

# ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

LEITUNG: W. PAREY VDI

Bd. 85

SONNABEND, 26. JULI 1941

Nr. 30

## Herstellung von Beton mit bestimmten Eigenschaften Stand der Forschung und weitere Aufgaben

Von Otto Graf VDI, Stuttgart<sup>1)</sup>

Herstellung und Verarbeitung des Betons zeigen weitere Fortschritte: Die mittlere Normendruckfestigkeit der Zemente ist gestiegen. Die Prüfung auf Biegezugfestigkeit wirkte sich besonders beim Straßenbeton günstig aus. Über Schwinden und Kriechen des Betons und über die Wärmeentwicklung der Zemente beim Erstarren wurden neue Erkenntnisse gewonnen. Versuche über den Einfluß des Wasserzusatzes und der Zusammensetzung der Zuschlagstoffe führten zur Verwendung steiferen Betons und schärferer Abgrenzung der Anwendungsgebiete der verschiedenen Betonarten. Für die Beförderung haben sich Kübel- und Bandförderung sowie das Pumpen bewährt. Beim Verdichten des Betons ist das Rütteln dem Stampfen weit überlegen. Künftig werden die Betoneigenschaften nach Güteklassen gestuft. Auf wichtige Zukunftsaufgaben wird hingewiesen.

Der Baustoff Beton ist im Laufe der Zeit ein Werkstoff geworden, dessen Eigenschaften zuverlässig beherrscht werden können. Man weiß, wie man verfahren muß, damit Beton bestimmter Festigkeit mit verhältnismäßig großer Regelmäßigkeit fortlaufend entsteht. Man hat im Baubetrieb festgestellt, daß die auf Grund von Versuchen geschaffenen Anleitungen zweckmäßig sind, und daß die Aufgabe, Beton mit bestimmten Eigenschaften zu liefern, überall durchgeführt werden kann, wo Ordnung herrscht und wo geschulte verantwortungsbewußte Mitarbeiter wirken. Die Anwendung des Betons hat sich dementsprechend im Laufe der Zeit bedeutend erweitert. Man muß überdies annehmen, daß die Anwendung des Betons in der Zukunft noch steigen wird, weil die unumgänglich nötige wirkliche Rationalisierung des Bauwesens durch die Anwendung des Betons weitgehend gefördert werden kann. Wir müssen dabei von der Auffassung ausgehen, daß der Betonbau, wie alle technische Arbeit, fortlaufend verbessert werden kann, und daß in der Zukunft noch mehr als bisher entscheidend sein wird, welche Leistung auf eine Arbeitsstunde entfällt.

Wir haben demgemäß von Zeit zu Zeit für die zweckmäßige Anwendung des Betons festzustellen, was erungen ist, was zur Zeit entwickelt wird, was in unseren Erkenntnissen fehlt und was bei der Ausführung von Betonbauten als Mangel aufgetreten ist. Dies soll im folgenden anknüpfend an frühere Veröffentlichungen<sup>2)</sup> für die wichtigsten Teile dieser Aufgabe geschehen<sup>3)</sup>.

### Verbesserung der Zementeigenschaften

Wir wissen, daß die aus jährlichen Überwachungsversuchen festgestellte mittlere Normendruckfestigkeit der Zemente erheblich gestiegen ist; sie betrug beispielsweise bei den Portlandzementen nach 28tägiger gemischter, d. h. teils feuchter, teils trockener, Lagerung im Jahr 1914 rd. 400 kg/cm<sup>2</sup>; im Jahr 1938 waren 520 kg/cm<sup>2</sup> erreicht. Für die Eisenportlandzemente und Hochofen-

zemente war die Steigerung verhältnismäßig noch größer. Demnach ist es heute möglich, eine bestimmte Betonfestigkeit mit weniger Zement zu schaffen als früher. Außerdem wurden hochwertige Zemente in einer besonderen Güteklasse bereitgestellt und genormt, dabei fortlaufend verbessert; ferner sind Zemente mit besonders hohen Normendruckfestigkeiten als sog. höchstwertige Zemente erstmals entstanden. Diese höchstwertigen Zemente sind in der Zementnorm von 1941 festgelegt. Ein solcher Zement, der im Jahr 1940, also während des Krieges, geliefert war, zeigte nach 28tägiger gemischter Lagerung eine Normendruckfestigkeit von 725 kg/cm<sup>2</sup>; Beton mit diesem Zement und mit gut gekörnten Zuschlagstoffen, mit einem Mörtelgehalt von 50 %, als Rüttelbeton für bewehrten Beton brauchbar, lieferte nach 28tägiger Wasserlagerung

mit . . . . . 310 bzw. 205 kg Zement je m<sup>3</sup>  
die Druckfestigkeit zu . 527 „ 385 kg/cm<sup>2</sup>  
die Biegezugfestigkeit zu 82 „ 71 kg/cm<sup>2</sup>.

Seit Ende 1935 sind im Institut für die Materialprüfungen des Bauwesens, Stuttgart, wiederholt Zemente geprüft worden, die Normendruckfestigkeiten über 700 kg/cm<sup>2</sup> lieferten. Darunter sind Zemente, die sogar bei der Prüfung nach DIN 1165 und 1166 Druckfestigkeiten über 700 kg/cm<sup>2</sup> ergaben<sup>4)</sup>.

Außerdem ist der Tonerdezement ein wertvoller Baustoff geworden<sup>5)</sup>.

Weiterhin ist die Prüfung der Zemente auf Zugfestigkeit durch die zweckmäßigere Prüfung auf Biegezugfestigkeit<sup>6)</sup> abgelöst worden. Es ist jetzt in einfacher Weise möglich, für Beton, der im Gebrauch auf Biegung beansprucht wird, Zemente auszusuchen, die sich in bezug auf die Biegezugfestigkeit auszeichnen. Das zugehörige Prüfverfahren ist durch die Normblätter DIN 1165 und 1166 zu allgemeiner Anwendung gebracht worden. Damit wurde eine alte Aufgabe gefördert, nämlich die Steigerung der Biegezugfestigkeit des Betons. Ein wesentlicher Erfolg dieser Bestrebungen war beim Bau der Fahrbahndecken der Reichsautobahnen festzu-

<sup>1)</sup> Nach einem Vortrag vor dem Verein deutscher Hochofenzementwerke und dem Verein deutscher Eisenportland-Zementwerke zu München.

<sup>2)</sup> Vgl. u. a. O. Graf: Z. VDI Bd. 77 (1933) S. 813/19; Bd. 80 (1936) S. 1129/34.

<sup>3)</sup> Weiteres vgl. u. a. O. Graf: Bautechn. Bd. 19 (1941) Nr. 16 S. 178/82.

<sup>4)</sup> Vgl. O. Graf: Forsch.-Arb. Straßenwes. Bd. 27 (1940) S. 19.

<sup>5)</sup> Vgl. O. Graf: Fußbann. 4) S. 12 Bild 2, ferner S. 50 u. f.

<sup>6)</sup> Vgl. O. Graf: Z. VDI Bd. 77 (1933) S. 813/19, insbes. S. 817.

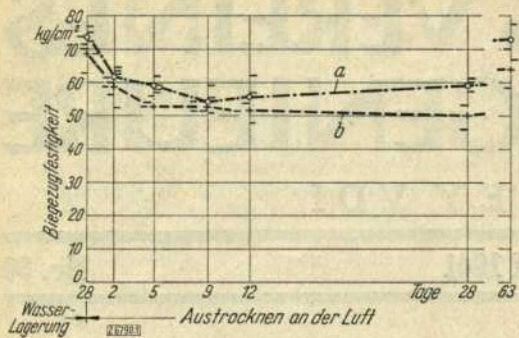
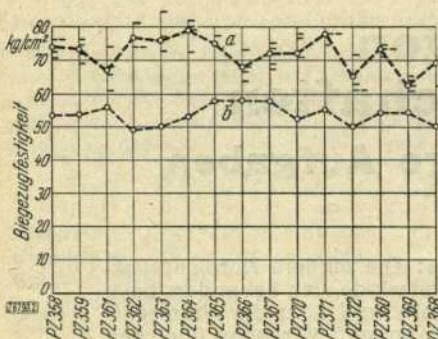


Bild 1 (links). Veränderlichkeit der Biegezugfestigkeit von Straßenbeton zum Austrocknen, veranlaßt durch das Schwinden des Betons.

Balken  $10 \times 10 \times 56 \text{ cm}^3$   
Luftzustand beim Austrocknen: 15 bis  $20^\circ$ , rd. 65 % rel. Feuchtigkeit

a Portlandzement  
b Hochofenzement



Zu Bild 2:

Balken  $10 \times 10 \times 56 \text{ cm}^3$   
Luftzustand beim Austrocknen: 15 bis  $20^\circ$ , rd. 65 % rel. Feuchtigkeit.

PZ Portlandzement  
EPZ Eisenportlandzement  
HOZ Hochofenzement

Bild 2. Unterschied der Biegezugfestigkeit von Straßenbeton nach 28tägiger feuchter Lagerung (a) und des Kleinstwertes beim folgenden Austrocknen (b) unter dem Einfluß des Schwindens des Betons.

stellen, für die hochwertiger Beton mit hoher Biegezugfestigkeit und mit hohem Widerstand gegen Witterungseinflüsse nötig ist.

Auch beim Herstellen von Gehwegplatten, Bordsteinen, Betonrohren beachtet man seit einiger Zeit besonders die Biegezugfestigkeit<sup>6)</sup>. Bei Abnahmeversuchen mit solchen Betonwaren ergab sich früher sehr oft, daß die heute für die Biegezugfestigkeit geltenden Mindestbedingungen nicht erfüllt wurden. Andererseits zeigten tüchtige Fachgenossen, daß die Mindestbedingungen leicht zu übertreffen sind und daß überdies die Verwendung von Beton mit höherer Biegezugfestigkeit aus technischen und wirtschaftlichen Gründen als Fortschritt anzusehen ist<sup>7)</sup>. Damit entstanden die Voraussetzungen für die Einführung von Güteklassen für Betonwaren.

Der Bau der Reichsautobahnen gab sodann Anlaß, das Schwindmaß des Betons und die im Beton auftretenden Schwindspannungen möglichst umfassend zu verfolgen; auch das Quellmaß ist beobachtet worden. Unsere Erkenntnisse wurden dabei bereichert; allerdings wurde keine völlige Klarstellung errungen. Beispiele finden sich in Bild 1 bis 3.

Zum Bau weitgespannter Hallendächer und Brücken ist der Einfluß des Kriechens des Betons durch Versuch und Rechnung verfolgt worden. Die Größe des Kriechmaßes wird vor allem durch den Grad und den Fortgang der Austrocknung des Betons, durch die Festigkeit des Betons beim Beginn der langdauernden Last, durch die Größe der Anstrengung, die Beschaffenheit des verwendeten Gesteins u. a. m. beeinflusst<sup>8)</sup>. Versuche aus den letzten Jahren zeigten u. a., daß Körper mit größeren Querschnitten etwas langsamer kriechen. Dabei ist nicht sicher, allerdings wahrscheinlich, daß das Kriechmaß bei größeren Körpern nach langer Zeit kleiner bleibt. Selbstverständlich wird das Kriechmaß auch von den Zement-eigenschaften beeinflusst<sup>9)</sup>. Nach ausländischen Versuchen

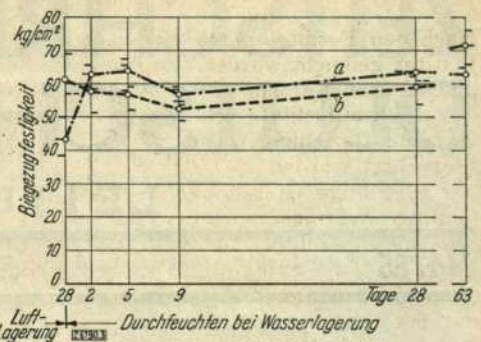


Bild 3. Veränderlichkeit der Biegezugfestigkeit von Straßenbeton beim Durchfeuchten, begleitet vom Quellen des Betons.

Balken  $10 \times 10 \times 56 \text{ cm}^3$

Versuche mit Eisenportlandzement  
a nach 28tägiger Luftlagerung  
b nach sechsmonatiger Luftlagerung

soll sich bei Verwendung von Hüttenzementen ein größeres Kriechmaß ergeben als Portlandzementen. Zur Klarstellung hat der Verein deutscher Eisenportlandzementwerke mein Institut beauftragt, das Kriechmaß von Beton mit verschiedenen Hüttenzementen und Portlandzementen zu verfolgen. Die Versuche zeigten bis jetzt (Kriechzeit  $\frac{3}{4}$  Jahre) nur kleine Unterschiede der Nachgiebigkeit von Betonkörpern mit Eisenportlandzement und Portlandzementen.

Weiter ist wichtig, ob das Kriechen die Tragfähigkeit von Eisenbeton-Tragwerken beeinflusst. Für Eisenbetonsäulen weiß man u. a. aus Versuchen für den Deutschen Ausschuß für Eisenbeton, daß das Kriechen des Betons die Tragfähigkeit unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht mindert<sup>10)</sup>. Dasselbe kann für Tragwerke vorausgesetzt werden, die auf Biegung beansprucht sind.

Inzwischen hat Mörsch<sup>11)</sup> gefunden, daß das Kriechen des Betons in statischer Hinsicht entweder die Spannungen des Betons im zulässigen Bereich nicht ändert oder nur günstig beeinflusst. Damit wurde erklärt, warum bauliche Schäden, die auf das Kriechen als solches zurückzuführen wären, nicht bekannt wurden, und warum diese Eigenschaft des Betons dem um den Zustand seiner Bauwerke besorgten Ingenieur verborgen blieb.

Die Widerstandsfähigkeit der Zemente gegen chemische Angriffe beschäftigte die Ingenieure im letzten Jahrzehnt weniger als früher. Man fand wichtige Beziehungen zwischen der Zusammensetzung der Zemente und ihrem Verhalten gegen chemische Angriffe<sup>12)</sup>. Allerdings wird immer wieder als Mangel empfunden, daß eine Sammlung von Erfahrungen über bewährte Bauwerke fehlt, derart, daß an bestimmten Bauwerken, die bestimmten Einflüssen lange Zeit ausgesetzt sind, fortdauernd der Zustand des Betons beobachtet wird.

Für den Talsperrenbau, sodann für den Westwall und jetzt für besonders große Gründungen zu den Bauten des Führers und schließlich für den Talsperrenbau der Zukunft ist die Wärmeentwicklung der Zemente beim Erstarren und Erhärten von Bedeutung<sup>13)</sup>. Bei den Untersuchungen darüber handelte es sich einmal um die Erkundung der Bedingungen, die eingehalten werden müssen, wenn beim Abkühlen großer Bauwerke Risse vermieden werden sollen, sodann um Feststellungen über die Widerstandsfähigkeit des Betons unter den Temperaturverhältnissen der massigen Bauten.

<sup>10)</sup> Vgl. Heft 83 Deutsch. Aussch. f. Eisenbeton, Berlin 1936.

<sup>11)</sup> E. Mörsch: Der Eisenbetonbau, 5. Aufl., Berlin 1941, II. Bd. S. 442 u. f.

<sup>12)</sup> Vgl. O. Graf: Zement Bd. 19 (1930) S. 936/41, 970/74, 995/98, 1041/43, 1066/68; ferner G. Haegemann: Beton und Eisen Bd. 40 (1941) Nr. 4 S. 59/64; insbes. S. 63.

<sup>13)</sup> Vgl. u. a. H. Kornfeld: Untersuchungen über die Temperaturverteilung in Körpern mit inneren Wärmequellen, Basel 1936; Br. Hampel: Baingenieur Bd. 20 (1939) S. 113/22; R. W. Carlson: Temperatures and Stresses in Mass Concrete. Journ. Amer. Concr. Inst. Bd. 34 (1938) S. 497 u. f.

<sup>6)</sup> Vgl. die Normblätter DIN 485 (Bürgersteigplatten), 483 (Bordsteine) und 4032 (Betonrohre).

<sup>7)</sup> Vgl. u. a. DIN 485 und 483: Biegezugfestigkeit der Güteklasse I 50 kg/cm<sup>2</sup>, der Güteklasse II 35 kg/cm<sup>2</sup>.

<sup>8)</sup> Vgl. u. a. O. Graf: Beton und Eisen Bd. 38 (1939) S. 162/70, insbes. S. 167.

<sup>9)</sup> Vgl. u. a. W. H. Glanville: The creep or flow of concrete under load. Building Res. Comm. Pap. 12, London 1930.

Nach den Feststellungen, die in dem vor mir geleiteten Institut gemacht worden sind, sind die Beobachtungen im diabatischen Kalorimeter für die Wärmeentwicklung zum Vergleich aufschlußreich. Es sind damit verhältnismäßig einfache Beziehungen zur Wärmeentwicklung im Beton beobachtet worden.

Allerdings ist mit der Verwendung von Zement mit mäßiger Wärmeentwicklung nur ein Teil der Versuchsergebnisse beachtet. Die Festigkeit der betreffenden Bauwerke und die zulässige Wärmeentwicklung können mit kleinem Zementgehalt beherrscht werden. Der Beton muß darüber hinaus gut verarbeitbar sein, überdies in vielen Fällen wasserdicht werden. Damit entstand der Traßzement, der 1940 durch DIN 1067 genormt wurde<sup>14</sup>).

Da der Bedarf an Zement in der Vorkriegszeit sehr groß geworden war, da man andererseits die Festigkeitseigenschaften der Zemente im Hochbau nur bedingt ausnutzen konnte, entwickelte man Gemische aus Portlandzement und bisher nicht verwendeten Hochofenschlacken, aus Portlandzement und ausgewählten Industrieaschen usw. als sog. Mischbinder und untersuchte sie. Die bisherigen Feststellungen, die demnächst besonders dargestellt werden, zeigen, daß damit Bindemittel entstehen können, die zum Mauermörtel und zum Putzmörtel brauchbar sind, auch ausreichende Festigkeiten liefern. Hier erwies sich besonders ausgeprägt, daß die Prüfung der Bindemittel nur nach DIN 1165 und 1166 in Frage kommen kann.

### Wassergehalt und Zuschlagstoffe

Noch bedeutsamer als auf dem Gebiete der Zement-eigenschaften wurden seit 1918 unsere Erkenntnisse über den Einfluß des Wassergehalts des frischen Betons und der Kornzusammensetzung der Zuschlagstoffe entwickelt.

Wie die Größe des Wasserzusatzes die Beton-eigenschaften beeinflusst, ist schon um die Jahrhundertwende in groben Zügen bekannt gewesen. Man fand jetzt darüber hinaus, daß zwischen der Kennzahl des Zementbreis, dem Wasserzementwert, und der später sich einstellenden Festigkeit einfache Beziehungen bestehen, die es möglich machen, die voraussichtliche Mindestfestigkeit des Betons unmittelbar nach dem Anmachen des Betons zu schätzen. Schließlich gelang es, mathematische Bedingungen für den Wasseranspruch des Betons anzugeben, abhängig von der Steife und von der Kornzusammensetzung des Betons<sup>15</sup>).

Die Darstellung des Zusammenhangs von Wasserzementwert und Betonfestigkeit war einleuchtend, überdies in der Anwendung von unmittelbarer Wirkung. Der Gußbeton, also der Beton mit hohem Wasserzusatz, trat zurück; man verwendete steiferen Beton, der auf Bändern oder mit der Pumpe gefördert wurde. In der neueren Zeit ist die Anwendung von Betonmischungen mit kleinerem Wasserzementwert wesentlich erleichtert worden, da mit Innenrüttlern<sup>16</sup>) steif angemachter Beton zuverlässig verdichtet werden kann.

Es ist also heute möglich, die Erkenntnisse über den Einfluß der Beschaffenheit des Zementbreis auf die Beton-eigenschaften (dargestellt durch die Veränderlichkeit des Wasserzementwerts) weitgehend zu berücksichtigen und zu nutzen.

Mit der Erfassung der Beziehungen zwischen dem Wasserzementwert des frischen Betons und den Eigenschaften des Betons entstand die weitere Aufgabe, klarzustellen, durch welche Maßnahmen Beton mit möglichst kleinem Wasserzementwert geschaffen werden kann. Bei umfassenden Versuchen mit Zuschlagstoffen verschiedener Körnung wurde zunächst beobachtet, daß der Wasseranspruch der groben Zuschlagstoffe ver-

hältnismäßig klein ist und daß deshalb vor allem zu suchen war, welche Kornzusammensetzung des Gemisches der feinen Bestandteile, also des Mörtels, den kleinsten Wasseranspruch hat und gleichzeitig besonders gute Eigenschaften des Betons bringt; sodann war zu suchen, in welchen Grenzen die Kornzusammensetzung für bestimmte Aufgaben gehalten werden muß<sup>17</sup>).

Deshalb war weiter nachzuweisen, daß die Kornzusammensetzung, die sich nach den früheren zahlreichen Druckversuchen als besonders gut erwiesen hat, auch in bezug auf die Biegezugfestigkeit wegen der Wasserundurchlässigkeit und wegen anderer Eigenschaften zweckmäßig ist. Dies ist in mannigfaltiger Weise geschehen<sup>18</sup>). Auch der Einfluß der Kornform, der Oberflächenbeschaffenheit der Zuschlagstoffe sowie der Eigenschaften des Gesteins ist dabei unter verschiedenen Verhältnissen verfolgt und umgrenzt worden. Daraus entstanden allmählich die im Jahr 1932 herausgegebenen Vorschriften des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton über die besonders gute und über die noch brauchbare Kornzusammensetzung des Betons für Eisenbetonbauten, auch über die Beschaffenheit der Zuschlagstoffe.

Die derzeitigen Vorschriften sind in den Einzelheiten sehr einfach gehalten, damit jeder Baumeister in der Lage ist, danach zu handeln; sie sind so entwickelt, daß mit der Einhaltung der Vorschriften erfahrungsgemäß in der Regel Beton entsteht, der die Mindestforderungen übertrifft. Die Einfachheit unserer Vorschriften über die Zusammensetzung des Betons hat aber andererseits den — in der Regel unerheblichen — Nachteil, daß zur strengen Beurteilung der Körnung der Zuschlagstoffe weitergehende wissenschaftliche Hilfsmittel erforderlich sind; dazu gehört der Körnungswert, meist Feinheitwert genannt<sup>19</sup>). Die Erkenntnisse für die allgemeine Beurteilung der Zuschlagstoffe sind damit so entwickelt, daß sie in technisch gut geleiteten Betonbetrieben ohne besonderen Aufwand angewendet werden können.

Während die Richtlinien für die zweckmäßige Kornzusammensetzung des Betons aufgestellt wurden, ist beobachtet worden, daß die Bereitstellung der Zuschlagstoffe in den geforderten Korngruppen und mit der nötigen Gleichmäßigkeit nur von wenigen Kieswerken gewährleistet werden konnte. Dieser Zustand ist nur langsam verbessert worden; das Erforderliche ist auch heute noch nicht in ausreichendem Maß gesichert. Auch hier entstand ein besonders ausgeprägter Fortschritt anlässlich des Baus der Reichsautobahnen, weil für den Bau der Betonfahrbahndecken verlangt wurde, daß die Zuschlagstoffe in mindestens drei Korngruppen sauber getrennt und mit bestimmter Regelmäßigkeit geliefert, geprüft und gelagert werden. Diese Maßnahme hat die Herstellung des hochwertigen Betons wesentlich gefördert; sie sollte in der Zukunft für wichtige Aufgaben des Betonbaus selbstverständlich werden. Ebenso selbstverständlich sollte es allerdings sein, daß der Beton in den Baubeschreibungen des Bauherrn ausnahmslos mit Bezeichnungen und Angaben festgelegt wird, die dem jetzigen Stand der Technik entsprechen.

### Lagerung der Zuschlagstoffe. Mischen des Betons

Nachdem die einheitlichen Bedingungen für die Zusammensetzung des Betons eingeführt waren, trat mehr als vorher der Umstand in die Erscheinung, daß die gewünschte Zusammensetzung auch beim Lagern und Messen der Bestandteile, beim Mischen, beim Befördern und beim Einbringen des Betons gewährleistet werden muß.

Das Lagern, Abmessen und Mischen der Betonbestandteile geschieht an vielen Stellen besser als früher; jedenfalls ist bekannt, wie verfahren werden muß, damit die

<sup>14</sup>) Hierzu wird demnächst ausführlich in der Zeitschrift „Bautechnik“ berichtet.

<sup>15</sup>) Vgl. u. a. O. Graf: Der Aufbau des Mörtels und des Betons. 3. Auflage, Berlin 1930.

<sup>16</sup>) Vgl. O. Graf u. K. Walz: Z. VDI Bd. 78 (1934) S. 1037/41; ferner O. Graf: Bautechn. Bd. 18 (1940) S. 169/73; sodann O. Graf u. W. Kaufmann: Heft 96 des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton 1941.

<sup>17</sup>) Vgl. O. Graf: Bauingenieur Bd. 7 (1926) S. 398/403.

<sup>18</sup>) Vgl. O. Graf: Der Aufbau des Mörtels und des Betons. 3. Aufl. Berlin 1930 S. 29.

<sup>19</sup>) Vgl. A. Hummel: Das Beton-ABC. 3. Aufl. Berlin 1939 S. 68 u. f.

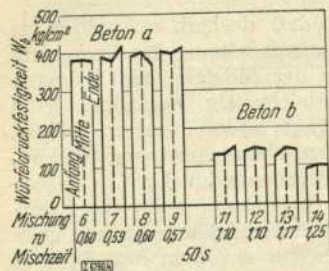


Bild 4. Ergebnis der Prüfung eines guten Betonmischers, beobachtet an Proben, die beim Auswurf des Mischgutes entnommen wurden.

Freifallmischer mit 500 l  
Nennfüllung  
w Wasserzementwert

steht. Das zuverlässige Abmessen ist noch nicht allgemein üblich; hier hat die Maschinenindustrie zu helfen. Es fehlen einfache Einrichtungen, die zu sinnvoller Arbeit zwingen. Für die Beurteilung der Mischer<sup>21)</sup> und des Mischgutes<sup>21)</sup> bestehen Richtlinien, die der Anwendung harren. Beispiele aus zugehörigen Versuchen mit einem guten Mischer zeigt Bild 4.

### Betonbeförderung

Zur Beförderung des Betons ist allgemein bekannt, daß das Fortschaffen in Rollwagen, noch mehr das Schütten über Rutschen oder das freie Abstürzen des Betons häufig zu Mängeln führen und daß nur die in den letzten Jahrzehnten entwickelte Kübelförderung und Bandförderung und das Pumpen des Betons die Möglichkeit geben, den Beton ohne Änderung, vor allem also ohne Verschlechterung des Mischzustandes von der Mischmaschine zur Einbaustelle zu bringen. Überdies gaben die Bandförderung und das Pumpen Anlaß, den Wasserzusatz nicht unnötig groß zu machen und auch die Körnung des Betons sachgemäß zu wählen. Auch geschüttet wird der Beton heutzutage zweckmäßiger als früher, wenn die in den Eisenbetonvorschriften geforderten eben erwähnten Schüttrutschen richtig benutzt werden.

### Verdichten des Betons

Wichtig sind auch die Fortschritte beim Verdichten des Betons. Wir können das Verdichten des Betons, vor allem auch des wertvolleren Betons mit geringem Wassergehalt mit dem Rüttler<sup>22)</sup> wesentlich gleichmäßiger ausführen als mit der besten Stampfarbeit, vor allem, weil der Anschluß an die Arbeitsflächen mit dem Rüttler einfacher und zuverlässiger ausgeführt wird; dabei darf der weit kleinere Aufwand an Arbeitszeit bei Benutzung des Rüttlers nicht übersehen werden. Bild 5 zeigt eine Baustelle mit Rüttelbetrieb<sup>23)</sup>. Bild 6 enthält Ergebnisse aus neueren Versuchen.

### Künftige Entwicklung

Die Reihe der Verbesserungen in der Betontechnik ließe sich noch lange fortsetzen. Im ganzen hatte die geschichtete Entwicklung zum Ziel, daß die Eigenschaften des Betons von den Ingenieuren der Bauunternehmungen und der Bauherren in bestimmten gewollten Grenzen zuverlässig beherrscht werden und daß die Grenzwerte der Güte des Betons, gemessen an bestimmten technischen Eigenschaften, nach Bedarf gewählt werden können.

<sup>20)</sup> Vgl. Anweisung für den Bau von Betonfahrbahndecken. Ausgabe 1939 S. 30; ferner O. Graf: Z. VDI Bd. 73 (1929) S. 782/86, sowie O. Graf: Bautechn. Bd. 7 (1929) S. 308/12.

<sup>21)</sup> O. Graf: Mitt. Forsch.-Ges. Straßenwes. 1938 S. 130 u. f.; ferner G. Garboitz u. O. Graf: Forsch.-Arb. Straßenwes. Bd. 18 (1939) S. 95/108.

<sup>22)</sup> Vgl. a. O. Graf u. K. Wals: Fußamm. 14).

<sup>23)</sup> Ausführliche Mitteilungen in Heft 96 Deutsch. Aussch. f. Eisenbeton, 1941.

Grundaufgabe, nämlich einen Beton bestimmter Zusammensetzung mit kleinen Abweichungen von der Sollzusammensetzung herzustellen, gut gelöst wird. Es sind in nicht zu ferner Zeit Richtlinien aufzustellen, die alle Erfahrungen nutzen, die für das Lagern, Messen<sup>20)</sup> und Mischen<sup>21)</sup> der Stoffe vorhanden sind. Die Bestandteile des Betons müssen in stets gleicher Beschaffenheit sachgemäß aufgeteilt, angeliefert und so gelagert werden, daß keinerlei Beeinträchtigung der Güte und Zusammensetzung entsteht.



Bild 5. Baustelle mit Innenrüttler zum Verdichten des Betons einer Talsperre.

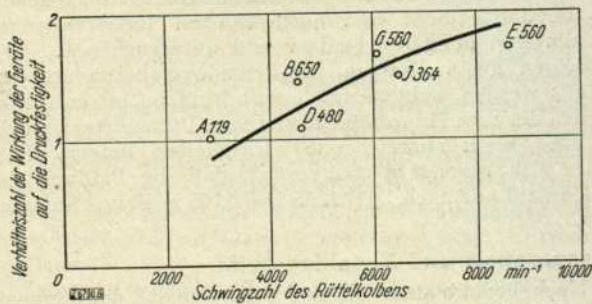


Bild 6. Ergebnisse von Rüttelversuchen.  
Einfluß der Schwingzahl und der Fliehkraft auf die Rüttelwirkung.

A, B, D . . . Bezeichnung der Geräte  
119, 650 . . . Fliehkraft in kg

Das bisher Gesagte zeigt schließlich im besonderen das Folgende für die künftige Entwicklung. Die Bindemittel des Betons sind mannigfaltiger geworden; auch wurden — wohl mehr als früher — Bindemittel gefordert und entwickelt, die für begrenzte Aufgaben des Architekten und Ingenieurs bestimmt sind; die Lieferung der Betonstoffe, die Lagerung und das Messen dieser Stoffe, auch die Verarbeitung des Betons richten sich mehr und mehr nach Richtlinien, die für die Erzeugung von Stoffen bestimmter Mindesteigenschaften in fortlaufend gleicher Güte an sich selbstverständlich erscheinen. Im einzelnen sei dazu folgendes hervorgehoben.

Neben den bisher genormten Handelszement als Portlandzement, Eisenportlandzement und Hochofenzement ist im Jahr 1940 der genormte Traßzement<sup>14)</sup> getreten. Vor kurzem ist im Ausschuß für die Neubearbeitung der Zementnormen festgelegt worden, daß neben dem hochwertigen Zement der höchstwertige Zement genormt werden soll. Weiter sind Untersuchungen im Gang, mit denen die Frage beantwortet werden soll, ob Normen für Mischbinder zweckmäßig sind. Außerdem ist die Frage aufgeworfen worden, ob die mit der Normung des Traßzements begonnene Einteilung der Zemente nach ihrer Eignung fortzusetzen ist.

Diese Sachlage ist seitens der Hersteller von Hüttenzementen besonders aufmerksam zu beachten, weil das genormte Gemisch aus Hochofenschlacke und Portlandzement zwar für viele Bauaufgaben dem genormten Portlandzement gleichwertig ist, jedoch auch besondere Eigenschaften hat, die in der Zukunft mehr als bisher zu berücksichtigen sind. Ich denke dabei vor allem an die Verwendung der Hüttenzemente zu massigen Betonbauten, zu Fundamenten, zu Putzen, auch zu Betonwaren. Zum Massenbeton braucht man Zemente, die hohe Festigkeiten liefern und die deswegen dem Beton zur Erlangung der üblichen Betonfestigkeit nur in geringen Mengen beizugeben sind; damit kann die Wärmeentwicklung auf

einem erträglichen Maß gehalten werden. Doch muß der Beton mit solchen Zementen mehlfine Zusätze erhalten, die ihn verarbeitbar machen und dicht machen. Dieser Weg ist bisher in wirtschaftlicher Weise mit dem Traßzement beschriftet worden. Es erscheint wünschenswert, weiterhin zu studieren, wie die Hüttenzemente zu ergänzen sind, um für Massenbeton besonders geeignet zu werden. Man weiß ferner, daß die Hüttenzemente an sich für Massenbeton gut brauchbar sind; sie müssen jedoch wie die Portlandzemente durch andere Stoffe mehr oder minder ergänzt werden, wenn der Beton gut verarbeitbar und dicht werden soll. Ansätze für diese Arbeit sind vorhanden.

Dabei darf allerdings nicht vergessen werden, daß der Massenbeton oft unter Bedingungen verwendet wird, die schon nach einem Tag eine solche Tragfähigkeit verlangen, daß man die Schalung wegnehmen und fortschreitend wachsende Lasten aufbringen kann.

In gleicher Richtung liegen Forderungen für die Verwendung der Zemente zu Gründungen, Betonwaren, Mauermörteln und Putzmörteln.

Bei der Erforschung der Eignung der Zemente zu Mauer- und Putzmörteln ist mehr als bisher zu prüfen, welche Zementmörtel für Mauermörtel zu Bauwerken aus Natursteinen geeignet sind. Diese Aufgabe ist für die Monumentalbauten der neuen Zeit nicht zu umgehen. Eine weitere Aufgabe der Zukunft, die Entwicklung der preiswerten Lieferung des Betons, führt zur Errichtung von Betonfabriken mit zuverlässigen Einrichtungen für das Aufbereiten, Lagern, Messen und Mischen der Stoffe zu wenigen Mischungen, die gewährleistet, genormte Eigenschaften haben<sup>24</sup>). Der Deutsche Ausschuß für Eisenbeton hat die Normung des Betons für Eisenbeton in diesem Sinn schon eingeleitet. Die Baumaschinenindustrie wird weiterhin die zugehörigen Einrichtungen entwickeln müssen, derartig, daß die Leistungen wichtiger Einrichtungen (Meßeinrichtungen, Mischer u. a.) wesentlich erhöht werden.

Die schwierigste Großaufgabe des Betonbaus ist nach wie vor bei der Herstellung von Betonfahrbahndecken zu bewältigen. Bei dieser Aufgabe werden Eigenschaften und Maßnahmen nötig, die auch bei anderen schwierigen Aufgaben gefordert werden oder doch wünschenswert sind. Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

1. Erstarrungsbeginn bei gewöhnlicher und bei hoher Temperatur der Luft und des Betons nicht früher als nach etwa 2 h.
2. Erstarrungsende bei hoher Temperatur der Luft und des Betons ausreichend groß, um die Fertigung der Decken durchführen zu können.
3. Gute Verarbeitbarkeit des Betons und Verhütung von Wasserabscheidungen auf der oberen Betonfläche, damit der Beton auch an der oberen Fläche hochwertig wird und somit eine hohe Wetterbeständigkeit erlangt. Dazu gehört die Verwendung von Zement geeigneter Mahlfinheit, oft auch die Zugabe feinsten Kalkhydrats. Da die Betonfahrbahndecken infolge oftmaliger Überbeanspruchung durch den Verkehr, Erwärmung und Abkühlung, Schwinden und Quellen nach Bild 7 Anrisse bekommen, müssen die obersten Schichten der Betonfahrbahndecken, vor allem die oberste Feinschicht, besonders gut sein.
4. Entwicklung hoher Festigkeit des Betons entsprechend den Erfordernissen des Baubetriebs, u. a. derart, daß

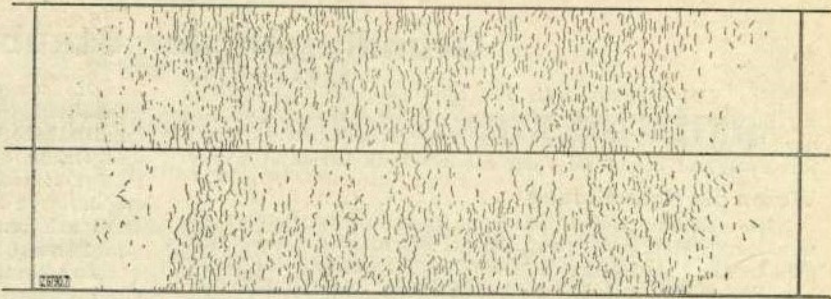


Bild 7. Risse auf einer Fahrbahnplatte einer Reichsautobahn-Versuchsstrecke.

Breite der Fahrbahn  $2 \times 3,75$  m.

der bei hoher Sommertemperatur angemachte und erhärtete Beton ebenso hohe Biegezugfestigkeit erlangt wie Beton, der bei 15 bis 20° entsteht, und besonders, daß die Biegezugfestigkeit durch das Trocknen und Durchfeuchten des Betons wenig beeinflußt wird, überdies im Laufe der Zeit wächst. Hierbei haben Zemente, die in hervorragend geleiteten Betrieben unter Beachtung der technisch-wissenschaftlichen Erkenntnisse entstanden sind, bis jetzt gute Ergebnisse gezeitigt.

5. Hohe Gleichmäßigkeit der Eigenschaften des Betons, weil die schwächsten Stellen für die Widerstandsfähigkeit der Fahrbahndecken maßgebend sind.

Die Fortschritte, die die deutsche Zementindustrie und die deutschen Bauunternehmungen des Betonbaus in den letzten Jahrzehnten errungen haben, enthalten wertvolle Ansätze für weitere Fortschritte. Die Beteiligten bemühen sich um diese Fortschritte auf verschiedenen Wegen.

6. Endlich muß mit verwandten Forderungen an die Herstellung des Leichtbetons und der Bausteine aus Leichtbeton für den Wohnungsbau gedacht werden. Neben dem Leichtbeton aus leichten, porigen Zuschlagstoffen (Ziegelschotter, Bims, Hüttenbims) wird der Leichtbeton aus porigen Mörteln

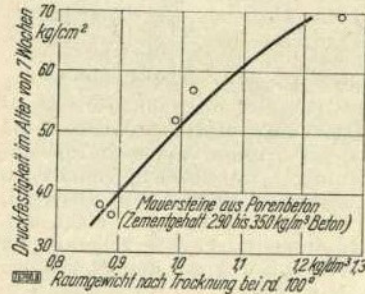


Bild 8. Druckfestigkeit von Mauersteinen aus Porenbeton.

(Iporitbeton, Porenbeton usw.) in steigendem Maß benutzt. Es handelt sich dabei um Beton mit einer Druckfestigkeit von 20 kg/cm² und mehr und mit einem Raumgewicht des trockenen Baustoffs bis etwa 1,1 kg/dm³, vgl. z. B. Bild 8. Die Steine müssen so fest sein, daß bei ihrer Beförderung nur wenig Bruch entsteht und daß die Tragfähigkeit für einfache Häuser ausreicht; das Raumgewicht ist wegen der Wärmedurchlässigkeit zu beschränken. Dabei ist der Vergleich mit der 38 cm dicken Wand aus Ziegelmauerwerk maßgebend. Die im Jahr 1940 geschaffene Forschungsstelle für Leichtbaustoffe verfolgt die zugehörigen Bedingungen.

Die bisher vorliegenden Feststellungen führen hinsichtlich der Bindemittel zu Bedingungen, wie sie vorher für den Zement zum Straßenbeton und Massenbeton zusammengefaßt wurden. Die Bedingungen für die Kornzusammensetzung des Porenbetons usw. sind im Entstehen<sup>25</sup>).

B 6790

<sup>24</sup>) Vgl. a. O. Graf: Z. VDI Bd. 77 (1933) S. 813/19.

<sup>25</sup>) Vgl. a. A. Hummel: Das Beton-ABC. 3. Aufl. Berlin 1939 S. 201 u. f.