



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300595



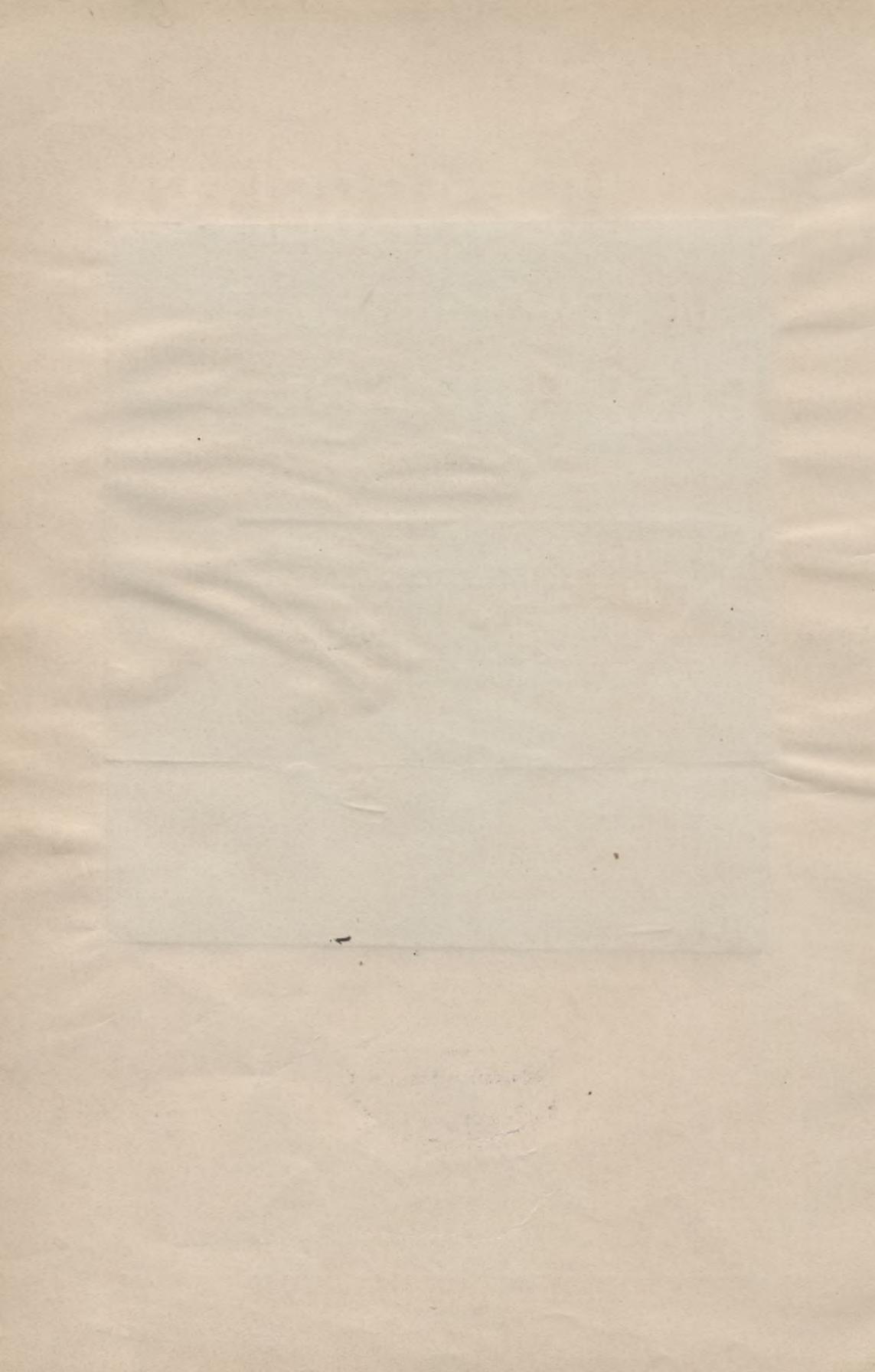
F. 9 a

15

- Heft 13: Beiträge zur Theorie der im Eisenbetonbau gebräuchlichen Form der Rippen-Kuppel.** Von Dr. Ing. **Karl W. Mautner**, Oberingenieur der Firma Carl Brandt. 1911. geh. 4 M.
- Heft 14: Eine Güteprobe für Beton System Dr. v. Emperger.** Von **G. Neumann**, Ingenieur. Mit 9 Abb. 1911. geh. 4 M.
Protokollformulare sind zum Preise von 1 M. zuzüglich Porto für 12 Stück erhältlich.
- Heft 15: Eisenbetonkonstruktionen bei Biegung und bei exzentrisch wirkenden Druck- oder Zugkräften.** Einheitliche Verfahren zur Bemessung derselben. Für die Praxis bearbeitet von **R. Wuczkowski**, Chefingenieur im Spezialbureau von Dr. Ing. v. Emperger. Mit 21 Abb. u. 23 Beispielen. 1911. geh. 4 M.
- Heft 16: Schwimmkörper in Eisenbeton.** Von Ingenieur **W. Stroß**. Mit 154 Abb. 1911. geh. 6 M.
- Heft 17: Beiträge zur Theorie und Berechnung der im Eisenbetonbau üblichen elastischen Bögen, Bogenstellungen und mehrstieligen Rahmen.** Von Dr. Ing. **K. W. Schaechterle**, Regierungsbaumeister. Mit 91 Abb. 1912. geh. 6 M.
- Heft 18: Beitrag zur Berechnung mehrstöckiger Rahmen mit Rücksicht auf die Veränderlichkeit des Trägheitsmomentes.** Von Ingenieur **A. Straßner**. Mit 21 Textabb. 1912. geh. 2,60 M.
- Heft 19: Ueber neuere Versuche mit umschnürtem Beton.** (Spiral umwickelte und ringbewehrte Säulen.) Von Dr. Ing. **A. Kleinlogel**. Mit 25 Textabb. 1912. geh. 3,20 M.

Heft 20. Leitfaden zum Studium und Einbau des Dampfs. Von Dr. Fr. Schindler. 1912.

Heft 21. Leitfaden zum Studium und Einbau des Dampfes. Von Dr. Fr. Schindler. 1912.



FORSCHERARBEITEN

AUF DEM GEBIETE DES

EISENBETONS



EINE GÜTEPROBE FÜR BETON
SYSTEM

DR. v. EMPERGER

HEFT XIV

PREIS 4 MARK

VON

GERHARD NEUMANN

INGENIEUR

IM SPEZIALBUREAU FÜR EISENBETON DR. ING. FRITZ VON EMPERGER

ZWEITE NEUBEARBEITETE AUFLAGE

MIT 9. TEXTABBILDUNGEN



Alle Rechte,
insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.

Eine Güteprobe für Beton
System Dr. von Emperger

Gerhard Neumann

**Eine Güteprobe für Beton
System Dr. von Emperger**

Eine Güteprobe für Beton System Dr. von Emperger

von

Gerhard Neumann

Ingenieur im Spezialbureau für Eisenbeton Dr. Ing. Fritz von Emperger.

Zweite vermehrte Auflage.

Mit 9 Textabbildungen

Berlin 1911

Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn

System Dr. von Emberger
Eine Güteprobe für Beton



111-307034

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.



~~111 19452~~

Berlin 1911
Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn

Vorwort.

Die erste Auflage der Beschreibung der im folgenden behandelten, für den Eisenbetonbau so wichtigen Materialprüfungsmethode war nur für einen engen Kreis von Fachgenossen bestimmt, da es sich infolge der geradezu entmutigenden Nichtbeachtung der ersten Veröffentlichung, nach so manchem Jahr der Ruhe zunächst nur darum handelte, das allgemeine Interesse wieder auf diese Methode zu lenken. Die Schnelligkeit, mit der die Anregung nun allerorten aufgegriffen wurde, der Entschluß der maßgebenden Kreise, die Brauchbarkeit der genannten Prüfungsmethode durch umfangreiche Versuche zum Zwecke der Aufnahme in die in Vorbereitung befindlichen neuen Betonvorschriften zu erproben, und die von allen Seiten einlaufenden Anfragen und Bestellungen genannter Broschüre machten eine Neuauflage nötig.

Diese Neuauflage wurde nach den inzwischen gemachten Erfahrungen ergänzt und erweitert. Einige praktisch erprobte Änderungen haben den Arbeitsvorgang geregelt und vereinfacht, seine Beschreibung wurde auf das ausführlichste und genaueste abgefaßt, um so jedem, der nach dieser, bereits im Jahre 1903 in „Beton u. Eisen“ von Dr. F. v. Emperger klargelegten Methode zu arbeiten gewillt ist, über die unangenehmen Schwierigkeiten einer neuen Einrichtung tunlichst hinwegzuhelfen. An alle Fachgenossen trete ich mit dem Ersuchen heran, alle etwaigen Erfahrungen von Wichtigkeit an das unterzeichnete Bureau gelangen zu lassen, damit durch ihre Berücksichtigung möglichst schnell etwas Vollkommenes und Einwandfreies von jedermann geleistet werden kann. Auf diese Weise ist zu erhoffen, daß die Methode in kürzester Zeit auf jene Höhe abgeklärter Erfahrung gehoben wird, welche die Würfelprobe bei der peinlichsten Genauigkeit der laboratoriummäßigen Behandlung für Konstruktionen reinen Druckes besitzt, und deren die Methode der Kontrollbalken in erhöhtem Maße bedarf, die sie aber auch verdient, da sie sich durch ihre Einfachheit und Billigkeit außerordentlich zur Verallgemeinerung eignet. Durch sie ist es jedem Fachmann, der mit Ernst und Liebe seinen Beruf erfaßt, ermöglicht, auf Grund eigener Versuche die **besten** und **billigsten** Betonqualitäten zu ermitteln, ökonomischer als bis jetzt zu arbeiten und dabei überdies stets mit voller Sicherheit von der Güte seines Materials überzeugt zu sein.

Herr Oberbaurat Dr. Fritz v. Emperger hatte die Güte, mich mehrfach mit der Durchführung solcher Kontrollproben und der im folgenden vorliegenden Auswertung ihrer Ergebnisse zu betrauen und mich zu dieser Veröffentlichung zu ermächtigen. Ich erlaube mir, ihm an dieser Stelle für die durch ihn erfolgte Durchsicht der Arbeit meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Wien, im Januar 1911.

Gerhard Neumann,

Ingenieur im Spezialbureau für Eisenbeton Dr. Ing. Fritz v. Emperger.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort	v
Einleitung	1
1. Die derzeitigen Güteproben	4
2. Das System der Kontrollbalken	6
3. Der Modellapparat	8
a) Herstellung der Probekörper	8
b) Versuchsdurchführung	9
4. Theorie der Biegungsspannung beim Bruch	16
5. Ein praktisches Beispiel	18
6. Die amtlichen Vorschriften über Betongüte	21
7. Auswertung von Versuchsergebnissen	26
Anhang	32

Einleitung.

In den Anfängen des Eisenbetons hielt man die Tragfähigkeit des Balkens für abhängig von der Eisenmenge und dementsprechend steigerungsfähig, eine Anschauung, die sich in allen früheren Veröffentlichungen bis zu den von Thullie (Zeitschrift des Österr. Ing.- und Arch.-Vereines 1896) findet. Erst in der Zeitschrift des Österr. Ing.- und Arch.-Vereines 1897 ist von Dr. v. Emperger die Rolle der Druckfestigkeit oder der zulässigen Druckspannung in der heute allgemein bekannten Wirkung dargelegt worden, und wurde auch nachgewiesen, in welcher Weise die zugehörigen Lasten von den Bewehrungsprozenten abhängig sind. Das führte in der Folge dazu, diese Begrenzung der Tragfähigkeit durch die Druckfestigkeit des Betons näher zu untersuchen und den Unterschied zwischen dieser Zahl und jener Annahme nachzuweisen, welche die Würfel Festigkeit des Betons als maßgebend für den Druckgurt der Eisenbetonbalken hingestellt hatte. Auf Grund dieses Studiums machte Dr. von Emperger in „Beton u. Eisen“ 1903, Seite 26 den Vorschlag, von der Würfelprobe überhaupt abzusehen und bei Eisenbetonbauten die Probe mittels entsprechend konstruierter Balken als „sichere Kontrolle des Ganzen“ anzustellen.

Auf diesen Anschauungen und Vorschlägen beruht die ganze weitere Entwicklung dieser Güteprobe; es ist bezeichnend dafür, wie langsam sich das Gute Bahn bricht, daß es voller acht Jahre bedurfte, bis die Bedeutung dieser Idee voll erfaßt wurde. Dr. v. Emperger hat gleich im nächsten Heft „Beton u. Eisen“ 1903, S. 94 seinen Vorschlag zu einem genau umgrenzten System verdichtet und alle Einzelheiten für eine derartige Erprobung dargelegt. Er stützte sich dabei auf die bis dahin ausgeführten Versuche mit Eisenbetonbalken. Es waren dies in erster Linie die Versuche der Amsterdamer Cement-Ijzer-Werke (L. A. Sanders) aus dem Jahre 1900 mit Balken von 9 cm nutzbarer Höhe mit 15 cm und mehr Breite und einer Bewehrung bis 2,7%. Es sind damit zwei Qualitäten Beton untersucht worden. In einem besonderen Graphikon wurde von ihm gezeigt, daß selbst bei diesen Versuchen bis 2,7% Eisen die Druckfestigkeit nur bei magerem Beton (1:6) festgestellt werden kann und daß sie bei einem Beton 1:4 gar nicht zum Ausdruck kommt. Zu diesem Zwecke wurden in derselben Abbildung noch die Versuche aus Boston mit Ransome-Eisen graphisch zusammengestellt und übersichtlich vorgeführt, welche Bewehrungen bis 4% zeigen.

Auf Grund dieser sowie einiger Versuche, die Dr. v. Emperger bei Pittel und Brausewetter in Weißenbach a. d. Triesting (1900) ausgeführt hatte, gelangte er zu bestimmten Vorschlägen über die Bestimmung der Güte des Betons mit Balken mit 8 cm nutzbarer Höhe und Bewehrungen bis 4⁰/₁₀. Diese Methode wurde ausdrücklich als Güteprobe für die Qualität des Betons und zur Kontrolle aller Eigenschaften eines Eisenbetontragwerkes empfohlen und daran die Aufforderung geknüpft, durch Ausführung solcher Versuchsreihen sich von der Richtigkeit dieser Vorschläge zu überzeugen. Denn Dr. v. Emperger war sich bewußt, daß einer auch nur bescheidenen Einführung dieser Balkenprobe in die Praxis oder in eine amtliche Vorschrift eine weitgehende praktische Erprobung seines Vorschlages vorangehen mußte. Dieser Aufforderung leisteten jedoch nur sehr wenige Fachgenossen Folge und von diesen war es nur Herr Professor Mörsch, der die Sache mit Gründlichkeit in Angriff nahm, indem er Balken von 1,8⁰/₁₀ und 3,36⁰/₁₀ Bewehrung anfertigen, 1905 nach Stuttgart schaffen und dort erproben ließ. Diese Versuche finden sich in seinem Werk „Der Eisenbetonbau“ auf Seite 97 der 3. Auflage beschrieben.

Diese Gleichgültigkeit gegen die Vorschläge Dr. v. Empergers, die einer Ablehnung von Seiten des Faches gleichkommt, hat naturgemäß entmutigend auf ihn gewirkt. Er hat sich daher in der Folge darauf beschränkt, mit einer Reihe von kleinen Balken von 8·8 cm Querschnitt die Möglichkeit nachzuweisen¹, daß damit die Druckfestigkeit ermittelt werden kann, und untersuchte sowohl die Einflüsse, welche dem Auftreten der reinen Druckfestigkeit hinderlich sind, als auch die brauchbare Form und Bewehrung der Balken, um sie zur Geltung zu bringen, und so die volle Tragfähigkeit zu sichern.

Als eine derartige gefährliche Eigenschaft erkannte er in erster Linie die Haftfestigkeit und bei einer zu großen Anhäufung der Eisen im Untergurt eine Erscheinung, die man gewöhnlich als Schubspannung bezeichnet. Seine weiteren Arbeiten zielten nun darauf hin, die Größe dieser Einflüsse zu ermitteln, um sie ausscheiden zu können. Diese Bestrebungen wollen wir als bekannt und nicht weiter hierher gehörig übergehen.² Da die angegebene Methode die Würfelproben ersetzen sollte, glaubte Dr. v. Emperger die letztern nach zwei Richtungen verbessern zu sollen: einerseits durch Ausbildung der graphischen Darstellung³ und anderseits durch die Angabe einer Rechenmethode, die dazu bestimmt war, die Würfel Festigkeit direkt aus dem Versuch abzuleiten⁴, da die Praxis unabänderlich an diesem Begriffe als Gütemaßstab festhielt.

Inzwischen hatte jedoch einer jener Fachmänner, welche ihre Mitwirkung bei Einführung dieser Güteprobe zugesagt hatten, sein Wort zur Tat werden lassen. Herr Professor Ostenfeld-Kopenhagen hatte diese Güte-

1) Beton u. Eisen 1905, S. 202.

2) Forscherarbeiten auf dem Gebiete des Eisenbetons, Heft 3 u. 5.

3) Beton u. Eisen 1903, S. 182; 1904, S. 317, Tafel 24 u. a. m.

4) Beton u. Eisen 1904, S. 171 u. a. m.

probe für die Vorschriften für Eisenbeton, welche der dortige Ingenieurverein herausgab, 1906 vorgeschlagen und so findet sie sich bei den im Jahre 1908 erschienenen dänischen Vorschriften eingeführt. Dies war jedoch insofern eine Enttäuschung, als das dort angewendete Eisenprozent (1,49 % Eisen) nur die Ermittlung geringwertiger Betonfestigkeiten möglich machte, sich also zu einer Qualitätsprobe im Sinne der gemachten Vorschläge schlecht eignete. Dies hatte sich bei der Anwendung der dänischen Vorschriften in der Praxis bald herausgestellt. Als Dr. v. Emperger im Oktober 1908 den früheren Mitarbeiter des Herrn Professor Ostefeld, den jetzigen Herrn Professor Suenson-Kopenhagen bei der Sitzung des internationalen Eisenbetonausschusses in Basel traf, gab er dieser Meinung Ausdruck und begrüßte es, als Professor Suenson die Absicht aussprach, die Versuche auszuführen, wie sie seinerzeit als Vorbedingung für die Einführung dieses Gütemaßstabes gefordert worden waren. Es wurde bereits dort eine Veröffentlichung dieser Versuche in „Beton u. Eisen“ vereinbart¹, um die Aufmerksamkeit des Faches neuerdings auf diese Frage zu lenken.

Die Arbeit von Suenson hatte in erster Linie die Unzulänglichkeit der Abmessungen in den dänischen Vorschriften erwiesen. Dieser Nachweis erstreckt sich auf alle in der Praxis vorkommenden Betonsorten. Gleichzeitig hat er die Ergebnisse einer Betonbalkenserie von 1 Woche, und einer Zementbalkenserie von 5¹/₂ Monat Alter mit Bewehrungen von 1,5 bis 14 % untersucht. Diese Veröffentlichung bestätigt alle von Dr. v. Emperger aufgestellten Behauptungen und gab ihm eine neue Anregung, die Arbeit dort neu aufzugreifen, wo er sie entmutigt beiseite gelegt hatte. Hierzu gab sich ihm doppelte Gelegenheit. Einerseits hatte er sein Bureau durch die Aufnahme von Ingenieuren erweitert und war auf diese Weise in die Lage versetzt worden, verschiedene Aufträge zu übernehmen, welche er, wie die Bauüberwachung von großen Bauten, früher mit Rücksicht auf seine Zeit stets ablehnen mußte. Bei allen diesen Bauüberwachungen wurden sofort die Kontrollbalken als Güteprobe eingeführt, worüber später ausführlich berichtet werden wird. Eine wichtige Gelegenheit ergab sich ferner bei den Versuchen des österr. Eisenbeton-Ausschusses, da es sich auch darum handelte, alle praktischen Einzelheiten einer solchen Methode zu bestimmen und auszuprobieren. Bei den Versuchen waren, da vordem die Hauptarbeit des Ausschusses aus Säulenversuchen bestand, nur Würfelproben als Güteproben vorgesehen. Bei den unter Leitung von Dr. v. Emperger ausgeführten Balkenproben hatte die Meinung vorgeherrscht, daß bei so schwach bewehrten Balken die Biegedruckfestigkeit gar nicht in Frage kommen würde. Die unerwartet hohe Tragfähigkeit dieser Balken, sobald sie eingespannt wurden, machte jedoch diese Annahme zuschanden und nun galt es zu bestimmen, ob die auftretenden Druckzerstörungen primärer Art sind, d. h. von der Erschöpfung der Druckfestig-

1) Beton u. Eisen 1910, S. 149.

keit herrühren oder aber nur als Folgeerscheinung einer Überschreitung einer anderen Festigkeit anzusehen sind.

Eine ernstliche Prüfung der Würfel Festigkeiten ergab so große Abweichungen, daß man zunächst bei den fertigen Balken durch aus den Balken herausgestemmte Würfel eine Kontrolle versuchte und Dr. von Emperger die Einführung der Güteprobe durch Kontrollbalken bei den weiteren Versuchen beantragte und durchführte.

Über diese Einzelheiten wird der Bericht des Oesterreichischen Eisenbetonausschusses alle nötigen Angaben bringen.

1. Die derzeitigen Güteproben.

Wenn man von den Vorschriften der Kgl. Eisenbahn-Direktion Berlin absieht, wonach auch die Zugfestigkeit des Betons bei Biegung untersucht wird, so hat man sich bis jetzt zu diesem Zweck der Druckfestigkeit von Würfeln bedient. Obwohl sich der Nachweis der sogenannten Würfel Festigkeit in allen Vorschriften als einziger Gütemaßstab vorfindet, so hat er bei der Unmöglichkeit, eine dazu nötige genaue Presse bei der Hand zu haben, nur eine verschwindende Anwendung in der Praxis gefunden. Die Ursache für dieses sonst unbegreifliche Verhalten der Interessenten ist in dieser und in einer Reihe anderer Unzukömmlichkeiten, sowie in den Fehlerquellen des Verfahrens zu suchen, das nur in einem sorgfältig geleiteten Laboratorium mit seinen erfahrenen Hilfskräften einwandfreie Ergebnisse liefert. Jeder Eingeweihte weiß, daß sonst die Lastübertragung auf die Würfel, wie überhaupt deren ganze Herstellung unter Umständen stattfindet, die es kaum zulässig erscheinen lassen, die Ergebnisse unmittelbar auf den am Bau verwendeten Beton zu übertragen.

Diese Fehlerquellen treten bei gleichzeitigem Gebrauch von Balkenproben und Würfelproben deutlich hervor, da oft plötzlichen Abweichungen in der Würfel Festigkeit eines und desselben Betons, sei es einzeln, sei es in ganzen Reihen, die Gleichmäßigkeit der Ziffern aus den Balkenproben gegenübersteht und beweist, daß bei jenen Zahlen rein persönliche oder doch außerhalb des Materials gelegene Einflüsse ausschlaggebend mitgewirkt haben, wie die Fertigkeit im Stampfen, die Art der Versuchsausführung, Sorgfalt der Probe; Parallelismus der Druckflächen u. a. m., was Unterschiede bis 40 % und mehr ergibt.

Wir wollen hier schon deshalb nicht alle Klagen wiederholen, weil dies ohnehin zur Genüge bekannt ist. Wir wollen jedoch nicht unterlassen anzuführen, daß bei der Unmöglichkeit des Unternehmers, sich vorher laufend eine Gewißheit zu verschaffen, ob seine Vorkehrungen die richtigen waren und bei der wechselnden Auslegung der Zahlenangaben diese Würfelproben nur dort ihren Zweck ganz erfüllen, wo entweder eine Bauleitung den Unternehmer schikanieren will oder die Unternehmung der Bauleitung

ein X für ein U vormachen kann. Ganz unberechenbar sind aber die Folgen, wenn man, wie so häufig, in Streitfällen an dieses Gottesgericht appelliert.

Alle diese und manch andere Umstände haben die ganze Kontrolle von Beton durch laufend auf dem Bau durchgeführte Versuche in Mißkredit gebracht.

Trotz alledem besteht aber bei unseren modernen Beton- und Eisenbetonbauten das eingestandene und dringende Bedürfnis nach einer raschen und am Bau selbst durchführbaren Probe zur Bestimmung der jeweiligen Güte des Betons, worüber die zahlreichen und fruchtlosen Änderungen der Vorschriften über Würfel Festigkeit uns das beste Zeugnis geben.

Alle im Betonbau beschäftigten oder doch daran beteiligten Fachleute müssen es als einen schweren Mangel empfinden, daß sie kein einfaches Hilfsmittel für die Beurteilung dieses Baustoffes besitzen, wenn sie weitgehende Entschlüsse bezüglich aller dabei wichtigen Umstände rasch fassen müssen, wie z. B. Menge des Zementes, des Wassers, der Qualität und der Korngröße der Zuschlagstoffe, des geeigneten Zeitpunktes zur Ausschalung usw. bis zum Einfluß der niedrigen Temperaturen. Es kann nicht geleugnet werden, daß der Ingenieur bei allen diesen Umständen, die sich nicht in bestimmte zahlenmäßige Regeln fassen lassen, bloß nach dem Gefühl oder doch nach den fragwürdigen Faustregeln urteilt, ohne eine Möglichkeit, sich an Ort und Stelle eine Gewißheit über die Richtigkeit seiner Entscheidung zu verschaffen.

Wenn nun auf dieser schwankenden Unterlage zwei so verschiedene Interessengruppen wie die Baupolizei und die Unternehmer zu einem gemeinsamen Ergebnisse kommen sollen, so ist es verständlich, daß jene dies vermittelnden Vorschriften eine Quelle endloser Reibungen bilden und ihr eigentlicher Zweck: das Ziel, etwas herzustellen, das ebenso der Güte, wie der Ökonomie entspricht — auf diesem Wege nicht zu erreichen ist.

Aus dieser Sachlage heraus ergeben sich Auslegungen, bei denen, je nachdem der Einfluß einer mit dieser Sachlage nicht vertrauten Baupolizei vorwiegt, in einer oft ganz unberechtigten Weise über das Maß des aus Sicherheitsrücksichten Notwendigen hinaus gegangen wird, oder die umgekehrt das andere Extrem zeigen, wo eine pflichtbewußte Unternehmung vor einer ungewohnten Situation selbst das Notwendigste vernachlässigt, weil sie keine Möglichkeit besitzt, sich einen Einblick in den Wert ihrer Maßnahmen zu verschaffen.

Zu alledem kommt noch der Umstand, daß die meisten Ingenieure auch heute noch keinen Unterschied zwischen der reinen Druckfestigkeit und der Festigkeit auf Biegung machen und die Ergebnisse der Würfelproben für den Druckgurt in derselben Weise, nur mit einer doppelten Sicherheit anwenden, wie die nachgewiesene Zugfestigkeit des Eisens im Zuggurt, obwohl die Druckfestigkeit des Betons auf Biegung oft nahezu doppelt,

immer jedoch 1,3 mal so groß als die richtige Würfel Festigkeit ist, und man also hierbei gleich um das 3 bis 4 fache fehlgreift.

Es liegt die Annahme nahe, daß auch in den amtlichen Vorschriften in Deutschland dieser Unterschied zwischen Biegungs- und Druckfestigkeit nicht Berücksichtigung gefunden hat (siehe Abschnitt 6).

Noch größer wird der Fehlgriff, wenn überdies durch Forderung von bestimmten Grenzspannungen auf die örtliche Güte des Materiales keine Rücksicht genommen wird: man kommt dann leicht auf Werte von 10 und mehrfacher Sicherheit im Beton, bei einer gleichzeitigen 3 bis 4 fachen im Eisen.

Wir sehen also, daß alles zu einer Form von Proben drängt, welche die Art der wirklichen Inanspruchnahme des Betons im Tragwerk nachahmt, aber an Ort und Stelle ohne Beziehung von komplizierten Maschinen mit hinreichender Genauigkeit ausführbar ist. Es ist nun versucht worden, durch die in der Folge beschriebenen Balkenversuche diese Übelstände zu beseitigen. Wir sind insbesondere überzeugt, daß es genügt, eine Vorrichtung zu schaffen, welche es leicht möglich macht, zu erfahren, was mit den jeweilig vorhandenen Materialien geleistet werden kann. Darauf kommt es immer hauptsächlich an. Unmögliches wird niemand verlangen. Wenn man dies also weiß und ermittelt hat, so wird die gestörte Harmonie zwischen einer pflichtbewußten Unternehmung und einer fachkundigen Überwachung leicht herzustellen sein.

2. Das System der Kontrollbalken.

Die vorerwähnten Umstände führten dazu, sich nach einem anderen Gütemaßstab für Beton umzusehen und hierzu die Druckfestigkeit des Betons auf Biegung zu verwenden. Bei diesen Versuchen entfallen zunächst die Fehlerquellen, herrührend von der Lastübertragung usw., und es zeigt die Gleichmäßigkeit der Ergebnisse, daß der Beton keinesfalls die so oft verschrieene Ungleichmäßigkeit besitzt, insbesondere, daß seine Qualität durch das vorhandene Sand- bzw. Steinmaterial lokal begrenzt ist und nicht **ausschließlich**, wie gemeinhin angenommen wird, von der Zementmenge, d. h. von dem Mischungsverhältnis alles abhängt.

Die Versuchskörper sind kleine am Bau hergestellte Balken, deren Querschnitt beispielsweise aus dem beiliegenden Protokoll zu entnehmen ist. Wichtig daran ist die genaue Einhaltung der maßgebenden Abmessungen der Rechnung; so im vorliegenden Beispiel: daß der Balken in der Mitte genau 70 mm breit und der Mittelpunkt der Rundeisen 80 mm von der Draufsicht entfernt bleibt. Diese Balken werden auf zwei Böcke gelegt und durch eine am Bau vorrätige Belastung, wie z. B. Ziegel (Abb. 1) oder einen anderen Baustoff, Schotter o. ä., zum Bruch gebracht. Die auf

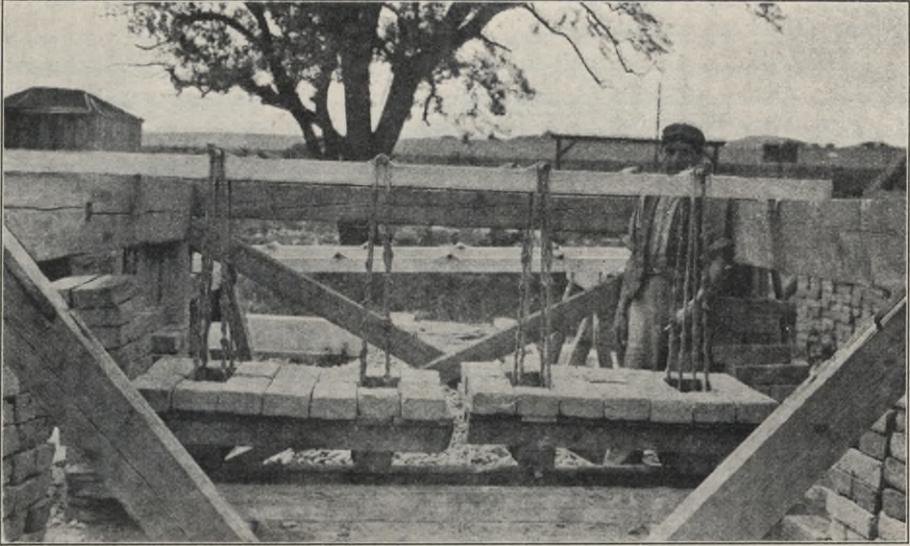


Abb. 1. Ein vollständig „baugemäßer“ Belastungsapparat.

diese Weise ermittelte Bruchlast P in kg ergibt bei Einhaltung dieser Abmessungen die gesuchte Druckfestigkeit des Betons genau genug als $\frac{P}{3}$ in kg/cm^2 .

Jedenfalls wurde darauf gesehen, daß alles für die Herstellung der Probekörper und des Belastungsapparates Nötige am Bau selbst zur Verfügung steht und so jedermann jederzeit in der weltfremdesten Gegend hiervon Gebrauch machen kann, ohne weitere besondere Vorbereitungen und andere Hilfsmittel zu benutzen, als sie bei jedem Betrieb vorhanden sein müssen; daß ferner die Herstellung des

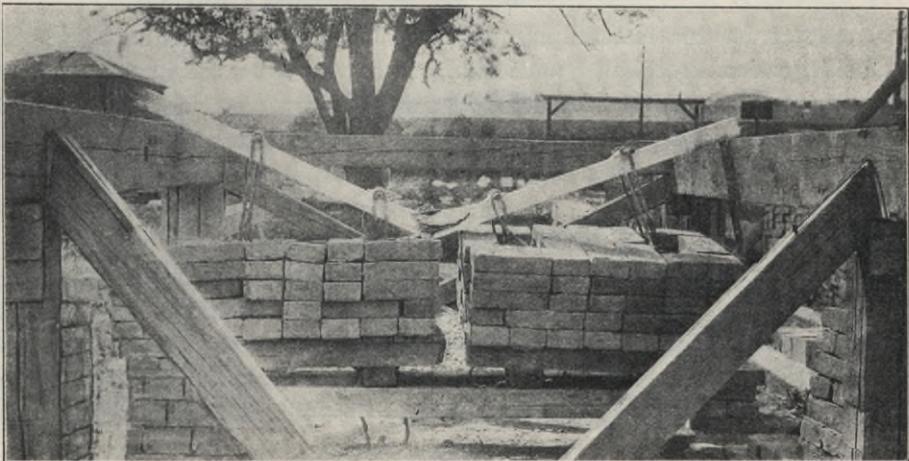


Abb. 2. Ein vollständig „baugemäßer“ Belastungsapparat nach dem Bruch des Balkens.

Versuches so geringe Kosten bereitet, daß es sich lohnt, ihn auch bei kleinen Objekten auszuführen.

Die Abb. 1 und 2 zeigen derartige ganz baumäßige Versuche, wie sie vom Österr. Eisenbetonausschuß anfangs durchgeführt wurden. Das Herstellen der Balken geschah in gewöhnlichen Holzformen. In den Lastpunkten wurde Rundeseisen aufgegipst und daran mittels Stricken die Belastungsbühnen befestigt.

Behufs Einführung dieser Methode ist zur Bequemlichkeit aller Interessenten von dem Spezialbureau für Eisenbeton Dr. F. von Emperger ein Normalapparat entworfen worden.¹ Der Apparat wird hauptsächlich durch seine solide, für eine längere Dauer berechnete Ausführung überall dort Anklang finden, wo ein öfterer Gebrauch der Formen und aller übriger Teile in Frage kommt, und kann überall dort zur Anschaffung empfohlen werden, wo man sich mit den Methoden vertraut machen will. Eine genaue Ausführung kommt bei der Verwendung schon deshalb zu statten, weil die Abmessungen in der folgenden Tabelle in den dort gegebenen Rechnungen eingeführt worden sind und Abweichungen hiervon jeweilig nachgeprüft und neu berechnet werden müßten. Es sei aber ausdrücklich betont, daß die Anwendung der Methode an die in der Folge in Vorschlag gebrachten Abmessungen nicht gebunden und auch die graphische Tabelle so abgefaßt ist, um die Eintragung von M_0 eines jeden Balkenversuches von ganz beliebigen Abmessungen zu gestatten, indem man das Widerstandsmoment desselben

$W = W_0 \frac{bh^2}{6}$ setzt und so von b und h ganz unabhängig bleibt.²

Es ist dann $M = M_0 \frac{bh^2}{6} = W\sigma = W_0 \frac{bh^2}{6} \sigma$ oder $M_0 = W_0 \sigma$.

3. Beschreibung des Normalapparates.

Dieser ist zur Herstellung von zwei Balkentypen bestimmt, wie sie im beiliegenden Protokoll I und Abb. 3 und 4 im Querschnitt und in allen Einzelheiten dargestellt sind. Der ganze Apparat ist in zwei versandfähige Kisten verpackt, die alles enthalten, was wir zur Vorbereitung und Ausführung des Versuches brauchen.

a) Herstellung der Probek balken.

Die eine Kiste enthält zwei Formen zur gleichzeitigen Herstellung von 4 Balken, ferner 24 Distanzeisen und 1 RE. 12 mm und 2 Griffe als Muster, sowie 2 Kontrollehren. Der Vorgang ist der folgende:

Die Formen werden aufgestellt, gut gefettet damit die Balken leicht aus der Form gehen, in jede Form 1 bis 2 Distanzeisen in der Mitte und

1) Siehe die Preisliste Anhang S. 32.

2) Beton u. Eisen 1907 S. 316.

an jedem Ende ein Griff eingelegt (Abb. 3) und nun mit den Keilen die Seitenteile der Form so angezogen, daß sich für das mittlere Drittel genau 70 mm ergeben. Der Schnitt der Keile ermöglicht ein einfaches Regeln dieser maßgebenden Querschnittsteile. Diese Entfernung wird mit Hilfe der beigegebenen Lehre nachgeprüft. Wenn der Querschnitt so formgemäß vollständig richtig ist, werden je nach der Balkentype 1 oder 2 laut Muster abgegebene RE. 12 mm eingelegt. Diese legen sich in die Kerben der Distanzisen und Griffe und brauchen wegen der Höhenlage keine weitere Kontrolle. Der Beton wird in derselben Weise und in derselben Qualität wie bei der in Frage stehenden Betonarbeit (bei Decken aus dem Druckgurt) eingebracht und leicht geprackt.¹ Die gefüllte Form wird dann denselben Temperaturen und Witterungseinflüssen ausgesetzt, wie der verwendete Beton, dessen Kontrolle geliefert werden soll. Die Balken können natürlich nach 2 bis 3 Tagen ausgeformt werden. Zu diesem Zwecke löst man die Keile, hebt die an den Balken haftende Form an einem der Balkengriffe einige Zentimeter vom Boden und prellt durch einige leichte Hammerschläge auf den Steg der Form diese mühelos ab. Die Balken werden an den Griffen aufgehoben und so gelagert, daß sie bloß unter diesen unterstützt sind. Es empfiehlt sich, sie durch eine Bohlendecke gegen zufällige Stöße und dgl., insbesondere Umkehren, zu schützen, obwohl selbst die durch eine solche Behandlung verursachten Risse im Druckgurt in den oben erwähnten Versuchen von Prof. Mörsch keinen Einfluß auf die Bruchspannung ergaben.

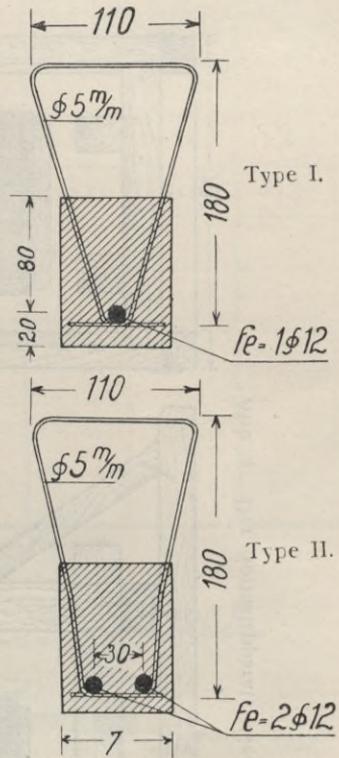


Abb. 3.

b) Versuchsdurchführung.

Die zweite Kiste enthält alle Bestandteile für die Belastungsprobe. Handelt es sich um Qualitätsproben, so soll man immer mindestens zwei, und zwar entweder zwei gleiche oder besser je einen Balken der Type I und II, der Probe unterziehen und das Alter der vier Proben für die vier Balken in zwei regelmäßigen Zeitabständen, z. B. 3 und 6 Wochen, wählen. Falls mehr als zwei Zeitabstände erwünscht sind, so genügen vier Balken nicht, da die zu vergleichenden Balken gleichzeitig aus derselben Mischung hergestellt werden müssen. Bei Versuchen zum Zweck der Ausschalung kann man ökonomischer vorgehen. Man kann nur einen Balken erproben und soll, wenn er nicht entspricht, die

1) pracken = die Art und Weise wie eine Deckenplatte betoniert wird.

Ausschalung verschieben; wenn er entspricht, sich dies durch einen zweiten Versuch wenigstens bestätigen lassen. Diese Arbeitsweise wird auf den von Dr. v. Emperger geleiteten Bauten eingehalten und hat stets zuverlässige

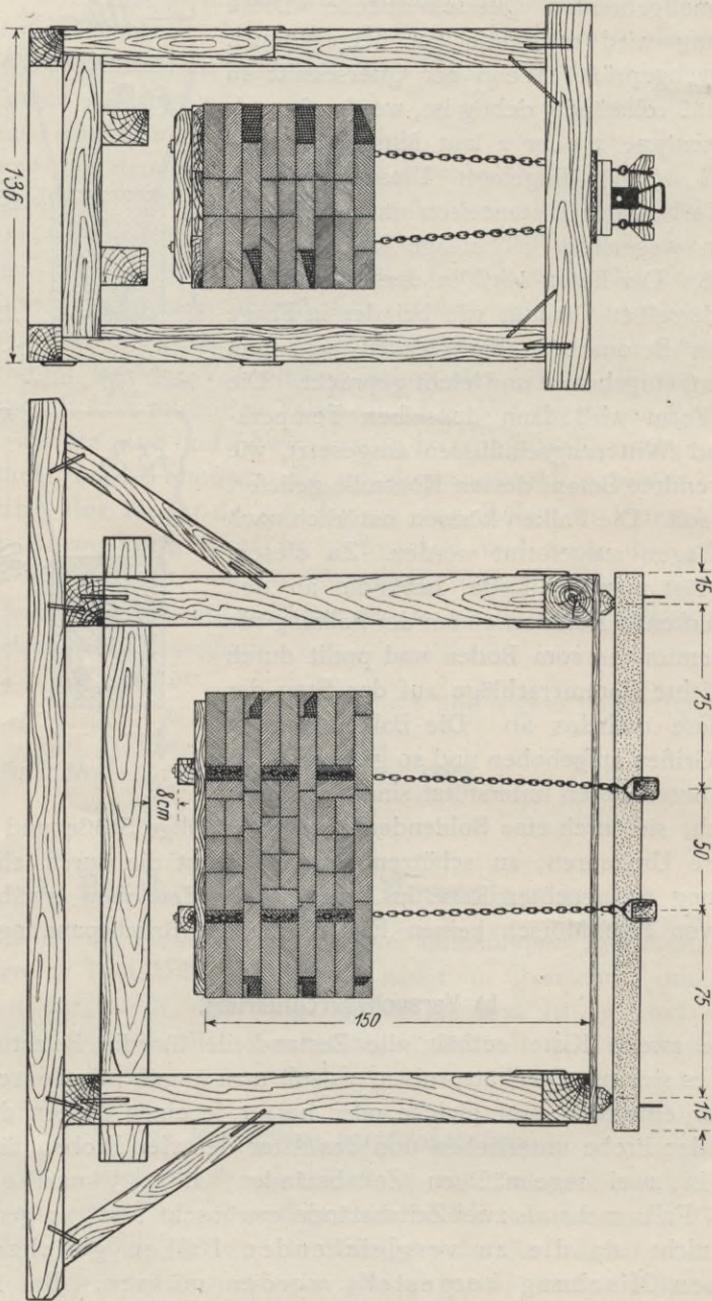


Abb. 4 Der Normalapparat. Gesamtanordnung.

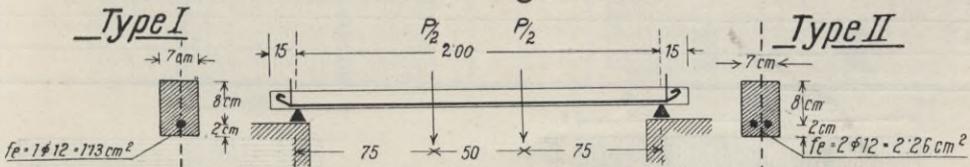
Ergebnisse gezeigt. Zur Beurteilung der Güte eines Bauteiles ist das Alter maßgebend, bei welchem der Bauteil eine bestimmte Festigkeit haben soll, also insbesondere in der vorgeschriebenen Ausschalungszeit, die z. B. nach

Protokoll

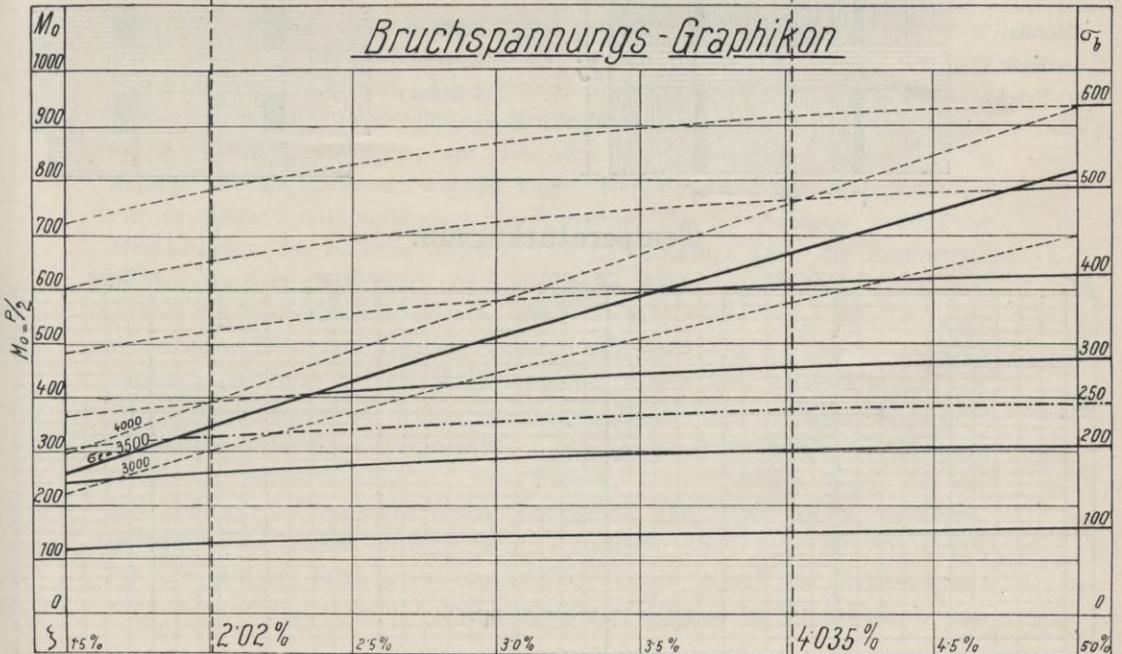
über Biegebruchproben der Kontrollbalken nach Dr. Ing. Fritz von Emperger.

Balkenreihe		1		2		3		4	
Beschaffenheit des Betons									
Betoniert am									
Mittel d. Minimaltemperatur									
Alter in Tagen									
Bewehrungstyp		I	II	I	II	I	II	I	II
Gewicht kg	$\frac{2}{3}$ des Balkens	21,5	22,6	21,5	22,6	21,5	22,6	21,5	22,6
	der Belastungsbühne								
	der Auflast								
Bruchlast P in kg									
$M_0 = 0,5022 P = \frac{1}{2} P$									
$\sigma_{bI} = 0,384 P$	$\sigma_{bII} = 0,3285 P$								
$\sigma_{eI} = 5,04 P$	$\sigma_{eII} = 2,65 P$								

Belastungsschema.



Bruchspannungs-Graphikon



Ort: am 191.....

Der Versuchsausführende:

Bau:

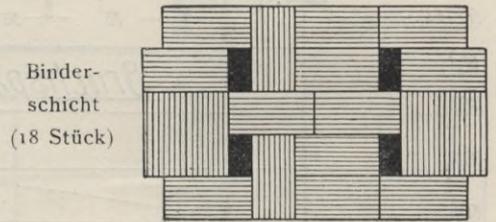
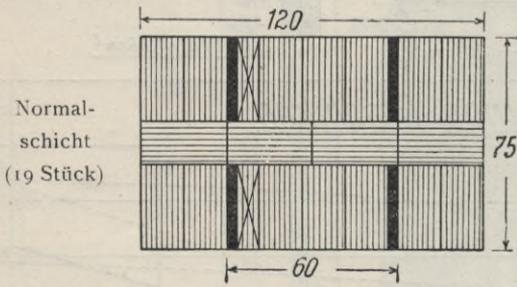
Berechnung der Auflast in Ziegel.

Mittleres Ziegelgewicht = kg.

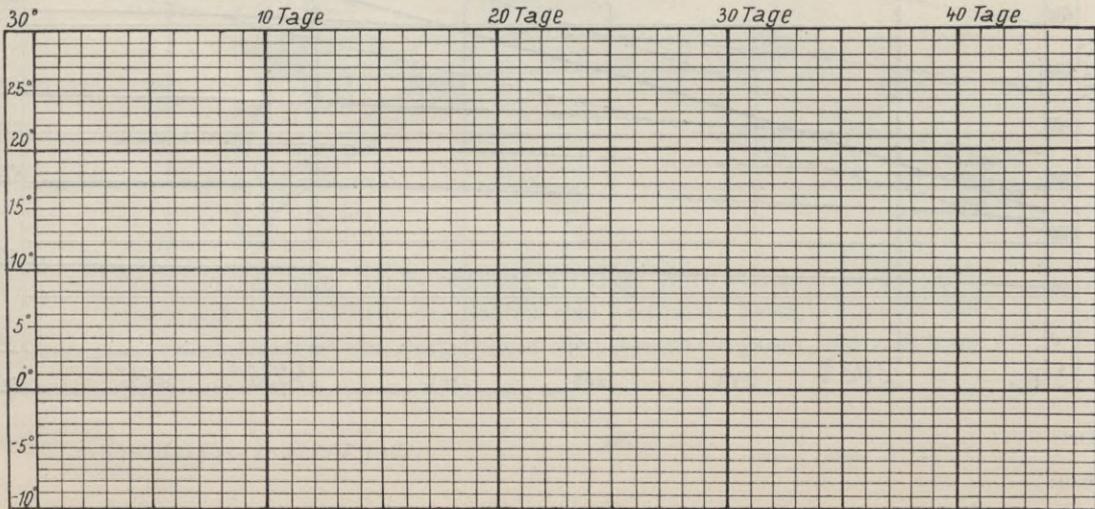
Gewicht von Ziegelscharen zu

Stück	19	18	17	16					
Gewicht in kg									

Reihe	1		2		3		4	
Type	I	II	I	II	I	II	I	II
Gewichte der Ziegellagen	I							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
	7							
	8							
	9							
	10							
	11							
	12							
	13							
	14							
	15							
	16							
Auflast								



Temperaturkurven.



den österreichischen Vorschriften sechs Wochen beträgt, oder entsprechend der Zeit, in der das Tragwerk für eine Probelast reif ist, wie z. B. nach zwei Monaten; sonst, insbesondere bei Fragen, die mit der Ausschalung bei überstandem Frost u. ä. zusammenhängen, muß der Zeitraum mit dem Alter übereinstimmen, das in dem besonderen Fall untersucht werden soll; es muß daher die Probe am Tage der Ausschalung gemacht und diese, wie früher erwähnt, von dem erzielten Ergebnisse abhängig gemacht werden.

Zur Belastungsprobe enthält die andere Kiste zwei Unterlagen, die auf die Böcke gelegt werden, um die Spannweite von 2 m genau einstellen zu können und ferner einer Belastungsvorrichtung. Dieselbe besteht aus zwei Reitern, vier Ketten und einer Belastungsbühne.

Es sind außerdem noch zwei entsprechend hohe hölzerne Böcke nötig, die etwa in 2 m Entfernung aufgestellt werden. Die ganze Belastungsanordnung zeigt die Abb. 4 in Tätigkeit; die Böcke müssen so hoch sein,

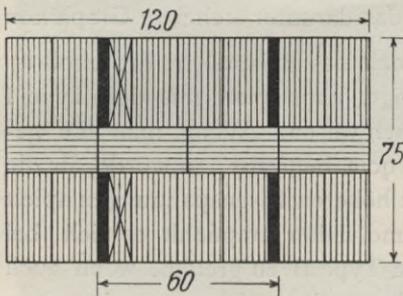


Abb. 5. Normalschar.

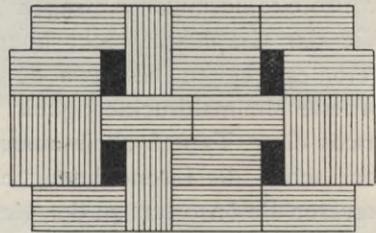


Abb. 6. Binderschar.

daß die Lastbühne frei hängt; jedoch so, daß beim Bruch kein zu tiefer Sturz erfolgt (8 cm Luftraum genügt, da die Balken nie über 2 bis 3 cm Durchbiegung aushalten). Zur weiteren Bequemlichkeit des Versuchsleiters empfiehlt es sich, unterhalb des Kontrollbalkens ein Brett (ja nicht einen starren Balken) zu legen, auf den sich der gebrochene Kontrollbalken auflegt und abgenommen werden kann. Der Vorteil dieser Anordnung ist ein doppelter: man verhindert das immerhin für die Arbeiter gefährliche Herabstürzen des Balkens (Abb. 2) und hat überdies Zeit, die Bruchstelle in Augenschein zu nehmen und aus ihrem Aussehen manchen nützlichen Schluß für Bruchursache usw. zu ziehen (z. B. Gestein- oder Mörtelbruch!). Auf diesem Brett läßt sich ein Maßstab anbringen, um die Durchbiegungen einzuschätzen und bei einiger Übung den Eintritt des Bruches anzusagen. Als Belastungsmaterial dienen am besten Ziegel, die in einem bequemen Verband aufzubringen wären (Abb. 5, 6); dies geschieht von zwei Arbeitern streng symmetrisch ruhig und ohne Pausen. Man zählt die Ziegel, bis der Bruch eintritt (s. Protokollformular, Rückseite). Das ermittelte Durchschnittsgewicht eines Ziegels ermöglicht nun, auch die dritte Zeile des Formulars für die Auflast beim Bruch auszufüllen, wobei jedoch die Belastungsart zu berücksichtigen ist (s. das ausgeführte Beispiel in Protokoll 2). Bei

vier Lasten, entsprechend einer gleichförmig verteilten Last (wie in Abb. 1 und in dem Protokoll 2), wäre die Eigenlast der Balken voll einzusetzen, sonst ist diese entsprechend (s. Protokollformular) zu reduzieren. Durch Addition der drei Rubriken für Eigengewicht des Balkens, der Belastungsbühne und der Auflast erhalten wir dann die Bruchlast P . Die Abb. 7 und 8 zeigen den ganzen Apparat in Tätigkeit.

Wir sind somit in die Lage versetzt, rechnerisch die Betondruckspannung zu bestimmen, die genau

$$\text{bei Type I } \sigma_b = 0,384 P,$$

$$\text{bei Type II } \sigma_b = 0,3285 P \text{ beträgt.}$$

Als erste Schätzung genügt die Zahl $\frac{P}{3}$ für σ_{bII} ; für σ_{bI} ist $0,4 P$ genauer.

Wir müssen noch erwägen, ob die gefundene Zahl von σ_b auch Bruchursache ist, d. h. ob das Maximum der Druckfestigkeit erreicht wurde oder nicht. Dies ersehen wir, wenn wir uns auch σ_e berechnen, oder einfacher und übersichtlicher, indem wir $M_0 = \frac{P}{2}$ in das darunter stehende Graphikon im Protokollformular eintragen (s. hierzu noch das Beispiel in Protokoll 2). Wie das Graphikon recht übersichtlich zeigt, kann man mit der Type I Betonfestigkeiten bis etwa 265 kg/qcm nachweisen. Wenn man die geforderte Minimaldruckfestigkeit mit 250 kg/qcm begrenzt, so würde für die Praxis diese Type I allein ausreichen. Bei höheren Eisenspannungen spielt aber schon die Eisendehnung eine Rolle, und daher empfiehlt es sich, bei besseren Betonsorten zu der vierprozentigen Type II zu greifen, wenn auch eine schwächer bewehrte Art dem Praktiker „als mehr verwandt seiner Ausführung“ sympathischer erscheinen mag. Die Haftspannung steht in allen diesen Fällen außer Betracht. Bei einer gründlichen und wissenschaftlichen Behandlung dieser Frage wird es sich empfehlen, immer beide Typen zu verwenden; ebenso wird der Anfänger wie auch der Eingeweihte, wenn er ein ihm neues Material untersucht, von beiden Typen Gebrauch machen. Der Praktiker, der sein Material bereits kennt, wird später in die Lage versetzt sein, die eine oder die andere Balkentype fallen zu lassen und nur mit einer weiterzuarbeiten.

Die Type II wird sich hierzu überall dort empfehlen, wo man nicht nur die Minimalfestigkeit, sondern auch die höheren Werte der Materialfestigkeit als Qualitätsprobe nachweisen will. Die volle Ausnutzung derselben gibt Werte für σ_b bis etwa 440 kg/qcm. Diese sehr hohen, leider für die Praxis derzeit eigentlich schon belanglosen Werte einer **elffachen Sicherheit** gegenüber der heute erlaubten größten Ausnutzung des Betons auf Druck erhält man bei wachsendem Alter und sehr gutem Material. Sollte sich das Bedürfnis geltend machen, noch weitere Festigkeiten zu ermitteln, so kann man einfach zu höheren Bewehrungsprozenten greifen.

Was die **Empfindlichkeit des Profiles** gegen Verschiebungen der Einlagen bei der Betonierung nach auf- oder abwärts innerhalb der Querschnitts-

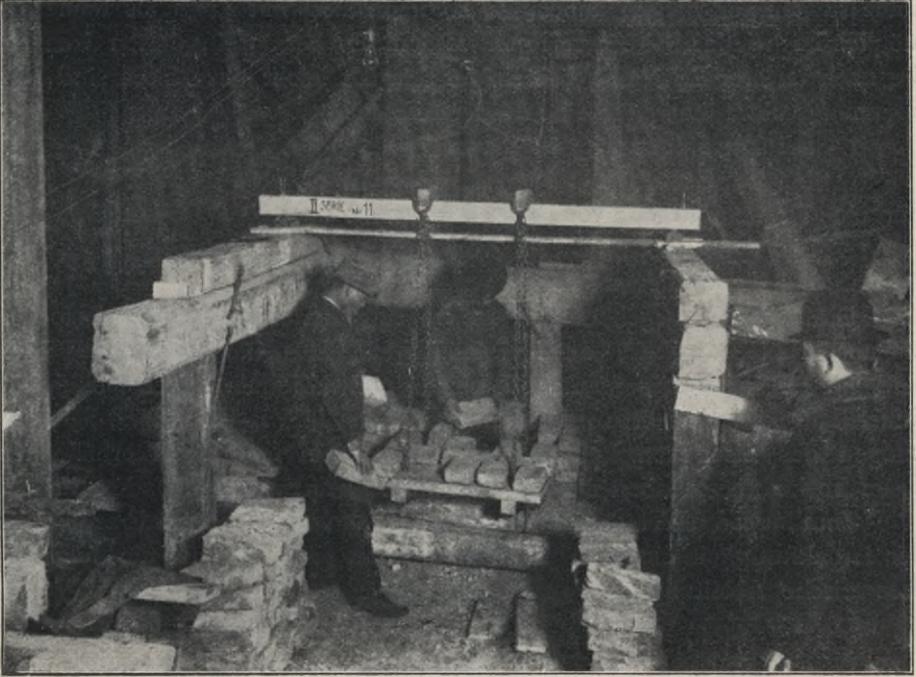


Abb. 7. Modellapparat.

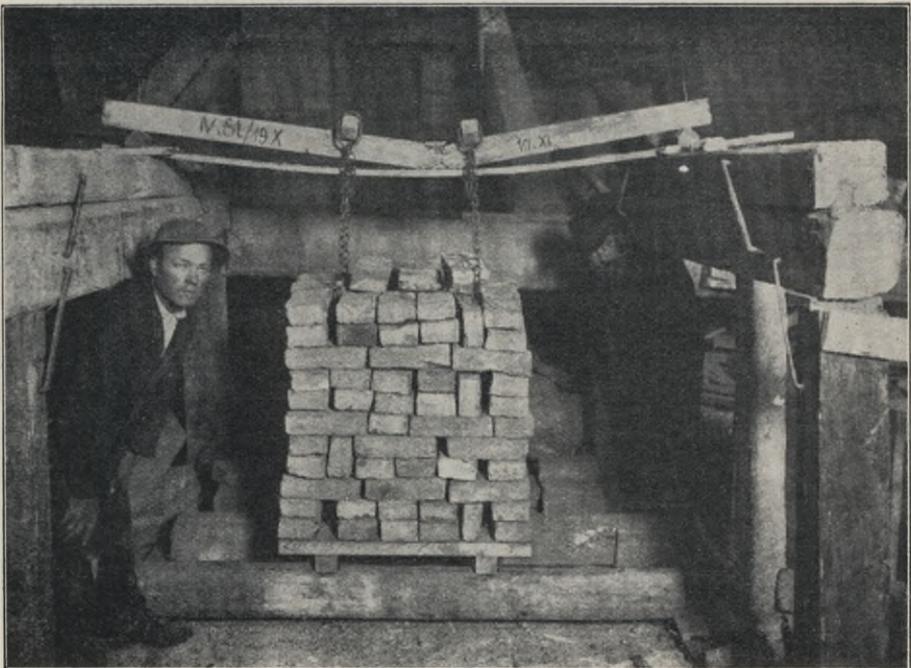


Abb. 8. Kontrollbalken (IV Stock, betoniert am 19. Okt., gebrochen am 10. Nov. 1910).
Nach dem Bruch.

abmessungen der Balken anbelangt, so kann diese mit 2 mm als immerhin möglich nach jeder Seite bezeichnet werden. Es beträgt in diesen Grenzen, die nach unserer Erfahrung bei einiger Sorgfalt leicht einzuhalten sind, die Spannungsschwankung für eine Höhendifferenz $\Delta h = \pm 1$ mm:

bei Type I etwa $\mp 9\text{‰}$ von P }
 bei Type II etwa $\mp 8\text{‰}$ „ P } oder rund $\mp 2,4\%$ von σ_b .

Für eine Breitendifferenz von $\mp \Delta b = 1$ mm:

bei Type I etwa $\mp 4\text{‰}$ von P }
 bei Type II etwa $\mp 4\text{‰}$ „ P } oder rund $\mp 1,1\%$ von σ_b .

Diese hier angegebenen Werte machen natürlich keinen Anspruch auf absolute Genauigkeit, sondern sind **abgerundete** Näherungswerte; doch sind sie für die Praxis genügend genau und kommen hauptsächlich zur Beurteilung der Bedeutung der Fehlerquellen in Frage. Kleine Schwankungen des Eisenquerschnittes, wie sie bei dem im Handel erhältlichen Eisen vorkommen, haben auf die Ergebnisse keinen maßgebenden Einfluß.

Zum besseren Verständnis der Frage, wann ein Bruch mit Erschöpfung der Druckfestigkeit eintreten kann und wann nicht, diene die folgende theoretische Ableitung.

4. Theorie der Biegungsspannungen beim Bruch.

Nach einer zuerst¹ von Dr. Ing. Fritz von Emperger aufgestellten Theorie kommen für die Tragfähigkeit der Verbundkörper fast nie ihre beiden Grenzfestigkeiten gleichzeitig in Frage, sondern nur entweder die Zugfestigkeit des Eisens σ_e oder die Druckfestigkeit des Betons σ_b oder die Überschreitungen in der Verbundfestigkeit K . Für diese Sache gibt das Graphikon eine übersichtliche Darstellung, die sich folgendermaßen ableitet.

Das Bruchmoment im Balken vom Querschnitt $F_b = b h$, bewehrt mit F_e , also mit Bewehrungsprozentatz von

$$\zeta = \frac{F_e}{b h} = \frac{f_e}{h}$$

bezeichnen wir mit $M = M_0 \frac{b h^2}{6} = \frac{J_e}{h-x} \sigma_e = \frac{J_b}{x} \sigma_b$

und $\frac{J_b}{x} = W_b = W_{b0} \cdot \frac{b h^2}{6}$.

Es ist $W_e = \frac{J_e}{h-x} = F_e \left(h - \frac{x}{3} \right) = \zeta b h \left(h - \frac{x}{3} \right) = \frac{b h^2}{6} W_{e0}$ und daher

$$M = M_0 \frac{b h^2}{6} = \zeta b h^2 \left[1 - \frac{1}{3} (\sqrt{n \zeta (n \zeta + 2)} + n \zeta) \right] \sigma_e = W_e \sigma_e.$$

1) Zeitschrift des Österr. Ing.- u. Arch.-Vereines 1897.

Es ist daher weiter $M_o = \sigma \zeta [6 - 2 \sqrt{n \zeta (n \zeta + 2)} + 2 n \zeta]$

oder
$$\sigma_e = \frac{M_o}{\zeta [6 - 2 \sqrt{n \zeta (n \zeta + 2)} + 2 n \zeta]} = \frac{M_o}{W_{e0}}$$

D. h. also das Bruchmoment ist eine Funktion von σ_e und ζ .

Das gleiche läßt sich auch mit σ_b beweisen. Man erhält:

$$M_o = \sigma_b [3 - \sqrt{n \zeta (n \zeta + 2)} + n \zeta] [\sqrt{n \zeta (n \zeta + 2)} - n \zeta]$$

oder
$$\sigma_b = \frac{M_o}{[3 - \sqrt{n \zeta (n \zeta + 2)} + n \zeta] [\sqrt{n \zeta (n \zeta + 2)} - n \zeta]} = \frac{M_o}{W_{b0}}$$

Wählen wir zur graphischen Darstellung die ζ als Abszissen und die M_o als Ordinaten, so entsprechen bestimmten Werten von σ_b oder σ_e zwei Kurvenscharen mit gleichem Ursprung, aber verschiedener Krümmung. Diese Kurven sind für die Werte $\sigma_b = 100, 200$ usw. und die gefährliche Eisenspannung $\sigma_e = 3000, 3500$ und 4000 in dem Bruchspannungsgraphikon eingetragen. Jedem beliebigen Balken mit der Bewehrung $\zeta\%$ entspricht beim Bruche ein $M_b = \frac{6 M}{b h^2}$, welches als Ordinate mit ζ als Abszisse eingetragen einen Punkt fixiert. Aus seiner Lage lassen sich die maßgebenden Bruchspannungen σ_b und σ_e unmittelbar ablesen.

Die Zugfestigkeit des Eisens können wir als eine gegebene Größe behandeln. Es ist daher im Graphikon die seiner Fließgrenze entsprechende Linie von 3500 kg/qcm besonders hervortretend eingezeichnet. Eine wesentliche Steigerung der Tragfähigkeit über diese Grenze hinaus erscheint ausgeschlossen. Ein tatsächliches Inerscheinungtreten der Zugfestigkeit des Eisens ist in den seltensten Fällen beobachtet worden und vielleicht auch dann nur abhängig von Fehlern im Eisen gewesen. Sonst entlastet sich das Eisen in der Nähe seiner Zuggrenze durch Hineinpressen in den Beton und durch seine große Dehnbarkeit, so daß äußerlich immer der Beton, freilich als sekundäre Erscheinung zerstört wird, da er die diesen Dehnungen entsprechende Verschiebung der neutralen Achse nach oben, und den daher ganz bedeutend wachsenden Druckspannungen nicht mehr gewachsen ist.¹ Das Eintreten der Eisenzuggrenze läßt sich daher nur durch Rechnung ermitteln, und es bedarf eines besonders geübten Auges, um dies an dem Bruchbild zu ersehen. Nur wenn die Festigkeit auf Biegungsdruck früher erreicht wird, tritt bei entsprechend geringer Druckfestigkeit eine weitere Einschränkung der Tragfähigkeit ein, wie dies die zweite Kurvenschar angibt, welche mit der Druckfestigkeit des Betons von 100 bis 600 km/qcm bezeichnet ist. Damit das Graphikon für jeden beliebigen Balken gebraucht werden kann, ist dasselbe nicht mit Bezug auf ein Bruchmoment M und das Widerstandsmoment W , sondern auf M_o und W_o bezogen worden, welches von den Abmessungen des Balkens b und h ganz unabhängig ist.

Für unseren Fall sind die Abmessungen so gewählt worden, daß

1) Siehe Versuche Suenson.

$$M_0 = \frac{6 M}{b h^2} = \frac{P}{2} \text{ ist.}$$

Wenn wir also bei einem der Balken die Bruchlast ermittelt haben, so werden wir

für Type I bei $\zeta = 2,02 \%$,

für Type II bei $\zeta = 4,04 \%$

die Größe $\frac{P}{2}$ auftragen und gleichzeitig nach der Verschneidung der beiden Kurvenscharen die Größen σ_b und σ_e wissen. Erreicht die Größe $\frac{P}{2}$ die Kurven des Eisens für $\sigma_e = 3500 \text{ kg/qcm}$ vollständig oder beinahe, so ist der Bruch vom Eisen abhängig, und wir wissen nicht, ob die Druckfestigkeit des Betons erschöpft worden ist oder nicht.

Erreicht aber diese Ordinate die Eisenkurve nicht, so rührt der Bruch von der Erschöpfung der Druckfestigkeit des Betons her und unsere Probe ergibt uns diese, sei es rechnerisch, sei es aus dem Graphikon durch Schätzung.

5. Ein Beispiel der Anwendung der Güteprobe in der Praxis.

(Siehe hierzu das ausgefüllte Protokoll Nr. 2.)

Wie bereits früher erwähnt, ist längere Zeit hindurch mit dem in Protokoll Nr. 2 skizzierten Schema von 4 Lasten $\left(M = \frac{Pl}{8} = 25 P \right)$ gearbeitet worden. Erst später ist man wieder auf die von Dr. v. Emperger bei seinen Versuchen 1905 bis 1907 eingehaltene Vorrichtung aus Gründen der Einfachheit bei dem Versuche zurückgegangen, welche mit der auf diese Weise nötigen Reduktion des Eigengewichts — eine einfache aus dem Protokollformular ersichtliche Änderung (vgl. ausgeführtes Protokoll) — wohl nicht zu teuer bezahlt ist. Hier sind absichtlich beide Formen der Belastung in beiden Protokollen und Lichtbildern zur Darstellung gebracht, um zu zeigen, daß der Ingenieur auch in dieser Hinsicht vollständig unabhängig wählen kann. Natürlich darf nicht übersehen werden, daß sich in jedem Fall die Rechnung ändert und daher andere Werte der Koeffizienten sich einstellen. Von der so günstig aussehenden Verwendung einer Mittellast oder doch zweier möglichst nahe aneinander liegender Mittellasten wurde Abstand genommen, da die Stelle des maximalen Momentes nicht durch Auflasten beeinflusst werden soll. Wir sind daher bei der Lastentfernung von 50 cm geblieben.

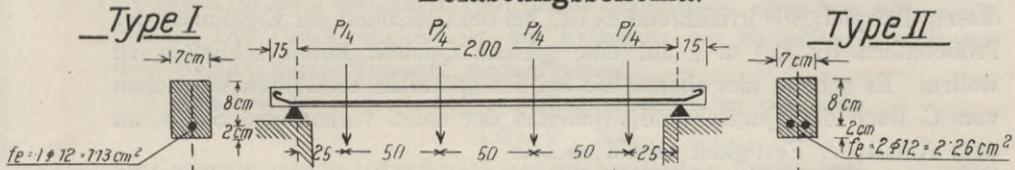
Das hier angeführte Beispiel hatte die Frage zu entscheiden, welcher Schotter bei einem wichtigen Hochbau zu verwenden war. Zur Wahl stand ein von maßgebender Seite empfohlener Maschinenbruchschotter (Reihe 1 und 2) und das Donaubaggergut (Reihe 3 u. 4), wie es in Wien billig erhält-

Protokoll Nr. 2

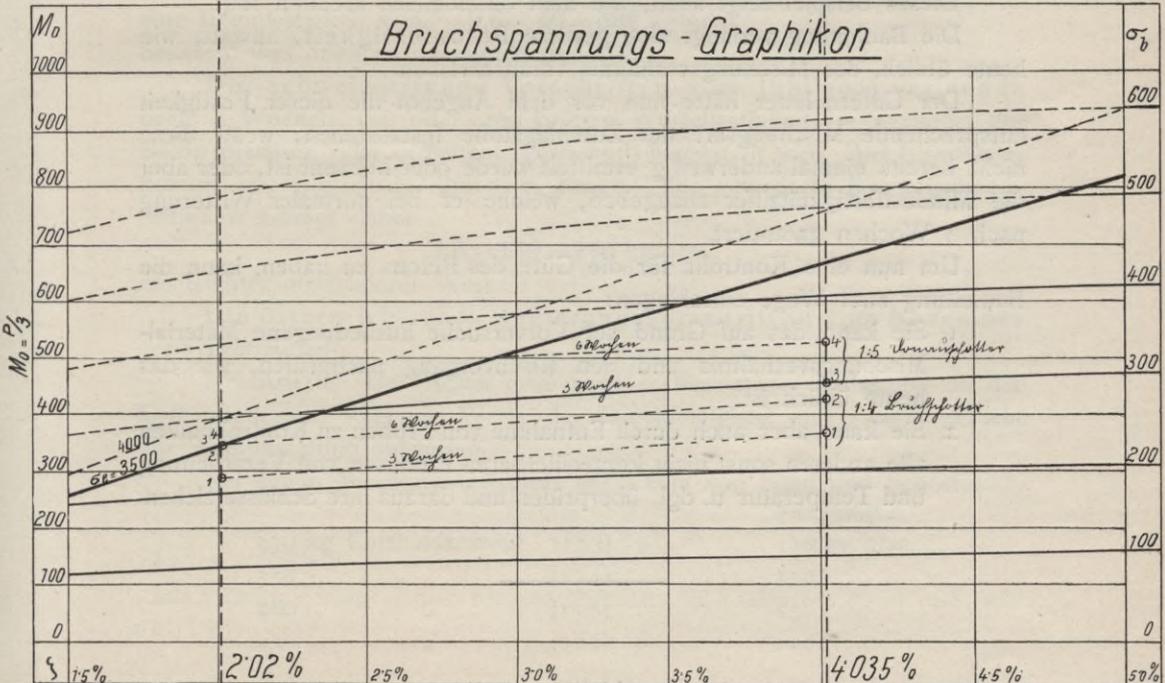
über Biegebruchproben der Kontrollbalken nach Dr. Ing. Fritz von Emperger.

Balkenreihe		1		2		3		4	
Beschaffenheit des Betons		350 kg auf 1 m ³ Gemenge Bruchschotter		dsgl.		280 kg auf 1 m ³ Gem. 3 Tle. Donauschotter 1 Tl. gebrochen		dsgl.	
Betoniert am		16. Juli 1910		dsgl.		20. Aug. 1910		dsgl.	
Witterungsangaben		kühl, regnerisch		dsgl.		kühl, regnerisch		dsgl.	
Alter in Tagen		21		62		21		62	
Bewehrungstyp		I	II	I	II	I	II	I	II
Gewicht kg	des Balkens	32,16	33,92	32,16	33,92	32,16	33,92	32,16	33,92
	der Belastungsbühne	65,20	65,20	65,20	65,20	65,20	65,20	65,20	65,20
	Auflast in Ziegeln zu 4,3 kg	756,14	1005,00	920,00	920,00	933,04	1265,00	937,44	1480,00
Bruchlast P in kg		853,50	1104,12	1017,36	1279,12	1030,40	1364,12	1034,80	1579,12
$M_0 = 0,334 P = \frac{P}{3}$		284,50	368,04	339,12	426,37	343,47	454,71	344,60	526,37
$\sigma_{bI} = 0,256 P$	$\sigma_{bII} = 0,219 P$	218,20	241,30	258,00?	279,83	264,00	298,60	264,40	345,80
$\sigma_{eI} = 3,360 P$	$\sigma_{eII} = 1,768 P$	2860	1950	3420?	2260	3460	2410	3465	2790

Belastungsschema.



Bruchspannungs - Graphikon



Ort: Wien, am 5. Oktober 1910.

Bau: N. N.

Der Versuchsausführende:

Ing. G. Neumann.

lich ist und bei dem nur $\frac{1}{4}$ gebrochen wurde, um das fehlende Mittelkorn zu ersetzen.

Der Bauherr, der nur erstklassiges Material verwenden wollte, war, der allgemeinen Ansicht von den bedeutenden Vorzügen des scharfkantigen Bruchschotters folgend, sehr geneigt, diesen zu verwenden, obwohl er infolge der Bahnfracht bedeutend teurer war als das Baggergut. Auf den Rat Dr. v. Empergers wurden die Versuche als Kalkulationsbehelf angestellt.

Die ersten Resultate ergaben ein so überraschendes Übergewicht des billigen und daher für schlecht angesehenen Materials, daß man zunächst die Sache so fortsetzte, daß man den Bruchschotter 1 : 4 mit einer Mischung 1 : 5 aus dem Donauschotter verglich und zuletzt sogar den gebrochenen Schotter wegließ. In dem beiliegenden Protokoll sind vier solche Versuchsreihen mit zwei Materialien vorgeführt. In beiden Fällen, d. i. in drei und in sechs Wochen, zeigt der Donauschotter um etwa 25 % bessere Ergebnisse. Dabei sind die anderen Versuche keineswegs schlechte. Wir sehen aus dem ausgefüllten Protokoll, daß von dem Typus I bei 2,02 % Eisen nur der Versuch Nr. 1 einen Bruch anzeigt, der zweifelsohne auf den Beton sich zurückführen läßt. Bei dem Versuch Nr. 2 (Bruchschotter sechs Wochen) ist dies auch ersichtlich. Die übrigen zwei (Donauschotter drei und sechs Wochen) erreichen bereits die Eisengrenze. Wir ersehen aus diesem Beispiel, wie irreführend es ist, bei der Gleichheit der Ergebnisse der Probekörper Nr. 2, 3 u. 4 auf eine gleiche Qualität Beton schließen zu wollen. Es scheint hier ebenso wie bei den späterhin erwähnten Versuchen von C. Bach der Quetschsand, vielleicht der dabei vorhandene Staub, an dem Abfall der Festigkeit schuld zu sein.

Dieses Beispiel zeigt auch, wie man ökonomisch arbeiten soll:

Die Bauleitung verlangt eine gewisse Betonfestigkeit; anstatt, wie heute üblich, das Mischungsverhältnis vorzuschreiben.

Der Unternehmer hätte nun vor dem Angebot die dieser Festigkeit entsprechende Mischungsart der Zuschlagstoffe festzustellen, wenn diese nicht bereits einmal anderweitig ermittelt wurde oder bekannt ist, oder aber die Mindestfestigkeitzziffer anzugeben, welche er bei normaler Witterung nach 4 Wochen garantiert.

Um nun eine Kontrolle für die Güte des Betons zu haben, kann die Bauleitung zwei Wege einschlagen:

1. Sie kann das auf Grund der Vorversuche ausbedungene Material-Mischungsverhältnis und den Mischvorgang nachprüfen, wie das heute üblich ist.
2. Sie kann aber auch durch Entnahme von Proben zu Kontrollkörpern alle anderen sonst nicht kontrollierbaren Einflüsse von Verarbeitung und Temperatur u. dgl. überprüfen und daraus ihre Schlüsse ziehen.

6. Die amtlichen Vorschriften über Betongüte.

Zur Bestimmung der Güte von Beton dient heute in erster Linie das „Mischungsverhältnis“. Je mehr Zement, desto besser! gilt als Parole. Diese Anschauung läßt sich auf jene Zeit zurückführen, wo überhaupt nur Zugproben für die Qualität maßgebend angesehen wurden.

Bezüglich der Druckfestigkeit enthalten die Vorschriften folgende Bestimmungen:

Die preußischen Vorschriften vom 24. Mai 1907 sagen:

§ 16 Abs. 1. Bei den auf Biegung beanspruchten Bauteilen soll die Druckspannung des Betons den sechsten Teil seiner Druckfestigkeit nicht übersteigen.

Es wird diese Vorschrift immer auf die Würfelfestigkeit bezogen, obwohl dies nicht ausdrücklich gesagt und nicht wahrscheinlich ist.

Sie sagt in bezug hierauf:

§ 1 Abs. 2. In der Beschreibung ist der Ursprung und die Beschaffenheit der Baustoffe, ihr Mischungsverhältnis, der Wasserzusatz sowie die Druckfestigkeit, die der zu verwendende Beton aus den auf der Baustelle zu entnehmenden Baustoffen in dem vorgesehenen Mischungsverhältnis nach 28 Tagen in Würfeln von 30 cm Seitenlänge erreichen soll, anzugeben. Die Druckfestigkeit ist auf Erfordern der Baupolizeibehörde vor dem Beginn durch Versuche nachzuweisen.

Die geforderte Sicherheit auf Biegedruck ist demnach

$$1,6 \times 6 = 9,6,$$

also oft eine nahezu 10fache!! Ein solcher Balken müßte nach 4 Wochen eine Betonfestigkeit von $9,6 \times 40 = 384$ kg/qcm besitzen, was offenbar unmöglich ist.

Die schweizerischen Vorschriften vom Juni 1909 verlangen nach 4 Wochen 150 oder 200 kg/qcm Würfelfestigkeit, je nachdem der Beton plastisch oder erdfeucht (gestampft) hergestellt wird. Bei Eisenbeton kommt nur plastischer Beton in Frage. Die geforderte Biegedruckfestigkeit beträgt daher

$$1,6 \times 150 = 240 \text{ kg/qcm.}$$

ein leichter erreichbarer Wert.

Die österreichischen Regierungsvorschriften vom November 1907 bestimmen:

§ 9 Abs. 8. Der Beton muß nach sechswöchiger Erhärtung an der Luft mindestens folgende Werte der Druckfestigkeit und zwar senkrecht zur Stampfrichtung aufweisen.

Bei einem Mischungsverhältnis auf 1 ccm von Sand und Schotter

			Würfelfestigkeit
470 kg	Portlandzement	(1:3) . . .	170 kg/qcm
350 „	„	(1:4) . . .	150 „
280 „	„	(1:5) . . .	130 „
230 „	„	(1:6) . . .	110 „

Der Österr. Beton-Verein Wien, der seine Angaben auf Zement in kg/m^3 fertigen Beton bezieht, schreibt vor:

	Mindestwürfel- festig- keit nach 6 Wochen	äquivalent (1,6) auf Biegung
mit 300 kg Zement	115 kg/qcm	184 kg/qcm
„ 400 „ „	140 „	224 „
„ 500 „ „	157 „	261 „
und mehr „	210 „	336 „

Um die Mischungsverhältnisse in obigen beiden österr. Vorschriften zu vergleichen, muß man bei den ersteren etwa 20 % zuschlagen, da etwa $1,2 \text{ m}^3$ Gemenge 1 m^3 Beton geben. Es weichen also beide Vorschriften nicht wesentlich voneinander ab. In allen Umrechnungen ist die Biegungsdruckfestigkeit = 1,6 Würfel Festigkeit gesetzt, und man gelangt so zu Ziffern, die ohne Bedenken anwendbar erscheinen. Beim Vergleich mit den vorangehenden deutschen und schweizerischen Vorschriften darf man nicht vergessen, daß sich diese Zahlen auf 6 Wochen beziehen. Die geforderten Bruchfestigkeiten stimmen mit unseren Versuchen soweit überein, daß man wohl annehmen darf, daß bei den deutschen Vorschriften der Unterschied zwischen reinem Druck und Biegung nicht berücksichtigt wurde, denn die geforderten Druckfestigkeiten sind nahezu 1,6 mal größer als anderswo; dabei darf nicht übersehen werden, daß alle diese Vorschriften über das Mischungsverhältnis und die dem zugeordneten Festigkeiten Faustregeln sind. Man versucht mit dem Mischungsverhältnis eine gewisse Güte festzulegen, trotzdem man weiß, daß diese davon nicht allein abhängt, ja sogar — wie dies durch Vergleich der Ziffern mit den Ergebnissen von C. v. Bach ersichtlich ist — mit den vorgeschriebenen Mischungen gewisser Materiale gar nicht erreichbar ist.

Läßt sich die Festigkeit des Betons in so einfacher Weise wie durch die vorstehend beschriebenen Versuche nachweisen, dann braucht man überhaupt nichts, als die Druckfestigkeit vorzuschreiben, und es ist Sache des Unternehmers, wie er sich die vorgeschriebene Güte des Betons sichert. Dann wäre die in den Schweizer Vorschriften gewählte Form nachzuahmen, jedoch nicht in so allgemeiner Form, sondern mit Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse. Bei Eisenbetonbauten mit dem in Wien zur Verfügung stehenden Material kann der Beton eine Druckfestigkeit auf Biegung von 250 kg/qcm in 6 Wochen leicht erreichen. In diesem Falle bricht die Balkentype I bei der Eisengrenze. Es ist dies eine Forderung, der in dem gewählten Beispiel auch die mindere Sorte Schotter bei 6 Wochen Alter entsprochen haben würde.

Daß man sie aber nicht allgemein, ohne Rücksicht auf das Zuschlagmaterial fordern darf, wie das bisher üblich war, indem man einfach nach dem Mischungsverhältnis urteilte, beweisen die angeführten Versuche von C. v. Bach zur Genüge.

Mit dem Balken Type I lassen sich Betondruckfestigkeiten bis 265 kg/qcm und Type II bis 440 kg/qcm nachweisen. Für eine höchste zulässige Spannung von 40 kg/qcm käme selbst bei 4facher Sicherheit im Eisen nur eine Druckfestigkeit von 160 kg/qcm in Frage. Höhere Ziffern haben nur den Wert von Qualitätszahlen. Bei den heute üblichen und vorgeschriebenen, d. h. aus anderen Gründen auch nötigen Mischungen läßt sich ganz allgemein fordern, daß bis zum Ausschalen der Haupttragwerke die 4fache Ziffer der für zulässig erklärten Druckfestigkeit auf Biegung sich ergibt. Die gleiche Forderung wäre entsprechend ermäßigt auch bei der Ausschalung der Zwischenträger zu stellen, oder es wäre letztere so lange zu verschieben, bis die 3fache Sicherheit da ist.

In sinngemäßer Abänderung der Vorschriften des Österreichischen Beton-Vereins über Würfelproben müßte es dort in § 9 Abs. 12 heißen:

„Bei regelmäßigem Verlauf der Bauarbeit sind von je 100 m³ Beton mindestens 4 Probekörper zu entnehmen und vor der Ausschalung von Decken, sonst in Abständen von 3 und 6 Wochen zu untersuchen. Diese Untersuchung ist bei jeder in der Betonherstellung nachgewiesenen Unregelmäßigkeit, sowie ganz besonders bei eintretendem Frost angefangen von Temperaturen unter + 5° C zu wiederholen, oder genügend häufig zu machen, daß man für bei niedrigeren Temperaturen abbindenden Deckenteile Proben zur Beurteilung der Güte des dort verwendeten Betons vor seiner Ausschalung besitzt. Diese Proben sind durch Zettel an den Balkengriffen deutlich zu bezeichnen.“

Bei Beton aus den in Wien zur Verfügung stehenden Zuschlagstoffen (Donauschotter) ist nach 4 Wochen die im Graphikon besonders gekennzeichnete Grenze von 200 kg/qcm erreichbar und selbst die schlechtesten Werte sollten nicht mehr als 20% darunter liegen.

Außerdem wären die Vorschriften über das Ausschalen sinngemäß zu ändern:

„Jedes Tragwerk kann nach dem Erreichen der erwähnten Minimalfestigkeit ausgeschalt werden, als welche 160 kg/qcm in Frage kommen, wenn mit 40 kg/qcm als Maximalbeanspruchung gerechnet wurde, sonst aber der **4fache Wert jener Spannung** in Betracht kommt, die sich **bei voller Last** rechnungsmäßig ergibt.“

Auf diese Weise kommt man bei gutem Bauwetter, als welches Temperaturen über 5° C anzusehen sind, von 4—6 Wochen der jetzt vorgeschriebenen Ausschaltungszeit auf Werte von etwa 1 Woche. Was das für Ersparnisse für jeden Eisenbetonbau bedeutet, bedarf wohl keiner weiteren Erklärung.

Zeitkurve der Druckfestigkeit.

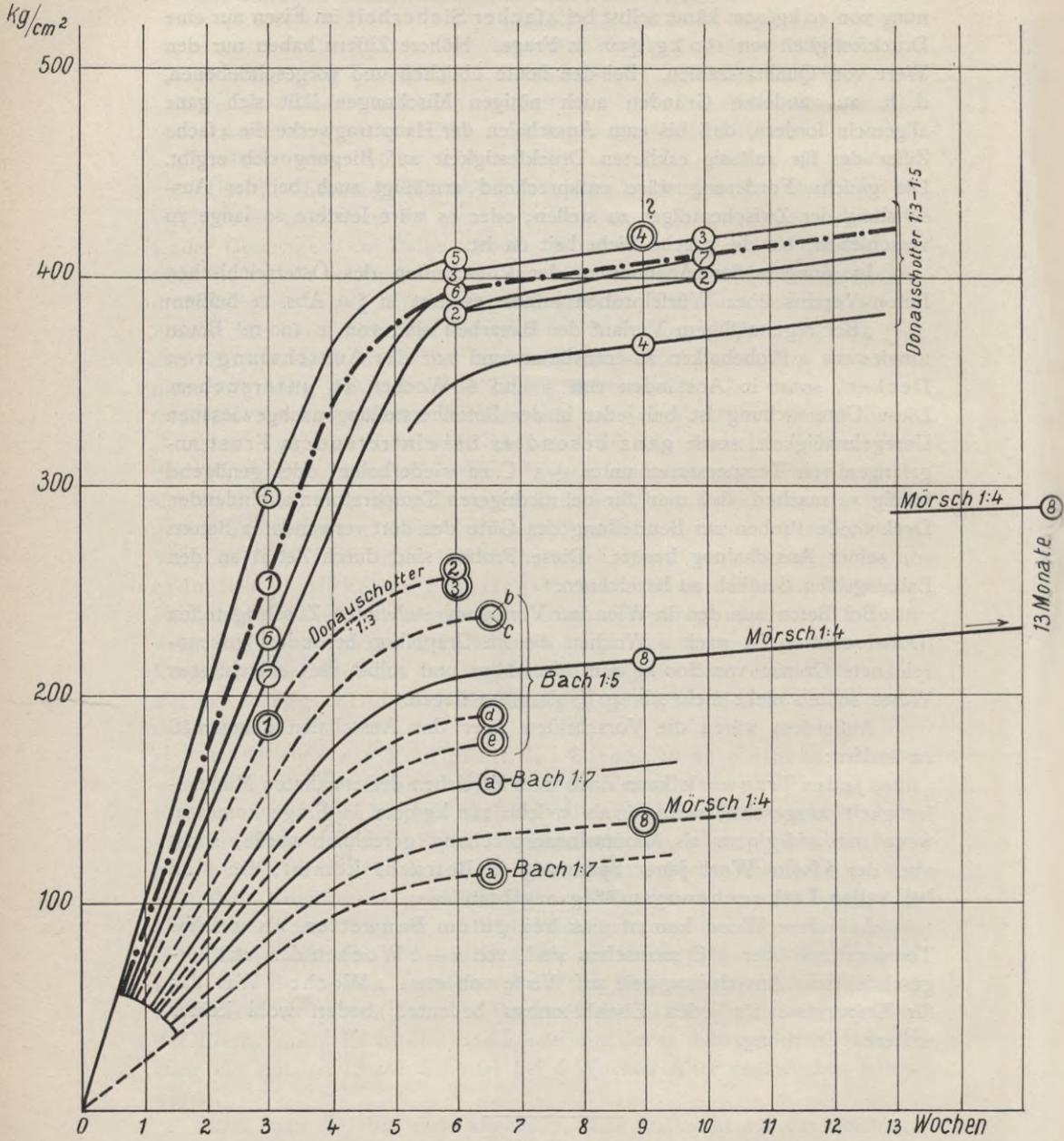
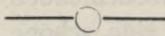
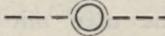
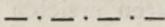


Abb. 9.

Zeichenerklärung.

-  Biegedruckfestigkeit (σ_b).
 Würfelfestigkeit (s).
 Mittlere Biegedruckfestigkeit von Beton aus Donauschotter.

1. Wiener Versuche.

- | | | | | | |
|---|---|-----------------|---|----------------------------|-------------------------------------|
| ① | ① | bet. am 8. Juni | } | 1 : 4, Donaukies | $\frac{\sigma_b}{s} = 1,37 - 1,57.$ |
| ② | ② | " " 13. Juni | | | |
| ③ | ③ | " " 17. Juni | | | |
| ④ | ④ | " " 1. Okt. | | | |
- ⑤ }
 ⑥ } Mittelwerte einzelner Versuchsreihen von verschiedenen Bauten 1 : 4 bis 1 : 5,
 ⑦ } Donaukies.

2. Versuche von Mörsch 1905.

- ⑧ ⑧ Mittelwert der 3,4% Reihe, 1 : 4 $\frac{\sigma_b}{s} = 1,57.$

3. Versuche von Bach.

a) nach Heft 91 Zusammenstellung 9.

- ⑨ ⑨ 1 Zement : 3 Rheinsand : 4 Rheinkies $\frac{\sigma_b}{s} = 1,40.$

β) nach Heft 72 Seite 33.

- ⑩ ⑩ 1 Zement : 2 Dresdener Grubensand : 3 Rheinkies.
- ⑪ ⑪ 1 Zement : 2 Rheinsand : 3 Basaltmaschinengeschläge.
- ⑫ ⑫ 1 Zement : 2 Kalksteinquetschsand : 3 Rheinkies.
- ⑬ ⑬ 1 Zement : 2 Basaltquetschsand : 3 Basaltmaschinengeschläge.

7. Auswertung von Versuchsergebnissen.

(Abb. 9.)

In dem beigefügten Graphikon sind die mit der Zeit erreichbaren Druckfestigkeiten verschiedener Betonarten dargestellt; eingetragen sind sowohl die Ergebnisse des Biegungsdruckes wie der Würfelfestigkeit. Es ist versucht worden, aus den Versuchen über Biegungsdruck mit den Wiener Materialien an verschiedenen Baustellen eine zusammenhängende Kurve zu konstruieren. Es zeigen die Ergebnisse trotz der nicht unbedeutenden Abweichungen in der Zusammensetzung des Donauschotters eine schöne Übereinstimmung. Jedenfalls sind die Abweichungen, welche man mit genau derselben Qualität, jedoch mit anderen Außentemperaturen erzielen kann, viel größer als bei einer Änderung im Mischungsverhältnis selbst, wenn diese Außentemperaturen nach landläufigen Begriffen nur um ein Geringes abweichen. Wie bereits eingangs erwähnt, ist es nicht angängig, die Druckfestigkeit des Betons in der bisher üblichen Weise als einzig und allein vom Mischungsverhältnis abhängig hinzustellen. Es ist vielmehr nötig, jeweilig die Ziffer zu bestimmen, welche mit den vorhandenen oder mit den vorgeschriebenen Zuschlagstoffen und normalen Außentemperaturen erreichbar ist, sofern dies nicht, wie schließlich bei jeder Hauptstadt mit ihrer ausgebreiteten Bautätigkeit allgemein bekannt ist und ein für allemal bestimmt wurde.

Um die Unterschiede zu kennzeichnen, welche in bezug hierauf bestehen, wenn zur Bereitung des Betons unter sonst gleichen Verhältnissen verschiedene Zuschlagstoffe genommen werden, dient die Abb. 9.

Hier findet man eine Reihe anderer Versuche mit verschiedenen Materialien dargestellt. Zunächst die älteren Versuche von Prof. Mörsch¹ und die jüngsten Versuche dieser Art von Prof. C. v. Bach². Auch diese sind in der Weise dargestellt, daß die Ergebnisse der Biegungsdruckfestigkeit in einer Kurve zusammengefaßt wurden, während die zugehörigen Würfelfestigkeiten an der ihrem Alter entsprechenden Stelle eingetragen sind. Der Unterschied zwischen dem Verlauf der Kurven, ihre Abstufung, abhängig von Materialien und ihrer Mischung, ist in die Augen springend. Dabei kommt freilich in Betracht, daß die Wiener Versuche im Mischungsverhältnisse 1:3 bis 1:5 waren, während man in Stuttgart die Mischung 1:3:4 eingehalten hat. Die Versuche von Mörsch waren dagegen im Verhältnis 1:4 hergestellt und weisen dennoch eine bedeutende Differenz auf, die sich auch nach Jahresfrist noch erhält. Hier können wohl nur die Zuschlagstoffe von solchem Einfluß gewesen sein. Zur Bestätigung der Richtigkeit der Wiener Versuche sind noch weitere Würfelversuche von C. v. Bach³ herangezogen, welche mit verschiedenen Sandarten und Zuschlagstoffen,

1) S. Mörsch, Der Eisenbetonbau. 3. Aufl. S. 97.

2) Heft 90, 91 Mitt. über Forschungsarbeiten.

3) Ebenda Heft 72—74.

aber mit der gleichen Mischung 1:2:3 nach 45 Tagen zu dem Zwecke vorgenommen worden sind, um den Einfluß dieser Zuschlagstoffe zu bestimmen. Wir wollen aus den genannten Arbeiten nur die folgenden hervorheben. Die Würfel Festigkeit betrug bei

1 Zement, 2 Dresdener Grubensand, 3 Rheinkies . . . 238 kg/qcm,
 1:2:3 = Zement: Rheinsand: Basaltmaschinengeschläge 233 „

Ein neues Versuchspaar dieser Reihe

1 Zement, 2 Basaltquetschsand, 3 Basaltmaschinengeschläge 178 „
 1:2:3 = Zement: Kalksteinquetschsand: Rheinkies 191 „

gibt eine ziemliche Sicherheit zu der Behauptung, daß der Quetschsand einen großen Teil des Abfalles an Festigkeit verschuldet.

Wir sehen, daß die genaue Arbeit des Stuttgarter Laboratoriums nicht nur für dieselbe Mischung nahezu dieselbe Festigkeit ergibt, wie wir sie mit dem Donaukies erzielt haben, sondern auch denselben Abfall wie bei dem Gebrauch von Quetschsand wie im ausgeführten Protokoll, nur haben wir dies gleich direkt am Bau ohne ein Laboratorium festgestellt und dabei eine Genauigkeit erzielt, wie sie bei Würfelversuchen vielleicht nur in Stuttgart möglich ist. Daß dies anderswo nicht immer der Fall ist, davon gibt der folgende, durch amtliche Zeugnisse belegte Vorfall Kenntnis: Die Kurve der Wiener Biegedruckfestigkeiten beruht auf einer ganzen Reihe von Versuchen. Jedoch war nur bei vier Mischungen die Möglichkeit vorhanden, durch Parallelversuche auch die Würfel Festigkeit zu ermitteln. Diese vier Mischungen wurden mit Sorgfalt gleichmäßig hergestellt. Bei den Biegedruckfestigkeiten haben sich kleine Abweichungen vom Mischungsmittel ergeben, welche beim Beton derselben Mischung (10 Wochen alt) nach den gemachten Erfahrungen nie mehr als 5—6% der Biegedruckfestigkeit betragen; beim jungen Beton (3—6 Wochen alt) geht diese Zahl noch weiter zurück.

Vergleichen wir sämtliche bis jetzt erhaltene Ergebnisse mit 10 Wochen-Beton (siehe Graphikon), so ist die größte Abweichung des Versuchsreihenmittels mit rd. 7—8% vom allgemeinen Mittelwerte eingetreten. Alle diese Differenzen sind im allgemeinen auf die bisher ganz unbeachteten Abweichungen in Temperatur, Luftfeuchtigkeit und vielleicht auch Wassermenge zurückzuführen; in vielen Fällen spielen auch die örtlichen Verhältnisse der Bruchstelle eine Rolle. Dieser Einfluß läßt sich mit einiger Übung aus dem Ortsaugenschein entnehmen.

Ganz analoge Ergebnisse haben wir aber auch im Baubetriebe erzielt; ein Beweis, daß diese Zahlen wohl die Fehlergrenze des Systems geben dürften.

Ganz anders sieht es mit den Würfelproben aus. Die zu der 1., 2. und 3. Reihe gehörenden Würfelproben verhielten sich ganz normal. Der Quotient aus Biegedruck und Würfel Festigkeit ist

$$\frac{\sigma_b}{s} = 1,37 \text{ bis } 1,57.$$

Bei der 4. Reihe, die durchweg gleiche, etwas schlechtere Resultate als die übrigen ergab, wurde durchweg eine Würfelfestigkeit größer als die beste Biegungsdruckfestigkeit nachgewiesen, so daß

$$\frac{\sigma_b}{s} = 0,875 \text{ wird.}$$

Solche Unregelmäßigkeiten sind aber zur Materialbeurteilung kaum geeignet; ganz abgesehen davon, daß die Würfelproben umständliche Laboratoriumsversuche sind, während der Kontrollbalkenversuch überall und jederzeit leicht und billig mit vollständig genügender Genauigkeit über jede ähnliche praktische Frage Aufschluß gibt und noch den Vorteil hat, daß der betreffende Ingenieur oder Unternehmer persönlich aus dem Verhalten des Materials und dem Bruche selbst seine zur Kalkulation oder sonstigen Entschlüssen nötigen Folgerungen ziehen kann.

Es erübrigt nun noch anzugeben, warum die interessanten Versuche Prof. Suensens¹ nicht in die Graphiken eingetragen wurden. Die Versuche wurden zu dem Zwecke ausgeführt, um den Nachweis zu erbringen, ob die in den dänischen Vorschriften gewählten Kontrollbalken, wie schon eingangs erwähnt wurde, richtig bewehrt und daher in dieser Form brauchbar seien. Suensen führte zunächst eine Versuchsreihe von 1 Woche alten Betonbalken und dann eine aus reinem Zement von 5 Monaten Alter aus. Die Bewehrung war nach den alten Vorschlägen Dr. v. Empergers steigend mit 1,5 bis 14⁰/₀ gewählt. Von dieser Reihe läßt sich kein Ergebnis für obige Betrachtungen verwerten, da der Beton zu jung, der Zement aber zu alt und auch als solcher nicht zum Vergleich mit Beton geeignet erscheint.

Die in Tabelle II angeführte Versuchsreihe, nach den Verordnungen bewehrter Balken verschiedener Mischungen, läßt sich auch nicht gut verwenden, da sie, wie ein Blick auf die Spalte der Eisenzugspannungen zeigt, 3376 kg/qcm als kleinste Eisenspannung anführt und ein Bruch bei dieser Spannung im Eisen schon von dessen Dehnung stark beeinflusst wird. Ziehen wir aber die Würfelfestigkeit zum Vergleich heran, so sehen wir, daß die Möglichkeit besteht, daß

$$\text{Balken IV (1:5) mit } \frac{\sigma}{s} = 1,79 \text{ und}$$

$$\text{Balken XII (1:8) mit } \frac{\sigma_b}{s} = 1,44$$

auf Betondruck gebrochen sein könnten, 225 und 215 kg/qcm die Festigkeiten für 4 Wochen-Beton sind. Wir ersehen daraus, daß die dänischen Kontrollbalken sich für einen besseren Beton als mit 200 kg/qcm Biegungsdruckfestigkeit nicht eignen.

Überblickt man an der Hand des Graphikons die Ergebnisse, so verleugnen die Versuche im großen Ganzen nicht die Gleichmäßigkeit des Materials, und was das Wichtigste ist, das Verhältnis aller der eingezeichneten Kurven zu der zugehörigen richtigen Würfelfestig-

1) Beton u. Eisen 1910, S. 199 f.

keit steht wie **1,3 bis 1,6 zu 1**. Dies gilt mit einer einzigen Ausnahme, wobei nicht übersehen werden darf, daß diese Würfelfestigkeiten ein Mittelwert aus drei Versuchen sind. Bei einer von den vier erwähnten Versuchsreihen hat sich eine Würfelfestigkeit ergeben, welche etwa 50 % größer war als der Durchschnitt der übrigen und welche sogar größer war als die größte erzielte Biegungsdruckfestigkeit, also eine ganz und gar unwahrscheinliche Größe. Man kann danach beurteilen, welchen Wert und welche Verlässlichkeit solche amtlichen Zahlen besitzen, und ob es möglich ist, mit einem Gütemaßstab, der Schwankungen bis 65 % zeigt, Feinheiten zu untersuchen, deren Einfluß nicht mehr als 20 % beträgt.

Bei den Bauten, die diese Kontrollbalken zur Bestimmung der Ausschaltungszeit verwenden, haben sich diese vorzüglich bewährt; solange das Wetter günstig war, konnten Konstruktionen in aller Ruhe bereits nach 8 bis 10 Tagen ausgeschalt werden und erst das kühle, kalte Wetter **zwang** zur Verlängerung dieser Zeit, bis zur Erreichung der nötigen Mindestfestigkeit. Es wurde dann ruhig bis Jahresschluß weiter gearbeitet, da diese Kontrolle ganz zuverlässige Ergebnisse hatte. Die Ergebnisse des letzten Winters werden nach Sichtung des Materials veröffentlicht werden. Im allgemeinen sei nur gesagt, daß die kühle Witterung unter 5°C schon einen wesentlichen Abfall an Betonfestigkeit des Materials gleicher Güte in gleicher Zeit ergab. Demnach konnte, da σ_b noch immer nach 23 Tagen den Minimalwert ergab, ruhig ausgeschalt werden, und wurde der Bau nicht aufgehalten. Auch der Einfluß des Frostes konnte ganz genau kontrolliert und die entsprechenden Maßnahmen konnten getroffen werden. Insbesondere dieser Einfluß hatte sehr interessante Ergebnisse.

Aus diesen Gründen empfiehlt es sich auch stets, die Temperaturen zu kontrollieren und sowohl die Minimal- als Maximalwerte täglich aufzuzeichnen; um das ganze Material handlich beisammen zu haben, wurde auf der Protokollrückseite für eine übersichtliche graphische Darstellung ein Netz vorgesehen. Bei achtsamer und richtiger Führung der Versuche können ganz wertvolle Daten auf diese einfache Weise festgelegt werden und kann jeder ohne viel Mühe durch Lieferung von Material zur Klärung der noch lange nicht gänzlich gelösten „Frostfrage“ wesentlich beitragen.

Es ist eine bekannte Tatsache, daß Würfel verschiedener Größe auch abweichende Würfelfestigkeiten ergeben; eine Eigentümlichkeit, die zur Einführung der Normalwürfel von 20 cm Seitenlänge geführt hat. In einem gewissen Maße dürfte auch die Biegungsfestigkeit einem ähnlichen Gesetze unterworfen sein, und von den Abmessungen, insbesondere der statischen Höhe abhängen.

Als Kriterium für diese Frage ist am einfachsten und wohl auch einwandfrei das Verhältnis $\frac{\sigma_b}{s}$ gut ausgeführter Versuche zu betrachten. Die normalen Grenzen dieses Wertes sind mit

$$\frac{\sigma_b}{s} = 1,3 - 1,6$$

an anderer Stelle ermittelt worden und allgemein bekannt.

Soweit die bis jetzt gemachten Erfahrungen reichen, bleibt der Wert $\frac{\sigma_b}{s}$ normalerweise innerhalb der angegebenen Grenzen, ohne nachweislich von der Abmessung der Höhe beeinflusst zu werden, und ist somit ein praktischer Wert eventueller derartiger Schwankungen nicht zu ersehen.

Aus den (Seite 25) angeführten Versuchen von C. v. Bach ergibt sich

$$\frac{\sigma_b}{s} = 1,40.$$

Aus der Versuchsreihe von Prof. Mörsch gilt:

$$\frac{\sigma_b}{s} = 1,57,$$

obwohl diese Balken ganz andere Abmessungen hatten.

Noch bedeutungsvoller dürften die von der „Amsterdamsche cementijzer fabriek“¹ mit Balken größerer Abmessungen gemachten Versuche sein. Die Versuchskörper hatten eine Spannweite von $l = 6,825$ m, eine Höhe $h = 0,6$ m und eine Breite $b = 1,0$ m, und wurden seinerzeit von Dr. v. Emperger eingehend besprochen.²

Für diese Versuche gilt:

$$\frac{\sigma_b}{s} = \frac{241}{142} = 1,7.$$

Dieser etwas ungewöhnlich hohe Wert des Quotienten dürfte durch die eigentümliche Bewehrungsweise des Druckgurtes mit zahlreichen dünnen Längseisen und Bügeln, die man an und für sich nicht als Druckbewehrung ansprechen kann, dennoch günstig beeinflusst worden sein oder aber die Würfelfestigkeiten sind zu klein gewesen.

Ein Abfall der Biegungsdruckfestigkeit läßt sich beim Übergang vom Rechteck zum T-Querschnitt beobachten. Es sei hier nur auf das umfangreiche Versuchsmaterial von C. v. Bach³ und die Versuche des Österr. Betonvereins in Prag durch Prof. Melan 1909 mit Γ -förmigen Profilen hingewiesen. Die Versuche ergaben einen Abfall bei unbewehrter Platte. Eine den Verhältnissen der Praxis entsprechende Plattenbewehrung ergab wieder normale Festigkeiten.

Die von Dr. v. Emperger angestellten Vorversuche erstreckten sich auf die vom praktischen Standpunkte aus in Betracht kommenden Höhenabmessungen der Kontrollbalken. Die statische Höhe betrug $h_1 = 5$ cm, $h_2 = 10$ cm und $h_3 = 8$ cm. Die letztere Abmessung hat sich als besonders zweckentsprechend bewährt und wurde daher beibehalten. Eine weitere Reihe von Versuchen, in welcher Haftspannung, Bügelanordnung,

1) Beton u. Eisen 1906 S. 287 bis 308 und 1907 S. 14.

2) Ebenda 1907 S. 210.

3) Mitt. über Forschungsarbeiten. Heft 90 und 91. 1910.

Abbiegungsart der Einlagen, Eisenanzahl auf ihren Einfluß hin untersucht wurden, ergaben die vorliegende Balkenform als **einfachste zweckentsprechende Lösung**.

Es sei schließlich mit Befriedigung festgestellt, daß das Beispiel, welches Dr. v. Emperger in seinen Vorträgen 1905 durch Vorführung solcher Versuche als Bestandteil des Unterrichts gegeben hat, jetzt mehrfach Nachahmung findet, indem mehrere Lehranstalten sich zu Lehrzwecken solche Apparate angeschafft haben.

Die Einfachheit und Billigkeit des ganzen Verfahrens wird es auch minderbemittelten Anstalten ermöglichen, dem Vortrag durch die Vorführung von charakteristischen Versuchen mehr Leben zu geben und dem Hörer Vorzüge und Nachteile der Bewehrungsanordnung, Einfluß der Abbiegung der Eisen und Bügelbewehrung, Einfluß der Mischung, des Alters, des Frostes usw. augenfällig zu beweisen und ihm so das zu geben, was er sonst erst in langjähriger Praxis erwirbt und dann sich vielleicht teuer erkauft hat: das richtige konstruktive Gefühl, das Vertrauen zu seinem Baustoff und seinem Werk. Nur der, der die Fähigkeiten seines Materials — Vorzüge wie Fehler — vollständig beherrscht, wird als Konstrukteur wirklich auch „Ingenieur“ sein.

Es ist mit diesen Balken die Gelegenheit gegeben, den Hörern alle maßgebenden Eigenschaften des Eisenbetons vor Augen zu führen, ein Anschauungsunterricht, der, auch in der Praxis auf Bauten durch die Erprobung von Kontrollbalken unterstützt, zum rechten Verständnis für weiteste Kreise beitragen und die Verbreitung des Eisenbetons fördern wird.

Anhang.

Preisliste der vom Spezialbureau für Eisenbeton in Wien I Dominikaner-
bastei 4 geprüften Teile des **Normalapparates.**

(1 K = 0,85 M.)

Bestell- Marke	Gegenstand	K	h	M	Pf.
a	ein Reiter aus Hartholz	3	—	2	55
b	eine Unterlage aus Hartholz mit Blechbeschlag	1	30	1	10
c	eine Belastungsbühne komplett	34	—	29	—
d	eine Kette samt Ring und Haken	6	—	5	10
e	eine Doppelform, mit Blech beschlagen, komplett	86	—	73	—
f	eine Kontrollehre	3	—	2	55
g	zwölf Distanzeisen mit einer Kerbe	6	30	5	36
h	„ „ „ zwei Kerben	9	—	7	65
i	eine lange Kiste, versperrbar, für zwei Doppelformen	30	—	25	50
k	eine kleinere Kiste, versperrbar, für alle andern Bestandteile	25	—	21	30
l	ein kompletter Apparat, bestehend aus zwei Doppelformen, voll- ständiger Belastungsvorrichtung und allem Zubehör samt gebogenen Mustereinlageisen	294	—	250	—

Lieferzeit eines kompletten Apparates 14 Tage.

Protokollformulare in Reichsformat sind vom Verlage Wilhelm Ernst & Sohn
in Berlin, W 66 zum Preise von 1 M zuzügl. Postgeld für je 12 Stück zu beziehen.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307034

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000316003

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307041

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307035

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000316004

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000316010

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307036

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000316005

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307037

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000316006

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307038

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000316007

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307039

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000316008

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307040

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000316009

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307033

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300595