung der entwickelten Abbindewärme werden die erwähnten *Querfugen als durchgehende Breschen,* sog. *Kühlspalten* ausgeführt, womit die für die Temperaturabstrahlung nötige freie Blockoberfläche wesentlich erhöht werden kann. Diese Kühlspalten von 1,20 bis 1,50 m Breite müssen aber nachträglich mit Beton ausgefüllt werden. Dieser nachträglich eingefügte Beton erwärmt nun seinerseits wieder den bereits abgekühlten Beton der beiden anstossenden Blöcke, ausserdem entstehen bei seiner Abkühlung Fugen zwischen ihm und den Nachbarblöcken. Diese Fugen sind gross genug, um Wasserdurchsickerungen zu ermöglichen, aber doch so schmal, um eine gründliche Injektion mit Zementmilch sehr zu erschweren, so dass ein anderes Injektionsgut, z. B. Silikate, dessen Körnung kleiner ist als jene von Zementmilch, verwendet werden muss. Die Erschwernisse einer einwandfreien Injektion, das doppelte Injektionssystem und die doppelte Schalfläche, die zur Herstellung der Fugenspalte notwendig sind, sowie die Mehrkosten für den später eingebrachten Beton sind Nachteile dieses Verfahrens.

Eine weitere Massnahme zur rascheren Abfuhr der Abbindewärme besteht in der Anordnung von zylinderförmigen Aussparungen in Blockmitte, sog. Kühlschächten, wie sie mit

Erfolg beim Bau der Staumauer Rossens[1]) auf Vorschlag des beratenden Ingenieurs, H. Gicot aus Fryburg, verwendet wurden. Die Wirksamkeit dieser Kühlschächte, für deren gute Ventilation auf natürlichem oder künstlichem Wege durch Einbau von Ventilatoren gesorgt werden muss, ist bedeutend. Sie wird erhöht, wenn die Schachtwände durch kaltes Wasser berieselt werden.

Die bis jetzt erwähnten Verfahren beruhen auf der natürlichen Kühlung durch die Umgebung und sind in ihren Auswirkungen beschränkt. Viel weitergehend sind die vornehmlich in den USA vom «Bureau of Reclamation» und vom «Corps of Engineers» entwickelten und bei den dortigen Massenbetonbauten allgemein angewandten Verfahren, auf *künstlichem Wege* zu kühlen. Dabei sind zwei grundsätzlich verschiedene Methoden zu unterscheiden, nämlich die Vorkühlung und die Nachkühlung.

Die *Vorkühlung* besteht darin, die Zuschlagstoffe, vornehmlich den Kies, durch bis auf 2° C abgekühltes Wasser ebenfalls abzukühlen und ferner das Anmachwasser abzukühlen oder es sogar teilweise durch Eis zu ersetzen. Auf diese Art gelingt es selbst in den heissen Gegenden der USA, die Temperatur des eingebrachten Frischbetons auf 10° C festzusetzen, wodurch die max. Temperatur des Betons bei einem Mittel von 150 kg PZ pro m³ Beton auf 25° C bis 30° C beschränkt werden kann. Diese Methode eignet sich vornehmlich in Gegenden mit relativ hohen mittleren Jahrestemperaturen. Denn schliesslich kommt es ja darauf an, dass die Temperatur im Beton im Zeitpunkt des Schliessens der Fugen möglichst nahe bei der mittleren Jahrestemperatur der Umgebung liegt, eher sogar tiefer, denn dann treten die geringsten Zusatzspannungen aus den Temperaturdifferenzen auf. Für unsere Verhältnisse, insbesondere im Hochgebirge, bei den tiefen, mittleren Jahrestemperaturen (z. B. 2° bei der Grande Dixence) eignet sich diese Methode kaum. Sie hat ausserdem den Nachteil, dass bei ihr das gute Ausinjizieren der Querfugen aus den selben Gründen, die bei der Spaltkühlung erwähnt wurden (zu geringe Fugenöffnung), auf Schwierigkeiten stösst und deshalb bei Bogenmauern kaum zur Anwendung gelangen sollte.

Die *Nachkühlung* des eingebrachten Betons besteht demgegenüber darin, dass in den Mauerkörper ein Netz von 20 bis 25 mm weiten Röhren in bestimmten Abständen eingelegt wird, und dass dieses Netz, vom Beginn der Betonierarbeiten an, während einer bestimmten Zeit von kaltem Wasser durchflossen wird, das die sich entwickelnde Abbindewärmemenge ständig abführt und sich dabei erwärmt. Die Rohrabstände und die Kühldauer richten sich nach dem gewünschten Ziele und können mit der oben angegebenen Formel berechnet werden. In den USA sind Rohrabstände von 1,50 m üblich, wobei rd. 14 Tage lang nach dem Einbringen des Betons und wiederum vor dem Fugenschluss während rd. 6 Wochen gekühlt wird. Die Kühldauer kann ohne weiteres verlängert und damit können die Rohrabstände vergrössert werden, was sich als wirtschaftlich erweisen wird, sofern, wie dies bei uns in der Regel der Fall sein dürfte, genügend kaltes Wasser, auf natürlichem Wege gewonnen, zur Verfügung steht. Dieses Verfahren hat den grossen Vorteil, dass es gestattet, während der Ausführung durch Aenderung der Kühldauer weitgehend die gewünschte Endtemperatur zu erreichen, und es gestattet ausserdem ein gutes Injizieren der Fugen mit Zementmilch, da sich diese durch die Kühlung genügend weit öffnen. Die Kosten dieses Verfahrens sind nicht unbeträchtlich, insbesondere fallen die Rohrkosten ins Gewicht, dafür kann aber gegenüber der Spaltkühlung an Schalung und Injektionsröhren gespart werden. Ausserdem dürften in diesem Falle die Abstände der Querfugen wesentlich erhöht werden (bis auf 22 bis 24 m), und die Längsfugen, sofern sie überhaupt noch nötig sind, werden sich auf den untersten, stärksten Mauerteil beschränken. Auch auf das Bauprogramm und damit auf die frühere Staumöglichkeit wirkt sich dieses Verfahren günstig aus. Für unsere Verhältnisse ist es deshalb angezeigt, in jedem Einzelfalle die Verwendung der Rohrkühlung rechnerisch eingehend zu prüfen.

Schlussbemerkungen

Wir haben in dieser kurzen Vorlesung nur einige Fragen und auch diese nur knapp behandeln können. Es wird immer deutlicher, dass bei der Erstellung grosser Bauwerke aus Massenbeton neben den Fragen der Konstruktion und Berechnung materialtechnische und ausführungstechnische Fragen an Bedeutung gewinnen und die einen nicht ohne gebührende Berücksichtigung der anderen behandelt werden sollen. Es ist dringend zu wünschen und zu fordern, dass mit der Abklärung der materialtechnischen Fragen in einem möglichst frühen Zeitpunkt der Projektierung begonnen wird. Viel Zeit und Geld könnte eingespart werden, würde dieser Grundsatz konsequenter befolgt. Wir finden glücklicherweise in unseren Hochtälern, wo die grossen Mauern liegen, oft ein vorzügliches Betonmaterial. Es handelt sich darum, durch richtige Auswahl desselben, sich beizeiten Rechenschaft über die zu erwartenden Festigkeiten des hergestellten Betons zu verschaffen. Dabei darf heute bei sachgemässer Ausführung und den notwendigen konstruktiven Massnahmen zur Verhütung oder Verringerung grosser zusätzlicher Beanspruchungen mit der zulässigen Betondruckspannung hoch gegangen werden. Dies gilt unserer Ansicht nach insbesondere für Bogenmauern. Je elastischer eine Mauer ist, desto mehr wird sie den Annahmen entsprechen, die wir beim heutigen Stand der Berechnungsmethoden noch zu machen gezwungen sind (Navier, Ebenbleiben der Querschnitte). Durch genaueres Anpassen unserer Berechnungsmethoden an die tatsächlichen Verhältnisse, unterstützt durch Untersuchungen am Modell und Messungen im Bauwerk und Erhöhung der zulässigen Betonspannungen bei gleichzeitiger Verbesserung und Vereinfachung der Aufbereitung, der Herstellung und des Einbringens des Betons wird es gelingen, schlankere Mauern zu bauen. Es handelt sich ja nicht nur darum, rechnerisch und konstruktiv richtig, materialtechnisch einwandfrei und dauerhaft, ästhetisch befriedigend, sondern auch wirtschaftlich zu bauen.

[1]) Siehe SBZ 1948, S. 641* ff.

MITTEILUNGEN

Die Deutsche Handwerksmesse in München dauert vom 9. bis 19. April 1953. Schwerpunkte der Handwerksmessen, die seit 1949 durchgeführt werden, bildeten stets das Bekleidungshandwerk, das Kunsthandwerk und das Möbel erzeugende Handwerk. Einen von Jahr zu Jahr sich vergrössernden Raum nimmt das technische Handwerk ein, das stets mit vielen interessanten Sonderkonstruktionen vertreten ist, da der nach eigenen Entwürfen arbeitende Handwerksbetrieb besser in der Lage ist, Sonderwünsche zu erfüllen, als der auf die grosse Serie eingestellte Industriebetrieb (optische und medizinische Geräte, Spezialmaschinen für Bauzwecke und zur Herstellung von Textilien und Posamenten, Pumpen).

Kautschuk-Ausstellung in Zürich. Die schweizerische Kautschukindustrie kann heute auf eine produktionstechnisch bedeutsame Entwicklung zurückblicken. Vor allem haben Vielfalt und Qualität ihrer Fabrikate einen hohen Stand erreicht. Eine namhafte Reihe ihrer Produkte zählen mit zum Besten, was Gummibetriebe überhaupt schon erzeugten. Ein Bild dieses Schaffens und einen Ueberblick über Herkunft und Verarbeitung von Rohkautschuk soll der Oeffentlichkeit gezeigt werden an einer thematischen Ausstellung, die das Internationale Kautschukbüro, Sektion Schweiz, in Zusammenarbeit mit der schweizerischen Kautschukindustrie auf das kommende Frühjahr vorbereitet. Diese Ausstellung wird vom 24. April bis 6. Mai in Zürich stattfinden.

VDI-Staubtagung in Essen (26. und 27. März 1953). An dieser vom Fachausschuss Staubtechnik veranstalteten Tagung werden von in- und ausländischen Fachleuten neben allgemeinen Themen («Ueber die Bedeutung von staubfeinen Verteilungen in neueren Weltentstehungstheorien» von Prof. Pascual Jordan, Hamburg; «Der Anteil des Staubes an der Bildung der Sedimentgesteine» von Prof. Dr. Correns, Göttingen; «Die Farbkörper der Urzeit» von Prof. Dr. Kühn, Mainz) auch praktische Fragen aus der Staubtechnik in grosstechnischen Anlagen, aus der Messtechnik im Staubwesen und aus einzelnen Industriezweigen behandelt. Nähere Auskunft erteilt der Verein Deutscher Ingenieure, Fachausschuss für Staubtechnik, Düsseldorf, Prinz-Georg-Strasse 77/79.

«Schweizer Technik». Diese Exportzeitschrift, die von der Schweizerischen Zentrale für Handelsförderung in Lausanne in Verbindung mit dem VSM in Zürich in fünf verschiedenen Sprachen herausgegeben wird, widmet ihre Nr. 3/1952 der Ausrüstung der hydraulischen und thermischen Kraft-