

Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht

Band: 2 (1936)

Artikel: Über die Verwendung von Beton beim Bau massiver Staumauern

Autor: Coyne, M.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-2737>

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: 15.07.2025

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

VI 2

Über die Verwendung von Beton beim Bau massiver Staumauern.

Remarques sur l'emploi du béton dans la construction
des barrages massifs.

The Use of Concrete in the Construction of Solid Dams.

Coyne,

Ingénieur en Chef, Paris.

I. Das Betonzeitalter.

Bereits 1910 behauptet *Rabut*,¹ daß „der Beton Maurerarbeit mit recht kleinen Steinen sei, um die Handarbeit beim Zurichten, Anschleppen und Einbau weitgehend einzuschränken“. Beim Vergleich der alten Bauweisen mit der neuen, dem Beton und besonders dem Eisenbeton, und angesichts der Erzielung ganz einfacher Lösungen für die verschiedenartigen Probleme dieser Bauart mit ihren zahlreichen und oft unvorhergesehenen Formen, die zur Erfüllung neuer Anforderungen nötig sind, folgert er, daß seine Generation „an der wichtigsten Umwälzung im Bauwesen teilnehme“. Die Erfahrung der letzten 25 Jahre hat diese Voraussage bestätigt; die von *Rabut* angekündigte Umwälzung hat sich vor unseren Augen vollzogen.

Der Beton, eine römische Erfindung, wurde „zur neuzeitlichen und wirtschaftlichsten Form des Bauhandwerks“. Man braucht keine teuren Baustoffe, keine langen Vorbereitungen; gefügig paßt sich alles den Forderungen in Entwurf und Ausführung an. Dauerhafter als Holz und Stahl, hat der Beton alle Gebiete des Bauwesens, Landbauten, Wasserbauten und Seebauten erobert. Der „demokratische Baustoff“, wie ihn *Rabut* nannte, offenbar um den Zusammenhang seiner Entwicklung mit dem sozialen Umbruch der Welt und mit dem zunehmenden Verschwinden des Steinmetzen darzutun, ist Herrscher geworden. Nicht unbestritten, denn der Stahl bestreitet ihm heute noch seine Überlegenheit, besonders beim Bau großer Brücken. Aber bei Wasserbauten besitzt der Beton ein Monopol; wir würden als Projektverfasser und Konstrukteure in Verlegenheit geraten, wenn wir ihn aufgeben müßten. Somit wurde unser Zeitalter zweifellos das des Betons.

Keine Sperrmauer unserer Tage ist anders ausgeführt worden mit ganz wenig Ausnahmen, den bekannten, mit der vorzüglichen Handarbeit der Maurer der Alpen gemauerten italienischen Sperren. Die Anwendung von Beton gestattete es, im neuzeitlichen Staumauerbau riesige Abmessungen zu erreichen, die größten, die jemals von Menschenhand ausgeführt worden sind. Der Boulder-Damm, die große Sperrmauer von Colorado, enthält 2,5 Millionen Kubikmeter Beton, etwas mehr als die große Pyramide von Ägypten.

¹ *Rabut*: Introduction au cours de constr. en béton armé 1910/11.

Da auch heute noch die Anwendungsbedingungen des Betons ständig zunehmen, ergibt sich eine günstige Gelegenheit, einen raschen Überblick zu gewinnen und die Erfahrungen aufzuzeigen, die sich uns in dieser Beziehung darbieten.

Die Eigenschaften, die von einem Beton vor allem zu fordern sind, der im Talsperrenbau verwandt wird, sind: Bruchfestigkeit, Undurchlässigkeit, Widerstandsfähigkeit gegen Wasser und Klima.

II. Bruchfestigkeit des Betons.

Die Zemente.

Die Druckfestigkeitswerte, die in Frankreich von Beton für Sperrmauern verlangt werden, stellen nichts Außergewöhnliches dar. Bei Schwergewichtsmauern könnte man sehr weit heruntergehen und zwar auf weniger als 100 kg/cm^2 nach 90 Tagen (gleich dem acht- bis zehnfachen der rechnermäßigen Spannung, die erfahrungsgemäß weit von der wirklichen Beanspruchung entfernt ist). Für die Gewölbe werden im allgemeinen Werte zwischen 200 und 250 kg/cm^2 nach 90 Tagen verlangt, d. h. viermal so viel als die errechnete Beanspruchung. Man muß bedenken, daß die Festigkeit des Betons nach 90 Tagen (und erst recht diejenige nach 28 Tagen) in einer Sperrmauer sehr selten überhaupt in Frage kommt. Da der Bau mehrere Jahre dauert, kann der Beton lange Zeit erhärten, ehe er mit dem Wasser in Berührung kommt. Außerdem ist zu beachten, daß die zuletzt hergestellten Schichten oben liegen, also am wenigsten beansprucht werden. Es folgt daraus, daß schnell erhärtende Zemente, deren Entwicklung für die Forderungen des Eisenbetons so wichtig geworden ist, für den Bau von Sperrmauern keine Bedeutung haben. Ihre Festigkeit wird erst nach sechs Monaten oder gar nach einem Jahr nötig. Sie haben sogar den Nachteil, daß sie in den ersten Wochen nach dem Einbau viel Wärme entwickeln und dadurch schädliche Nebenspannungen, besonders Zugspannungen, erzeugen, die die Praktiker gern vermeiden möchten.

Deshalb hat man sich in verschiedenen Ländern, z. B. in Schweden und in den Vereinigten Staaten von Nordamerika der Herstellung besonderer Wasserbauzemente zugewandt, die langsam abbinden und nur wenig Wärme entwickeln; man nennt sie „low heat cement“ (Zemente mit geringer Wärmeentwicklung). Im allgemeinen unterscheiden sich diese Zemente von anderen dadurch, daß sie weniger Silikat und Trikalziumaluminat enthalten, d. h. die Stoffe, die die rasche Erhärtung und damit die bedeutende Wärmeentwicklung hervorrufen. Diese Zemente haben außerdem den Vorteil, daß sie weniger schwinden, als die schnell erhärtenden Zemente und daß sie weniger freien Kalk abspalten, was sie weniger wasserlöslich macht. Wenn auch ihre anfängliche Festigkeit geringer ist als die der gewöhnlichen Zemente, sind sie nach einem Jahr doch völlig gleichwertig, einige sogar überlegen.

In Frankreich verwendet man für Gewichtsmauern häufig Schlacken- oder Hüttenzemente. Die bei solchen Bauwerken erforderliche Festigkeit der Zemente rechtfertigt die Anwendung dieser Spezialbindemittel, die dem Portlandzement im Hinblick auf unzeitige Erhitzungen und Widerstandsfähigkeit gegen reine Wasser weit überlegen sind. Ihr einziger Nachteil ist, daß ihre Festigkeit ver-

hältnismäßig wenig hoch ist und ihre Erhärtung bei kaltem Wetter stark verzögert wird.

Einfluß von $\frac{c}{e}$.

Nehmen wir einen Zementbrei von c Gewichtsteilen Zement und e Gewichtsteilen Wasser. Die Festigkeit wächst in dem Verhältnis $\frac{c}{e}$, das etwa das Verhältnis des Zementes zu den Hohlräumen der Masse darstellt. Die Erfahrung zeigt, daß sie von der linearen Beziehung $R = \alpha \left(\frac{c}{e} + \beta \right)$ abhängt. Nun fügen wir Sand hinzu und vermeiden dabei einesteils, die Beziehung $\frac{c}{e}$, die für die Festigkeit der Bindemasse bestimmend ist, zu ändern, sorgen jedoch andererseits dafür, daß alle Zwischenräume der Sandkörner ausgefüllt werden, ohne daß Luft hinzutritt. Man kann zunächst annehmen, daß sich die Festigkeit nicht ändert, da der Bruch eher in der weniger widerstandsfähigen Zementmasse als im Sand eintritt. Dies zeigen auch die Ergebnisse von Versuchen, von denen man folgende ausgeführt hat:

1. Ein reiner, sehr flüssiger Brei, der sich leicht mit Sand mischen läßt.
2. Drei Mörtel, die durch Zusatz von 3, 6 und 9 Teilen Sand zu 5 Raumteilen des vorgenannten Zementbreies gewonnen wurden. Die Verarbeitbarkeit dieser Mörtel verringert sich offensichtlich mit zunehmendem Zusatz von Sand; man war aber bestrebt, durch Stampfen und Rütteln die Mörtel so dicht wie möglich zu machen. Aus jeder Mischung wurden 6 Würfel von 5 cm Kantenlänge und 6 Würfel von 7 cm dem Druckversuch unterworfen, die Hälfte nach 7 Tagen, die andere Hälfte nach 28 Tagen. In der ersten der nachstehenden Tafeln sind die Merkmale der verschiedenen Mörtel zur Zeit ihrer Herstellung, in der zweiten die Druckfestigkeiten nach 7 und 28 Tagen angegeben. (Die Mörtel sind in üblicher Weise durch das Verhältnis der Raumteile des Sandes zum Rauminhalt des reinen Zementbreies gekennzeichnet.)

Bezeichnung	Stoffmengen je 1 m ³				t = Raumteile Brei/Hohl- räume Sand	Dichtigkeit γ	$\frac{c}{1-\gamma}$
	Zement kg	Sand Liter	Gesamt- gewicht der trockenen Bestandteile	Wasser			
Zementbrei	1365,2	0	1365,2	573,4	—	0,427	0,745
Mörtel 3/5	990,5	435,7	1724,7	415,9	4,5	0,584	0,745
Mörtel 6/5	775,8	682,6	1926,0	325,7	2,25	0,673	0,741
Mörtel 9/5	636,7	840,3	2052,7	267,4	1,5	0,728	0,732

Die Beziehung $c:e$ blieb konstant mit 2,38 (in Gewichtsteilen) oder 0,744 (in Raumteilen).

	Gemessene Druckfestigkeit			
	Würfel von 5 cm Kantenlänge		Würfel von 7 cm Kantenlänge	
	7 Tage	28 Tage	7 Tage	28 Tage
Zementbrei	233,3	379,2	213,2	282,0
	243,7	362,8	309,2	365,7
	317,7	395,3	237,5	376,7
	264,9	379,1	253,3	341,5
Mörtel 3/5	274,5	416,0	301,5	383,3
	260,1	399,6	231,1	336,9
	233,3	354,6	299,3	380,0
	256,0	390,1	277,3	366,7
Mörtel 6/5	221,0	297,8	202,8	321,2
	245,7	359,7	275,7	294,8
	276,6	377,3	223,7	303,3
	247,8	344,9	234,1	306,4
Mörtel 9/5	247,8	366,9	218,5	309,2
	233,3	338,2	292,7	347,9
	233,3	325,9	266,1	380,8
	238,1	343,7	259,1	340,0

Nun gibt man zum Mörtel Zuschlaggestein, sorgt aber dafür, daß die in dem reinen Zementbrei vorhandene Wassermenge nicht geändert wird; beim Einbringen in die Form sollen auch alle Hohlräume, die durch den Zusatz der Steine entstehen, ausgefüllt werden. Man versteht, daß die Festigkeit des Betons die gleiche wie die des Zementbreies sein wird. Dies konnten wir auch feststellen, indem wir wie folgt vorgehen:

Es wurden 6 Würfel von 22 cm Kantenlänge aus Beton oder Mörtel hergestellt (3 wurden nach 28 Tagen, 3 nach 90 Tagen zerdrückt).

1. Ein Mörtel M, sehr flüssig (oder Beton mit beschränkter Korngröße), dessen Wassergehalt 19 % betrug.
2. 8 Betonarten, die aus dem ersten Mörtel in der Weise hergestellt wurden, daß man 30, 60, 90, 120, 135, 150, 165 und 180 % Zuschlaggestein (im Verhältnis zum Trockengewicht des Mörtels) hinzusetzte, und die mittels Kelle oder leichtem Stampfer in die Form eingebracht wurden. Die Fließbarkeit des Betons verringerte sich offensichtlich mit der Zunahme an Gestein.
3. 6 genau entsprechende Betonarten, die beim Einbringen in die Form noch gestampft und gerüttelt wurden. Diese Betonarten enthielten 60, 120, 135, 150, 165 und 180 % Zuschlaggestein im Verhältnis zu den übrigen Trockenstoffen. Das Stampfen war umso stärker, je mehr die Fließbarkeit des Betons abnahm.

Die Druckfestigkeiten nach 28 Tagen sind auf der folgenden Tafel dargestellt.

Einerlei, ob es sich nun um Zementbrei, Mörtel oder Beton handelt, die Festigkeit der verschiedenen Prüfkörper hängt außer von Versuchsfehlern ausschließlich von $\frac{c}{e}$ ab und kann durch die Formel $R = \alpha \left(\frac{c}{e} + \beta \right)$ dargestellt werden, in der α und β nur von Zement, der Art und Dauer des Erhärtens, der Gestalt und den Abmessungen der Prüfkörper abhängig sind.

Die Festigkeit eines *dichten* Betons, der also keine anderen Hohlräume als die des Zementbreies enthält, entspricht der Festigkeit dieses Zementbreies.

Es ist zu bemerken, daß der Zementgehalt bei den Versuchen von 100 % (reiner Zementbrei) bis zu 0,9 % (bezogen auf das Gewicht der trockenen Stoffe) wechselte und die Dichtigkeit von 0,427 bis zu 0,839, ohne daß die Festigkeit beeinflusst wurde.

Im Gegenteil, von einem bestimmten Steinanteil an steigt die Festigkeit; der Brei wird zu einem dünnen Häutchen und füllt den geringen Raum zwischen den Steinen, die dicht ineinander liegen, aus. Im Grenzfall würde man einen mauerartigen Aufbau trockener Steine von einer gewissen Festigkeit haben, obwohl kein Bindemittel mehr vorhanden ist.

Der Schluß, der aus diesen Versuchen gezogen werden kann, ist zunächst der, daß der Beton umso fester wird, je weniger Zement er enthält, ein erfreuliches und unerwartetes Mittel, die Sicherheit und die Wirtschaftlichkeit in Einklang zu bringen.

Praktische Erwägungen.

Die anscheinend widersinnigen Schlüsse bedürfen der Aufklärung. Es ist klar, daß die dichtesten unserer Betonarten, besonders die letzte der Tafel, eine ideale Anordnung der Baustoffe darstellen: die groben Steine berühren einander, die Hohlräume sind gerade richtig mit Mörtel gefüllt.

Ein solcher Beton wurde noch auf keinem Bau erzeugt. Es ist eine Kunst wie das genaue Aneinanderpassen der Scherben eines zerbrochenen Tellers durch eine geschickte Hand, um den Teller wiederherzustellen und die Fugen fast verschwinden zu lassen. Es ist nicht anzunehmen, daß die Steine in einem Mischer, auch wenn sie beliebig lange gemischt werden, von selbst die Anordnung finden sollten, die ihnen ein Handwerker zu geben vermöchte. Würde es aber doch eintreten, so würde sich die Masse auf dem Wege vom Mischer zur Einbringstelle entmischen. Die Festigkeit hängt dann nicht mehr ab von $\frac{c}{e}$, sondern von $\frac{c}{e + V}$, worin V die Hohlräume sind.

Es ist merkwürdig, daß die Mehrzahl der Versuchsforscher, die behaupten, Regeln zur Erzielung dichtesten Betons gegeben zu haben, nicht beachteten, daß ihr Beton ebensowenig wie unser wiederhergestellter Teller ohne die Gefahr des Zerfalls von der Erzeugungsstelle zur Baustelle gebracht werden kann und daß die Schlüsse, die aus ihren Versuchen gezogen werden, von sehr verschiedenen Dingen abhängen, sei es auch nur von der Geschicklichkeit des Laboranten.

Ein Beispiel möge zum Beweis dienen:

Man betrachtet es als Grundsatz, daß die größte Dichtigkeit eines Betons, selbst in der Versuchsanstalt, erreicht wird, wenn der Mörtel, der streng genom-

Ausgeführte Mischungen	Zuschläge auf 1 m ³ Beton						Spezifisches Gewicht des frischen Betons	Fließbarkeit auf Rütteltisch	Mörtelvol. Hohlräume i. Kies	Dichtigkeit γ des Betons		$\frac{C \text{ vorh.}}{1 - \gamma \text{ vorh.}}$	$\frac{\gamma \text{ vorh.}}{\gamma \text{ theor.}}$	$\frac{C}{\rho}$ in Volumen	Würfel Festigkeit nach 28 Tagen 3 Würfel Kantenzlänge 22 cm Einzelergebnisse	Mittel		
	Zement C kg	Sand S	Volumen l	Kies P	Volumen l	Totalgewicht der Trockensubstanz				in % des Gewichts der Trockensubstanz	Volumen l						γ vorhanden	γ theoretisch
1 Mörtel M normal	461,0	1862,5	856,2	—	—	1528,5	19,0	346,5	2,170	nicht bestimmt, größer als 2,20	—	0,654	0,654	0,416	1	0,416	225,9—228,8—186,5	207,7
2 M + 30% normale Zuschlagstoffe	381,9	1128,6	709,8	453,2	806,6	1963,7	14,62	287,0	2,251	nicht bestimmt, größer als 2,20	6,14	0,713	0,718	0,416	1	0,416	187,0—202,5—208,8	199,4
3 M + 60% normale Zuschlagstoffe	325,4	961,8	604,9	772,3	522,5	2059,5	11,88	244,6	2,305	do.	8,07	0,753	0,755	0,414	0,997	do.	219,7—221,2—183,8	208,2
4 do. vibriert	325,9	963,3	605,9	773,5	523,2	2062,7	11,88	245,0	2,308	do.	(1)	0,755	—	0,416	—	do.	171,4—183,8—174,5	176,6
5 M + 90% normale Zuschlagstoffe	284,0	839,2	527,7	1011,0	634,0	2133,2	10,0	213,5	2,349	2,20	2,05	0,784	0,786	0,413	0,997	do.	180,7—211,9—194,8	195,8
6 M + 120% normale Zuschlagstoffe	250,8	741,3	466,2	1190,6	805,5	2182,7	8,63	188,5	2,371	2,05	1,53	0,807	0,811	0,406	0,995	0,416	202,5—188,5—177,6	189,5
7 do. gestampft	252,1	745,1	468,6	1196,5	809,5	2193,7	8,63	189,3	2,383	2,05	(1)	0,811	—	0,416	—	do.	183,8—187,0—199,4	190,1
8 M + 150% normale Zuschlagstoffe	236,6	699,3	439,6	1261,4	854,8	2199,3	8,09	177,9	2,377	1,92	1,86	0,814	0,821	0,397	0,991	do.	187,0—194,8—190,1	190,6
9 do. gestampft	238,6	705,4	443,6	1274,2	862,1	2218,2	8,09	179,5	2,388	1,92	(1)	0,821	—	0,416	—	do.	171,4—180,7—194,8	182,3
10 M + 180% normale Zuschlagstoffe	223,8	661,4	416,0	1327,8	838,4	2213,0	7,60	168,2	2,351	1,80	1,23	0,820	0,830	0,388	0,988	do.	205,7—187,0—194,8	195,8
11 do. gestampft	225,3	665,8	418,7	1336,7	904,3	2227,8	7,60	169,3	2,397	1,80	(1)	0,826	—	0,405	—	do.	215,0—187,0—194,8	198,9
12 M + 165% normale Zuschlagstoffe	212,1	627,0	394,3	1384,5	936,7	2223,6	7,17	159,4	2,383	1,72	1,11	0,825	0,839	0,379	0,983	do.	201,0—191,6—185,4	192,7
13 do. gestampft	213,6	631,4	397,1	1394,3	943,4	2239,3	7,17	160,6	2,400	1,72	(1)	0,831	—	0,395	—	do.	216,6—199,4—193,2	203,1
14 M + 180% normale Zuschlagstoffe	201,5	595,5	374,5	1434,6	970,6	2231,6	6,78	151,3	2,338	1,65	1,02	0,829	0,846	0,368	0,980	do.	202,5—191,6—	197,1
15 do. gestampft	203,9	602,6	379,0	1451,8	982,3	2258,3	6,78	153,2	2,412	1,65	(1)	0,839	—	0,395	—	do.	202,5—205,7—218,1	208,8

(1) Dieses Verhältnis kann nach dem Stampfen in den Schalungen schwanken, und konnte nicht überprüft werden.

Bemerkung I. Das Mörtelvolumen ist die Summe der Absolutwerte der Volumina der Trockensubstanz und des Wassers. Es weicht vom wirklichen Volumen um ungefähr 0,5% ab, durch Fehler.

Bemerkung II. Die Dichtigkeit ist das Verhältnis des absoluten Volumens der Trockensubstanz zum ganzen Volumen. Der Konsequenz halber hat man das im Zement chemisch gebundene Wasser nicht berücksichtigt.

men zur Füllung der Hohlräume der Steine nötig ist, um 30—35 % (Raumteile) vermehrt wird.

Im Gegensatz hierzu: der dichteste Beton ist dann gegeben, wenn sich die Steine berühren und das Verhältnis t des Mörtels zu dem Gesamthohlraum der Steine kaum größer als 1 ist, was die Theorie vorauszusehen gestattete.

Als erster Schluß ergibt sich: Alle Laboratoriumsversuche über die Dichtigkeit der Betone sind — ohne Ausnahme — mit Vorbehalt zu betrachten, denn sie besitzen nur eine entfernte Beziehung zu den wahren Verhältnissen der Zusammensetzung der Baustoffe auf der Baustelle. Der Fall liegt also ganz anders wie beim Mörtel.

Die Verarbeitbarkeit.

Der beste Beton für einen bestimmten Zweck kann nur im Augenblick seiner Verarbeitung bestimmt werden oder aber durch einen Versuch, der genau den Erfahrungen der Praxis entspricht. *Bolomey* war unseres Wissens der erste, der den Praktikern wirklich nützlich Ratschläge gegeben hat, weil sie aus den Erfahrungen der Baustelle entstanden waren. Allerdings sind es Ratschläge, die den aus Laboratoriumsversuchen gezogenen Schlüssen widersprechen, so daß man das Gegenteil von dem tun muß, was diese Schlußfolgerungen besagen, wenn man eine gute Arbeit erzielen will.

Ein Beton, der beim Einbau dicht sein soll, muß sich vor allem leicht verarbeiten lassen, zumal bei Talsperrenbauten, bei denen Handarbeit wegen des schnellen Arbeitstempos sehr zurücktreten muß.

Das heißt: Im Vergleich zu unserem besten Laboratoriumsbeton und zu unserem Idealbild brauchen wir einen Überschuß an Wasser, an Sand und an Feinsand. Alles Anteile, die der Festigkeit abträglich sind.

Der Überschuß an Wasser soll die Zuschläge beweglich machen und sie gleiten lassen, um ihr Ineinanderordnen zu erleichtern, der Überschuß an Sand dient dem gleichen Zweck und soll außerdem stellenweise Mängel ausgleichen, die sich bemerkbar machen würden, wenn die Menge des Sandes gerade ausreichen würde, um die Hohlräume zwischen den Steinen zu füllen. Diese beiden Maßnahmen reichen zunächst nicht aus, um einen dichten Beton am Bau zu erhalten, denn das Wasser sucht sich bei der Förderung des Betons abzusondern und einen Teil des Zements mitzunehmen. Um es festzuhalten, muß man der Mischung eine ausreichende Menge feinen Staub zusetzen, von Zement oder Feinsand, also Stoffe, die das Wasser durch Kapillarwirkung binden und seine Absonderung verhindern. Man erzielt damit eine geschmeidige schmierige Masse, eine Art Emulsion, in der die Steine schwimmen und die nur langsam verschwindet, wenn der Beton eingebaut ist, indem ein Teil des überschüssigen Wassers durch die darüberliegenden Schichten abgestoßen wird.

Das sind die Bemerkungen, die es *Bolomey* ermöglichten, seine nach ihm benannte Siebkurve vorzuschlagen, über die wir jetzt einige Betrachtungen anstellen wollen.

Da es sich um rein praktische Fragen handelt, für die man keine allgemeingültige Lösung zu geben vermag, paßt die Kurve von *Bolomey* nur für bestimmte Baustoffgruppen und bestimmte Einbauarten. Im allgemeinen bedarf sie bei

gebrochenem Gestein der Berichtigung durch leichte Vermehrung des Sandes und des Feinsandes, wie in Fig. 1 angegeben (Größtkorn der Gesteine 120 mm).

Es kommt vor, daß man größere Abänderungen vornehmen muß, wenn es sich um gebrochenes Gestein besonderer Form handelt, wie bei Porphyren, Dioriten und Quarziten. Diese „kalten“ Steine brechen bei der Zerkleinerung plattig und bilden daher große Hohlräume, die man mit einer größeren Sandmenge ausfüllen muß.

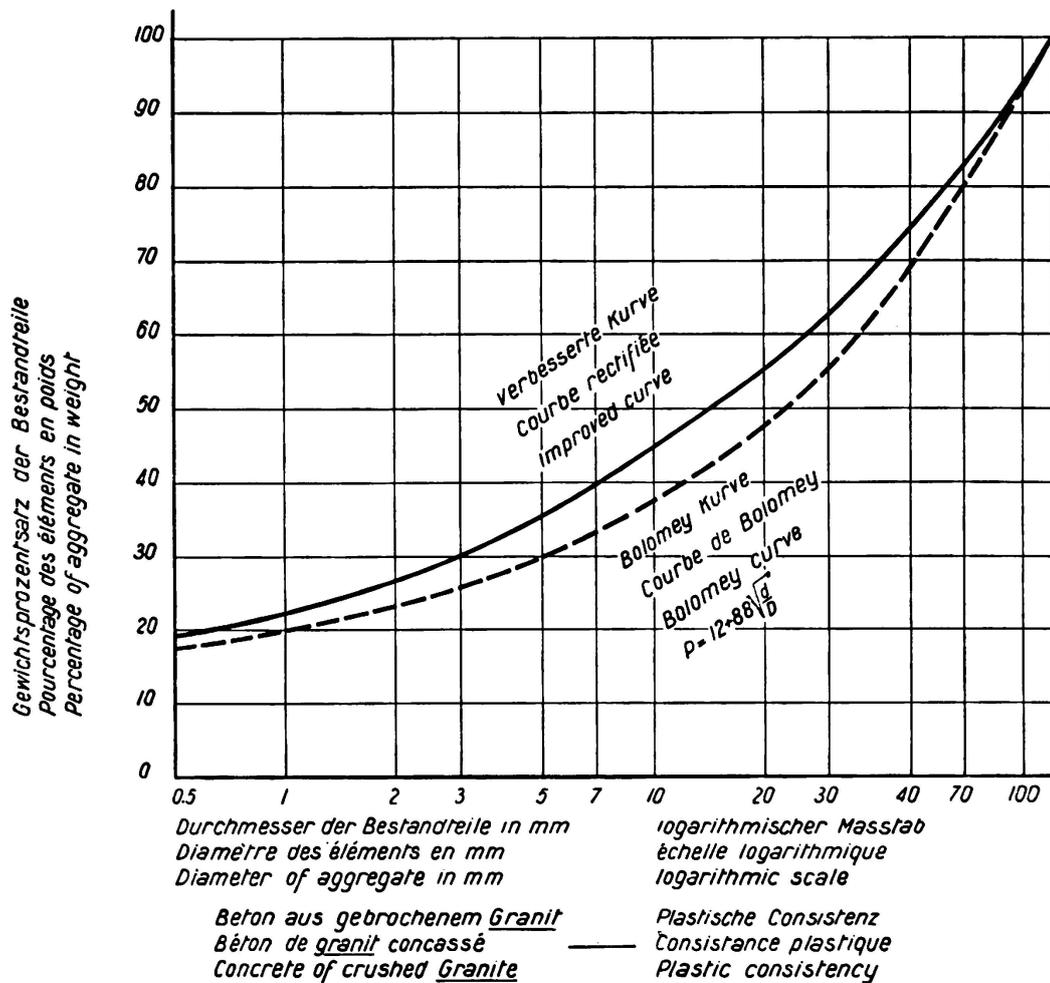


Fig. 1.

Zusatzsand.

Die Verwendung von zusätzlichem rundem Sand — Dünen- oder Flußsand — ist in diesem Fall unerlässlich, weil runder Sand als Gleitmittel die sperrige Lagerung des gebrochenen Gesteins verhindert.

Wir haben bei fettem Beton für eine dünne Gewölbetalsperre zum Beispiel folgende Kornzusammensetzung in Aussicht genommen: 300 kg Zement je m³ fertigen Betons, Größtkorn des Gesteins 70 mm (Fig. 2).

Die Anwendung großer Steine (über 10—12 cm) verringert die Verarbeitbarkeit, und wahrscheinlich wird man auch in diesem Fall die von Bolomey gegebene Norm abändern müssen.

Jedenfalls darf man nicht außer acht lassen, daß große Toleranzen nötig sind, um den unvermeidlichen Unterschieden der Baustoffe zu begegnen. (Das Suchen nach der Vollkommenheit verbietet sich rasch von selbst.)

Man sieht, wie heikel die auf einer großen Baustelle auftretenden Fragen sein können, und daß sie von Verhältnissen abhängen, die der Bauleiter festzustellen hat.

Besonders wichtig ist es, daß der Beton bei richtiger Konsistenz und richtiger Kornabstufung von selbst in die richtige Lage zu kommen sucht und Gleich-

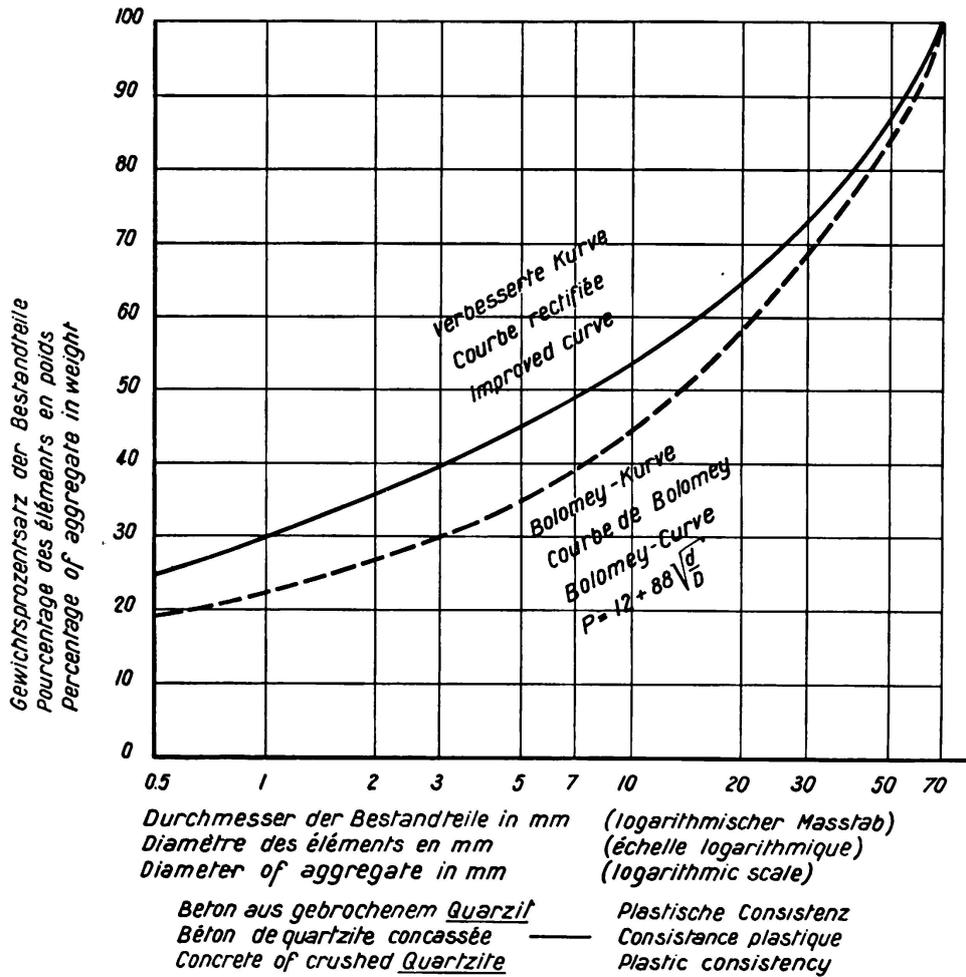


Fig. 2.

mäßigkeit und Dichtigkeit erstrebt; die Handarbeit tritt zurück, da die Arbeit auf der Baustelle schnell gehen muß; sie beschränkt sich auf einzelne Nacharbeiten und Verbesserungen. Der Beton darf also nicht zum Auseinanderfallen neigen, was von der Einbauart abhängt; die inneren Reibungskräfte sollen möglichst gering sein.

Die Rücksicht auf diese zwei Bedingungen bedingt die Verarbeitbarkeit, die bisher nur bei weichem Beton erreicht worden ist. Bestimmte Zusätze verbessern sie: besonders Kieselgur oder Metallsalze im Anmachwasser.

Mit Bezug auf gleichmäßige Fließbarkeit ist ein leicht zu verarbeitender Beton leichter zu mischen als ein anderer. Es gibt ein sehr einfaches Mittel, dies fest-

zustellen, indem man die Motorkraft an der Welle der Mischmaschine mißt, ein Verfahren, das in Amerika gebräuchlich ist.

Das Rütteln.

Das Rütteln als Mittel zur künstlichen Verdichtung, das sich mit Recht auf allen Baustellen einbürgert, kann gewiß aus den oben angegebenen Gründen einen Spezialbeton schaffen, der von dem auf übliche Weise hergestellten Beton abweicht. Schon bei Beton- oder Eisenbetonbauteilen geringer Abmessungen kann man feststellen, daß die vorzügliche Kornzusammensetzung des Rüttelbetons sehr verschieden von derjenigen des gewöhnlichen Betons ist. Man kann auf diese Weise sehr dichten Beton erzeugen, der viel Gestein enthält und unserem vorerwähnten zerbrochenen Teller oder dem Zusammensetzspiel gleicht. Trockener Beton, besonders solcher mit unetiger Kornabstufung und mit einem Mindestgehalt an Sand, ergibt bei einmaligem Rütteln in magerer Mischung sehr gute Festigkeiten. Gewöhnlicher und besonders Gußbeton entmischt sich dagegen bei längerer Einwirkung des Rüttlers, der die Verdichtung und das Absetzen des Betons begünstigt und dabei den Mörtel und die Zementmilch nach oben dringen läßt. Die Masse trennt sich in wechselnde Lagen von sehr hartem Beton und ausgewaschenem Mörtel. Man erkennt auf der obigen Tafel, daß Beton Nr. 4, flüssig und gerüttelt, weniger fest als der gleiche nicht gerüttelte Beton ist.

Leider liegen die Dinge auf einer Sperrmauerbaustelle ganz anders. Man sollte deshalb wirklich und überall den Beton rütteln. Der Leistungsabfall bietet jedoch große Sorgen; die Rüttler brauchen viel Kraft, ihr Wirkungsbereich ist verhältnismäßig klein, und die Zahl der verfügbaren Rüttler bleibt begrenzt. Die verlangte Kraft ist umso größer und der Wirkungsbereich umso kleiner, je weniger gut der Beton verarbeitbar ist.

Setzt man auf die Wirkung der Rüttler übertriebene Hoffnungen, erzielt man einen trockenen, rauhen² Beton; man setzt sich Fehlschlüssen in Bezug auf Durchlässigkeit aus, wie man es überall erfahren kann.

Heute bedeutet das Rütteln auf einer Sperrmauerbaustelle nur ein einfaches Zusatzmittel, um den Beton zu verdichten und — besonders in der Außenschicht — seine Wasserundurchlässigkeit zu erhöhen. Die Kornzusammensetzung entspricht fast derjenigen gewöhnlichen Betons, der nicht gerüttelt wird. Trotzdem könnte man den Wasserzusatz etwas verringern.

Unter diesen Verhältnissen soll man nicht zu stark rütteln, ohne sich Sorge darum zu machen, daß sich die Betonmasse etwa entmischt und an die Oberfläche jeder gerüttelten Schicht Zementbrühe gelangt.

Die besten Rüttler sind die Innenrüttler. Bei gleichem Kraftbedarf ist ihr Wirkungsbereich und ihre Rüttelwirkung größer. Am wirksamsten sind heute die Rüttler mit einer Geschwindigkeit von 8000 Touren in der Minute.

Es ist möglich, daß in der Verwendung von Rüttlern beim Bau von Sperrmauern bald Fortschritte zu verzeichnen sind; wir raten aber, sich klugerweise nicht allein auf die Rüttler zu verlassen, sondern mit einem bestimmten regelmäßigen Ablauf der Bauausführungen zu rechnen, schon im Hinblick auf etwaige Ausfälle in der Arbeiterschaft.

² d. h. wenig geschmeidig oder grob.

III. Bauüberwachung.

Vorversuche.

Aus dem Vorhergehenden geht hervor, daß Vorversuche nur den Wert einer ersten Annäherung haben und daß man sich nicht zu sehr auf sie verlassen soll, um eine auf der Baustelle anwendbare Siebkurve festzusetzen.

Überwachung der Betonbereitung.

Die Verarbeitbarkeit des Betons, ein besonders wichtiger Punkt im Hinblick auf die Dichtigkeit, kann nur bei der Betonbereitung selbst und zwar hauptsächlich durch den Augenschein beurteilt werden. Keine Maschine vermag hier ein geübtes Auge zu ersetzen.

Die Meßvorrichtungen für die verschiedenen Baustoffmengen (im allgemeinen 2 Teile Sand und 2 oder 3 Teile Kies), die bei jeder Mischung zugesetzt werden, müssen genau und zuverlässig sein. Die Rüttelgefäße, die gewöhnlich für die Abmessung der Baustoffe verwandt werden, bedürfen sorgfältiger Überwachung. Selbsttätige Wagen, die in Europa für die groben Zuschlagstoffe noch nicht allgemein eingeführt sind, werden in Amerika angewandt und haben viele Vorzüge.

Wenn die Einrichtungen in Ordnung und eingespielt sind, soll sich die Überwachung besonders auf die Betonmischer erstrecken, wo sie leicht durchführbar ist.

Um die Güte des erzeugten Betons zu prüfen, stellt man am einfachsten und schnellsten die Dichte des frischen Betons fest, was mit Hilfe eines Meßgefäßes von bekanntem Inhalt und einer einfachen Waage mit Laufgewicht leicht möglich ist. Man kann im allgemeinen eine feste Beziehung zwischen den Schwankungen der Dichte des frischen Betons und den Schwankungen der Druckfestigkeit feststellen. Durch dieses einfache Verfahren kann man die Prüfung des Betons nach Augenschein ergänzen und jeden Fehler in der Zusammensetzung sofort feststellen.

Mörtelprüfungen.

Nach *Bolomey* kann man die Festigkeit des Betons durch Prüfung von Würfeln aus Mörtel überwachen, der dem Beton entnommen wird. Im allgemeinen ist die Festigkeit der Mörtelwürfel (7 cm Kantenlänge) 10 bis 20 % höher als diejenige der Betonwürfel (30 cm Kantenlänge). Diese Tatsache, die den Schlußfolgerungen des vorhergehenden Kapitels zu widersprechen scheint, erklärt sich einfach dadurch, daß ein Teil des Wassers im Beton von den groben Steinen im Augenblick des Abschöpfens des Mörtels zurückgehalten wird. Die Zahl *c* ist dann beim Mörtel größer als beim Beton, was die größere Mörtelfestigkeit erklärt.

Betonprüfungen.

Diese sehr praktischen Mörtelprüfungen (besonders zur Überwachung der Gleichartigkeit des Zementes), die ohne besonders hohe Kosten mehrfach wiederholt werden können, entbinden nicht von der Prüfung des Betons selbst (Dichtigkeit und Festigkeit). Die kleinste Längenabmessung der Prüfkörper (Würfel oder Zylinder) soll mindestens $2\frac{1}{2}$ mal so groß sein als diejenige der größten Zuschlagstoffe. Es scheint, daß die Festigkeit gleichzeitig mit den Abmessungen

der Prüfkörper leicht steigt (natürlich bei gleichem $c:e$), was zweifellos wegen des größeren Gewichtes der Zuschlagstoffe mit deren besserer Ineinanderrlagerung zusammenhängt.

Man soll nicht nur die Druckfestigkeit des Betons prüfen, sondern auch dessen Zugfestigkeit, deren Kenntnis wesentlich ist, um Risse zu vermeiden. Am besten ist hierfür die Biegeprüfung geeignet. Der Brechsand, der seit langer Zeit verufen ist, weil er den Beton weniger gut verarbeitbar macht, erhöht die Zugfestigkeit im Vergleich mit runden Sanden um 10 bis 20 %. Sofern die letztgenannten Sande auch nur wenig tonhaltig sind, ist die Zugfestigkeit sehr gering, was auf die Notwendigkeit sorgfältigen Waschens solcher Baustoffe hinweist.

Die Beziehung $\frac{\text{Druckfestigkeit}}{\text{Zugfestigkeit}}$, die die Sprödigkeit darstellt, schwankt von 8 bis 12 je nach Alter und Härte des Betons; je älter und härter der Beton ist, umso höher ist dieser Wert.

Überwachung der Bauausführung.

Man soll sich nicht zu sehr auf die Laboratoriumsversuche verlassen, um die wahre Güte des Betons im Bauwerk zu beurteilen. Um genauen Einblick zu gewinnen, ist es notwendig, wiederholt Beton aus der Staumauer herauszubohren, selbst lange Zeit nach Festwerden.

Bei Gußbeton stellt man regelmäßig fest, daß die Festigkeit des Betons im Bauwerk weit höher als diejenige der Probewürfel ist. Wir haben zum Beispiel gesehen, daß dessen Druckfestigkeit beim vorherigen Versuch etwa 100 kg/cm^2 betrug, während seine Festigkeit im Bauwerk im gleichen Alter mehr als doppelt so hoch war.

Diese Erscheinung tritt allgemein auf und hängt damit zusammen, daß der große Wasserüberschuß aus den Gußbetonversuchskörpern vor dem Festwerden nicht austreten kann. Im Baukörper scheidet sich dagegen schon in den ersten Stunden das Wasser aus und zwar desto stärker, je dicker die Schicht ist; die Verdichtung unter hydrostatischem Druck ist also größer.

Man hat bei der Sperrmauer von Oued Foddah festgestellt, daß der Beton im Bauwerk, der mit 210 Liter Wasser je Kubikmeter gemischt war, eine wirkliche Dichtigkeit von 0,84 aufwies, was höchstens 160 l Wasser entspricht. Es sind also 40 bis 50 l, d. h. 25 % der in der Mischmaschine vorhandenen Wassermenge ausgetreten.

Andererseits verlangte ein Beton, der mit 160 l Wasser angemacht und gut plastisch war, besondere Sorgfalt beim Einbringen. Der beim Mischen zugegebene Wasserüberschuß erleichterte den Transport und den Einbau, ohne die Güte des fertigen Betons herabzusetzen.

Einfluß der Zeit auf das Verhältnis $\frac{c}{e}$.

Außerdem ist zu beachten, daß der Einfluß des Wasserüberschusses sich mit der Zeit verringert. Es folgen einige Zahlen:

Mischung	c : e	Druckfestigkeit				
		7 Tage	28 Tage	90 Tage	1 Jahr	
Zement 250 kg	1,504	165,1	225,1	248,3	291,6	weicher Beton
Wasser 166,2		167,2	226,2	261,6	299,0	
		166,2	225,6	254,9	295,3	
Zement 250 kg	1,160	103,1	146,0	176,9	227,3	Gußbeton
Wasser 215,5		108,6	167,2	183,3	237,2	
		105,8	156,6	180,1	232,3	

Die Festigkeit des Gußbetons wächst schneller als die des weichen Betons. Das Verhältnis $p = \frac{\text{Festigkeit des weichen Betons}}{\text{Festigkeit des Gußbetons}}$ wird durch folgende Zahlen gekennzeichnet:

7 Tage	$p = 157 \%$
28 „	144 %
90 „	141 %
1 Jahr	127 %.

Bei weichem Beton, auch bei gerütteltem, ist der Unterschied zwischen der Festigkeit der Probekörper und des Betons im Bauwerk geringer; wenn er nicht sehr weich ist, ist es nicht einmal sicher, ob seine Festigkeit die Würfelfestigkeit überschreitet. Trotzdem wird die Druckfestigkeit im allgemeinen viel größer sein, als die Sicherheitszahl, die man bei Gewichtsstaumauern gewöhnlich zu Grunde legt, verlangt, was die Verringerung des Zementgehalts rechtfertigen könnte.

Eine solche Herabsetzung bringt jedoch, wie wir später zeigen werden, wegen der Angriffe von Wasser und Witterung eine ernste Gefahr mit sich, besonders an den Außenflächen.

Die hohen Temperaturen, denen der Beton in der Mauer nach dem Festwerden ausgesetzt ist, beeinflussen seine Erhärtung; in den ersten Wochen wird sie beschleunigt, und es ist nicht gesagt, daß sie sie später nicht verzögern.

Die schwachen Stellen: Fugen und Risse.

Die Fugen sind schwache Stellen in einer Sperrmauer sowohl im Hinblick auf die Scherfestigkeit wie wegen der Wasserundurchlässigkeit. Es sind dies die Stellen, wo sich Steinnester befinden, und an den Fugen (besonders den Horizontalfugen) erscheinen die Durchsickerungen des Wassers quer durch die Sperrmauer.

Zwei Maßnahmen werden hier in der Regel angewandt; erstens rauht man die Oberfläche der Fuge auf, um die bei Gußbeton oft dicke Schicht von Zementschlempe zu entfernen und die Steinstruktur hervortreten zu lassen; zweitens

bringt man eine Mörtel- oder Feinbetonschicht von einigen Zentimeter Dicke unmittelbar vor dem Weiterarbeiten auf die Fuge auf. Die letztgenannte Vorsichtsmaßregel ist nach unserer Meinung unumgänglich notwendig, wenn man Durchsickerung vermeiden will. Die erstgenannte kann man notfalls, und wenn sich keine Anreicherung von Zementschlempe an der Oberfläche gebildet hat, dadurch ersetzen, daß man die Oberfläche mit einem Druckwasserstrahl abspritzt und zwar einige Stunden nach Beendigung des Betonierens, also zu einem Zeitpunkt, wo der Beton noch ziemlich weich ist und sich noch leicht ritzen läßt.

Das Schwinden der Mauerkörper ist verhältnismäßig gering. Wir hatten Gelegenheit festzustellen, daß ein recht beachtlicher Mauerkörper mehrere Monate nach dem Gießen immer noch verhältnismäßig viel überschüssiges Wasser enthielt und der Sättigung nahe war. Dieses Wasser hielt den Beton ständig wassergetränkt, was praktisch das Schwinden durch Austrocknung verhindert oder es wenigstens stark (bis auf 1:10000 und weniger) herabsetzt. Man muß einfach darauf bedacht sein, am Anfang des Erhärtens das Austrocknen der Außenteile zu verhindern.

Das Schwinden der Staumauern ist fast stets eine Erscheinung der Zusammenziehung infolge Temperaturspannungen. Man kennt die Gegenmaßnahmen, die in der Auflösung der Mauer in Einzelblöcke bestehen, die nur 15 m lang sein sollen, wie die Erfahrung überall gezeigt hat. Leider genügen diese Maßnahmen nicht, um Längsrisse in den Gewichtsmauern — wie unten dargestellt — zu verhindern, die am gefährlichsten sind.

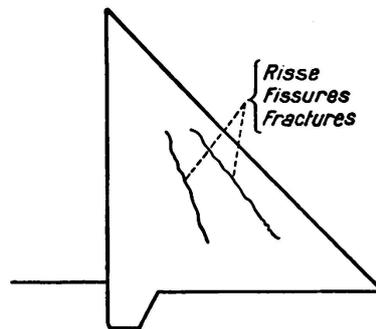


Fig. 3.

Schließlich beobachtet man oft, daß die Außenflächen der Blöcke während des Baues nach allen Richtungen Risse bekommen, als Folge der Wärmeunterschiede zwischen Außenseite und Kern. Beim Bau der Sperre von Oued Foddah blieb infolge Arbeitseinstellung ein großer Betonblock von 12 m Höhe und 35×35 m Grundfläche anderthalb Jahre der Luft ausgesetzt. Nach 6 Monaten war der Block nicht nur von zwei etwa senkrechten, sich kreuzenden Rissen durchzogen, sondern er zeigte in halber Höhe auch einen ganz herumlaufenden waagerechten Riß. Diese Erscheinung ist leicht zu erklären. Die Schwindung geht an der Oberfläche rascher vor sich; der Kern erleidet nicht die gleiche Zusammenziehung, setzt die Außenschicht in Spannung und bringt sie zum Reißen.

Man erkennt die Bedeutung der Maßnahmen in der Boulder-Sperre, um die Blöcke zu kühlen und künstlich einen Wärmegleichgewichtszustand zu schaffen, was sonst erst nach Jahrhunderten eingetreten wäre. Wenn dieser Zustand eingetreten ist, muß man selbstverständlich die Schwindrisse, die sich gebildet haben, schließen und dies nach unserer Meinung zwei- oder dreimal wiederholen.

Man sieht, wie falsch es wäre, eine Talsperrenmauer als eine einheitliche Masse zu betrachten und daß der Praktiker sich nur mit Vorsicht auf gebräuchliche Rechnungen stützen darf, die die Homogenität der Masse zur Grundlage haben.

IV. Wasserundurchlässigkeit und Widerstand gegen die Einwirkung von Wässern.

Wasserundurchlässigkeit.

Es ist eine Erfahrung, daß Gußbeton bei weitem der wasserdichteste Beton ist, den man im Staumauerbau anwenden kann. Im Laboratorium zeigt sich das Gegenteil; dort ist der trockene Beton der dichteste, und Gußbeton taugt nichts. Dieser Widerspruch zeigt deutlich die grundsätzliche Bedeutung der Verarbeitung des Betons.

Wie wir vorher gesehen haben, kann man bei großen gegossenen Betonmassen mit selbsttätiger Ausstoßung von Wassermengen von 40 bis 50 l/m³ rechnen, die nur als Gleit- und Schmiermittel gewirkt und gegen örtliche Mängel geschützt haben.

Bei plastischem und besonders bei erdfeuchtem Beton tritt das Gegenteil ein. Diese Betone enthalten oft in den Fugen Kiesnester, die Wege für das Wasser bilden.

Aber die Wasserundurchlässigkeit von Betonen, die mit einem Überschuß von Wasser eingebaut worden sind, beruht auf einer anderen Ursache, die von *M. Mary*, Ing. des Ponts et Chaussées, Laboratoire de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, geklärt wurde.³ Preßt man durch eine Betonprobe unter gleichmäßigem Druck Wasser, so findet man, daß die durchgepreßte Wassermenge sehr rasch, selbst bei destilliertem Wasser abnimmt. Dies beruht auf dem Quellen des Betons in Wasser und bestätigt die geringe Durchlässigkeit unter Wasser gehaltenen Betons.

Auslaugung von Kalk.

Außerdem enthält die gleiche Menge des ausgepreßten Wassers, wenn der Betonkörper unter Wasser lag, viel weniger Kalk, als wenn er an der Luft aufbewahrt war. Man sieht die Bedeutung der Tatsache, daß Talsperrenbetone dauernd feucht sind, was in gewissem Grade den Wasserüberschuß beim Gießen des Betons rechtfertigt. Solcher Beton ist weniger durchlässig und, bei gleicher Durchlässigkeit, weniger der Auslaugung ausgesetzt.

Kalkablagerung.

Mit den kalkhaltigen Wässern bildet sich eine oberflächliche Ablagerung von kohlen-saurem Kalk, die sehr wirksam ist, um die Menge des durchsickernden Wassers zu verringern, das aber trotzdem kalkhaltig bleibt. Nach Niederschlag des Kalkes auf der Außenschicht beginnt eine neue Lösungsaktion gegen den Kalk des Zementes, was aber nach gewisser Zeit aufhört.

Bei reinem Wasser dagegen setzt sich der Vorgang fort und man kann auch im Laboratorium feststellen, daß er sich verschlimmert, indem sich die Sicker-

³ Siehe Annales des Ponts et Chaussées Mai-Juni 1933 und November-Dezember 1934.

menge ständig vermehrt, was auf eine langsame Auflösung und Zerstörung der Struktur des Betons schließen läßt.

Pflanzliche Ablagerungen.

Glücklicherweise kommen auf den Außenflächen der Bauten natürliche Ansätze von im Wasser schwebenden Teilchen und auch Ansätze von Algen bis in die Risse hinein vor.

Mindestmischung.

Wenn der Beton genügend fett ist (250 bis 300 kg wenigstens in den Außenteilen, je nach der Größe der Steine), ist er viel weniger angreifbar. Ist er mager, so muß man unangenehme Zerstörungen befürchten. Es ist also ein schwerer Fehler, die Mischung allzu mager zu machen, besonders an der wasserseitigen Außenfläche.

Wie wir vorhin sahen, sind Schlackenzemente und Hüttenzemente weniger auflösbar als Portlandzement.

Kornabstufung des feinen Sandes.

Die Kornabstufung des feinen Sandes ($e \leq 0,5$ mm) ist wichtig für die Wasserundurchlässigkeit, die man stark steigern kann, wenn man den Feinstsandanteil oder besser den Zementanteil erhöht.⁴ Über 0,5 mm hat die Sandabstufung Einfluß auf die Wasserundurchlässigkeit nur noch in dem Maße, wie sie den Beton gut verarbeitbar macht. Kieselgur in üblicher Menge (2 bis 3 % des Gewichts des Zementes) hat nur die mittelbare Wirkung, Verarbeitbarkeit und Dichtigkeit zu erhöhen.

Widerstand gegen Abschleifen.

Was den Widerstand gegen die abschleifende Wirkung des Wassers anbetrifft, kann der Beton ohne Schaden sogar den Anprall sehr schnell bewegten Wassers vertragen (bis 25 m/Sek.), wenn die Oberfläche gut abgeglichen und rissfrei ist. Selbst bei höheren Geschwindigkeiten (bis 50 m/Sek.) hat man in Amerika festgestellt, daß der Beton widerstandsfähig war, sofern die Wellen parallel zur Betonfläche verliefen und letztere glatt war. Die Ablaufgalerien der Sperrmauer von Marèges wurden in folgender Weise konstruiert: als wasserdichter und fester Bestandteil läuft ein Stahlrohr über die Mauer. Zur Verhinderung der Korrosion ist dieses mit einem Zementmörtelanstrich versehen, dessen Haftung durch eine leichte, am Rohr angeschweißte Bewehrung vermehrt wurde. Die letzten Zentimeter des Überzugs bestehen aus Kaborundummörtel, um dem Zerschneiden besser zu widerstehen.

Wetterbeständigkeit.

Es wurden von mehreren Seiten sehr ernste Schäden an den Außenteilen durch klimatische Einflüsse festgestellt. Der Wechsel von Hitze und Kälte und besonders auch der Frost haben ihren Einfluß auf die nassen Außenflächen ausgeübt, tiefe Zerstörungen hervorgerufen und eine Zeit lang den Praktikern Sorge bereitet. Man hat aber auch an Bauwerken in sehr mildem Klima Beschädigungen beob-

⁴ Sandzement oder Zement, dem sehr fein gemahlener Sand beigegeben ist, würden zu unliebsamen Zerstörungen durch Wasserangriffe und Witterungseinflüsse Veranlassung geben.

achtet, sodaß man die Schuld nicht mehr allein auf zu rauhes Klima, sondern auch auf Ausführungsfehler schob; nämlich: nicht genügende Gleichmäßigkeit und Dichtigkeit des Betons (Ansammlung von Zementschlempe auf den Fugen im Gußbeton, Kiesnester und vor allem ungenügende Betonzusammensetzung). Einige Ingenieure glaubten fast, Beton ohne Zement herstellen zu können. Unter dem Vorwand der Wirtschaftlichkeit ging man auf 125, 100 und selbst 80 kg/m³ im Kern und auf 200 kg in den Außenteilen herunter.

Die Erfahrung zeigt, daß solche Betone sehr unter den Witterungseinflüssen und besonders dem Frost leiden. Der beste Schutz ist, besonders in rauhen Gegenden, die Mischung in den äußerlichen Teilen fetter zu machen. Man braucht sich nicht zu scheuen, bis auf 300, ja 350 kg/m³ fertigen Betons hinaufzugehen, um vor Schäden dieser Art sicher zu sein. Es ist eigenartig, daß solche Fehlschläge gerade an Schwergewichtsmauern auftreten. Die Eisenbetonsperren (mit der einen Ausnahme von Gem Lake, deren Beton schlecht hergestellt war), zeigen im allgemeinen ausgezeichnete Ergebnisse, selbst diejenige von Suorda unter dem Polarkreis in Lappland, deren Außenfläche nur einige Dezimeter dick ist. Es sind also vor allem Fehler in der Mischung, die die Schuld tragen.

Zusammenfassung.

Bei dem heutigen Stand der Technik ist die erste Forderung an einen Beton beim Bau von Sperrmauern, wenn man schwere Fehlschläge vermeiden will, die gute Verarbeitbarkeit, die eine fast völlige Automatisierung des Einbaues zu erreichen gestatten soll.

Die Mengen an Anmachwasser, Sand und Feinsand, die alsdann zu verwenden sind, um dieser ersten Bedingung Genüge zu leisten (unter Berücksichtigung der verfügbaren Baustoffe und der Einbauweise des Betons), ergibt die Betonzusammensetzung (Dosierung). Die für die Festigkeit erforderliche Mischung ist im allgemeinen ziemlich niedrig; man muß eine Mindestmischung festsetzen, die für die äußeren Mauerteile erforderlich ist und die gegen die Gefahren des Durchsickers, der Auflösung durch durchsickerndes Wasser und Witterungseinflüsse genügend schützt. Die Zementmenge beträgt mindestens 250 bis 300 kg/m³ fertigen Betons.

Um zu hohe Erwärmung zu vermeiden, ist für massive Sperrmauern ein Sonderzement zu fordern und für sehr umfangreiche Bauten künstliche Kühlung.

Das Rütteln gestattet bei dem heutigen Stand der Technik keinen Verzicht auf leichte Verarbeitbarkeit. Es ist aber trotzdem eine wertvolle Hilfe für den Einbau und besonders geeignet, um Wasserundurchlässigkeit der auf der Wasserseite gelegenen Außenseite zu erreichen. Es ist erwünscht, daß sich das Rütteln einbürgert und zwar als Innenvibration mit großer Kraftleistung und hoher Schwingungszahl.

Besondere Vorkehrungen sind an den waagrechten Fugen anzuwenden (sorgfältiges Aufrauen und Ausbreitung einer Mörtelschicht oder einer Feinbetonschicht unmittelbar vor dem Weiterbetonieren).

Die einzige zuverlässige Überwachung, sowohl in Bezug auf die Festigkeit als auch die Wasserundurchlässigkeit, ist die Überwachung des Baubetons mit Hilfe von Prüfkörpern, die der Sperrmauer selbst entnommen wurden.

Leere Seite
Blank page
Page vide