

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 77 (1959)
Heft: 1

Artikel: Vorversuchende und laufende Prüfungen von Beton für
Grossbaustellen: Vortrag
Autor: Bertschinger, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-84185>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 06.02.2025

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

Strom- und Spannungswandler werden heute bis 380 kV gebaut, die Leistungswandler bis 600 kVA. Seit 1955 werden auch elektronische Probleme bearbeitet, und zu den Kleintransformatoren traten eine zweckmässig genormte Reihe von Apparatetransformatoren sowie die Transduktoren, die für die Regeltechnik von Bedeutung sind.

Für die technische Bearbeitung der zahlreichen und keineswegs einfachen Aufgaben stehen ein chemisches Labo-

ratorium (für Kunstharzprobleme), ein Werkstofflaboratorium (für Dielektrika), ein physikalisches Laboratorium (für Regelprobleme) und eine Studienabteilung zur Verfügung. So darf der Gründer bei seinem achtzigsten Geburtstag mit Genugtuung die Entwicklung seines Werkes überblicken und freudig feststellen, dass es zu einem lebensstarken und tragfähigen Glied der Volkswirtschaft unseres Landes geworden ist.

A. O.

Vorversuche und laufende Prüfungen von Beton für Grossbaustellen

DK 666.972:627.824.7

Vortrag von H. Bertschinger, dipl. Ing., Vicosoprano, gehalten anlässlich der Studentagung S.I.A./SVMT/SNGT über aktuelle Betonprobleme in Locarno am 21. März 1958

I. Gewinnung und Aufbereitung der Zuschlagstoffe

A. Wirtschaftliche Bedeutung der Vorversuche

Bei der Festlegung der Zementdosierung des Betons grosser Bauwerke sind bedeutende Geldsummen im Spiel. Eine Aenderung der Zementdosierung des Betons einer Stauwand von 1 Mio m³ Volumen um nur ± 1% oder rd. 2 kg/m³ hat Mehr- oder Minderkosten von rd. 200 000 Fr. zur Folge. Die Durchführung gewissenhafter Vorversuche mit den Grundstoffen des Betons ist deshalb von grösster wirtschaftlicher Bedeutung. Zement, chemische Zusatzmittel und Wasser können im Normalfall in genau bekannter und regelmässiger Qualität bezogen werden und stellen in technologischer Hinsicht keine besonderen Probleme.

Anders steht es mit dem Kies und Sand, welche mehr als 90% des Gesamtgewichtes des Betons ausmachen. Ein Transport dieser Zuschlagstoffe über längere Distanzen ist umständlich und teuer. Die Aufbereitung derselben in möglichster Nähe der grossen Bauwerke ist wirtschaftlicher und bildet heute die Regel. Sowohl die Aufbereitungsanlagen wie auch die Granulometrie und die Zementdosierung des zu

erstellenden Betons haben sich nach den von der Natur gegebenen Eigenschaften von Kies und Sand zu richten. Die mit einem bestimmten Material gemachten Erfahrungen dürfen nicht ohne weiteres verallgemeinert und unbesehen auf ähnliche Zuschlagstoffe übertragen werden. Um falsche Anordnungen zu vermeiden, sind für jedes neue Rohmaterial neue Versuche durchzuführen und zwar möglichst frühzeitig, d. h. zwei bis drei Jahre vor dem Beginn der eigentlichen Bauarbeiten.

B. Einfluss der Granulometrie auf die Eigenschaften des Betons

Gemäss einer Grundregel der Betontechnologie ergibt derjenige Kornaufbau einer Mischung die höchste Festigkeit, welcher pro Volumeneinheit die kleinste Oberfläche aller Körner aufweist. Eine weitere Bedingung verlangt, dass die Hohlräume zwischen den grossen Körnern durch kleinere vollständig ausgefüllt werden. Diese beiden Bedingungen begrenzen bereits einen ziemlich engen Bereich für den zweckmässigen Kornaufbau.

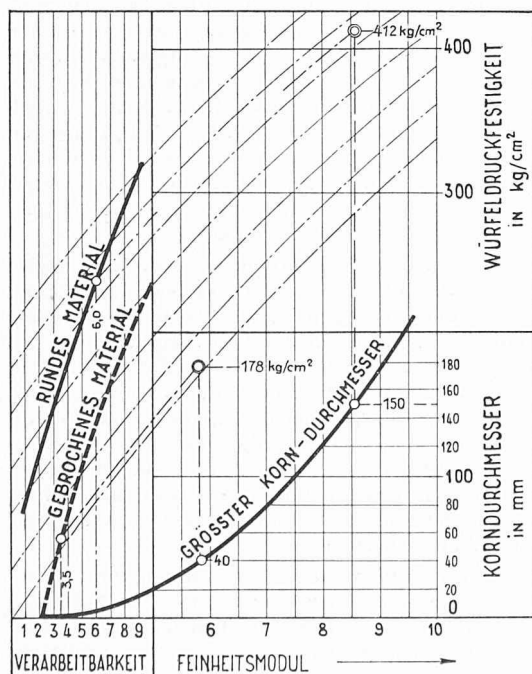


Bild 1. Schematische Darstellung des Zusammenhanges zwischen maximaler Korngrösse, Feinheitsmodul und Druckfestigkeit von Beton verschiedener Kornform und Verarbeitbarkeit. Beispiel: Stark plastischer Feinbeton PC 200 mit einer Verarbeitbarkeit von 3,5 aus gebrochenem Granitmaterial mit Maximalkorndurchmesser 40 mm erreicht nach 28 Tagen eine Würfeldruckfestigkeit von nur 178 kg/cm². Die Druckfestigkeit eines gleich dosierten, schwach plastischen Grobbetons mit Maximalkorn 150 mm aus Rundmaterial und einer Verarbeitbarkeit von 6,0 kann dagegen auf 412 kg/cm² ansteigen.

Tabelle 1. Zusammenstellung der auf die Betonqualität wirkenden Ursachen

	I. Auf der Baustelle nicht beeinflussbar	II. Auf der Baustelle beeinflussbar	III. Messbare Eigenschaften des Frischbetons	IV. Messbare Eigenschaften des erhärteten Betons
Zement	Normenfestigkeit Abbindegeschwindigkeit Volumenbeständigkeit Frostbeständigkeit (Zementmarke)	Dosierung Zementmarke Alter Lagerung (trocken od. feucht)	Temperatur Luftgehalt	Raumgewicht Biegezugfestigkeit
Wasser	Temperatur chem. Zusammensetzung	Dosierung	Verarbeitbarkeit	Würfeldruckfestigkeit
Kies — Sand	Petrographische Beschaffenheit Festigkeit Härte Glimmergehalt Kornform: natürlich: rund/plattig gebrochen: kubisch/plattig Oberflächenbenetzbarkeit	Kornaufbau: Max. Korngrösse Sandmenge (0-3 mm) Staubanteil (< 0,12 mm) Feinheitsmodul: a) der Mischung b) des Sandes (0-3 mm) Glimmergehalt Reinheit der Oberfläche		Prismendruckfestigkeit Wasserdichtigkeit Frostbeständigkeit Elastizitätsmodul Resonanzfrequenz
chem. Zusatz	Qualitätschwankungen	Marke Dosierung		
Verarbeitung		Mischer u. Mischzeit Entmischung Verdichtung, Vibration		
Erhärtungsbedingungen	Temperatur Luftfeuchtigkeit Erschütterungen	Temperatur Feuchthaltung Alter		

Je grösser das Maximalkorn einer richtig abgestuften Mischung, um so kleiner wird die Gesamtoberfläche der Körner und um so höher die zu erwartende Festigkeit des Betons.

Gemäss Bild 1 kann die Druckfestigkeit eines Betons aus Granitmaterial mit einer Dosierung von 200 kg Portlandzement pro m³ nach 28 Tagen zwischen 178 kg/cm² und 412 kg/cm² variieren, je nach Korngrösse, Kornform und Verarbeitbarkeit, bzw. Wasserbeigabe. Die Verwendungsmöglichkeiten der dargestellten, extremen Betonsorten sind naturgemäss sehr verschieden, und es ist eine Aufgabe der Vorversuche, für jeden Verwendungszweck den Beton zu finden, der mit dem Minimum an Installationen, Arbeit und Zement in genügender Qualität hergestellt und verarbeitet werden kann.

C. Begrenzung des grössten Korndurchmessers

Der Durchmesser des Maximalkornes einer Mischung sollte nicht grösser sein als etwa ein Drittel des kleinsten Abstandes der Schalungen der zu erstellenden Bauteile. Beim Eisenbeton ist der Abstand der Armierungseisen massgebend für die Wahl des Maximalkornes. Beim Massenbeton grosser Bauwerke kennt man diese Grenzen nicht, hier entscheiden wirtschaftliche und ausführungstechnische Überlegungen.

Bei einer fabrikmässigen und hochmechanisierten Herstellung des Betons in Tausenden von m³ pro Tag durchlaufen die Zuschlagstoffe Siloschnauzen, Transportbänder und Mischtrommeln. Die Installations- und Betriebskosten und vor allem der Verschleiss dieser Anlagen steigen mit dem Gewicht der grössten durchgehenden Körner.

Trotz dem Einsatz immer leistungsfähigerer Maschinen und Geräte beim Transport und Einbringen des Betons wird die menschliche Muskelarbeit nie ganz ausgeschaltet werden können. Die grössten Brocken im Beton sollten daher ein bestimmtes Verhältnis zur menschlichen Muskelkraft und den üblichen Geräten, wie Schaufeln und Vibratoren, nicht überschreiten.

Je grösser der Durchmesser des Maximalkornes und der prozentuale Anteil der grössten Komponente im Gemisch, um so kostspieliger wird die einwandfreie Verarbeitung des Betons im Bauwerk. Bei groben Gemischen besteht die Tendenz zur Entmischung während dem Transport und dem Verteilen an der Einbaustelle, und damit erhöht sich die Gefahr der Bildung von Kiesnestern, welche viel schwerwiegendere Folgen für die Qualität des Bauwerkes befürchten lassen, als die Einbusse von einigen kg/cm² an Druckfestigkeit als Folge der Reduktion des maximalen Korndurchmessers oder des Anteiles an Grobkorn.

Die obere Grenze des Feinheitsmoduls der Mischung wird deshalb weitgehend von den technischen Möglichkeiten der einwandfreien Verdichtung und deren Kosten bestimmt. Sie

liegt dort, wo die Einsparung an Zement durch die Mehrkosten von Aufbereitung, Transport und Verdichtung des Betons und dessen Zuschlagstoffen infolge Vergrösserung des Maximalkornes gerade aufgehoben wird. Für schweizerische Verhältnisse liegt diese Grenze bei einem Korn-Durchmesser von 120 mm bis 200 mm. Die heutige Tendenz scheint eher wieder in Richtung kleinerer Korngrössen zu gehen.

D. Aufteilung der Komponenten

Um eine Mischung mit vorgeschriebener Kornabstufung zu erstellen, werden mehrere, aus dem natürlichen Anfall aussortierte Korn-Komponenten in bestimmten Verhältnissen zusammengemischt. Für die Abstufung und die Anzahl der Komponenten sind neben den technologischen hauptsächlich wirtschaftliche und ausführungstechnische Überlegungen bestimmend. Ausscheidung, Lagerung, Transport und Dosierung jeder einzelnen Komponente verlangen Installationen und Arbeit, so dass sich die Aufteilung wiederum nur soweit lohnt, als deren Kosten durch eine entsprechende Einsparung an Zement aufgewogen werden.

Alle grossen Baustellen, auch diejenigen von Stau-mauern, verlangen für die Herstellung der verschiedenen Bauteile besondere Betonsorten, und die Aufteilung und Abgrenzung der Komponenten sollte so vorgenommen werden, dass diese Betonsorten (Bild 2) hergestellt werden können.

Technologisch günstig ist eine Aufteilung, bei welcher der Durchmesser des Maximalkornes jeder Komponente dem doppelten der vorangehenden Komponente entspricht. Wird das Maximalkorn des Sandes bei rd. 3 mm angenommen, so erfordert diese Bedingung bereits sieben Komponenten für einen Beton mit einem Maximalkorn von 150 mm Ø. Die Praxis geht gewöhnlich nicht so weit und begnügt sich mit fünf bis sechs Komponenten.

E. Betonsorten auf Kraftwerkbaustellen (Bild 2)

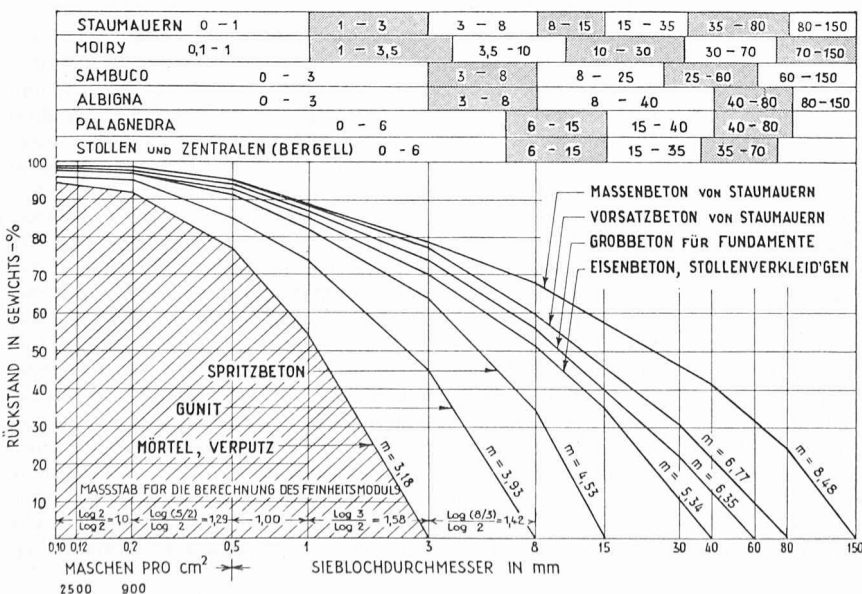
Der Massenbeton von Gewichts-Mauern soll bei kleinster Zementdosierung die höchste Festigkeit aufweisen; er wird heute mit rd. 140 bis 180 kg Zement/m³ und einem Maximalkorn von 120 bis 200 mm hergestellt. Dieser magere Kern wird gegen aussen geschützt durch einen 1,50 bis 2,50 m dicken Mantel aus Vorsatzbeton mit einem Maximalkorn von 60 bis 100 mm und einer Dosierung von 230 bis 270 kg Zement/m³. Vom Vorsatzbeton wird vor allem Frostbeständigkeit und Wasserdichtigkeit verlangt.

Beton für armierte Bauteile und Verkleidungen von Stollen hat ein Maximalkorn von rd. 40 mm, Spritzbeton von 15 mm und Gunit von 8 mm.

Das Maximalkorn des Sandes wird im Stau-mauerbau bei 3 bis 4,5 mm gewählt. Ein guter Sand 0÷3 mm sollte rd. 50 % Anteil unter 1 mm Ø enthalten. Ist dieses Verhältnis durch die Natur nicht gegeben, so empfiehlt sich

eine Aufteilung des Sandes in 0÷1 mm und 1÷3 mm, wie z. B. bei der Stau-mauer Moiry. Der Beton der Stau-mauer Sambuco ist aus fünf Komponenten zusammengesetzt, wie derjenige der Stau-mauer Albigna. Bei Albigna sind die Durchmesser der Maximalkörner, des Fein- und Mittelkieses gegenüber Sambuco etwas grösser gewählt. Die Aufbereitung für die Stau-mauer Palagnedra lieferte ungefähr gleichviel Material für Stollenverkleidungen und Eisenbeton wie für die Stau-mauer, was deren Kornaufteilung beeinflusste. Eine eigens für Stollen und Zentralen bestimmte Aufbereitung hat Material zu liefern für Gunit, Spritzbeton, Eisen- und Stollenbeton, sowie für groben Fundamentbeton. Sofern die von der Natur gegebene Körnung des Sandes den Anforderungen entspricht, ist für diesen Fall eine Abgrenzung der Komponenten bei 6, 15, 35 und 70 mm gegeben.

Bild 2. Gebräuchliche Betonsorten für Kraftwerkbaustellen. Der Inhalt der schraffierten Fläche entspricht dem Feinheitsmodul (m = 3,18) des Sandes 0 ÷ 3 mm



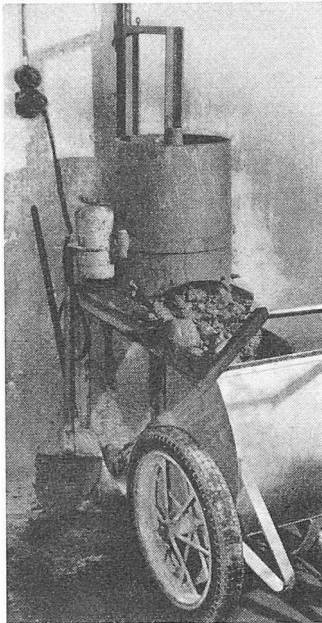


Bild 3. Gerät zur Messung der «Verarbeitbarkeit» von Frischbeton

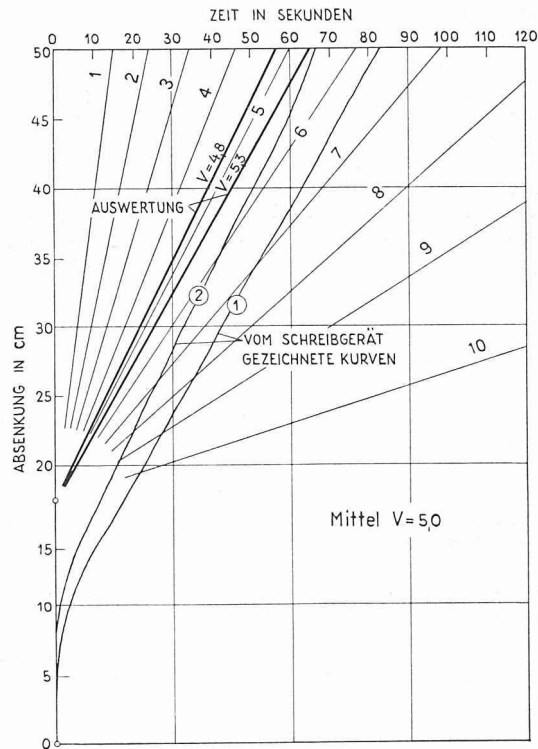


Bild 4 (rechts). Skala für die Messung der Verarbeitbarkeit von Beton. Die mit 1 und 2 in Kreisen bezeichneten Kurven sind vom Schreibgerät aufgezeichnet, sie entsprechen der Ausflussgeschwindigkeit, bzw. der «Verarbeitbarkeit» des geprüften Betons. Die Strahlen 1 bis 10 sind eine willkürlich angenommene Skala zur Messung der Verarbeitbarkeit. Die durch den Schnittpunkt des Strahlenbündels gelegten parallelen Geraden («Auswertung») zum oberen Teil der eingekreisten Kurven 1 und 2 gestatten die direkte Ablesung der Verarbeitbarkeit

II. Messmethoden der Betontechnologie für Ursachen und Wirkungen

A. Allgemeines über Ursachen und Wirkungen und deren Messmethoden

Um die richtigen Entschlüsse hinsichtlich der Installationen, der Kornaufteilung, der Zementdosierung, sowie der Beimischung chemischer Zusatzmittel fassen zu können, ist eine genaue Kenntnis der Technologie des mit den zur Verfügung stehenden Materialien zu fabrizierenden Betons Voraussetzung.

In Tabelle 1 sind zwei Gruppen von variablen Ursachen dargestellt, welche auf die Qualität des Betons wirken. Die I. Gruppe ist von der Natur gegeben und kann während der Durchführung der Bauarbeiten durch keine unserer Massnahmen beeinflusst werden. Die II. Kolonne enthält Ursachen, die mit geeigneten Mitteln in bestimmten Grenzen beliebig variiert werden können. Die in der III. Kolonne aufgeführten Eigenschaften des Frischbetons sind Wirkungen der in Kol. I. und II. aufgeführten Ursachen und zugleich Ursachen für die in Kol. IV. erwähnten Eigenschaften des erhärteten Betons.

Die Vorversuche sollen die Wirkungen der Variation einzelner oder mehrerer Ursachen auf die Betonqualität feststellen. Die Auswertung der Ergebnisse soll zeigen, wo die optimalen Werte liegen und in welchen Grenzen die Ursachen gehalten werden müssen, um die Streuung der Betonqualität in zulässigen Grenzen zu halten.

Eine sinnvolle Diskussion über Ursachen und Wirkungen ist nur möglich, wenn dieselben gemessen und miteinander verglichen werden können. Ich vertrete die Ansicht, dass es jedem Laboratorium erlaubt ist, sich eigene Messmethoden und Mass-Systeme zu schaffen, wenn diese nicht bereits in geeigneter und allgemein gültiger Form vorliegen. Diese Freiheit erschwert allerdings den direkten Vergleich der Resultate verschiedener Laboratorien untereinander, hat aber den Vorteil der Anpassungsfähigkeit der Messmethoden an das Instrumentarium der Laboratorien und an die Phan-

tasie ihrer Leiter. Es handelt sich bei den Vorversuchen, wie bereits erwähnt, vor allem darum, herauszufinden, wo die beste Betonqualität erwartet werden darf, und es ist deshalb absolut gleichgültig, mit was für Messmethoden und Masseinheiten diese Bereiche gefunden werden, vorausgesetzt, dass auf den Baustellen die selben Messmethoden wie im Laboratorium gelten. Der Zusammenhang zwischen der im Laboratorium gemessenen Betonqualität und der Qualität des Betons am Bauwerk steht hier nicht zur Diskussion. Es wird lediglich angenommen, dass der Beton, welcher im Laboratorium die besten Qualitätseigenschaften aufweist, auch am Bauwerk allen anderen Betonarten überlegen ist.

B. Messmethoden für die einzelnen Ursachen und Wirkungen

1. Messung der im Gemisch liegenden Ursachen, welche die Betonqualität beeinflussen.

a) Petrographische Beschaffenheit der Zuschlagstoffe

Ein brauchbares Mass-System für die petrographische Qualität der Zuschlagstoffe gibt es nicht. Um die Wirkungen verschiedenartiger Zuschlagstoffe auf die Betonqualität miteinander vergleichen zu können, sind Versuchsreihen mit genau gleicher Körnung und gleicher Dosierung von Wasser und Zement herzustellen.

b) Kornform der Zuschlagstoffe

Die Summe der Oberflächen aller Körner eines Gemisches ist nicht nur von der Granulometrie, sondern auch in hohem Masse von der Kornform abhängig. Plattige Formen ergeben naturgemäss eine viel grössere Oberfläche als runde oder kubische Körner. Zuschlagstoffe aus Flussschiebe sind eher kugelförmig oder kubisch als Materialien aus Moränen, Gehängeschutt oder Bergstürzen, welche unregelmässige Formen mit wesentlich grösseren spezifischen Oberflächen aufweisen. Das selbe gilt für Brechmaterial, das normalerweise ebenfalls bedeutend grössere spezifische Oberflächen zeigt als Material aus alluvialen Ablagerungen. Der grosse Unterschied im Wasserbedarf und der Festigkeit des Betons aus rundem und aus gebrochenem Material geht aus Bild 6 deutlich hervor.

Bei bestimmten Kies-Sand-Vorkommen, die auf ihre Eignung als Zuschlagstoffe für Beton untersucht werden müssen, kann das Mengen-Verhältnis zwischen natürlichem und gebrochenem Material eine ausschlaggebende Rolle spielen. Um dem Einfluss dieses Verhältnisses beizukommen, sollten verschiedene Versuchsreihen mit 100 % natürlichem und mit 100 % gebrochenem Material durchgeführt werden. Als Ergänzung gehören dazu Versuchsreihen mit variablem Verhältnis zwischen natürlichem und gebrochenem Material, wobei als Mass für die Kornform der prozentuale Anteil des Brechmaterials im natürlichen Material angenommen werden kann. Die Schätzung dieses Verhältnisses an einer gegebenen Mischung ist ausserordentlich schwierig und mit individuellen Fehlern behaftet. Es handelt sich hier, wie bei der petrographischen Beschaffenheit, um eine Ursache, die sehr schwer in Zahlen erfasst werden kann. Die Erfahrung hat gezeigt, dass der Einfluss der Kornform des Sandes auf die Betonqualität viel grösser ist als derjenige der Kornform der grösseren Komponenten. So kann, um ein Beispiel anzuführen, ein Gemisch aus Brechmaterial durch Zugabe von bescheidenen Mengen an feinem Rundsand bedeutend verbessert werden.

c) Kornaufbau der Zuschlagstoffe

Der Kornaufbau eines Gemisches wird charakterisiert durch die Sieblinie, deren Kenntnis vorausgesetzt wird. Der Feinheitsmodul m gestattet, die Granulometrie einer Mischung mit einer einzigen Zahl auszudrücken. Diese entspricht der Fläche unter der Sieblinie zwischen der Ordinate x durch 0,1 mm und der Abszisse x (Bild 2). In Bild 1 ist der Zusammenhang zwischen dem Durchmesser des Grösstkornes einer normalen Betonmischung und dem Feinheitsmodul schematisch dargestellt. Die Druckfestigkeit des Betons steigt ungefähr linear an mit dem Feinheitsmodul der Mischung.

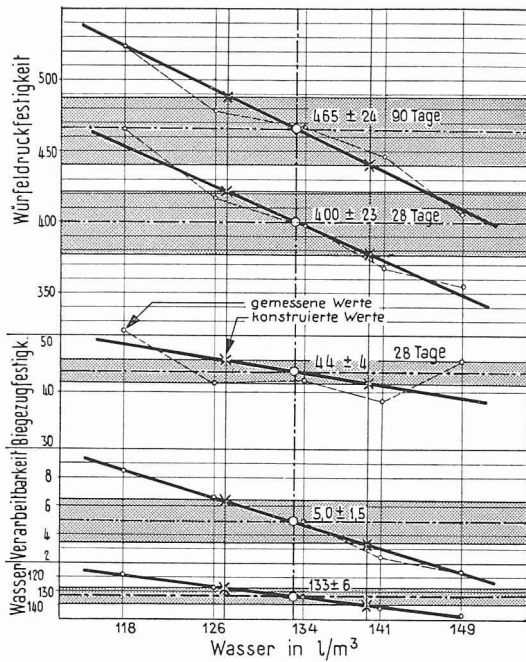


Bild 5. Zusammenhang zwischen Wasserdosierung und Verarbeitbarkeit von Vorsatzbeton P 250 mit Maximal Korn Ø 80 cm

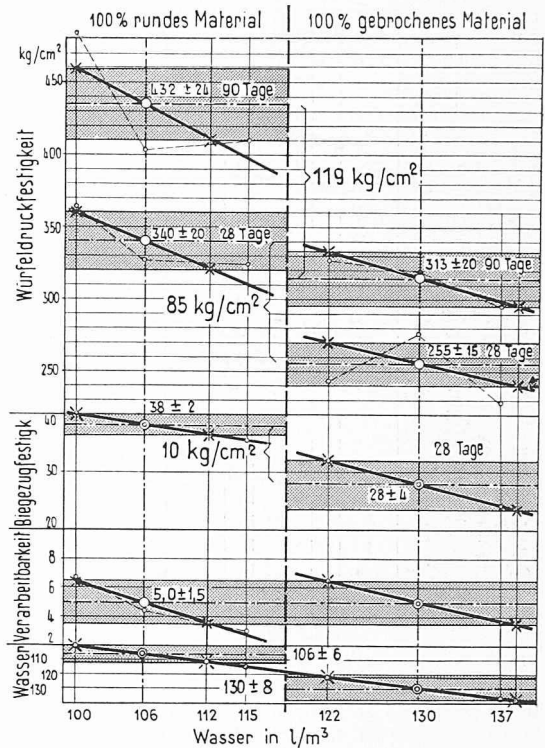


Bild 6. Zusammenhang zwischen Wasserdosierung, Verarbeitbarkeit, Biegezugfestigkeit und Würfeldruckfestigkeit von Massenbeton PC 150 und Maximal Korn Ø 150 mm für 100 % natürliches Rundmaterial und 100 % Brechmaterial

d) Zementqualität

Bei der Durchführung von Versuchsreihen ist streng darauf zu achten, dass für alle Einzelproben Zement aus der gleichen Lieferung, wenn möglich aus demselben Sack, verwendet wird. Um den Einfluss des Alters und der Lagerbedingungen des Zementes auszuschalten, sind die Probekörper einer Versuchsreihe in möglichst kurzer Reihenfolge, wenn möglich am gleichen Tag, zu erstellen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass nachträglich, d. h. nach einigen Wochen erstellte Probekörper trotz gleichem Alter und gleichen Lagerbedingungen nicht mehr in früher begonnene Reihen hinein passen, was der Veränderung der Qualität des Zementes zuzuschreiben ist. Um diese Einflüsse zu überblicken, sollten gleichzeitig mit der Erstellung der Probekörper aus Beton Normenproben des Zementes ausgeführt werden.

e) Zementdosierung

Die Zementdosierung wird bei der Aufstellung von Versuchsreihen in kg pro m³ fertigen Beton berechnet. Da das Raumbgewicht des erhärteten Betons nicht genau vorausgesagt werden kann, wird die notwendige Zementmenge auf Grund der Gewichte der zugegebenen Bestandteile bestimmt und die tatsächliche Dosierung anhand des festgestellten Raumbgewichtes am erhärteten Beton nachgerechnet.

f) Wasserdosierung

Die zweckmässige Angabe der Dosierung des Anmachwassers geschieht vorteilhaft in kg/m³ fertigen Betons, genau gleich wie für den Zement. Der in der Betontechnologie oft verwendete Wasser-Zement-Wert kann rasch aus den oben erwähnten Angaben berechnet werden, falls er gebraucht wird. Meines Erachtens bringt die Einführung des Wasser-Zement-Wertes keine neuen Gesichtspunkte zur Beurteilung eines Betongemisches, sondern lediglich eine Komplikation durch eine zusätzliche Kennziffer, so dass die Technologie des Massenbetons vollständig ohne diesen Ausdruck auskommen könnte.

2. Messungen am Frischbeton

a) Verarbeitbarkeit

Ein altbekanntes Mass für die Plastizität des Frischbetons ist die Slump-Probierprobe. Diese ist aber für die heute ge-

bräuchlichen, zähen Betonsorten nicht verwendbar. Meines Wissens gibt es noch kein allgemein anerkanntes Mass für die Plastizität von zähem Beton.

Ein auf der Baustelle der Staumauer Albigna eingesetztes Gerät zur Messung der Verarbeitbarkeit des Massenbetons ist in Bild 3 dargestellt. Der Zylinder mit rd. 60 l Inhalt wird mit Beton gefüllt, der Deckel aufgesetzt, der Ausfluss geöffnet und der seitlich angeschraubte Vibrator in Betrieb gesetzt. Der Deckel senkt sich entsprechend der Ausflussgeschwindigkeit des Betons und seine Bewegung wird mit einem Schreibgerät aufgezeichnet. Ein Beispiel



Bild 7. Vibration eines Probekörpers 40/40/40 cm auf dem Rütteltisch. An der Unterseite der auf Gummistreifen gelagerten Tischplatte ist ein Schalungs-Vibrator befestigt

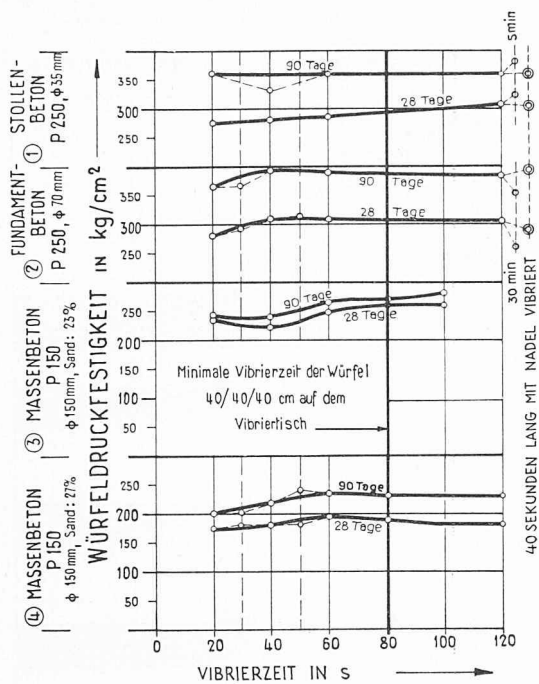
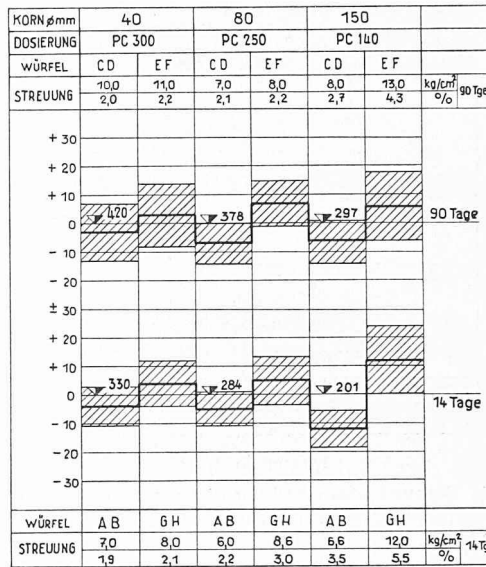


Bild 8. Einfluss der Vibrierzeit auf dem Rütteltisch auf die Würfeldruckfestigkeit von Beton

Bild 9. Streuung der Würfeldruckfestigkeit von Probekörpern 20/20/20 cm innerhalb eines Würfels von 40 cm Kantenlänge



Variation der Druckfestigkeit nach 28 Tagen von $\pm 23 \text{ kg/cm}^2$ zur Folge.

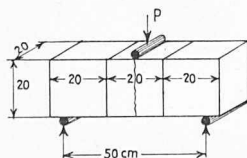
In Bild 6 ist eine ähnliche Versuchsreihe dargestellt für Kernbeton P 150 mit Maximalkorn $\phi 150 \text{ mm}$, einmal mit 100% natürlichem Rundmaterial, und ein zweites Mal mit 100% Brechmaterial ausgeführt. Auffallend ist dabei der grosse Unterschied des Wasserbedarfes für die Erreichung der gleichen Verarbeitbarkeit. Um die für den Einbau im Bauwerk günstige Verarbeitbarkeit von 5,0 zu erzielen, benötigt der Beton aus Rundmaterial z. B. 106 l Wasser pro m³, derjenige aus Brechmaterial 130 l/m³. Entsprechend dem erhöhten Wasserbedarf erreicht die Druck-

festigkeit des Betons aus Brechmaterial mit der Verarbeitbarkeit 5,0 z. B. nach 28 Tagen nur rd. 255 kg/cm², gegenüber rd. 340 kg/cm² des gleichen Betons aus natürlichem Rundmaterial.

Die laufende Kontrolle der Verarbeitbarkeit des in die Staumauer Albigna eingebrachten Betons mit dem beschriebenen Apparat hat gute Ergebnisse gezeigt. Die Beurteilung der Plastizität des Betons an der Einbaustelle durch Messung der für die Verdichtung notwendigen Vibrationszeit ist mit individuellen Ansichten und Fehlern behaftet und kann zu unfruchtbaren Diskussionen führen, während das beschriebene Gerät eindeutige Resultate liefert. Eine möglichst genaue Messung der Verarbeitbarkeit ist namentlich notwendig bei der Ausführung von Versuchsreihen. Der Vergleich der Qualität verschiedener Probekörper lässt keinerlei Schlüsse zu über die Zweckmässigkeit eines Korngemisches oder eines chemischen Zusatzmittels, wenn vergleichbare Angaben über den Grad der Verarbeitbarkeit des Frischbetons fehlen.

der so erhaltenen Absenkkurven ist in Bild 4 dargestellt. Der Neigungswinkel der oberen Hälfte der Absenkkurve ergibt ein Mass für die Ausflussgeschwindigkeit des Betons, das in der Folge als «Verarbeitbarkeit» bezeichnet wird. Der Bereich zwischen dem flüssigsten und dem steifsten Beton, der auf einer Baustelle erwartet werden kann, wurde willkürlich in zehn Teile eingeteilt. Die Erfahrungen mit diesem Gerät haben einen eindeutigen Zusammenhang zwischen der gemessenen Verarbeitbarkeit und dem Wasser-gehalt des Frischbetons ergeben, der in den Diagrammen der Bilder 5 und 6 dargestellt ist.

Bild 5 zeigt die Abhängigkeit der Verarbeitbarkeit von Vorsatzbeton P 250 mit Maximalkorn $\phi 80 \text{ mm}$ vom Wasser-gehalt, sowie den Zusammenhang zwischen der Biegezug- bzw. der Druckfestigkeit und der Wasserdosierung, bzw. der Verarbeitbarkeit. Die für die Baustelle günstige Verarbeitbarkeit liegt bei 5,0. Eine Abweichung von $\pm 1,5$ hat eine



KORN ϕ mm	40	80	150
DOSIERUNG	PC 270	PC 250	PC 140
STREUUNG	$\pm 2,4\%$	$\pm 3,0\%$	$\pm 5,0\%$
Würfeldruckfestigkeit nach 28 Tagen			
+			
0	360	330	194
-			
Biegezugfestigkeit nach 28 Tagen			
+			
0	4,12	46,4	39,0
-			
STREUUNG	$\pm 3,0\%$	$\pm 3,5\%$	$\pm 4,0\%$

Bild 10. Mittlere Streuung der Biegezugfestigkeit und der Würfeldruckfestigkeit von Prismen 20/20/20 cm bei verschiedenen Durchmessern des Maximalkornes im Beton

b) Luftgehalt

Die Messmethode der durch Air-entraining-Mittel in den Beton eingeführten Luft mit Druckgefässen wird als allgemein bekannt vorausgesetzt. Ein normaler Beton ohne chemische Zusatzmittel enthält rd. 1,8 bis 2,5 % Luft. Um von der Wirkung eines Air-entraining-Mittels Nutzen ziehen zu können, muss der Luftgehalt zwischen 3,5 % und 4,5 % gehalten werden. Die Menge der eingeführten Luft hat einen

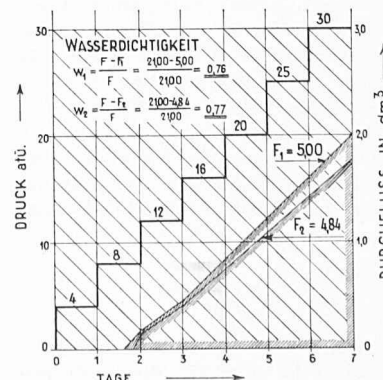


Bild 11. Schema für die Prüfung der Wasserdichtigkeit von Betonproben und deren Charakterisierung durch eine einzige Zahl

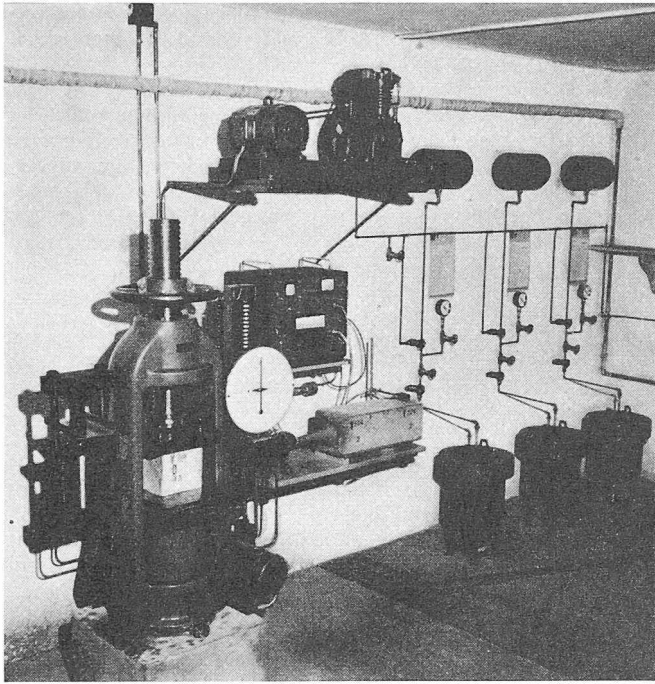


Bild 12. Prüfgeräte für erhärteten Beton. Links: 200-t-Presse für Würfel 20/20/20 cm, rechts daneben Schallmessgerät zur zerstörungsfreien Prüfung der Auflockerung des Gefüges von Prismen 20/20/60 cm infolge Frosteinflüssen. Rechts am Boden: Druckgefässe zur Prüfung der Wasserdichtigkeit von Betonwürfeln 20/20/20 cm

wesentlichen Einfluss auf die Druckfestigkeit des Betons und ist deshalb bei der Aufstellung von Versuchsreihen bei jeder der untersuchten Mischungen zu messen. Mit dem Vibrieren wird ein beträchtlicher Anteil der eingeführten Luftbläschen wieder ausgetrieben.

Der für die Luftmessung in den Prüfkübel eingebrachte Beton ist daher nur durch Klopfen und Schütteln, ohne Zuhilfenahme eines Vibrators, zu verdichten. Durch zu starke und zu lange Vibration des Betons bei der Verarbeitung auf der Baustelle oder im Probekörper des Laboratoriums kann ebenfalls ein grosser Teil der eingeführten Luft ausgetrieben werden, so dass deren günstige Wirkung auf die Frostbeständigkeit des Betons teilweise verloren geht. Die Bestimmung des Luftgehaltes eines fertig verdichteten Betons ist deshalb nicht einfach und kann mit Fehlern behaftet sein, die zu Trugschlüssen führen.

c) Grad der Verarbeitung

Als Mass für die Verarbeitung eines Probekörpers kann die Zeit angenommen werden, während welcher ein Tauchvibrator im Beton wirkt. Versuche haben ergeben, dass diese Art der Messung mit grossen individuellen Streuungen behaftet sein kann. Diese können ausgemerzt werden durch die Vibration der Proben auf Rütteltischen (Bild 7), wobei für alle Körper eine bestimmte, immer gleich bleibende Vibrationszeit eingehalten wird. Auf Bild 8 sind verschiedene Versuchsreihen dargestellt, welche den Einfluss der Vibrationszeit auf die Würfeldruckfestigkeit zeigen. Es ergibt sich daraus, dass für die vollständige Verdichtung eine Vibrationszeit von rd. 80 s notwendig ist. Bei der Mischung 1 bringt die Verlängerung der Vibrationszeit auf 5 min eine Erhöhung der Festigkeit um rd. 30 kg/cm², bei Mischung Nr. 2 wurde 30 min lang vibriert, was eine Verminderung der Druckfestigkeit um rd. 50 kg/cm² zur Folge hatte. Die Vibration mit der Nadel hatte im einen Fall eine Verbesserung, im andern eine Verschlechterung der Druckfestigkeit zur Folge, was einer Vergrösserung der Versuchsstreuung gleich kommt.

3. Messungen am erhärteten Beton

a) Würfeldruckfestigkeit

Gemäss einer bekannten Regel sollte der grösste Korndurchmesser im Beton ein Drittel der kleinsten Abmessung

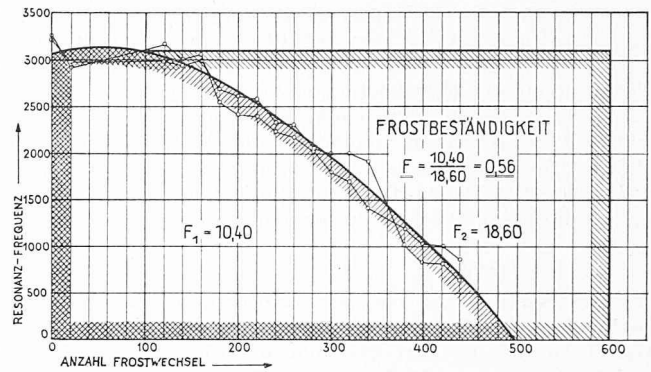


Bild 13. Gemessene Resonanzfrequenz an Prismen 20/20/60 cm nach je 20 Frostwechseln

eines Probekörpers nicht überschreiten. Ein Maximalkorn von 15 cm Ø verlangt demgemäss eine Kantenlänge der Probewürfel von 45 cm. Herstellung, Transport und Prüfung derart grosser Probekörper sind umständlich und teuer. Für die laufende Prüfung des Betons der Staumauern Sambuco und Albigna wurden Würfel mit 40 cm Kantenlänge und Prismen mit den Abmessungen 20/20/60 cm erstellt. Die Würfel wurden aufgesägt in acht Kuben 20/20/20 cm und die Prismen nach deren Prüfung auf Biegezugfestigkeit in zwei Würfel 20/20/20 cm.

Die Streuungen der Druckfestigkeit innerhalb der acht aus einem Kubus von 40 cm Kantenlänge herausgesägten Würfel 20/20/20 cm sind in Bild 9 dargestellt. Die Versuchsstreuung nach 90 Tagen wächst mit dem Korndurchmesser von rd. 2,0 % beim Maximalkorn Ø 40 mm auf 2,2 % bei 80 mm und auf 4,0 % beim Durchmesser 150 mm des Grösstkornes. Diese Streuungen wurden berechnet aus über 100 geprüften Versuchsreihen und liegen noch in den Grenzen des Zulässigen. Auffällig ist der Unterschied der Druckfestigkeiten zwischen den unteren und den oberen

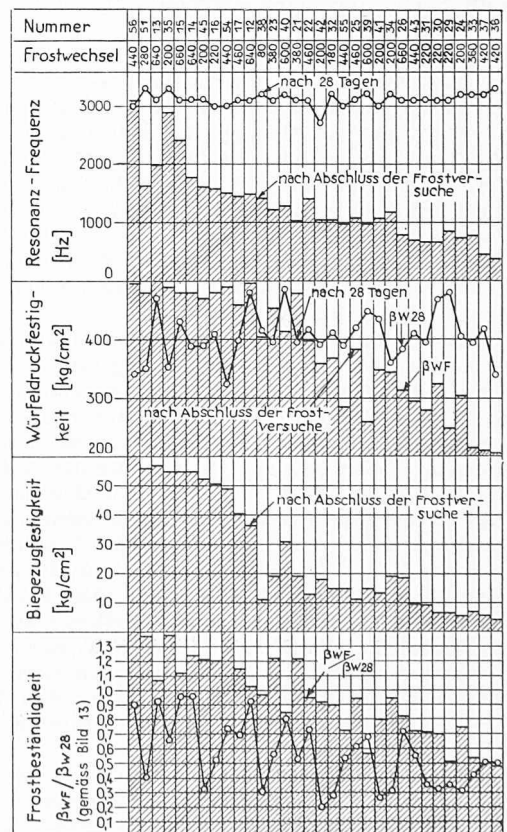


Bild 14. Resultate der zerstörungsfreien Prüfung der Frostbeständigkeit von Betonprismen 20/20/60 cm durch Messung der Resonanzfrequenz von Schallwellen

Würfeln, der beim 40-mm-Korn mit 6 kg/cm², bei 80 mm mit 14 kg/cm² und bei 150 mm mit 12 kg/cm² ermittelt wurde. Dieser Unterschied lässt sich erklären durch eine gewisse Entmischung des Frischbetons während dem Vibriervorgang. Die leichten Bestandteile, wie Wasser und Staub, steigen auf, während die schweren, namentlich der Zement, nach unten sinken. Um zu brauchbaren Resultaten zu kommen, sind jeweils die Mittelwerte aus einer Serie von je zwei unteren und zwei oberen Würfeln zu berechnen.

b) Biegezugfestigkeit

Die Bestimmung der Biegezugfestigkeit erfolgt durch Zerschneiden der Prismen 20/20/60 cm über einer Stützweite von 50 cm. Die mittlere Streuung der Biegezugfestigkeit ist in Bild 10 für verschiedene Korngrößen aufgezeichnet. Es handelt sich dabei wiederum um die aus je rd. 100 geprüften Probeserien berechneten Mittelwerte.

Die Versuchsstreuung der Druckfestigkeit von Würfeln mit 20 cm Kantenlänge nach 28 Tagen wächst von $\pm 2,4\%$ bei einem Korndurchmesser von 40 mm auf $\pm 3,0\%$ bei 80 mm, bzw. $\pm 5,0\%$ beim Korndurchmesser 150 mm, ist also etwas grösser als bei den aus Würfeln 40/40/40 cm gesägten Probekörpern. Die entsprechenden Werte für die Streuung der Biegezugfestigkeit nach 28 Tagen sind $\pm 3,0\%$, $\pm 3,5\%$ und $\pm 4,0\%$ für die Korngrößen 40, 80 bzw. 150 mm.

c) Wasserdichtigkeit

Die Prüfung der Wasserdichtigkeit erfolgt an Würfeln 20/20/20 cm, die in Presstöpfen (Bild 12) je 24 Stunden unter den Druckstufen von 4, 8, 12, 16, 20, 25 und 30 atü gehalten werden. Gemessen wird das durchgesickerte Wasser. Um die Wasserdichtigkeit mit einer einzigen Zahl charakterisieren zu können, werden die durchgesickerten Wassermengen in einem Schema gemäss Bild 11 aufgezeichnet. Als Mass für die Wasserdichtigkeit kann das Verhältnis der Fläche über der Dichtigkeitskurve zur Fläche des die Figur begrenzenden Rechteckes angenommen werden. Ein vollkommen wasserdichter Körper ist damit mit der Zahl 1, ein vollständig durchlässiger mit 0 charakterisiert.

d) Frostbeständigkeit

Zur Messung der Frostbeständigkeit werden die Prismen 20/20/60 cm in üblicher Weise je 24 Stunden dem Frost (-25°) und 24 Stunden der Wirkung von Wasser mit 15°C ausgesetzt. Der Einfluss der Frostwechsel auf das Gefüge kann mit dem in Bild 12 dargestellten Schallmessgerät ermittelt werden. Durch einen Tongenerator wird der Probekörper in Schwingungen versetzt. Gemessen wird die Resonanzfrequenz der Longitudinal-Wellen nach je zwanzig Frostwechseln. Die mit dem Gerät erhaltenen Messresultate sind in Bild 14 dargestellt.

Der Abfall der gemessenen Resonanzfrequenz wird verglichen mit dem Abfall der Biegezugfestigkeit und dem Verhältnis der Druckfestigkeit nach Abschluss der Frostversuche zu derjenigen des ungefrosten Körpers nach 28 Tagen. Die Ähnlichkeit der drei Kurven ist eindeutig, und der Apparat scheint sich zur Feststellung der Auflockerung des Gefüges durch Frost zu eignen. Im Gegensatz dazu kann kein mathematisch erfassbarer Zusammenhang zwischen der Resonanzfrequenz und der Würfeldruckfestigkeit der ungefrosten Körper nach 28 Tagen festgestellt werden. Um für Vergleichszwecke auch den Grad der Frostbeständigkeit durch eine einzige Zahl charakterisieren zu können, wird als Mass für die Frostbeständigkeit das Verhältnis der Fläche unter der Kurve des gefrosten Körpers zur Fläche unter der Kurve des im Wasser gelagerten Vergleichskörpers im Bereich von 0 bis 600 Frostwechseln vorgeschlagen (siehe Bild 13).

Ein Probekörper, der unbeschädigt 600 Frostwechsel aushält, wird mit der Zahl 1 charakterisiert, ein Körper, der bereits nach wenigen Frostwechseln zerfällt, mit der Zahl 0.

4. Erhärtungsbedingungen

Die Lagerbedingungen haben auf die Abbindeverhältnisse der Probekörper einen sehr grossen Einfluss. Um

brauchbare Versuchsreihen zu erhalten, ist auf die Konstanthaltung der Lagertemperatur und der Luftfeuchtigkeit grösstes Gewicht zu legen.

Die Lagerung der Probekörper im Wasserbad von konstanter Temperatur ist umständlich. Gewöhnlich fehlt der Platz für die erforderlichen, grossen Becken und weiter wird durch die Lagerung im Wasser die Lagerkontrolle ausserordentlich erschwert. In der Praxis hat sich ein dauerndes Bespritzen der Probekörper mit temperiertem Wasser bewährt. Schluss folgt.

Adresse des Verfassers: Ing. H. Bertschinger, Vicosoprano GR

Buchbesprechungen

Das Nivellieren. Von O. Trutmann. 42 S. mit 38 Abb. Heerbrugg 1958, Wild AG., Werke für Optik und Feinmechanik.

Die mit vielen Abbildungen versehene Broschüre stellt eine leicht verständliche Anleitung für das Nivellieren dar, wobei sehr eingehend auf die Eintragungen in das Feldbuch und die Berechnungen eingegangen wird. Auch das Flächennivellement mit einem Tachymeter wird behandelt. Wenn auch die Instrumente der Wild AG. im allgemeinen tadellos justiert sind, sollte nach meiner Ansicht trotzdem auf die Instrumentenprüfung eingetreten werden.

Prof. Dr. F. Baeschlin, Zollikon

Wettbewerbe

Mittelschule in Schüpfheim (SBZ 1958, H. 27, S. 410). 46 Entwürfe. Ergebnis:

1. Preis (5000 Fr. mit Empfehlung zur Ausführung):
Werner Jaray, in Firma Cramer & Jaray & Paillard, Zürich
2. Preis (2600 Fr.): Paul Steger, in Büro Dorer & Steger, Zürich
3. Preis (2400 Fr.): Hans Zwimperf, Basel
4. Preis (2100 Fr.): Hans Eggstein, Luzern
5. Preis (1900 Fr.): Josef Roos, Zürich
- Ankauf (1000 Fr.): Carl Kramer, Luzern

Die Arbeiten sind noch bis Sonntag, 4. Januar, von 10 bis 12 und 14 bis 18 Uhr in der Turnhalle des Dorfschulhauses ausgestellt.

Ankündigungen

Schweisskurse in Basel

Der Schweiz. Verein für Schweisstechnik führt im Januar, Februar und März 1959 zahlreiche Kurse durch über Autogenschweissen, Lichtbogen-Schweissen, Kunststoff-Verarbeitung und Schutzgasschweissen. Das Sekretariat des Schweiz. Vereins für Schweisstechnik, Basel, St. Albanvorstadt 95, Tel. (061) 23 39 73 erteilt über Daten, Preise und Einzelheiten jede Auskunft. Dort können auch die genauen Kursprogramme bezogen werden.

Die Zusatzmittel in der modernen Betontechnik

Veranstalter dieser Kurse ist die Firma K. Winkler, Zürich. Behandelt werden: Eisenbeton, Vorspannbeton, Massbeton, Pumpbeton, Spritzbeton, Transportbeton, Injektionsbeton, Frost- und witterungsbeständiger Beton, Aggressionswasserbeständiger Beton, Strahlenschutzbeton, Abbindeverzögerung und revibrierter Beton. Referenten: Dr. chem. K. Alemann, Dr. Ing. chem. A. Ammann, Oberbaurat Dr. Ing. O. Drögsler, Dipl. Ing. F. Scheidegger, Dr. chem. M. Weidenmann. Beginn je 10 h, Ende um 16.30 h, und zwar an folgenden Samstagen: 10., 24., 31. Januar und 7. Februar in der neuen Materialprüfanstalt der Firma Kaspar Winkler & Co., Tüffenwies 16, Zürich 9/48. Anmeldung an Tel. (051) 54 77 33.

Vortragskalender

Freitag, 9. Jan. Technischer Verein Winterthur. 20 h im Gartenhotel. Jean Lavanchy, dipl. Ing. ETH, Genf: «Moderne Pumpspeicheranlagen».

Redaktion: W. Jegher, A. Ostertag, H. Marti, Zürich 2, Dianstr. 5, Telephon (051) 23 45 07 / 08