Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 117/118 (1941)
Heft: 12

Artikel: Erfahrungen beim Betonieren im Kraftwerkbau
Autor: Nipkow, Hans
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-83406

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: 02.07.2025

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

INHALT: Erfahrungen beim Betonieren im Kraftwerkbau. — Engerer Wettbewerb für ein Gewerbeschulhaus auf dem Sandgrubenareal in Basel. — Neuzeitliche elektrische Bühnenbeleuchtung. — Mitteilungen: Sub-Stratosphärenflug. Der Deutsche Betonverein. Die Eidg. Kommission für Arbeitsbeschaffung. Eidg. Technische Hochschule. Erweiterung des Bürgerspitals Basel. Schweiz. Rheinschiffahrt. Hochgebirgs-Telephonie. — Nekrologe: Emil Pärli. Hans Kilchmann. — Wettbewerbe: Künstlerische Ausgestaltung des neuen Frauenspitals St. Gallen.
Mitteilungen der Vereine.
Vortragskalender.

Band 117 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet Nr. 12

Erfahrungen beim Betonieren im Kraftwerkbau

Von Dipl. Ing. HANS NIPKOW

I. Allgemeines

Auf einer grössern Baustelle sind an Beton zu leisten für den

Krafthaus-Unterbau und -Hochbau	46 600 m³
Stauwehrbau	26 400 m³
	73 000 m³

Für den Stauwehrbau hat die Krafthausbau-Unternehmung auch das Kies- und Sandmaterial zu liefern. Das Rohmaterial (Niederterrassenschotter) wird zum Teil aus dem Baugrubenaushub des Krafthauses, zum Teil aus einer nachträglich angelegten Kiesgrube gewonnen. Zur Anlage einer zusätzlichen Entnahmestelle war man gezwungen, weil das Kiesmaterial der Baugrube so sehr mit Lehm verschmutzt war, dass ein Waschen ohne kostspielige Zusatzmaschinen nicht in Frage gekommen wäre. Einer Gesamt-Betonkubatur von 73 000 m³ standen 160 000 m³ Aushubmaterial gegenüber. Es konnten aber nur 40 000 m³ für die Aufbereitung verwendet werden. Da der Kubikmeter Fertigbeton 1300 l Kies und Sand (in drei getrennten Komponenten von 0,2 ÷ 7, 7 ÷ 30 und 30 ÷ 100 mm) enthält, sind somit von der Krafthaus-Unternehmung an Kies und Sand aufzubereiten: 73 000 m³ × 1,3 = 95 000 m³.

Die wichtigsten Bestimmungen über die Herstellung des Betons lauten:

1. «Das aus dem Baugrubenaushub gewonnene brauchbare Betonmaterial ist sorgfältig aufzubereiten und in die nachstehenden drei Komponenten zu sortieren:

Sand	von 0,2 bis 7 mm	Korngrösse
Feinkies	von 7,0 bis 30 mm	Korngrösse
Grobkies	von 30,0 bis 50 mm	Korngrösse

Feinsand unter 0,2 mm Korngrösse ist beim Waschprozess herauszuwaschen. Die Granulierung der einzelnen Komponenten soll so beschaffen sein, dass die Betonmischung ungefähr der Fullerkurve entspricht.»

Zwecks Ersparnis an Sand und Zement ist die Korngrösse des Grobkieses auf 30 ÷ 80 mm heraufgesetzt worden; praktisch fallen in der Aufbereitung Korngrössen bis 100 mm an.

2. «Der Wasserzusatz beträgt bei:
   a) erdfeuchtem Beton: 5 bis 6 %,
   b) schwachplastischem Beton: 6 bis 8 % des Gewichtes der Trockensubstanz von Zement und Zuschlagstoffen,
   c) Gussbeton: Gussbeton darf nur für das Hintergiessen von Eisenkonstruktionen und Maschinenteilen verwendet werden.»

Der tatsächliche Wasserzusatz beträgt 6,8 Gewicht % der Trockensubstanz.

3. «Schwachplastischer Beton muss durch geeignete Rütteleinrichtungen so gerüttelt werden, dass ein dichtes Betongefüge entsteht. Der Beton P 250 für den ganzen Krafthausunterbau ist wasser-, luftdicht und frostbeständig auszuführen. Für dünnwandige Konstruktionen können Schalungsrüttler verwendet werden, während für dickere Konstruktionen Nadelrüttler zu verwenden sind.»

Für den Eisenbeton gilt noch:

«Die Betonmasse ist als plastische Masse einzubringen und so zu verarbeiten, dass der Mörtel die Eiseneinlagen vollständig und dicht umschliesst. Der Verdichtung der Betonmasse durch geeignete Rüttelapparate ist besondere Aufmerksamkeit zu schenken, damit Luftblasen entweichen und ein tunlichst porenfreier Beton erzielt wird.»

4. Die Gütevorschrift lautet: «Die Probekörper aus schwachplastischem und eingerütteltem Beton müssen nach 28 Tagen eine Druckfestigkeit von gleichviel kg/cm² haben wie kg Portlandzement im m³ fertigen Beton enthalten sind. Nach 7 Tagen müssen ²/₃ der verlangten 28-tägigen Mindestfestigkeit vorhanden sein.»

Es hat sich gezeigt, dass der Beton in den Würfelformen von 20 cm Kantenlänge mit den hier verwendeten Tauchrüttlern nicht gerüttelt werden kann. Die Probewürfel werden daher nach den Vorschriften des Deutschen Betonvereins gestampft.

5. «In bezug auf Wasserdichtigkeit ist zu garantieren, dass bei keinen unter einseitigem Wasserdruck stehenden Betonteilen auf der Luftseite Feuchtigkeit austritt. Diese Bedingung gilt auch für Arbeitsfugen.»

Beim Trennpfeiler kann der Wasserdruck 20 m betragen bei einer Betonstärke von 4,50 m.

6. «Bei Temperaturen unter — 5° C ist jede Betonierarbeit untersagt.»

Tatsächlich ist bei Temperaturen bis zu — 18° C betoniert worden, ohne dass der Beton Schaden gelitten hätte. Die hier angewandten Frostschutzmassnahmen sollen später beschrieben werden.

7. «Für Frostbeständigkeit des Betons haftet die Unternehmung fünf Jahre von der Inbetriebnahme des Kraftwerkes an.»

II. Aufbereitung von Kies und Sand

Die Aufbereitungsanlage enthält:

	Theoret. Leistung
1 Vorsortiertrommel von	20 m³/h
1 Becherwerk von	25 m³/h
1 Waschmaschine «Exzelsior» von	20 m³/h
1 Steinbrecher 1000 × 200 mm von	12 m³/h
1 Sandwalze von	8 m³/h
1 Sandwalze von	6 m³/h

Die Anlage hat eine theoretische Leistung von 20 m³/h, kann aber tatsächlich bis zu 30 m³/h leisten. Die Silos (Eisenbeton) fassen eine Tagesreserve an Kies und Sand und haben folgende Inhalte:

Sand	0,2 ÷ 7 mm	3 × 100 m³	= 300 m³
Feinkies	7 ÷ 30 mm		150 m³
Grobkies	30 ÷ 100 mm		150 m³

Die Silos haben Doppel-Auslaufschnauzen; das Material kann sowohl in Hängewagen für die Betonieranlage des Krafthausbaues als auch in Muldenkipper für den Stauwehrbau abgezapft werden. Es sind drei Sandsilos gewählt worden, damit das Wasser in dem einen abtropfen kann, während in die beiden anderen gefördert wird. Das zum Teil sehr lehmhaltige Rohmaterial bedingt eine starke Wasserbeigabe in die Waschmaschine. Während unter normalen Verhältnissen mit 1 m³ Wasser pro m³ Rohmaterial gerechnet wird, mussten hier bis zu 2 m³ beigegeben werden. Zudem wurden Fein- und Grobkies-Silo mit Brausen berieselt.

Ausser der Tagesreserve in den Silos der Aufbereitung ist ein Fertigkieslager vorhanden, das bis zu 10 000 m³ aufbereitetes und sortiertes Material fassen kann.

Durch Versuche ist festgestellt worden, dass der Beton die drei Komponenten in folgendem Verhältnis enthalten muss:

Sand	0,2 ÷ 7 mm	= 37,7 Vol. %
Feinkies	7 ÷ 30 mm	= 31,8 Vol. %
Grobkies	30 ÷ 100 mm	= 30,5 Vol. %

während das Mittel der in der Aufbereitung anfallenden Komponenten in einem Zeitraum von 15 Monaten beträgt:

Sand	0,2 ÷ 7 mm	= 36,0 Vol. %,	also — 1,7 %
Feinkies	7 ÷ 30 mm	= 31,8 Vol. %,	also 0,0 %
Grobkies	30 ÷ 100 mm	= 32,2 Vol. %,	also + 1,7 %

Man ersieht hieraus, dass es auch mit zwei Sandwalzen nicht möglich ist, den benötigten Sand zu erzeugen. Da ausser dem Sand für den Beton noch 700 m³ Verputzsand und 150 m³ Mörtelsand für Backsteinmauerwerk gebraucht werden, fallen überschüssige, zum grössten Teil unbrauchbare Kieskomponenten an. Die Gewinnung des Rohmaterials (Elektrobagger mit Greifer von 0,6 m³ Inhalt) in der Kiesgrube, der Transport in 3 m³-Kastenkippern auf 90 cm-Geleise und die Aufbereitung des Materials erfordern 1,0 h/m³ aufbereitetes Material.

Die Bedingung, dass der Feinsand unter 0,2 mm herausgewaschen werden soll, macht es erforderlich, dass der gebrochene Sand aus Steinbrecher und Sandwalzen ebenfalls durch die Waschmaschine gehen muss. Die Entfernung des Steinmehls von 0 ÷ 0,2 mm gelingt nicht vollkommen; es ist im Beton an Steinmehl immer noch etwa 1 % der Kies- und Sandmenge enthalten. Der aus den Sandwalzen anfallende Brechsand enthält vor dem Waschen noch 9 % Steinmehl. Auch Prof. Dr. Ing. h. c. Roš, Direktor der EMPA weist in seinem Bericht «Die Portlandzemente der Würenlingen-Siggenthal AG.» 1929 auf die Nachteile des Steinmehles hin: «Staub, Sand von einer Korn-

grösse kleiner als 0,5 mm, der den Zement «auffrisst» und die Festigkeit herabmindert, darf bei einer zweckmässigen Sand-Kiesmischung nicht in grösseren Gewichtsmengen als etwa 6 % des Sand-Kiesgemenges vorhanden sein. In dieser Beziehung ist bei gequetschten und gebrochenen, spröden Steinsorten, insbesondere Kalksteinen, Vorsicht geboten, da durch das Brechen in den grösseren Stücken von freiem Auge nicht sichtbare Risse erzeugt werden können und sodann der Sand bereits beim Brechen eine puderartige Beschaffenheit annimmt, die sich im Betonmischer zum förmlichen Schlamm umbilden kann. Dieser Schlamm umhüllt das Sand-Kieskorn, verhindert den Zementzutritt und beeinflusst in Gemeinschaft mit den vorerwähnten Rissen in den einzelnen Stücken die Festigkeit oft recht ungünstig.» Die Entfernung des Steinmehles von 0 ÷ 0,2 mm wird heute besonders deshalb gefordert, weil es als frostgefährlich erkannt worden ist.

Früher, so bei den Staumauern Barberine, Wäggital und Dixence war das Hauptaugenmerk auf die Wasserdichtigkeit des Betons gerichtet. So erzeugte man an der Staumauer Schräh im Wäggital das als notwendig erachtete Steinmehl mit Kugelmühlen, wie sie die Zementfabriken benützen[1]). Ausserdem wurde zu jener Zeit (1922/24) auch den Zementen Steinmehl beigemischt. Als dann an diesen Staumauern bedeutende Frostschäden auftraten, wurde das Steinmehl als hauptsächlichster Sündenbock erkannt. Selbstverständlich spielte auch die geringe Zementdosierung (im Wäggital 189 kg P. C. pro m³ Fertigbeton) eine ausschlaggebende Rolle. Diese Frostschäden am Beton sind natürlicherweise zuerst im Hochgebirge beobachtet worden, wo es tatsächlich vorkommt, dass wochenlang die Temperaturen nachts — 10 bis — 20° C betragen und tagsüber auf + 5 bis + 15° C ansteigen. Wenn, wie im Wäggital, die Wasserseite der Staumauer gegen Süden liegt, kann es im Frühling vorkommen, dass der wassergesättigte Beton bei Tage, von der Sonne beschienen, eine Temperatur von + 10° C aufweist, um sich nachts auf — 10 bis — 20° C abzukühlen, also wieder gefriert. Die früher üblichen Gefrierproben im Laboratorium (25 maliges Gefrieren bei — 20° C und Wiederauftauen) entsprachen also nicht den Frostproben, die die Natur stellt. Heute werden die Gefrierproben an den Materialprüfanstalten mit 50 maligem Gefrieren vorgenommen, eine Methode, die den Verhältnissen in der Natur angepasst ist. Viele Proben zeigen dabei bis zu 20 maligem Gefrieren keine nennenswerten Schäden, zerfallen aber bei 50 maligem Frost. Praktisch werden die Gefrierproben so ausgeführt, dass Betonprismen 12×12×36 cm oder 20×20×60 cm 14 Tage lang in Wasser gelagert und dann einem 50 maligen Gefrieren und Auftauen ausgesetzt werden. Die Verformungsfähigkeit des Betons nach 10, 20, 30, 40 und 50 maligem Gefrieren wird durch Messung des Elastizitätsmoduls bestimmt und ausserdem die Druckfestigkeit bei Wasser- und Frostlagerung festgestellt.

Bei den mit unserem Beton in der EMPA Zürich vorgenommenen Frostproben (siehe die Resultate auf der Zeichnung der Eidg. Materialprüfungsanstalt Zürich, Abb. 1. Alle Prismen haben die Frostprobe bestanden), hat sich gezeigt, dass in den Grenzflächen zwischen Kieskorn und Zementbrei sich ein Lokkern der Bindung vollzogen hat. Diese Lockerung zwischen Stein und Mörtel führen wir auf das trotz des Auswaschens noch vorhandene Steinmehl unter 0,2 mm (etwa 1 %) zurück. Denn bei vielen zerdrückten Probewürfeln können wir feststellen, dass Steine als Ganzes ausbrechen und diese Steine einen feinen Mehlüberzug aufweisen, der eine Trennungsschicht zwischen Kieskorn und Mörtel bildet. Ist der gewaschene Kies noch nass, so

[1]) Vgl. Zwygart in Bd. 84, S. 99* (1924), Nipkow in Bd. 88, S. 143*.

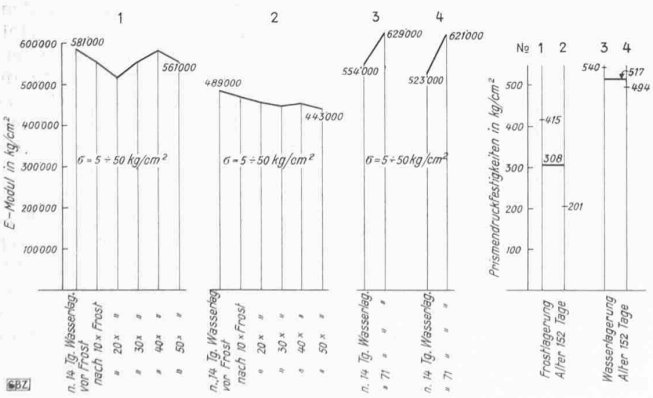

Abb. 1. Elastizitätsmoduli und Prismendruckfestigkeit, bestimmt durch die EMPA an vier ausgeschnittenen Betonprismen

macht er den Eindruck tadelloser Sauberkeit. Sobald er aber trocken ist, sieht man auf jedem Kieskorn ein feines Häutchen von Steinmehl (z. T. wahrscheinlich auch aus feinsten Lehmteilchen bestehend, die dem Naturkies ohnehin anhaften). Dieser Mehlüberzug ist sicher ein Hauptgrund für die Lockerung des Betongefüges während der Frostproben. Bei den Frostschäden spielen auch noch andere Gründe mit, z. B. die Kapillarität des Betons, die auch bei einem dichten Beton immer noch vorhanden ist und gerade bei dem unter einseitigem Wasserdruck stehenden Beton von Staumauern eine Rolle spielen kann.

Jedenfalls ist es Tatsache, dass die Verminderung des Porenvolumens im Beton (zur Erzielung von Dichtigkeit) durch mechanische Beimischung von Steinmehl wohl gelingt, dass aber dieses Steinmehl auf der anderen Seite die Ursache von Frostschäden bildet. Das eine Uebel, die Wasserdurchlässigkeit des Betons, wurde früher durch Beimengung von Steinmehl zu beheben versucht, aber dadurch ein viel schlimmeres Uebel, nämlich der Zerfall des Betons durch Frost, hervorgerufen. Umsomehr ist daher das in den letzten Jahren allgemein angewandte Rütteln des Betons zu begrüssen, das eine Verdichtung des Betons ohne Zugabe von Steinmehl und damit eine erhöhte Wasserundurchlässigkeit ermöglicht. Es steht fest, dass ein dichter Beton bei genügender Zementdosierung (mindestens 250 kg/m³ Beton) frostbeständig ist, wenn er kein oder nur ganz wenig Steinmehl unter 0,2 mm enthält und das Porenvolumen durch Rütteln praktisch auf Null vermindert worden ist. Kleine Poren setzten die Frostsicherheit herab, während Beton mit grossen Poren frostsicher ist; z. B. ist sandarmer Beton mit grossen Poren absolut frostsicher, ebenso der weiche und poröse Tuffstein. Die Pfeiler am Grandfey-Viadukt bei Fribourg waren mit Tuffstein verkleidet und wiesen nach 60 Jahren noch keinerlei Frostschäden auf. Ein Beweis dafür, dass grosse Poren für die Frostsicherheit günstig sind, weil das aufgenommene Wasser leicht wieder abgegeben werden kann. Im Gegensatz hierzu behält ein Gefüge mit kleinen Poren das aufgesogene Wasser infolge der Kapillarität so lange, dass es gefriert, bevor es abfliessen kann.

Man ist auch dazu übergegangen, die Eigendichtigkeit des Betons auf chemischem Wege, z. B. durch Zusatz von Plastiment — auch Betonplast genannt — zu verbessern. Die hier angestellten Versuche haben ergeben, dass der Wasserzusatz dadurch geringer gehalten und die Druckfestigkeit erhöht werden kann. Es sei noch darauf hingewiesen, dass hier der Pumpbeton nicht zugelassen war, weil dieser für gute Fliessfähigkeit feinen Sand — auch unter 0,2 mm — benötigt.

Dr. Ing. Walter Kesselheim (Dissertation 1934: «Wege zur Verbesserung und Verbilligung des Betons beim Talsperrenbau»; Verlag Konrad Triltsch, Würzburg) unterscheidet vier Arten von Poren im Beton, die für die Wasserdichtigkeit von Belang sind, nämlich Struktur-, Anschluss-, Wasserkonzentrations- und Kapillar-Poren.

Die *Struktur*poren sind physikalischer Natur und lassen sich heute bei richtiger Kornzusammensetzung und Verarbeitbarkeit des Betons vermeiden. Die *Anschluss*poren, an der Oberfläche grosser Kieskörner auftretend, verhindern eine innige Umhüllung mit Mörtel. Sie werden wahrscheinlich durch ungenügende Plastizität der Kittmasse erzeugt und führen zum Absetzen des Zementes und Aufsteigen des Wassers. Diese Anschlussporen begünstigen in ganz besonderem Mass die Wasserdurchlässigkeit, weil sie sehr flach sind und im Vergleich zu ihrer Fläche wenig Raum einnehmen. Die bis zu 2 mm grossen *Wasserkonzentrations*poren verdanken ihre Entstehung dem überschüssigen Anmachwasser, das sich infolge der Oberflächenspannung kugelförmig zusammenzieht. Je grösser der Wasserzusatz wird, desto häufiger, aber kleiner werden diese Poren. Bei gut plastischem oder fliessbarem Gussbeton verschwinden sie fast ganz; sie gehen über in die *Kapillar*poren der Kittmasse und bestimmen durch ihre grosse Zahl dann fast ausschliesslich die Wasserdurchlässigkeit. Wachsender Wasserzusatz verursacht eine Lokkerung der Struktur der Kittmasse durch diese Kapillarporen und schliesslich entstehen durch Lockerung des Gefüges die gefährlichen *Steigkanäle*: ungebundenes Anmachwasser steigt an die Oberfläche des eingebrachten Betons oder sammelt sich an der Unterfläche von Kieskörnern zu Randporen. Aus diesen Betrachtungen ist ersichtlich, dass der Wassergehalt des Betons oder genauer ausgedrückt, der Wasserzementfaktor, von ausschlaggebender Bedeutung für die Wasserdurchlässigkeit ist, wie dies Dr. Ing. Lydtin schon 1930 im «Bauingenieur» nachwies.

Diese Feststellungen erklären auch, warum der dichte Gussbeton frostempfindlicher ist als der plastische oder gestampfte Beton. Je mehr Steinmehl in den Zuschlagstoffen vorhanden ist, umsomehr Anmachwasser braucht der Beton; beim Gussbeton ist sogar überschüssiges Anmachwasser vorhanden. Wir haben

wohl einen dichten Beton, aber er ist wasserdurchlässig; denn dem freien Auge erscheint der Gussbeton vollständig dicht, unter dem Mikroskop gleicht er einem Schwamm. Gussbeton kann 10 bis 30 Vol. % Wasser aufnehmen, ein Beweis dafür, dass er infolge der Kapillarporen das Wasser wie ein Schwamm aufsaugt, obschon er äusserlich als dicht erscheint. Diese Kapillarporen sind auch der Grund für die Frostunbeständigkeit des Gussbetons. Wer die Frostschäden an Gussbeton-Staumauern im Gebirge gesehen hat, wird für Betonbauwerke, die unter einseitigem Wasserdruck stehen, keinen Gussbeton mehr anwenden.

Prof. O. Graf, Stuttgart, hat sehr interessante Versuche über die Wasseraufnahme an Betonprismen von 56 cm Höhe und quadratischem Querschnitt mit 10 cm Kantenlänge angestellt und in Heft 87 des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton, (Berlin 1938, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn) veröffentlicht. «Die Wasseraufnahme ging mit steigendem Zementgehalt zurück und war bei Beton mit feineren Körnungen grösser als bei gröberen Körnungen. Die nahezu erdfeucht angemachten Mischungen zeigten die kleinsten Wasseraufnahmen. Die Prismen standen nach dem Gefrieren zum Auftauen 18 cm tief im Wasser. Das Wasser stieg in den Kapillaren des Betons über die Höhe des Wasserspiegels, bei feinkörnigen Mischungen mehr als bei grobkörnigen. Auch die Steife des Betons beeinflusst die Wasseraufnahme». Es seien hier einige Ergebnisse der Graf'schen Versuche angeführt:

Konsistenz des Betons	Zement kg/m³ Fertigbeton	Wasser kg/m³ Fertigbeton	Wasser-Zementfaktor	Höhe der Feuchtigkeitsgrenze *)
erdfeucht	223	143	0,64	22
,,	217	217	1,00	38
weich	223	168	0,75	22
,,	222	253	1,14	31
flüssig	223	234	1,05	38
,,	221	281	1,27	50

*) an den Seitenflächen der Prismen, gemessen in cm

Es zeigt sich also auch hier, dass derjenige Beton, der den grössten Wasserzementfaktor hat, infolge der Kapillarporen am meisten durchfeuchtet wird und demzufolge für Frosteinwirkungen besonders empfindlich ist.

Wasserdurchlässigkeit bildet bei Beton, der unter einseitigem Wasserdruck steht, auch die Ursache für das Auslaugen des Zementes. Die chemischen Vorgänge, die sich im Innern solchen Betons abspielen, können durch folgende Gleichungen charakterisiert werden:

Der Portlandzement spaltet bei seiner Erhärtung Calcium-Hydrat = Ca (OH) ab, das sich mit freier Kohlensäure = CO_2 verbindet:

$$Ca\ (OH)_2 + CO_2 = Ca\ CO_3 + H_2\ 0$$

Der kohlensaure Kalk = Ca CO_3 wird bei Hinzutritt von Wasser (infolge Wasserdurchlässigkeit des Betons), das aggressive Kohlensäure enthält, in das lösliche Calciumbicarbonat = Ca $(HC\ O_3)_2$ übergeführt:

$$Ca\ CO_3 + CO_2 + H_2\ O = Ca\ (HCO_3)\ 2$$

Diese Vorgänge bewirken das Auslaugen des Betons. Da eine Selbstdichtung durch die Ausscheidungen nicht immer stattfindet, können die Wasserdurchsickerungen immer grösser werden, die ihrerseits wieder die Ursache von Frostschäden bilden können. Ein niedriger Wasserzementfaktor (bei unserem Beton 0,62 bis 0,68) ist also ausschlaggebend für Wasserundurchlässigkeit und damit für Frostsicherheit. Steinmehl von 0 bis 0,2 mm wird bei Rüttelbeton zur Erzeugung von Wasserdichtigkeit nicht mehr benötigt und durch Entfernung desselben die Frostsicherheit des Betons erhöht.

Es sei noch eine Erklärung beigefügt über die Gründe, die dazu führten, den Grobzuschlag von 50 auf 100 mm zu vergrössern. Die Anregung dazu gaben hauptsächlich die in Kesselheims Dissertation enthaltenen Ausführungen.

Der Grobzuschlag bestimmt die Menge der im Betongemisch notwendigen Kittmasse, also des Mörtels. Je grösser das Maximalkorn, umso geringer der Mörtelbedarf, umso kleiner also die erforderliche Menge an Bindemitteln und Sand, besonders an dem gewöhnlich so schwierig und kostspielig zu beschaffenden Feinsand (nicht Steinmehl von 0 bis 0,2 mm).

Die feineren Zuschlagstoffe beanspruchen neben dem Zement den grössten Teil des Anmachwassers und beeinflussen dadurch den Wasserzementfaktor, der massgebend ist für die Güte der aus Mörtel bestehenden Kittmasse und damit für die Qualität des Betons. Vermehrter Sandzusatz erfordert mehr Anmachwasser. Ein Teil des Wassers wird vom Zement chemisch gebunden. Das ungebundene Wasser aber ist schuld an der Porosität der Kittmasse, was gleichbedeutend ist mit der Porosität und damit der Wasserdurchlässigkeit des Betons. Poröser, wasserdurchlässiger Beton ist aber dem Auslaugen des Zementes und den Frostwirkungen besonders stark ausgesetzt.

Grosses Maximalkorn (100 bis 120 mm) verbessert also die Wasserdichtigkeit und damit die Frostsicherheit des Betons. Der geringe Druckfestigkeitsabfall (etwa 10 %) bei Verwendung von grossen Grobzuschlägen fällt nicht ins Gewicht.

Auch in wirtschaftlicher Beziehung hat die Wahl eines Maximalkornes von 100 ÷ 120 mm grosse Vorteile für den Unternehmer und damit auch für den Bauherrn.

Beim besprochenen Krafthausbau konnten durch Vergrösserung des Maximalkornes von 50 auf 100 mm etwa 20 % an Mörtel und dadurch etwa 12 % an Zement gespart werden. Bei 46 600 m³ Beton, der für 10,35 RM Zement erfordert, beträgt die Ersparnis 58 000 RM. Auch an Betriebs- und Anlagekosten der Aufbereitungsanlage konnten erhebliche Einsparungen gemacht werden, die zu etwa 8 % der Gesamtkosten der Aufbereitung geschätzt werden.

III. Betonieranlage

Die Betonieranlage besteht aus zwei ortsfesten Freifallmischern, System «Ibag», von je 1500 l Trommelinhalt, die pro Mischung 1 m³ Fertigbeton ergeben. Der Kubikmeter Fertigbeton enthält 1300 l Kies und Sand in den drei getrennten Komponenten, meistens 250 kg Portlandzement und 0 ÷ 60 l Wasser, je nach Feuchtigkeitsgehalt der Zuschlagstoffe. Der Mangel der Freifallmischer, dass zuerst das feinere und erst zum Schlusse das grobe Betonmaterial entleert wird, tritt auch hier zu Tage. Da wir aber bei den grossen zu verarbeitenden Betonmassen meistens mit Kübeln von 1 m³ Inhalt betonieren, fällt dieser Mangel weniger ins Gewicht. Der Zement wird von Hand beigegeben.

Das Kies- und Sandmaterial kommt in dreiteiligen Hängebahnwagen mit Bodenentleerung von der Aufbereitung zu den Mischmaschinen.

IV. Betontransport

Der Transport des Betons auf 60 cm Spur geschieht in eisernen, auf Muldenkipper-Untergestellen aufgesetzten Kübeln von ½ bzw. 1 m³ Inhalt, die durch Turmkrane zu den Betonierstellen gefahren werden. Die Transportentfernung beträgt durchschnittlich 100 m. Durch das Fahren wird der etwas mehr als erdfeuchte Beton schwach plastisch.

V. Betonverarbeitung

Sämtlicher Beton (73 000 m³) muss gerüttelt werden und darf zu diesem Zwecke nur leicht plastisch, beinahe erdfeucht eingebracht werden. Das Abzapfen der Zuschlagstoffe, das Mischen, der Transport, das Einbringen und Rütteln des Betons, einschliesslich Gerüste erfordern 5,0 h/m³. 1 m³ Beton einzurütteln kostet:

Löhne 0,3 bis 0,4 h/m³	= 0,35 h × 0,90	=	RM 0,30
Stromkosten 2,0 kWh	= gratis	=	RM —.—
Kompressor 0,1 h/m³	= 0,1 h × 2.—	=	RM 0,20
Abschreibung der Rüttler, Ersatzteile		=	RM 0,10
pro m³ Beton		=	RM 0,60

Die Hauptdaten für die hier verwendeten Rüttler sind:

Rüttler-System	1 Ingersoll 2 V	2 Notz-Zwerg-Pervibratoren	3 Losenhausen E 200 und JE 200
Rüttelkörper ⌀ oder Fläche	⌀ = 105 mm L = 475 mm	70 mm 400 mm	60/100 mm 376 mm
Gewicht des Rüttlers	G = 15,5 kg	12 kg	15 kg
Geräte-Antrieb	Pressluft	Pressluft	Elektr. Strom
Luftverbrauch m³/min	theoret. 1,6 prakt. 3	0,7 1,5	
Stromverbrauch	20 kW	15 kW	0,5 kW
Frequenz U/min	6000	6000	3000
Theoret. Leistung	10 m³/h	6 m³/h	4 m³/h
Erzielte Leistung	8 m³/h	5 m³/h	3 m³/h
Verdichtung	7 %	7 %	3 %
Preis	Fr. s 1455 RM 855	Fr. s 1290 RM 760	J 200 = RM 490 JE 200 = RM 430

Die Frequenz bei den Losenhausen-Rüttlern mit 3000 U/min ist zu gering. Die Ingersoll-Rüttler werden für grosse Betonkörper, die Notz-Vibratoren für dünne Konstruktionen und Betonteile mit viel Eiseneinlagen verwendet. Die Rüttler bilden zur Zeit das beste Mittel, einen guten Qualitätsbeton von grosser

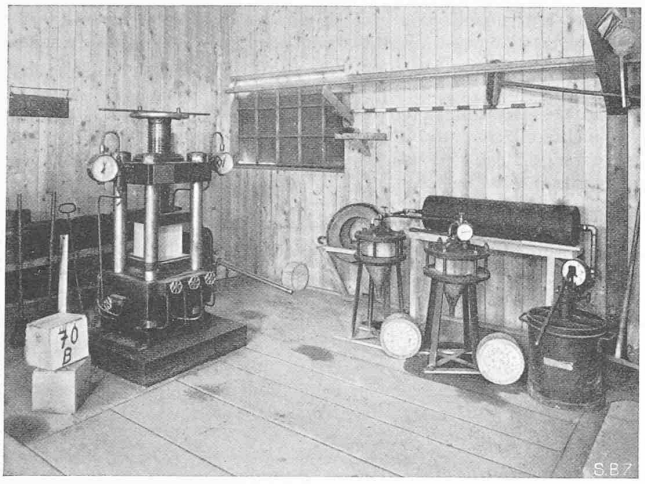

Abb. 2. Prüfraum auf der Baustelle. Links 20 t-Würfelpresse von Mohr & Federhaff, rechts Prüfung der Wasserdichtigkeit

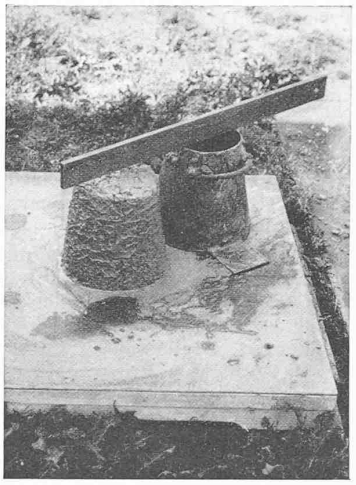

Abb. 3. Setzmass (1 bis 1,5 cm) von Beton P 250

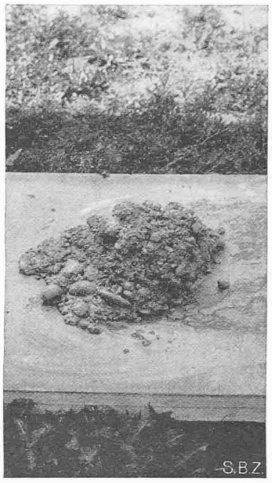

Abb. 4. Ausbreitmass (25 bis 30 cm), Wasserzusatz 6,8 Gewicht-%

Dichtigkeit, hoher Druckfestigkeit und guter Wasser-Undurchlässigkeit herzustellen. Allerdings ist auch das Rütteln eine Kunst. Ein Zuwenig ergibt einen porösen Beton; ein Zuviel gibt Anlass zum Herabsinken der grossen Kieskörner und zu einer Anreicherung von Zementschlamm um die Eiseneinlagen herum.

Die *Arbeitsfugen*, die immer einen schwachen Punkt in Betonbauwerken, insbesondere solchen, die unter einseitigem Wasserdruck stehen, bilden, wurden hier folgendermassen behandelt: Wenn irgend möglich, wird die Fläche der Arbeitsfuge 24 Stunden nach dem Einbringen des Betons aufgerauht und zwar mittels Presslufthämmern und Hohlbohrern mit Kreuzschneide. Dabei ist es wichtig, dass die ganze Zementhaut entfernt wird (Abb. 7). Das Einschlagen einzelner Löcher mit dem Pickhammer und Spitzbohrern, sodass also die Zementhaut zwischen den Löchern nicht entfernt wird, hat sich nicht bewährt. Die aufgerauhte Fläche des alten Betons wird kurz vor dem Aufbringen des neuen Betons mit Druckwasser gereinigt und wenn nötig das etwa auf der Fläche stehende Wasser mit Pressluft weggeblasen. Dann wird zuerst eine Mörtelschicht von einigen Zentimetern Stärke aufgebracht, worauf der normale Beton eingebracht und gerüttelt wird. So ist es gelungen, Arbeitsfugen, die bei 4,5 m Betonstärke unter einem einseitigen Wasserdruck von 20 m Höhe stehen, vollständig dicht zu bekommen; eine Durchfeuchtung ist nicht wahrzunehmen.

Wertvolle *Versuche über Scherfestigkeit und Wasserdichtigkeit des Betons* in Arbeitsfugen haben Prof. K. Hager und Dr. Ing. E. Nenning im Heft 69 des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton (Berlin 1931, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn) veröffentlicht. Die Versuche wurden mit je zwei Prismen von 125 mm × 140 mm × 290 mm vorgenommen. Die Anschlussflächen (Arbeitsfugen) wurden verschiedener Behandlung unterworfen und zwar durch a) Aufrauhen, b) Annässen, c) Bestreuen mit Zementpulver und d) Aufbringen von Zementmörtel.

a) Aufrauhen. Leider wurde bei diesen Versuchen das Aufrauhen der Arbeitsfuge unvollständig ausgeführt, indem auf der Fläche von 140 mm × 290 mm mit dem Spitzeisen 64 Löcher von 1 cm Durchmesser und 5 mm Tiefe schachbrettförmig verteilt geschlagen wurden. Es zeigte sich bei den Versuchen, dass diese Art des Aufrauhens insofern günstig wirkte, als der frische Beton an den eingeschlagenen Löchern gut haftete; an den nicht aufgerauhten Stellen war aber die Haftung umso schlechter. Immerhin ergab diese Art des Aufrauhens unmittelbar vor dem Anbetonieren eine Erhöhung der Scherfestigkeit um 34 % gegenüber der nicht aufgerauhten Fläche.

b) Annässen. «Beim Anbetonieren an 28 Tage alten Beton war die Scherfestigkeit bei Verwendung von plastischem Beton aus hochwertigem Zement infolge Annässens um 6 % grösser als bei fehlender Vorbehandlung. Das Annässen nach vorherigem Aufrauhen drückte aber die Scherfestigkeit um 37 % gegenüber blossem Aufrauhen und noch um 14 % gegenüber fehlender Vorbehandlung herab.» Diese Feststellungen gelten nur für das beschriebene unvollständige Aufrauhen. Die Verfasser machen selbst darauf aufmerksam, dass wahrscheinlich infolge des Annässens in den Löchern geringe Wassermengen zurückblieben, die auf die Haftung ungünstig einwirkten. Wäre die Zementhaut vollständig entfernt worden, so wären die Versuchsergebnisse bedeutend günstiger.

c) Bestreuen mit Zementpulver. «Das Bestreuen der angenässten, nicht aufgerauhten Fläche eines 28 Tage alten Betons mit Zementpulver lieferte besonders schlechte Ergebnisse. Die Scherfestigkeit betrug nur etwa $^3/_4$ derjenigen ohne Vorbehandlung. Das Bestreichen der aufgerauhten Anschlussfläche mit Zementmilch ergab eine Steigerung der Scherfestigkeit um 3 % gegenüber derjenigen bei blosser Aufrauhung.»

d) Aufbringen von Zementmörtel. «Beim Bestreichen der Anschlussfläche eines 28 Tage alten Betons aus hochwertigem Zement mit Zementmörtel ergab sich sowohl bei unbehandelter, wie auch bei aufgerauhter Fläche eine besonders gute Scherfestigkeit der Fuge. Das Bestreichen der unaufgerauhten Fläche mit Zementmörtel erhöhte die Scherfestigkeit um 57 % im Vergleich zu der bei fehlender Vorbehandlung. Das Bestreichen von aufgerauhten Anschlussflächen ergab eine Verbesserung der Scherfestigkeit um 18 % gegenüber blosser Aufrauhung. Ihr Grösstwert wurde bei nicht aufgerauhter Fläche und nachträglichem Bestreichen mit Zementmörtel erreicht; er betrug im Mittel 19,5 kg/cm².» Auch hier hätte die Scherfestigkeit bei vollständig aufgerauhter Fläche sicher den Höchstwert ergeben.

Das von uns angewandte Verfahren der Behandlung von Arbeitsfugen hat, soweit uns bekannt, die besten Ergebnisse gebracht. Jedenfalls sollte das immer noch übliche Bestreichen der Arbeitsfugen mit Zementmilch unterbleiben. Gerade bei den Arbeitsfugen zeigt es sich ganz besonders, dass das Betonieren eine *Kunst* ist. Dem einen Betonpolier gelingen alle Arbeitsfugen aufs Beste, bei andern versagen sie, obschon die selbe Arbeitsweise und das gleiche Material angewendet werden. Liebe zur Arbeit und einen angeborenen Stolz auf Qualitätsarbeit muss auch der Betonarbeiter besitzen.

VI. Schalungen

Die Schalungen für den Rüttelbeton müssen besonders kräftig und dicht ausgebildet werden. An den Betonsichtflächen sind sehr oft die Bretterfugen deutlich zu unterscheiden, was dem Beton ein schlechtes Aussehen verleiht. Diese Erscheinung erklärt sich dadurch, dass die Zementmilch des Betons beim Rütteln auch durch die feinsten Ritzen austritt. Dieser Mangel könnte nur durch Verwendung von Schalbrettern mit Nut und Feder behoben werden. Solche Schalungen könnten aber nur zweimal verwendet werden, was bei dem heutigen Holzmangel und den hohen Preisen unwirtschaftlich wäre.

VII. Betonprüfung

In dem auf der Baustelle befindlichen Prüfraum (Abb. 2) sind vorhanden: eine Würfelpresse für Würfel von 20 cm Kantenlänge, bis 200 t, ein Apparat für die Prüfung der Wasserdichtigkeit, neun eiserne Würfelformen von 20 cm Kantenlänge, ein Siebsatz und zwei Prüfkästen des Deutschen Betonvereins.

Die Gesamtkosten der Prüfstelle einschliesslich Bedienung, Unterhalt und Abschreibung der Maschinen betragen 5000 RM oder 0,07 RM/m³ Beton. Die Kosten für Frostversuche, die in den Materialprüfanstalten Karlsruhe und Zürich ausgeführt werden, sind in obigen Zahlen nicht enhalten.

Es werden keine Prismen, sondern nur Probewürfel hergestellt. Da hier Korngrössen bis zu 100 mm verwendet werden, wären nach den Vorschriften Würfel von 30 cm Kantenlänge erforderlich; wahrscheinlich ergäben diese grösseren Würfel noch bessere Druckfestigkeiten. Die Würfelpresse ist aber nur für

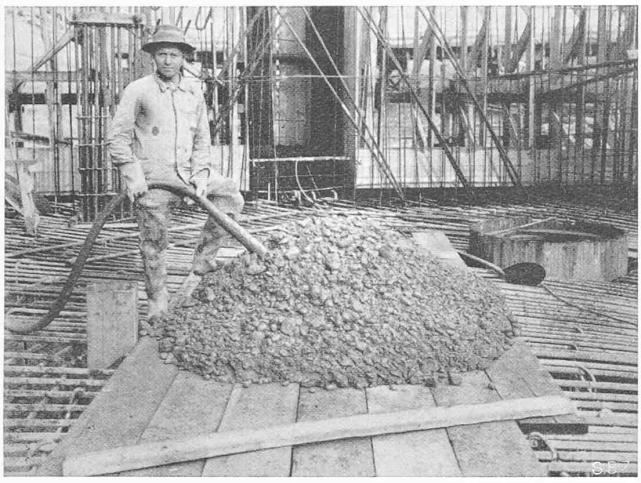

Abb. 5 und 6. Rüttelversuch an 1 m³ Beton P 250 (Setzmass 1 bis 1,5 cm, Ausbreitmass 25 bis 30 cm). Durch Rütteln während ½ min hat sich die erdfeuchte Konsistenz (links) in die plastische (rechts) umgewandelt

20 cm-Würfel verwendbar. Nach den Bedingungen sollten die Würfel auch gerüttelt werden; dies hat sich als unmöglich erwiesen. Die Würfel werden also nur gestampft und darum weist der im Bauwerk gerüttelte Beton grössere Druckfestigkeiten auf als die Probewürfel. Die Proben werden teils an der Mischmaschine, teils an der Arbeitstelle entnommen.

Bei einer Zementdosierung von 250 kg/m³ enthält der gerüttelte Beton etwa 270 kg Zement pro m³. Wasserzusatz = 6,8 Gew.% der Trockensubstanz, Wasserzementfaktor W/Z = 0,62 bis 0,68.

Es gilt für Beton	in grossen Bauteilen:	in dünnen Konstr.
Setzmass (Abb. 3)	1 ÷ 1,5 cm	8 cm
Ausbreitmass (Abb. 4)	25 ÷ 32 cm	42 ÷ 45 cm

Die Abb. 5 und 6 zeigen, wie der beinahe erdfeucht eingebrachte Beton beim Rütteln plastisch wird und zu fliessen beginnt. Die spezifischen Gewichte und Druckfestigkeiten mit normalem Portlandzement betragen:

Beton	Spezifisches Gewicht	Druckfestigkeit kg/cm² nach Tagen:		
		7	28	90
P 200 Mittel aus 114 Proben	2,489	213	290	360
P 250 Mittel aus 144 Proben	2,498	270	362	423

Die Wasserdichtigkeitsproben ergeben ebenfalls gute Resultate. Nach den Richtlinien des Ausschusses für Eisenbeton 1935 sollen quadratische oder runde Platten als Probekörper verwendet werden. Bei Korngrössen bis 40 mm soll die Kantenlänge oder der Durchmesser 20 cm, die Plattenstärke 12 cm und der Durchmesser der dem Wasserdruck auszusetzenden Prüffläche 10 cm betragen. Abweichend von diesen Richtlinien werden hier runde Platten von 25 cm Durchmesser und 10 cm Stärke verwendet; der Durchmesser der dem Wasserdruck ausgesetzten Fläche beträgt 18 cm. Diese Prüffläche wird auf beiden Seiten der Platte aufgerauht. Nach den Richtlinien soll der Wasserdruck einwirken: 48 h lang mit 1 kg/cm², 24 h lang mit 3 kg/cm², 24 h lang mit 7 kg/cm².

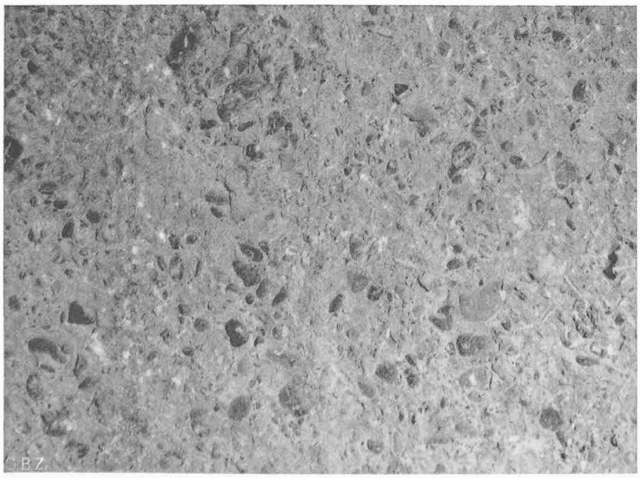

Abb. 7. Aufgerauhter Beton P 250, trocken abgebürstet

Die ersten Versuche wurden nach diesen Richtlinien vorgenommen. Da keine Wasserdurchsickerungen zu beobachten waren, ist man dazu übergegangen, von Anfang an 10 kg/cm² Wasserdruck wirken zu lassen und diesen Druck während 5 bis 10 Tagen aufrecht zu erhalten. Auch bei diesen Versuchen konnte keine Durchfeuchtung oder Durchsickerung beobachtet werden. Der höchste Wasserdruck im Bauwerk wird 25 m oder 2,5 kg/cm² betragen.

Die Ingenieure der älteren Generation, die die Entwicklung des Betons vom Stampfbeton über den Gussbeton, den plastischen Beton und schliesslich zum Rüttelbeton mitgemacht haben, werden den durch Forschung und praktische Versuche erzielten Erfolgen in der Verbesserung der Betonqualität alle Anerkennung zollen, umsomehr, als man vor etwa 20 Jahren den Bestrebungen zur Betonverbesserung eher skeptisch gegenüber stand. Unzweifelhaft ist heute der Rüttelbeton bezüglich der von einem Beton geforderten Eigenschaften das beste Erzeugnis, das mit den bis jetzt bekannten Mitteln hergestellt werden kann (Abb. 7).

Am schlechtesten in der Beurteilung durch die Praxis weggekommen ist wohl der Gussbeton. Die Abneigung gegen dieses amerikanische Geschenk geht heute soweit, dass der Gussbeton durch viele Bauherrschaften überhaupt nicht mehr zugelassen wird. Zu seiner Ehrenrettung darf aber doch gesagt werden, dass ein Gussbeton von richtiger granulometrischer Zusammensetzung, genügend Zementgehalt und mit richtigem Wassergehalt, der durch eine zweckentsprechende Rinnenneigung relativ gering gehalten werden kann, für Industrie- und Hochbauten seinen Zweck erfüllt. Das beweisen die vielen Bauwerke, die, nicht einseitigem Wasserdruck, aber allen Witterungseinflüssen ausgesetzt, bis heute nach 10 und 20 Jahren, noch ohne irgendwelche Schäden geblieben sind. (Schluss folgt)

Engerer Wettbewerb für ein Gewerbeschulhaus auf dem Sandgrubenareal in Basel

Aus dem Bericht des Preisgerichtes

Im Monat März 1940 wurden die fünf Basler Architekten-Firmen Bräuning, Leu, Dürig, Hermann Baur, Hans Schmidt, Fritz Beckmann und Emil Bercher zur Einreichung eines neuen Entwurfes[1]) für den Neubau eines Gewerbeschulhauses auf dem Sandgrubenareal eingeladen. Zum vorgeschriebenen Eingabetermin am 31. August 1940 sind richtig fünf Entwürfe eingegangen. Das Preisgericht versammelte sich vollzählig am 30. September 1940. In einem ersten Rundgang orientierte es sich im allgemeinen über die in den einzelnen Entwürfen vorgeschlagene stadtbauliche Einfügung, über die Massengruppierungen, die Anordnung der Freiflächen, die Raumdispositionen in Gruppen und im einzelnen, sowie über die äusseren und inneren Verkehrswege. Es zeigte sich, dass der zweite, beschränkte Wettbewerb bei der Mehrzahl der Projekte eine weitergehende Durcharbeitung der schultechnischen Belange gezeitigt hat. Jedoch

[1]) Vgl. die Ergebnisse des ersten Wettbewerbes (1939) in Bd. 113, S. 268* und 278*. Dort auch die grundsätzlichen Beanstandungen von Peter Meyer am Programm, das Schwierigkeiten bringt, auf die auch der vorliegende Bericht hinweist.