

### Zukunftsfragen:

Von Prof. F. Campus, Lüttich: **Fragen, die für die Zukunft des Beton- und Eisenbetonbaues von Interesse sind.**

#### 1. Verbesserung der Eigenschaften der Zemente.

Die Verminderung des Kalkgehalts, der Abbindewärme und des Schwindens sind Aufgaben, die mit dem Begriff der Spezialzemente verbunden sind und die von der Unterkommission für Spezialzement in der Internationalen Talperrrenkommission zum Gegenstand ihrer Forschungen und Beratungen gemacht worden sind. Diese Fragen sind auch für andere Gebiete des Bauwesens von Interesse, insbesondere das Schwinden, das für alle Anwendungen des Zements in Betracht kommt. Die Frage der Erhöhung der Zugfestigkeit des Zements ist nicht mit dem Begriff des Spezialzements in Verbindung gebracht worden, obwohl neuerdings gewisse Bestrebungen auch darauf gerichtet sind. Bis jetzt scheint das ein anderes Problem darzustellen. Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, daß man in kommenden Jahren über Zemente verfügen könnte, die einerseits auf den vier obenerwähnten Gebieten bedeutende Fortschritte aufweisen und andererseits durch einen im Durchschnitt größeren Widerstand gegen die meisten, den Zement angreifenden Stoffe ausgezeichnet sind.

Mein Laboratorium hat Gelegenheit gehabt, einen neuen Zement zu untersuchen, der in Belgien als geschütztes Erzeugnis hergestellt wird. Ich betrachte nachstehend die Angelegenheit vom rein technisch-wissenschaftlichen Standpunkt aus und habe nicht die Absicht, hier nähere Einzelheiten über diesen Zement bekanntzugeben, ich möchte nur folgendes feststellen:

a) Der Gehalt an CaO ist kleiner als 40% und demjenigen des Traßzements 50/50 völlig gleich.

b) Die auf das Gramm Zement freigewordene Abbindewärme beträgt etwa 23-g-Kalorien nach 72 Stunden (Verfahren der Thermosflasche mit Zementbrei).

c) Das Schwindmaß ist geringer als bei anderen Zementen, ungefähr  $1 \times 10^{-4}$  nach 365 Tagen für Beton mit 350 kg Zement je  $m^3$ , der an der Luft aufbewahrt wurde, bei einer Temperatur von ungefähr  $16^\circ C$  und bei einem Feuchtigkeitsgrad von durchschnittlich 80%. Die Aufbewahrung unter Wasser bewirkt eine Dehnung von  $2 \times 10^{-4}$ . Der Verlauf der Schwinderscheinungen unterscheidet sich von dem anderer Zemente vorteilhaft.

Ein Versuch, der an einer Betonstraßendecke ausgeführt wurde, die am 8. Oktober 1935 hergestellt worden war und ihren Erhärtungsprozeß an der freien Luft durchgemacht hatte (in Berührung mit dem Erdboden), hat folgende Dehnungen ergeben:

nach 2 Monaten	$0,19 \times 10^{-4}$
nach 9 Monaten	$2,90 \times 10^{-4}$
nach 12 Monaten	$0,89 \times 10^{-4}$ .

Die Messungen wurden mit Hilfe des Huggenbergerschen Deformeters ausgeführt, Wärmeausdehnung inbegriffen. Zu diesen verschiedenen Zeitpunkten zeigten anliegende Betonplatten gleicher Herstellung aus anderen Zementen bedeutend größere Schwinderscheinungen und viel geringere Ausdehnungen.

Die Schwindeigenschaften dieses Zements werden noch weiter erforscht. Kürzlich herausgekommene Veröffentlichungen von H. Lossier<sup>1)</sup> bezeugen das große Interesse an dieser Frage.

<sup>1)</sup> Gén. Civ., 30. Oktober 1936. — Ann. P. Chss., Januar 1937.

d) Der Widerstand gegen chemische Angriffe ist sehr groß, namentlich was die Sulfate betrifft. Die Erhärtungsenergie ist bedeutend größer in einer Lösung von 15 g Magnesiumsulfat auf einen Liter Wasser als im Trinkwasser. Der Widerstand gegen destilliertes Wasser (Auflösung) ist auch sehr groß, ebenso die Wasserundurchlässigkeit.

e) Die Zugfestigkeit, gemessen durch Biegung an prismatischen Versuchstäben  $4 \times 4 \times 16$  cm aus plastischem Mörtel, nach den Schweizerischen Normen, ist den anderen Zementarten klar überlegen. Bis zum Alter von zwei Jahren ist das Verhältnis der Biegezugfestigkeit zur Druckfestigkeit der erwähnten Versuchstäbe:

für einen Mörtel von 300 kg Zement je  $m^3$  Flußsand 0/2 mm  
ungefähr 0,23 bis 0,18,

für einen Mörtel von 450 kg Zement je  $m^3$  Flußsand 0/2 mm  
ungefähr 0,16 bis 0,14,

für einen Mörtel von 600 kg Zement je  $m^3$  Flußsand 0/2 mm  
ungefähr 0,14 bis 0,12.

Die Zahlen sind mittlere Grenzwerte; sie verringern sich mit zunehmendem Alter nach der bekannten Regel.

Selbstverständlich sind die hier festgestellten Steigerungsmöglichkeiten der Zugfestigkeit noch sehr begrenzt. Die Erhöhung gegenüber den gewöhnlichen Zementen nimmt ab mit zunehmendem Alter und Zementgehalt.

Nach zwei Jahren erreicht sie 20 bis 50% je nach dem Vergleichszement und der Art der Aufbewahrung, bei Fehlen jeglicher chemischen Beschädigung.

Nichtdestoweniger genügt diese Eigenschaft, verbunden mit einer Verminderung des Schwindens an der Luft von ungefähr 60%, um den Widerstand gegen die Rissebildung erheblich zu vergrößern. Im allgemeinen scheinen die Hüttenzemente ein Verhältnis der Zug- zur Druckfestigkeit aufzuweisen, das dem des Portlandzements überlegen ist. Aber das Schwindmaß ist oft etwas größer, obgleich der Unterschied für die der freien Luft ausgesetzten Betons üblicher Zusammensetzung wenig wahrnehmbar ist.

Man darf wohl annehmen, daß solche Eigenschaften durch das Interesse, das sie naturgemäß in der Zementindustrie erregen müssen, eine lebhafte Forschungstätigkeit auf diesem Gebiet hervorrufen werden, nämlich hinsichtlich Erhöhung der Zugfestigkeit, Verringerung des Kalkgehalts, Unempfindlichkeit gegen chemische oder physikalisch-chemische Einwirkungen, Undurchlässigkeit, Abbindewärme sowie Verringerung des Schwind- und Dehnungsmaßes.

Was das Schwinden anbetrifft, so bedarf die Frage der Messungsverfahren noch der Vervollkommnung. Die Erforschung der Anfangsstadien der Erhärtung steckt noch einigermaßen in den Kinderschuhen. In Verbindung mit einigen der obenerwähnten Gesichtspunkte steht zu erwarten, daß in der nächsten Zukunft die Forschungen bezüglich der Verhinderung des Schwindens großem Interesse begegnen werden. Ob es möglich sein wird, Normen aufzustellen, steht noch nicht fest und scheint auch nicht einfach, jedoch ist die Erreichung dieses Zieles nicht gerade notwendig, die Fragen der Schwindspannungen<sup>2)</sup> und der Schwindrisse haben auch ohne Normung große Bedeutung.

Die Frage der raschen Erhärtung ist so weit gefördert und praktisch gelöst, so daß dieselbe nicht mehr zu den Zukunftsfragen zu gehören braucht.

Was die Zementnormen anbetrifft, so ist man in Belgien noch bei der Methode des gestampften Normalmörtels stehen geblieben. Es wäre jedoch merkwürdig, wenn die Frage der Zementprüfung mit plastischem Mörtel nicht über kurz oder lang zur Entscheidung käme. In diesem Fall vermute ich, daß man diejenige Methode bevorzugen würde, die ich nach Féret-Haegermann-Roš nennen möchte, d. h. den Biegeversuch mit prismatischen Stäben  $4 \times 4 \times 16$  cm mit darauf folgendem Druckversuch auf eine Druckfläche von  $4 \times 4$  cm,

ausgeführt mit den beiden Hälften des Biegestabes. Die Regelmäßigkeit des Versuchs ist mindestens derjenigen des jetzigen Verfahrens gleich, er ist bequemer, und es ist außerdem eine größere Gleichmäßigkeit und eine geringere Streuung zu erwarten. Eine einfache Normung scheint hier leicht möglich, nach Art derjenigen z. B., die für die Herstellung von plastischen Mörtelstäbchen  $4 \times 4 \times 16$  cm vorgeschrieben ist für die Schwindversuche nach Graf in Deutschland oder nach den Schweizerischen Normen.

In Großbritannien scheint man mit dem Rütteln plastischer Mörtelwürfel gute Ergebnisse erzielt zu haben. Jedenfalls sind die versuchstechnischen und die wirtschaftlichen Bedingungen für die Prüfung mit plastischem Mörtel vorhanden. Nach den Erfahrungen meines Laboratoriums würde ein Wechsel in den Zementprüfungsmethoden die Lage der verschiedenen Handelskategorien des Zements nicht ändern. Andererseits sind die durch die Erzeuger gewünschten höheren Festigkeiten durchaus möglich. Aus Italien (Dr. V. Sevieri) habe ich sogar Vorschläge bekommen für die Zementprüfung mit Würfeln aus normalisiertem plastischem Beton. Nach meinen Ueberlegungen und Versuchen ist diese Methode sowohl vom versuchstechnischen wie vom wirtschaftlichen Standpunkt aus möglich, unter Umständen durch Anwendung des Rüttelverfahrens. Nur scheint dieses Verfahren umständlicher zu sein als mit plastischem Mörtel; es ist nicht anzunehmen, daß sich dasselbe in absehbarer Zeit durchsetzen wird.

## 2. Verbesserung der Eigenschaften des Betons.

Was die erhöhte Sicherheit gegen Ribbildung anbetrifft, so sind hierfür die größere Zugfestigkeit und das verminderte Schwindmaß, wie unter 1. angeführt, ebenfalls maßgebend. Die gänzliche Beseitigung des Schwindens, sogar der Dehnung gehört durchaus ins Bereich des Möglichen. Was die Zugrisse anbetrifft, so dürfte die Zugfestigkeit bzw. die Bruchdehnung voraussichtlich nicht genügend erhöht werden können, um die bekannten Eigenschaften des Betons in charakteristischer Weise zu verändern. Aber die verschiedenen Verfahren der Vorspannung der Bewehrung, wie sie in den letzten Jahren Gegenstand von Versuchen und praktischer Verwertung gewesen sind, scheinen tatsächlich einer bedeutenden Entwicklung fähig zu sein. Die Unterteilung der Bewehrung in zahlreiche dünne Stäbchen oder Nähte, auch die Einlage von wurmartigen Stahl- oder Gußeisenpanen in den Beton scheinen geeignet zu sein, die Ribfestigkeit zu vermehren, was für gewisse wirtschaftliche Zwecke wichtig sein dürfte. Die Erhöhung des spezifischen Gewichts ist dabei in Rechnung gestellt. Die Eisenbetonvorschriften des belgischen Verbandes für Standardisierung empfehlen unter gewissen Umständen, z. B. bei sehr hohen Trägerrippen, die Anwendung von Bewehrungen, die dazu bestimmt sind, gewisse häufig vorkommende Ribbildungen zu verhindern.

Es scheint auch, daß beim gegenwärtigen oder zukünftigen Stadium der Zugfestigkeit des Betons schon bedeutende praktische Vorteile erzielt werden könnten, wenn man der Haftung des Betons an den Bewehrungsstäben und ihrer besseren Nutzbarmachung durch gewisse Verfahren mehr Aufmerksamkeit schenken würde. Unter diesen Verfahren nenne ich besonders das Schweißen der Bewehrungsstäbe. Es handelt sich hier hauptsächlich um reine Verbundschweißungen der verschiedenen Stäbe, wie Bügel usw., so daß die Bewehrung eines Trägers im voraus fertig herzustellen wäre. Diesbezüglich erwähne ich einige Biegeversuche, die kürzlich in meinem Laboratorium auf Antrag einer Unternehmerfirma ausgeführt wurden. Von gleichen Ausmaßen und in gleicher Weise belastet, hatten diese Träger gleiche Hauptbewehrung. Aber bei dem einen war die Haftung durch Haken gesichert und die Schubsicherung durch Bügel, beim anderen hatten die Stäbe keine Haken, und die Schubsicherung wurde hergestellt durch Schrägstäbe, die mit ihren Enden an darüber- und darunterliegenden Hauptstäben angeschweißt waren. Bei dem letzteren System erschienen die ersten Risse erst bei 25 t gegenüber 19 t beim andern Träger. Die Bruchbelastungen zeigten geringere

<sup>2)</sup> F. Campus, Hormigon y Acero. Madrid 1935. Revue Universelle des Mines. Liège 1936.

Abweichungen, 28,7 t gegen 26 t, aber die gemessenen Durchbiegungen sind die nebenstehenden.

Lasten t	Durchbiegungen in mm	
	Geschweißte Schrägstäbe	Hakenstäbe und Bügel
5	0,035	0,43
10	0,17	0,95
15	0,435	1,72
20	0 895	3,26
23	—	7,33
25	1,923	—
26	3,710	—
27	6,310	—

Diese Ergebnisse verdienen volle Beachtung. Meiner Ansicht nach handelt es sich nicht um die spezifische Haftfestigkeit, vielmehr um den globalen Widerstand gegen die gegenseitige Gleitung der Stahlbewehrung und des Betons nach einer mehr tatsächlichen und weniger theoretischen Ausdeutung des Prozesses der Ribbildung und des Bruches des auf Biegung beanspruchten Eisenbetonträgers. Die Frage ist von bedeutender wirtschaftlicher Tragweite, sowohl wegen der Erhöhung der Riblast und der Steifigkeit, als auch wegen einer wesentlichen Stahlersparnis. Sie könnte auch in Richtung der Anwendung hochwertiger Stähle Bedeutung gewinnen, da die ins Auge gefaßten Schweißungen von Natur nicht gefährlich sind, wohl aber eine gewisse Sicherheit in der Handhabung erfordern.

Die Frage des Kriechens des Betons ist schon Gegenstand von vielen interessanten Arbeiten gewesen. Die Einwirkung des Kriechens auf das Verhalten statisch unbestimmter Bauten ist auch schon bis zu einem gewissen Grade geklärt. Aber viele und wichtige Forschungen sind noch nötig, hauptsächlich im Hinblick darauf, daß man praktisch verwertbare Zahlen feststellen muß, sowohl in bezug auf die Zusammensetzung als auch auf die Ausführung des Betons. Es ist sicher, daß die Bedingungen der Dichtigkeit und der Verdichtung des Betons dabei eine wichtige, aber noch nicht genügend beleuchtete Rolle spielen.

Was die Undurchlässigkeit des Betons anbetrifft, so scheint man diese Frage auch hauptsächlich von der praktischen Seite her anfassen zu müssen. Die meisten Arten von Schüttbodyen und von Eisenbeton erfüllen schon durch ihre Zusammensetzung die gestellten Bedingungen der Undurchlässigkeit, was auch die Laboratoriumsversuche bestätigen. Die Praxis scheint zu beweisen, daß das Arbeitsergebnis sehr viel von der Verdichtung abhängt und daß etwa auftretende Mängel meistens an die Arbeitsfugen gebunden sind. Ueber diesen Gegenstand scheinen noch wenig Forschungen vorzuliegen, aber einige Ausführungsergebnisse sind ziemlich bedeutungsvoll. Ich beziehe mich auf eine Mitteilung von Etève<sup>3)</sup> über das Problem der Arbeitsfugen in Betontalsperren.

In Gegenden mit gemäßigttem Klima wie Belgien bietet die Frage des Einflusses von Kälte und Frost besonderes Interesse, das auch ausreicht, um Forschungen über die Anwendung von Schutzmitteln zu rechtfertigen, ohne daß jedoch (besondere Bedürfnisse ausgenommen) solche ausgefallene Maßnahmen wie elektrische Heizung, die zugleich kostspielig und kompliziert in der Einrichtung sind, nötig würden. Selbst unter solchen Umständen scheinen einfachere und bekanntere Verfahren für Belgien angebrachter, wie z. B. die Erwärmung der Zuschlagstoffe und des Wassers, Schutz gegen Kälte durch eine zweckmäßige Hülle oder durch Dampfheizung während der ersten Zeit der Erhärtung. Ich verweise auf eine Abhandlung von mir, die im Anfang dieses Jahres unter Mitarbeit von A. Byls<sup>4)</sup> erschien, über Einwirkungen niedriger Temperaturen auf das Abbinden und Erhärten des Betons, von der ich jedoch hier die Schlußfolgerungen nicht wiedergeben kann. Die Wirkung von mäßigen Beigaben von CaCl<sub>2</sub> zum Anmachwasser darf als vorteilhaftes Mittel betrachtet werden, natürlich unter Vorbehalt vorheriger Prüfung. Diese Fragen bleiben Gegen-

stände weiterer Forschungen, sie berühren jedoch keine Grundfragen, sondern betreffen vielmehr Einzelheiten, die als Ergänzung natürlich auch wichtig sind.

Die Frage des Rüttelns des Betons, obwohl dieselbe schon Anlaß zu zahlreichen und interessanten Arbeiten in Deutschland, Amerika, Frankreich, Italien usw. gegeben hat, ist gewiß noch nicht erschöpft. Die kürzlich erschienene schöne Abhandlung von Mary<sup>5)</sup> verdient große Aufmerksamkeit. Die gesamte Wirkung des Rüttelns kann durch die Feststellung des Dichtigkeitsgrades des Betons am besten beurteilt werden, sie steht natürlich in engem Zusammenhang mit der Kornzusammensetzung und der Wasserzugabe.

Es möge angebracht sein, kurz über die Ergebnisse einer Abhandlung aus meinem Laboratorium zu berichten, betreffend einen Rüttelbeton, der für eine Schwergewichts-Staumauer bestimmt war.

Die Zusammensetzung dieses Betons war die folgende<sup>6)</sup>:

Porphyrschotter . . .	40/80 mm	1050 kg
Porphyrschotter . . .	10/30 "	420 "
Porphyrspilt . . . . .	2/5 "	172 "
Lommelsand . . . . .	0/2 "	342 "
Zement . . . . .		350 "
Wasser . . . . .		128 "

zusammen 2462 kg.

Der Dichtigkeitsgrad ist auf drei verschiedenen Wegen bestimmt worden:

a) durch die Bestimmung des scheinbaren und wirklichen spezifischen Gewichts (Gewicht unter Wasser und in der Luft). Ergebnis: 0,955;

b) durch Tränken mit kochendem Wasser, unter 4,5 kg/cm<sup>2</sup> Druck. Ergebnis: 0,9602;

c) durch Wiegen der Elemente und Berechnung. Ergebnis: 0,954 63.

Diese Ergebnisse stimmen sehr gut überein, sie sind der Erfolg mühsamer und peinlicher Behandlung und rechnerischer Feststellung. Die angenäherte und bequemste Methode, nämlich die des Druckkessels, ist genügend. Sie erlaubt eine ziemlich leichte Schätzung des Erfolges des Rüttelns mit Hilfe einer ziemlich einfachen Vorrichtung, die nunmehr auf der betreffenden Baustelle (Staumauer) angewendet wird.

Betonstraßen sind in Belgien seit etwa zehn Jahren viel gebaut worden und haben große Fortschritte gemacht. Sie haben schon eine bedeutende Länge, und man darf sie zu den besten ihrer Art rechnen. Sie verdanken ihrer zweckmäßigen Zusammensetzung und den verschiedenen Verdichtungsmaßnahmen, wie Stampfen, Rollen, Verwendung von Stampfmaschinen verschiedener Art, dem Rütteln usw., ihre durchschnittlich ausgezeichneten Festigkeitseigenschaften. Die Abnahmeprüfungen der den Straßen entnommenen Probekörper zeigen Druckfestigkeiten auf, die bei einem Alter von zwei Monaten selten unter 600 kg/cm<sup>2</sup> liegen und oft Werte von 900, sogar 1000 kg/cm<sup>2</sup> im selben Alter erreichen, häufig aber nach sechs Monaten oder nach einem Jahre. Das Rütteln hat ebenfalls gute Erfolge ergeben. Als Beispiel mögen Druckfestigkeiten von 815 kg/cm<sup>2</sup> erwähnt werden, die von zwei Monate alten Probestücken erreicht wurden, die einer Straße aus Rüttelbeton im Juli 1935 entnommen wurden. Aber auch andere Ausführungsarten vermögen ähnliche Resultate zu erzielen; sie sind im übrigen klar abhängig von der bei der Ausführung wahrgenommenen Sorgfalt. Nichts hat mich bisher veranlaßt, meine Ansicht zu ändern, die ich bereits zum Ausdruck gebracht habe, daß, wenn das Rütteln als Verdichtungsverfahren geeignet ist ausgezeichnete Ergebnisse zu liefern, es doch nicht geeignet ist, dem Beton besondere Eigenschaften zu verleihen, die nicht, auch durch andersartige Verdichtungsmaßnahmen, erreicht werden

<sup>3)</sup> Annales de l'Institut technique du Bâtiment et des Trav. Publics Nr. 2 1936, Paris.

<sup>4)</sup> Effets des basses températures sur la prise et le durcissement des bétons. Par A. Byls u. F. Campus. Ann. tr. Belg., Nr. 1, 2 u. 3, 1937. Brüssel.

<sup>5)</sup> Ann. P. Chss., März 1936.

<sup>6)</sup> Contributions de l'Institut du Génie Civil de l'Université de Liège au Congrès international d'essais des matériaux de Londres en Avril 1937. Revue Universelle des Mines, 15. Oktober 1937, Lüttich.

könnten, außer wenn man völlig trockene und steife Betons verwendet, wie z. B. für die obenerwähnte Staumauer.

Es möge mir noch gestattet sein, darauf aufmerksam zu machen, daß die meisten der bis jetzt erwähnten Ergebnisse, die den Zweck haben, meine Ansichten zu stützen, nicht aus Forschungen hervorgegangen sind, die zu rein wissenschaftlichen Zwecken dienten, sondern meistens aus Versuchen, die auf Antrag dritter unternommen wurden und die praktische oder wirtschaftliche Bedeutung hatten. Sie sind deshalb von jeder auch unwissentlichen persönlichen Einstellung frei. Es wird wohl angebracht erscheinen, die von mir behandelten Zukunftsfragen unter diesem Gesichtspunkt zu betrachten.

### 3. Genauere Erklärung der Kornverteilung.

Dieses Kapitel des von der Schriftleitung aufgestellten Fragebogens sowohl wie zwei weitere Fragen sind sehr abhängig von dem, jedem Lande eigenen Gewerbe sowie von der Wirtschaft und Verwaltung dieser Länder. Ich glaube deshalb, hier auf eine Beantwortung verzichten zu können. Ich beschränke mich darauf, meine Meinung dahin abzugeben, daß ich der Bestimmung der Betonzusammensetzung nach Gewichtsmaß günstiger gegenüberstehe als

der Bestimmung nach Raummaß, wie sie zur Zeit in Deutschland noch gebräuchlich ist. Der Vorteil liegt sicher in der Genauigkeit, besonders was die Sandarten angeht, deren spezifisches Gewicht sehr verschieden ist, je nach dem Feuchtigkeitsgehalt und der Verdichtung<sup>7)</sup>. Der letzte Umstand trifft auch für Kies und Schotter zu. Die Anwendung kann gewisse Schwierigkeiten bieten. Für Baustellen mittlerer Größe besteht ein günstiges Mittel schon darin, die Mischung nach Gewichtsmaß vorzuschreiben und sie nach Raummaß auszuführen. Es müssen dann regelmäßige Kontrollwiegungen vorgenommen werden, die leicht zu bewerkstelligen sind. Günstige Erfahrungen liegen schon seit Jahren vor, die Gleichmäßigkeit des Betons wird dadurch gesteigert. Auf den großen Baustellen erleichtert die mechanische Förderung die Mischung nach Gewichtsmaß. Ich nehme an, daß man von der zukünftigen Entwicklung dieser Verfahren schätzbare praktische Vorteile erwarten darf, die geeignet sind, das Vertrauen zum Beton und Eisenbeton noch weiter zu stärken.

<sup>7)</sup> F. Campus und R. Jaquemin, Introduction à l'étude des sables et des gravillons. 3<sup>ième</sup> Congrès belge de la route. Septembre 1935. Brüssel.